

Міністерство освіти і науки України
Міжнародний гуманітарний університет
Кафедра комп'ютерних наук

Русу О.П.

ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ОБЛАДНАННЯ

Конспект лекцій
для здобувачів вищої освіти,
які навчаються за спеціальностями
галузі «Інформаційні технології»

Одеса 2025

Затверджено Вченою Радою Міжнародного гуманітарного університету.
Протокол № 5 від 20 січня 2025 р.

Русу О.П. Електроживлення комп'ютерного обладнання. Конспект лекцій для здобувачів вищої освіти, які навчаються за спеціальностями галузі «Інформаційні технології» [Електронне видання]. Кафедра комп'ютерних наук Міжнародного гуманітарного університету. Одеса, 2025. 216 с.

Навчальна дисципліна «Електроживлення систем зв'язку» знайомить здобувачів із принципами побудови та функціонування вузлів, блоків і систем електроживлення ІТ-компаній. Основна увага приділяється якісному й кількісному аналізу процесів, які протікають у функціональних елементах і пристроях систем електроживлення й електропостачання, а також методикам вибору обладнання, за допомогою якого відбувається живлення телекомунікаційної та комп'ютерної апаратури.

ЗМІСТ

Лекція 1. Введення в дисципліну.....	4
Лекція 2. Принципи передавання енергії за допомогою електричного струму	13
Лекція 3. Особливості передавання енергії за допомогою постійного та змінного струмів	32
Лекція 4. Трифазна система електроживлення	47
Лекція 5. Безпека користування промисловою мережею.....	62
Лекція 6. Різновиди промислових мереж змінного струму	73
Лекція 7. Особливості споживання електричної енергії	91
Лекція 8. Система електроживлення підприємства	102
Лекція 9. Системи безперебійного живлення змінного струму.....	109
Лекція 10. Хімічні джерела струму	132
Лекція 11. Електроживлення автономних об'єктів.....	156
Лекція 12. Особливості електроживлення мікропроцесорів.....	171
Лекція 13. Електроживлення персонального комп'ютера	185
Лекція 14. Принципи електроживлення автономних об'єктів.....	200
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	215

Лекція 1. Введення в дисципліну

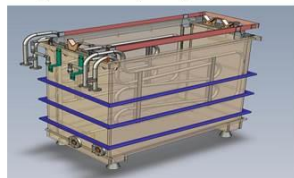
На сьогоднішній день важко знайти галузь людського життя у якій би не використовувалась електрика. Електрична енергія та електромагнітні явища зараз використовуються майже у кожному приладі, починаючи від дитячих іграшок та закінчуючи складним промисловим обладнанням.

Використання електричної енергії

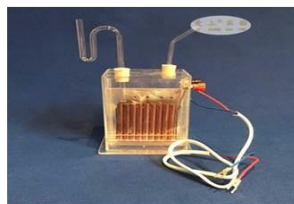
- **Специфічні технологічні процеси** (гальваніка, електроосмос, електроліз, тощо)
- **Медицина** (діагностичні прилади, виготовлення ліків, безпосередньо лікування)
- **Передавання енергії у необхідну точку простору** (із можливим подальшим перетворення в інший вид енергії)
- **Обробка та передавання інформації** (інформаційні та телекомунікаційні системи)
- **Системи автоматизованого керування**
- **Інтелектуальні пристрої** (у тому числі і зі штучним інтелектом)

Люди вже давно навчилися використовувати різноманітні електромагнітні явища, такі, наприклад, як гальванічне осадження металів, що використовується при створенні тонких плівок, або явище електроосмосу, що використовується, у тому числі, і в будівництві при осушенні стін. Індукційний нагрів, зварювання металів, виробництво хімічних речовин – цей перелік можна довго продовжувати. Без електричної енергії вже важко уявити сучасну цивілізацію.

Використання електричної енергії (специфічні технологічні процеси)



Гальванічна ванна



Установка для електролізу



Сушка стіни за допомогою установки для електроосмосу

У медицині електрична енергія та електромагнітні явища використовуються як для створення діагностичного обладнання, так і безпосередньо у процесі лікування. Наприклад магнітно-резонансна томографія та ультразвукове сканування на сьогоднішній день є одними із найкращих методів діагностики великої кількості захворювань, а внутрішнє прогрівання уражених ділянок струмом високої частоти вже кілька десятиків років успішно використовується у фізіотерапії.

Використання електричної енергії (медицина)

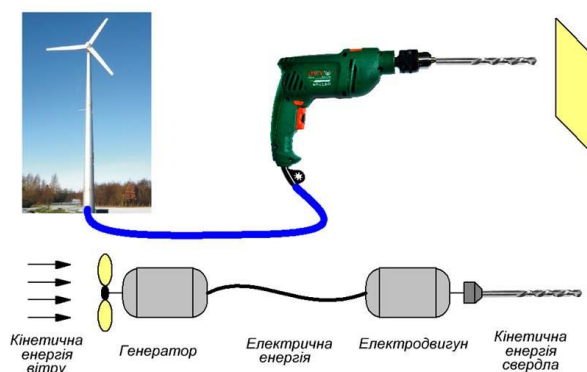


Але найбільшого поширення набуло використання електрики у якості проміжної ланки для передавання енергії у потрібну точку простору. Розглянемо це на прикладі.

Нехай нам потрібно просвердлити отвір. Для цього необхідно кілька сотень разів з певним зусиллям обернути свердло, тобто витратити певну кількість кінетичної енергії. Безпосередньо на місці у майстра немає ніяких джерел кінетичної енергії, ну, окрім мускульної сили рук, якої дуже часто може бути замало для даної задачі. Але за кілька десятків, а може і сотень, кілометрів від цього місця на вершині високої гори, а може на березі моря, є потужне джерело кінетичної енергії – вітер, що є нічим іншим як великою рухомою масою повітря. Ми можемо поставити у цьому місці вітряну турбіну, яка буде обертатися вітром, і отримати кінетичну енергію у необхідній кількості.

Але як доставити цю енергію у ту точку простору, де нам необхідно просвердлити отвір? Кінетична енергія дуже погано транспортується. Навіть при передачі на відстань кілька десятків метрів її втрати вже будуть досить значними. А передати кінетичну енергію на відстань кілька кілометрів взагалі майже неможливо. Тому роблять наступне. У місці, де знаходиться вітряна турбіна, встановлюють електрогенератор, який перетворює кінетичну енергію на електричну. На відміну від кінетичної енергії, електрична енергія набагато простіше, а головне – із меншими втратами, передається на великі відстані. Тому немає великої технічної складності передати електричну енергію, наприклад, за допомогою електричного кабелю або лінії електропередач у необхідну точку простору. А потім, за допомогою електродвигуна, що розташований, наприклад, в електричній дрилі, виконати зворотне перетворення – перетворити електричну енергію знов на кінетичну.

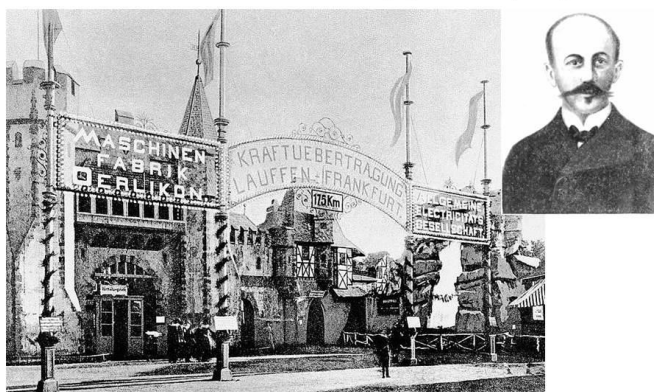
Використання електричної енергії (передавання енергії)



Саме такий спосіб використання електричної енергії було показано Михайло Осиповичем Доливо-Добровольским на всесвітній виставці у Франкфурті-на-Майні у 1891 році. У цьому році йому вдалося передати електричну енергію на рекордну для того часу

відстань – 175 кілометрів. На виставці було побудовано штучний водопад, вода для якого підіймалася за допомогою електродвигуна, що живився від цієї лінії електропередачі, інший кінець якої був підключений до електростанції, розташованої на річці Некар за 175 кілометрів від місця проведення виставки. Незважаючи на те, що електрична енергія на той час вже досить активно використовувалась, саме цей рік, коли була винайдена найбільш ефективна трьохфазна система передачі електричної енергії, вважається початком ери електрифікації усього світу.

Водопад М.О. Доливо-Добровольського на всесвітній виставці у 1891 році



На сьогоднішній день електрична енергія в Україні виробляється низкою електростанцій, що з'єднані між собою за допомогою високовольтних ліній електропередач у єдину енергетичну систему, яка також синхронізована із енергетичними системами сусідніх країн. Синхронізація із іншими державами дозволяє Україні як імпортувати, так і експортувати електричну енергію. Оскільки потреба людства в електричній енергії постійно зростає, то кількість електростанцій по всьому світу постійно збільшується. Останнім часом в Україні почали активно будувати електростанції, що працюють на альтернативних джерелах енергії – енергії вітру та сонця, які, можливо, колись замінять екологічно небезпечні теплові та атомні електростанції.

Електрична мережа України



Але вас, як майбутніх фахівців із інформаційних, телекомунікаційних технологій, або засобів автоматизації, повинен більш цікавити інший напрям використання електричної енергії – обробка та передавання інформації. Після винайдення телефону та радіо у світі з'явилася нова технічна галузь – електроніка. На відміну від електричних систем, головною

метою якої є передавання енергії, електронні пристрої та системи працюють із порівняно малопотужними сигналами і призначені для обробки та передавання інформації.

Використання електричної енергії (електроніка)



Інформаційні пристрої та системи



Телекомунікаційні пристрої та системи



Пристрої та системи автоматизації



Штучний інтелект

Але фізичні принципи електричних та електронних систем одні й ті самі. Більше того для роботи усіх електронних пристроїв необхідне джерело електричної енергії. Тому неважливо яка у вас спеціалізація. Чи будете ви працювати системним адміністратором у приватній компанії, чи оператором на телекомунікаційному підприємстві, чи встановлювати системи відеоспостереження, чи обслуговувати промислові контролери на промисловому підприємстві. Без розуміння основ електроживлення ви ніколи не станете кваліфікованим фахівцем.

Основи електроживлення



**Для роботи любого електронного пристрою
необхідне джерело електричної енергії!**

Навіть якщо ви не збираєтесь працювати, як то кажуть, «із залізом», а плануєте присвяти своє життя виключно програмуванню, усе одно ви нікуди не дінетесь від питань електроживлення. Річ у тому, що програмне забезпечення постійно змінюється. Вже зараз на ринку праці більше потрібні програмісти, що можуть писати програмне забезпечення для мобільних пристроїв та різних інтелектуальних автоматизованих систем. І у найближчому майбутньому ця тенденція буде сталою. Основна кількість програмного забезпечення для персональних комп'ютерів та веб-сайтів була написана на протязі останніх двадцяти років. А от промислові та побутові інтелектуальні системи, роботи, пристрої Інтернету речей тільки починають входити у наше життя. А у цих пристроях питання ефективного електроживлення стоїть на першому місці, оскільки більшість із них живиться від автономних джерел енергії – акумуляторів чи батарей, і тривалий час автономної роботи є однією із головних конкурентних переваг.

Навіщо програмісту електроживлення?



Розглянемо це на прикладі. Інтелектуальний годинник Apple Watch містить модулі акселерометра, гіроскопа, вимірювача пульсу, барометричного висотоміру, вимірювача рівня освітленості та GPS. Для обміну інформацією в ньому встановлені модулі Wi-Fi, Bluetooth, NFC, а у деяких моделях ще й LTE-телефон. Крім того, у ньому є дисплей мікрофон та гучномовець із відповідними модулями, що забезпечують їх роботу. А ще, оскільки цей пристрій призначається для вимірювання часу, то у ньому обов'язково повинен бути ще й модуль годинника.

Усе це майже не залишає місця для джерела енергії. Тому у цьому годиннику використовується компактна літій-іонна акумуляторна батарея ємністю усього 279 мА·год. Якщо просто увімкнути усі ці модулі, то енергії батареї не вистачить навіть на півгодини роботи. А от при правильній організації електроживленням одного заряду акумулятора може вистачити більше ніж на 18 годин.

Інтелектуальний годинник Apple Watch

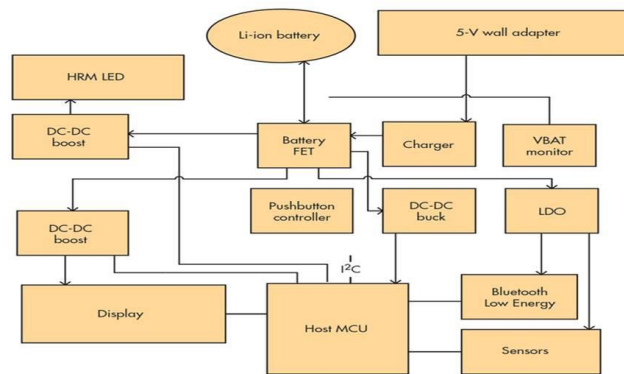


- Акселерометр
- Гіроскоп
- Вимірювач пульсу
- Мікрофон
- Гучномовець
- Барометричний висотомір
- Вимірювач рівня освітленості
- Wi-Fi
- Bluetooth
- NFC
- GPS
- LTE-телефон
- **Годинник (часи реального часу)**

Зрозуміло, що без розвиненої системи електроживлення досягти таких показників просто неможливо. Зрозуміло, що внутрішні перетворювачі, монітори живлення, шинні стабілізатори та інше силове обладнання повинно розроблюватися кваліфікованими фахівцями з електроніки. Та керувати усім цим господарством доведеться програмісту. І якщо програміст не буде мати хоча б базових знань про те, чим він збирається керувати, то він ніколи не створить конкурентоспроможний пристрій.

Приблизно та ж сама ситуація виникає і при створенні пристроїв Інтернету речей, та обладнання для розумного будинку. Усе це повинно працювати 24 години на добу та 7 днів на тиждень. Тому, якщо ці системи не будуть енергоефективними і будуть споживати значну кількість електричної енергії, то їх просто ніхто не буде купувати і ви будете змушені шукати собі іншу роботу.

Структурна схема системи електроживлення годинника Apple Watch



Так, наприклад, при правильному проектуванні інтелектуального газового лічильника, він може працювати від однієї батареї до 15 років. І все це із урахуванням того, що передача інформації та керування ним відбувається із використанням радіоінтерфейсів, що для своєї роботи потребують значної кількості енергії. Та річ у тому, що навіть без дистанційного передавання даних забезпечити 15 років роботи від однієї батареї не така вже й проста технічна задача. Одного знання електроніки тут буде замало. Слід розуміти суть хімічних процесів, що відбуваються всередині цього хімічного елемента, і забезпечити такий алгоритм роботи системи електроживлення, який би враховував усі зміни, що відбуваються із елементом на протязі цих 15 років. А там де алгоритм, там, звісно, і повинна бути програма. Тому більшість сучасних систем електроживлення мають цифрові інтерфейси керування, а для їх використання необхідні фахівці не тільки із електроніки, а ще й програмної інженерії.

Інтелектуальний газовий лічильник RSE/1,2 LA G4 «Pietro Fiorentini»



- Вимірювання кількості газу
- Підтримка багатотарифного обліку
- Дистанційне передавання даних
- Дистанційне керування подачею газу (відключення боржників)
- Захист від несанкціонованого втручання
- Пам'ять на 70 діб

До 15 років безперервної роботи без заміни батарейок

Metrologic battery: >15 years (non-replaceable)
Radio transmission battery: >15 years (replaceable on request)
GPRS transmission battery: >8 years (replaceable)

Крім того є ще одна причина для вивчення хоча б основ електроживлення. Рано чи пізно більшість із вас стане керівниками, бо вища освіта, у більшості випадків здобувається саме для того, щоб потім, коли ви будете мати певний практичний досвід, ви працювали на керівних посадах. І вам доведеться забезпечувати роботу вашої команди не тільки як керівник проекту, а ще і як організатор робочих місць, забезпечення належних та безпечних умов для роботи, розбиратися із витратами на канцелярію, чай та каву, і головне – із рахунками на електричну енергію.

Ви – майбутні керівники



Вам обов'язково доведеться спілкуватися із керівниками інших відділів, у першу чергу, з енергетиками. Тому, якщо ви не будете мати необхідного рівня знань, то довго ви на цій посаді працювати не просто не зможете. Бо якщо ви не будете чітко та правильно відповідати на запитання ваших колег із інших відділів, то вони не зможуть забезпечити вам необхідні умови для роботи вашої команди. А тоді, відповідно, і ваша команда не зможе забезпечити необхідний результат. А робити замість вас вашу роботу ніхто не буде.

Неправильна відповідь



Так і на побутовому рівні ви кожен день користуєтеся самим різними електричними приладами і рано чи пізно вам доведеться і розбиратися і з рахунками за електроенергію, і з проблемами у домашній електромережі. Навіть якщо ви не будете власноруч міняти у себе вдома розетки чи щось робити у розподільчих щитках, ви усе одно повинні мати уяву що можна роботи, а що ні. Інакше навіть на побутовому рівні може виникнути купа проблем. Крім того, оскільки тарифи на усі види енергоносіїв постійно зростають, то вам рано чи пізно доведеться оптимізувати енергоспоживання власної сім'ї, а без базових знань з електроживлення ви цього просто не зможете зробити.

Проблеми на побутовому рівні



Таким чином, прослухавши курс електроживлення, ви зможете, по-перше, розуміти принципи роботи вашої домашньої електромережі і щонайменше знати що можна робити із домашніми електроприладами, а що категорично заборонено. А якщо у вас буде бажання, то зможете самостійно і власноруч вирішувати усі проблеми із домашньою електропроводкою без залучення сторонніх фахівців, тим більше, що рівень освіти вам це цілком дозволяє.

По-друге, оскільки домашні електромережі багато в у чому ідентичні промисловим, то ви будете розуміти принципи електрозабезпечення як офісних, так і виробничих приміщень.

Крім того, ви зможете робити розрахунки основних параметрів енергоспоживання: споживаного струму, потужності, кількості спожитої енергії, тощо.

А ще ви навчитеся обирати необхідне обладнання для живлення широкого спектру електронних пристроїв, розуміти чим відрізняється електроживлення, наприклад, чайника від електроживлення смартфона.

Що ви будете знати і вміти

- Принципи побудови побутових та промислових електроживильних мереж
- Методи обчислення основних параметрів у електроживлення
- Принципи електроживлення сучасних електронних пристроїв та систем

Цей курс обов'язково повинні прослухати ті люди, що у майбутньому планують працювати із різноманітною електронною технікою, і неважливо чи ця техніка буде відноситися до телекомунікаційного, інфокомунікаційного, інформаційного, автоматизованого чи роботизованого обладнання. Усі ці пристрої працюють на схожій елементній базі і мають схожі принципи електроживлення. Крім того, цей курс дуже бажано прослухати майбутнім програмістам, оскільки від них буде багато у чому залежати енергоефективність тих систем, які вони будуть створювати.

Для кого цей курс?

- Системні адміністратори
- Оператори телекомунікаційного обладнання
- Фахівці із систем автоматизації
- Розробники електронних пристроїв
- Програмісти

Але для того щоб розуміти про що далі буде йти мова, треба мати певний рівень знань, оскільки без них ви просто не зможете розуміти подальший матеріал. По-перше, це фізика, особливо усе, що стосується електричного струму. Оскільки мова буде йти про енергію, то потрібно також розібратися із одиницями виміру енергії та методами її перетворення. Також потрібно мати базові знання із електротехніки або теорії електричних кіл, бо інакше ви не зможете робити деякі розрахунки. Також потрібно знати вищу математику та іноземну, бажано англійську, мову, бо без цих знань, ви взагалі нічого не будете розуміти, не тільки в електроживленні. І де було б бажано мати певні знання із основ електроніки та розбиратися у сучасній елементній базі.

Що потрібно знати?

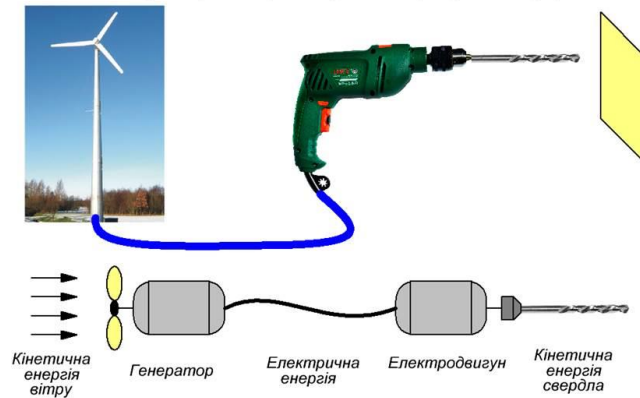
- Фізику (усе, що стосується електрики, особливо електричного струму)
- Основи електротехніки або основи теорії електричних кіл (закони Ома, Кірхгофа, тощо)
- Вищу математику
- Основи електроніки (принципи роботи електронних приладів)
- Англійську мову

А викладати дисципліну буду я, Русу Олександр Петрович, кандидат технічних наук, чия наукова та практична діяльність безпосередньо пов'язана із енергетикою. Найкраще я розбираюся в імпульсному перетворенні параметрів електричної енергії, але і в інших питаннях, пов'язаних із електроживленням також не пасу задніх. У будь якому випадку я знаю, що цей курс стане вам у пригоді у вашій подальшій діяльності, і всі ви успішно здасте мені залік чи екзамен наприкінці семестру.

Лекція 2. Принципи передавання енергії за допомогою електричного струму

У попередній лекції було показано, що електрика необхідна людині як проміжна ланка для передачі енергії в потрібну точку простору з подальшим перетворенням її в той вид енергії, який йому дійсно необхідний. Завдяки освоєнню електрики, в наших будинках з'явилося зручне, доступне і умовно невичерпне джерело енергії, без якого наше життя вже складно уявити.

Електрика це проміжна ланка для передачі енергії у потрібну точку простору



Однак разом з появою електропроводки в наші будинки прийшла нова небезпека – небезпека ураження електричним струмом. Кожен з нас з дитинства знає, що «пальці в розетку пхати не можна». І хоч це фізично неможливо – діаметр отворів в розетці набагато менше товщини навіть самого тонкого людського пальця – усі розуміють, що з будь-яким електричним обладнанням потрібно звертатися обережно, а розбирати і ремонтувати електроприлади непідготовленій людині категорично заборонено.

Причиною цього є висока напруга. На сьогоднішній день, номінальна напруга в наших розетках дорівнює небезпечному для життя людини значенню – 230 В. Більш того, один з проводів розетки («нуль») електрично з'єднаний з землею, тому якщо людина, що стоїть на землі, випадково торкнеться другого проводу («фази»), то коло замкнеться і по тілу людини через землю піде струм.

Але чому вибрано настільки висока напруга? Хіба складно було придумати електропроводку з напругою, наприклад, 12 В – як в легкових автомобілях? Тоді кількість проблем від електричного струму була б набагато менше. На жаль, так не вийде, і в цій лекції буде розглянуто чому.

Напруга в електричній розетці
небезпечна для життя!

230 В **ДСТУ EN 50160:2014**

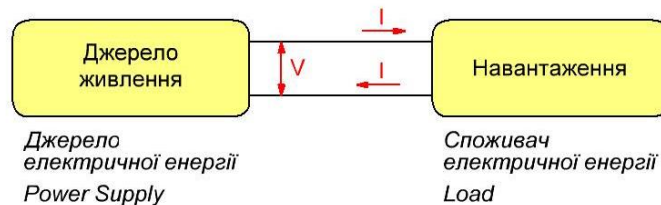
~~**220 В** **ГОСТ 13109-97**~~



Електричні процеси в системах електроживлення

Найпростіша система електроживлення складається з джерела і споживача електричної енергії. Споживач електричної енергії (навантаження) є найважливішим елементом системи. Саме це обладнання виконує потрібну і корисну роботу, наприклад, електрична дріль дозволяє свердлити отвори, чайник – гріти воду, лампочка – освітити приміщення, а комп'ютер або смартфон – обробити інформацію. Без корисного навантаження система електроживлення безглузда, адже вона існує тільки тому, що існують споживачі електричної енергії.

Напруга vs. струм



- **Напруга (V) залежить від джерела живлення**
- **Струм (I) залежить від споживача (навантаження)**
- **Потужність (P) дорівнює множині напруги та струму**

$$P = VI$$

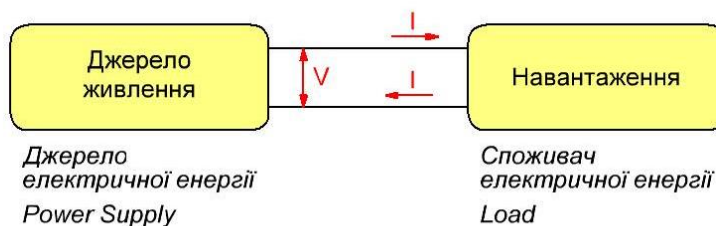
Щоб споживач міг працювати, йому необхідне джерело електричної енергії, або, як його часто називають, джерело живлення. Розрізняють два види джерел: первинні і вторинні. Первинні джерела перетворюють енергію інших видів в електрику, а вторинні перетворюють тільки параметри електричної енергії. Наприклад, батарейка (гальванічний елемент) є первинним джерелом, оскільки в ній протікає хімічна реакція, в результаті якої виробляється електрика. А ось мережева зарядка для смартфона вже відноситься до вторинних джерел (випрямний пристрій), оскільки вона лише перетворює параметри вже деь згенерованого (первинним джерелом) електрики – в даному випадку, змінну напругу 230 В вона перетворює в постійну, величиною, зазвичай, 5 В.



Якщо джерело живлення не з'єднано з навантаженням, то між його виводами буде присутня деяка напруга V – головний параметр будь-якого джерела живлення. Це дуже важливий момент, який потрібно зрозуміти – за величину напруги в мережі живлення відповідає джерело. Щоб запам'ятати це, достатньо уявити розетку, до якої нічого не підключено – напруга в ній є (230 В), а струму немає.

Якщо з'єднати джерело живлення з навантаженням, наприклад, за допомогою двох проводів, то електричне коло замкнеться, в ньому почне протікати електричний струм I , величина якого буде залежати від обладнання. Це другий важливий момент, який потрібно зрозуміти – за величину струму в колі живлення відповідає споживач (не дарма його називають навантаженням).

Напруга vs. струм

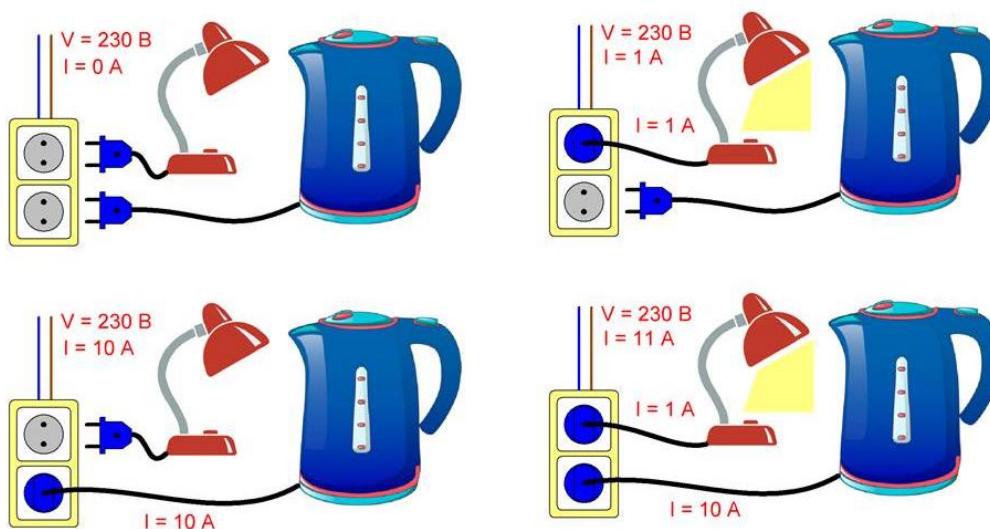


- **Напруга (V) залежить від джерела живлення**
- **Струм (I) залежить від споживача (навантаження)**
- **Потужність (P) дорівнює множині напруги та струму**

$$P = VI$$

І знову уявімо розетку, а точніше, блок з двох розеток. Якщо до них нічого не підключено, то струм в проводах дорівнює нулю. Якщо підключити настільну лампу, то струм в цій ділянці мережі стане дорівнює якомусь значенню, наприклад, 1 А, а якщо підключити замість лампи електричний чайник, то струм зміниться і вже буде іншим, наприклад, 10 А. А якщо підключити одночасно і чайник і лампу, то струм вже буде дорівнює сумі струмів, які споживаються кожним із споживачів, в даному випадку – $10 + 1 = 11$ А. тобто, струм в колі живлення визначається навантаженням – обладнанням, яке виконує корисну роботу.

Напруга vs. струм



Навіть якщо ніяких фізичних комутацій в колі харчування не відбувається, струм, споживаний навантаженням, постійно змінюється. Це пов'язано з тим, що кількість роботи, що виконує обладнання, в кожен момент часу різний. Наприклад, лазерний принтер в режимі очікування споживає струм, практично рівний нулю, адже в цьому стані він просто періодично перевіряє порт і світить «зеленим оком» – енергії для цього потрібно небагато. Але якщо буде потрібно роздрукувати документ, то принтеру доведеться забрати аркуш паперу з лотка, протягнути його через весь механізм, створити за допомогою лазера на світлочутливому барабані електростатичний образ документа, що друкується, перенести тонер з барабана на лист, і тільки після цього вплавити тонер в папір. Всі ці процеси вимагають енергії, тому в процесі друку енергоспоживання лазерного принтера може збільшитися до 1 кВт.

Енергоспоживання лазерного принтеру HP Color LaserJet CP1515n



- Режим очікування – 11,4 Вт
- Робочий режим (друк документа) – 295 Вт

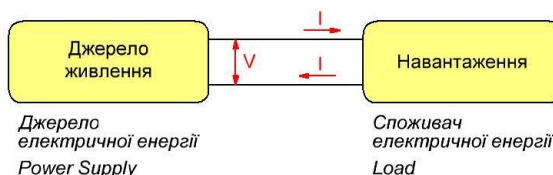
Енергоспоживання у різних режимах відрізняється у 25 разів

Добуток напруги і струму в колі живлення дозволяють визначити потужність P – швидкість, з якою енергія буде переходити від джерела до навантаження:

$$P = VI. \quad (1)$$

В ідеальному випадку напруга V не повинна залежати від струму навантаження I . Отже, потужність P , споживана від джерела живлення, повинна бути прямо пропорційна току I . Однак якщо постійно збільшувати струм, то рано чи пізно настане момент, коли навантаження «зажадає» від джерела харчування енергії більше, ніж він може забезпечити. Оскільки напруга в формулі (1), теоретично, повинно бути незмінною ($V = \text{const}$), то це станеться, коли струм навантаження стане більше деякого максимально допустимого значення I_{MAX} . Максимальний струм навантаження або максимальна потужність також є одними з найбільш важливих параметрів будь-якого джерела живлення – ці параметри показують, яка кількість енергії можна отримати від цього джерела за одиницю часу.

Напруга vs. струм



- **Напруга (V) залежить від джерела живлення**
- **Струм (I) залежить від споживача (навантаження)**
- **Потужність (P) дорівнює множині напруги та струму**

$$P = VI$$

Вихідна напруга і максимальний вихідний струм (максимальна вихідна потужність) є настільки важливими для будь-якого блоку живлення, що їх вказують на корпусі приладу.

Наприклад, зарядний пристрій для смартфона (вторинне джерело живлення) має вихідну напругу $V = 5 \text{ В}$, і максимальний вихідний струм $I_{\text{MAX}} = 2 \text{ А}$. Це означає, що його максимальна потужність P_{MAX} , згідно з формулою (1), дорівнює:

$$P_{\text{MAX}} = VI_{\text{MAX}} = 5 \cdot 2 = 10 \text{ Вт}.$$

Напруга та струм є обов'язковими параметрами любого джерела живлення



Виробники джерел живлення зазвичай вказують тільки два параметри. Одним з параметрів завжди є вихідна напруга V , а ось другим може бути або максимальний вихідний струм I_{MAX} , або максимальна вихідна потужність P_{MAX} . Іноді виробники для «полегшення життя» вказують все три параметра: V , I_{MAX} і P_{MAX} . Але таке маркування є надмірним, адже напруга, струм і потужність пов'язані між собою формулою (1).

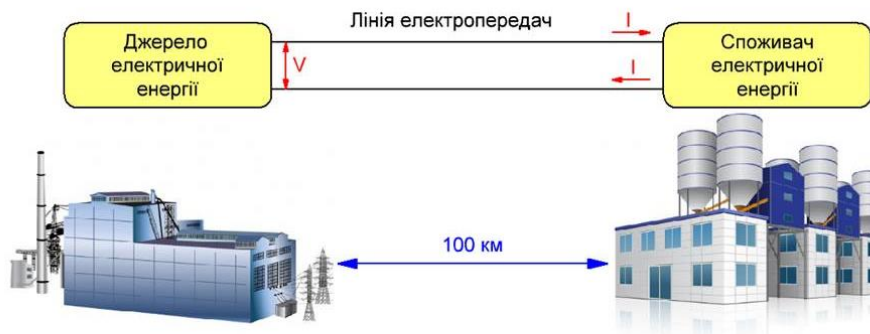
Вплив лінії електропередач на систему електроживлення

А ще формула (1) пов'язує електричні параметри системи електроживлення з енергетичними. Тут слід знову нагадати, що обладнання буде нормально працювати лише в тому випадку, коли воно в кожен момент часу буде забезпечено енергією в потрібній кількості. Тобто, для роботи навантаження необхідно, щоб джерело живлення розвивало необхідну потужність P , а значення її складових – напруги V і струму I – в загальному випадку, не має значення. Це означає, що, теоретично, ми можемо використовувати в системі електроживлення напругу V яке завгодно, адже обладнання створюється людиною, якій ніхто не забороняє використовувати ту напругу, яку йому зручно, наприклад, безпечну для його здоров'я.

Напевно, так би і було на практиці, якщо б джерело електричної енергії завжди знаходився поруч зі споживачем, а ще краще – всередині нього. Але ж людина для того і освоїла електрику, щоб передавати енергію в потрібну йому точку простору. Тому джерело електричної енергії може перебувати на дуже великій відстані від споживача. Я думаю, мало хто з вас зможе хоча б приблизно відповісти, де фізично знаходиться електростанція, що виробляє енергію для комп'ютерів, якими вони зараз користуються.

Через це в системі електроживлення з'являється третій важливий елемент – лінія електропередач (ЛЕП), що зв'язує джерело живлення зі споживачем енергії. І саме проблеми передачі енергії на відстані – навіть на 1 м – змушують збільшувати напругу в системі. Причому обмеження, через які це доводиться робити, хоч і базуються на законах природи, але мають абсолютно нефізичну природу.

Електроживлення заводу



Варіант 1: $V = 1 \text{ В}$ $I = 100 \text{ кА}$ $P = VI = 100 \text{ кВт}$

Варіант 2: $V = 100 \text{ кВ}$ $I = 1 \text{ А}$ $P = VI = 100 \text{ кВт}$

Розглянемо це на прикладі. Нехай у нас є якесь обладнання, наприклад, встановлене на невеликому заводі, яке споживає потужність $P = 100 \text{ кВт}$. І нехай існує електростанція необхідної потужності, але розташована на відстані 100 км від цього підприємства. Розглянемо два варіанти системи електроживлення. Нехай в першому варіанті використовується дуже небезпечна для людини напруга $V = 100 \text{ кВ}$, при якому, струм I буде дорівнювати:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{100 \cdot 10^3}{100 \cdot 10^3} = 1 \text{ А}.$$

У другому випадку виберемо безпечну напругу $V = 1 \text{ В}$, при якому струм буде дорівнювати:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{100 \cdot 10^3}{1} = 100 \text{ кА}.$$

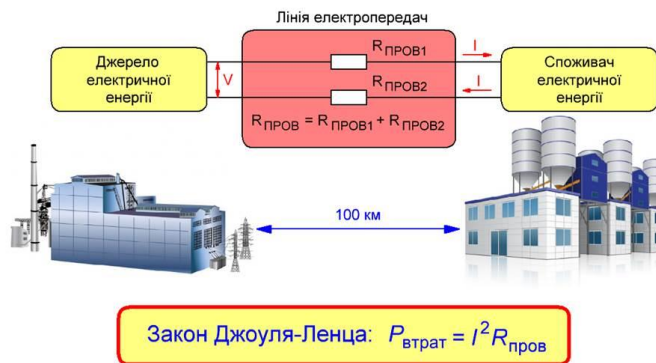
Зверніть увагу, що результат (потужність) в обох випадках однаковий – енергія з потрібною швидкістю і в потрібній кількості буде передаватися через ЛЕП довжиною 100 км і підприємство буде працювати. Але чи будуть ці дві системи однакові за іншими параметрами?

У найпростішому випадку, лінія електропередач складається з двох проводів, які не мають електричного контакту один з одним. А з курсу фізики відомо, що, по-перше, будь-який провідник електричного струму має опір, а по-друге, при протіканні електричного струму по провіднику він нагрівається. Нагрівання провідника є результатом небажаного перетворення електричної енергії в теплову, тобто в лініях електропередач завжди будуть втрати. Потужність втрат в проводах ЛЕП $P_{\text{ВТРАТ}}$ визначається законом Джоуля-Ленца:

$$P_{\text{ВТРАТ}} = I^2 R_{\text{ПРОВ}}; \quad (2)$$

де $R_{\text{ПРОВ}}$ – загальний опір проводів.

Електроживлення заводу



12

З втратами в лінії електропередач доведеться змиритися – вони будуть завжди. Однак ми можемо контролювати їх величину шляхом вибору опору проводів $R_{\text{ПРОВ}}$. Нехай ми втрачатимемо в лінії електропередач до 10% енергії, що передається. В цьому випадку максимальна потужність втрат в проводах ЛЕП $P_{\text{ВТРАТ}}$ дорівнює:

$$P_{\text{ВТРАТ}} = 0,1P = 0,1 \cdot 100 \cdot 10^3 = 10 \text{ кВт}.$$

Визначимо з формули (2), який ж максимальний опір повинні мати проводи ЛЕП. У першому випадку ($V = 100 \text{ кВ}$, $I = 1 \text{ А}$):

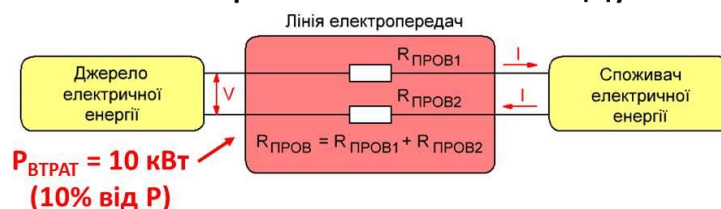
$$R_{\text{ПРОВ}} = \frac{P_{\text{ВТРАТ}}}{I^2} = \frac{10 \cdot 10^3}{1^2} = 10^4 \text{ Ом} = 10 \text{ кОм}.$$

У другому випадку ($V = 1 \text{ В}$, $I = 100 \text{ кА}$):

$$R_{\text{ПРОВ}} = \frac{P_{\text{ВТРАТ}}}{I^2} = \frac{10 \cdot 10^3}{(100 \cdot 10^3)^2} = 10^{-6} \text{ Ом} = 1 \text{ мкОм}.$$

Видно, що опір проводів відрізняється на 10 порядків (в десять мільярдів разів). Багато це чи мало? Поки нічого не зрозуміло – для звичайної людини мікрооми нічим не відрізняються кілооми, тому давайте розбиратися далі.

Електроживлення заводу



Варіант 1 ($V = 1 \text{ В}$, $I = 100 \text{ кА}$)

$$R_{\text{ПРОВ}} = \frac{P_{\text{ВТРАТ}}}{I^2} = \frac{10 \cdot 10^3}{(100 \cdot 10^3)^2} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} = 1 \text{ мкОм}$$

Варіант 2 ($V = 100 \text{ кВ}$, $I = 1 \text{ А}$)

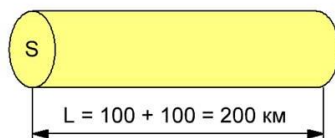
$$R_{\text{ПРОВ}} = \frac{P_{\text{ВТРАТ}}}{I^2} = \frac{10 \cdot 10^3}{1^2} = 10 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 10 \text{ кОм}$$

Електричний провід можна представити у вигляді циліндра (якщо він круглого перетину) або паралелепіпеда (якщо прямокутного) довжиною L і площею перетину S . Електричний опір такого проводу визначається за формулою:

$$R_{\text{пров}} = \rho \frac{L}{S}; \quad (3)$$

де ρ – питомий опір – електричний опір провідника, виконаного з цього матеріалу, довжиною 1 м і площею перетину 1 м² (вимірюється Ом·м).

Залежність величини опору кабелю від його геометричних розмірів



$$R_{\text{пров}} = \rho \frac{L}{S}$$

ρ – питомий опір матеріалу, із якого виготовлений провід (Ом·м)

L – довжина проводу (м)

S – площа поперечного перетину (м²)

Тобто, опір проводу залежить від матеріалу, з якого він виготовлений, а також його фізичних розмірів. З двох геометричних параметрів (довжини L і площі поперечного перетину S) ми можемо змінювати тільки площу поперечного перетину, тому що довжина проводу визначається відстанню між джерелом і споживачем. У нашому випадку електростанція знаходиться на відстані 100 км від підприємства, тому загальна довжина двох проводів буде дорівнювати $L = 100 + 100 = 200$ км.

А з якого матеріалу будемо робити проводи? При всьому багатстві вибору, матеріалів з малим питомим опором в нашому світі не так вже й багато. Найменший питомий опір з усіх металів має срібло. Потім йде мідь, золото, алюміній і залізо. Всі інші доступні метали через високе значення цього параметра малопридатні для використання в якості провідників.

Параметри металів із найменшим питомим опором

Метал	Питомий опір ρ , Ом·м	Питома маса D , кг/м ³	Ціна C , USD/кг
Срібло	$1,59 \cdot 10^{-8}$	10500	730
Мідь	$1,75 \cdot 10^{-8}$	8940	6,5
Золото	$2,44 \cdot 10^{-8}$	19300	59800
Алюміній	$2,82 \cdot 10^{-8}$	2700	1,7
Залізо	$9,80 \cdot 10^{-8}$	7870	0,067

Однак, крім питомого опору, кожен з металів має і інші параметри, що мають важливе практичне значення. В першу чергу нас цікавить питома маса і питома вартість. Ми бачимо,

що срібло і золото є найдорожчими і важкими металами з даного списку. Це означає, що лінія електропередач з золота і срібла при тому ж самому опорі повинна вийти і дорожче і важче ніж при використанні інших металів.

Як приклад визначимо параметри «срібною» лінії електропередач для першого варіанту ($V = 100$ кВ, $I = 1$ А). Для цього з формули (3) визначимо необхідну площу поперечного перетину S :

$$S = \frac{\rho L}{R_{\text{пров}}} = \frac{1,59 \cdot 10^{-8} \cdot 200 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} = 0,318 \text{ мм}^2.$$

Для виготовлення двох проводів такого перетину потрібно срібний зливоч об'ємом V :

$$V = LS = 200 \cdot 10^3 \cdot 0,318 \cdot 10^{-6} = 0,0636 \text{ м}^3.$$

Його маса m , буде дорівнює:

$$m = DV = 10500 \cdot 0,0636 = 668 \text{ кг}.$$

І тепер можна визначити вартість металу C , необхідного для виготовлення двох провідників ЛЕП:

$$C = Cm = 730 \cdot 668 = 487494 \text{ USD}.$$

Срібна ЛЕП ($V = 100$ кВ, $I = 1$ А)

Площа перетину кабелю:

$$S = \frac{\rho L}{R_{\text{пров}}} = \frac{1,59 \cdot 10^{-8} \cdot 200 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} = 0,318 \text{ мм}^2$$

Об'єм кабелю:

$$V = LS = 200 \cdot 10^3 \cdot 0,318 \cdot 10^{-6} = 0,0636 \text{ м}^3$$

Маса кабелю:

$$m = DV = 10500 \cdot 0,0636 = 668 \text{ кг}$$

Вартість кабелю:

$$B = Cm = 730 \cdot 668 = 487494 \text{ USD}$$

Виконаємо аналогічні операції для інших варіантів і подивимося, що в підсумку вийде. Відразу звертаємо увагу, що для передачі енергії найкраще використовувати алюмінієві дроти. Звичайно, найдешевше було б використовувати залізо, але для створення «залізної» ЛЕП такою ж пропускною здатності потрібні в чотири рази збільшити перетин проводів, що призведе до збільшення їх маси в 10 раз. Не найкращим варіантом для проводів ліній електропередач є й мідь. Так, мідні дроти матимуть менший діаметр, проте через високу питому маси міді їх маса буде в два рази більше, ніж алюмінієвих, а це призведе до збільшення їх вартості в вісім разів.

Параметри ЛЕП ($V = 100 \text{ кВ}$, $I = 1 \text{ А}$)

Матеріал проводів	$V = 100 \text{ кВ}$, $I = 1 \text{ А}$			
	Перетин, мм^2	Об'єм, м^3	Вага, т	Вартість, тис. USD
Срібло	0,32	0,06	0,67	488
Мідь	0,35	0,07	0,63	4,07
Золото	0,49	0,10	1,88	112644
Алюміній	0,56	0,11	0,30	0,52
Залізо	1,96	0,39	3,09	0,21

Таким чином, мідь і алюміній є найбільш придатними матеріалами для електричних проводів, а золото і срібло для створення шляхів протікання електричного струму використовується тільки у випадках, коли не залишається іншого виходу, найчастіше – в електроніці, наприклад, при виробництві мікросхем.

Потужні системи електроживлення будуються на основі алюмінієвих проводів – в цьому випадку ЛЕП виходять легше і дешевше, ніж при використанні інших матеріалів. Мідні проводи використовуються, в основному, в останніх сегментах ЛЕП – для створення мереж з низькою напругою (230/400 В) для так званої «останньої милі». У цьому випадку на вибір міді в якості основного металу провідників впливають її інші характеристики: більш висока пластичність, простота з'єднань з іншими металами (наприклад, мідь, на відміну від алюмінію, дуже добре паяється) та інші. І, звичайно ж, мідь є основним провідниковим матеріалом в електроніці – в області, де струм величиною 1 А, є настільки великим, що вимагає створення спеціальних умов для його протікання.

Другим важливим висновком, що випливають з результатів розрахунків, є те, що лінію електропередач потужністю 100 кВт з напругою 1 В не можна побудувати фізично – через ультрамалі необхідні опори проводів (1 мкОм) довжиною 200 км, цифри виходять астрономічні. Наприклад, з золота її зробити не вийде, навіть якщо дуже сильно захотіти – за всю історію людства було видобуто всього близько 160 тисяч тонн цього металу, а для відливання двох проводів 1-вольтової ЛЕП його потрібно майже 19 мільярдів тонн.

Параметри ЛЕП ($V = 1 \text{ В}$, $I = 100 \text{ кА}$)

Матеріал проводів	$V = 1 \text{ В}$, $I = 100 \text{ кА}$			
	Перетин, м^2	Об'єм, млн. м^3	Вага, тис. т	Вартість, млрд. USD
Срібло	3180	636	6678	4874940
Мідь	3500	700	6258	40677
Золото	4880	976	18837	1126440640
Алюміній	5640	1128	3046	5178
Залізо	19600	3920	30850	2067

Щоб наочно уявити собі грандіозність і безглуздість ЛЕП з напругою 1 В, визначимо діаметр провідників для найкращого – «срібного» – варіанта, що має найменший перетин. В даному випадку, щоб круглий провідник мав площу поперечного перетину $S = 3180 \text{ м}^2$, необхідно, щоб його діаметр d дорівнював:

$$d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3180}{\pi}} = 64 \text{ м}.$$

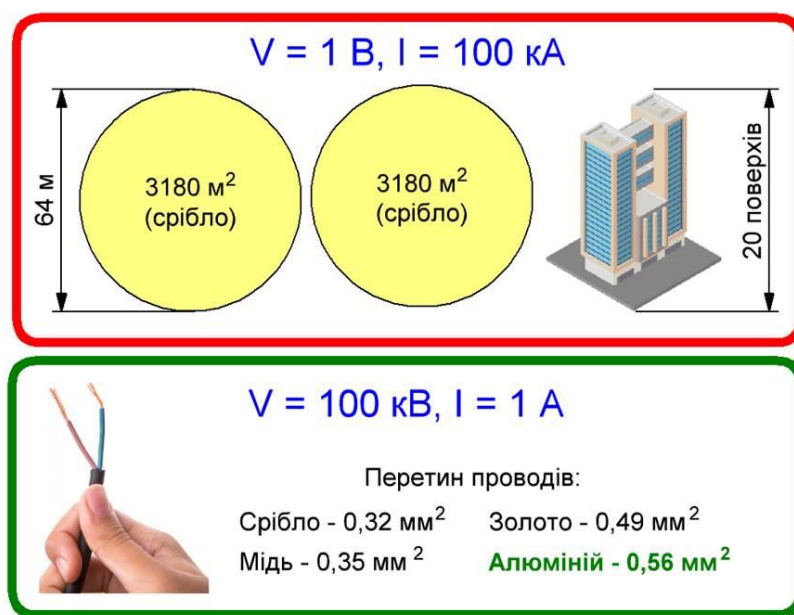
Приблизно таку висоту має 20-поверховий будинок. А зменшити діаметр провідників при настільки низькій напрузі не можна – збільшення опору призведе до збільшення втрат. Наприклад, ЛЕП з опором 10 кОм, що прекрасно працює при напрузі 100 кВ, при напрузі 1 В, навіть якщо замкнути її кінці, буде протікати струм, рівний:

$$I = \frac{V}{R_{\text{пров}}} = \frac{1}{10 \cdot 10^3} = 0,1 \text{ мА}.$$

Це означає, що 100-кіловольтова ЛЕП від джерела живлення з напругою 1 В зможе «забрати» потужність, рівну всього:

$$P = VI = 1 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3} = 0,1 \text{ мВт}.$$

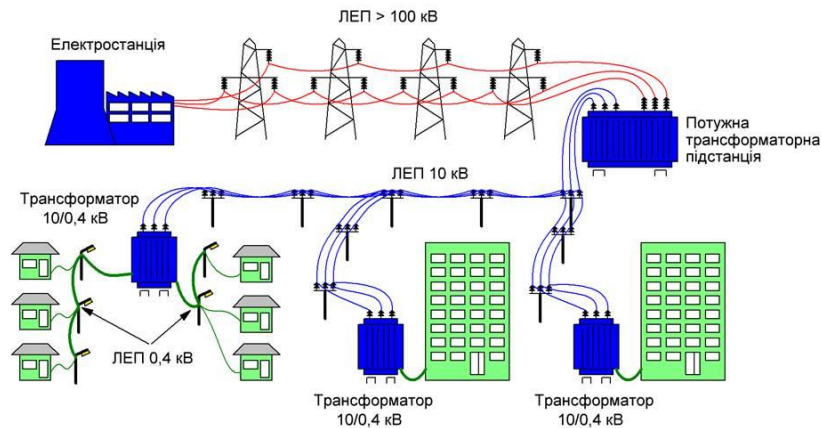
Тобто, лінія електропередач, через яку при напрузі 100 кВ можна спокійно передавати енергію зі швидкістю 100 кВт, при напрузі 1 В не зможе передати навіть мілівата енергії.



Тому чим більше відстань, на яку потрібно передати енергію і чим більше потужність, тим вище напруга буде в системі електроживлення. Через це будь-яка електрична енергосистема дуже має чітку ієрархічну структуру. Розглянемо як приклад промислову мережу змінного струму – ту, до якої підключені наші розетки. На електростанціях, що генерують потужні енергетичні потоки, напруга збільшується до величини, що іноді перевищує 1 МВ. Електрична енергія з такою напругою за допомогою високовольтних ЛЕП передається на сотні кілометрів до великих споживачів, наприклад, міст або великих підприємств. У певних місцях – на трансформаторних підстанціях – ця напруга знижується, а потім, вже за допомогою інших ЛЕП, розрахованих на меншу напругу, розподіляється між

групами споживачів з меншою потужністю, розташованих відносно недалеко від підстанції. Потім за допомогою інших трансформаторних підстанцій – ще меншої потужності – вона знижується знову і знову розподіляється за допомогою ліній електропередач. В кінці, після декількох перетворень, кількість яких залежить від потужності і відстані, напруга знижується до величини 230 В і досягає наших розеток.

Промислова мережа змінного струму



Саме такий принцип побудови має енергетична система України та й інших держав. Мережа електростанцій різної потужності – починаючи від потужних АЕС, ТЕС та ГЕС і закінчуючи невеликими сонячними та гідроелектростанціями об'єднується за допомогою високовольтних ліній електропередач у єдину синхронізовану мережу. До цієї мережі, також за допомогою високовольтних ЛЕП та трансформаторних підстанцій підключаються потужні споживачі – міста села та крупні підприємства. А вже всередині крупних споживачів існують свої розподільні мережі з меншою напругою, що дозволяють доставити енергію до конкретного споживача. При цьому зверніть увагу, що енергетична система України не є ізольованою. Вона підключається до аналогічних енергетичних мереж інших країн, що дозволяє імпортувати електричну енергію у випадку потреби та експортувати її в інші країни у випадку наявності залишків.

Електрична мережа України

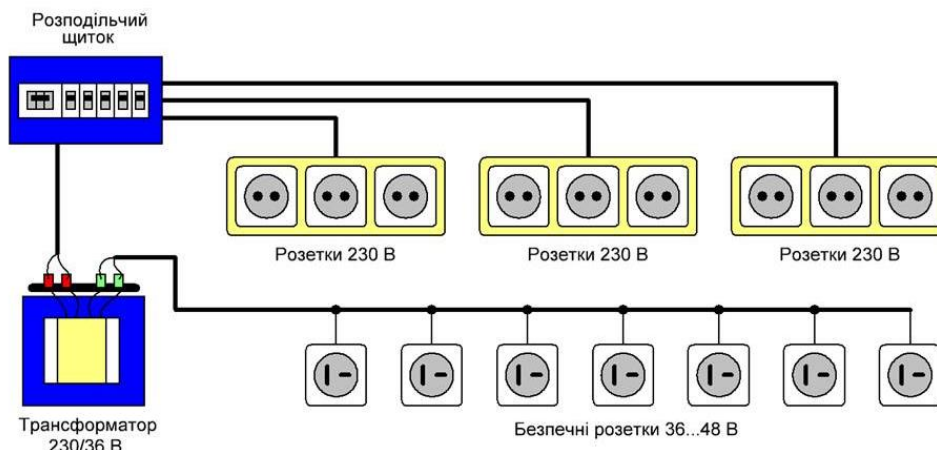


При подальшому зменшенні напруги, наприклад, на рівні електропроводки будівлі, економічні питання і зручність користування вже починають вступати в протиріччя з питаннями безпеки. Електрообладнання, як промислове, так і побутове, може мати найрізноманітнішу потужність. І напруга 230 В, а точніше комбінація напруг 230/400 В,

присутня в трифазній промисловій мережі, виявилася найбільш зручною і економічно вигідною для живлення устаткування, яке споживає потужністю від часток ватів до декількох сотень кіловат.

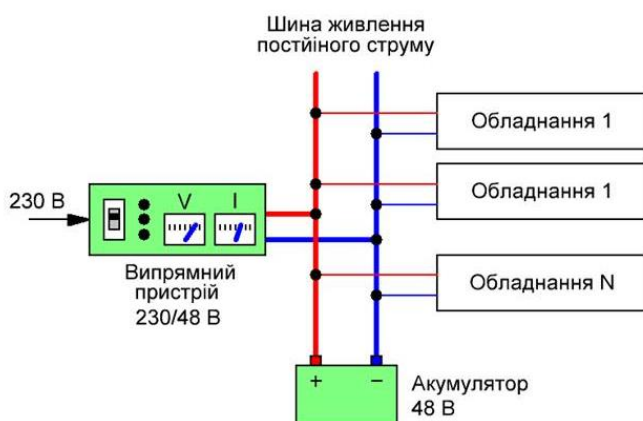
Але це не означає, що далі напругу знижувати не можна. Якщо це необхідно, то створюються окремі ЛЕП з напругою і менше 230 В. Наприклад, в навчальних класах для підвищення рівня безпеки може бути створена окрема живильна мережа з напругою 36...48 В, від якої будуть працювати паяльники, лампи і інше навчальне обладнання.

Безпечна система низької напруги



Для живлення телекомунікаційного обладнання також можуть бути створені окремі лінії живлення постійного струму з напругою 48 В, в які енергія буде надходити через спеціалізований випрямний пристрій.

Електроживлення телекомунікаційного обладнання



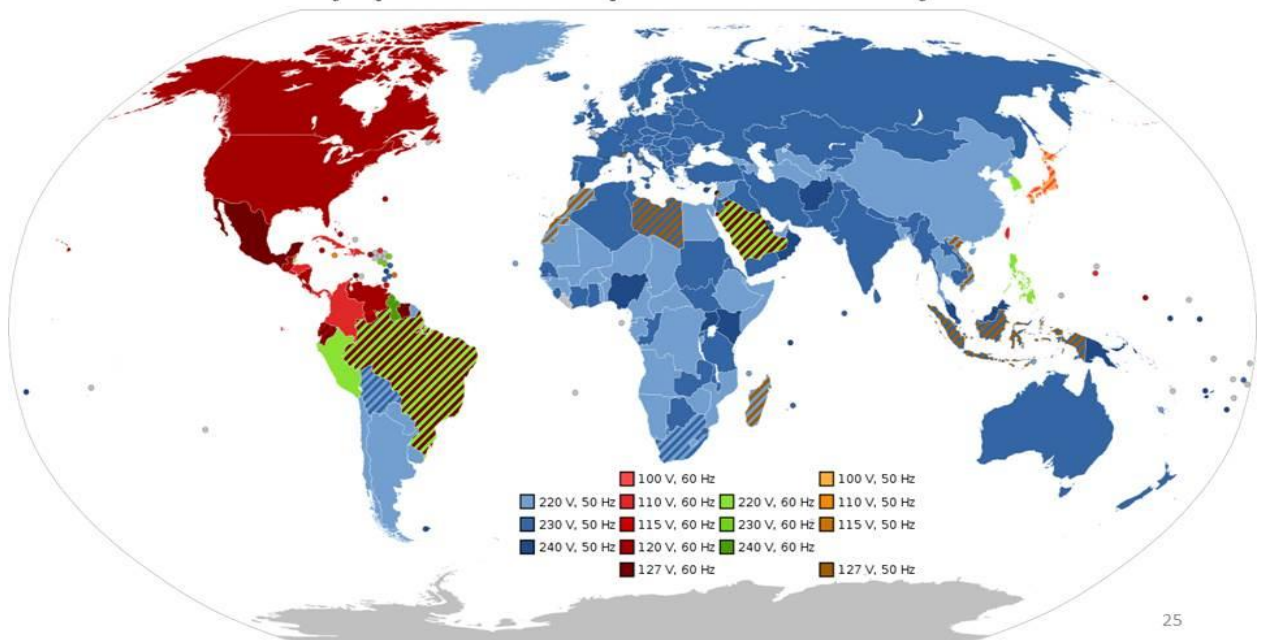
Таким чином, вибір напруги в електромережі все-таки визначиться здоровим глуздом, хоч для цього іноді і доводиться йти на компроміс і ставити під загрозу людське життя. Але, як показує практика, більшість бід, створюваних електрикою, походить не від самого електрики, а від дурості і необізнаності людей, які нею користуються. Грубе порушення

правил улаштування та експлуатації електроустановок, ігнорування елементарними правилами захисту від ураження електричним струмом – ось основні причини пожеж та загибелі людей від електрики. Хоча слід зауважити, що, в порівнянні з обладнанням, яке використовує відкритий вогонь, електрична техніка набагато безпечніше.

Чому саме 230 В?

Почнемо з того, що напруга такої величини в розетках була не завжди, і в різних країнах вона різна. Кожна держава має право самостійно встановлювати стандарти електроживлення і багато країн, в свій час, цим активно скористалися. На сьогоднішній день поширені дві напруги живлення для кінцевого електрообладнання: 110...120 В і 220...240 В. Зверніть увагу, що ці напруги відрізняються в два рази, і це не випадковість.

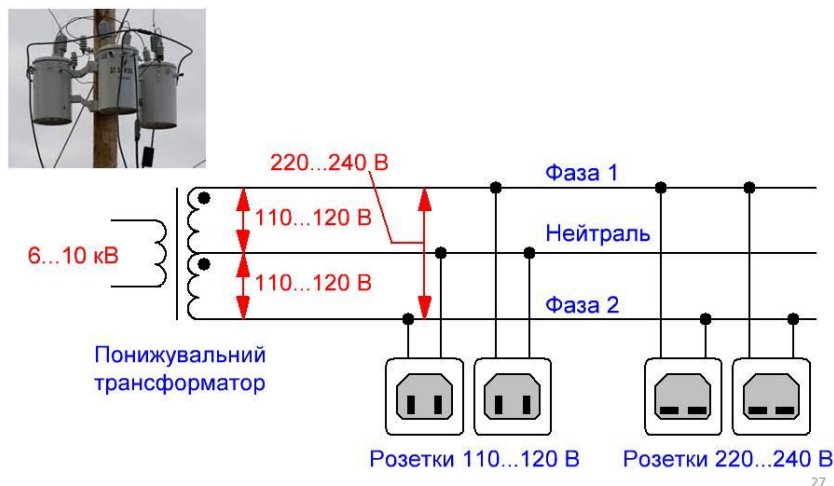
Напруга та частота мережі у різних країнах світу



25

Насправді, країни з низькою напругою в електромережі, наприклад, США і Японія, вже давно зіткнулися з проблемою підключення потужного обладнання. Тому вони використовують двохфазну систему живлення, яку можна представити у вигляді двох послідовно з'єднаних джерел з напругою 110..120 В. Малопотужні споживачі підключаються до нейтрального і одного з фазних проводів і живляться напругою 110...120 В. А потужні – до двох фазних проводів, при цьому напруга живлення подвоюється і стає рівною 220 ... 240 В. Щоб випадково не переплутати і не підключити обладнання до «неправильного» джерела в цих країнах для напруги 110 В і 220 В використовують різні розетки, що виключає помилкове підключення.

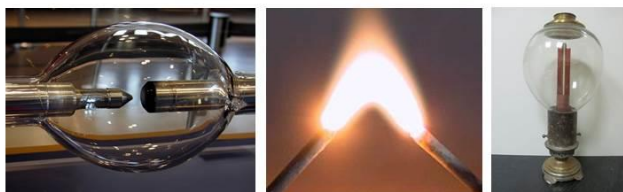
Система електроживлення із напругою 110...120 В



Простежити походження цифри 110 В зараз вже досить складно. На самому початку комерційного використання електрики – в першій половині XIX століття – воно використовувалося, в основному, для освітлення. Першими електричними освітлювальними приладами були дугові лампи, для роботи яких потрібно напруга близько 45 В. Досить швидко було встановлено, що для стійкого горіння цього освітлювального приладу в коло живлення потрібно встановлювати баластний резистор, падіння напруги на якому сягала 20 В. Таким чином, для роботи перших ламп потрібно напругу не нижче 65 В.

Практичний досвід будівництва та експлуатації електричних систем освітлення показав, що для комерційного успіху необхідно встановлювати електростанції мало не біля кожного ліхтаря – занадто дорогі були проводи і занадто мало вони передавали енергії. Дуже швидко фахівці стали включати по дві дугові лампи послідовно, що дозволило збільшити пропускну здатність прокладених кабелів практично в два рази. Так з'явилася напруга 110 В ($45 + 45 + 20$). Згодом, щоб компенсувати падіння напруги на проводах, її збільшили на 5...10 В, в результаті чого з'явилися напруги 115 ... 120 В.

Чому саме 110/220 В?



Дугова лампа (свічка Яблочкова)

- 45 В – необхідна напруга для роботи лампа
- 20 В – падіння напруги на баластному резисторі

Напруга для работ двох ламп з'єднаних послідовно:

$$45 + 45 + 20 = 110 \text{ В}$$

27

Важливу роль в появі напруги 110 В, скоріш за все, зіграв також і Томас Едісон – його перші лампи розжарювання відразу були розраховані на 110 В. За неперевіреними даними, йому просто подобалося це число, хоча могли бути і інші технічні і економічні причини

вибору саме цієї напруги. Та коли з'явилися потужні споживачі електроенергії, в США, де йшов найбільш бурхливий розвиток комерційної електрики, вже було досить велика кількість електроустаткування і розподільних систем, розрахованих на 110 В, і міняти стандарти стало вже занадто дорого.

У країнах Європи масово використовувати електрику стали набагато пізніше – ближче до кінця XIX століття. До цього часу, завдяки досвіду США, вже були відомі недоліки і обмеження існуючих систем. Тому в країнах Європи досить швидко стали впроваджувати обладнання, розраховане на подвійну напругу 220 В, хоча перший час – до стандартизації – в Європі також існували системи, що використовували 110 В. Крім того, в країнах Європи практично відразу стали застосовувати змінний струм і трифазні системи електропостачання, що дозволило уникнути багатьох проблем, властивих системам на основі постійного струму.

А що буде якщо...?

А що буде, якщо зараз взяти (зрозуміло, виключно заради нашої безпеки) і відмовитися від використання високої напруги в розетках. Адже може ж уряд прийняти закон, що забороняє використання в побуті напруги вище допустимого наднизького значення. Як тоді зміниться наше життя? Розглянемо це на прикладі.

Більшість електричних розеток розраховані на струм, що не перевищує 16 А. Виготовити розетки на більший струм технічно можна, але працювати з ними буде вкрай незручно – через більшу площу контакту і більшу силу притиску користуватися такими розетками зможуть лише спеціально навчені люди з сильними руками.

При струмі 16 А і напрузі 230 В максимальна потужність, яку можна отримати з розетки, дорівнює:

$$P = VI = 230 \cdot 16 = 3,68 \text{ кВт}.$$

Ця потужність є технічною межею для побутового обладнання, не розрахованого на стаціонарне підключення. При цьому тривалий час витримати струм 16 А і не розплавитися можуть далеко не всі вилки і розетки, навіть якщо на них намальовано, що вони на це розраховані. Знаючи це, виробники обладнання намагаються не створювати прилади, розраховані на підключення до розеток, що споживають струм більше 10 А. Таким чином, реальна потужність обладнання, що підключається до розеток, обмежена на рівні, приблизно 2,3 кВт. Більш потужне обладнання підключається до мережі іншими способами і за іншими схемами, які будуть розглянуті трохи пізніше.



Максимальний струм електричної розетки $I = 16 \text{ А}$

Напруга у розетці $V = 230 \text{ В}$

Максимальна потужність

$$P = VI = 230 \cdot 16 = 3,7 \text{ кВт} \\ \text{(реальна } 10 \text{ А, } 2,2 \text{ кВт)}$$

Безпечна напруга $V = 60 \text{ В}$

Максимальна потужність

$$P = VI = 60 \cdot 16 = 960 \text{ Вт}$$

А тепер зменшимо напруга в розетці до максимально можливої безпечної величини – 50 В, яка, до речі, не дає ніяких гарантій безпеки. При реальному струмі 10 А, обмеженому можливостями і ціною побутових розеток, максимальна потужність, яку можна отримати з системи електроживлення, буде дорівнює:

$$P = VI = 50 \cdot 10 = 500 \text{ Вт}.$$

При такій потужності чайник буде гріти воду в чотири рази довше, ніж звичайно, пилосос буде збирати по три порохинки в секунду, а кондиціонер зможе охолодити повітря тільки в будиночку хом'ячка. А щоб підключити більш потужне обладнання, доведеться повністю переробити електропроводку, оскільки всі розетки, кабелі, автомати розраховуються на основі не напруги, а струму, який вони можуть пропустити протягом тривалого часу.

Висока напруга і шарлатани

Потужні електричні енергосистеми повинні бути високовольтними – ми це вже з'ясували, і це знання підкріплено математичними розрахунками, заснованими на законах фізики. Однак зворотне твердження – високовольтні системи повинні бути потужними – невірно, тому що потужність, згідно з формулою (1), є добутком напруги і струму. Якщо струм в високовольтній системі малий, то і потужність буде невеликою.

Прикладами малопотужних високовольтних систем є:

- газові електрозапальнички, в яких напруга пальчикової батарейки (1,5 В) збільшується до декількох кіловольт, при цьому струм, споживаний від джерела живлення, не перевищує декількох міліампер, а потужність – кілька десятків міліват;

- автомобільна система запалювання, яка працює так само як і електрозапальнички – напруга, що подається на свічки двигуна, досягає 30 кВ, в той час як енергія, що витрачається на один розряд у свічці, не перевищує 0,1 Дж, таким чином, загальна потужність цієї системи не перевищує 25 Вт;

- кінескопи старих телевізорів і моніторів – на їх другий анод подається напруга 12...16 кВ (чорно-білі) або 25 кВ (кольорові), при цьому максимальний струм анода не перевищує 300 мкА (чорно-білі) та 1 мА (кольорові), таким чином, максимальна потужність високовольтних джерел живлення кінескопів не більш як 5 Вт (чорно-білі) і 25 Вт (кольорові).

Висока напруга, мала потужність



$$V = 25 \text{ кВ}$$

$$I = 1 \text{ мА}$$

$$P = 25 \text{ Вт}$$

На жаль, існує певне коло людей, які від словосполучення «висока напруга» впадають в екстаз і принципово не хочуть бачити різниці між «великою напругою» і «великою потужністю». Особливо багато таких людей серед «дослідників» ефіру, «вільних енергій», «торсійних полів» та інших подібних «явищ». Я згоден, що вид неодимового магніту, який

пролітає повз котушки, причаровує, а спостереження на екрані осцилографа імпульсів з амплітудою кілька сотень вольт надає надію що «ми на вірному шляху до безкоштовної енергії». Але практично завжди ці люди просто приймають бажане за дійсне і, з різних причин, не хочуть докладно розбиратися в процесах, що відбуваються в їх пристроях.

Висока напруга та шахраї



У багатьох людей висока напруга асоціюється із високою потужністю

Потужність це добуток напруги та струму, якщо при високій напрузі буде малий струм, то і потужність буде малою

І на це можна було б не звертати уваги, якби не можливість «віщати на весь світ», що з'явилася після розвитку мережі Інтернет. На жаль, володіючи певною харизмою, ці люди, в очах ще більш неосвічених людей, стають «авторитетами» з деяких питань. А це вже прямий шлях до шахрайства.

Зараз в мережі можна зустріти досить велику кількість доступних для придбання конструкторів і готових пристроїв, які обіцяють «безкоштовну» електрику у вигляді імпульсів високої напруги, «витягнутих» з 12-вольт. Погоджуючись на подібні пропозиції, люди за реальні гроші отримують, в кращому випадку, макет для демонстрації явищ, виявлених ще Фарадеєм. Тому не попадайтеся на виверти шахраїв і пам'ятайте, що наявність високої напруги ще не означає наявності великої потужності – в більшості випадків, струм в подібних пристроях виявляється занадто малий для практичного застосування. А якщо навіть і струм, і напруга великі, що свідчить про велику миттєву потужність, то є ще час тривалості цього стану, що визначає кількість енергії – головний параметр для визначення ККД.

Мені не раз доводилося спілкуватися з «шукачами вільних енергій», в тому числі і особисто. Але поки що нікому з них не вдалося об'єктивно довести факт отримання «енергії з нічого» – досить швидко їх акумулятори сідали, а «чудо-мотори» зупинялися. Але це не означає, що подібні експерименти не потрібно проводити зовсім – врешті-решт, саме такі вперті та цілеспрямовані люди і відкривають нові закони і явища. Однак для цього потрібно багато працювати і добре знати вже відомі і вивчені речі, а найголовніше – не боятися і не лінуватися сумніватися і перевіряти себе.

Висновки

Напруга і струм, хоч вони і пов'язані між собою, визначаються різними компонентами системи електроживлення: напруга – джерелом, а струм – споживачем електричної енергії. Ці параметри ні в якому разі не можна плутати. Окремо ні напруга, ні струм не виконують ніякої корисної функції. Відповідно до формули (1), навіть якщо у нас буде мільярд мільярдів вольт, але струм буде дорівнює нулю, користі від такої системи не буде ніякої, тому що енергія споживається електроприладом тільки в разі одночасної присутності на його виводах живлення і напруги, і струму. Тільки в цьому випадку обладнанням буде виконуватися корисна робота, і його використання буде мати практичний сенс.

А ось конкретні значення напруги і струму вже визначаються здоровим глуздом і досвідом, накопиченим за два століття комерційного використання електрики. І хоч в наших розетках і присутня небезпечна для життя напруга, її величина є технічно і економічно обґрунтованою і її зміна потягне за собою зміну якості нашого життя. Тому з високою напругою доведеться змиритися. Але найголовніше – з нею треба навчитися правильно «товаришувати», оскільки безпечною електрика буде лише при обов'язковому дотриманні всіх правил поведінки з електропроводкою і електричними приладами.

Висновки

- Для передавання електричної енергії на великі відстані потрібно підвищувати напругу
- Чим більша напруга, тим дешевша лінія електропередач (ЛЕП)
- Чим більша потужність, та чим більша відстань передачі, тим більша напруга у ЛЕП
- Якщо зменшити напругу у розетці до безпечної величини (60 В), то більшість сучасної побутової техніки не буде працювати через обмеження у потужності

Лекція 3. Особливості передавання енергії за допомогою постійного та змінного струмів

Кваліфікований системний адміністратор може сміливо претендувати на роль людини-невидимки на будь-якому підприємстві, особливо з великим числом комп'ютерів, де дрібними технічними проблемами, такими як заміна мишок або підключення до корпоративної інформаційної системи, займаються рядові інженери IT-відділу. Я не раз був свідком того, як співробітники, що не один місяць пропрацювали з системним адміністратором в сусідніх кабінетах, навіть не знали його імені. Тому дуже складно уявити собі, що людина, що проводить весь робочий день у віртуальному світі, може стати причиною серйозного матеріального збитку або загибелі людей.

І мова йде не про банальний кримінал або новомодних кіберзлочини, коли навмисне крадуться бази даних або надається несанкціонований доступ до системи. Йдеться про приховану професійну некомпетентність, коли системний адміністратор замовляє обладнання, використання якого в великих офісах і бізнес-центрах може призвести до пожежі з усіма наслідками, що звідси випливають. При цьому обладнання може бути цілком якісним і в звичайних умовах, наприклад, при використанні вдома, може «чесно» відпрацювати визначений термін. А ось в приміщеннях з великим числом комп'ютерів його експлуатація може призвести до перевантаження офісної проводки, в результаті якої всі електроприлади, починаючи від лампочок і закінчуючи дорогим спеціалізованим обладнанням, в кращому випадку, просто зламаються, а в гіршому – згорять, в прямому сенсі цього слова.

Ситуація ускладнюється ще й тим, що винуватими в цій ситуації, швидше за все, зроблять електриків (енергетиків) – адже саме їх система вийшла з ладу. Звичайно, в подібних аваріях певна вина енергетиків, безумовно, є. Вони повинні були вчасно визначити факт перевантаження електропроводки і запобігти розвитку аварійної ситуації. Вони повинні були заборонити експлуатацію невідповідного IT-обладнання та вказати IT-фахівцям на прогалини в їх освіті.

У яких випадках системний адміністратор може стати причиною загибелі людей?



В деяких компаніях системного адміністратора ніхто не знає в обличчя

Але, на жаль, енергетики також бувають некомпетентними. Крім того, «велике начальство», що підбирає керівний персонал і виділяє гроші на електро- та IT-обладнання, теж не любить зізнаватися в своїх помилках. Тому у висновках комісій, які розслідують причини подібних інцидентів, справжня причина – бажання керівництва заощадити на «залізі», посилене «слабкостями» системного адміністратора і головного енергетика – зазвичай не вказується. Винним найчастіше зроблять рядового електрика, що не «докрутив» гайку в нульовий планці розподільного щитка. А враховуючи, що між моментом прийняття неправильного рішення і виникненням аварії може пройти кілька років, то конкретних винних іноді навіть не вдається знайти.

Однак проблема від цього нікуди не зникає, і з кожним роком енергетики стають все більш кваліфікованими, розуміючи, що надійна робота їх систем електропостачання залежить не тільки від якості проводів і розеток, але і від параметрів питомого обладнання. Тому хороший IT-фахівець, приймаючи рішення про придбання тієї чи іншої техніки,

повинен в обов'язковому порядку враховувати, наскільки якісно вона споживає електричну енергію, хоча б для того, щоб виключити можливість звинувачення в професійній некомпетентності.

У попередніх лекціях було розглянуто загальні моменти, що стосуються генерації і споживання електричної енергії, в тому числі і особливостей її передачі на великі відстані. Тепер, коли відомо, що при передачі великих потужностей без високої напруги не обійтися, настав час розібратися з одним з найважливіших ділянок системи електропостачання, так званої «останньої милі» – електропроводки з напругою 230/400 В, адже саме до цього сегменту підключені електричні розетки як вдома, так і на виробництві. Однак перш ніж приступити до вивчення особливостей користувацького сегмента системи електропостачання доведеться спочатку розглянути кілька теоретичних питань, оскільки без цього буде незрозуміло, чому було зроблено саме так.

Що ми вже знаємо

- Електрика використовується людьми у якості проміжної ланки для передачі енергії у необхідну точку простору
- Потужність – це швидкість передавання енергії
- Для передачі енергії на великі відстані потрібно використовувати високу напругу
- Чим більша потужність, та чим більша відстань для передачі енергії, тим більшу напругу буде мати лінія електропередач (ЛЕП)
- **Напруга у електричній розетці дорівнює 230 В**

Чим відрізняється постійна напруга від змінної

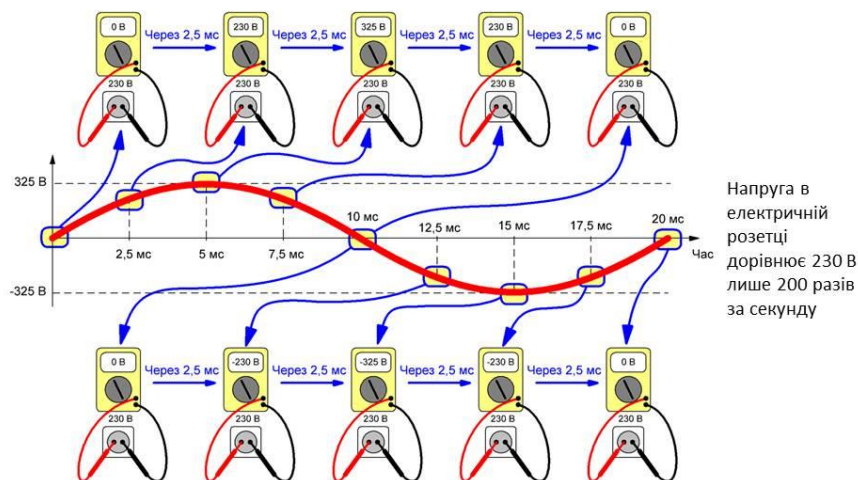
Навіть люди далекі від техніки знають, що при установці батарейок, наприклад, в дитячу іграшку або пульт дистанційного керування, потрібно дотримуватись полярності – неправильна установка цих елементів живлення, в кращому випадку, призведе до того, що пристрій просто не буде працювати, а в гіршому – виведе з ладу і обладнання, і елемент живлення. Тому на корпусах батарейок завжди вказують, який з виводів має позитивний (позначається значком «+»), а який – негативний (позначається значком «-») потенціал. Більш того, при створенні подібних джерел живлення їх термінали зазвичай роблять різними, щоб запобігти можливості помилкового підключення. У неформальному спілкуванні цей захист зазвичай називають «захистом від дурня». Прикладом тому є батарейка «Крона», термінали якої дозволяють надійно підключити відповідну частину роз'єму батареї тільки в правильній полярності.

Полярність напруги джерел постійної напруги



У той же час, в типових електричних розетках два контакти, призначених для протікання струму, є абсолютно однаковими, що дозволяє вставляти вилку в розетку двома способами. При цьому ні про яку полярність підключення при використанні побутових електроприладів мови не йде. Це пов'язано з тим, що напруга в електричних розетках

постійно змінює свою величину. Якщо взяти, наприклад, деякий ідеалізований вольтметр, здатний миттєво проводити вимірювання, і визначити напругу в розетці, то виявиться, що в різні моменти часу воно буде приймати зовсім різні значення. Тобто в певний час полярність напруги в розетці буде умовно позитивна, в інший – умовно негативна, а в деякі моменти напруга буде взагалі дорівнює нулю.



У україномовній технічній літературі напругу, здатну змінити свою полярність, називають «змінною», а напругу, полярність якого не змінюється – «постійною». Багатьом початківцям фахівцям дуже складно засвоїти ці поняття. У звичайних людей слово «постійний» міцно пов'язане зі словом «незмінний», а, оскільки в нашому світі все змінюється, то і постійного (незмінного) напруги не може існувати. Більш того, будь-яка напруга живлення не постійна, наприклад, ми ж вимикаємо іноді радіоприймач, отже, його напруга живлення зникає (змінюється), тому багато моїх студентів впевнені, що радіоприймачі живляться змінною (непостійною) напругою.

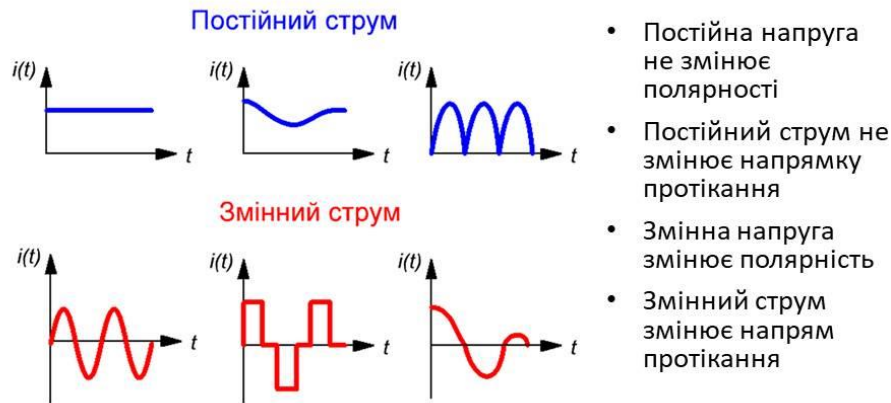
Види струму

- **Постійний струм** (Direct Current, DC) – струм, напрям протікання якого не змінюється
- **Постійна напруга** (Direct Voltage) – напруга, полярність якої не змінюється
- **Змінний струм** (Alternating Current, AC) – струм, напрям протікання якого може змінюватися
- **Змінна напруга** (Alternating Voltage) – напруга, полярність якого може змінюватися

Більш точно ці терміни описані в англійській технічній літературі. Змінній напрузі відповідає термін «Alternating Voltage», який можна дослівно перекласти як напруга, що «чергується» або «переміжна» напруга – напруга, полярність якої постійно змінюється. Аналог «постійного» напруги – «Direct Voltage» – можна перекласти як «спрямована» напруга – напруга, яка не змінює своєї полярності.

Однак змінити усталену термінологію, зафіксовану в багатьох нормативних документах, вже неможливо, тому доведеться звикати, що змінна напруга – це напруга, що постійно (!) міняє свою полярність і величину, а постійна напруга може змінювати свою величину, але не може змінювати полярність, тобто теж не є, в абсолютному значенні слова, непостійною.

Постійний vs. Змінний струм



До речі, якщо постійна напруга періодично змінює свою величину, то її часто називають пульсуючою напругою – напругою, величина якої змінюється з певною частотою при незмінній полярності. Різниця між постійною і пульсуючою напругою вельми умовна, часто одну і ту ж напругу одні фахівці називають постійною, а інші – пульсуючою. Однак в курсі «Основи електроживлення» не передбачено таке глибоке вивчення цього питання, тому далі будемо вважати, що існує два види напруги: постійна (не міняє полярність) і змінна (полярність якої змінюється).

Ключові особливості змінної напруги

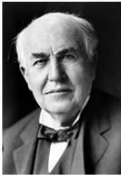
Отже, батарейка є джерелом постійної напруги, а електрична розетка – змінної. Але чому для потужних енергосистем було обрано саме цей спосіб передачі енергії, адже більшість електроприладів, в тому числі і електронне обладнання, від джерел змінної напруги принципово працювати не можуть і вимагають додаткового перетворення змінної напруги в постійну?

AC/DC – перетворювач змінного струму на постійний (випрямляч)



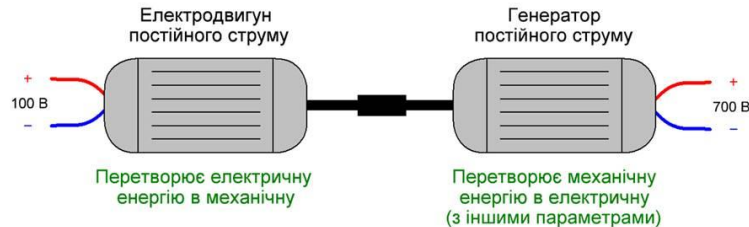
На самому початку комерційного використання електрики постійний струм був уже непогано вивчений, а змінний вважався малоприматним для практичного застосування. Більш того, змінний струм вважали шкідливим і небезпечним для людини. Не останню роль в цьому зіграло протистояння Томаса Едісона і Джорджа Вестінгауза, відоме як «Війна струмів», що почалося в 80-х роках 19-го століття і закінчилося тільки в 2007 році повною перемогою змінної напруги. Період «Війни струмів» був не найкрасивішим в історії, і якби не роботи Нікола Тесла, який виконав величезний обсяг досліджень властивостей змінного струму, то невідомо як би взагалі розвивалися електричні системи.

Війна струмів (1884 – 2007)

Постійний струм		Змінний струм	
 Томас Альва Едісон 1847-1931	Переваги Простота паралельної роботи генераторів Менш шкідливий для здоров'я	 Нікола Тесла 1856-1943	Переваги Простота зміни напруги за допомогою трансформаторів (з ККД до 99%) Простота передавання на великі відстані Простота комутації Менша вартість обладнання
	Недоліки Складність передавання на великі відстані Складність комутації (більша дуга) Висока вартість обладнання		Недоліки Складність паралельної роботи генераторів Більш шкідливий для здоров'я

Головним недоліком постійної напруги є складність зміни її величини. Навіть на сьогоднішній день, простих і ефективних перетворювачів постійної напруги не існує. До появи потужних напівпровідникових приладів змінити величину постійної напруги можна було тільки за допомогою умформерів (система «мотор-генератор») чи віброперетворювачів. І ті, і інші мали значні масу, габарити і вартість, вимагали, через наявність механічних компонентів, постійного обслуговування і були джерелами шуму, вібрації та електромагнітних завад. Поява в 20-м столітті потужних напівпровідникових транзисторів і діодів дозволила значно поліпшити характеристики цього виду вторинних джерел живлення. Однак потрібно розуміти, що в цих схемах постійна напруга спочатку перетворюється в змінну, а потім назад в постійну. До сих пір пристрої, що безпосередньо змінюють величину постійної напруги, існують тільки у вигляді абстрактних математичних моделей.

Принцип перетворення електричної енергії постійного струму



На сьогоднішній день простих та ефективних перетворювачів постійного струму не існує!

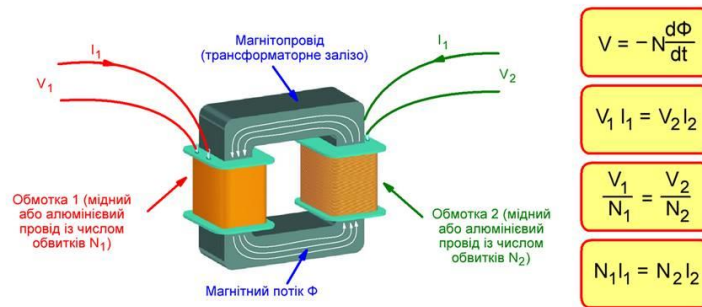
У попередніх лекціях було показано, що для передачі електричної енергії на великі відстані напругу ліній електропередач доводиться багаторазово змінювати – і підвищувати, і знижувати. Але через те, що змінити величину постійної напруги не так просто, то протяжність перших енергосистем не перевищувала 1,5 км – вартість проводів і перетворювачів для передачі енергії на великі відстані була в той час дуже високою.

А ось величину змінної напруги можна легко змінити за допомогою трансформаторів, що мають дуже просту конструкцію. Найпростіший трансформатор складається з магнітопровода (його часто називають осердям) і двох обмоток. Якщо одну з обмоток підключити до джерела напруги, то в ній почне протікати струм. Цей струм створить в магнітопроводі магнітний потік Φ , який, відповідно до закону Фарадея, призведе до появи на висновках всіх обмоток ЕРС самоіндукції ϵ :

$$\epsilon = -N \frac{d\Phi}{dt}; \quad (4)$$

де N – кількість витків обмотки.

Принцип перетворення змінного струму (будова трансформатора)



Зверніть увагу, що ЕРС може виникнути тільки за умови постійної зміни магнітного потоку Φ . Якщо підключити обмотку трансформатора до джерела постійної напруги, тоді магнітний потік змінюватися не буде (оскільки $d\Phi/dt = 0$) і ЕРС зникне.

А ось якщо підключити обмотку трансформатора до джерела змінної напруги, тоді магнітне поле в магнітопроводі буде постійно змінюватися, і на інших обмотках трансформатора, згідно з формулою (1), виникне ЕРС, форма якої будуть відповідати формі первинної напруги. Таким чином, за допомогою трансформатора можна енергетично зв'язати два електрично ізольовані кола, передаючи енергію через магнітне поле.

Важливою особливістю трансформатора є можливість простого регулювання вихідної напруги, оскільки для ідеального (без втрат) пристрою виконується одне просте умова:

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2}; \quad (5)$$

де V_1, V_2, N_1, N_2 – відповідно, напруги і кількість витків першої та другої обмоток.

З формули (2) видно, що напруга на виході трансформатора визначається співвідношенням числа витків обмоток N_2/N_1 , який називають коефіцієнтом трансформації:

$$V_2 = V_1 \frac{N_2}{N_1}. \quad (6)$$

Якщо кількість витків вторинної обмотки більше кількості витків первинної ($N_2 > N_1$), тоді трансформатор буде підвищувати напругу, а якщо навпаки ($N_2 < N_1$) – тоді знижувати. Наприклад, нехай трансформатор містить дві обмотки з числом витків 3000 і 157. Якщо обмотку, яка містить 3000 витків, підключити до джерела з напругою 230 В, то на виводах обмотки, що містить 157 витків, з'явиться напруга, що дорівнює:

$$V_2 = V_1 \frac{N_2}{N_1} = 230 \cdot \frac{157}{3000} = 12 \text{ В.}$$

А якщо подати 230 В на обмотку, яка містить 157 витків, то на виводах іншої обмотки буде напруга:

$$V_2 = V_1 \frac{N_2}{N_1} = 230 \cdot \frac{3000}{157} \approx 4400 \text{ В.}$$

Таким чином, один і той же трансформатор може як підвищувати, так і знижувати напругу, звичайно, за умови, що напруги, що подаються на обмотки, не перевищують максимально допустимих значень. При цьому трансформатор відносно простий у виготовленні, не містить рухомих частин, і може мати ККД більше 99%.

Вочевидь, що перехід на змінну напругу з можливістю простої і ефективної зміни її величини за допомогою трансформаторів дозволив значно збільшити дальність передачі

енергії. Однак і постійна, і змінна напруги мають як переваги, так і недоліки (Таблиця 1), тому результат «Війни струмів» довгий час був невизначеним.

Основним недоліком змінної напруги є нерівномірність передачі енергії. Розглянемо найпростішу систему електроживлення. Нехай наш джерело живлення формує змінну напругу $v(t)$ синусоїдальної форми:

$$v(t) = V_m \sin(2\pi ft); \quad (7)$$

де V_m – амплітуда, а f – частота напруги, що генерується.

Якщо до такого джерела підключити обладнання, що перетворює електричну енергію в теплову, наприклад, електричний чайник, то в системі електроживлення з'явиться струм $i(t)$, величину якого можна визначити на підставі закону Ома:

$$i(t) = \frac{v(t)}{R} = \frac{V_m}{R} \sin(2\pi ft); \quad (8)$$

де R – опір нагрівального елементу чайника.

Таблиця 1 – Особливості постійної і змінної напруги

Напруга	Змінна	Постійна
Генерація великої потужності	При одночасній роботі генератори змінної напруги вимагають точної синхронізації один з одним, в іншому випадку вся система може швидко зруйнуватися	Генератори постійної напруги можуть легко з'єднуватися в єдину систему
Передавання енергії	За допомогою трансформаторів можна змінювати величину змінної напруги з ККД 98 ... 99% і передавати енергію на великі відстані	Потужні перетворювачі постійної напруги мають низькі технічні характеристики і великі втрати
Споживання енергії	Двигуни змінного струму мають найкращі характеристики, тому змінна напруга найкращим чином підходить тільки для виконання механічної роботи	Більшість додатків і технологічних процесів, наприклад, електронне обладнання, вимагають для своєї роботи постійної напруги
Комутація	Змінну напругу простіше комутувати	При комутації постійного струму виникає більш стійка дуга, для гасіння якої необхідно вживати додаткових заходів
Безпека	Постійна напруга більш безпечна	Навіть короточасний вплив змінного струму з частотою 50 ... 60 Гц призводить до збоїв в роботі центральної нервової системи, тому вона дуже небезпечна для людини і тварин

Це означає, що в будь-який момент часу струм буде $i(t)$ відрізнятися від напруги $v(t)$ на деякий коефіцієнт R . Іншими словами – форма струму в системі буде повністю повторювати форму напруги, тобто струм $i(t)$ буде змінним, синусоїдальним і змінюватися з тією ж частотою, що і напруга.

Однак ми пам'ятаємо, що ні струм, ні напруга окремо не передають енергію. Кількість енергії, що передається визначається потужністю $p(t)$, що дорівнює добутку напруги і струму:

$$p(t) = v(t)i(t) = \frac{V_m^2}{R} \sin^2(2\pi ft). \quad (9)$$

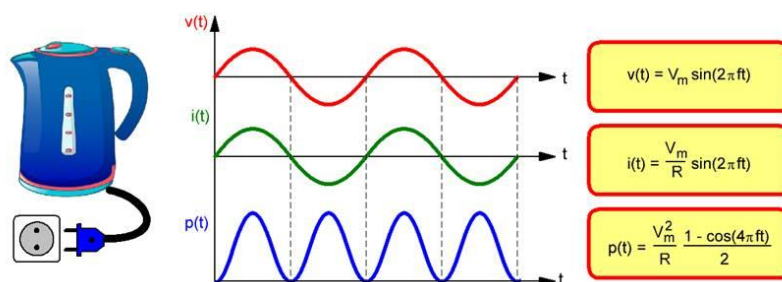
Скориставшись тригонометричними функціями, знизимо ступінь синуса. Тепер формула (6) набуде вигляду:

$$p(t) = \frac{V_m^2}{R} \left(\frac{1 - \cos 4\pi ft}{2} \right) = \frac{V_m^2}{2R} - \frac{V_m^2}{2R} \cos 4\pi ft. \quad (10)$$

Аналізуючи формулу (7), бачимо, що при використанні змінної напруги електрична енергія передається нерівномірно – вона пульсує з подвоєною частотою коливань напруги. Це означає, що існують моменти часу, коли енергія передається з максимальною швидкістю, але є і моменти часу, коли енергія не передається зовсім. Добре це чи погано?

Однозначно погано. Якщо до такого джерела підключити, наприклад, лампу, то вона буде мерехтіти з подвоєною частотою живлячої напруги – на практиці це добре помітно при використанні люмінесцентних або неякісних світлодіодних ламп. Якщо ж замість лампи підключити електродвигун, то він теж буде обертатися ривками, оскільки в момент переходу напруги через нуль в його обмотках не буде енергії для підтримки обертання. Вочевидь, що робота у такому режимі потребує більш міцних підшипників і додаткових маховиків для зменшення вібрації. До речі, необхідність вирівнювання механічного навантаження на валу буде потрібна і для генераторів. Таким чином, нерівномірна передача енергії або невірноваженість системи може звести до нуля всі переваги змінної напруги.

Енергетичні процеси у мережі змінного струму



У система електроживлення змінного струму електрична енергія передається нерівномірно (пульсує із частотою 100 Гц)

Але якщо замість одного змінної напруги використовувати кілька, то можна створити систему, в якій енергія буде завжди передаватися з однаковою швидкістю. Для цього потрібно лише рознести в часі моменти передачі максимумів енергії так, щоб її сумарна кількість завжди залишалася постійною. Саме таку систему і продемонстрував в 1891 році Михайло Доливо-Добровольський на Всесвітній виставці у Франкфурті-на-Майні. Його система передавала енергію на рекордну для того часу відстань – 170 км, при цьому вона була дешевше всіх існуючих на той час аналогів. Інтерес до цієї експозиції був настільки великий, що вона проіснувала ще кілька років після закінчення виставки – це дозволило ознайомитися з нею багатьом фахівцям з різних країн. Недарма 1891 рік багато називають роком початку електрифікації всієї планети – з цього моменту ефективність передачі енергії за допомогою електрики вже ні у кого не викликала сумнівів, а трифазні системи швидко стали стандартом для передачі енергії.

Отже, в промисловій системі електропостачання, частиною якої є і домашня електропроводка, використовують змінну напругу, оскільки її можна легко перетворити за допомогою трансформаторів на будь-яку величину. При цьому використовують збалансовані трифазні системи, що є, на сьогоднішній день, найдешевшими з усіх придуманих коли-небудь систем для передачі електричної енергії на великі відстані (з урахуванням ЛЕП, трансформаторів та інших розподільних пристроїв).

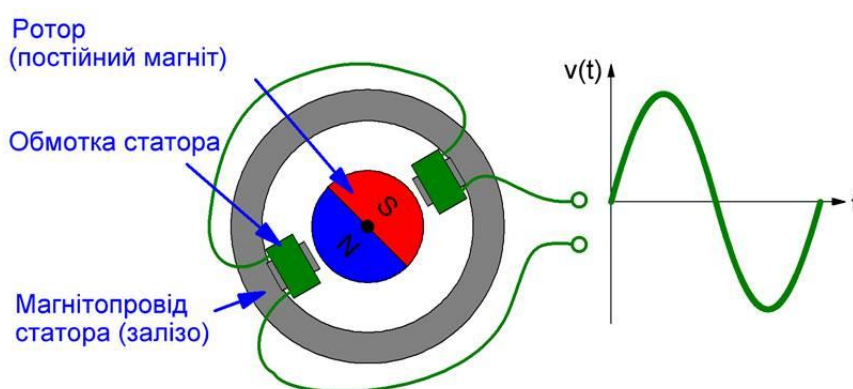
Не слід забувати також і про існування ще однієї переваги трифазних систем змінного струму. Трифазна напруга здатна створити електромагнітне поле, що обертається, яке

ідеально підходить для електромоторів. Тому трифазні електродвигуни змінного струму мають найпростішу конструкцію з усіх відомих типів пристроїв для перетворення електричної енергії в механічну.

Основні характеристики змінної напруги промислової мережі

Змінну напругу отримують за допомогою спеціалізованих генераторів, що перетворюють механічну енергію в електричну. На сьогоднішній день існує досить велика кількість конструкцій пристроїв подібного роду, однак всі вони, як і трансформатори, працюють на основі закону Фарадея. Ключовим елементом будь-якого генератора є котушка (обмотка), що розташовується у змінному магнітному полі. Але якщо в трансформаторах змінне магнітне поле створюється іншої обмоткою, по якій протікає вже децьо сформований змінний струм, то в генераторах доводиться фізично переміщати котушку відносно магнітів.

Принцип роботи генератора змінної напруги

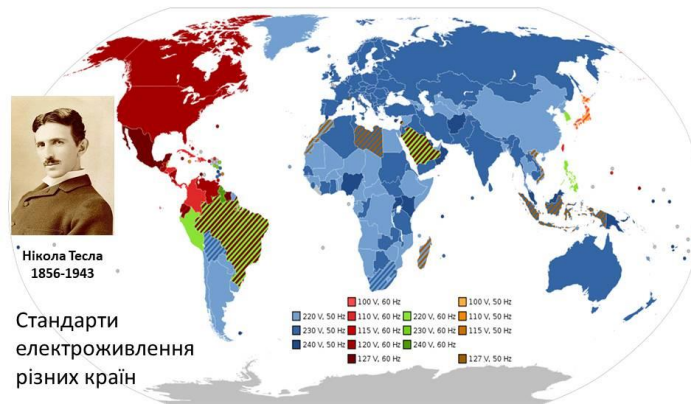


Найпростіше закріпити обмотку нерухомо на статорі, а обертати ротор з постійним магнітом. Можна зробити й навпаки – на нерухомому статорі встановити постійний магніт, а обмотку розмістити на роторі. Результат в обох випадках буде однаковий, тільки при розміщенні котушки на роторі доведеться встановлювати додатковий вузол – колектор, необхідний для електричного з'єднання рухомої котушки з нерухомими вихідними контактами генератора.

У будь-якому випадку, при обертанні ротора на виводах котушки буде індуковано змінну напругу синусоїдальної форми, що описується формулою (4) з двома ключовими параметрами: амплітудою V_m і частотою f .

З попередніх лекцій вже відомо, що існує два основні стандарти напруги, що використовується для живлення кінцевого електрообладнання: 110 ... 120 В і 220 ... 240 В. Точно також існує і два стандарти частоти змінного струму, використовуваного в промислових системах електропостачання: 50 Гц і 60 Гц.

Частоти 50/60 Гц визначив Нікола Тесла, який разом з Джорджем Вестінгаузом, був піонером в освоєнні змінного струму. Свого часу він провів комплексне дослідження властивостей змінного струму різних частот, на підставі якого був зроблений висновок, що для систем електропостачання найкращим чином підходять частоти 50...60 Гц. При менших частотах збільшуються габарити, вага і вартість обладнання, а при великих частотах збільшуються втрати при передаванні та перетворенні електрики, зокрема, втрати на перемагнічування магнітопроводів трансформаторів. Таким чином, частоти 50/60 Гц є результатом компромісу між величиною втрат і вартістю системи.



Існує також обмежена кількість електромереж з частотою 400 Гц. Але вони використовуються там, де малі розміри і вага важливіші, ніж величина втрат при перетворенні. Наприклад, напругою з такою частотою може житися бортове обладнання авіалайнерів.

Можливі частоти струму

- **50 Гц** – більшість країн світу (у тому числі і Європи)
- **60 Гц** – країни Америки та Японії
- **400 Гц** – бортова мережа автономних об'єктів



З частотою f тісно пов'язаний інший параметр змінної напруги – тривалість періоду або просто період, звичайно позначається буквою T . Період показує, за скільки часу відбудеться одне повне коливання змінної величини, в даному випадку – напруги:

$$T = \frac{1}{f}. \quad (11)$$

Для частоти 50 Гц тривалість періоду мережевої напруги дорівнює 20 мс, для частоти 60 Гц – 16,67 мс, тобто в системах електропостачання з частотою 60 Гц всі процеси відбуваються трохи швидше. Цей момент є дуже важливим, оскільки якщо обладнання, яке розраховане на роботу з напругою однієї частоти підключити в мережу з іншою частотою, то результати можуть бути найгіршими.

Дуже критичні до цього параметру трансформатори і електродвигуни. Наприклад, якщо підключити трансформатор, розрахований на напругу з частотою 60 Гц, в 50-герцову мережу, то його магнітопровід, який повинен перемагнічуватися за 8,335 мс (половина періоду напруги з частотою 60 Гц), тепер буде знаходитися під впливом напруги, що буде намагнічувати його магнітопровід протягом 10 мс (половина періоду напруги з частотою 50 Гц). Додаткових 1,67 мс – а це майже 20% від розрахункового часу – буде цілком достатньо для того, щоб магнітопровід став заходити в режим насичення з наступним перегрівом. Аналогічно, якщо 50-герцовий трансформатор включити в 60-герцову мережу, то збільшиться рівень втрат у магнітопроводі через більш високий рівень вихрових струмів, що теж призведе до перегріву.

Таким чином, обладнання слід підключати в мережу тієї частоти, на яку воно розраховане. При цьому існує техніка, здатна нормально працювати і в мережі з частотою 50

Гц, і в мережі з частотою 60 Гц. Найчастіше в мережі з різними частотами може працювати різне електронне обладнання, наприклад, персональні комп'ютери, монітори або телевізори.

Частота струму (напруги) є обов'язковим параметром обладнання, що живиться змінним струмом



Другим важливим параметром змінної напруги є значення його амплітуди V_m . Уважний студент напевно звернув увагу, що в розетці на якій написано «230 В», напруга 230 В буває тільки два рази за період. Весь інший час напруга може приймати будь-яке значення, але тільки не 230 В. Насправді, яким завгодно воно бути не може, адже закон його зміни в часі повністю визначається формулою (4), але і рівним 230 В воно, дійсно, стає лише двічі за період. Так звідки ж взялася цифра «230 В»?

Справа в тому, що 230 В – це величина діючого значення напруги, яке також називають середньоквадратичним або ефективним (Root Mean Square, RMS або r.m.s.). У системах електропостачання (і не тільки) середньоквадратичне значення безпосередньо пов'язане з енергетичними параметрами різних процесів, а в даному випадку – безпосередньо з процесом передачі енергії.

При використанні змінної напруги потужність $p(t)$ (швидкість передачі енергії) постійно змінюється від нуля до деякого максимального значення. Як визначити, яка кількість енергії було передано в навантаження, наприклад, протягом одного періоду напруги? Знаючи діючі значення напруги V і струму I це зробити дуже легко – достатньо просто перемножити ці два параметри ($P = VI$ – як ми це не раз робили). Але таку операцію можна виконати тільки з діючими значеннями. Якщо спробувати це зробити з миттєвими значеннями ($p(t) = v(t)i(t)$), то з'ясується, що потужність теж є теж функцією часу. А це дуже незручно при практичних розрахунках. Таким чином, діюче значення змінної напруги еквівалентно такому значенню постійної напруги, при якому через систему за один і той же відрізок часу (в даному випадку – за період T) пройде однакова кількість енергії.

У загальному випадку, діюче значення X будь-якої періодичної величини $x(t)$ визначається за формулою:

$$X = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [x(t)]^2 dt} . \quad (12)$$

Якщо підставити в формулу (9) закон зміни напруги в мережі (4) і провести всі необхідні математичні перетворення, то отримаємо дуже просте співвідношення, що зв'язує діюче значення напруги V з його амплітудним значенням V_m :

$$V = \frac{V_m}{\sqrt{2}} . \quad (13)$$

Нескладно підрахувати, що в мережі з діючою напругою $V = 230$ В амплітудне значення напруги V_m має дорівнювати:

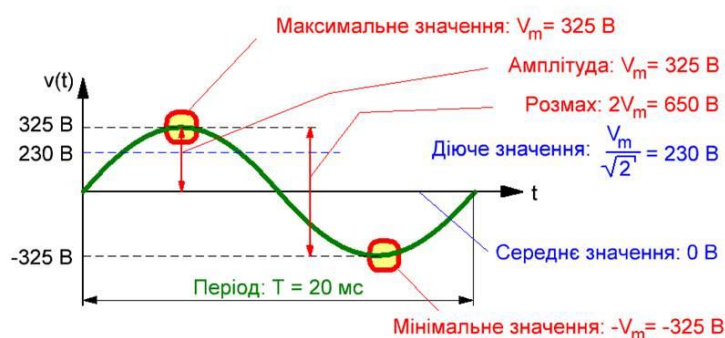
$$V_m = \sqrt{2}V = \sqrt{2} \cdot 230 = 325 \text{ В} .$$

Фізичний зміст цього розрахунку полягає в наступному: **мережа, напруга якої змінюється від -325 В до $+325\text{ В}$ за синусоїдальним законом, енергетично еквівалентна мережі з постійною напругою, рівним 230 В** . Тому на всіх розетках і пишуть « 230 В », хоча реальне значення напруги в ній з цієї цифрою має мало що спільного.

Те ж саме стосується і струмів. Якщо в технічній документації обладнання зазначено, що для його роботи необхідно змінну напругу і при цьому воно споживає струм, наприклад, 1 А , то ця цифра є саме діючим значенням струму, а реальний струм в процесі роботи буде змінюватися від -1.41 А до $+1.41\text{ А}$ з частотою мережі (за умови, що струм має синусоїдальну форму).

Змінна напруга має і інші параметри, наприклад, середнє значення або розмах, однак на даному етапі вивчення питань, пов'язаних з основами електроживлення, поки потрібно розібратися тільки з амплітудними і діючими значеннями, а до інших параметрах будемо звертатися в міру необхідності.

Параметри змінної напруги



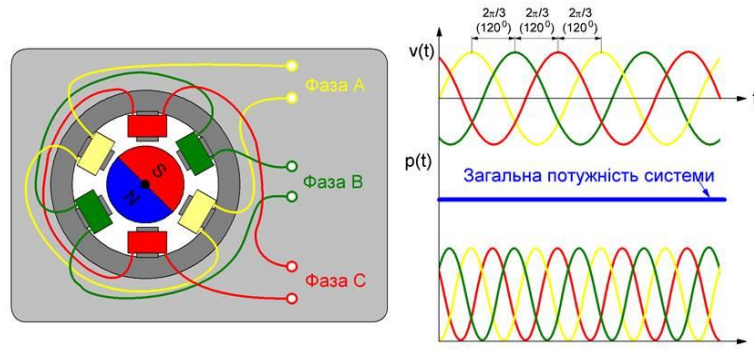
Особливості трифазних систем електроживлення

Отже, ключовим недоліком однофазних систем змінної напруги є нерівномірність генерації і транспортування енергії. І цієї особливості позбавлені трифазні системи, які зараз використовуються в усьому світі.

Трифазну систему електропостачання можна спрощено представити у вигляді трьох однакових систем, напруги в яких зсунуті по фазі на третину періоду – 120 градусів або $2\pi/3$ радіан. Отримати трифазну напругу можна, наприклад, за допомогою трьох окремих однофазних генераторів змінного напруги, ротори яких розташовані на одному валу, але повернені на 120° . Однак найкращий ефект буде в разі, коли всі три обмотки будуть розташовані на загальному магнітопроводі статора генератора. У такому пристрої при рівномірному обертанні ротора з постійним магнітом в кожній обмотці буде генеруватися змінне синусоїдальна напруга, зміщена по фазі на 120° по відношенню до напруги інших обмоток.

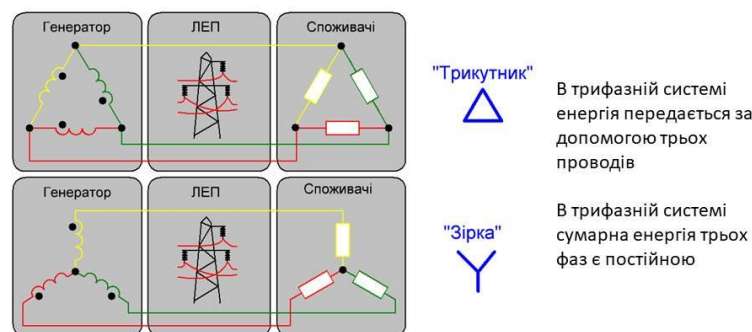
У найпростішому випадку кожен обмотку можна підключити до свого споживача і отримати три ізольовані і практично незалежні системи електроживлення. Однак у цьому випадку втрачаються всі переваги трифазного напруги, тому всі три обмотки з'єднують разом. Розрізняють два способи з'єднання: «трикутником», коли початок однієї обмотки з'єднується з кінцем іншої, і «зіркою», коли почала обмоток з'єднуються разом, а з'єднувальні дроти підключаються до кінців обмоток. Переваги і недоліки кожного із способів з'єднання взаємно компенсують один одного, тому енергетики, за винятком «останньої милі» однаково часто використовують обидва способи. Більш того, трифазна система дозволяє змішувати обидва типи з'єднань, наприклад, обмотки генератора можуть бути з'єднані за схемою «трикутник», а споживачі – за схемою «зірка».

Принцип роботи трифазної системи електроживлення



Ключовими перевагами трифазної системи є найменша вартість ліній електропередач, оскільки для передачі енергії необхідно три дроти з меншим сумарним перетином, ніж при використанні двох дротів, а також рівномірна швидкість передачі енергії. Незважаючи на те, що потужність в кожній обмотці генератора пульсує з подвоєною частотою напруги, загальна потужність всіх трьох обмоток в будь-який момент часу постійна (за умови, що всі обмотки мають однакові навантаження). Ця обставина значно спрощує конструкцію генераторів і електродвигунів – основних споживачів електричної енергії в промисловості. Крім цього, трифазне обладнання виявляється менше, легше, ніж однофазне тієї ж потужності. Наприклад, трифазні трансформатори за рахунок використання загального для всіх трьох фаз магнітопроводу виявляються менше, легше і дешевше трьох однофазних трансформаторів такою ж сумарною потужністю.

Варіанти з'єднанні у трифазній системі електроживлення



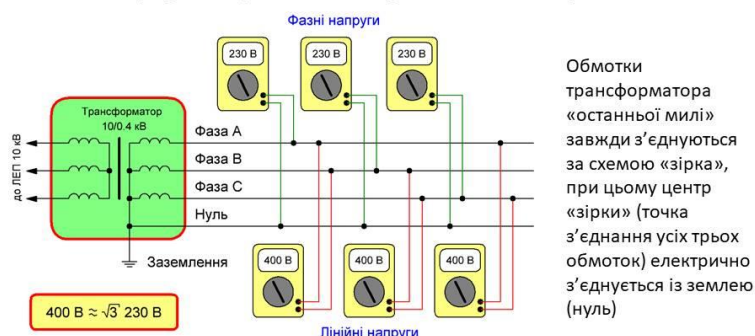
Тепер стає зрозуміло, чому у всьому світі трифазні системи електроживлення мають найбільшу популярність – передавати енергію з меншими витратами людина поки ще не навчився. Однак все, що було розглянуто вище, цікавить більше енергетиків – це їх область. Фахівців в галузі електроніки та інформаційних технологій, а також простих користувачів побутових електроприладів більше цікавить «остання миля» глобальної енергосистеми – домашня та офісна електропроводка, адже саме з нею пов'язано велика частина реальних проблем, які доводиться вирішувати самостійно. Тому давайте розбиратися далі.

Особливості домашньої та офісної електропроводки

«Остання миля» системи електропостачання починається після останньої трансформаторної підстанції, що знижує напругу до величини 0,4 кВ. Первинні обмотки останнього понижуючого трифазного трансформатора можуть бути з'єднані по будь-якій схемі («трикутник» або «зірка» – як зручно енергетикам), але вторинні зазвичай завжди підключають за схемою «зірка». Причому точку з'єднання обмоток трансформатора електрично з'єднують з землею, і до цієї точки йде додатковий провід, що називають

«нульовим». Таким чином, електрична енергія від понижувальної трансформаторної підстанції надходить до споживачів по чотирьом проводам, з яких три є «фазними» (фаза А, фаза В і фаза С), а четвертий – нульовим.

Напруги у електричній проводці



Напруга кожної з вторинних обмоток трансформатора дорівнює 230 В. Таким чином, напруга між нульовим і будь-яким з фазних проводів дорівнює 230 В. Цю напругу енергетики називають «фазною». Але якщо виміряти напругу між будь-якими двома фазними провідниками, то виявиться, що воно буде приблизно дорівнює 400 В, що майже в два рази більше. Цю напругу називають «лінійною». Точна відповідність між фазними V_F і лінійними V_L напругами визначається формулою:

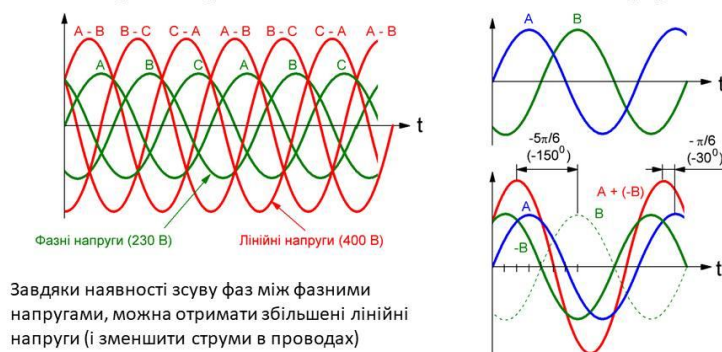
$$V_L = \sqrt{3}V_F = 1.732V_F. \quad (14)$$

Відбувається це через те, що фазні напруги зсунуті по фазі на 120° , через що і відбувається це збільшення. При цьому результуюча напруга є синусоїдальною, але зміщеною по фазі на $-5\pi/6$ (-150°) по відношенню до опорної фази (фази, потенціал якої прийнятий в якості нульового при проведенні вимірювань).

Можливість отримання декількох напруг є ще однією перевагою трифазної системи, адже, як відомо з попередніх лекцій, чим вище напруга живлення, тим менше струм в колі і дешевше електричні кабелі. Таким чином, малопотужних споживачів, теоретично, можна підключати до фазної напруги 230 В, а потужних – до лінійної 400 В, що дозволить по одному і тому ж кабелю пропустити в 1,732 рази більше енергії.

Однак на практиці роблять трохи інакше. Малопотужних споживачів, дійсно, підключають до однієї з фаз системи електропостачання, а потужних – відразу до трьох фаз. В цьому випадку потужні споживачі споживають енергію відразу з трьох фаз, що забезпечує рівномірний розподіл механічного навантаження на вал генератора електростанції і зменшує втрати при транспортуванні електрики.

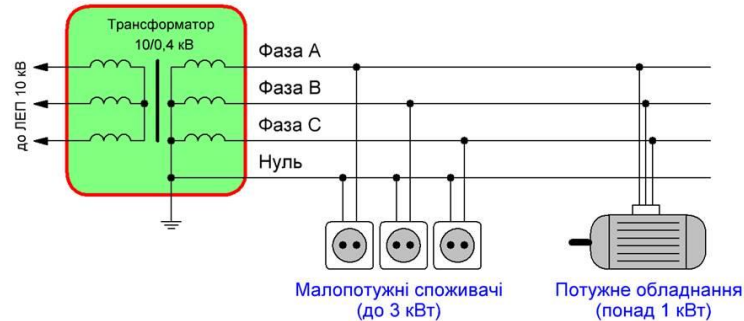
Як утворюються лінійні напруги



У системах електропостачання «потужними» вважаються споживачі, які мають потужність понад 1 кВт. Починаючи з цього рівня, трижильні мідні кабелі стають

дешевшими двожильних. Через це дуже складно знайти однофазне обладнання з потужністю понад 2,5 кВт. З цієї ж причини максимальний струм більшості електричних розеток не перевищує 16 А. При такому струмі максимальна потужність, яку можна спожити від розетки, дорівнює $230 \cdot 16 \approx 3,7$ кВт, що цілком достатньо для живлення більшості однофазних приладів.

Підключення обладнання у трифазній мережі



Висновки

- Змінний струм більш придатний для практичного застосування через можливість легкого перетворення його величини за допомогою трансформаторів
- Для передачі енергії найкраще підходить змінний струм з частотою 50...60 Гц (Н. Тесла)
- Недоліком однофазного змінного струму є коливання потужності енергетичної системи
- У трифазній системі немає коливань потужності (М. Доливо-Добровольський)
- Завдяки наявності зсуву фаз у трифазній системі можна одночасно отримати дві напруги (фазну – 230 В та лінійну – 400 В)
- Трифазні системи є основними системами для передачі енергії за допомогою електричного струму

Лекція 4. Трифазна система електроживлення

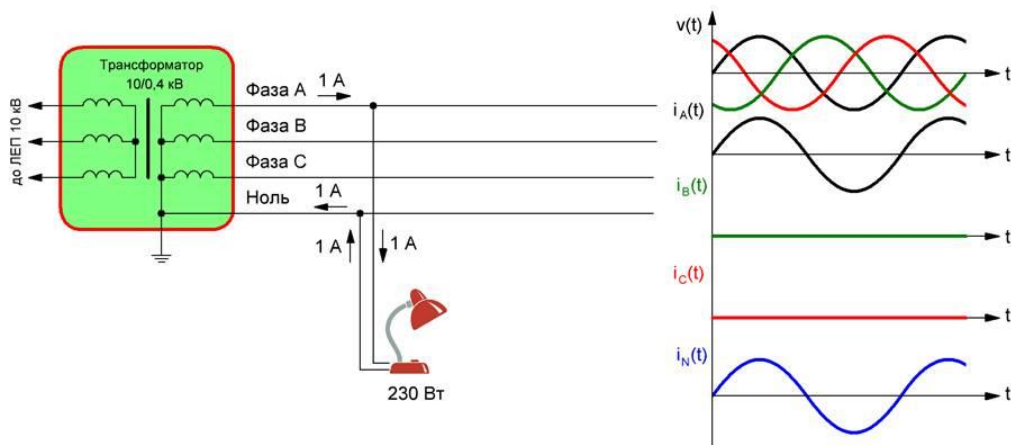
Електричні процеси в нульовому проводі

Отже, електрична енергія до кінцевих споживачів надходить по чотирьом проводам, три з яких називаються «фазними» (Фаза А, Фаза В і Фаза С), а четвертий – «нульовим». Напруги між нульовим і будь-яким з фазних проводів називаються «фазними» та є рівними 230 В, а напруги між будь-якими фазними проводами називаються «лінійними» та є рівними 400 В, через що в цих мережах напруги вказують через дріб (фазне/лінійне) – 230/400 В або, як часто роблять енергетики, просто 0,4 кВ. Також вже відомо, що в системах електропостачання змінного струму зручно використовувати діючі (або середньквдратические) значення напруг і струмів, тому, незважаючи на те, що на розетці написано «230 В», реальне напруга між її контактами 50 раз в секунду змінюється в діапазоні $-325...+325$ В за синусоїдальним законом.

Наявність декількох фаз і декількох напруг дозволяє підключати обладнання різними способами. Все малопотужні споживачі (до 3 кВт), в числі яких світильники, комп'ютери, побутова і офісна електроніка, підключаються до однієї з фаз системи електропостачання і працюють від напруги 230 В. Потужні споживачі (понад 1 кВт), в першу чергу, промислове обладнання, найчастіше мають трифазні вводи і працюють від напруги 230/400 В.

Потужне обладнання підключається відразу до трьох фаз і, в загальному випадку, можуть не з'єднуватися з нульовим провідником (хоча таке підключення можливе), тому нас вони мало цікавлять. Ми ж зараз розглянемо, що відбувається в нульовому проводі при підключенні однофазних навантажень. Нехай це будуть світильники, обладнані лампами розжарювання загальною потужністю $P = 230$ Вт.

Електричні процеси у системі електроживлення при підключенні споживача тільки до однієї фази



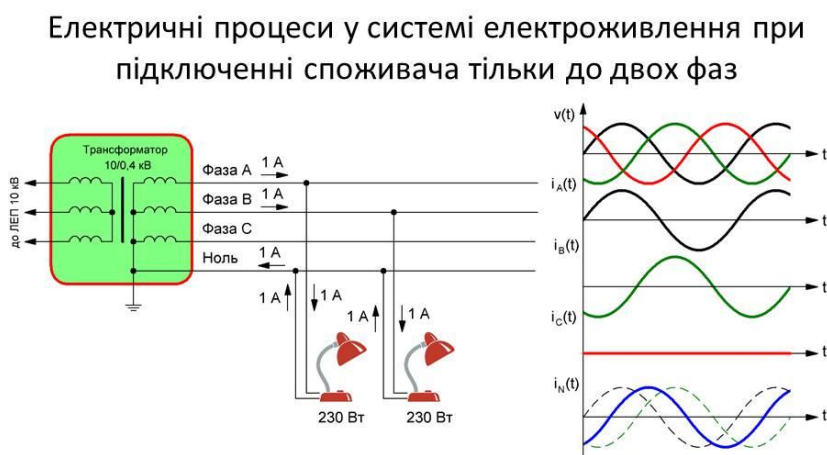
Струм у нульовому провіднику дорівнює струму фазного провідника

Якщо до системи електропостачання, наприклад, до фази А з напругою $V = 230$ В, підключити світильник, тоді струм I в колі живлення лампи буде дорівнювати:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{230}{230} = 1 \text{ А}.$$

Цей струм буде протікати по колу: вторинна обмотка трансформатора, провід фази А, світильник, нульовий провід, другий вивід обмотки трансформатора. Точно такі ж процеси будуть відбуватися, якщо підключити світильник до будь-якої іншої фази. Тобто, незалежно від того, до якої фази ми підключимо світильник, струм в нульовому проводі $i_N(t)$ (при відсутності інших споживачів) буде дорівнює струму в проводі, з'єднаному з фазою, до якої підключена навантаження ($i_A(t)$, $i_B(t)$ або $i_C(t)$).

Поки все просто і логічно – скільки електронів «забігло» в фазний провід, стільки ж і «вибігло» через нульовий. А тепер підключимо одночасно два світильника, але перший світильник підключимо до фази А, а другий – до фази В. Зі струмами, що протікають в проводах фаз А і В все просто – вони будуть рівні 1 А, оскільки інших шляхів для їх протікання немає. Але по нульового проводу тепер будуть протікати одночасно два струми: струм фази А і струм фази В. Перший закон Кірхгофа говорить, що в цьому випадку струм в нульовому проводі повинен дорівнювати сумі двох струмів фаз А і В, тобто – 2 А. Однак, якщо взяти амперметр і виміряти реальне значення струму, то виявиться, що на будь-якій ділянці нульового проводу він буде дорівнює 1 А. Виходить, що закони Кирхгофа неправильні?



Струм у нульовому провіднику не перевищує струмів фазних провідників, не зважаючи на те, що по ньому протікає струм двох фаз

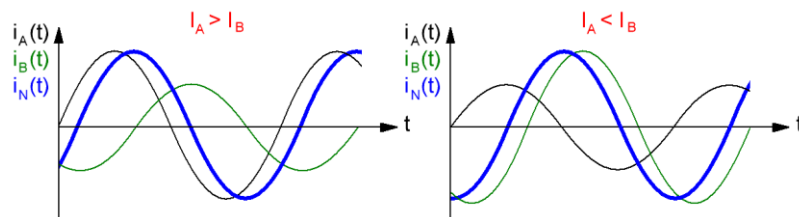
Це не так, оскільки амперметр нам покаже діюче (інтегральне) значення струму, а закони Кірхгофа справедливі для миттєвих значень (для струмів, що протікають в даний момент). Оскільки струми фаз А і В зміщені по фазі на 120° , то їх максимальні (амплітудні) значення настають в різні моменти часу і коли, наприклад, струм фази А має максимальне позитивне значення, то струм фази В у цей момент може мати деяке негативне значення, і сумарний струм двох фаз буде менше. Якщо підсумувати в кожен момент часу миттєві значення струмів фаз А і В, то виявиться, що результуючий струм буде мати синусоїдальну форму, зміщену по фазі і відносно струму фази А, і відносно струму фази В. Якщо амплітудні значення струмів обох фаз однакові, то зміщення по фазі струму нульового проводу буде дорівнює середньому значенню фаз струмів. В даному випадку його фаза буде на 60° відрізнятися і від фази струму фази А, і фази струму фази В. І якщо виміряти діюче значення такого зміщеного по фазі струму, то виявиться, що воно буде дорівнює 1 А. Тобто, діюче значення струму, утвореного складанням двох струмів з діючими значеннями 1 А, в результаті теж дорівнюватиме 1 А.

Чому це так важливо? Тому що закон Джоуля-Ленца, що показує яка кількість тепла виділиться на провіднику з опором R при протіканні через нього струму I , виявляється, справедливий саме для діючих струмів:

$$P = I^2 R. \quad (15)$$

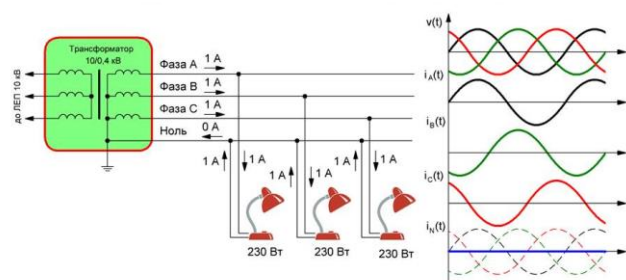
Якщо підставити в формулу (15) значення опорів проводів системи електропостачання, то можна прийти до висновку, що, оскільки за всіма проводам протікає струм з однаковим діючим значенням, всі проводи будуть однаково нагріватися (за умови, що вони мають однаковий перетин). Тобто, нульовий провід, який, якщо міркувати логічно, мав би нагріватися в два рази більше (адже по ньому протікає і струм фази А, і струм фази В) насправді гріється так само, як і фазні провідники. При цьому миттєві значення струмів у всіх проводах різні, але діюче значення, що визначає нагрів проводів, буде однаковим.

Якщо ж фазні струми не рівні, то по нульового проводу буде протікати струм, фаза якого буде наближатися до току з більшою амплітудою. Чим більше різниця амплітуд, тим менше буде відмінність між струмом в нульовому проводі і струмом з більшою амплітудою, проте діюче значення струму в нульовому проводі ніколи не перевищить діючих значень фазний струмів. Ось таким чудовим властивістю володіють трифазні системи.



Ще більш цікаві процеси відбудуться при підключенні третього світильника до фази С. Якщо всі три фазних струми однакові (за винятком зсуву по фазі на 120°), то струми в нульовому проводі взаємно компенсують один одного, і струм нульового проводу стане дорівнює нулю. З цього випливає дуже важливий висновок: в нормальному режимі роботи системи електропостачання діюче значення струму в нульовому проводі не може перевищувати діючих значень струмів фазних проводів. Це означає, що нульовий провід буде нагріватися так само як і фазні проводи, отже, для нульового проводу можна (і потрібно, згідно з нормативними документами) вибирати провід такого ж перетину, як і для фазних проводів.

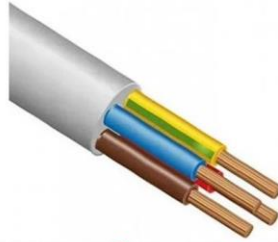
Електричні процеси у системі електроживлення при підключенні споживача до трьох фаз



При однаковому навантаженні на фази струм у нульовому провіднику відсутній

Про цю властивість чудово обізнані не тільки електрики, але і виробники електричних кабелів, які випускають для побутової та промислової електропроводки спеціальні чотирижильні кабелі, усі провідники яких мають однаковий перетин. Більш того, в книзі «Правила улаштування електроустановок» (ПУЕ), положення якої зобов'язані виконувати всі, хто працює з електрообладнанням, чітко написано, що при проектуванні домашньої або офісної електропроводки перетин нульового провідника повинне бути не менше перетину фазних провідників. Таким чином, в будь-якій електропроводці, і вдома, і в офісі, перетин нульового провідника звичайно дорівнює перетину фазних проводів.

Будова електричного кабелю



У електричному кабелю перетин усіх чотирьох силових провідників, відповідно ПУЕ однаковий (перетин нульового провідника дорівнює перетину фазних провідників)

Фактично нульовий провід потрібен тільки для підключення однофазних споживачів. Трифазні навантаження за своїм принципом роботи повинні споживати енергію з усіх трьох фаз в однаковій кількості і, теоретично, якщо навіть і підключити нульовий провід, то струм через нього протікати не буде. Однак на практиці забезпечити рівномірне навантаження на всі три фази практично нереально, в тому числі і через наявність однофазних споживачів. Це призводить до того, що фазні напруги ніколи не бувають однаковими – завжди є деяке відхилення їх від номінальних значень через нерівномірне навантаження. Тому навіть трифазне обладнання часто підключають чотирма проводами (три фази + нуль), щоб мінімізувати негативний вплив розбалансування системи.

Електричні процеси при реактивному навантаженні

Коли ми розглядали електричні процеси в системі електропостачання, то припускали, що в якості споживачів використовуються прилади, що перетворюють електричну енергію в тепло: лампи розжарювання, обігрівачі, чайники, праски тощо. Основним елементом подібного обладнання є нагрівальний елемент з опором R , який працює на основі закону Джоуля-Ленца (15). При подачі на такий пристрій напруги $v(t)$ споживаний струм $i(t)$ буде визначатися законом Ома:

$$i(t) = \frac{v(t)}{R}. \quad (16)$$

Це означає, що в системі електропостачання напруга $v(t)$ і струм $i(t)$ будуть мати однакову форму, а їх чисельні значення (без урахування одиниць виміру) будуть відрізнятися на постійний коефіцієнт R . Таке навантаження прийнято називати «навантаженням з активним характером споживання» або просто «активним навантаженням».

А тепер підключимо до джерела живлення зі змінною напругою, елементи, здатні накопичувати енергію, наприклад, конденсатор ємністю 1 мкФ , і подивимося, що станеться. За початкову точку відліку візьмемо момент часу, коли закінчиться негативний напівперіод і напруга в мережі стане дорівнювати нулю. У цей момент конденсатор повністю розряджений, і енергії в ньому немає.

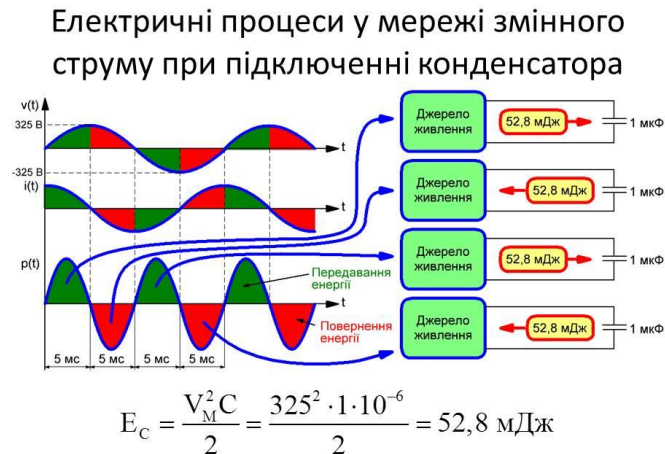
Через чверть періоду (5 мс при частоті 50 Гц) напруга в мережі досягне амплітудного значення $V_M = 325 \text{ В}$. При такій напрузі в електричному полі діелектрика конденсатора ємністю $C = 1 \text{ мкФ}$ буде присутній енергія E_C , яка дорівнює:

$$E_C = \frac{V_M^2 C}{2} = \frac{325^2 \cdot 1 \cdot 10^{-6}}{2} = 52,8 \text{ мДж}. \quad (17)$$

Звідки взялася ця енергія? Вочевидь, що вона була спожита з джерела живлення, адже інших елементів в системі немає. Таким чином, протягом першої чверті періоду конденсатор спожив з джерела живлення $52,8 \text{ мДж}$ енергії і зберіг її в своєму електричному полі. Якщо в

цей момент відключити конденсатор і виміряти напругу на його обкладках, то виявиться, що воно дорівнює 325 В. При цьому накопичену енергію можна використовувати для якихось корисних справ.

Але ми поки не будемо відключати конденсатор, а подивимося, що станеться далі. Через чверть періоду напруга в мережі, а, отже, і напруга на конденсаторі стане рівною нулю. Якщо на обкладинках конденсатора немає напруги, то, відповідно, і немає енергії в його діелектрику. А куди поділися 52,8 мДж, накопичених в ньому протягом першої чверті періоду? Дітися цієї енергії нікуди – в системі присутній всього два елементи: джерело живлення і конденсатор. Таким чином, протягом другої чверті періоду енергія в системі передавалася в зворотному напрямку: із навантаження в джерело живлення.



Протягом наступних 5 мс абсолютне значення напруги в мережі знову почне збільшуватися, але вже з протилежним знаком, досягнувши до кінця третьої чверті періоду величини –325 В. В цей момент енергія в конденсаторі знову досягне значення 52,8 мДж, оскільки, згідно з формулою (17), полярність напруги на обкладках конденсатора ніяк не впливає на кількість енергії, що знаходиться в електричному полі його діелектрика.

А ще через 5 мс напруга в мережі знову стане рівною нулю і енергії в конденсаторі знову не буде. Значить, за останню чверть періоду 52,8 мДж енергії знову було переміщено з конденсатора назад в джерело живлення.

А скільки енергії було спожито з системи в цілому за період? Правильна відповідь – аніскільки. Протягом періоду мережевої напруги конденсатор двічі «забирав» 52,8 мДж енергії з джерела і двічі «повертав» цю ж кількість назад, не залишивши «собі» нічого. Виходить якась безглузда система. Начебто в колі є і напруга ($V = 230 \text{ В}$), і струм I :

$$I = \frac{V}{X_C} = \frac{V}{\frac{1}{2\pi fC}} = \frac{230}{\frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 1 \cdot 10^{-6}}} = 72,2 \text{ мА}; \quad (18)$$

де X_C – реактивний опір конденсатора ємністю C у колі змінного струму з частотою f .

Але енергія при цьому з джерела не споживається, а раз енергія не споживається, отже, і ніякої корисної роботи таке обладнання виконати не може. Добре це чи погано? Однозначно погано. Адже генератор навантажений, його обмотки і з'єднувальні проводи внаслідок протікання струму нагріваються (значить, є втрати енергії), але нічого корисного така система не виконує.

Якщо проаналізувати діаграми напруги $v(t)$ і струму $i(t)$, то виявиться, що в системі електроживлення струм, споживаний конденсатором, має синусоїдальну форму, але його фаза на кут $\varphi = 90^\circ$ випереджає фазу напруги.

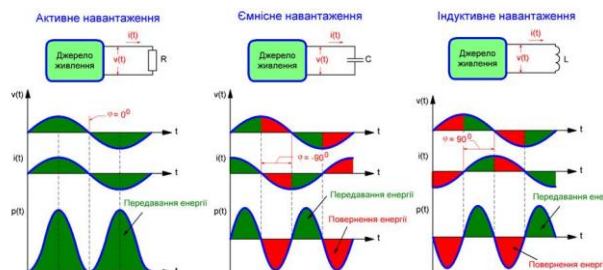
Аналогічна ситуація буде, якщо підключити замість конденсатора дросель. Точно також енергія буде двічі за період накопичуватися в магнітному полі дроселя і двічі в такій

же кількості повертатися назад. Тільки фаза струму при цьому буде на $\varphi = 90^\circ$ відставати від фази напруги. А його діюче значення буде визначатися формулою:

$$I = \frac{V}{X_L} = \frac{V}{2\pi fL}; \quad (19)$$

де X_L – реактивний опір дроселя з індуктивністю L в колі змінного струму з частотою f .

Електричні процеси при різних характерах навантаження

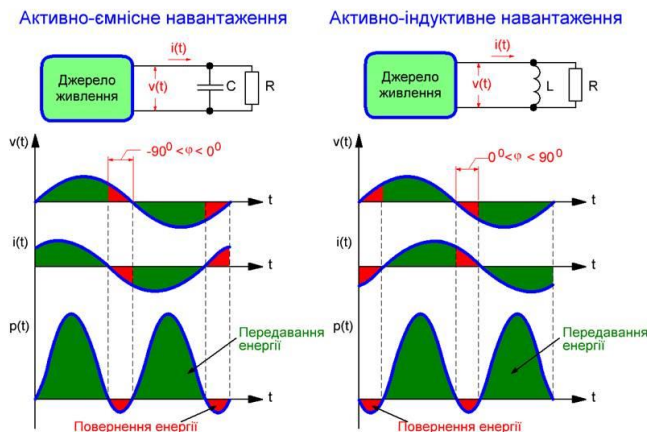


Розглянуті вище процеси можуть існувати тільки в ідеальних системах. На практиці ніхто не буде просто так підключати до мережі дроселі і конденсатори, адже система електропостачання призначена для передачі енергії, з метою виконання корисної роботи. А якщо енергія не буде споживатися, то і робота не буде виконуватися. Тому обладнання з чисто індуктивним або чисто ємнісним характером споживання енергії не існує.

А ось навантаження зі змішаним характером споживання енергії, зокрема, активно-індуктивним, дуже навіть поширені. До них відноситься обладнання, що містить моточні елементи: трансформатори, електромагніти, електродвигуни та ряд інших. Іноді реактивні елементи використовують замість баластних резисторів, адже і дросель, і конденсатор в колі змінного струму з частотою $f = 50$ Гц мають цілком конкретне реактивний опір, яке можна визначити за формулами (18) і (19).

При змішаних навантаженнях – активно-індуктивному і активно-ємнісному – струм, споживаний обладнанням, має синусоїдальну форму, але зміщений по фазі щодо напруги на деякий кут φ , значення якого знаходиться в діапазоні: $-90^\circ < \varphi < 90^\circ$. Якщо фаза напруги відстає від фази струму ($\varphi < 0$), то кажуть, що навантаження має ємнісний характер споживання, якщо випереджає ($\varphi > 0$) – то індуктивний, а якщо зміщення фази немає ($\varphi = 0$) – то активний.

Електричні процеси при реальних навантаженнях



Наявність зсуву фаз між напругою і струмом ($\varphi \neq 0$) призводить до додаткових навантажень на енергосистему при незмінній кількості споживанні енергії. Через це енергетики розрізняють кілька видів потужності.

Миттєвої потужністю, що позначається $p(t)$, називають потужність в даний момент часу. Миттєва потужність дорівнює добутку миттєвих значень напруги $v(t)$ і струму $i(t)$, що існують в системі в даний момент часу:

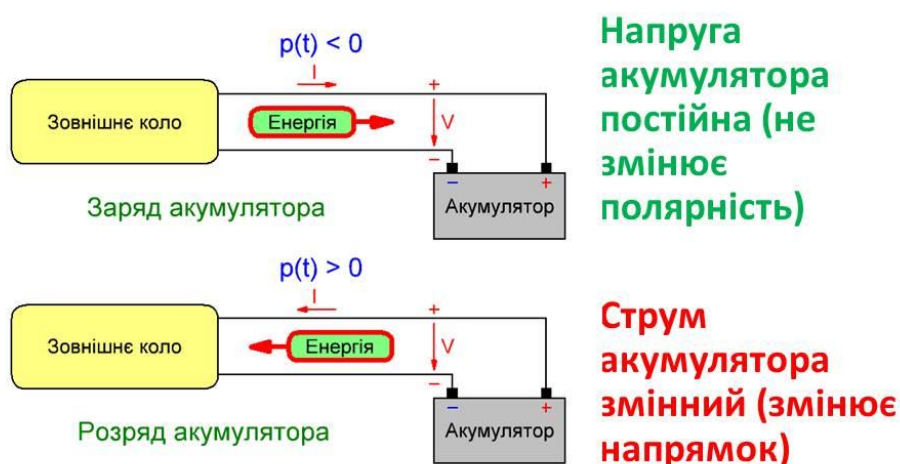
$$p(t) = v(t)i(t). \quad (20)$$

Миттєва потужність вимірюється в ватах і може бути позитивною і негативною. У теорії електричних кіл за умовно позитивний напрямок струму прийнято напрямком від позитивного полюса джерела живлення до негативного. При такому позначенні, якщо знаки напруги і струму збігаються, то миттєва потужність буде позитивною, і енергія буде передаватися від джерела живлення до споживача. Якщо ж знаки напруги і струму будуть протилежні, то миттєва потужність буде негативною, і енергія буде передаватися від споживача в джерело живлення.



Напрямок передачі енергії може змінюватися не тільки в системах електропостачання змінного струму. У колах постійного струму теж можуть відбуватися подібні речі. Прикладом тому є пристрої з живленням від акумуляторних батарей. Якщо через акумулятор протікає струм, спрямований від його позитивного полюса до негативного, то акумулятор буде заряджатися, виступаючи в якості споживача енергії, а якщо навпаки – то розряджатися, виконуючи роль джерела електричної енергії.

Миттєва потужність у колах постійного струму



Як бачимо, в системах електропостачання енергія передається з різною швидкістю і в різних напрямках, що дуже незручно при проведенні розрахунків, наприклад, при складанні рахунків за електроенергію. Тому на практиці зазвичай використовують середнє значення миттєвої потужності P :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt ; \quad (21)$$

де T – період напруги.

Ця потужність називається **активною потужністю** і, так само як і миттєва, вимірюється у ватах (Вт). Активна потужність показує, яка кількість енергії проходить через систему за одиницю часу і використовується навантаженням для корисних справ. Якщо помножити активну потужність на час роботи системи t , то можна визначити загальну кількість спожитої енергії E і, відповідно, загальну кількість виконаної корисної роботи:

$$E = Pt . \quad (22)$$

Однак енергетики, крім корисної потужності, повинні знати ще й рівень додаткових навантажень, створюваних устаткуванням на систему. Цей параметр отримав назву **реактивна потужність**. Реактивна потужність позначається буквою Q і вимірюється в варах (вольт-ампер реактивні, вар).

Щоб споживачі, що живляться змінною напругою, могли нормально працювати, система електропостачання повинна забезпечити їх енергією з урахуванням додаткових навантажень, тому довелося ввести ще один вид потужності, що отримала назву повна потужність.

Повна потужність позначається буквою S і визначає рівень навантаження, створюваного споживачем на систему електропостачання з урахуванням активної і реактивної складових. Для виключення плутанини повну потужність вимірюють в вольт-амперах (ВА), підкреслюючи, що цей параметр показує лише добуток напруги і струму в системі електроживлення, а реальна потужність, яка вимірюється в ватах, може відрізнитися від цього параметра.

Повну потужність часто називають «удаваною». Тобто, якщо в системі електропостачання існує напруга і струм з діючими значеннями, відповідно, V і I , то здається, що через таку систему повинна проходити електрична енергія зі швидкістю S :

$$S = VI . \quad (23)$$

Однак через те, що частина енергії зі швидкістю Q буде повертатися назад в джерело, фактична швидкість споживання енергії P буде менше S .

Починаючим фахівцям зазвичай складно з першого разу розібратися в цих процесах, тому уявіть, що ви зголодніли і замовили собі піцу з доставкою додому, а живеє ви на двадцять другому поверсі. Піца теж є джерелом енергії, тому кур'єра сміливо можна вважати системою енергопостачання.

І ось приїжджає до вашого будинку кур'єр на мопеді і йому залишається тільки піднятися до вас на 22-й поверх. Зазвичай кур'єр залишає мопед внизу і піднімається до вас тільки з коробкою піци. Але ви вирішили зробити прикольную фотку для своїх сторінок в соцмережах, тому в замовленні вказали, що кур'єр повинен подзвонити у двері вашої квартири, сидячи на мопеді. В цьому випадку кур'єру доведеться підняти на 22-й поверх не тільки піцу, а й мопед. Оскільки мопед ви їсти не будете, то кур'єру після фотосесії доведеться спустити його вниз і забрати з собою. Таким чином, кінцевий результат, в обох випадках буде однаковий – ви з'їсте піцу (активну енергію) і повернете мопед (реактивну енергію). Ось тільки кур'єр (система енергопостачання) у другому випадку більше втомиться, особливо якщо мопед не поміститься в ліфті.

Що таке реактивна потужність



І тепер відразу стає зрозуміло, що при наявності реактивних навантажень система електропостачання повинна бути могутнішою (мати велику повну потужність), оскільки їй доведеться тепер доставляти і активну і реактивну енергію, а кволий (малопотужний) кур'єр не підніме мопед з піцою на 22-й поверх, тобто не забезпечить потреби клієнта. Та й сам будинок (транспортна система) має мати коридори і сходові майданчики, що дозволяють доставити мопед до потрібної двері. А адже клієнт може замовити і доставку піци на автомобілі...

Ось і виходить, що реактивна потужність це зло, з яким потрібно боротися. І боротися з ним повинні, в першу чергу, енергетики, інакше їм доведеться постійно (100 раз в секунду при частоті мережі 50 Гц) «доставляти піцу разом з мопедом», тобто витратити свої ресурси на транспортування реактивної енергії на догоду примхам своїх клієнтів, що заощадили на обладнанні. Тому у енергетиків є свої механізми зменшення рівня реактивної потужності. Наприклад, «мопед» (реактивну енергію) можна зберігати в сусідній квартирі і не піднімати кожен раз – в цьому полягає принцип компенсації реактивної потужності за допомогою технічних пристроїв. А ще можна встановити ціну доставки «мопеда» – ввести тариф на реактивну потужність – після чого у клієнтів пропаде всяке бажання робити подібні замовлення.

Але повернемося до технічної сторони процесу. Активна, реактивна і повна потужності пов'язані між собою співвідношенням, що нагадує теорему Піфагора:

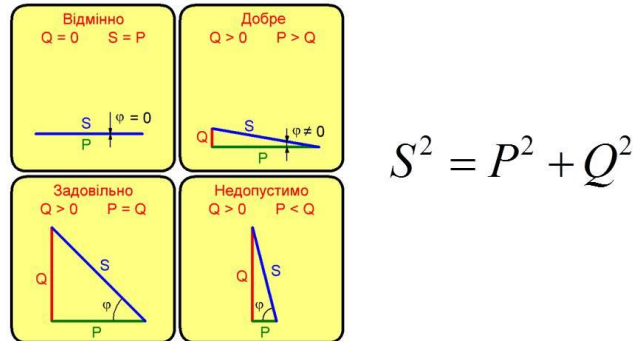
$$S^2 = P^2 + Q^2. \quad (24)$$

Тому їх дуже часто зображують графічно у вигляді прямокутного трикутника потужностей, де повна потужність S є гіпотенузою, а активна P і реактивна Q потужності – катетами. Найцікавіше полягає в тому, що кут ϕ між гіпотенузою і катетом, відповідним активної потужності, чисельно збігається із зміщенням фази між напругою і струмом.

У цьому випадку зв'язок між різними типами потужності можна представити наступними співвідношеннями:

$$\begin{aligned} P &= S \cos \varphi = VI \cos \varphi, \\ Q &= S \sin \varphi = VI \sin \varphi. \end{aligned} \quad (25)$$

Трикутник потужностей



У формулі (11) особливу увагу заслуговує параметр $\cos \varphi$, який отримав спеціальну назву «коефіцієнт потужності» (Power Factor). Коефіцієнт потужності є безрозмірною величиною, що зв'язує активну і повну потужності, і може приймати значення від 0 до 1. Фактично цей параметр визначає якість споживання енергії конкретним обладнанням – чим він вищий, тим менше додаткових навантажень створює споживач на джерело живлення і, відповідно, тим якісніше обладнання споживає електричну енергію.

Коефіцієнт потужності

Коефіцієнт потужності (Power factor)
визначає якість споживання електричної енергії

$$\Psi = \frac{P}{S}$$

Варіанти позначень:

Ψ (читається "пси")
 $\cos \varphi$ (читається "косінус фі")
 PF (від англ. Power factor)

$$0 \leq P \leq S$$

$$0 \leq \Psi \leq 1$$

Якість споживання
електричної енергії

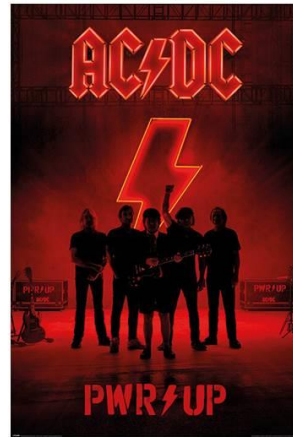
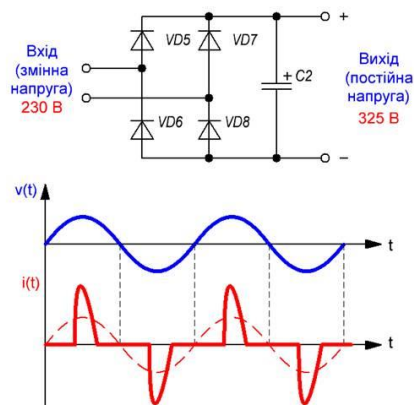
$\Psi = 0,95 \dots 1,00$ - висока
 $\Psi = 0,85 \dots 0,95$ - добра
 $\Psi = 0,65 \dots 0,85$ - задовільна
 $\Psi = 0,50 \dots 0,65$ - низька
 $\Psi = 0,00 \dots 0,50$ - незадовільна

Як споживають енергію комп'ютери

Отже, обладнання, що живиться змінною напругою, може не завжди якісно споживати електричну енергію, через що в системах електропостачання змінного струму розрізняють три основних види потужності: активну, реактивну і повну. При цьому якість споживання енергії визначається формою струму, споживаного обладнанням, і існує три типи навантаження: активне, індуктивне і ємнісне, що відрізняються зсувом фази між напругою і струмом.

Однак існує ще й четвертий тип навантаження – нелінійна. У нелінійних навантажень зсув фаз між напругою і струмом відсутній ($\varphi = 0$), однак форма струму є несинусоїдальною. Таку форму струму мають вузли, що перетворюють змінну напругу в постійну. Найчастіше ці вузли будуються на основі мостових випрямлячів, що працюють на ємнісний згладжує фільтр. Особливістю роботи цієї схеми є те, що діоди випрямляча пропускають струм, тільки коли абсолютне значення вхідної напруги буде більше напруги на конденсаторі, а це відбувається лише поблизу максимумів напруги.

Принцип роботи випрямляча (нелінійне навантаження)

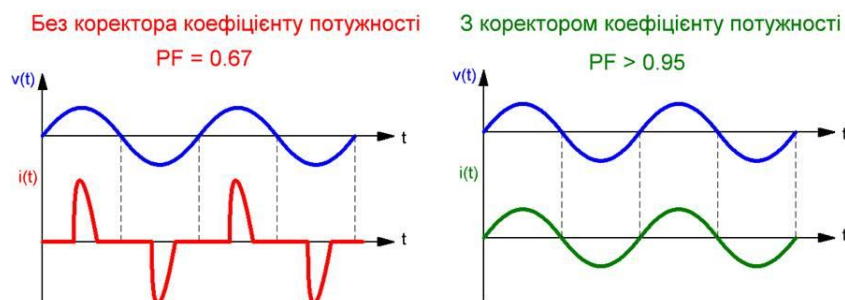


При такому характері споживання навантаженню за короткий проміжок часу необхідно спожити досить велику кількість енергії, тому струм, споживаний з мережі, має форму коротких імпульсів з амплітудою, що набагато перевищує амплітуду синусоїдального струму при тій же активній потужності. Очевидно, що такий характер споживання також створює додаткове навантаження на мережу, яку також можна представити у вигляді реактивної потужності, хоча фізичних коливань енергії між джерелом і споживачем в цьому випадку немає.

Нелінійний характер споживання зазвичай мають додатки, в яких відбувається перетворення змінної напруги в постійну. У їх число входить вся електронна техніка, в тому числі комп'ютери, телевізори, монітори та інше інформаційне обладнання. У переліку технічних характеристик подібних приладів коефіцієнт потужності присутній обов'язково, проте, щоб не плутати з навантаженням з синусоїдальним характером споживання, його зазвичай позначають не $\cos\varphi$, а PF (аббревіатура від «Power Factor»). Типове значення коефіцієнта потужності звичайного комп'ютерного блоку живлення (монітора, телевізора тощо) знаходиться в межах 0.65 ... 0.67. А ось більш дорогі (і потужні) моделі мають в своєму складі спеціальний вузол – коректор коефіцієнта потужності, яка формує струм синусоїдальної форми з коефіцієнтом потужності, що досягає 0,99.

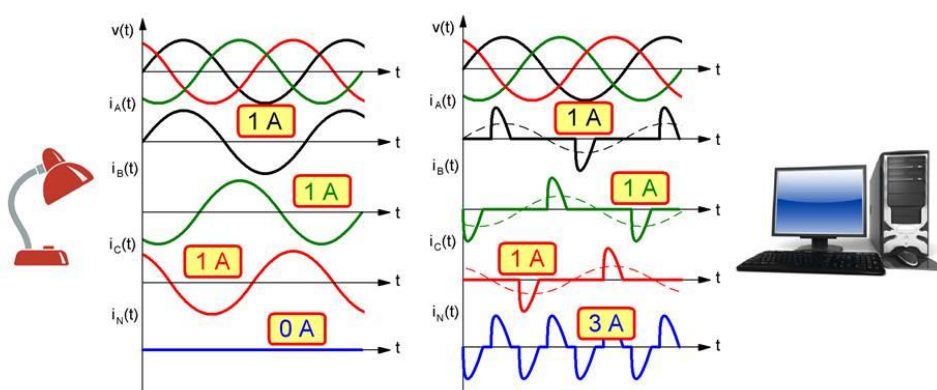
Коректор коефіцієнту потужності

Коректор коефіцієнту потужності (Power Factor Corrector, PFC) – вузол, призначений для збільшення коефіцієнту потужності



Велика кількість пристроїв з нелінійним характером споживання створює перевантаження в системах електропостачання. Особливо критичний до цього нульовий провід. Як було показано вище, коли струми мають синусоїдальну форму, то вони взаємно компенсуються, в результаті чого діюче значення струму в нульовому проводі не перевищує струму в фазних проводах. При нелінійному навантаженні (а його тепер часто називають «навантаженням комп'ютерного типу») цього не відбувається, тому діюче значення струму в нульовому проводі в найгіршому випадку – коли все обладнання формує струм несинусоїдальної форми – може в три рази перевищувати допустиме значення. А енергетики, згідно з ПУЕ, використовують для нього провідники такого ж перетину, як і для фазних.

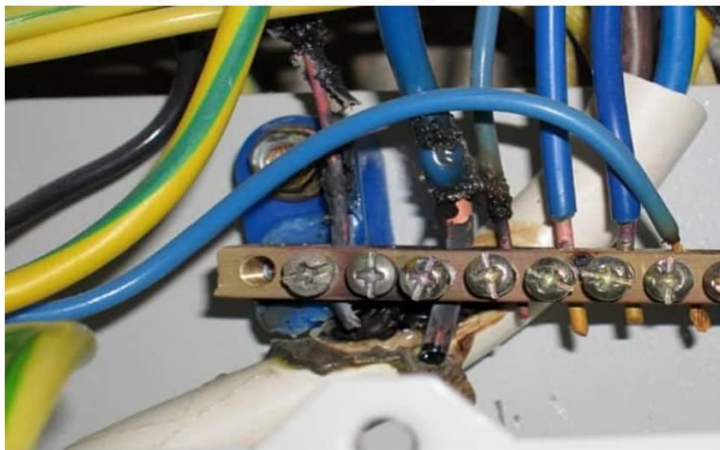
Електричні процеси при використанні обладнання із нелінійною формою споживаного струму



При використанні обладнання із нелінійним споживанням струму по нульовому провіднику може протікати струм утричі більший за номінальний

Тому не дивно, що в приміщеннях, в яких встановлено велику кількість комп'ютерів, нульовий провід часто виявляється перевантажений і відгоряє. Відбувається це зазвичай в розподільних щитах – в місці з'єднання його з іншими провідниками. Через підвищений опір контакту в цій точці починається інтенсивне виділення тепла, через що, в гіршому випадку, може початися пожежа.

Обгорання нульового проводу у розподільчому щитку



Що відбувається при обриві нульового проводу

Розглянемо спочатку простий приклад. Нехай у нас використовується ті ж два світильника з лампами розжарювання потужністю $P = 230$ Вт, підключені до фаз А і В і, відповідно, до нульового проводу. При відключенні нульового проводу від трансформатора у нас буде схема, що складається з двох послідовно з'єднаних світильників, підключених до лінійної напруги між фазами А і В, яке, як вже відомо, дорівнює $V_L = 400$ В.

Спочатку визначимо активний опір світильників. Перед цим ми з'ясували, що в нормальному режимі роботи, коли на них подається напруга $V_F = 230$ В вони споживають струм $I = 1$ А. Отже, за законом Ома, їх опір дорівнює R :

$$R = \frac{V_F}{I} = \frac{230}{1} = 230 \text{ Ом}.$$

При підключенні двох послідовно з'єднаних світильників до лінійної напруги $V_L = 400$ В в ланцюзі колі буде протікати струм I_L :

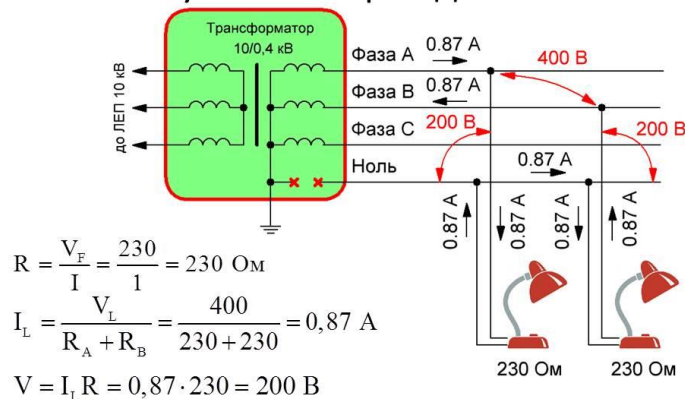
$$I_L = \frac{V_L}{R_A + R_B} = \frac{400}{230 + 230} = 0,87 \text{ А}.$$

При такому струмі на кожному світильнику буде падати напруга V :

$$V = I_L R = 0,87 \cdot 230 = 200 \text{ В}.$$

Тобто, при обриві нульового проводу на кожен світильник замість 230 В буде подано 200 В, а струм в системі з 1 А зменшиться до 0,87 А. Як бачите, нічого страшного не сталося. Навіть світильники не згасли і продовжують світити, хоч і не так яскраво.

Електричні процеси при обриві нульового провідника



А тепер замість одного зі світильників підключимо електричний чайник потужністю $P = 2300$ Вт. У нормальному режимі роботи, коли нульовий провід не обірваний і на чайник подається напруга $V_F = 230$ В, він буде споживати струм I :

$$I = \frac{P}{V_F} = \frac{2300}{230} = 10 \text{ А}.$$

Отже, його опір дорівнює:

$$R = \frac{V_F}{I} = \frac{230}{10} = 23 \text{ Ом}.$$

При обриві нульового проводу до джерела з лінійною напругою $V_L = 400$ В буде підключеної коло, що складається з послідовно з'єднаних чайника з $R_A = 23$ Ом і світильника з $R_B = 230$ Ом. При цьому у колі почне протікати струм I_L :

$$I_L = \frac{V_L}{R_A + R_B} = \frac{400}{23 + 230} = 1,581 \text{ A}.$$

При такому струмі до чайника буде докладена напруга:

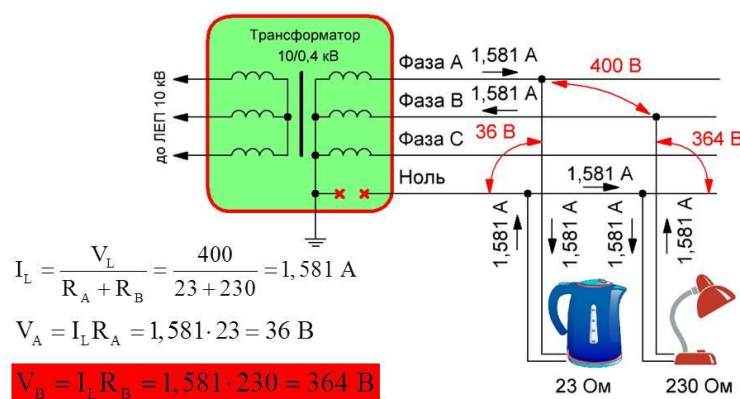
$$V_A = I_L R_A = 1,581 \cdot 23 = 36 \text{ В};$$

а до світильника:

$$V_B = I_L R_B = 1,581 \cdot 230 = 364 \text{ В}.$$

При таких напругах з чайником нічого поганого не трапиться – він просто не буде працювати. А от якщо на світильник замість 230 В подати 364 В, то наслідки можуть бути найгірші.

Електричні процеси при обриві нульового провідника

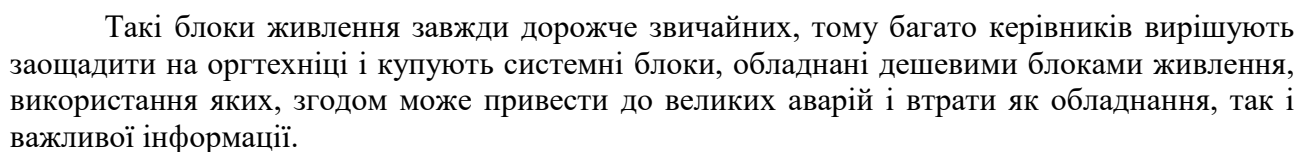


Можна виконати аналогічні розрахунки і для випадку, коли в системі присутні споживачі, підключені до всіх трьох фаз (найреальніший випадок). Однак результат буде той же: при обриві нульового проводу напруги в розетках не зміняться лише при ідеально збалансованому навантаженні – коли до всіх трьох фаз підключені споживачі з однаковим опором. Однак на практиці такого не буває ніколи – завжди існують певні «перекоси» навантаження. А навіть якщо в момент обриву нульового проводу навантаження було ідеально збалансовано (у цьому випадку струм в нульовому проводі дорівнює нулю), то достатньо комусь в офісі запустити документ на друк на лазерному принтері, як вся система зруйнується.

У чому винен системний адміністратор?

Основна вина системного адміністратора, або іншого фахівця, що займається закупівлею інформаційної техніки, полягає в тому, що під час вибору обладнання коефіцієнт потужності не враховувався, а враховувалася тільки ціна (блоки живлення з коректором коефіцієнта потужності коштують дорожче). Якщо комп'ютер з блоком живлення без коректора коефіцієнта потужності встановити, наприклад, вдома, то нічого страшного не повинно статися. Відносна частка таких споживачів в загальному енергопостачанні житлових будинків поки що незначна, і вони не створять великого додаткового

Комп'ютерний блок живлення із
коректором коефіцієнту потужності



Про необхідність використання комп'ютерного обладнання з високим коефіцієнтом потужності до сих пір ведуться запеклі суперечки. Одні ІТ-фахівці вважають, що це необхідно, а інші – що це зайва трата грошей, адже крім системних блоків в офісах і бізнес-центрах використовується і інше устаткування, зокрема, монітори, також мають низький коефіцієнт потужності.

Крім того, в наступних лекціях буде показано, що комп'ютерні блоки живлення, що відповідають останнім версій стандарту 80 PLUS, мають не тільки високий коефіцієнт потужності, але і високі значення ККД, а це вже пряме зменшення рахунків за електроенергію.

Лекція 5. Безпека користування промисловою мережею

На початку 2000-х років я працював інженером у IT-відділі одного одеського гіпермаркету. І ось одного разу до мене надійшла заявка на перестановку лазерного принтера з однієї тумбочки на іншу. Зараз це може виглядати смішним, але тоді для багатьох людей комп'ютерна техніка ще залишалася небаченим заморським дивом. Тому «щоб уникнути псування корпоративного обладнання внаслідок некваліфікованих дій темних користувачів» будь-які маніпуляції з обладнанням, хоч якось пов'язаним з комп'ютерами, проводилися або безпосередньо співробітниками IT-відділу, або під їх невиспущим контролем, або, у виняткових випадках, з їхнього «благословення».

Спочатку ніщо не віщувало біди. Я переставив принтер з однієї тумбочки на іншу, але оскільки шнур живлення принтера був закороткий, мені довелося підключити його в інший розетковий блок, до якого, до речі, вже було щось підключено (тобто розетки були умовно справними). Несподівано в момент з'єднання вилки принтера з розеткою стався великий «бабах», від якого в мене потемніло в очах. На щастя, в очах у мене потемніло від того, що відключилося освітлення в приміщенні, звичайно, разом з рештою електроустаткування.

Оскільки вмикати автомат, що спрацював, я не мав повноважень (я навіть не знав, де він знаходиться), то на місце події були викликані чергові електрики, які швидко встановили, що причиною короткого замикання став принтер. На мої заперечення, що подібні збіги малоімовірні, вони не відреагували, а повторний експеримент із включенням принтера дав той самий результат – відключення електроживлення у всьому приміщенні через коротке замикання.

Мені нічого не залишалося робити, як взяти зламаний принтер і вирушити на склад за заміною, даремно переконуючи себе, що це лише безглуздий збіг, і мені просто не пощастило. Повернувшись із черговим принтером, призначеним для оперативної підміни несправних, я, насамперед, його перевірів, роздрукувавши пробну сторінку (дана модель мала таку функцію). Після цього я спробував з'єднати його з комп'ютером, але як тільки торкнувся сигнальним кабелем корпусу системного блоку, знову сталося коротке замикання. Викликані повторно електрики були дуже толерантними, проте, разом з рештою співробітників цього відділу, справедливо і багатослівно помітили, що такий популярний в Одесі гіпермаркет є не найвдалішим місцем для проведення експериментів з електрикою, а моя кваліфікація IT-фахівця викликає у них обґрунтовані сумніви.

Ну а мені потрібно було якось пояснити, в тому числі і своєму начальству, чому протягом півгодини вийшло з ладу два не найдешевші лазерні принтери і, як згодом виявилось, ще й материнська плата системного блоку. На жаль, на той час мені просто не вистачило практичного досвіду для запобігання повторній аварії. А ось знань, щоб розібратися в цій ганебній ситуації, виявилось цілком достатньо.

Після ретельного огляду місця аварії я виявив, що системний блок, монітор та принтер (до перестановки) підключалися до розетки за допомогою подовжувача. Розібравши в присутності електриків та начальника відділу цю інсталяцію, я виявив, що її зробили самостійно із триполюсної розеткової колодки та двопровідного кабелю. А коротке замикання сталося через те, що дроти кабелю були зачищені від ізоляції трохи більше, ніж необхідно, і торкалися ні до чого не підключеного захисного контакту розеткової колодки. Сперечатись із цим було важко, оскільки сліди від контакту були видні неозброєним оком.

У результаті провід подовжувача, з'єднаний з фазним проводом системи електропостачання, торкався захисного контакту розеткової колодки, внаслідок чого корпус системного блоку, монітора та принтера опинилися під фазною напругою. Поки принтер був підключений до того ж подовжувача, що й системний блок, то вся ця система чудово працювала. Але як тільки я підключив його до розетки зі справним заземленням, електричне коло замкнулося, і сталося коротке замикання (рис. 1).

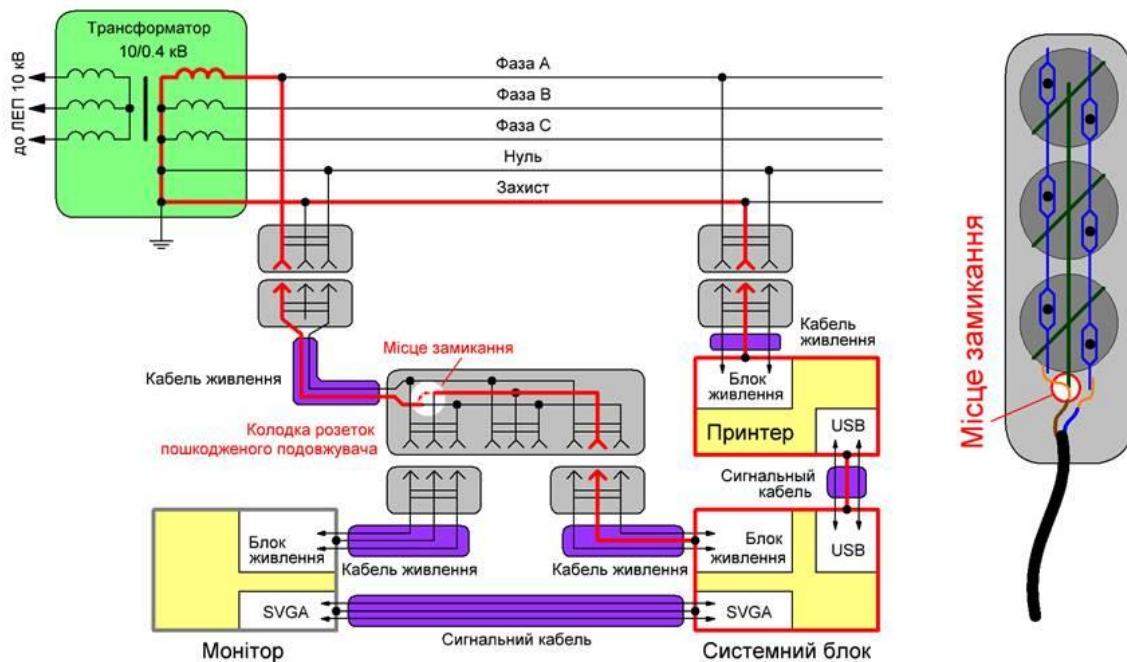


Рисунок 1 – Шлях протікання струму внаслідок замикання у розетковій колодці подовжувача

На той час мобільні телефони з цифровими камерами тільки починали з'являтися у продажу, тому фотографію цієї інсталяції зробити не було чим. Однак навіть з рисунка видно, що кілька людей, у тому числі я, у прямому розумінні слова ризикували життям, працюючи з обладнанням, підключеним до саморобного подовжувача. І просто диво, що ні я, ні товарознавець, який, до речі, так і не зміг згадати, скільки часу він наражався на небезпеку, працюючи за цим комп'ютером, жодного разу не потрапили під вплив електричного струму. Немаловажну роль у цьому відіграло те, що корпус принтера та монітора були майже повністю пластиковими. Але системний блок був металевим і був у зоні контакту товарознавця. Найімовірніше, замикання було непостійним. Зрештою, постраждала лише техніка: два лазерні принтери та материнська плата системного блоку – на ній, на щастя, лише вигорів LPT-порт.

Як ви вже зрозуміли, у цій частині циклу «Електроживлення комп'ютерного обладнання» йтиметься про методи захисту від ураження електричним струмом. Кількість інформації, присвяченої цьому питанню, виявилася настільки великою, що її довелося розбити на дві частини. У цій частині йтиметься про особливості ізоляції, що використовується при живленні обладнання від промислової мережі змінного струму, а наступна частина буде присвячена конкретним питанням, пов'язаним із заземленням, зануленням та захисним відключенням.

Як електричний струм діє на організм людини

Якщо виключити випадки фатального невдачі, коли постраждали ненавмисно виявляються не в той час і не в тому місці, наприклад, у місці обриву проводів ліній електропередач, люди найчастіше отримують електротравму внаслідок двох причин. Перша причина полягає в людській самовпевненості, неуважності чи необережності, коли людина через розсіяність, невігластво чи навмисно ігнорує правила безпеки або «лізе куди не треба». Наприклад, розбирає установки, що знаходяться під напругою, працює з несправним обладнанням, входить до зони з високою ймовірністю ураження електричним струмом або робить інші речі, які «не товаришують» зі здоровим глуздом. Боротися з цим можна лише молитвами, хоча розумні люди обґрунтовано стверджують, що «Проти дурості самі Боги боротися безсилі».

Друга причина більш небезпечна, оскільки може статися з будь-якою, навіть найрозумнішою, уважною, освіченою і акуратною людиною в будь-якому місці і в будь-який час. Йдеться про пошкодження ізоляції всередині обладнання, коли його компоненти, найчастіше – металевий корпус, виявляються під небезпечною напругою. У цьому випадку створюються умови для протікання електричного струму, через тіло людини та землю, внаслідок чого його здоров'я та життя опиняються під загрозою. Небезпека цієї ситуації полягає в тому, що обладнання може залишатися в робочому стані, як у випадку, описаному на початку статті, і доки по людині не почне протікати електричний струм, він навіть не підозрюватиме про аварію.

Результати медичних досліджень показують, що електричний струм діє на тіло людини комплексно та багатогранно, і загальний результат її протікання може бути як позитивним, так і негативним. Однак нас, у рамках циклу «Електроживлення комп'ютерного обладнання», цікавлять лише два найстрашніші негативні впливи електричного струму, наслідки яких, з великою ймовірністю, будуть найгіршими: теплове (термічне) та біологічне.

Розглянемо фізику процесу. Через великий вміст води тіло людини є гарним провідником електричного струму, тому при попаданні під напругу V через людину протікатиме струм $I_{\text{люд}}$, величина якого визначається законом Ома:

$$I_{\text{люд}} = \frac{V}{R_{\text{люд}}} . \quad (26)$$

Опір тіла людини $R_{\text{люд}}$ залежить від багатьох факторів, у тому числі і від настрою, і може коливатися в широких межах, тому одна напруга на одну і ту ж людину в різний час буде діяти зовсім по-різному. Згідно з міжнародними рекомендаціями, у розрахунках, пов'язаних з електробезпекою, опір тіла людини приймають рівним 1 кОм, хоча у більшості здорових людей у нормальному фізичному та психологічному стані воно значно більше. Але в гіршому випадку – коли шкіра людини є вологою, а сама людина хвора або перебуває у стані депресії, стресу, алкогольного чи наркотичного сп'яніння – при попаданні під фазну напругу $V_F = 230$ В (найчастіший випадок) через її тіло пройде струм, рівний:

$$I_{\text{люд}} = \frac{V_F}{R_{\text{люд}}} = \frac{230}{1000} = 230 \text{ мА} . \quad (27)$$

Чи багато це чи мало? Давайте спочатку розглянемо теплові процеси.

При протіканні електричного струму будь-який провідник починає нагріватися. Потужність тепла, що виділяється в провіднику, в даному випадку – в тілі людини, $P_{\text{люд}}$ визначається законом Джоуля-Ленца:

$$P_{\text{люд}} = I_{\text{люд}}^2 R_{\text{люд}} = 0,23^2 \cdot 1000 = 53 \text{ Вт} . \quad (28)$$

За такої потужності можна отримати сильний опік, особливо якщо тепло виділятиметься в невеликому обсязі, наприклад, у межах долоні (коли людина взяла до рук два дроти, що знаходяться під такою напругою). А от якщо людина залізе на дах залізничного вагона і потрапить у зону ураження контактного дроту, що знаходиться під напругою $V = 27,5$ кВ, тоді в його тілі виділиться потужність:

$$I_{\text{люд}} = \frac{V}{R_{\text{люд}}} = \frac{27500}{1000} = 27,5 \text{ А},$$

$$P_{\text{люд}} = I_{\text{люд}}^2 R_{\text{люд}} = 27,5^2 \cdot 1000 = 756 \text{ кВт}.$$
(29)

Теплоємність людського тіла дорівнює $C_{\text{люд}} = 3,47 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)}$, тому для того, щоб людина масою $m_{\text{чел}} = 80 \text{ кг}$ нагрілася з початкової температури $T_1 = 36,6 \text{ °C}$ до температури, при якій руйнується білок ($T_2 = 42 \text{ °C}$), потрібно:

$$t = \frac{C_{\text{люд}} m_{\text{люд}} (T_2 - T_1)}{P_{\text{люд}}} = \frac{3470 \cdot 80 \cdot (42 - 36,6)}{756000} \approx 2 \text{ с}.$$
(30)

І це за умови, що тепло, що виділяється в зоні протікання електричного струму, буде швидко і рівномірно розподілятися по всьому тілу. А оскільки в реальності такого не буде, то тканини, якими безпосередньо пройде струм такої величини, у тому числі й внутрішні органи, зваряться або згорять, у прямому розумінні цих слів, за частки секунди. Тому я ще раз зверну увагу поки що живих екстремалів – любителів робити селфі на залізниці, що при попаданні в зону ураження контактного дроту або дахового обладнання вагонів, яка за несприятливих умов може досягати кількох метрів, ймовірність вижити вкрай мала.

Тепер стає зрозуміло, чому електроустановки з напругою понад 1000 В повинні обслуговуватися тільки спеціалізованим персоналом, який має відповідний допуск, адже при ураженні електричним струмом з такою напругою людина з великою ймовірністю або помре або стане інвалідом. В інформаційному та комп'ютерному обладнанні такі напруги зазвичай не використовуються, тому ІТ-фахівці, як правило, отримують стандартний допуск до електроустановок з напругою до 1000 В.

У домашніх та офісних розподільчих мережах набагато небезпечнішим є біологічна дія електричного струму. Нервова система людини і тварин має електричну природу, тому наші нерви можна вважати проводами, призначеними передачі сигналів від мозку (головного чи спинного) до м'язів. Вочевидь, що підмішування зовнішнього електричного струму в сигнали управління призведе до «відключення» м'язів від центральної нервової системи, внаслідок чого вони скорочуватимуться зовсім не так, як це було задумано природою. Не є винятком і м'язи, які відповідають за роботу серця та легень. Протікання через ці органи зовнішніх струмів навіть невеликої величини може призвести до паралічу дихання та хаотичної роботи м'язів серця (фібриляції), внаслідок чого людина може померти за кілька хвилин.

Результат протікання змінного електричного струму з частотою 50/60 Гц залежить від його величини та часу його дії (рис. 2). Як видно з рисунка, струм менше 0,5 мА, що протікає найбільш небезпечними шляхами (рука-рука, рука-ноги, голова-руки, голова-ноги), більшістю людей практично не відчувається. При струмі 0,5...2 мА виникають неприємні відчуття у вигляді поколювання або сверблячки в місці контакту. Струм більшої величини стає причиною чітких болів, сила яких пропорційна величині струму. При струмі більше 10 мА різко виникає ризик появи настільки сильних судом, що людина, в більшості випадків, не може самостійно звільнитися від його впливу, а тривалий вплив струму більше 50 мА може призвести до паралічу дихання і фібриляції серця. А це означає, що струм 230 мА, отриманий в результаті розрахунків за формулою (2), цілком може стати причиною найнеприємніших подій і для людини, яка потрапила під його вплив, і для його родичів.

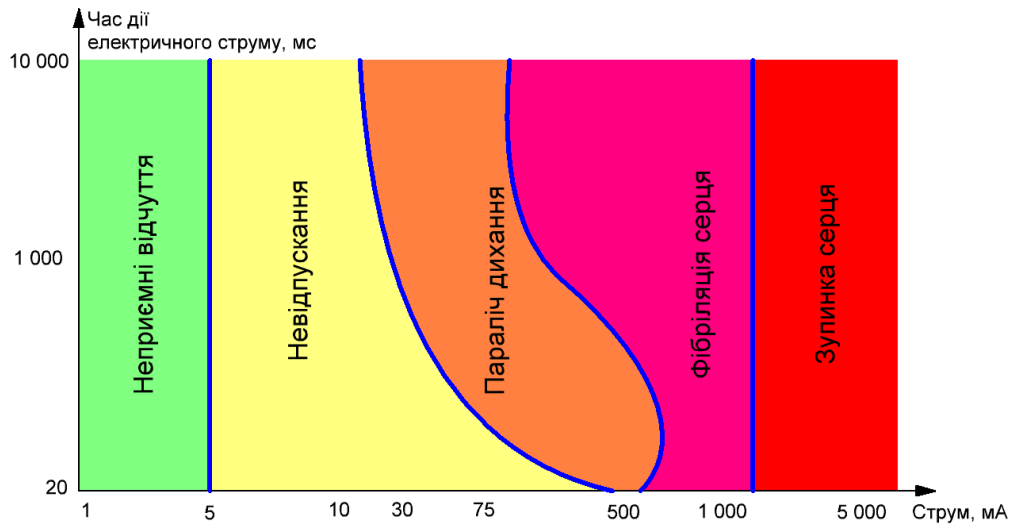


Рисунок 3 – Характер впливу електричного струму на тіло людини

Зверніть увагу, що людину вражає не напруга, а струм, тому абсолютно безпечної напруги немає. Основний внесок у опір тіла людини робить шкіра, тому якщо шкірні покриви перебувають у нормальному стані, то опір тіла людини у звичайних умовах набагато перевищує 1000 Ом (іноді більше ніж на порядок). Крім того, коли людина, що стоїть на підлозі, однією рукою торкається об'єкта, що знаходиться під фазною напругою (найчастіший випадок ураження людей від побутових та офісних електроприладів), то в загальний опір кола додається ще, як мінімум, опір взуття і підлогового покриття. Тому якщо контакт із пошкодженим обладнанням стався, коли людина була взута в сухе взуття на товстій діелектричній підшві, та ще й стояла на покритті з великим електричним опором, наприклад, на гумовому килимку, то струм може виявитися значно меншим за поріг чутливості. Цим пояснюється той факт, що чимало людей хоч раз у житті потрапляли під вплив електричного струму, але при цьому залишалися живими та здоровими.

Якщо ж прийняти найгірший випадок, коли електричний струм, минаючи шкірні покриви, протікає тільки по внутрішніх тканинах, опір яких знаходиться в межах 100 ... 500 Ом, що може статися, наприклад, при травмах або під час хірургічних операцій, то для створення смертельного струму (50 мА) достатньо змінної напруги величиною:

$$V = I_{\text{люд}} R_{\text{люд}} = 0,05 \cdot 100 = 5 \text{ В},$$

а для струму, що викликає судоми та сильні болі (10 мА):

$$V = I_{\text{люд}} R_{\text{люд}} = 0,01 \cdot 100 = 1 \text{ В}.$$

Постійний струм менш небезпечний. Поріг чутливості людини до впливу постійного струму починається приблизно з 5 мА, а небезпечним для життя він ставиться за величиною, починаючи з 80 мА. Однак це не означає, що до нього слід ставитися зверхньо – в «вмілих» руках навіть батарейка «Крона» може стати смертельною зброєю. Так, в 1999 році премії Дарвіна був удостоєний моряк ВМС США, якого вбило струмом при спробі виміряти опір внутрішніх органів власного тіла за допомогою мультиметра, що живиться від батареї з напругою 9 В. Щоб провести цей експеримент, моряку довелося до крові стиснути два загострені вимірювальні щупи мультиметра (за іншими даними він спеціально ввів загострені кінці щупів під шкіру великих пальців рук). Комітетом премії Дарвіна цей випадок офіційно не підтверджено, тобто він, фактично, має статус «міської легенди». Однак на сторінці, присвяченій цьому інциденту, є свідчення людини, яка нібито бачила офіційні звіти керівництва ВМФ США з докладним описом цієї події.

Як працює захист від ураження електричним струмом

Отже, коли відомий механізм впливу електричного струму, розглянемо, як можна від нього захиститися. Почнемо з того, що повністю виключити протікання електричного струму через тіло людини неможливо. Навіть коли людина торкається неушкодженого ізолюваного дроту, через його тіло завжди протікає деякий струм, що має дві компоненти: активну та реактивну. Величина активної компоненти залежить від опору ізоляції проводу та опору між людиною та землею, а реактивної – від ємності, утвореної складною системою провід-людина-земля, величина якої залежить від багатьох факторів, у тому числі, і від того, наскільки далеко людина знаходиться від найближчої стіни. На щастя, опір ізоляції зазвичай дуже великий, а ємність дуже мала, тому на частоті 50/60 Гц струм, що протікає через тіло людини, що торкнувся ізолюваного дроту, значно менше 1 мА, і ми його просто не відчуваємо.

Однак будь-яка, навіть найякісніша, ізоляція може будь-якої миті втратити свої ізолювальні властивості. Найчастіше це пов'язано з механічними пошкодженнями проводів, наприклад під час проведення монтажних або ремонтних робіт. Іноді причиною погіршення ізоляційних властивостей можуть стати перенапруги, у тому числі удари блискавок. Але навіть якщо провід був правильно змонтований та експлуатувався відповідно до рекомендацій виробника, згодом будь-яка ізоляція втрачає свої властивості та руйнується, особливо якщо вона була виготовлена з неякісних матеріалів. Тому можна сміливо вважати, що руйнація ізоляції є нормальним природним процесом, який рано чи пізно станеться у будь-якій системі електропостачання та у будь-якому електроприладі. Це означає, що з точки зору електробезпеки до цього потрібно бути завжди готовим і завчасно вжити всіх необхідних заходів для коректної поведінки людей та системи в цьому випадку.

Таким чином, основною функцією технічних засобів захисту від ураження електричним струмом є не абсолютний захист (для цієї людини доведеться забути, що таке електрика), а своєчасне виявлення пошкоджень ізоляції та мінімізація величини та часу перебігу електричного струму через людину. Це означає, що при пошкодженні захисної ізоляції людина все одно, з високою ймовірністю, потрапить під дію електричного струму, проте при цьому будуть обмежені або його величина, або час його перебігу, або обидва параметри одночасно.

Коли електрична ізоляція може бути небезпечною для життя

Логічно припустити, що найкращим способом захисту людини від ураження електричним струмом є додаткова ізоляція. Саме так і чинили на початку комерційного використання електрики. Перші системи електропостачання, як правило, не мали електричного контакту із землею і, згідно з сучасною класифікацією, належали до систем із ізолюваною нейтраллю (в електротехніці нейтраллю називається загальна точка з'єднання обмоток трансформатора або генератора).

Розглянемо, що станеться у такій системі у разі пробією ізоляції між електричним проводом та корпусом приладу. У найгіршому випадку – коли людина стоїть босоніж на мокрій землі – у колі протікання струму є ділянка з високим опором – ізоляція проводів та обмоток трансформатора (рис. 3). Припустимо, що опір ізоляції дорівнює $R_{\text{ІЗОЛ}} = 1 \text{ МОм}$ (насправді воно зазвичай набагато більше). В цьому випадку через тіло людини пройде струм, що дорівнює:

$$I_{\text{люд}} = \frac{V_F}{R_{\text{люд}} + R_{\text{ІЗОЛ}}} = \frac{230}{1000 + 1000000} = 0,23 \text{ мА} . \quad (31)$$

Однак у наших будинках та офісах використовуються системи із заземленою нейтраллю, у яких, згідно з назвою, загальна точка з'єднання обмоток трансформатора електрично з'єднується із землею (заземляється). Величина опору в колі заземлення нейтралі R_N залежить від потужності трансформатора (що більше потужність, тим менше опір), але не може перевищувати 4 Ом.

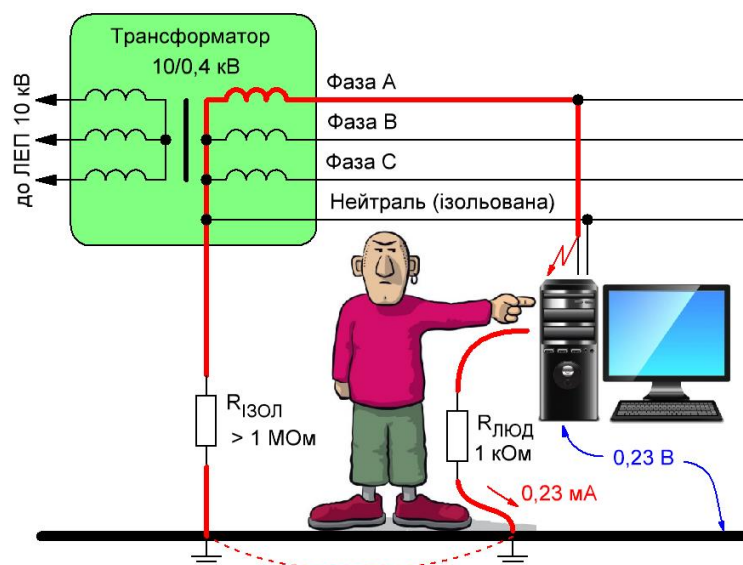


Рисунок 3 – Шлях протікання струму через тіло людини у системі із ізолюованою нейтраллю

При заземленій нейтралі пробій ізоляції всередині обладнання може призвести до появи на корпусі приладу напруги, рівній фазній напрузі мережі $V_F = 230$ В. Якщо людина, що стоїть босоніж на сирій землі, торкнеться корпусу цієї установки (рис. 4), то коло замкнеться і через її тіло пройде струм, що дорівнює:

$$I_{\text{люд}} = \frac{V_F}{R_{\text{люд}} + R_N} = \frac{230}{1000 + 4} = 230 \text{ мА} . \quad (32)$$

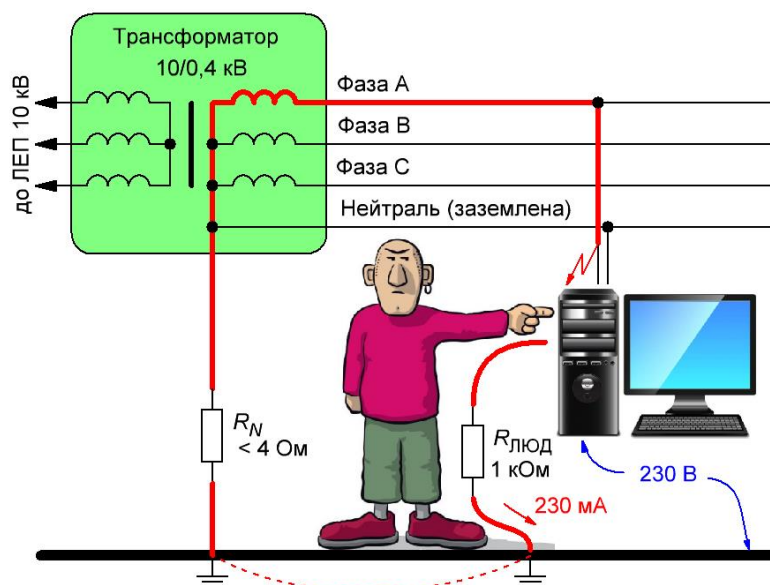


Рисунок 4 – Шлях протікання струму через тіло людини у системі із заземленою нейтраллю

Як видно з розрахунків, системи із заземленою нейтраллю теоретично є набагато небезпечнішими для людини, ніж системи, у яких нейтраль ізолювана від землі. Якщо в системі з ізолюваною нейтраллю корпус, наприклад комп'ютера, через пробію ізоляції виявиться з'єднаним з фазним провідником, то через тіло людини пройде струм, якого він навіть не відчує (0,23 мА). А ось у системі із заземленою нейтраллю цей струм вже може досягти небезпечних значень (230 мА) та призвести до загибелі людей.

Тоді чому в домашніх та офісних системах електропостачання використовують небезпечніші системи із заземленою нейтраллю? Невже енергетики у всьому світі змовилися і вирішили таким чином скоротити чисельність населення? Давайте розбиратися далі.

Справа в тому, що всі переваги системи із ізолюваною нейтраллю актуальні лише при виконанні однієї умови – «безпечне» пошкодження ізоляції може статися лише в одному місці. При цьому якщо десь в ізолюваній системі пошкодиться ізоляція одного з фазних проводів, і він виявиться електрично з'єднаним із землею, то без застосування спеціальних технічних засобів виявити таке пошкодження буде вкрай складно. Система може роками працювати в цьому режимі і не загрожувати ні для обладнання, що живиться від неї, ні для людей. Однак так триватиме доти, доки подібна аварія не станеться ще в якомусь іншому місці.

Давайте розглянемо, що станеться в системі із ізолюваною нейтраллю, якщо пошкодження ізоляції відбудеться відразу у двох місцях. Припустимо, спочатку відбулася пробій ізоляції комп'ютера, підключеного до фази А (рис. 3). Поки нічого страшного не трапилося – комп'ютер нормально працює, а користувач активно рухає мишкою, навіть не підозрюючи про те, що його життя вже кілька місяців наражається на смертельну небезпеку. Раптом абсолютно в іншому місці, наприклад, у сусідньому будинку (за умови, що він підключений до того ж трансформатора), хтось випадково з'єднав із землею провід, підключений до фази С, наприклад, пошкодивши цвяхом приховану в стіні електропроводку (рис. 5). Оскільки трансформатор ізолюваний від землі, то для неуважного «оператора молотка» нічого страшного теж не станеться – він зможе абсолютно безпечно, навіть стоячи босоніж на мокрій підлозі та не відключаючи електрику, витягнути цей цвях або так і залишити його в стіні.

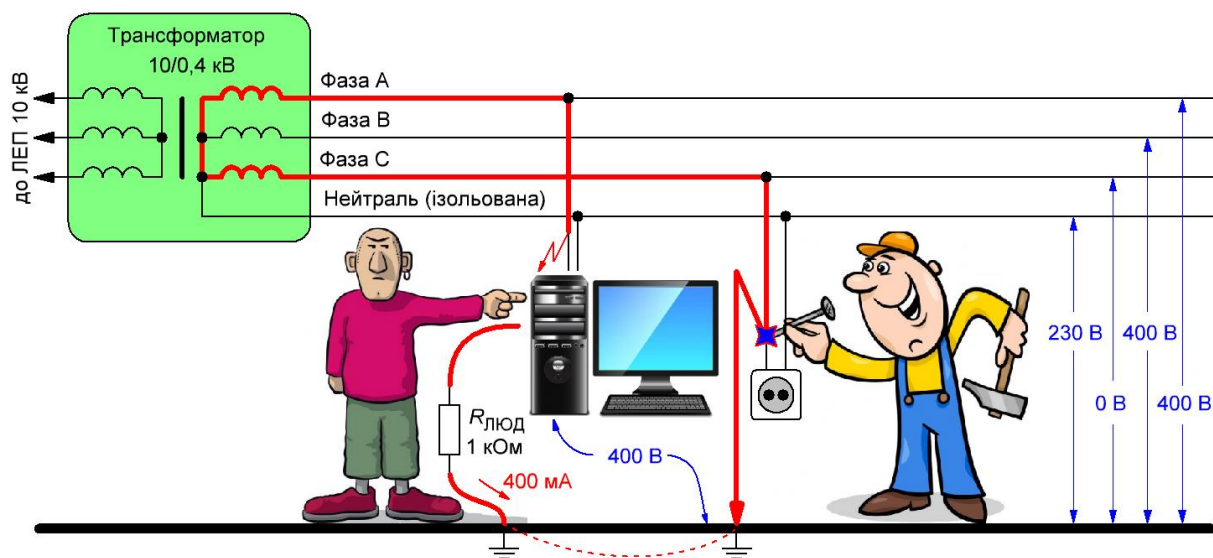


Рисунок 5 – Шлях протікання струму через тіло людини в системі із ізолюваною нейтраллю при пошкодженні ізоляції у двох місцях

А що станеться із користувачем комп'ютера? Через те, що фаза С виявилася сполученою із землею, система перестала бути ізолюваною, а потенціали всіх проводів тепер «перевернулися догори дригом». Потенціал дроту фази С став рівним нулю, потенціал

нульового проводу став рівним фазній напрузі фази С ($V_F = 230$ В), а ось потенціали проводів фаз А і В щодо землі виявилися рівними лінійній напрузі, яка, як ви пам'ятаєте з попередніх частин циклу «Електроживлення комп'ютерного обладнання», в 1,73 рази більша за фазну ($V_L = 400$ В).

Це означає, що після «монтажу заземленого цвяха у електричний кабель» корпус пошкодженого комп'ютера відносно землі опиниться під лінійною напругою, що дорівнює 400 В. Визначимо струм, який пройде через користувача комп'ютера, якщо він торкнеться його системного блоку:

$$I_{\text{люд}} = \frac{V_L}{R_{\text{люд}}} = \frac{400}{1000} = 400 \text{ мА} . \quad (33)$$

Як видно з результатів розрахунку, струм, що протікає через тіло людини в цьому випадку буде майже вдвічі більшим, ніж у системі із заземленою нейтраллю. А тепер уявіть електропроводку багатоквартирного будинку або офісу, що містить кілометри електричного кабелю замурованого в стіни або прокладеного всередині гіпсокартонових перегородок, каркас яких зібраний з металевих профілів з гострими краями. Хто може дати гарантію, що у цій системі вся ізоляція завжди буде цілою? Як ви вже зрозуміли – ніхто.

Найбільша небезпека ізольованих систем полягає в тому, що аварія може статися в одному місці, а постраждалими будуть люди, що знаходяться за кілометри від місця пробою. А знайти чи хоча б локалізувати місце аварії у цьому випадку технічно дуже непросто. Через це від систем із ізольованою нейтраллю в домашніх та офісних мережах довелося відмовитися. Насправді їх застосування призвело до того, що люди перестали боятися електричного струму і почали нехтувати навіть елементарними правилами безпеки та захисту. У результаті перехід на потенційно небезпечніші системи із заземленою нейтраллю призвів до значного зменшення кількості нечастих випадків, пов'язаних з електрикою.

Сьогодні системи із ізольованою нейтраллю використовуються в електроустановках будівель та споруд спеціального призначення з підвищеними вимогами до надійності та безпеки. Зокрема, такі системи використовуються у вугільних шахтах, операційних, а також при виконанні робіт у польових умовах, наприклад, при живленні від автономних електростанцій, де забезпечити інші види захисту вкрай складно. При цьому системи із ізольованою нейтраллю найчастіше використовуються спільно з пристроями контролю витоків струму, що відключають живлення при виявленні пошкодження ізоляції та гарантують, що система дійсно є ізольованою. Ще раз зверну увагу, що при одноразовому пошкодженні ізоляції в системі електропостачання з ізольованою нейтраллю, в більшості випадків, не виникне ні великих струмів, що протікають по проводах, ні великих струмів, що протікають через тіло людини, ні іскри, ні інших небезпечних явищ. Тому при виявленні витоку аварійне відключення відбувається лише тому, що система з цього моменту перестає бути безпечною і втрачає усі свої переваги.

Коли електрична ізоляція потрібна обов'язково

Отже, у наших будинках та офісах використовуються трифазні системи електропостачання із заземленою нейтраллю, через що навіть випадкове торкання фазного провідника може стати причиною ураження електричним струмом. Однак хоч би як людина намагалася, їй все одно доводиться торкатися елементів електроустановок, що працюють. У цьому випадку електричні кола, до яких може доторкнутися користувач, додатково ізолюють від мережі живлення (а фактично – від землі). Практично завжди ізоляція забезпечується за допомогою індуктивних елементів – трансформаторів або дроселів, що є одними з небагатьох приладів, що дозволяють передавати енергію між ділянками схеми без електричного контакту між ними (у цих приладах передається енергія через магнітне поле).

Таку функцію називають **гальванічною розв'язкою** – електричним розділенням ділянок електричної схеми з можливістю обміну енергією чи інформацією між ними. Гальванічна розв'язка реалізується у більшості випрямних пристроїв, у тому числі й у блоках живлення комп'ютерів, моніторів, телевізорів та іншої телекомунікаційної чи інформаційної техніки. При наявності гальванічної розв'язки при дотику людини до частин електричного кола з ізолюваної сторони (рис. 6) через неї протікає струм, що дорівнює:

$$I_{\text{люд}} = \frac{V_F}{R_N + R_{\text{люд}} + R_{\text{ІЗОЛ}}} = \frac{230}{4 + 1000 + 1000000} = 0,23 \text{ мА}, \quad (34)$$

де $R_{\text{ІЗОЛ}} = 1 \text{ МОм}$ – опір ізоляції елемента, що забезпечує гальванічну розв'язку.

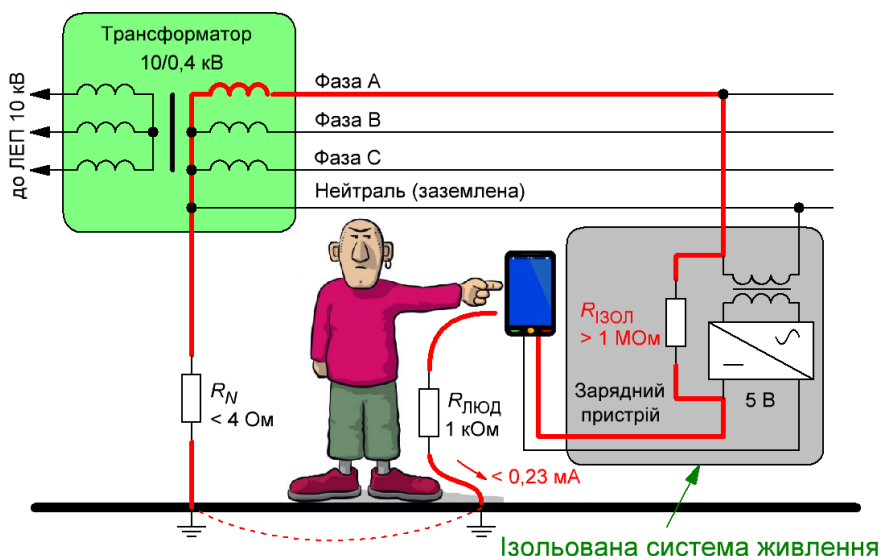


Рисунок 6 – Ізолювана система живлення, утворена зарядним пристроєм смартфона

Як видно з формули (9), струм, що протікає через тіло людини, знаходиться нижче за поріг чутливості, тому ми нічого не відчуваємо, коли торкаємося до приладів, що працюють від мережі, наприклад, беручи в руки смартфон, що знаходиться на зарядці. Але якщо ізоляція трансформатора або дроселя буде пошкоджена ($R_{\text{ІЗОЛ}} \approx 0 \text{ Ом}$), при дотику до пошкодженого приладу через людину пройде струм величиною:

$$I_{\text{люд}} = \frac{V_F}{R_N + R_{\text{люд}} + R_{\text{ІЗОЛ}}} = \frac{230}{4 + 1000 + 0} = 230 \text{ мА}. \quad (35)$$

І знову життя людини наражається на загрозу. Причому зверніть увагу, що людині зовсім необов'язково навмисно торкатися струмопровідних елементів. Наприклад, відомо кілька випадків, коли кілька людей отримали смертельну електротравму під час прослуховування музики за допомогою дротових навушників, підключених до смартфона, що знаходиться на зарядці (рис. 7). Звичайно, навушники зазвичай виготовляють із діелектричних матеріалів, які, теоретично, теж мають забезпечувати додаткову ізоляцію. Однак електрична міцність навушників не нормується, тому чи витримають вони появу фазної напруги між головою і динаміком, при пробі ізоляції в зарядному пристрої, невідомо. А статистика трагічних випадків, що прокотилися у всьому світі, показує, що це буває далеко не завжди.

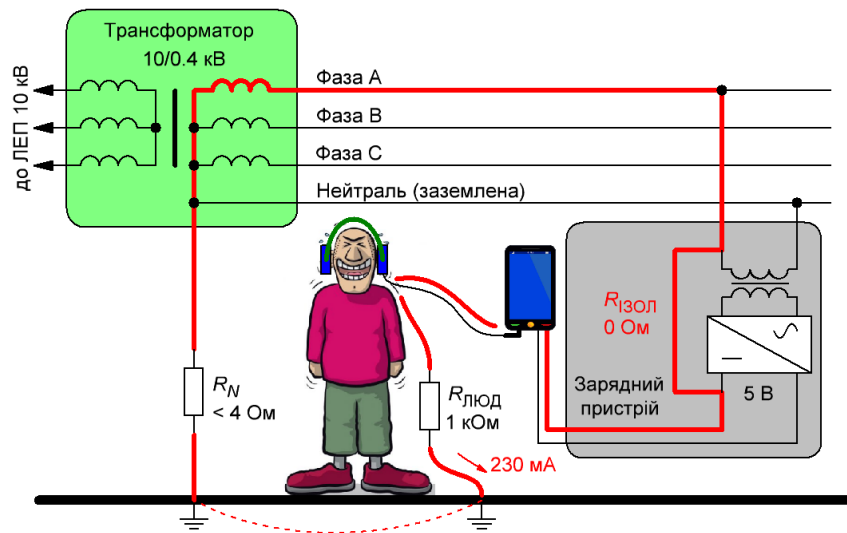


Рисунок 7 – Шлях протікання електричного струму при пошкодженні ізоляції трансформатора зарядного пристрою

Висновки

Використання систем електропостачання із заземленою нейтраллю призводить до необхідності обов'язкової електричної ізоляції елементів обладнання, яких може торкнутися людина. Однак, як було сказано вище, будь-яка, навіть найякісніша, ізоляція може зруйнуватися, внаслідок чого здоров'я та життя людини опиняться під загрозою. Для виключення цього разом із ізоляцією застосовують додаткові види захисту, зокрема, занулення, заземлення та захисне відключення, особливості яких будуть розглянуті в наступній частині циклу «Електроживлення комп'ютерного обладнання».

Лекція 6. Різновиди промислових мереж змінного струму

У попередній частині циклу «Електроживлення систем зв'язку» було розглянуто механізми впливу електрики на людину та показано, що ізоляція є ефективним способом зниження ризику ураження електричним струмом. Однак, навіть найякісніша ізоляція має обмежений термін служби і рано чи пізно стане непридатною для використання. Розглянемо, як можна захистити людину у такому випадку.

Занулення

Одним із найпростіших та найефективніших способів захисту людини від ураження електричним струмом при непрямому дотику є занулення. Згідно з визначенням, наведеним у Правилах пристрою електроустановок (ПУЕ), занулення – це навмисне електричне з'єднання відкритих струмопровідних частин електроустановки з глухозаземленою нейтраллю трансформатора або генератора, яке виконується з метою електробезпеки.

Давайте розглянемо, що станеться при пробі ізоляції, якщо корпус комп'ютера з'єднати з нульовим проводом, що має хороший електричний контакт із нейтраллю трансформатора. В цьому випадку в системі почне протікати струм, величину якого можна визначити за такою формулою:

$$I_{\text{люд}} = \frac{V_F}{R_{\text{ПРОВ А}} + R_{\text{ПРОВ N}} + R_{\text{ПРОБ}}} = \frac{230}{0,1 + 0,1 + 1} \approx 190 \text{ А}; \quad (36)$$

де $V_F = 230 \text{ В}$ - фазна напруга в мережі;

$R_{\text{ПРОВ А}}, R_{\text{ПРОВ N}} = 0,1 \text{ Ом}$ – опори проводів системи електроживлення, відповідно, фази А та нульового дроту (приблизно 15 м мідного дроту перетином $2,5 \text{ мм}^2$);

$R_{\text{ПРОБ}} = 1 \text{ Ом}$ – опір у точці пошкодження ізоляції (абсолютно випадкове значення).

Насправді, у формулі (36) має бути більше компонентів, у тому числі й активні та індуктивні опори обмоток трансформатора, автоматичного вимикача, тощо. Однак на практиці результат буде приблизно однаковим: якщо корпус приладу занулений, то пошкодження ізоляції будь-якої з фаз призведе до фазного короткого замикання, в результаті якого спрацює захист від перевантаження по струму і електроустановка буде знеструмлена (рис. 1).

Зверніть увагу, що в цьому випадку людині навіть не потрібно потрапляти під дію електричного струму. Система відключить пошкоджене обладнання незалежно від того, чи є воно в контакті з людиною чи ні. Більше того, при такому підході відключиться лише несправне обладнання, а решта компонентів системи продовжать свою роботу.

А що станеться, якщо захист від короткого замикання не спрацює чи спрацює, але не одразу? Розглянемо випадок, коли мідний кабель з перерізом $2,5 \text{ мм}^2$ (типовий переріз кабелю, що використовується для підключення електричних розеток) захистили автоматичним вимикачем зі струмом спрацьовування 16 А (максимальний струм, що рекомендується, для подібного кабелю).

Типовий автоматичний вимикач має два механізми захисту від перевантаження струмом: електромагнітний розчіплювач, що розриває коло при появі струмів великої величини, і теплове реле, що спрацьовує при невеликих перевантаженнях. Відповідно до чинних стандартів, електромагнітний розчіплювач повинен гарантовано спрацювати при струмі, що більш ніж у п'ять разів перевищує номінальне значення, в даному випадку – 80 А . Якщо струм в електричному колі менше цього значення, то захист забезпечується тепловим реле, тривалість нагріву якого визначається кратністю перевантаження і може займати від кількох хвилин до кількох годин. Таким чином, якщо в системі електропостачання струм короткого замикання буде меншим за 80 А , то на корпусі установки може бути висока напруга протягом досить тривалого часу.

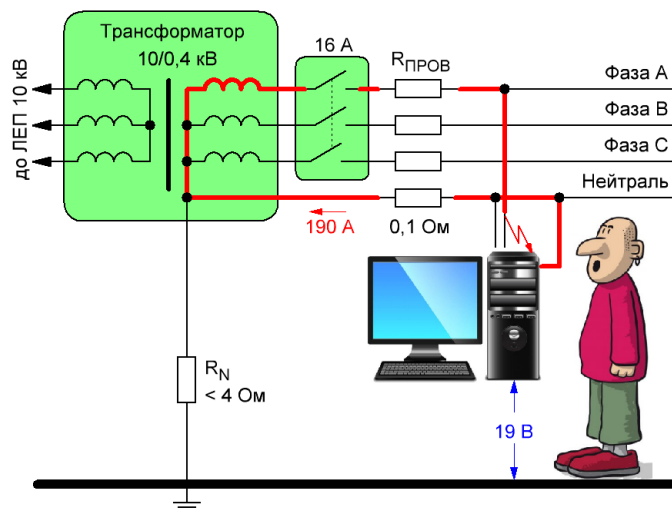


Рисунок 1– Шлях протікання електричного струму при пошкодженні ізоляції в обладнанні із зануленим корпусом

При струмі короткого замикання $I_{КЗ} = 80 \text{ А}$ напруга на корпусі пошкодженого обладнання визначатиметься опором у колі нульового дроту $R_{ПРОВ_N}$. Нехай довжина проводу від обладнання до розподільного щита дорівнює 20 м. У цьому випадку мідний провід з перерізом $2,5 \text{ мм}^2$, що має питомий опір $6,8 \text{ мОм/м}$, матиме опір близько 136 мОм . Прийнемо в розрахунках сумарний опір у колі нульового дроту $R_{ПРОВ_N} = 0,5 \text{ Ом}$, враховуючи опори клем, скруток та інших з'єднань. У цьому випадку при струмі 80 А максимальна напруга на корпусі пошкодженого приладу відносно землі дорівнює:

$$V_{КОРП} = I_{КЗ} R_{ПРОВ_N} = 80 \cdot 0,5 = 40 \text{ В}. \quad (37)$$

Напруга такої величини, згідно з ПУЕ, для більшості приміщень вважається безпечною для людини.

Таким чином, занулення значно знижує ймовірність ураження електричним струмом. При цьому воно діє подвійно. З одного боку, занулення створює умови для виникнення короткого замикання та аварійного відключення пошкодженої ділянки за допомогою обов'язкових захистів від перевантаження струмом, а з іншого – знижує напругу на корпусі приладу.

Заземлення

Оскільки основною причиною ненавмисного (несподіваного) ураження людини електричним струмом є дотик до елементів, що знаходяться під деякою напругою щодо землі, було б логічно електрично з'єднати корпуси приладів із землею, щоб звести ризик ураження до мінімуму. Тобто використовувати заземлення – навмисне електричне з'єднання із землею будь-якої частини приладу або електричної схеми.

Це цілком правильна думка, проте при її реалізації може виникнути низка складнощів. Річ в тому, що не завжди є технічна можливість зробити заземлювач потрібної якості. Наприклад, як природний заземлювач можна використовувати металеві труби системи водопостачання, що вже знаходяться у ґрунті. Проте чи забезпечуватимуть вони необхідне значення електричного опору і чи не призведе подібне використання до їх корозії та передчасного руйнування? Заземлення також можна організувати і за допомогою штучних заземлювачів, проте якщо система електропостачання розташована на території, де немає можливості проводити земельні роботи, то таке рішення може виявитися нереалізованим. Таким чином, заземлення може виявитись досить проблемним інженерним об'єктом, який не

завжди можна виготовити на практиці. Крім того, елементи заземлювача постійно знаходяться в агресивному середовищі ґрунту і можуть швидко руйнуватися, тому його стан потрібно постійно контролювати.

Розглянемо, що станеться у системі електропостачання із заземленою нейтраллю при пошкодженні ізоляції приладу. Як і у випадку із зануленням, з'єднання заземленого корпусу приладу з фазним проводом призведе до виникнення досить великих струмів, однак їхня величина буде трохи іншою.

Розглянемо найгірший випадок, коли і опір у колі заземлення нейтралі R_N , і опір у колі заземлення корпусу R_3 рівні максимально допустимому для систем з лінійною напругою до 400 В значенню – 4 Ом (рис. 2). При таких опорах у колі пошкодженої фази виникне струм короткого замикання $I_{КЗ}$, що дорівнює:

$$I_{КЗ} = \frac{V_F}{R_3 + R_N + R_{\text{ПРОВ_A}} + R_{\text{ПРОВ}}} = \frac{230}{4 + 4 + 0,1 + 0} = 28,4 \text{ А.} \quad (38)$$

У формулі (38) прийнято, що пробій ізоляції є якісним ($R_{\text{ПРОВ}} = 0 \text{ Ом}$), а опір проводів у колі пошкодженої фази – мінімальне ($R_{\text{ПРОВ_A}} = 0,1 \text{ Ом}$).

Як видно з розрахунків, струм 28,4 А не призведе до миттєвого спрацювання автоматичного вимикача з номінальним значенням 16 А, хоча його теплове реле гарантовано відключить пошкоджену частину протягом години. Це означає, що на корпусі електроустановки досить тривалий час буде напруга $V_{\text{КОРП}}$, що дорівнює:

$$V_{\text{КОРП}} = I_{КЗ} \cdot R_3 = 28,4 \cdot 4 = 114 \text{ В.} \quad (39)$$

Таким чином, за несприятливих умов заземлення може виявитися менш ефективним засобом захисту від ураження електричним струмом, ніж занулення.

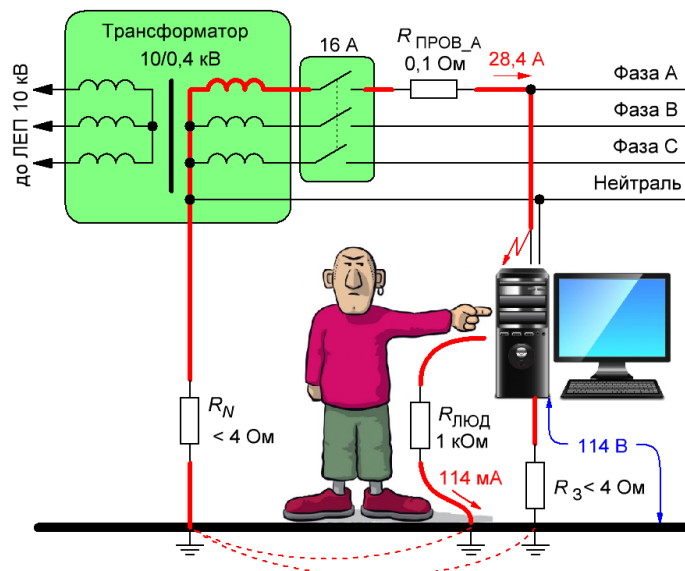


Рисунок 2 – Шлях протікання електричного струму при пошкодженні ізоляції в обладнанні із заземленим корпусом

Це твердження спочатку може викликати певний дискомфорт, адже що може бути кращим за безпосереднє з'єднання із землею небезпечної ділянки. Дійсно, при малому опорі заземлення напруга на корпусі буде прагнути до 0 В, і струм короткого замикання буде більшим, особливо при малому опорі ланцюга заземлення нейтралі. Проте малий опір заземлювачів ще треба забезпечити. І, якщо опір заземлення нейтралі трансформатора має періодично контролюватись спеціальною службою, і відповідають за це енергетики, то про

реальний стан місцевих або, що ще гірше, саморобних заземлювачів, зроблених, наприклад, із старих відер, у більшості випадків, можна лише здогадуватися.

Через це в системах електропостачання заземлення – у вигляді електричного підключення корпусу приладу до місцевого заземлювача – потрібно використовувати лише у випадках, коли немає можливості використовувати занулення. При цьому заземлення зазвичай використовується разом з іншими способами захисту, зокрема, захисним відключенням.

Чим відрізняється заземлення від занулення

З точки зору електротехніки, в системах електропостачання із заземленою нейтраллю з'єднання корпусу приладу з нульовим провідником призводить до автоматичного з'єднання його із землею, тому може здатися, що заземлення та занулення електрично еквівалентні. Однак, це не зовсім так.

Занулення та заземлення мають зовсім різні механізми роботи. При зануленні струм короткого замикання протікає по колу з прогнозованими параметрами, зміна яких, наприклад, збільшення опору фазного або нульового дроту, призведе до порушень у роботі обладнання, що буде виявлено і усунено дуже швидко, на відміну від пошкоджень ізоляції, при яких система може роками працювати. Тому при зануленні швидкість та характер спрацювання захисту (автоматичного вимикача або плавкої вставки) визначається лише однією невідомою величиною – опором у місці пробою $R_{\text{проб}}$.

При використанні заземлення кількість ділянок з невідомими параметрами у колі протікання струму короткого замикання набагато більша. Насамперед слід пам'ятати, що стан навіть справних заземлювачів залежить від погоди та пори року – у посушливий сезон опір цих конструкцій може стати настільки великим, що струм короткого замикання може виявитися недостатнім для спрацювання захисту від перевантаження струмом навіть при малому опорі пробою. Крім того, стан заземлювачів слід періодично контролювати, а робити це можуть лише сертифіковані лабораторії, послуги яких не безкоштовні.

А ще не слід забувати, що заземлення, на відміну від занулення, використовується не тільки для захисту від ураження електричним струмом. Наприклад, в системах електрозв'язку земля може використовуватися як зворотний провід для передачі сигналу, а в радіозв'язку електричний контакт із землею покращує якість випромінювання та прийому радіохвиль. Тому заземлення може бути робочим (функціональним) та захисним. Захисне заземлення, як випливає з назви, використовується для захисту від ураження електричним струмом, а ось функціональне – для роботи обладнання. І ось тут може виникнути ще одна проблема. Якщо у пристрої не можна об'єднати захисне та функціональне заземлення, то в землю, в гіршому випадку, доведеться закопати два окремі заземлювачі, причому так, щоб вони електрично не заважали один одному.

Тому занулення рекомендується робити основним, а заземлення – лише додатковим захистом від ураження електричним струмом. На практиці набагато простіше підключити корпус пристрою до нейтралі трансформатора, ніж займатися виготовленням та підтримкою власних заземлювачів. Більш того, в деяких приладах підключення до заземленої нейтралі трансформатора може використовуватися і як функціональне заземлення, що є ще однією додатковою перевагою систем електропостачання такого типу.

Способи занулення корпусів

Отже, як з'єднати корпус електроприладу, наприклад, комп'ютера з нейтраллю трансформатора? Найпростіше це зробити безпосередньо в точці розміщення пристрою (рис. 3). Наприклад, так часто роблять при підключенні потужного промислового стаціонарного обладнання. Однак такий спосіб захисту є далеко не найкращим.

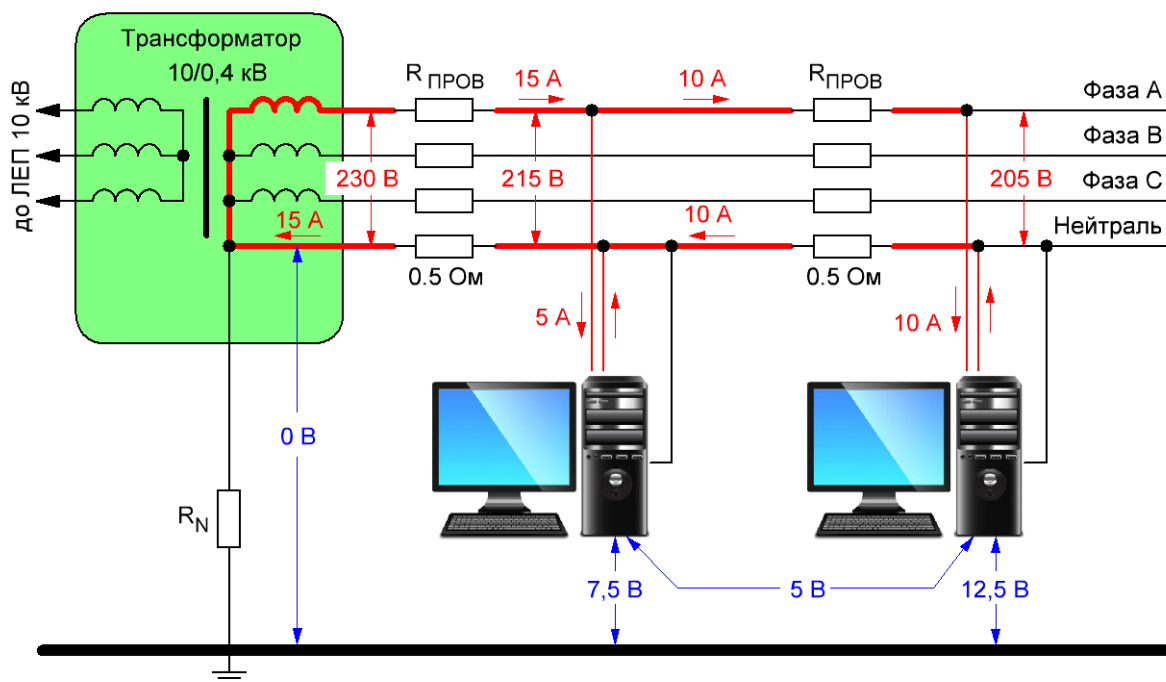


Рисунок 3 – Організація захисту шляхом з'єднання корпусів з нульовим проводом у точці встановлення обладнання

Почнемо з того, що по нульовому проводі може протікати електричний струм, величина якого, у найгіршому випадку – при використанні обладнання «комп'ютерного» типу, не обладнаного коректорами коефіцієнта потужності – може бути втричі більшою за струм фазних проводів. Оскільки нульовий провід має кінцевий активний опір, то на різних ділянках нульового проводу буде присутня деяка різниця потенціалів. Все це призведе до того, що в різних точках системи електропостачання нульовий провід матиме різний потенціал відносно землі (рис. 3).

Однак, з погляду електробезпеки, це не є великою проблемою, адже величина цього потенціалу не може створити загрози життю людини. Набагато гіршим є інше. В одній із попередніх частин циклу «Основи електроживлення» було показано, що нульовий провідник через перевантаження струмом може перегоріти. Це призведе до того, що потенціал нульового дроту почне «плавати» відносно землі та може досягти небезпечних значень. Таким чином, якщо з'єднати корпуси обладнання з нульовим проводом, то при його обриві вони можуть опинитися під будь-яким потенціалом в діапазоні 0...230 В і людина від абсолютно справного обладнання може отримати смертельне ураження електричним струмом. (рис. 4).

І виникає дуже цікава ситуація, що полягає в тому, що занулення, яке, згідно з визначенням, є «електричним з'єднанням з нейтраллю трансформатора», виконувати шляхом з'єднання корпусу обладнання з нульовим проводом, вже електрично з'єднаним з нейтраллю, не можна (з цього правила є винятки, але більшість їх належить до потужних промислових систем електропостачання).

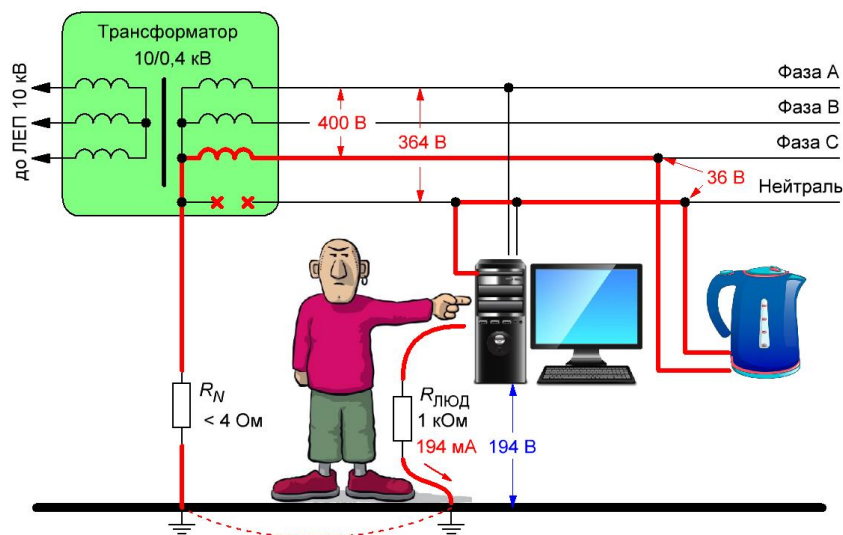


Рисунок 4 – Шлях протікання струму через тіло людини при місцевому зануленні корпусу та обриві нульового проводу

У цьому випадку для захисту людей від ураження електричним струмом використовують систему електропостачання, у яких захист виконується окремим захисним проводом, що позначається як РЕ (Protective Earthing). Механізм роботи цього проводу залежить від типу системи електропостачання. Наприклад, якщо захисний провід з'єднаний з нейтраллю трансформатора, то при пошкодженні ізоляції відбувається коротке замикання, що призводить до спрацювання захисту від перевантаження по струму та відключення пошкодженої ділянки (рис. 5).

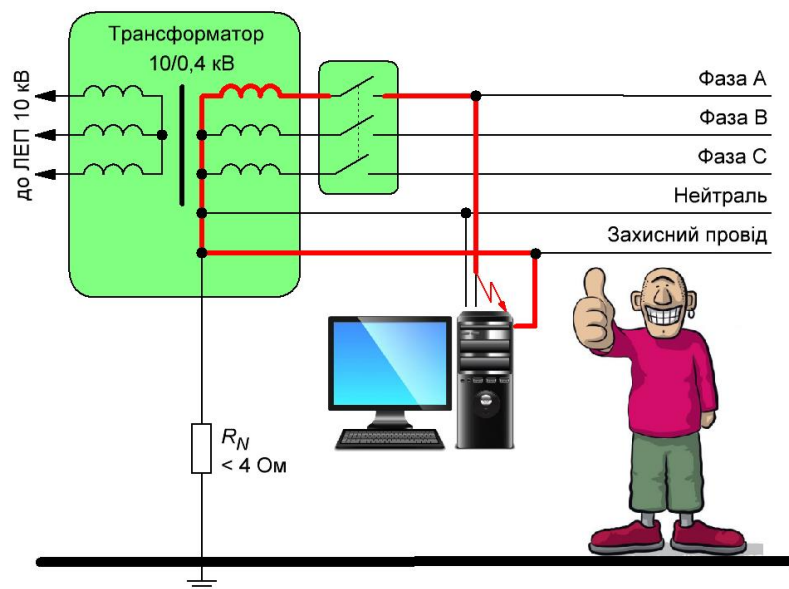


Рисунок 5 – Шлях протікання електричного струму при пошкодженні ізоляції в обладнанні з корпусом, зануленим за допомогою окремого захисного проводу

Може здатися, що використання окремого проводу для захисту не відрізняється від занулення в точці установки обладнання. Однак це враження оманливе і, незважаючи на схожість двох видів захисту (див. рис. 1 та рис. 2), між ними є серйозні відмінності.

Захисний провід, на відміну нульового, не призначений для протікання електричного струму великої величини, незважаючи на те, що він може його витримати протягом

тривалого часу. Фактично великий струм по захисному проводу протікає тільки в момент аварії, через що ймовірність його обриву значно менша, ніж у постійно навантаженого. нульового провідника. Крім того, через відсутність струмового навантаження та достатньо малого активного опору, відмінності потенціалів нульового проводу в різних точках системи електропостачання будуть мінімальними. Таким чином, захист за допомогою окремого захисного провідника виявляється набагато надійнішим та ефективнішим, ніж захист шляхом підключення корпусу обладнання до нульового проводу.

Якими бувають системи електропостачання

Отже, «остання миля» системи електропостачання може мати 5 проводів (рис. 5): 3 фазні проводи (А, В, С), призначені для передачі енергії, нульовий провід (N), необхідний для зменшення розбалансування системи через нерівномірне навантаження на фази, та захисний провід (PE), що забезпечує захист людей від ураження електричним струмом. Однак не всі системи електропостачання будуються за таким принципом.

Згідно з ПУЕ, тип системи електропостачання позначається двома літерами. Перша літера визначає стан нейтралі трансформатора щодо землі:

- Т – нейтраль електрично з'єднана із землею (заземлена);
- І – нейтраль електрично ізольована від ґрунту.

Друга літера визначає, який метод захисту від ураження електричним струмом використовується як основний в цій системі:

- Т – для захисту людей від ураження електричним струмом використовується заземлення;
- N – для захисту людей від ураження електричним струмом використовується занулення.

З чотирьох можливих комбінацій систем електропостачання практично використовуються лише три (рис. 6). Систем ІN, у яких захист забезпечується шляхом з'єднання корпусів із ізольованою нейтраллю трансформатора, не існує.

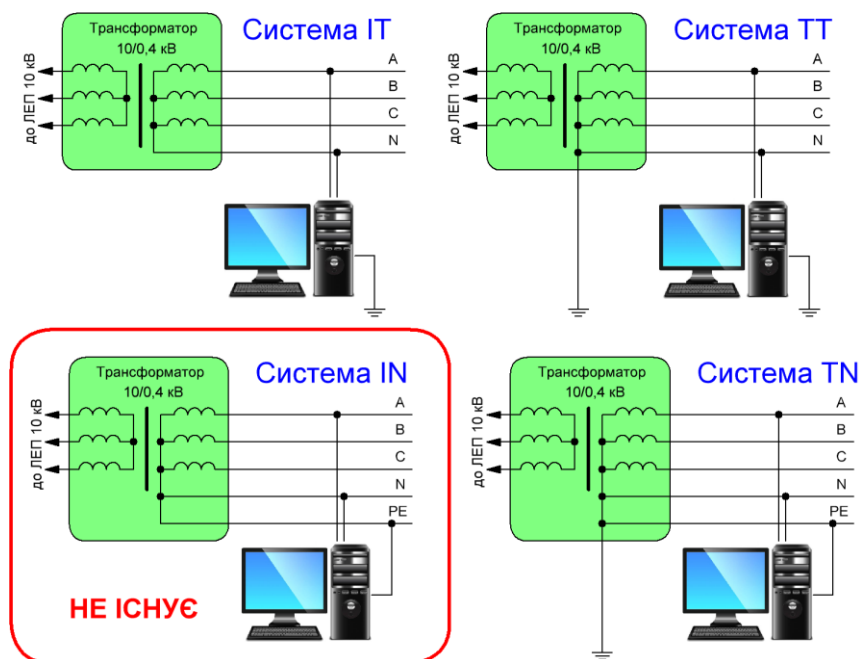


Рисунок 6 – Системи електропостачання

Безпека та небезпека систем ІТ, у яких нейтраль ізольована від землі, були детально розглянуті у попередній частині циклу. На сьогоднішній день ця схема використовується для створення систем електропостачання спеціального призначення, наприклад, для живлення

обладнання у шахтах або медичних приміщеннях. При цьому в багатьох випадках обов'язковою умовою для використання системи ІТ є наявність вузла контролю цілісності ізоляції проводів, а також заземлення металевих елементів, не призначених для електричного струму.

Схема ТТ використовується у випадках, коли надійно з'єднати корпус обладнання з нейтраллю трансформатора неможливо. Наприклад, таку схему можна використовувати для захисту від ураження електричним струмом на об'єктах, підключених до трансформатора за допомогою кабельних повітряних ліній. Прикладами таких об'єктів можуть бути приватні будинки, котеджі або окремі маленькі магазини.

Системи TN, в яких занулення здійснюється за допомогою окремого захисного провідника, зараз є найбезпечнішими системами, тому за наявності технічної можливості слід створювати системи лише цього типу. Однак, як це часто буває з багатьма гарними рішеннями, із системою TN теж все не просто.

Справа в тому, що система TN одночасно є і найбезпечнішою, і найдорожчою. Дійсно, в «останній милі» системи електропостачання будь-якого типу для передачі енергії необхідно 4 проводи – з цим доведеться змиритися. Проте додавання до цієї системи п'ятого захисного провідника відразу збільшує вартість кабелів, як мінімум, на 25%. Адже по цьому проводі струм може і не протекти жодного разу, адже на практиці пробої ізоляції відбуваються далеко не щодня, не кажучи вже про те, що вони взагалі можуть і не статися.

Тому давайте говорити відверто, нікому не хочеться витратити додаткові гроші та ресурси на захист, який може взагалі ніколи не знадобитися, особливо якщо зараз немає ні «зайвих» грошей, ні «зайвих» ресурсів. Через це існує три різновиди системи TN (рис. 7), що визначаються суфіксами:

- S – якщо нульовий та захисний провідники розділені;
- C – якщо нульовий та захисний провідники поєднані.

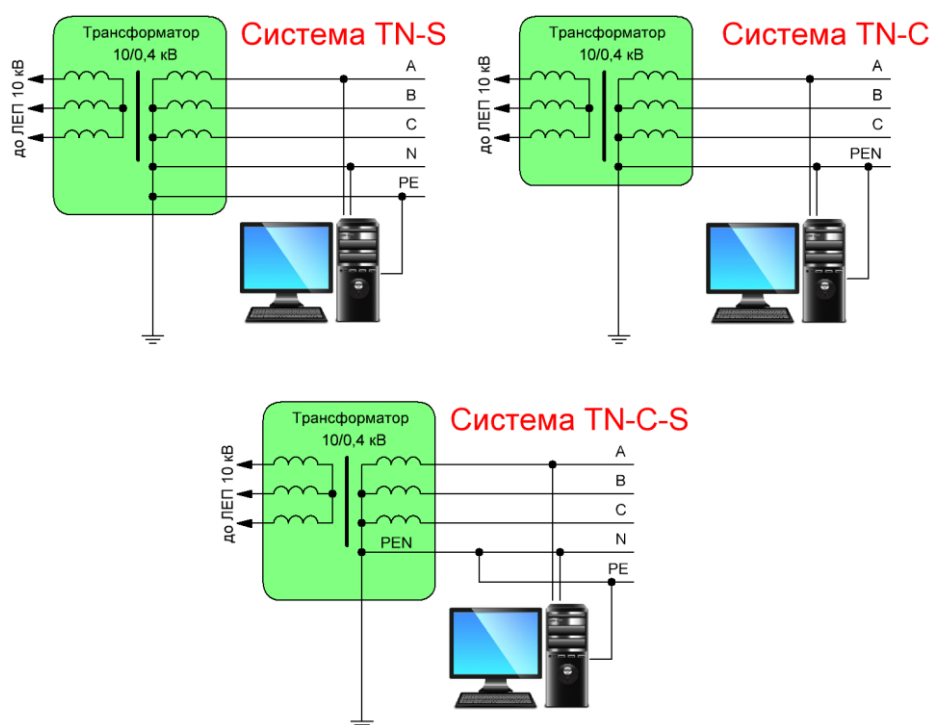


Рисунок 7 – Різновиди системи TN

Найнадійнішою та найбезпечнішою є система TN-S. У ній нульовий (N) та захисний провідники з'єднуються лише в одній точці – у точці підключення нейтралі трансформатора до заземлення. Однак така система є і найдорожчою, тому в чистому вигляді вона використовується далеко не завжди.

Найдешевшою є система TN-C. У ній питанням захисту приділено мінімум уваги, тому функції нульового та захисного провідників виконує один провід PEN (фізично це той самий нульовий провід, тільки з іншою назвою). Основна небезпека системи TN-C полягає у можливому обриві нульового проводу, при якому корпус приладу може опинитися під небезпечною напругою. Однак треба розуміти, що в ряді випадків це просто фізично не може статися. Якщо обладнання, наприклад, великий верстат або якась інша стаціонарна промислова установка, встановлено на основі, що має хороший електричний контакт із землею, то навіть при обриві нульового проводу ймовірність появи небезпечного потенціалу на корпусі такої електроустановки близька до нуля.

Через свою дешевизну системи TN-C тривалий час були єдиними практично використовуваними системами такого типу. Зараз системи TN-C залишилися в експлуатації лише в будівлях старої споруди, що з тих чи інших причин не пройшли модернізацію, і в системах освітлення, де ризик ураження електричним струмом мінімальний. При створенні нових систем електропостачання, як і при реконструкції старих, вже необхідно орієнтуватися на більш сучасні системи – TN-S чи TN-CS.

Система TN-CS є вимушеним компромісом між дешевою системою TN-C та безпечною системою TN-S. У системі TN-CS захисний провідник від заземленої нейтралі трансформатора спочатку поєднується з нульовим (PEN), а потім, в одному з розподільних щитів, він розділяється на нульовий (N) та захисний (PE). Такий підхід дає можливість зменшити вартість системи без значного погіршення її безпеки. Вочевидь, що «слабкою ланкою» цієї системи є провідник PEN, руйнування якого може призвести до появи небезпечного потенціалу на корпусах електроустановок, тому в ПУЕ до надійності цього провідника висуваються особливі вимоги.

Класифікація обладнання за ступенем захисту від ураження електричним струмом

Отже, корпуси обладнання для забезпечення безпечного використання повинні бути з'єднані електрично або з землею, або з нульовим проводом (який в системі TN теж з'єднаний з землею). А що робити, якщо корпус приладу виконаний, наприклад, із пластику та не проводить електричний струм? Зрозуміло, що в цьому випадку, електричне з'єднання корпусу, що не проводить електричний струм, з нейтраллю трансформатора або землею фізично неможливе.

А чи можуть бути випадки, коли корпус електроустановки, що проводить електричний струм, не повинен заземлятися? Розглянемо, наприклад, ручний ліхтарик із металевим корпусом. Формально це теж електроустановка, в якій є своя система електропостачання і свої металеві неструмопровідні частини, яких може торкнутися (і навіть міцно взяти в руки) людина, що стоїть на землі. Згідно з ПУЕ, у ліхтарика використовується ізольована система електропостачання, в якій в якості захисту від ураження електричним струмом потрібно використовувати заземлення (система IT).

Однак заземлення корпусу ліхтарика якось не товаришує із здоровим глуздом. Ну, не можуть у звичайних умовах 3 батарейки з максимальною напругою 4,5 В стати причиною електротравми. Та й як електрично з'єднати із землею пристрій, який за своїм призначенням має нестационарну конструкцію. Тому, мабуть, корпус металевого ліхтарика заземлювати не потрібно.

А якщо замість батарейок у ліхтарика використані акумулятори, що заряджаються за допомогою окремого блоку, що підключається до мережі? У цьому випадку, під час заряду акумуляторів металевий корпус напевно потрібно з'єднувати з нейтраллю трансформатора або землею, адже під час заряду від корпусу ліхтарика можна отримати електричний удар струмом. Виходить повна плутанина.

Насправді все просто, потрібно просто розуміти, що основний захист від ураження електричним струмом має забезпечуватися не системою електропостачання, а обладнанням. У нормальних умовах електротравму від системи електропостачання можна отримати тільки,

якщо «полізити куди не треба». А от від обладнання, з яким людина безпосередньо контактує, можна отримати електротравму з дуже високою ймовірністю. Тому система електропостачання лише допомагає захистити людину, забезпечуючи для цього все необхідне, зокрема електричний контакт із нейтраллю трансформатора та землею, але головний захист має забезпечуватися безпосередньо в електроприладі.

Тому відкриваємо технічну документацію на електроприлад та шукаємо, до якого класу за способом захисту людини від ураження електричним струмом він належить. А їх існує чотири. Обладнання класу 0 (Class 0) не розраховане для використання штатних захистів системи електропостачання, тому воно становить найбільшу небезпеку. В якості захисту від ураження електричним струмом у ньому може використовуватися занулення або заземлення (окремим проводом, що підключається до спеціальної клемми), захисне відключення, або індикатор наявності на корпусі небезпечної напруги, проте найчастіше в ньому немає жодних захисних пристроїв (рис. 8). Наразі подібне обладнання заборонене для виготовлення та продажу. Більше того, клас 0 взагалі прагнуть виключити із класифікатора, ухваливши відповідні закони про необхідність виробництва менш небезпечного обладнання з вищим класом захисту.



Рисунок 8 – Електроустановка класу 0

Основним способом захисту від ураження електричним струмом обладнання класу I (Class I) є занулення. Саме для забезпечення електричної енергії техніки такого класу і призначені розглянуті вище системи TN-CS і TN-S. Визначити таке обладнання можна досить швидко, глянувши на його вилок. Як правило, воно підключається до системи електропостачання за допомогою вилок, що мають 3 електричні контакти (рис. 9), один з яких призначений для підключення захисного проводу (в Україні та країнах ЄС для цього використовуються вилки CEE 7/4 або CEE 7/7).



Рисунок 9 – Позначення захисного контакту обладнання класу I та електричні вилки типу CEE 7/4 та CEE 7/7 з трьома контактами

До обладнання класу I належить досить багато стаціонарних пристроїв, серед яких комп'ютери, оргтехніка, телекомунікаційна техніка, а також безліч домашніх «електричних тварин», тому ви, напевно, не раз стикалися з подібною технікою.

А ось обладнання класу II (Class II) не вимагає обов'язкового з'єднання корпусу з нейтраллю трансформатора, тому воно підключається до електричних розеток за допомогою двоконтактних вилок (рис. 10), які не мають можливості підключення до захисних контактів розеток. В Україні та країнах ЄС для цього використовуються вилки CEE 7/16 (максимальний струм 2,5 А) або CEE 7/17 (максимальний струм 16 А).



Рисунок 10 – Позначення обладнання класу II (два квадрати), а також вилки типу CEE 7/4 та CEE 7/7 з двома контактами

Основним способом захисту від ураження електричним струмом для обладнання класу II є посилена або подвійна ізоляція, тому умовним позначенням цього класу є два квадрати, один з яких розташований усередині іншого, що символізують два шари ізоляції. Принцип захисту заснований на тому, що ймовірність одночасного пошкодження одразу двох шарів ізоляції дуже мала, тому при пошкодженні зовнішньої (додаткової) ізоляції робоча (функціональна) ізоляція залишиться без пошкоджень та захистить людину. Як другий ізоляційний шар можуть виступати не тільки якісь спеціалізовані елементи, але і сам корпус, тому подібна техніка дуже часто випускається в пластикових корпусах (рис. 11).



Рисунок 11 – Позначення обладнання класу II на зарядному пристрої

І останньою категорією обладнання за рівнем електробезпеки є пристрої класу III (Class III). До цього класу відносяться всі пристрої, що живляться напругою не вище 50 В змінного струму або не вище 120 В постійного струму. Подібне обладнання може маркуватися спеціальним символом у вигляді ромба (рис. 12), однак якщо його конструкція дозволяє підключитися тільки до спеціалізованого джерела безпечної наднизької напруги, наприклад, батарейки, то таке маркування може бути відсутнім. Таким чином, ліхтарик, смартфон, настінний годинник та інша аналогічна техніка за рівнем електробезпеки відносяться до класу III і не вимагають ні застосування посиленої ізоляції, ні з'єднання із землею.



Рисунок 12 – Позначення обладнання класу III

Особливості експлуатації обладнання класу I

Отже, із обладнанням розібралися. Техніку класу 0 краще не купувати, а ту, що вже є, відправити до музею. Електроприлади класу II та III не потребують додаткових заходів щодо захисту від ураження електричним струмом. А ось обладнання класу I, що вимагає обов'язкового з'єднання із захисним провідником, може завдати чимало клопоту.

Справа в тому, що системи TN-S або TN-CS, на роботу з якими розраховані електроприлади класу I, через високу ймовірність обриву нульового проводу не завжди можуть бути реалізовані на практиці. Наприклад, це дуже складно зробити у приватних будинках чи у старих будинках. Та й у багатьох квартирах досі експлуатуються двофазні однофазні системи без захисного провідника.

Але якщо електроприлад класу I не підключити до захисного провідника, то він за рівнем безпеки може стати ще небезпечнішим, ніж прилади класу 0. Справа в тому, що в приладах класу 0 корпуси, як і решта неструмопровідних елементів, ні до чого не підключені. А в приладах класу I до корпусу можуть підключатися деякі внутрішні вузли, через що справне, але не підключене до захисного провідника, обладнання може стати причиною досить серйозної електротравми.

Одним із таких вузлів є фільтр високочастотних завад. На сьогоднішній день цей вузол є практично у всіх приладах, що мають імпульсні блоки живлення, у тому числі комп'ютерах, моніторах та іншій оргтехніці. Його наявність не обов'язкова (безіменні китайські виробники іноді замість нього встановлюють перемички), проте без подібного фільтра пристрій, що живиться від імпульсного блоку живлення, навряд чи отримає сертифікат електромагнітної сумісності, необхідний для підключення цього приладу до електричної мережі.

У цій частині циклу ми не будемо докладно розглядати принцип роботи фільтра високочастотних завад (рис. 13) – нас поки що цікавлять тільки його конденсатори, а вони в цьому вузлі не прості. В якості конденсатора C1 повинні використовуватися спеціалізовані конденсатори класу X, а в якості конденсаторів C2 і C3 – класу Y.

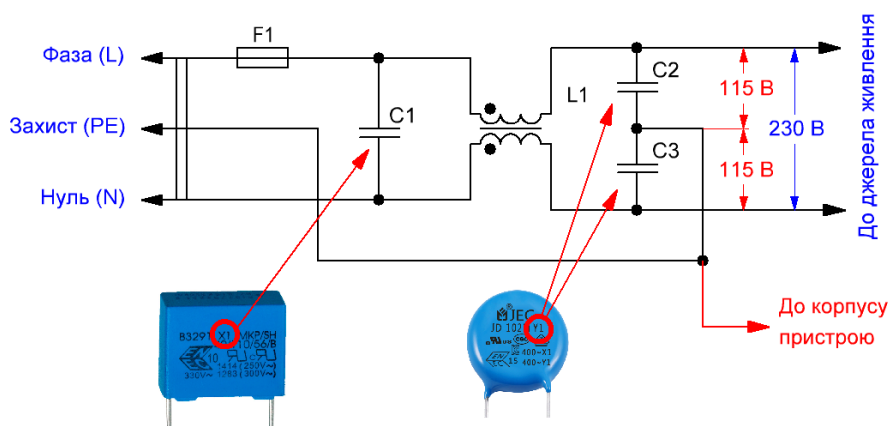


Рисунок 13 – Схема фільтра високочастотних завад обладнання класу I

Особливістю подібних фільтрів, яка нас цікавить, є ємнісний подільник змінної напруги, утворений конденсаторами C2 і C3, ємність яких зазвичай однакова. Це означає, що в точці їх з'єднання відносно будь-якого з силових проводів буде напруга, що дорівнює половині напруги живлення.

Але точка з'єднання конденсаторів C2 і C3 підключена до захисного контакту силового шнура, з'єданого, у свою чергу, з корпусом приладу. Таким чином, якщо корпус пристрою класу I не з'єднати із захисним провідником, то на ньому відносно землі буде напруга, рівна половині фазної напруги, тобто 115 В. Такого потенціалу достатньо для того, щоб спалити, у прямому сенсі слова, чутливу апаратуру, наприклад, аудіовхід звукової карти комп'ютера, в момент з'єднання заземленого та незаземленого пристроїв (рис. 14).

Але тоді чому нас не «б'є струмом», якщо ми торкаємося, наприклад, корпусу системного блоку комп'ютера, що підключений у електричну розетку з двома контактами? Насправді при такому дотику через нас дійсно протікає струм, але його величина обмежена ємністю конденсаторів C2 і C3. На відміну від конденсаторів класу X, ємність яких може досягати одиниць мікрофард, ви навряд чи знайдете конденсатори класу Y з ємністю більше 0,1 мкФ. Справа в тому, що від їхньої ємності залежить струм витоку – струм, який протікатиме через захисний провідник або тіло людини при торканні незахищеного корпусу.

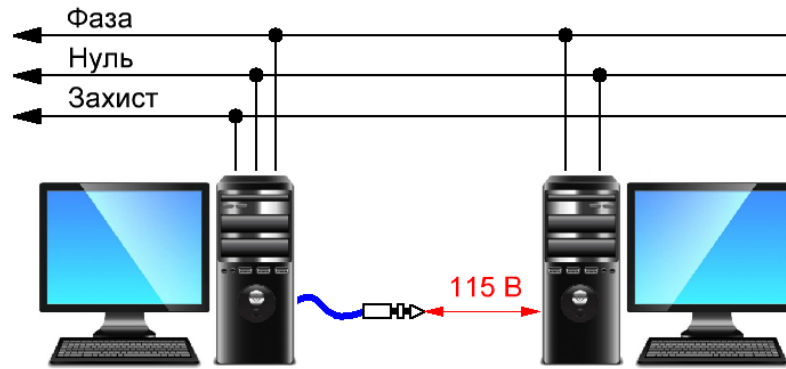


Рисунок 14 – Механізм пошкодження апаратури через різницю потенціалів між заземленим та незаземленим корпусом.

Наприклад, конденсатор з ємністю $C = 4,7$ нФ в колах змінного струму з частотою $f = 50$ Гц буде мати реактивний опір X_C , що дорівнює:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 4,7 \cdot 10^{-9}} = 678 \text{ кОм}. \quad (40)$$

При напрузі $V_F = 230$ В через цей конденсатор протікатиме струм I_C , що дорівнює:

$$I_C = \frac{V_F}{X_C} = \frac{230}{678 \cdot 10^3} = 0,34 \text{ мА}. \quad (41)$$

Оскільки опір тіла людини набагато менший за значення X_C , то можна вважати, що при торканні корпусу подібної електроустановки через тіло людини пройде струм приблизно такої величини. Тому, щоб не перетворювати гарну техніку на «електричний стілець» (адже проблема відсутності захисного провідника далеко не нова), обладнання проектується таким чином, щоб мінімізувати ризик ураження електричним струмом у разі відсутності захисту. Наприклад, при розрахунках Y-конденсаторів фільтрів височастотних завад струм витoku (він же струм дотику) зазвичай приймають рівним 0,5 мА при максимальній напрузі в мережі.

А тепер розглянемо типове комп'ютеризоване робоче місце, яке містить системний блок, монітор, МФУ, факс та акустичні колонки. Все це обладнання пов'язане між собою, як мінімум, сигнальними кабелями, тобто корпуси всіх цих пристроїв електрично з'єднані між собою. Припустимо, що все обладнання має клас I захисту від ураження електричним струмом, і кожен із пристроїв має струм витoku 0,5 мА. При цьому жоден пристрій не з'єднаний із захисним провідником системи електропостачання.

Змінний струм величиною 0,5 мА знаходиться за порогом чутливості більшості людей, тому якби на робочому місці був тільки один системний блок, більшість людей при торканні його корпусу нічого не відчувало б. Але там ще є 4 пристрої, кожен з яких має струм витoku, рівний 0,5 мА. Це означає, що сумарний струм, що протікає через тіло людини, яка торкнулася, наприклад, корпусу системного блоку, може досягати 2,5 мА (рис. 15). А це вже не поріг чутливості – це вже досить сильні болі та відчутні судоми, особливо у жінок, які мають більш тонку шкіру з меншим електричним опором.

А тепер уявіть, що станеться в офісі, який містить, наприклад, 20 подібних робочих місць, якщо раптом обірветься захисний провід, а корпуси всіх приладів класу I будуть електрично пов'язані між собою. У цьому випадку сумарний струм витoku може досягти 50 мА, що цілком достатньо для смерті. І це, зауважте, при справному обладнанні. Тому захисні провідники повинні бути нероз'ємними, оскільки навіть короточасний обрив у цьому колі може мати найгірші наслідки.



Рисунок 15 – Підсумовування стрів витоку обладнання класу I при непідключеному захисному проводі

Таким чином, обладнання класу I наполегливо рекомендується з'єднувати із захисним провідником. А якщо такої можливості немає, потрібно виключити можливість спільного, з електричної точки зору, використання великої кількості приладів, оскільки це призведе до збільшення струму, що виникає в момент дотику людини до їх корпусів.

Особливості системи TT

Якщо немає можливості застосувати систему TN-S або TN-CS, тоді слід спробувати створити систему TT. Її особливістю є наявність одразу двох захистів від ураження електричним струмом: власного заземлення та пристрою захисного відключення, причому наявність захисного відключення є обов'язковою.

У системах TT вимоги до опору заземлення досить прості. Згідно з ПУЕ, його максимальний опір R_3 не повинен перевищувати:

$$R_3 \leq \frac{50 \text{ В}}{I_{\text{ПЗВ}}}; \quad (42)$$

де $I_{\text{ПЗВ}}$ – струм спрацьовування пристрою захисного відключення (ПЗВ);

50 В – максимально допустима змінна напруга, яка може бути на корпусі приладу.

При використанні ПЗВ зі струмом спрацьовування $I_{\text{ПЗВ}} = 30 \text{ мА}$, опір заземлювача повинен задовольняти умови:

$$R_3 \leq \frac{50 \text{ В}}{I_{\text{ПЗВ}}} = \frac{50}{0,03} = 1,67 \text{ кОм}. \quad (43)$$

Щоб зробити такий заземлювач, достатньо одного сталевого кутника завдовжки 2...2,5 м, забитого вертикально в землю, хоча в таких питаннях краще не економити і зробити все найбільш якісно.

Зверніть увагу, що система TT багато в чому схожа на TN-S. Так само, як і в TN-S, у схемі TT всередині приміщення розгортається п'ятипроводна система електропостачання з триконтактними електричними розетками, наприклад, СЕЕ 7/4, тільки в системі TT захисний провідник не повинен мати електричного контакту з нульовим проводом, а повинен з'єднуватися лише з місцевим заземлювачем (рис. 16).

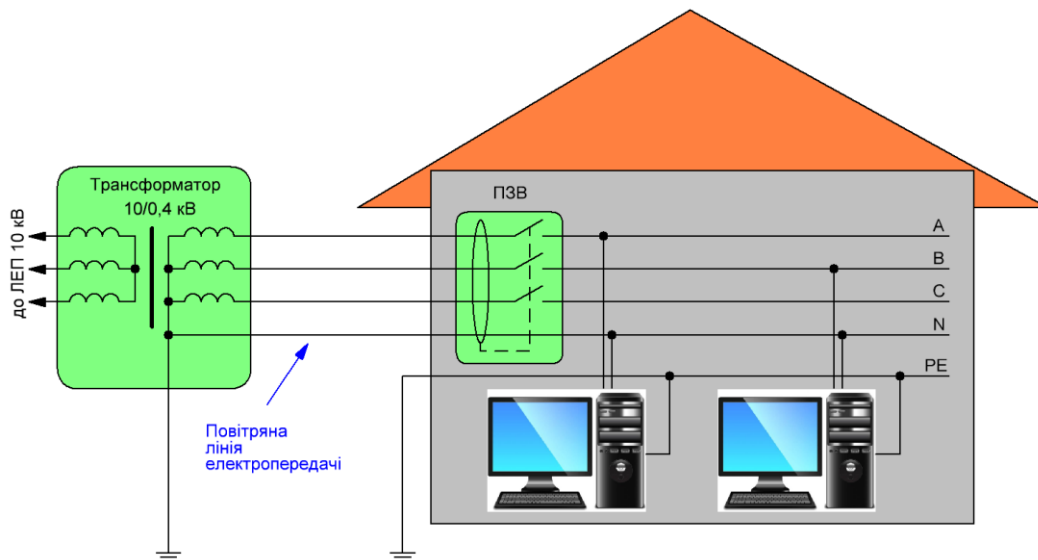


Рисунок 16 – Система ТТ

Ще одна особливість системи ТТ, яку потрібно зрозуміти, полягає в тому, що основний захист від ураження електричним струмом забезпечує не заземлення, а пристрій захисного відключення. У цій системі заземлення лише «допомагає» ПЗВ визначити наявність пошкодження ізоляції, тому й вимоги до його опору, який, згідно з формулою (43), може досягати 1,67 кОм, набагато простіші, ніж до опору заземлення нейтралі трансформатора, величина якого не повинна перевищувати 4 Ом.

А якщо з якихось обставин на об'єкті не можна розгорнути жодну з рекомендованих систем (TN-S, TN-CS або ТТ), тоді єдиним способом захисту від ураження електричним струмом є захисне відключення.

Захисне відключення

Захисне відключення може використовуватися в будь-якій системі електропостачання як додатковий інструмент для захисту людини від ураження електричним струмом. Принцип захисного відключення, як випливає з назви, полягає в оперативному відключенні електроустановки при виявленні небезпечних факторів.

Існує досить велика кількість систем захисного відключення, проте на практиці найбільшого поширення набули дві. Принцип роботи першої системи ґрунтується на вимірюванні напруги на корпусі електроустановки відносно землі (рис. 17). При збільшенні напруги на корпусі електроустановки вище 50 В пристрій захисного відключення відключить живлення електроустановки, захищаючи людину від можливої електротравми. Оскільки вимірювальний струм досить малий, то для роботи системи досить найпростіших природних заземлювачів, опір яких може досягати десятки, а іноді й сотні, кілоом.

Головним недоліком такої системи є її складність. Для її реалізації, крім блоку ПЗВ, потрібна наявність заземлювача та потужного контактора, тому подібні системи використовуються нечасто – зазвичай в промислових установках. Та й для захисту незаземлених корпусів пристроїв класу I, які можуть знаходитися під напругою 115 В, вона може принципово не підійти.

Більш широкого поширення набули диференційні ПЗВ, засновані на вимірюванні струмів, що споживає електроустановка. У цьому випадку основним елементом системи є диференційний трансформатор, вихідна напруга якого визначається різницею струмів, що протікають у силових проводах.

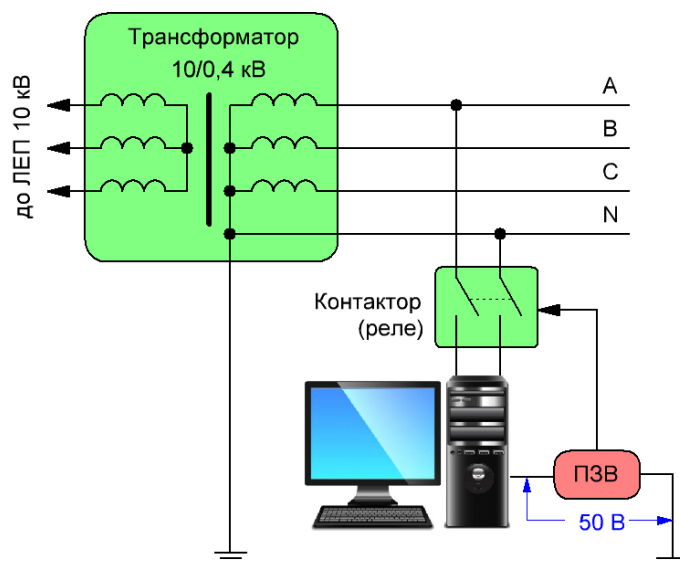


Рисунок 17 – Принцип роботи ПЗВ на основі вимірювання напруги на корпусі електроустановки

У нормальному режимі роботи струм нульового проводу I_F повинен дорівнювати сумі струмів, що протікають у фазних проводах I_F :

$$I_N = \sum I_F . \quad (44)$$

Якщо ця умова не виконується, що відбувається за наявності струмів, що замикаються не через нульовий провід, а через землю, то ПЗВ спрацює та відключить пошкоджену ділянку (рис. 18). Таким чином, диференційні ПЗВ здатні визначити факт дотику людини (яка стоїть на землі) до елементів, з'єднаних з фазними проводами, а також наявність пошкодження ізоляції фазних проводів.

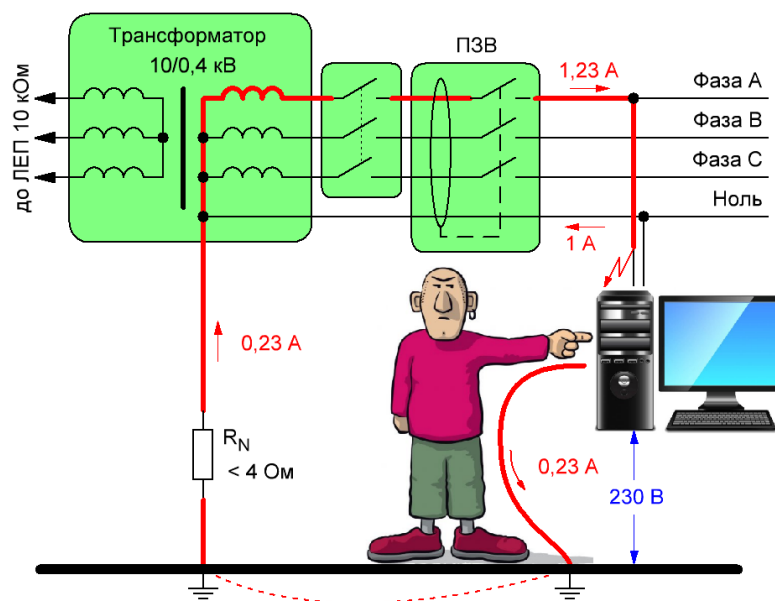


Рисунок 18 – Принцип роботи диференційного ПЗВ

Ключовою перевагою диференційних ПЗВ є простота організації захисту. Як видно з рисунка, для забезпечення необхідного рівня безпеки достатньо одного диференційного реле,

яке може бути встановлено практично в будь-якій частині системи електропостачання. Тому диференційні ПЗВ найчастіше встановлюються в розподільних щитках поруч із автоматичними вимикачами і мають конструкцію, розраховану на встановлення на стандартну DIN-рейку (рис. 19).



Рисунок 19 – Однофазне (ліворуч) та трифазне (праворуч) диференційне ПЗВ

Зверніть увагу, що звичайне диференційне ПЗВ не захищає систему електропостачання від перевантаження струмом. Більш того, деякі моделі ПЗВ при виявленні струму витоку можуть створювати в системі електропостачання короткі замикання, тому вони повинні встановлюватися після вузлів захисту від перевантаження по струму.

Зараз на ринку є багатий вибір диференційних ПЗВ, розрахованих на різні струми. Для захисту людини зазвичай використовуються ПЗВ зі струмом спрацьовування 30 мА. ПЗВ з більшими струмами спрацьовування (до 300 мА і більше) можуть використовуватися як групові захисні пристрої, а також для захисту від пожежі, яка може статися при появі струму, викликаного порушенням ізоляції з'єднувальних кабелів. Оскільки ПЗВ зазвичай використовується в парі з автоматичними вимикачами, то на ринку можна також знайти досить велику кількість суміщених пристроїв – диференційних автоматів, які забезпечують захист від короткого замикання, і захист від ураження електричним струмом.

Лекція 7. Особливості споживання електричної енергії

У попередніх лекціях було розглянуто особливості промислової мережі змінного струму – основного джерела електричної енергії більшості її споживачів. Я щиро сподіваюся, що цього дуже короткого опису виявиться достатньо для роботи людей, які вирішили освоїти професії, пов'язані з постійним використанням електричної та електронної техніки (для енергетиків цього курсу буде недостатньо). І, напевно, на цьому, як зроблено у більшості підручників, можна було б поставити крапку і перейти до розгляду інших не менш важливих питань. Однак мій практичний досвід показує, що потрібно ще трохи приділити увагу домашньої та офісної електропроводки і розповісти не тільки про те, якою вона має бути в теорії, а й про те, якою вона може бути у реальному житті.

У цій частині циклу не буде «нового» матеріалу – вся теорія вже була розглянута у попередніх частинах. Тут будуть наведені лише випадки з моєї практики роботи в ІТ-відділах та ІТ-компаніях, коли неправильно чи невдало спроектована чи змонтована електропроводка призводила до неправильної чи нестабільної роботи ІТ-обладнання. Цей матеріал наочно покаже, чому ІТ-фахівцям потрібно розуміти основи електроживлення, а не сліпо покладатися на майстерність своїх колег.

Відразу зверну увагу на те, що у цьому матеріалі я в жодному разі не хочу «образити» представників інших професій. Більш ніж у 99% випадків мої колеги – електрики та охоронці, директори та прибиральники, адміністратори та товарознавці – виявлялися професіоналами високого рівня, які відповідально та якісно підходили до виконання своїх обов'язків. Проте всі ми насамперед люди, а вже потім «ІТ-шники» електрики, політики чи економісти. Усі ми люди, які можуть щось не знати, не розуміти, не помітити чи просто бути «не у формі», наприклад, через проблеми в сім'ї. Усі ми існуємо у неідеальному світі, де одночасно відбувається безліч подій, що впливають на нас як позитивним, так і негативним чином. Тому, рано чи пізно, ситуація, що виникла на вашій роботі, потрапить у той 1%, що залишився, коли причиною ваших проблем стануть помилки, недоробки або навмисні злочини інших людей. Тому дуже важливо вміти оцінювати якість роботи своїх колег принаймні в тій частині, яка стосується ваших професійних обов'язків. І, якщо виникають хоч найменші підозри в тому, що «це працювати не буде», то ситуацію треба усувати, бажано, на етапі узгодження проекту, тому що потім виправити помилку може бути набагато важче. А здебільшого для цього досить просто запитати – так ви, як мінімум, підстрахуєте свого колегу від можливих помилок.

Про організаційні моменти

Спочатку розглянемо випадок, коли всі виконали свою роботу якісно, а кінцевий результат виявився проблемним. На одному досить великому комерційному підприємстві серверна, як і належить, розташовувалася в окремому прихованому приміщенні, про існування якого знало лише обмежене коло співробітників. При цьому автоматичний вимикач (автомат), що подає живлення до цієї кімнати, був змонтований на загальному розподільному щитку, встановленому біля посту охоронця. Підприємство працювало цілодобово, тому на ньому завжди знаходився черговий інженер ІТ-відділу, який «фритував» нічну зміну у разі виникнення проблем із доступом до корпоративних інформаційних систем.

Проблема полягала в тому, що черговий охоронець, який також працює цілодобово, мав інструкцію, згідно з якою він у певний час – після відходу офісних працівників – має знеструмити офісні приміщення, а вранці – до появи працівників – відновити подачу живлення. Звичайно, в інструкції було написано, що автомат серверної відключати не можна. Це було написано й на самому щитку біля потрібного автомата. Однак, як ви вже здогадалися, знайомство чергового інженера ІТ-відділу з кожним черговим охоронцем відбувалося приблизно о першій годині ночі, коли розряджалися батареї в джерелах

безперебійного живлення і співробітники нічної зміни починали «обривати телефони» технічної підтримки. Майже завжди охоронець просто не знав, що таке «серверна» і для чого вона потрібна, а запитати, чи під час інструктажу, мабуть, соромився, тому необхідна роз'яснювальна робота проводилася ІТ-фахівцем вже безпосередньо на робочому місці.

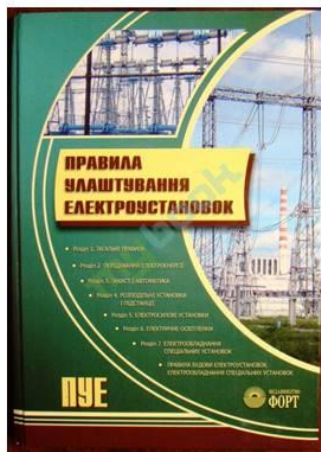
Вирішувати цю проблему було пізно, оскільки модернізувати електропроводку, наприклад, встановити автомат серверної в окремому щиті, було вже занадто дорого, клопітно і некрасиво. Єдиною «відрадою» для чергового ІТ-фахівця було спостерігати за виразом обличчя нового охоронця, коли він серед ночі дзвонив своєму безпосередньому керівнику, щоб з'ясувати, чи має він право порушити інструкцію і подати живлення в неурочний час в одне з офісних приміщень.

Про електричні кабелі

На підприємствах або великих бізнес-центрах питаннями електропостачання зазвичай займається окремий відділ, до складу якого входить головний енергетик з командою штатних електриків. У цьому випадку проблем із електропроводкою зазвичай немає – непрофесіонали на таких посадах довго не затримуються. Але в наш час безліч невеликих компаній можуть розташовуватися в орендованих офісах, перероблених із квартир та розташованих у житлових будинках. Наприклад, у Києві та Одесі таких офісів досить багато.

Про реальний стан електропроводки подібних приміщень можна лише здогадуватися – дуже часто її проектують і монтують випадкові люди, найняті за оголошенням. Приблизно те саме стосується і домашньої електропроводки, особливо в приватному секторі, де багато речей зазвичай робляться самотужки при дуже обмеженому бюджеті.

Правила улаштування електроустановок



- Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) — нормативний документ, що роз'яснює улаштування, принципи побудови, вимоги до окремих систем, їх елементів та вузлів електроустановок. Є одним з основних нормативних документів для проектування елементів електричних мереж

В Україні діють ПУЕ, затверджені наказом №476 Міненерговугілля України від 21 липня 2017 року, які засновані на 6-му радянському виданні.

На жаль, далеко не завжди «фахівці», які монтують подібні мережі, відрізняються професіоналізмом та порядністю. Наприклад, у моїх знайомих для квартирної електропроводки електрики «придбали» кабель із перерізом 0,75 мм². При цьому, згідно з Правилами пристрою електроустановок (ПУЕ), для подібних розподільчих мереж повинні використовуватися мідні електричні кабелі з перерізом не менше 2,5 мм², і тільки для систем освітлення допускається зменшити їх переріз до 1,5 мм². Господиня квартири, яка не знається на тонкощах електромереж, роботу прийняла і сплатила (все ж таки працює), після чого ці горе-електрики «розтанули» у невідомому напрямку. Звичайно, підступність таких «майстрів» виявилася відразу після включення потужних побутових приладів, коли в квартирі з'явився специфічний запах перегрітої ізоляції. На жаль, з'ясувалося це вже після

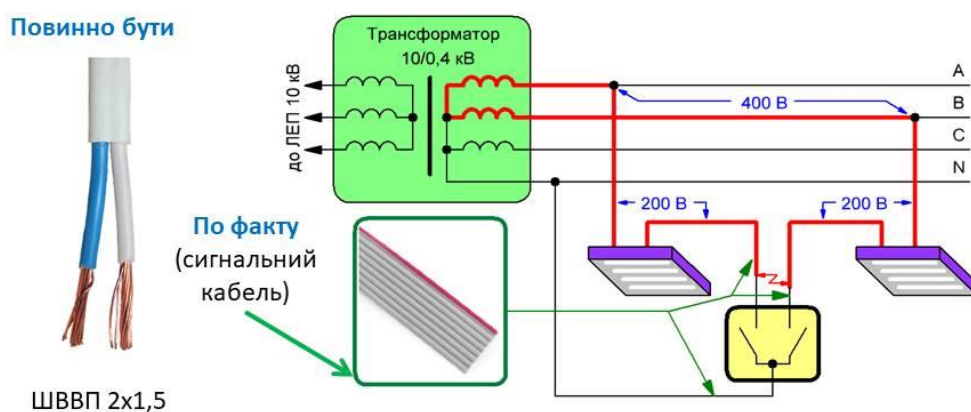
закінчення ремонту, коли шпалери поклеєні, сміття вивезено, а посуд у серванті розставлений на свої місця.

Якось увечері, під час проведення якихось поточних робіт у порожньому офісі компанії, яку ми обслуговували, прибиральниця поскаржилася, що не може вимкнути світло в коридорі. Звичайно, ремонт електропроводки не входив до наших прямих обов'язків, але ця компанія була для нас «рідною» – колись ми були її ІТ-відділом, тому з її співробітниками у нас були дуже добрі стосунки, і ми завжди їм допомагали в міру своїх сил. Звичайно ж, ми не могли відмовити цій людині і вирішили з'ясувати, у чому справа.

Той факт, що світло не можна вимкнути, спочатку особливо не збентежив – вимикач міг просто заклинити в замкнутому стані. Але на місці ситуація стала незрозумілою. Виявилося, що вимикач був здвоєним і комутував лампи у двох частинах коридору. При замиканні будь-якого з його контактів обидві групи світильників світили на повну яскравість, і лише при розмиканні обох секцій яскравість всіх світильників трохи знижувалася. Вочевидь, що вимикач був, швидше за все, справним, оскільки світильники реагували на його комутацію, однак, що мало «зламатися», щоб електроприлади так поводитися, залишалося загадкою.

Причина стала зрозумілою після вилучення вимикача з підрозетника. Виявилося, що він комутував нульовий провід, а різні групи світильників були підключені до різних фаз. Вже сам факт такого монтажу був небезпечним – вимикач систем освітлення потрібно встановлювати у колі фази – це зменшує ризик ураження електричним струмом під час заміни ламп. Але це було не найголовніше. Виявилося, що електропроводка була виконана плоским сигнальним кабелем (шлейфом), і причиною такої поведінки став пробій ізоляції між проводами, з'єднаними з різними групами ламп. При замиканні будь-якої з секцій на обидві групи світильників подавалася фазна напруга 230 В і вони світили в повну силу. Якщо ж розімкнути обидва контакти, то через пробій ізоляції на дві послідовно з'єднані групи світильників подавалася лінійна напруга 400 В. Оскільки кількість ламп у них була однакова, то ця напруга розподілялася приблизно порівну, що призводило до зменшення яскравості.

Чому не вимикається світло?

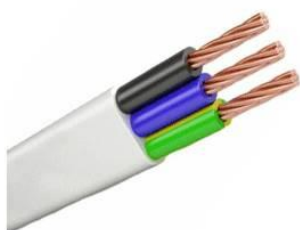


Цей пробій був очікуваним, адже не можна подавати на кабель, розрахований на максимальну напругу 300 В (типове значення для більшості кабелів подібного типу), лінійну напругу із середньоквадратичним значенням 400 В. І, нехай навіть там використовувався кабель з більш високовольтною ізоляцією, наприклад, 600 В (марку кабелю встановити не вдалося), все одно, у вимкненому стані амплітудне значення між його провідниками досягає 565 В, що вже знаходиться на межі його експлуатаційних можливостей. А якщо врахувати, що вимикач комутував світильники з люмінесцентними лампами, обладнаними дросельними пускорегулювальними пристроями, при вимкненні яких до цієї напруги ще могла додатися е.р.с. самоіндукції їх дроселів, то зрозуміло, що пробій ізоляції був просто питанням часу.

Що спонукало електрика використати цей кабель, невідомо. Швидше за все, у нього були «запаси» цього кабелю, які вирішили «пустити в справу». Електрик, потрібно віддати йому належне, намагався, розуміючи, що перерізу однієї жили AWG24 ($0,2 \text{ мм}^2$) «не вистачить» для живлення світильника, він, розділивши шлейф на смужки по 4 жили, «чесно» виділив на кожну лінію по дві смуги. У результаті кожен «провід» складався з 8 жил із загальним перерізом приблизно $1,6 \text{ мм}^2$, що навіть відповідає ПУЕ, але про ізоляцію він якось не подумав.

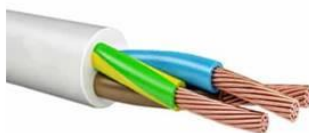
Висновок звідси простий – для електропроводки має використовуватися лише спеціалізований електричний кабель. У своїх проектах для стаціонарної електропроводки ми зазвичай використовували кабелі ШВВП – з ним набагато зручніше працювати, ніж з жорсткішими кабелями інших марок, наприклад, ППВ, хоча електричні характеристики одножильних кабелів, зокрема питомий електричний опір, краще, ніж у багатожильних. Для сполучних шнурів та подовжувачів найкраще підходить кабель ПВС, оскільки він є найбільш гнучким.

Найбільш поширені силові кабелі



ШВВП

(Шнур в Вініловій ізоляції і
Вініловій оболонці,
Плаский)



ПВС

(Провід в Вініловій
ізоляції Сполучний)



ППВ

(Провід Плаский в
Вініловій ізоляції)

Про експлуатацію кабелів

Переріз кабелів обирається відповідно до рекомендацій ПУЕ. ІТ-фахівцеві зазвичай нема чого вникати у всі тонкощі цього процесу, проте деякі моменти потрібно розуміти і не забувати.

Для стаціонарної електропроводки, зокрема для підключення електричних розеток, повинен використовуватися кабель перетином не менше $2,5 \text{ мм}^2$. Тип кабелю зазвичай обирають електрики (кому з яким зручніше працювати), проте кабель має бути електричним, мідним, з перерізом не менше $2,5 \text{ мм}^2$ – використання алюмінієвого кабелю або кабелю з меншим перерізом буде порушенням ПУЕ. Єдиним винятком цього правила є електропроводка для систем освітлення, де допускається використання мідного кабелю з перерізом жил щонайменше $1,5 \text{ мм}^2$. Якщо ви займаєтеся ремонтом приміщення, наприклад, де будуть працювати співробітники вашої компанії, було б бажано проконтролювати, який же кабель насправді буде закладений в електропроводку - бувають випадки, коли «випадково» купується або встановлюється дешевий кабель меншого перерізу.

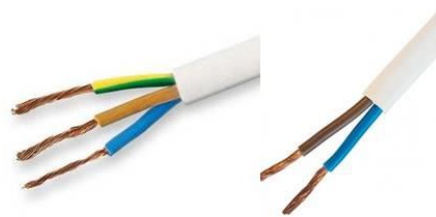
Рекомендований переріз кабелів для «останньої милі» електричної проводки

Електричні розетки



ШВВП (або ПВС) 3x2,5

Освітлення



ШВВП (або ПВС) 3x1,5 або 2x1,5

В інших випадках мінімальний переріз жил кабелів необхідно вибирати виходячи з рекомендацій ПУЕ, частина з яких наведена в таблиці. При цьому не слід забувати про правильний захист цієї лінії від перевантаження струмом. Потрібно пам'ятати, що і автоматичні вимикачі, і плавкі запобіжники зазвичай витримують подвійне навантаження протягом приблизно години, а за цей час ізоляція кабелю може зруйнуватися. Тому струм спрацювання захисного пристрою повинен бути приблизно вдвічі меншим за максимальний тривалий струм для кабелю обраного перерізу. Наприклад, кабель із перетином $0,75 \text{ мм}^2$ з допустимим тривалим струмом 16 А слід захищати автоматичним вимикачем або плавкою вставкою зі струмом спрацювання не більше 8 А.

Максимальний тривалий струм мідних електричних кабелів

Переріз струмопровідної жили, мм^2	Струм, А		
	Одножильний провід	Двожильний провід	Трижильний провід
0,5	–	12	–
0,75	–	16	14
1,0	–	18	16
1,5	–	23	20
2,5	40	33	28
4	50	43	36
6	65	55	45
10	90	75	60
16	120	95	80

Однак при виборі перерізу кабелю не слід сліпо покладатися на рекомендації ПУЕ – треба розуміти фізику процесу та керуватися здоровим глуздом. Завжди потрібно пам'ятати про те, що при протіканні електричного струму по будь-якому провіднику відбувається два одночасні процеси: нагрівання та охолодження.

Нагрівання кабелю відбувається внаслідок наявності ненульового активного опору струмопровідної жили кабелю $R_{\text{КАБ}}$. При цьому швидкість виділення тепла (потужність нагріву) $P_{\text{НАГР}}$, згідно із законом Джоуля-Ленца, пропорційна квадрату струму $I_{\text{КАБ}}$, що протікає через кабель:

$$P_{\text{НАГР}} = I_{\text{КАБ}}^2 R_{\text{КАБ}}. \quad (45)$$

Швидкість відведення тепла $P_{\text{ОХ}}$ залежить від того, наскільки температура струмопровідних жил кабелю $T_{\text{КАБ}}$ відрізняється від температури навколишнього середовища $T_{\text{ДОВК}}$:

$$P_{\text{ОХ}} = \frac{T_{\text{КАБ}} - T_{\text{ДОВК}}}{R_{\text{КАБ-ДОВК}}}; \quad (46)$$

де $R_{\text{КАБ-ДОВК}}$ – тепловий опір між жилами кабелю та навколишнім середовищем.

Температурні розрахунки

Потужність нагріву кабелю	$I_{\text{КАБ}}$ – струм, що протікає по кабелю, А
$P_{\text{НАГР}} = I_{\text{КАБ}}^2 R_{\text{КАБ}}$	$R_{\text{КАБ}}$ – електричний опір кабелю, Ом
Потужність охолодження кабелю	$T_{\text{КАБ}}$ – температура кабелю, °С
$P_{\text{ОХ}} = \frac{T_{\text{КАБ}} - T_{\text{ДОВК}}}{R_{\text{КАБ-ДОВК}}}$	$T_{\text{ДОВК}}$ – температура довколишнього середовища, °С
Температура кабелю	$R_{\text{КАБ-ДОВК}}$ – тепловий опір струмопровідної жила → довколишнє середовище, °С/Вт
$T_{\text{КАБ}} = I_{\text{КАБ}}^2 R_{\text{КАБ}} R_{\text{КАБ-ДОВК}} + T_{\text{ДОВК}}$	$P_{\text{НАГР}}$ – потужність нагрівання кабелю, Вт
	$P_{\text{ОХ}}$ – потужність охолодження кабелю, Вт

У стаціонарному режимі, що настає через деякий час після початку протікання струму через кабель, настає стан рівноваги, при якому кількість тепла, що виділяється в струмопровідних жилах, стає рівною кількості тепла, що йде в навколишній простір. Це дозволяє, прирівнявши формули (36) і (46), визначити температуру жил кабелю:

$$T_{\text{КАБ}} = I_{\text{КАБ}}^2 R_{\text{КАБ}} R_{\text{КАБ-ДОВК}} + T_{\text{ДОВК}}; \quad (47)$$

У формулі (47) присутні три невідомі:

- температура довкілля $T_{\text{ДОВК}}$;
- електричний опір кабелю $R_{\text{КАБ}}$;
- тепловий опір кабель-довкілля $R_{\text{КАБ-ДОВК}}$.

Зазвичай ІТ-фахівці нечасто стикаються з екстремальними умовами експлуатації, тому температуру навколишнього середовища, в першому наближенні, можна прийняти рівною кімнатній температурі, $T_{\text{ДОВК}} = 15 \dots 20$ °С, однак у гіршому випадку, наприклад, коли кабель прокладений у металевій трубі, що добре прогрівається літніми сонячними променями, температура довкілля може перевищувати 50 °С.

Питомий електричний опір кабелю $R_{\text{КАБ}}$ визначається відповідними нормативними документами. Зараз у багатьох країнах активними є регіональні версії міжнародного стандарту ІЕС 60228:2004. Таким чином, купуючи електричний кабель певного перерізу, теоретично, можна бути впевненими, що його електричний опір має бути не більшим за деяке значення, вказане в стандарті.

Однак на практиці це буває далеко не завжди. Зараз на ринку є досить велика кількість продукції відомих і «безіменних» виробників, що відрізняються і за ціною, і за якістю. Дуже часто «мідні» кабелі виготовляють із різних сплавів, що зменшують їхню вартість. Крім того, деякі виробники відверто займаються шахрайством, виготовляючи кабель, переріз якого менше, вказаного на маркуванні, тому жили одного і того ж кабелю, випущеного різними виробниками, навіть візуально мають різний діаметр, не кажучи вже про вагу та вартість бухти. Відповідальні продавці в магазинах електротоварів це чудово розуміють і завжди уточняють, кабель якого виробника вас цікавить. Вони зазвичай завжди мають запаси як «якісного», але дорогого кабелю від «чесних» виробників, який можна використовувати без ризику, так і дешевшого, в який «не додали» трохи міді. Тому реальний опір кабелю $R_{\text{КАБ}}$ на практиці може відрізнятись (у більшу сторону) від значення, вказаного у стандарті. А це означає, що нагріватись він буде більше.

Але найпідступніший параметр у формулі (47) – це тепловий опір кабель-довкілля $R_{\text{КАБ-ДОВК}}$. Це значення залежить від умов експлуатації і може змінюватися в досить широких межах. У ПУЕ, щоб не навантажувати спеціалістів типовими розрахунками, прорахували формулу (47) для типових значень $R_{\text{КАБ-ДОВК}}$ і навели результати обчислень у вигляді

таблиць. Це зручно: знаючи умови експлуатації, можна швидко визначити величину допустимого струму, при якому температура струмопровідної жили буде безпечною для ізоляції цього типу. Але слід пам'ятати, що ці дані, навіть з урахуванням поправочних коефіцієнтів, розраховані для стандартних значень $R_{КАБ}$ та $R_{КАБ-ДОВК}$. А якщо замість якісного кабелю купили його дешевий аналог, що має більший опір $R_{КАБ}$, або якщо умови експлуатації кабелю відрізняються від стандартних, то не слід дивуватися перегріву та пошкодженню кабелю, навіть за струмів, далеких від номінальних значень.

В одному офісі одного вечора забули вимкнути тепловентилятор («дуйку»), і він пропрацював усі вихідні. Тепловентилятор підключався за допомогою подовжувача довжиною близько 5 м, а оскільки така довжина була явно надмірна, то провід подовжувача акуратно згорнули в невелику бухту і навіть обмотали скотчем, щоб вона не розсипалася. Не підраховуватимемо кількість правил пожежної безпеки, які були порушені, зрештою все «обійшлося» – у понеділок обігрівач вимкнули, а приміщення перевірили. Однак ізоляція кабелю подовжувача сплавилася в один великий «бублик» і розмотати бухту було вже неможливо. Сталося це через те, що тепловий опір внутрішніх витків бухти виявився значно вищим за типові значення, і вони не охолоджувалися належним чином. При цьому, згідно з таблицями ПУЕ, струм, споживаний тепловентилятором (близько 10 А), був набагато меншим за максимально допустимий струм для кабелю цього перерізу (у подовжувачі використовувався кабель з перерізом 0.75 мм^2 і максимально допустимим струмом 16 А).

Цей момент необхідно обов'язково пам'ятати і ІТ-фахівцям теж, адже вони теж можуть користуватися подовжувачами, наприклад під час монтажу кабелів обчислювальних мереж. Якщо струм, споживаний обладнанням, перевищує половину максимально допустимого струму подовжувача, його котушку потрібно розмотати, інакше може статися оплавлення ізоляції внутрішніх витків кабелю і подовжувач доведеться викинути.

Як (не) користуватися подовжувачами



Якщо робочий струм перевищує 50% від номінального струму подовжувача, то його кабель потрібно повністю розмотати

Про розпач кваліфікованих спеціалістів

Протягом кількох років у нашому «господарстві» знаходилася офісна міні-АТС наших клієнтів Samsung iDCS 500. Зараз її вже зняли з виробництва, але свого часу це була техніка дуже гарної якості та з великою кількістю різноманітних сервісів. Все регламентне обслуговування цього обладнання полягало в періодичному протиранні корпусу від пилу, тому ми з великою радістю займалися її супроводом і конфігуруванням.

Якось нашої ІТ-компанії довелося переїхати з одного орендованого офісу в інший (у межах однієї будівлі) і, відповідно, перенести цю міні-АТС разом із усіма комунікаціями. У перший же робочий день після переїзду почалися проблеми - стала зависати карта E1/PRI, через яку йшло все основне телефонне навантаження. Карта зависала намертво – щоб відновити її працездатність, доводилося повністю відключати живлення АТС, у тому числі й резервну акумуляторну батарею. На штатні засоби перезавантаження: кнопку «Reset» на карті E1/PRI, кнопку «Reset» на системному блоці, а також команди програмного скидання ця карта не реагувала.

Офісна міні-АТС Samsung iDCS 500



Зависання відбувалися безсистемно, були дні, коли зависань не було, а іноді карта могла зависнути тричі на годину. Міні-АТС належала досить великому міжнародному холдингу, в якому лише в одеській філії близько 30 осіб сиділи на телефонах. Очевидно, що така поведінка телефонної станції нікуди не годилася, тож проблему треба було терміново вирішувати.

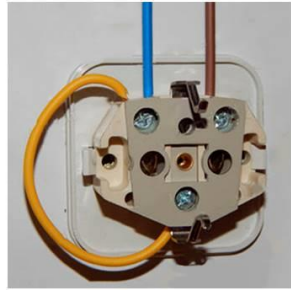
Оскільки самотужки відновити її працездатність нам не вдавалося, ми залучили до вирішення цієї проблеми стороннього фахівця з телефонного зв'язку, який уже багато років займався АТС різного рівня та складності. Природно, відразу ж було замінено картку E1/PRI, за нею замінили блоки живлення, «прошивку» материнської плати, «прошивки» інших карт і навіть акумуляторні батареї. Приблизно через місяць безуспішних спроб знайти причину зависань телефоніст сказав, що у нього залишається тільки один варіант – заміна материнської плати, що еквівалентно заміні АТС, але на його очах було видно, що він не впевнений у тому, що це дасть потрібний результат.

Вирішення проблеми прийшло зовсім з несподіваного боку – від нашої офіс-менеджерки, у якої після переїзду через нестачу або надлишок сонячного світла (ми так до ладу і не зрозуміли) почали гинути квіти, тому вона зажадала поміняти місця розташування «оранжереї» та її робочого столу. Але в тому кутку кімнати, куди вона збиралася переміститися, не було жодних комунікацій, тому нам потрібно було туди підвести кабелі для підключення системного телефону, локальної обчислювальної мережі, домофону, системи відеоспостереження, кнопки керування електрозамком, а також встановити електричні розетки. Зрозуміло, що ми її почали активно відмовляти, аргументуючи тим, що в ІТ-компаніях, крім сукулентів, нічого рости не повинно, проте вона була непохитна, і нам довелося поступитися.

У процесі роботи нам довелося розібрати одну з електричних розеток, після чого виявилось, що в ній контакт захисного провідника виявився з'єднаним із нульовим дротом. Тобто електрики під час ремонту приміщення вирішили «заощадити» і замість того, щоб розгорнути повноцінну систему електропостачання TN-S, вони, купивши дешевші двопровідні кабелі, пішли на грубе порушення ПУЕ та розгорнули небезпечну для експлуатації систему.

Окрім потенційної небезпеки, яку мало таке поєднання, воно ще й створювало проблеми у роботі ІТ-обладнання, зокрема офісної міні-АТС. Принаймні після ліквідації цього зв'язку, на превеликий подив телефоніста, який навіть не припускав існування подібних «несправностей», зависання картки E1/PRI припинилися повністю, навіть незважаючи на те, що захисний провідник так і залишився непідключеним. Причиною такої поведінки став, найімовірніше, високий рівень перешкод, що є у нульовому дроті, які через фільтри потрапляли у вузли карти E1/PRI.

Грубі порушення ПУЕ



Не можна в розетках з'єднувати захисний контакт з нейтраллю (нулем)

- Хтось може потім переплутати проводи і тоді корпуси приладів опиняться під фазною напругою
- Струм, що протікає по нульовому провіднику, створює завади для роботи комп'ютерного та телекомунікаційного обладнання

Якщо електрична проводка виконана двожильним проводом і захисного провідника немає, то захисний контакт в розетках потрібно залишити невідключеним (захист від ураження електричним струмом при цьому можна забезпечити іншими методами)

Про несправності за розкладом

Якось наші клієнти, які займаються обладнанням для хімічних компаній, продали одній з одеських лабораторій установку, призначену для синтезу якихось складних речовин. Це обладнання було повністю автоматизовано, проте комп'ютер, що управляє, в комплект не входив, тому його замовили у нас. Приблизно через рік нам повернули монітор від цього комп'ютера (ще на основі електронно-променевої трубки) зі словами «смикається і смугається». До цього часу ми вже знали, що ця модель моніторів мала заводський дефект - на конвеєрі "не докручували" один з гвинтів на відеоплаті, через що на екрані з прогріванням з'являлися різнокольорові "тягучки". На честь виробника, в сервісних центрах цей дефект, навіть після закінчення гарантійного терміну, усували безкоштовно і швидко - буквально протягом півгодини. Тому ми, не дуже розбираючись, відвезли монітор у сервісний центр і того ж дня повернули його назад із позначкою «готово».

Через два тижні монітор повернувся до нас знову і з тією самою несправністю. Цього разу ми провели повну діагностику з термічними ударами – щодня на кілька годин ми закривали йому вентиляційні отвори. Проте несправність не виявилася. Через кілька днів, протягом яких він працював, не вимикаючись, ми повернули його назад.

Після третього разу стало зрозуміло, що треба їхати, оскільки проблема, швидше за все, полягала не в моніторі. Прибувши на місце, я, як і очікувалося, виявив працюючий монітор (і комп'ютер), тому довелося ставити запитання.

Після першої чашки кави я з'ясував, що перешкоди на екрані з'являються... в середу і п'ятницю у другій половині дня, і почалося це приблизно чотири місяці тому. Після третьої чашки кави, випитої вже з керівником хімічної лабораторії, я з'ясував, що приблизно чотири місяці тому лабораторія придбала ще складнішу і дорожчу синтезуючу установку, яку встановили в іншій частині приміщення, і лаборанти, які працюють за «несправним» комп'ютером, про неї особливо не знали. Також було з'ясовано, що ця установка по середах і п'ятницях з 14.00 до 16.00 синтезує якусь речовину з важкою назвою.

Оскільки я приїхав у четвер, то шансів «упіймати» перешкоду у мене не було. Однак я все одно попросив увімкнути цю установку. Виявилось, що синтез цієї речовини є дуже складним, а сама речовина дуже дорога і нестабільна, тому потрібно спочатку домовитися зі споживачем, чи зможе вона прийняти і «утилізувати» позачергову партію цієї речовини. На мій подив, замовник погодився, і лаборанти запустили процес. Для людини далекої від хімії це виглядало дуже ефектно – булькаючі і киплячі різнокольорові рідини, що переливаються, пальники і мішалки, що автоматично вмикаються і вимикаються, шприци з програмним управлінням і величезна кількість встановленого на спеціальних штативах скляного посуду різних форм і розмірів. Загалом установка дуже сильно нагадувала машину часу Шурика з фільму «Іван Васильович змінює професію».

Приблизно через 5 хвилин я почув крики з лабораторії, де був «несправний» комп'ютер (вона, нагадаю, була досить далеко від цієї установки). Прибувши на місце, я виявив... два комп'ютери, на моніторах яких нічого не можна було розглянути. На питання

"Чому ви нічого не сказали за другий комп'ютер?" відповідь була простою: «Але ж ми ж її не у вас купували!». І тут я зрозумів, що в Одесі десь є ще одна людина, яка займається ремонтом справних моніторів.

Зображення на екранах обох моніторів, що стояли один навпроти одного, було "рідким" - воно коливалося у всіх вимірах і змінювало кольори. Перешкоду створювало зовнішнє електромагнітне поле, джерелом якого, швидше за все, була незрозуміла металева скринька, що стояла впритул до обох моніторів, причому, за словами лаборантів, ця скринька не мала жодного відношення до їхньої лабораторії, хоч і стояла тут завжди – у центрі двох робочих столів хіміків.

Причина «поломки» монітора



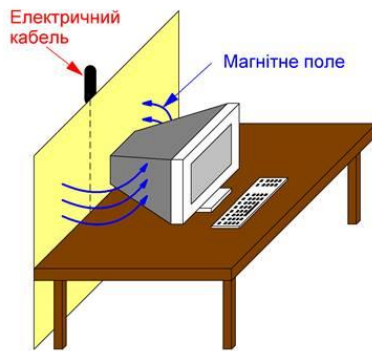
Призначення шухляди з'ясувалося дуже швидко - ним виявився стабілізатор напруги, до якого підключалася вся дорога техніка компанії. Про те, що він є джерелом перешкоди, сумніватися не доводилося – достатньо було відсунути монітор від його корпусу, наскільки дозволяла довжина кабелів, як зображення стабілізувалося (лаборанти при цьому вигукнули: «І хто нам так дві години монітори тримати на руках?»). Чому стабілізатор був встановлений на робочих столах, електрик виразно пояснити не міг – мабуть, так склалося історично. Однак він урочисто пообіцяв, що цей апарат буде прибраний в інше, більш сприятливе місце.

Про поля та наведення

В епоху моніторів на електронно-променевих трубках потужні електричні кабелі створювали реальну проблему. У моїй практиці було кілька робочих місць, розташованих біля стін, в яких було прокладено потужні трифазні розподільчі лінії. Їх електромагнітне поле створювало досить сильну перешкоду, під впливом якої зображення на екрані ставало рідким, причому амплітуда коливань розміру зображення перебувала в прямій залежності від струму, що протікає по кабелю.

Усунути це можна було лише переміщенням монітора, у найкращому разі, на інший кінець столу. Іноді доводилося рухати весь робочий стіл. Після появи більш завадозаисних рідкокристалічних моніторів ця проблема «пішла», і тепер оператори навіть не знають, що їхнє робоче місце розташоване в зоні впливу сильного електромагнітного поля.

Причина «поломки» монітора

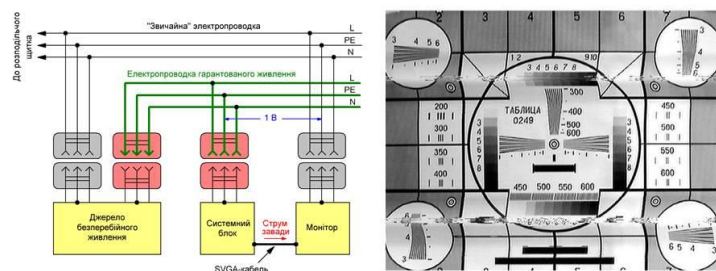


В деяких випадках «полагодити» комп'ютер можна було лише переміщенням робочого місця оператора в інше місце (подалі від електричних кабелів)

Однак одного разу мені довелося спостерігати таке саме «плаваюче» зображення на екрані рідкокристалічного монітора. Причиною цього було підключення монітора "не в ту розетку". У цьому офісі було реалізовано централізовану систему, в якому всі комп'ютери живилися від одного потужного джерела безперебійного живлення. Відповідно, у приміщенні було 2 електричні мережі, а на робочих місцях – 2 комплекти електричних розеток: один – для звичайного обладнання, а другий, із розетками яскраво-червоного кольору – для обладнання, яке має працювати при аварії в енергосистемі.

Причиною появи завади стало підключення монітора до «звичайної» електричної розетки, тоді як системний блок був підключений до розетки, з'єднаної з джерелом безперебійного живлення. Обидві системи електропостачання були реалізовані за схемою TN-S, проте через різні шляхи прокладання кабелю та різної кількості обладнання, підключеного до цих енергосистем, між захисними контактами обох груп розеток утворилася різниця потенціалів, величиною близько 1 В. Струм завади замикався сигнальним кабелем, що з'єднує монітор із системним блоком, і проникав у сигнали синхронізації, що й призводило до «коливань» зображення. Після підключення монітора до розетки, з'єднаної з джерелом безперебійного живлення, проблему було вирішено.

Завада від різниці потенціалів між корпусами системного блока та монітора



Висновки

Як видно з наведеного матеріалу, реальність може досить відрізнятись від ідеального випадку і вводити в «ступор» навіть професіоналів. Тому дуже важливо, щоб знання ІТ-фахівців не обмежувалися лише спеціалізованими компетенціями у своїй галузі, тим більше, що практика показує, що близько половини всіх інцидентів та проблем, пов'язаних із ІТ-обладнанням, виникає через проблеми в галузі електроживлення.

Лекція 8. Система електроживлення підприємства

Основні поняття про електроживлення підприємств

Для функціонування комп'ютерних технічних засобів необхідна електрична енергія. На будь якому підприємстві електрична енергія використовується для здійснення основних і додаткових технологічних і загальновиробничих процесів. Основні технологічні процеси здійснюються за допомогою основного обладнання, призначеного, наприклад, для надання інформаційних сервісів, доступу до корпоративної інформаційної мережі тощо.

Призначенням додаткових технологічних процесів є підтримання обладнання, що виконує основні технологічні процеси, у необхідному працездатному режимі. Як приклад додаткового технологічного процесу можна навести систему вентиляції та кондиціонування, призначенням якої є підтримання потрібного теплового режиму основного обладнання. Система електроживлення підприємства, що забезпечує обладнання електричною енергією з потрібною якістю, також відноситься до додаткового технологічного обладнання.

Крім забезпечення основних і додаткових технологічних процесів, електрична енергія потрібна також для забезпечення нормальної роботи працівників підприємств (освітлення робочих місць, опалення, вентиляція і кондиціонування приміщень тощо).

Основним джерелом електричної енергії для телекомунікаційних підприємств є промислова мережа змінного струму загального призначення. Забезпечення електричною енергією необхідної якості усіх споживачів підприємства покладається на систему електроживлення

Система електроживлення підприємства – це комплекс споруд на території підприємства, що включає систему електропостачання, обладнання перетворення, розподілу, регулювання і резервування електричної енергії, забезпечує функціонування підприємства в нормальних, аварійних та післяаварійних режимах роботи.

Система електроживлення підприємств, як правило, містить:

- електричні мережі загального призначення;
- пристрої вводу, захисту, комутації і розподілу постійного і змінного струмів;
- автономні джерела (основні і резервні) електричної енергії однофазного, трифазного і постійного струмів;
- системи електроживлення постійного і змінного струмів.

Залежно від вимог за надійністю електропостачання усі електроприймачі підприємств поділяються на першу, другу і третю категорії. Більшість комп'ютерного обладнання, особливо комп'ютерного обладнання, що надає послуги теле- та інфокомунікацій (комп'ютерне обладнання, що забезпечує населення послугами стільникового зв'язку, доступу до банківських платіжних систем, системи цивільної оборони, радіо та телебачення, доступу до мережі Інтернет тощо) відноситься до споживачів першої категорії, тому їх електропостачання повинне забезпечуватися від трьох незалежних джерел електроенергії. Два зовнішні вводи електроенергії підключають до окремих енергосистем або електростанцій, а третій – до власної автономної (дизельної) електростанції. Нині в окремих практичних випадках допускається застосування двопробових систем електропостачання (з одним вводом і автономною електростанцією).

Розрізняють гарантоване, безперебійне і резервне електроживлення. При гарантованому електроживленні допускаються короточасні перерви в поданні електроенергії. При безперебійному електроживленні перерви в поданні електроенергії не допускаються.

Для забезпечення гарантованого електроживлення, як правило, використовуються дизель-генератори (автоматизовані дизельні електростанції АДЕС – рис. 1 та 2).

До споживачів гарантованого електроживлення відносяться комп'ютерне обладнання підприємств, що забезпечує функціонування й експлуатацію виробничих і адміністративних

будівель: систем робочого освітлення, кондиціонування і вентиляції, опалювання, а також і внутрішнього електротранспорту (ліфти, підйомники, крани тощо).

У системах безперебійного електроживлення (СБЖ) змінного струму СБЖ_~ і постійного струму СБЖ₌ як джерела резервного електроживлення використовуються акумуляторні батареї (рис. 1).

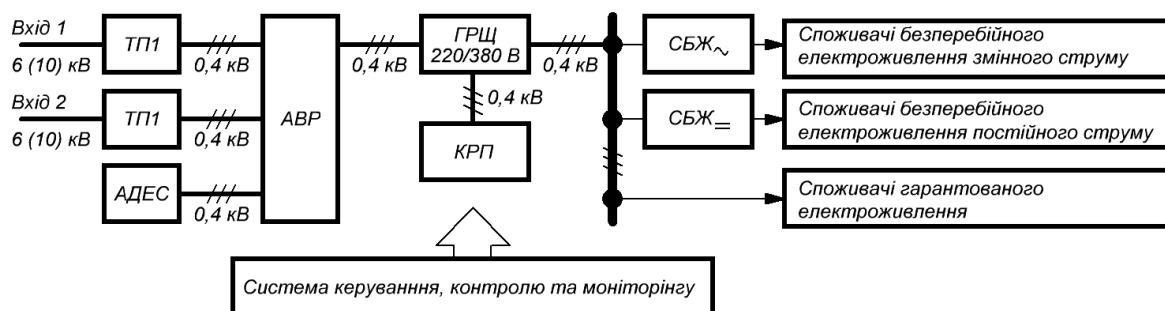


Рисунок 1 – Структурна схема системи електроживлення підприємства

Системи електроживлення підприємств, де використовується комп'ютерне обладнання, як правило, використовують схеми (рис. 1, 2), які поєднують і гарантоване, і безперебійне живлення. При припиненні зовнішнього електропостачання запускається автоматизована дизельна електростанція АДЕС. З моменту зникнення напруги основної мережі до моменту запуску АДЕС, безперебійне електроживлення здійснюється від акумуляторних батарей систем СБЖ_~ і СБЖ₌. У результаті, при аварії основної мережі, системи електроживлення переходять в автономний режим від акумуляторних батарей, і забезпечується безперебійне електроживлення.

2 Системи електроживлення підприємства

Спрощена структурна і функціональна схеми електроживлення підприємства трипроменевого типу показані на рис. 1 та 2, відповідно.

Електрична енергія від двох незалежних енергосистем через *Ввід 1* і *Ввід 2* надходить на трансформаторні підстанції *ТП1* і *ТП2*. Напруга на вводах 1 і 2 складає, звичайно, 6 кВ або 10 кВ. Безпосередньо до мережі низької напруги 0,4 кВ (230/400 В) підприємство підключається у випадках, коли потужність, споживана підприємством, невелика, і підприємство розташоване недалеко від трансформаторної підстанції.

Трансформаторні підстанції (ТП) *ТП1* і *ТП2* потрібні для зниження напруги з ввідів 1 і 2 до величини 0,4 кВ (230/400 В). До складу трансформаторних підстанцій входять понижувальні трансформатори *TV1* і *TV2* та обладнання захисту від перевантаження по струму: плавкі вставки *FU1*, *FU2* й вимикачі *Q1*, *Q2*. Вторинні обмотки силових трансформаторів *TV1* і *TV2* вмикаються за схемою «зірка» з нульовим виводом (чотирипровідна «зірка»), який підключають до системи заземлення. Дублювання автоматичних вимикачів *Q1* і *Q2* плавкими вставками *FU1* і *FU2* пов'язано з можливою відмовою автоматичних вимикачів.

Автономна дизельна електростанція (АДЕС) *АДЕС1* є джерелом резервного електроживлення, яке забезпечує електричною енергією підприємство при аваріях основних джерел, що підключені до ввідів 1 і 2.

АДЕС являє собою дизельний двигун, на валу якого встановлений електрогенератор. АДЕС підприємств повинні мати третю (вищу) ступінь автоматизації і спеціальні засоби регулювання (стабілізації) вихідної напруги за величиною, фази і частоти.

Виходи трансформаторних підстанцій *ТП1*, *ТП2* і *АДЕС1* підключені до автомата вводу резерву *ABP1*.

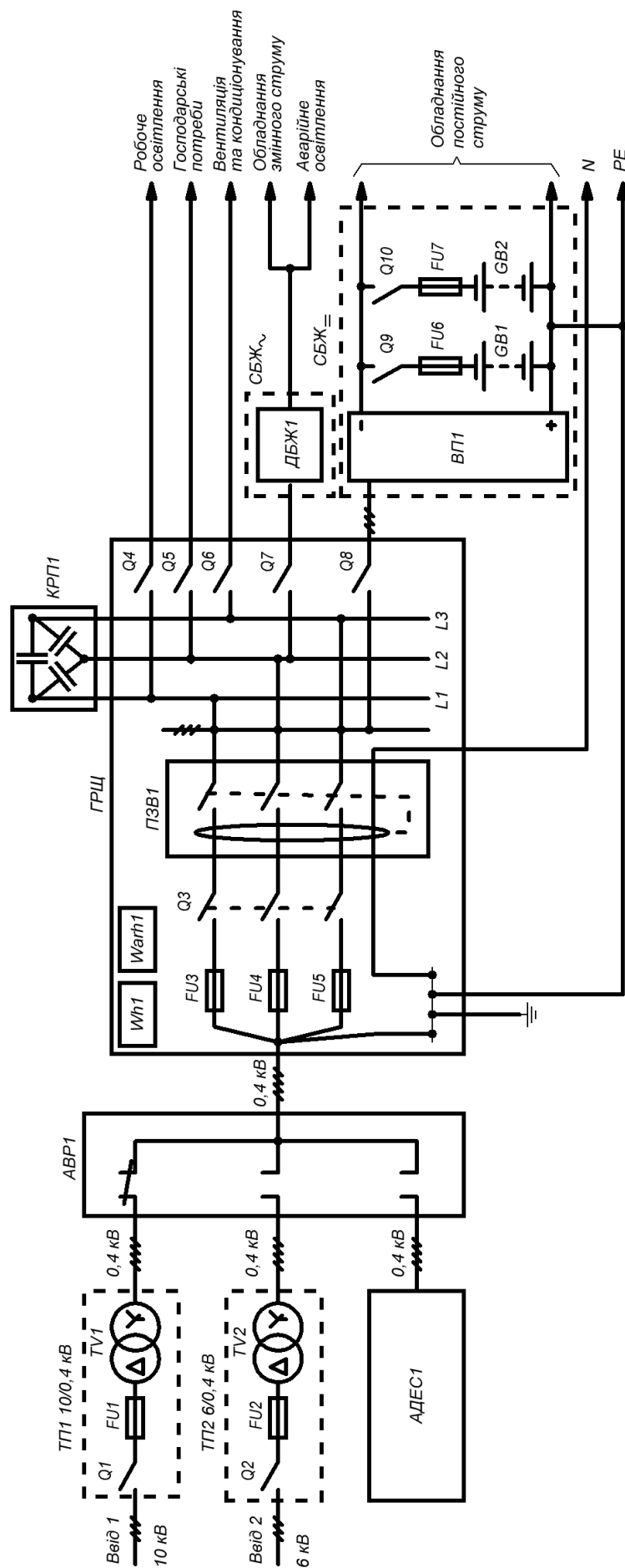


Рисунок 2 – Структурна схема системи електроживлення підприємства трифазного типу

Автомат вводу резерву (АВР) потрібен для автоматичного вибору необхідного джерела живлення. При аварії основного джерела, яке, як правило, підключено до вводу 1, АВР автоматично переключиться на ввід 2. Якщо напруга на вводі 2 відсутня, АВР надасть команду на запуск АДЕС. Після відновлення електропостачання на вводах 1 або 2 АДЕС буде автоматично зупинено, а підприємство буде підключено до робочого джерела.

З виходу *АВР1* електрична енергія подається на **головний розподільний щит (ГРЩ)** (рис. 3), у якому розташоване основне обладнання для обліку, контролю і розподілу електричної енергії.

Облік спожитої електричної енергії здійснюється за допомогою **лічильників активної** – *Wh1* (в кВт·год – кіловат-годинах) і **реактивної потужностей** – *Warh1* потужності (в квар·год – кіловар-годинах).



Рисунок 3 – Головні розподільні щити

Захист кіл ГРЩ від перевантаження від струму відбувається за допомогою плавких запобіжників *FU3 – FU5* і трифазного автоматичного вимикача *Q3*. Дублювання захисту пов'язано з потенційною можливістю відмови автоматичного вимикача *Q3* в той час як плавкі запобіжники *FU3 – FU5* мають більш високу надійність, проте є одноразовими.

Пристрій захисного відключення (ПЗВ) ПЗВ1 призначено для захисту персоналу від удару електричним струмом. При дотику людини до струмопровідних частин ПЗВ автоматично вимкне живлення підприємства.

З виходу *ПЗВ1* електрична енергія подається на розподільні шини *L1 – L3*, які потрібні для розподілу електричної енергії. При невеликих струмах навантаження розподільні шини виконують за допомогою відрізків проводу. Для великих струмів шини є мідними смугами прямокутного перетину, жорстко змонтованими в розподільному щиті (рис. 4).

Компенсатор реактивної потужності (КРП) КРП1, який підключається безпосередньо до шин *L1 – L3*, потрібний для зменшення рівня реактивної потужності, що споживає підприємство, і зменшення затрат на електроенергію.

Різні категорії споживачів підключаються до розподільних шин *L1 – L3* за допомогою відповідних **автоматичних вимикачів** *Q4 – Q8*, які забезпечують захист від перевантаження по струму.

Джерело безперебійного живлення змінного струму (ДБЖ) ДБЖ1 потрібне для роботи обладнання змінного струму під час аварій основних джерел живлення (*ТП1, ТП2*) до запуску резервного (*АДЕС1*), який може зайняти від 3 до 15 хвилин.

Випрямний пристрій (ВП) ВП1 призначений для живлення обладнання постійного струму від мережі змінного струму, а також для заряду акумуляторних батарей *GB1, GB2*.

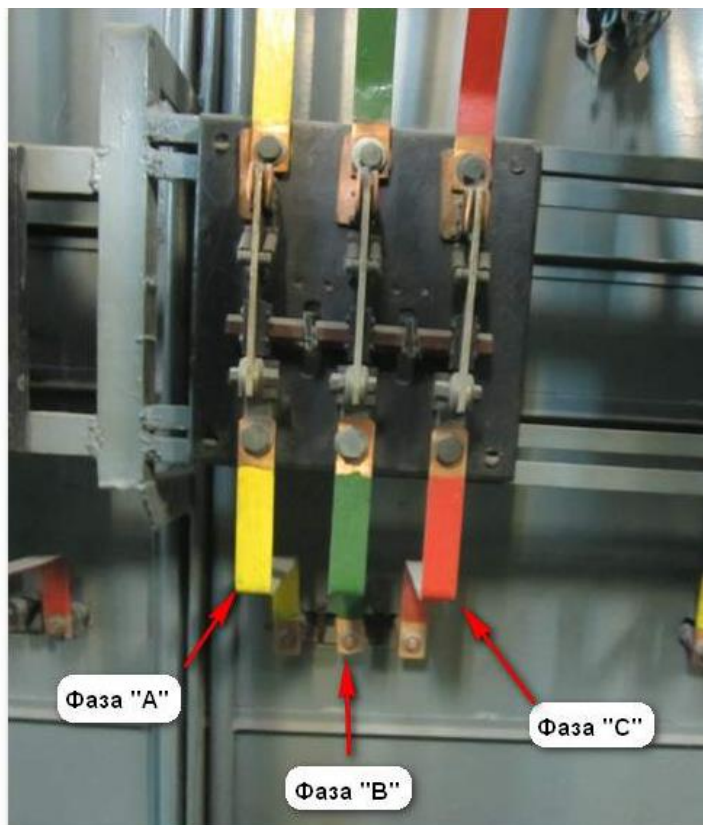


Рисунок 4 – Шини у вигляді мідних смуг у розподільному щиті

Акумуляторні батареї *GB1*, *GB2* призначені для роботи обладнання постійного струму при аваріях основного джерела живлення (*ТП1*, *ТП2*) до запуску резервного (*АДЕС1*). У системах електроживлення підприємств звичайно використовуються акумуляторні батареї, з'єднані у дві групи (двогрупні акумуляторні батареї), які підключаються до обладнання постійного струму за допомогою автоматичних вимикачів *Q9*, *Q10*, що разом із плавкими вставками *FU6*, *FU7* забезпечують захист батареї від перевантаження по струму.

Випрямний пристрій *ВП1*, акумуляторні батареї *GB1*, *GB2*, автоматичні вимикачі *Q9*, *Q10* спільно з струморозподільною мережею утворюють **систему безперебійного живлення постійного струму**.

В залежності від типу **аварійного освітлення** (постійного або змінного струму), призначеного для освітлення підприємства (при аварії основного джерела живлення і до запуску резервного), воно підключається або до системи безперебійного живлення постійного струму (до виходу *ВП1*) або до ДБЖ змінного струму (*ДБЖ1*).

Захисне заземлення, аналогічно ПЗВ, призначене для захисту персоналу від ураження електричним струмом. До проводу захисного заземлення підключається нейтральний провідник струморозподільної мережі (провідник *N* на схемі рис. 2), провідник захисного заземлення (провідник *PE* на схемі рис. 2), а також позитивні полюси випрямного пристрою *ВП1* і акумуляторних батарей *GB1*, *GB2*.

Основні вимоги до установок електроживлення

До електроживильних установок (ЕЖУ) висувається низка вимог, які необхідно враховувати при проектуванні ЕЖУ:

1) ЕЖУ повинні бути надійними і забезпечувати безперебійне (або гарантоване) електроживлення основного обладнання, а також необхідних господарських потреб.

2) ЕЖУ повинна бути економічною як при монтажі, так і при експлуатації. Вибір архітектури системи електроживлення й обладнання повинен обґрунтовуватися техніко-економічними показниками.

3) Електрозабезпечення ЕЖУ здійснюється від електричної мережі загального призначення і резервних джерел електроенергії трифазного або однофазного змінного струму з частотою 50 Гц з номінальною напругою 230/400 В, при цьому напруга на виході установок може бути 48 В інколи – 24 В або 60 В постійного струму.

4) Система електроживлення повинна передбачати постійний місцевий та дистанційний технічний контроль – моніторинг ЕЖУ. Усі несправності й аварійні стани фіксуються в хронологічному порядку, діагностуються і передаються сервісній службі користувача.

5) Типове обладнання, яке використовується, повинно бути надійним у дії і комплектуватися за блочним принципом, що дозволяє нарощувати потужність у перспективі. Блочний принцип забезпечує рівномірний розподіл навантаження при його зміні й селективне вимкнення несправного обладнання при аваріях. Для підвищення надійності системи вводиться резервне обладнання, обладнання захисту від перевантажень по струму, від різких перепадів напруги тощо.

6) Як резервне джерело постійного струму повинні застосовуватися акумуляторні батареї (АБ) із закритими або герметичними акумуляторами. Для обслуговування АБ ЕЖУ повинна забезпечувати наступні режими роботи: заряд батареї; буферний режим роботи батареї; режим безперервної підзарядки; розряд батареї. Відхилення напруги ЕЖУ, що встановилося, на вихідних виводах акумуляторної батареї має бути не більше $\pm 1\%$ від необхідного значення.

7) Мережа аварійного освітлення повинна отримувати електроживлення від однієї з АБ і відповідати фазній напрузі мережі робочого освітлення. Ємність АБ, використовуваної для електроживлення мережі аварійного освітлення, повинна забезпечувати можливість роботи аварійного освітлення впродовж розрахункового часу розряду.

8) Струморозподільні мережі (СРМ) ЕЖУ повинні проектуватися таким чином, щоб витрати провідникових матеріалів були мінімальними. Втрати напруги у СРМ на ділянці від ЕЖУ до стійок апаратури, включаючи втрати в обладнанні захисту і комутації, не повинні перевищувати 4% від номінального значення вихідної напруги ЕЖУ. При проектуванні СРМ постійного струму індуктивні й омичні опори провідників кола живлення повинні вибиратися з умови обмеження величини імпульсної напруги на виході ЕЖУ при короткому замиканні у СРМ, при цьому розрахункові величини струму й індуктивності кола короткого замикання (КЗ) не повинні перевищувати відповідно 1000 А і 10^{-4} Гн.

9) Якість електроенергії на виході ЕЖУ повинно відповідати установленим нормам якості електроенергії на входах кіл живлення апаратури, а саме:

- відхилення напруги, яке установилося на виході ЕЖУ, постійного струму для підключення кіл живлення апаратури повинно бути не більше $+4/-3,6$ В для номінальної напруги 24 В, не більше $+9/-7,5$ В для номінальної напруги 48 В і не більше ± 12 В для номінальної напруги 60 В;

- рівень напруги гармонічної складової повинен бути не більше 50 мВ у діапазоні частот до 300 Гц включно, не більше 7 мВ на частотах вище 300 Гц до 150 кГц;

- пульсації напруги за діючим значенням суми гармонічних складових у діапазоні частот від 25 Гц до 150 кГц – не більше 50 мВ;

- пульсації напруги за психофотометричним значенням не більше 2 мВ.

10) Заземлення ЕЖУ повинно задовольняти умовам «Правил улаштування електроустановок» (ПУЕ) і забезпечити електробезпеку персоналу. Корпус обладнання ЕЖУ повинен мати болт (гвинт, шпильку) для підключення захисного провідника, при цьому для чотирипровідної зовнішньої мережі змінного струму повинно бути виконано заземлення і занулення обладнання ЕЖУ, а при п'ятипровідній мережі – тільки заземлення.

11) Заземлення нейтралі в трифазних мережах змінного струму є робочим, й опір його не повинен перевищувати 4 і 8 Ом відповідно при лінійних напругах 400 В і 230 В джерела

трифазного струму. Цей опір повинен бути забезпечений за допомогою штучних заземлювачів з урахуванням природних умов. Заземлювач повинен розташовуватися поблизу трансформатора (генератора), а для внутрішньоцехових підстанцій – біля стіни будівлі. З'єднання нейтралі трансформатора або генератора із заземлювачем здійснюється спеціальним проводом достатнього перерізу.

12) Прилади автоматичного захисту повинні виконувати свої функції при наступних входних діях: при дії поодиноких імпульсів струму 10/350 мкс з амплітудою 50 кА – для пристроїв первинного захисту; при дії поодиноких імпульсів напруги 1/50 мкс з амплітудою 4 кВ – для пристроїв вторинного захисту; при відхиленнях живильної напруги на $\pm 40\%$ від номінального значення тривалістю до 3 с, а також при імпульсних перенапругах за кожною із фаз до ± 1000 В тривалістю імпульсів до 10 мкс – для інших пристроїв.

13) У пристроях автоматичного захисту амплітуда імпульсів перенапруги будь-якої полярності на виходах пристроїв (при входних діях) повинна бути не більше 4 кВ (тривалість імпульсів 1/50 мкс) для пристроїв первинного захисту; для пристроїв вторинного захисту – 1 кВ (тривалість імпульсів – до 10 мкс); для інших пристроїв – 1 кВ (тривалість імпульсів – до 10 мкс).

14) В пристроях автоматичного захисту струми витікання варисторів, що входять до складу пристроїв, не повинні перевищувати 1 мА.

Лекція 9. Системи безперебійного живлення змінного струму

Призначення джерела безперебійного живлення

Для функціонування основного та допоміжного обладнання, а також нормального функціонування підприємств зв'язку у цілому потрібна електрична енергія. Усе обладнання на підприємстві зв'язку поділяється на три категорії.

До третьої категорії відноситься обладнання, тривала перерва у роботі якого не призведе до суттєвих порушень у роботі підприємств. Максимальний час перерви такого обладнання, відповідно до норм, не перевищує одну добу.

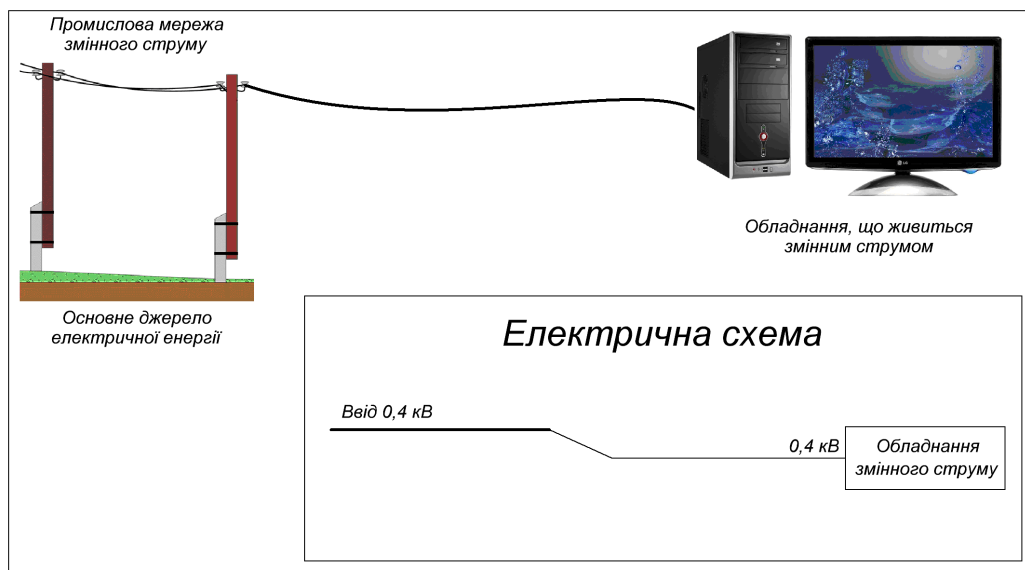
До другої категорії належить обладнання короткочасна перерва у роботі якого не призведе до порушень у роботі підприємств. До такого обладнання відноситься, наприклад, обладнання для вентиляції та кондиціонування. Максимальна перерва у роботі якого, залежно від ситуації, може досягати кількох годин.

До першої категорії належить обладнання навіть короткочасна перерва у електропостачанні якого призведе до порушень у роботі підприємства. Перерва електропостачання даного обладнання не допускається.

Таким чином обладнання першої категорії на підприємстві зв'язку повинно бути забезпечено безперебійним електроживленням.

Розглянемо, яким чином можна забезпечити безперебійне живлення обладнання для роботи якого потрібна електрична енергія змінного струму на прикладі комп'ютерного обладнання.

Комп'ютерне обладнання складається із системного блоку та монітора. І системний блок і монітор потребують для своєї роботи електричну енергію змінного струму частотою 50 Гц та напругою 220 В. Максимальний час перерви у електропостачанні цих пристроїв не повинен перевищувати однієї сотієї секунди (0,01с). Перерва у електропостачанні більше однієї сотієї секунди може призвести до збоїв у роботі програмного забезпечення, втрати інформації, та навіть виходу з ладу обладнання (наприклад, жорсткого диску). Тому комп'ютерне обладнання, особливо системний блок, потребує безперебійного електроживлення, до моменту коректного завершення його роботи.



Основним джерелом електричної енергії на підприємстві зв'язку є промислова мережа змінного струму з частотою 50 Гц та напругою 0,4 кВ. Фазна напруга промисловою мережі дорівнює 220 В, лінійна 380 В. Таким чином обладнання змінного струму, у нашому прикладі, комп'ютер, можна безпосередньо, підключити до промислової мережі.

Але промислова мережа змінного струму є складним, територіально розподіленим технічним об'єктом. І на практиці вона не може забезпечити необхідний рівень надійності.

Аварії у промисловій мережі змінного струму можуть відбуватися як внаслідок виходу з ладу обладнання мережі (наприклад розподільних трансформаторів) так і внаслідок непередбачуваних обставин (наприклад, пошкодження кабелів або струмозподільних проводів).

У випадку аварії у промисловій мережі змінного струму обладнання буде знеструмлене і робота підприємства буде порушена, таким чином, безпосереднє живлення обладнання першої категорії від промислової мережі не може забезпечити потрібний рівень надійності електропостачання.

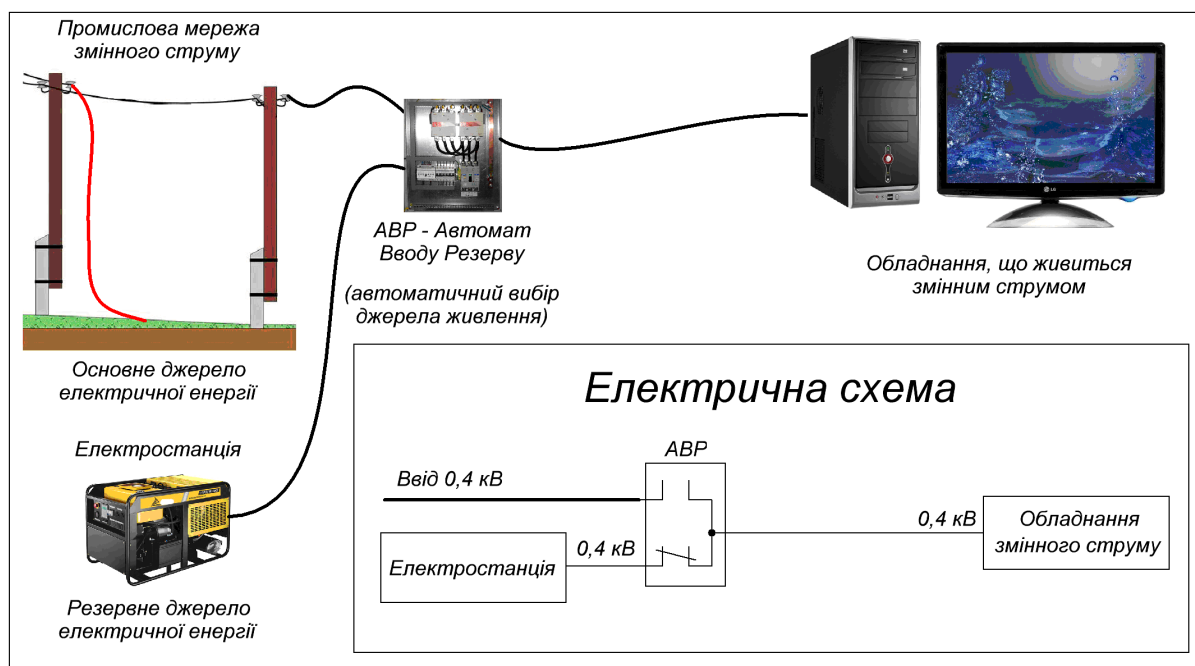
У якості резервного джерела електричної енергії на підприємстві зв'язку використовуються автономні дизельні або бензинові електростанції. Електростанція є автономним джерелом електричної енергії. Основними елементами електростанції є дизельний або бензиновий двигун, який обертає електрогенератор. Таким чином доки є паливе, підприємство буде забезпечене електричною енергією. Електростанції, що використовуються на підприємствах зв'язку мають найвищу ступінь автоматизацію, тобто запуск та зупинка її відбуваються автоматично.

Підключення електростанції до системи електроживлення підприємства здійснюється за допомогою автомату вводу резерву.

Автомат вводу резерву (ABP) це пристрій, який призначений для ручного або автоматичного вибору джерела електричної енергії.

Коли промислова мережа змінного струму працює у нормальному режимі підприємство буде живитися від неї.

У випадку аварії промислової мережі ABP дасть команду на запуск електростанції та після її запуску автоматично підключить до неї підприємство.



Але у нормальному режимі роботи, коли підприємство живиться від промислової мережі, електростанція не працює, щоб даром не тратити паливе. У випадку аварії для запуску електростанції потрібен деякий час. Цей час залежить від багатьох факторів у тому числі і від пори року. Усім відомо, що у холодну пору року бензиновим та дизельним двигунам потрібно більше часу для того, щоб вийти на робочий режим.

Таким чином, використання автономної електростанції призведе до перерви, хоч і на менший час, у електропостачанні підприємства. Зазвичай, час на запуск електростанції не перевищує 15 хвилин. Таким чином, за допомогою електростанції можна забезпечити якісне електроживлення лише обладнання другої та третьої категорії.

Для забезпечення безперебійним живленням обладнання першої категорії використовують Джерела безперебійного живлення (ДБЖ).



ДБЖ має у своєму складі автономне джерело електричної енергії (зазвичай це акумуляторна батарея) та забезпечує електричною енергією обладнання під час аварії основного та резервного джерела живлення.

Таким чином, безперебійне електроживлення обладнання першої категорії на підприємстві зв'язку відбувається наступним чином.

У нормальному режимі роботи обладнання першої категорії живиться від промислової мережі змінного струму.

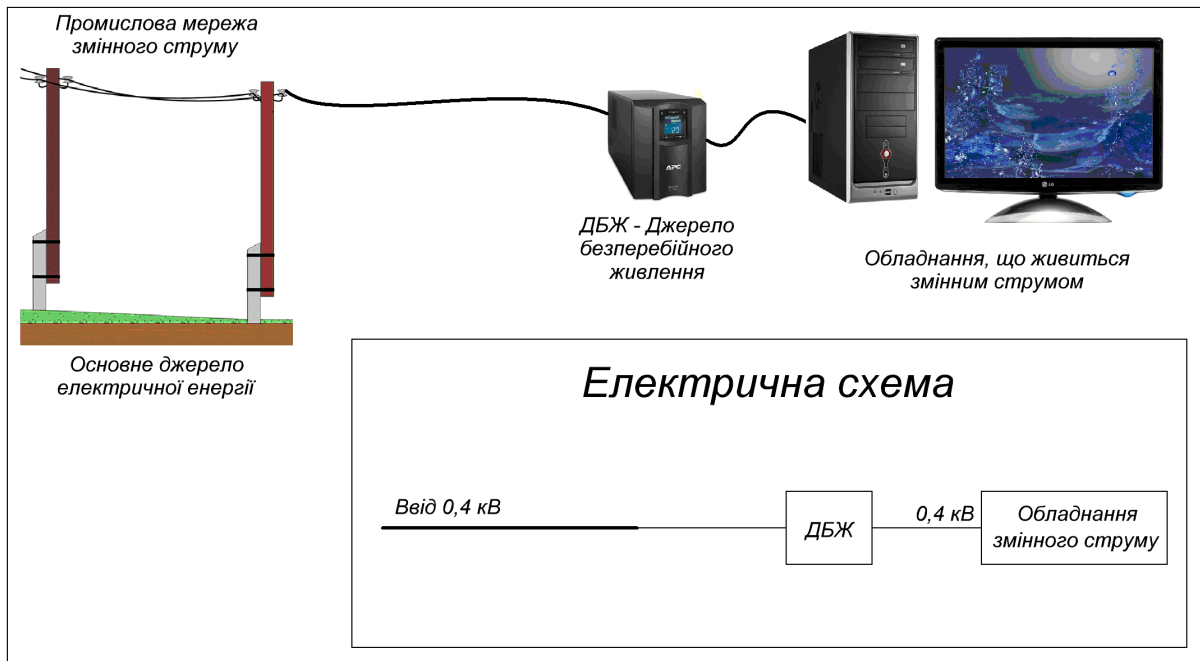
Одразу після виникнення аварії у промисловій мережі автомат вводу резерву подає команду на запуск резервного джерела – електростанції. Обладнання у цей час живиться від джерела безперебійного живлення.

Після запуску електростанції АВР автоматично підключає до неї систему електроживлення підприємства зв'язку. У такому стані система електроживлення буде знаходитися до усунення аварії у промисловій мережі, після чого система електроживлення підприємства автоматично перейде у нормальний стан функціонування.

Таким чином, на підприємствах зв'язку джерела безперебійного живлення призначені для живлення обладнання першої категорії під час аварії основного джерела електричної енергії до запуску у резервний. У такому режимі автономний час роботи джерел безперебійного живлення, як правило, не перевищує 15 хвилин.

Джерела безперебійного живлення можуть також використовуватися і як резервні джерела електричної енергії. У такій схемі електростанція та АВР відсутні. Під час нормальної роботи обладнання через джерело безперебійного живлення живиться від промислової мережі, а під час аварій – безпосередньо від джерела безперебійного живлення.

Максимальний час автономної роботи від ДБЖ у цьому випадку може бути від кількох хвилин (наприклад, для того, щоб коректно завершити роботи комп'ютерного обладнання) до кількох діб.



Принципи побудови ДБЖ

Джерело безперебійного живлення призначене для живлення обладнання під час аварії у системі електроживлення. Коли зникає напруга, джерело безперебійного живлення виступає у якості самостійного джерела електричної енергії. Розглянемо принципи побудови таких пристроїв.

Кожне джерело безперебійного живлення має вхід та вихід.

Вхід джерела безперебійного живлення підключається до мережі електроживлення підприємства, а вихід до обладнання яке повинно бути забезпечено безперебійним електроживленням.

Оскільки ми з вами розглядаємо джерела безперебійного живлення змінного струму, то на вході і виході цих пристроїв присутня напруга змінного струму величиною 220 або 380 вольт з частотою 50 Гц. Для того, щоб забезпечити обладнання електричною енергією під час аварії у живильній мережі, джерело безперебійного живлення повинно мати власне джерело електричної енергії. На сьогоднішній день у якості таких джерел використовують акумуляторні батареї.

Таким чином, одним із головних вузлів любого джерела безперебійного живлення є акумуляторна батарея, яка містить необхідну кількість електричної енергії. Цієї енергії повинно бути достатньо для живлення обладнання на весь час аварійної роботи.

Усі існуючі АБ є джерелом постійної напруги. Напруга акумуляторної батареї залежить від потужності джерела безперебійного живлення і може знаходитися у діапазоні від 12 (для малопотужних пристроїв) до 300 вольт.

Оскільки акумуляторна батарея є джерелом постійної напруги, то напряму підключити до неї обладнання не можна. У цьому випадку не будуть співпадати ні род струму ні величина напруги. Для того щоб обладнання мало стримувати електричну енергією від акумуляторної батареї, її параметри слід перетворити, а саме: змінити род струму із постійного на змінний, та величину напруги – напругу акумуляторної батареї слід довести до величини 220 В.

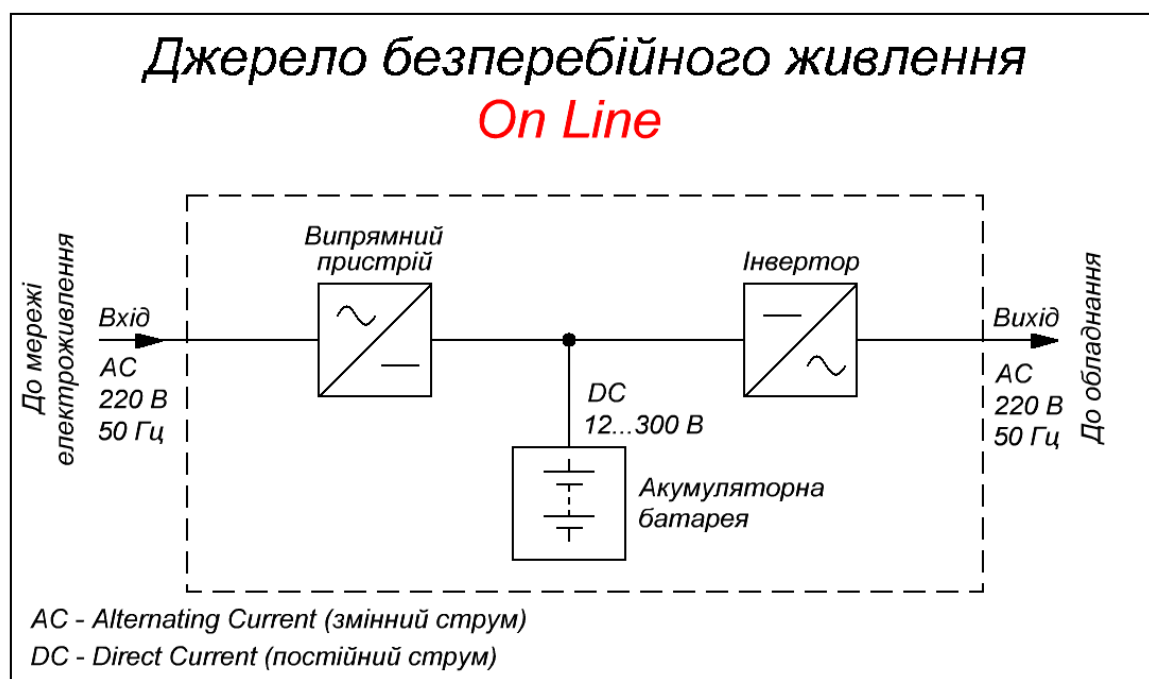
У джерелах безперебійного живлення цю функцію виконує інвертор. Інвертор перетворює параметри електричної енергії акумуляторної батареї до значень, які необхідні для нормальної роботи обладнання. Але запас енергії у акумуляторній батареї обмежений і його необхідно поновлювати. Цю функцію виконує випрямний пристрій.

Випрямний пристрій, на відміну від інвертора, навпаки перетворює електричну енергію змінного струму живильної мережі з напругою 220 В у постійний струм з напругою акумуляторної батареї.

Таким чином любое джерело безперебійного живлення складається із трьох основних вузлів.

Акумуляторної батареї, яка містить запас електричної енергії, необхідної для роботи обладнання на час аварії, інвертора, який перетворює постійну напругу акумуляторної батареї у змінну напругу величиною 220 В та частотою 50 Гц та випрямного пристрою, який перетворює змінну напругу промислової мережі у постійну напругу акумуляторної батареї. Одна із основних функцій випрямного пристрою полягає у заряді акумуляторної батареї.

За такою структурною схемою, яку ви бачите зараз на екрані побудовані джерела безперебійного живлення класу On-Line. Джерела безперебійного живлення класу On-Line мають високий рівень надійності і високу якість вихідної напруги. Однак у них є один суттєвий недолік, який полягає у подвійному перетворенні електричної енергії.



Зверніть увагу на те, що у нормальному режимі роботи, коли на вході джерела безперебійного живлення присутня нормальна напруга, обладнання усе одно живиться від інвертора. Тобто, нормальному режимі роботи електрична енергія мережі спочатку перетворюється випрямним пристроєм у постійну напругу. А потім інвертором знов перетворюється у змінну напругу, тобто заново генерується. З одного боку це є перевагою джерел безперебійного живлення класу On-Line, оскільки при такому перетворенні усуваються усі недоліки живильної напруги: високочастотні завади, різкі перепади, спотворення форми та інше.

Але при будьому перетворенні є втрати електричної енергії. І при подвійному перетворенні ці втрати тільки підвищуються.

Наявність подвійного перетворення призводить до того, що коефіцієнт корисної дії джерел безперебійного живлення класу On-Line не перевищує 90%, що є суттєвим недоліком джерел безперебійного живлення даного класу.

До того ж зверніть увагу на те, що потужність випрямного пристрою повинна бути такою, щоб забезпечити і живлення обладнання і заряд акумуляторної батареї, оскільки у нормальному режимі роботи обладнання живиться від випрямного пристрою.

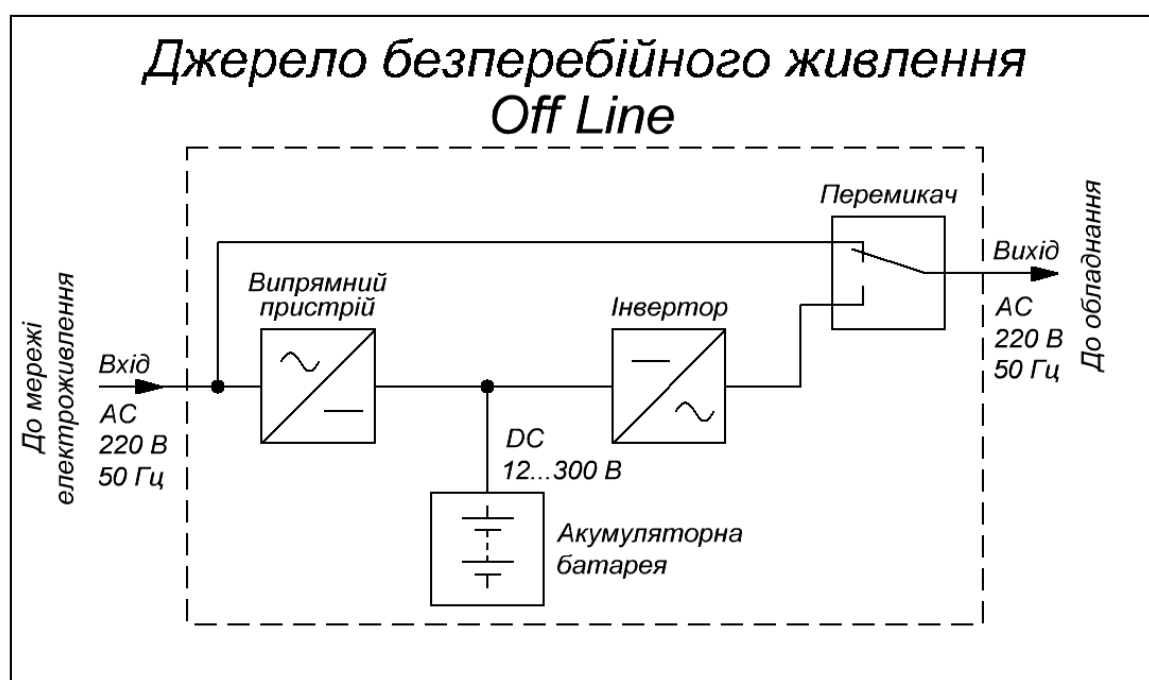
Оскільки вартість любого пристрою електроживлення напряму залежить від потужності, то джерела безперебійного живлення класу On-Line мають саму високу вартість

порівняно із джерелами безперебійного живлення інших типів. Незважаючи на ці недоліки джерела безперебійного живлення класу On-Line використовують у випадках, коли висуваються жорсткі вимоги до якості живлення обладнання. У першу чергу це медичні прилади, вимірювальні прилади, специфічне чутливе обладнання.

Для живлення телекомунікаційного та комп'ютерного обладнання частіше використовують більш дешеві джерела безперебійного живлення класу Off-Line або Line Interactive.

Джерела безперебійного живлення класу Off-Line, також має вхід і вихід, які підключені відповідно до живильної мережі та обладнання. Акумуляторну батарею, яка містить необхідний запас електричної енергії, інвертор, який перетворює постійну напругу акумуляторної батареї на змінну, та випрямний пристрій, що перетворює змінну напругу на постійну та призначений для заряду акумуляторної батареї.

Однак, на відміну від ДБЖ класу On-Line ДБЖ класу Off-Line має перемикач, який дозволяє живити обладнання як від інвертора у аварійному режимі, так і безпосередньо від живильної мережі.



ДБЖ класу Off-Line працює наступним чином. У нормальному режимі роботи, коли напруга у мережі має нормальні параметри перемикач підключає обладнання безпосередньо до мережі. Випрямний пристрій при цьому заряджає акумуляторну батарею, або підтримує її у зарядному стані (цей режим називають режимом плаваючого заряду). У такому режимі електрична енергія, необхідна для роботи обладнання не перетворюється, і ККД ДБЖ становить майже 100%. Слід також звернути увагу на те, що потужність випрямного пристрою, який виконує лише функцію заряду акумуляторної батареї не перевищує 25% від потужності обладнання, тобто, порівняно із ДБЖ класу On-Line для ДБЖ класу Off-Line потрібен випрямний пристрій набагато меншої потужності.

У аварійному режимі перемикач автоматично підключає обладнання до виходу інвертора і обладнання через інвертор живиться від акумуляторної батареї

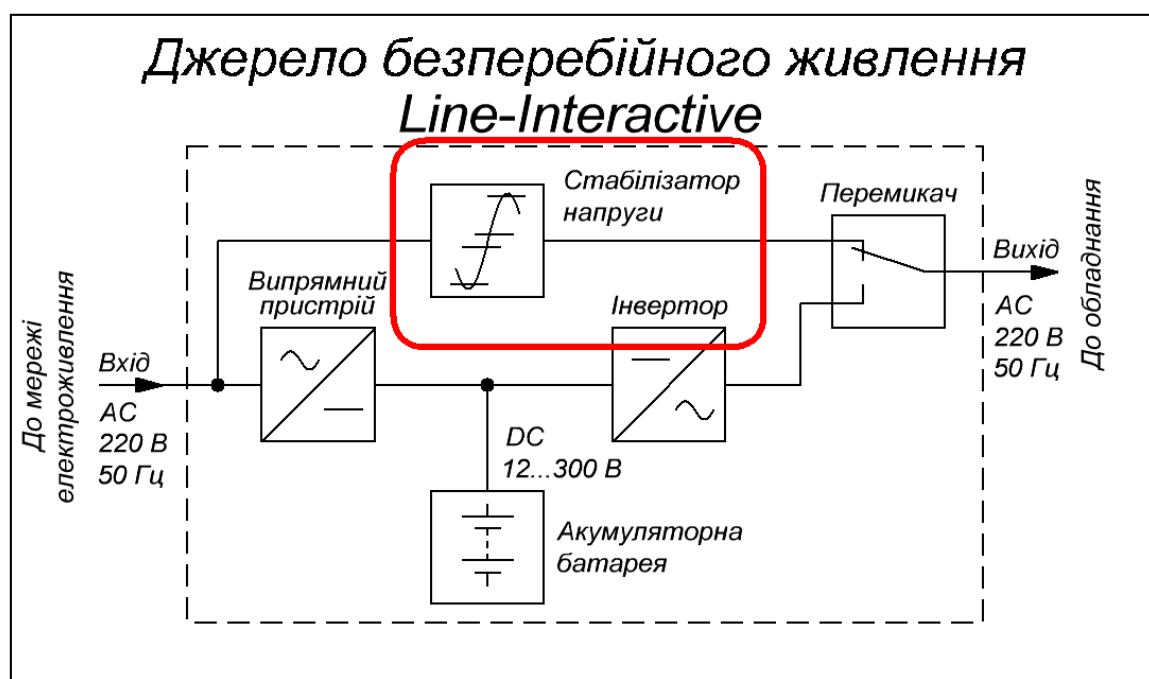
Джерела безперебійного живлення класу Off-Line мають меншу вартість та більш високий ККД. До їх недоліків слід віднести наявність часу реагування. Тобто для того щоб схема керування ДБЖ визначила, що у мережі сталася аварія, включила інвертор та переключила перемикач, потрібен деякий час. Інколи, особливо при короткочасних провалах напруги живлення ДБЖ може не спрацювати, тобто ДБЖ класу Off-Line мають меншу

надійність порівняно із ДБЖ класу On-Line. ДБЖ класу Off-Line також не виправляють спотворення живильної напруги у нормальному режимі роботи.

Незважаючи на ці недоліки ДБЖ класу Off-Line більш поширені порівняно із ДБЖ класу On-Line в основному завдяки меншій вартості.

Але у той же час ДБЖ класу Off-Line у тому вигляді який ми з вами розглянули практично не випускаються. І замість них використовуються більш досконалі ДБЖ класу Line-Interactive.

ДБЖ класу Line-Interactive має таку саму структурну схему як і ДБЖ класу Off-Line, але у них є один додатковий блок – стабілізатор, який призначений для стабілізації напруги обладнання при роботі у нормальному режимі.



Наявність стабілізатора напруги незначно підвищує вартість ДБЖ класу Line-Interactive порівняно з ДБЖ класу Off-Line, але він додає додаткову корисну функцію. На сьогоднішній день більшість виробників ДБЖ випускають саме ДБЖ класу Line-Interactive у той час коли ДБЖ класу Off-Line без стабілізатора напруги на ринку практично відсутні.

Таким чином, на сьогоднішній день існують два найбільш поширені класи ДБЖ: Line-Interactive та Off-Line.

ДБЖ класу Line-Interactive мають наступні переваги:

- Під час роботи від мережі практично відсутні втрати електричної енергії, тобто ДБЖ класу Line-Interactive мають більш високе значення ККД порівняно із ДБЖ класу On-Line.
- ДБЖ класу Line-Interactive мають меншу вартість, порівняно із ДБЖ класу On-Line.
- За рахунок високого ККД ДБЖ класу Line-Interactive мають простішу конструкцію порівняно із ДБЖ On-Line.

До недоліків ДБЖ Line-Interactive слід віднести наступні.

- Наявність часу спрацювання, під час якого обладнання залишається без електричної енергії.

- Можливість помилкового спрацювання або не спрацювання у випадках короткочасних просадок або сплесків напруги.
- ДБЖ класу Line-Interactive виправляють спотворення напруги живлення, та менше усувають високочастотні завади порівняно із ДБЖ класу On-Line.

Джерело безперебійного живлення Line-Interactive

Переваги:

1. Під час роботи від мережі немає втрат енергії (високе значення ККД ДБЖ)
2. Низька вартість ДБЖ
3. Простота конструкції ДБЖ за рахунок високого значення ККД

Недоліки:

1. Потрібен деякий час на прийняття рішення що у мережі сталася аварія, перемикання перемикача та запуск інвертора, під час якого обладнання може залишитись без електричної енергії
2. Є імовірність помилкового спрацювання або неспрацювання ДБЖ у випадках короткочасних просадок або сплесків напруги
3. Усі завади та спотворення напруги мережі надходять до обладнання

ДБЖ класу On-Line мають наступні переваги.

- Високу якість вихідної напруги.
- Відсутність часу спрацювання.
- Ефективне усунення високочастотних завад та виправлення спотворень форми живильної напруги.

До недоліків ДБЖ класу On-Line слід віднести.

- Низьке значення ККД за рахунок подвійного перетворення.
- Високу вартість за рахунок більш потужних та складних інвертора та випрямного пристрою.

Оскільки втрати електричної енергії виділяються у елементах ДБЖ у вигляді тепла, то ДБЖ класу On-Line, як правило, мають примусову систему охолодження, вентилятори якої підвищують рівень акустичного шуму під час роботи ДБЖ.

Джерело безперебійного живлення On Line

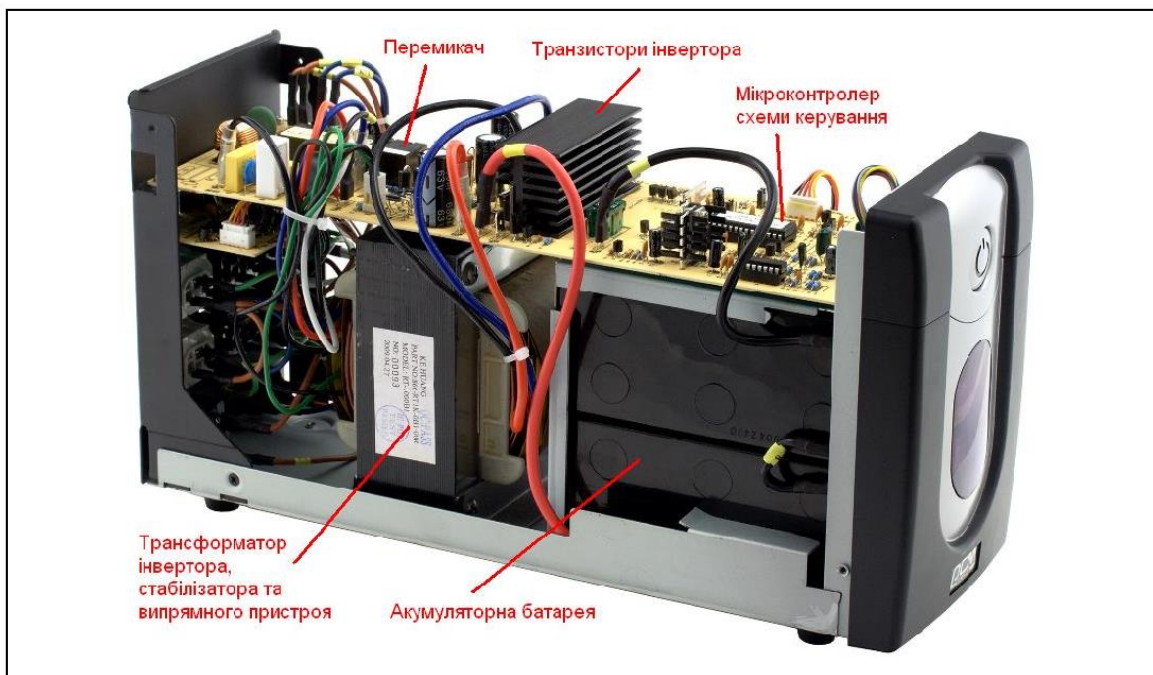
Переваги:

1. Висока якість вихідної напруги
2. Немає часу спрацьовування, попадання напруги мережі ніяк не позначається на вихідній напрузі
3. Ефективно придушує високочастотні завади

Недоліки:

1. Низький ККД за рахунок подвійного перетворення електричної енергії (спершу на постійний, потім на змінний)
2. Висока вартість за рахунок збільшеної потужності інвертора та випрямного пристрою
3. Високий рівень шуму (за рахунок низького ККД збільшується виділення тепла, що відводиться за допомогою вентиляторів)

У якості прикладу ви можете побачити будову ДБЖ класу Line-Interactive, призначеного для живлення комп'ютерного обладнання. Ви можете бачити, що основний об'єм ДБЖ займає акумуляторна батарея та трансформатор інвертора. Дане ДБЖ має вихідну потужність 500ВА, та може забезпечити до 15 хвилин автономної роботи комп'ютерного обладнання.



Основні характеристики джерел безперебійного живлення

Максимальна потужність

Основною характеристикою джерела безперебійного живлення, як і любого іншого пристрою електроживлення є номінальна потужність. Виробник у технічних характеристиках може вказати як повну номінальну потужність, яка вимірюється у вольт-амперах (ВА) так і активну номінальну потужність, яка вимірюється у ватах (Вт).

Номінальна потужність ДБЖ – це максимальна номінальна потужність обладнання, яке можна підключити до нього, тобто потужність обладнання повинна бути менша ніж потужність ДБЖ.

Якщо ця умова не виконується, то ДБЖ або перейде до стану блокування за перевантаженням, або вийде з ладу (пауза 5 с.)

Слід зауважити, що у випадку джерел БЖ, призначених для роботи з комп'ютерним обладнанням виробники зазвичай вказують повну потужність, оскільки вона завжди більша. При цьому ДБЖ розраховується на роботу із навантаженням з максимальним коефіцієнтом потужності 0,67.

Що це означає? Наприклад, якщо для комп'ютерного ДБЖ вказана повна потужність 500 ВА теоретично до нього можна підключити обладнання з повною потужністю 500 ВА і коефіцієнтом потужності 1 (наприклад лампу розжарювання чи обігрівач).

Але у цьому випадку виникне перевантаження ДБЖ, оскільки воно розраховане на максимальну активну потужність 335 Вт (це 500 ВА помножене на максимальний коефіцієнт потужності 0,67). Але для лампи розжарювання що має коефіцієнт потужності 1 активна потужність дорівнює повній і становить 500 Вт. Це означає, що ДБЖ буде перевантажене, і лампа потужністю 500 Вт від ДБЖ потужністю 500ВА працювати не буде.

А якщо ми підключимо до такого ДБЖ комп'ютерне обладнання тієї ж потужності 500 ВА але з коефіцієнтом потужності 0,67, то активна споживана потужність у цьому випадку становить 335 Вт і ДБЖ буде нормально функціонувати.

Цю особливість слід брати до уваги при виборі побутових ДБЖ, призначених для роботи з комп'ютерним обладнанням. Причина цього досить проста. Оскільки повна потужність для комп'ютерного обладнання більша за активну, то виробники таким чином створюють ілюзію, що ви за ту ж саму ціну купляєте більш потужне ДБЖ.



Коефіцієнт перевантаження

Наступним параметром ДБЖ є коефіцієнт перевантаження.

Цей параметр показує яку максимальну потужність можна короткочасно отримати від ДБЖ без спрацювання його захисту від перевантаження або виходу його з ладу.

Він може бути визначений у вигляді безрозмірного коефіцієнту, або у відсотках від номінальної потужності.

Іноколи замість коефіцієнту перевантаження виробника вказують у технічних характеристиках максимальну потужність, яку короткочасно можна отримати від ДБЖ.

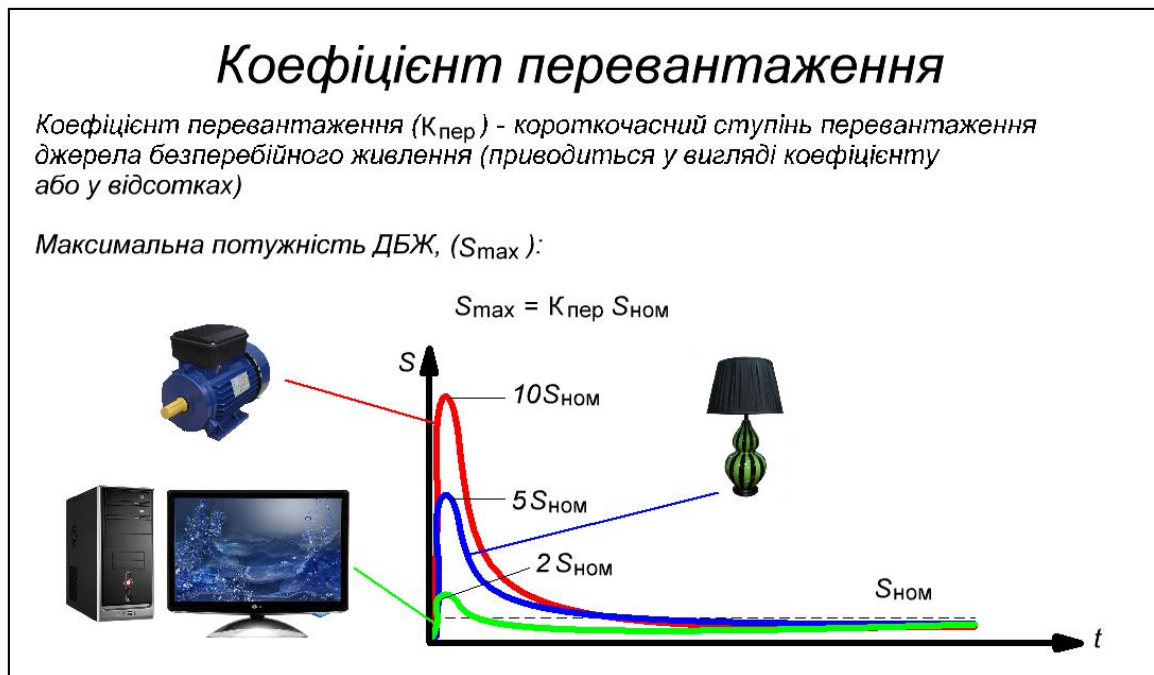
Наявність цього параметру пов'язана з особливістю роботи споживачів змінного струму. У момент включення обладнання змінного струму споживає потужність, яка може у декілька разів перевищувати номінальне значення.

Наприклад, лампа розжарювання у момент включення споживає потужність у 5 разів більше за номінальну, оскільки опір тіла цієї лампи у холодному стані малий.

Електричний двигун у момент запуску споживає струм у 10 разів більший за номінальний.

Радіoeлектронне обладнання під час включення споживає струм приблизно у 2 рази більший за номінальний.

Якщо при виборі ДБЖ не враховувати пускові струми живильного обладнання, то може спрацювати система захисту від перевантаження, або ДБЖ вийде з ладу.



Параметри живильної мережі.

До параметрів живильної мережі, на яку розраховано ДБЖ відноситься

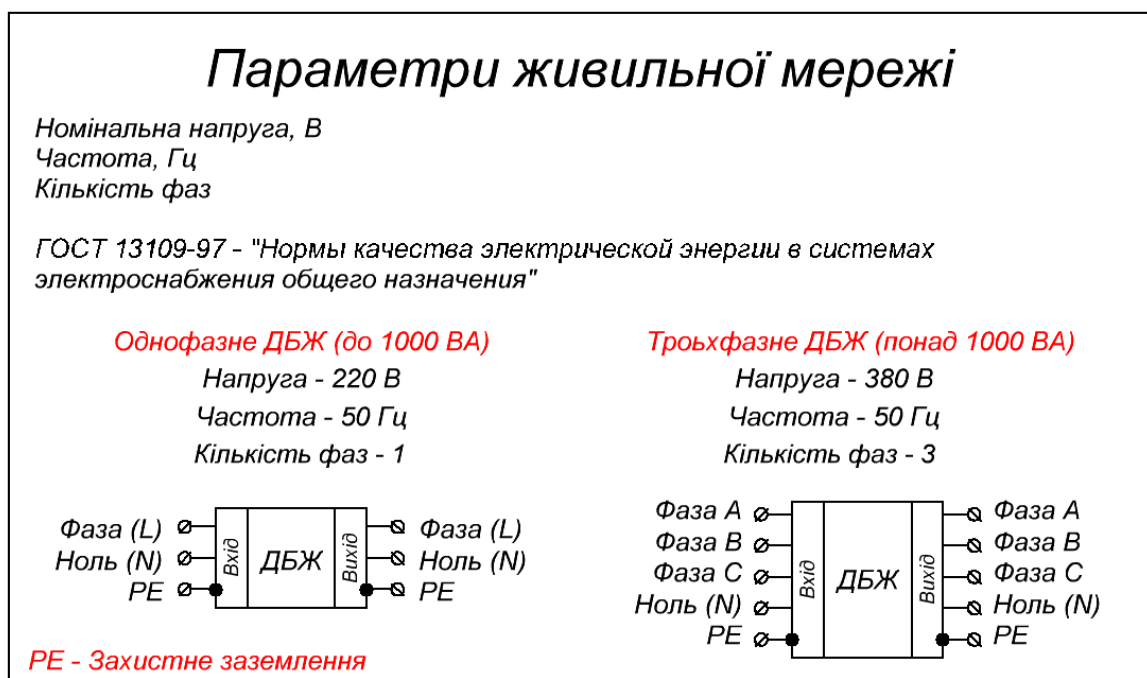
- номінальна напруга, що вимірюється у вольтах
- частота, вимірюється у герцах
- та кількість фаз.

Параметри живильної мережі для систем електроживлення загального призначення, до яких відноситься і промислова мережа змінного струму визначаються міждержавним стандартом ГОСТ 13109-97.

Існують два основні види ДБЖ змінного струму за типом живильної мережі – однофазні та 3-х фазні.

Однофазні ДБЖ, як правило це ДБЖ потужністю до 1 кВА, розраховані на номінальну напругу 220 В. Вони мають по 3 контакти для підключення до мережі живлення та навантаження: фаза, ноль, та захисне заземлення.

Трьохфазні ДБЖ, як правило, мають потужність понад 1 кВА та розраховані на номінальну напругу 380 В. Вони мають 5 контактів для підключення до мережі та навантаження 3 фазні контакти (А, В, С), ноль та захисне заземлення.



Спосіб підключення АБ

Цей параметр показує яким чином АБ підключається до ДБЖ. Існують два типи ДБЖ із вбудованими та зовнішніми АБ.

ДБЖ малої потужності (до 1 кВА) та невеликим часом автономної роботи випускаються із вбудованим АБ. Вони зручні в експлуатації, та набули найбільшого поширення у якості ДБЖ для комп'ютерного обладнання.

ДБЖ великої потужності, або ДБЖ призначенні для тривалої автономної роботи випускаються із зовнішніми АБ.

Інколи ДБЖ можуть займати цілі приміщення. Наприклад, ви можете побачити потужне ДБЖ із зовнішньою АБ, яке розташоване у підвалі комп'ютерного центру обробки даних. На лівому фото показана стійка електронної частини ДБЖ, тобто інвертори, зарядні пристрої, схема керування, а на правому – частина акумуляторної батареї із запасом електричної енергії, достатній для роботи центру на протязі кількох діб.

Спосіб підключення акумуляторної батареї

*ДБЖ із вбудованими
акумуляторними батареями*

Час автономної роботи < 30 хв
Потужність < 1000 ВА



*ДБЖ із зовнішніми
акумуляторними батареями*

Час автономної роботи - до кількох діб
Потужність до 1 МВА



Спосіб підключення акумуляторної батареї



ДБЖ центру обробки даних (зліва) та його акумуляторна батарея (справа)

Напруга АБ

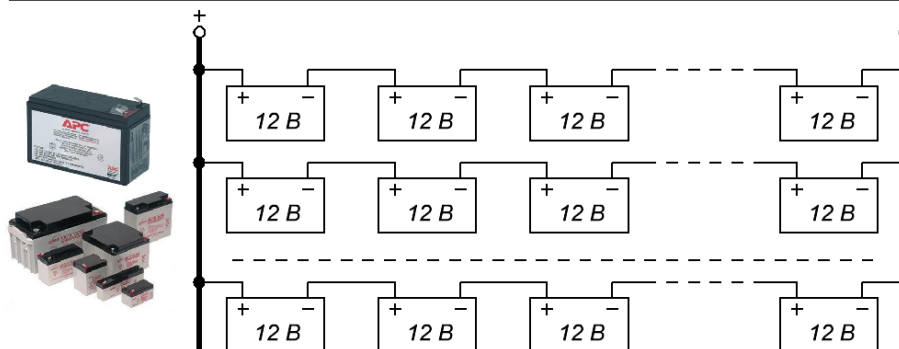
Напруга акумуляторної батареї зазвичай приводиться для ДБЖ із зовнішніми АБ. У цьому випадку електронна частина ДБЖ та акумулятори для неї купуються окремо.

Напруга АБ залежить від потужності ДБЖ. Чим більша потужність, тим більшу напругу повинна мати акумуляторна батарея. Для малопотужних ДБЖ напруга АБ, як правило, становить 12 В. Для потужних ДБЖ напруга АБ може сягати величини 300 В.

У ДБЖ, як правило, використовують акумулятори з напругою 12 В. Для того щоб отримати необхідну напругу акумулятори у батареї з'єднують послідовно, а для того, щоб отримати необхідну ємність — послідовно-з'єднані акумулятори додатково з'єднують паралельно, тобто у АБ ДБЖ використовується змішане сполучення окремих акумуляторів.

Напруга акумуляторної батареї

Номінальна потужність ДБЖ, кВА	< 1	1...3	3...6	6...10	10...15	15...20	> 20
Напруга акумуляторної батареї, В	12	24	36	48	60	96	> 120



Час роботи від АБ

Час роботи від акумулятора, або час автономної роботи ДБЖ визначається в годинах або хвилинах, залежно від моделі ДБЖ. У технічних характеристиках ДБЖ, як правило, приводиться орієнтовне значення часу автономної роботи, оскільки він залежить від багатьох параметрів.

Реальний час роботи залежить від

1. Реальної ємності акумуляторної батареї, яка з часом постійно зменшується. Для більшості дешевих акумуляторів через 5 років експлуатації реальна ємність акумуляторної батареї може сягати 50% від номінальної ємності.

2. Потужність навантаження. Чим більша потужність навантаження, тим менший автономний час роботи. При цьому, при роботі ДБЖ завжди є втрати електричної енергії. Тому навіть при роботі без навантаження, час роботи від акумуляторної батареї все одно обмежений.

3. Температури довколишнього середовища. Акумуляторна батарея є хімічним джерелом електричної енергії, а швидкість протікання хімічних реакцій напряму залежить від температури. Тому при низькій температурі час роботи від акумуляторної батареї буде менший.

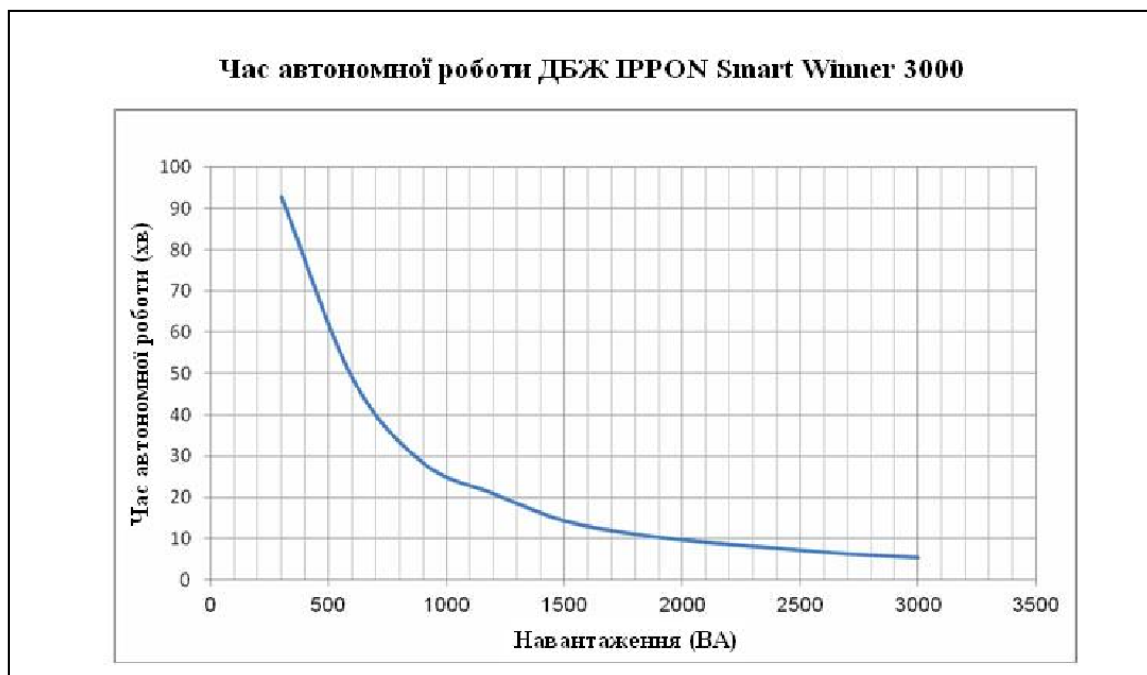
Час роботи від акумуляторної батареї

Час роботи від АБ (час автономної роботи), t - мінімальний час роботи в аварійному режимі.

$$t = \frac{U_{AB} C_{AB}}{P_n + P_{ДБЖ}}$$

U_{AB} - Напруга акумуляторної батареї, В
 C_{AB} - Ємність акумуляторної батареї, Агод
 P_n - Потужність навантаження ДБЖ, Вт
 $P_{ДБЖ}$ - Потужність втрат у ДБЖ, Вт

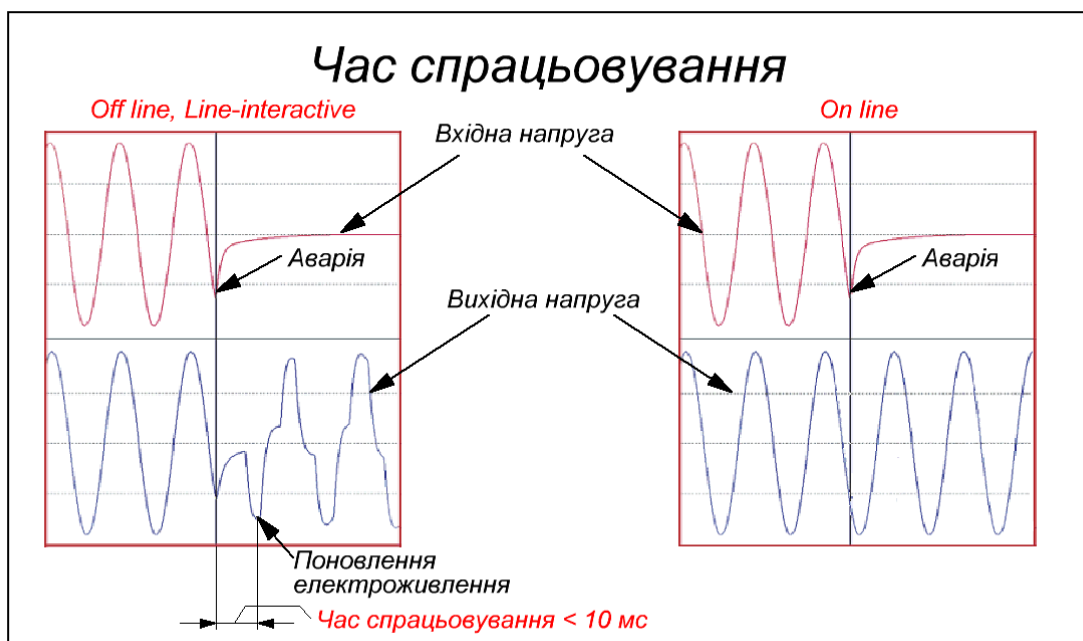
Виробники ДБЖ у технічних характеристиках зазвичай приводять графіки за якими можна визначити орієнтовний час автономної роботи при конкретній потужності навантаження та температурі довколишнього середовища.



Час спрацювання

Наступною характеристикою ДБЖ є час спрацювання, або час перемикання. Цей параметр визначає максимальний час, який пройде між аварією у мережі та поновлення електроживлення обладнання.

На рисунку ви можете бачити, що після виникнення аварії ДБЖ потрібен деякий час на відновлення електроживлення.



За існуючими стандартами, обладнання, що живиться змінним струмом повинно зберігати працездатність при пропаданні електричної енергії на час, не менший ніж половина періоду мережі. Для частоти 50 Гц ця величина дорівнює 10 мс. Тобто, якщо виробник позиціонує свій пристрій як ДБЖ, то час спрацювання повинен бути не більший ніж 10 мс.

Тут є певна технічна складність, оскільки ДБЖ повинна реагувати не тільки на повне пропадання напруги, але й на її відхилення від номінального значення, яке на практиці важко визначити. Тому при відхиленнях напруги ДБЖ може помилково спрацювати або не спрацювати.

Час спрацювання є характеристикою лише ДБЖ класів Off-Line або Line-Interactive. Для ДБЖ класу On-Line, із подвійним перетворенням електричної енергії час спрацювання дорівнює 0.

Форма вихідної напруги

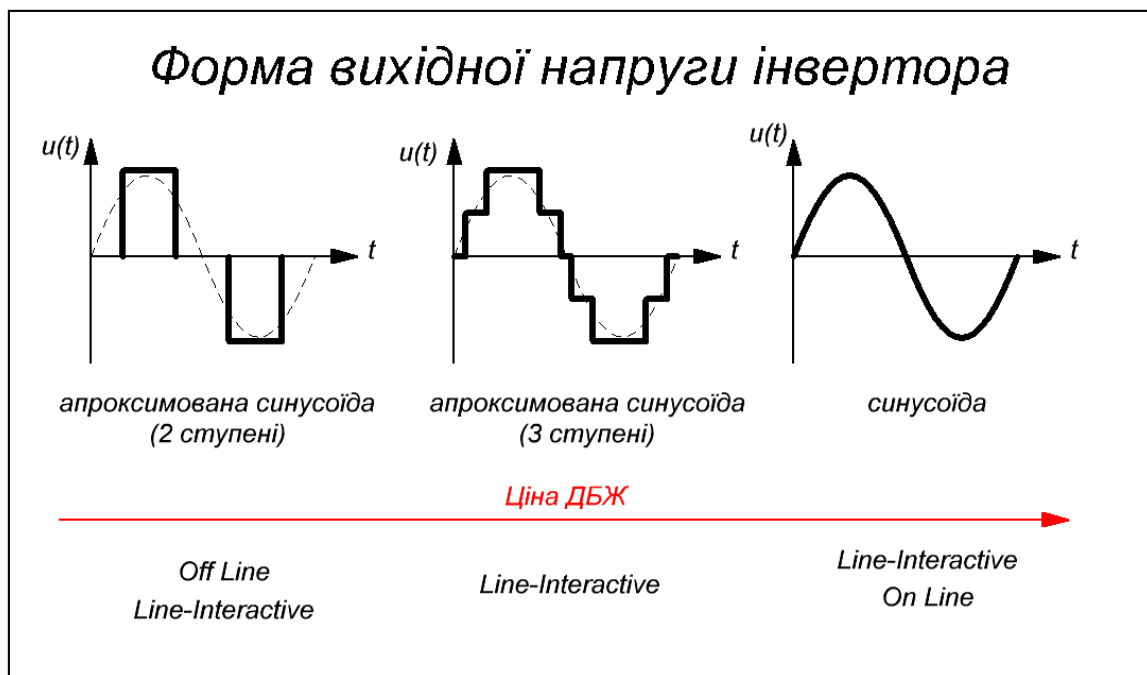
Останньою характеристикою ДБЖ, яку ми з вами докладно розглянемо є форма вихідної напруги інвертора.

Як відомо, коли ДБЖ працює в аварійному режимі обладнання через інвертор живиться від АБ. При цьому інвертор перетворює постійну напругу АБ у змінну напругу, необхідну для роботи навантаження.

У найкращому випадку форма вихідної напруги інвертора ДБЖ повинна бути синусоїдальною. Але інвертор, що має вихідну напругу синусоїдальної форми, та ще й з високим ККД має високу вартість.

Тому вихідну напругу синусоїдальної форми мають лише ДБЖ високої якості і, відповідно, високої вартості. У більш дешевих ДБЖ використовується інвертор, що має вихідну напругу у формі так званої апроксимованої синусоїди.

Чим дешевше ДБЖ тим більше форма вихідної напруги відрізняється від синусоїдальної.

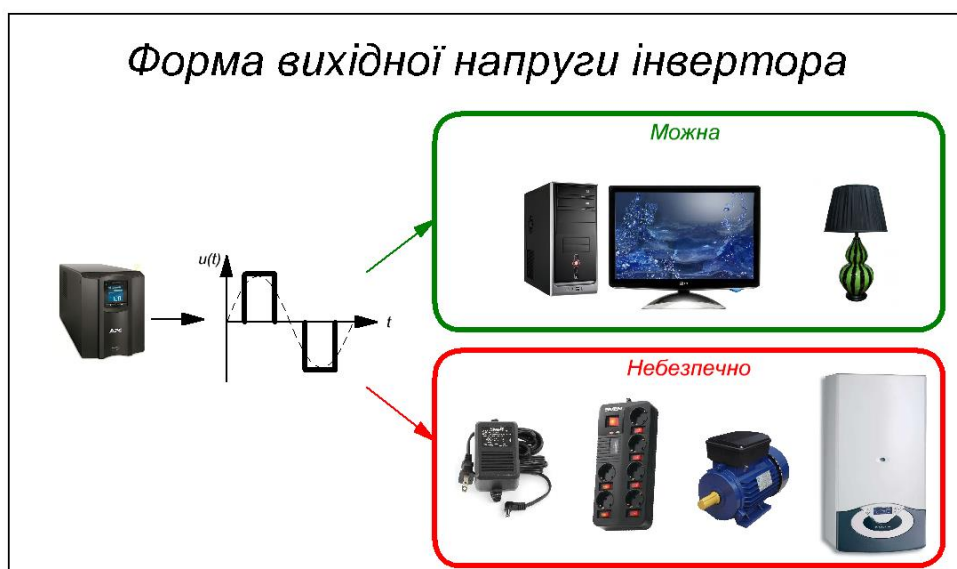


У дешевих моделях ДБЖ класів Off-Line та Line-Interactive використовуються інвертори, що мають вихідну напругу у формі прямокутних імпульсів, так звана двохступінчата апроксимація, або квазі синусоїда.

До ДБЖ, що має вихідну напругу у вигляді апроксимованої синусоїди можна підключити лише те обладнання, яке не критичне до форми живильної напруги.

До такого обладнання відноситься більшість малопотужного обладнання з імпульсними блоками живлення: системні блоки комп'ютерів, монітори, телевізори, тощо.

До обладнання, що критичне до форми напруги живлення відноситься обладнання, що містить трансформатори або електродвигуни, наприклад газові котли, а також різноманітні фільтри височастотних заводів. Підключити обладнання, що критичне до форми живильної напруги до ДБЖ із апроксимованою синусоїдою не можна. Тому що навіть короточасна робота обладнання за такої форми напруги може призвести до виходу з ладу як обладнання, так і ДБЖ.



І на закінчення, не слід забувати, що ДБЖ як і будь-який інший радіотехнічний пристрій має цілий набір загальних характеристик, основні з яких зараз ви бачите на екрані, ці характеристики, як правило, не потребують якихось особливих пояснень чи коментарів.

Загальні характеристики ДБЖ

Габаритні розміри

Форм-фактор (якщо є)

Вага (нетто, брутто)

Діапазон робочих температур

Діапазон температур зберігання

Вид кліматичного виконання

Ступінь захисту від пилу та вологи (клас IP)

Наявність та тип індикації

Можливість підключення до комп'ютера або до обчислювальної мережі

Системи безперебійного живлення

Коли нам потрібно забезпечити безперебійним живленням лише одну одиницю обладнання, то у цьому випадку не виникає ніяких зайвих питань або проблем.

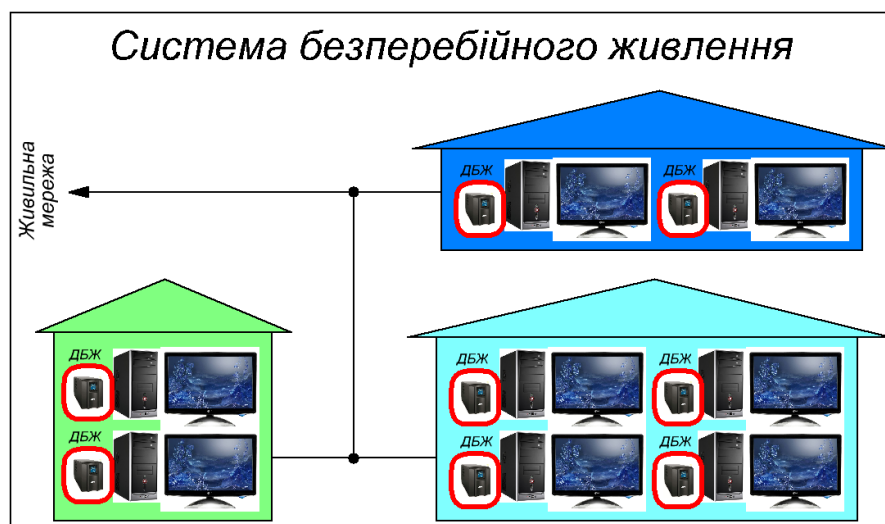
Обрали ДБЖ відповідної потужності, підключили його безпосередньо до мережі живлення та обладнання та й отримали необхідний результат.

А що робити коли у нас декілька одиниць обладнання яке необхідно забезпечити безперебійним живленням.

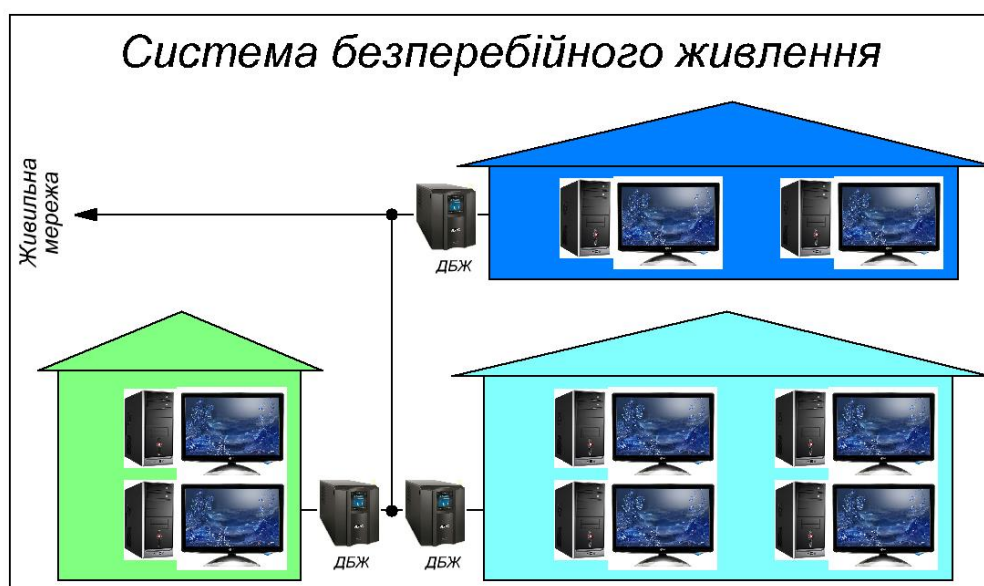
Та ще й це обладнання розташоване на досить великій території підприємства, та знаходиться у різних приміщеннях.

Яке технічне рішення тут необхідно прийняти? Тут є різні варіанти.

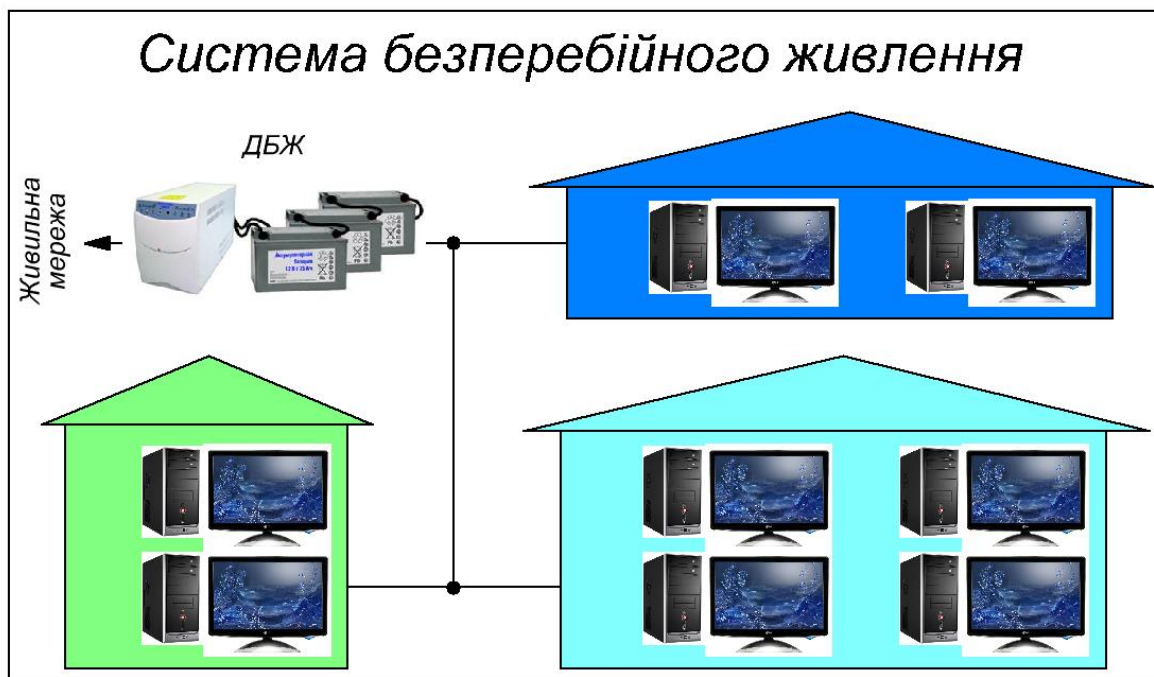
Наприклад, можна живити кожен одиницю обладнання від власної ДБЖ. Це самий простіший варіант, але навряд чи самий дешевий.



Можна згрупувати обладнання за територіальним або функціональним призначенням та підключити кожен групу обладнання до власного ДБЖ.



І на кінець, можна підключити усе обладнання до одного потужного ДБЖ.



Так як організувати безперебійне живлення обладнання? Однозначної відповіді на це питання немає. Тому розглянемо детальніше принцип побудови поширених СБЖ змінного струму.

Спершу визначимо що таке саме поняття “система”. Система безперебійного живлення є комплексом споруд, обладнання, мереж, призначених для транспортування, перетворення, розподілу, регулювання та резервування електричної енергії.

Основним елементом СБЖ є, звісно, джерело (або джерела, якщо їх декілька) безперебійного живлення. ДБЖ є центральним (або головним) елементом будь-якої СБЖ.

До джерел БЖ обладнання підключається за допомогою струморозподільної мережі. Струморозподільна мережа являє собою сукупність кабелів, кабельних каналів, та інших споруд, призначених для передавання електричної енергії від ДБЖ до обладнання.

Також у СБЖ можуть входити різноманітні пристрої автоматики, наприклад, автоматичні вимикачі, призначені для розподілу електричної енергії та захисту її окремих ділянок від перевантаження.

Коли у системі БЖ є лише одне джерело БЖ, то таку систему називають централізованою.

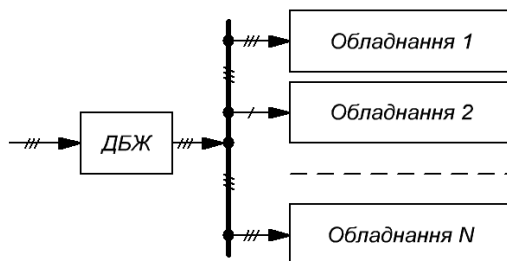
Перевагами централізованої системи є ефективне використання потужності джерела БЖ, зручність обслуговування та ремонту, стійкість до перевантаження і багато інших. Але у цієї системи є два головних недоліки:

При виході із ладу ДБЖ або струморозподільної мережі без електричної енергії залишиться все обладнання.

Для підключення обладнання до ДБЖ потрібна окрема струморозподільна мережа. Добре якщо цю мережу було заплановано при будівництві приміщення. А якщо цього зроблено не було, то монтаж струморозподільної мережі, а це ні що інше як окрема електропроводка, може коштувати досить багато.

Ще один недолік цієї системи вже стане зрозумілий коли ви побачите як виглядає точка підключення до системи безперебійного живлення. Це звичайна електрична розетка, яка кольором, або якимось іншим способом, відрізняється від звичайних розеток.

Централізована система



Переваги:

- Ефективне використання встановленої потужності ДБЖ
- Стійкість до перевантаження
- Можливість збільшення часу автономної роботи за рахунок частини обладнання
- Зручність обслуговування, контролю та ремонту

Недоліки:

- Висока вартість
- Більша вірогідність виходу із ладу
- У разі виходу з ладу ДБЖ або розподільної мережі зупиняється все обладнання
- Необхідність виділення окремої площі або приміщення для системи

Централізована система



Розетки, підключені до системи безперебійного живлення (червоного кольору) у коробі на стіні офісного приміщення

Зрозуміло, що які б застережливі написи не були б на цих розетках, усе одно рано чи пізно спрацює людський фактор і хтось підключить до джерела БЖ обладнання, яке не призначене для такого підключення, наприклад, обігрівач.

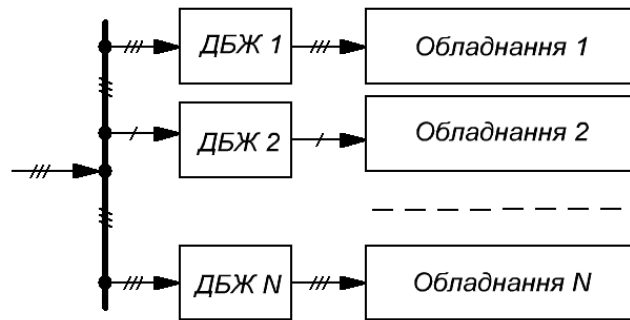
У цьому випадку спрацює система запуску і частина, або все обладнання, залишиться знеструмленим.

Цього недоліку немає у децентралізованій системі у якій кожна одиниця обладнання живиться від окремого ДБЖ.

Така система не потребує окремих приміщень. Джерела БЖ використовуються невеликої потужності, якщо вийде з ладу одне джерело БЖ, то остальне обладнання буде нормально функціонувати.

Зрозуміло, що така система потребує більш складного обслуговування, але головними недоліками цієї системи є те, що потужність кожного джерела БЖ використовується неефективно, бо кожне джерело БЖ повинно мати запас потужності необхідний для включення обладнання. Цей запас залежить від рівня пускових струмів конкретного обладнання.

Децентралізована система



Переваги:

- Не потребує струморозподільної системи
- Просте збільшення потужності та зміна конфігурації
- При виході з ладу 1 ДБЖ перестає працювати лише частина обладнання
- Не потребує спеціальних приміщень для встановлення

Недоліки:

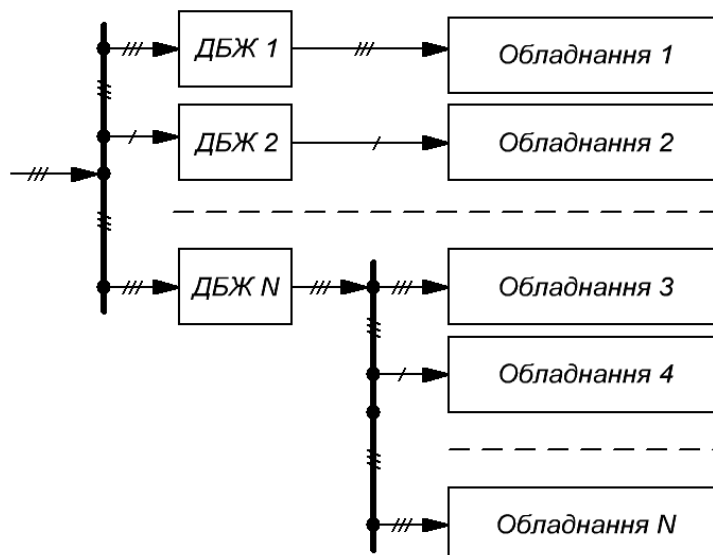
- Неефективне використання потужності ДБЖ та акумуляторних батарей
- Час автономної роботи неоднаковий для різного обладнання
- Складність обслуговування

У централізованій системі цей запас забезпечується потужним джерелом БЖ, а в децентралізованій системі виходить так, що загальна потужність усіх джерел БЖ виходить більша, ніж потужність одного джерела БЖ у еквівалентній централізованій системі.

Оскільки централізований і децентралізований принципи побудови систем БЖ мають певні недоліки, на практиці часто використовують змішаний принцип побудови систем БЖ.

При змішаному принципі якась частина обладнання може бути згрупована та живитися від одного потужного джерела БЖ.

Змішана система



А для обладнання, яка територіально розташоване на значній відстані, використовується децентралізований принцип, тобто це обладнання живиться від власного ДБЖ.

Таким чином, централізована система безперебійного живлення використовується тоді, коли обладнання виконує одну загальну задачу та складається із однотипних по призначенню та надійності елементів.

Це можуть бути

- телекомунікаційні центри
- видавничі центри
- офісні приміщення
- серверні стойки
- тощо.



Децентралізована система доцільна у використанні коли обладнання має слабу ступінь об'єднання, територіально розташоване на значній відстані, або взагалі немає можливості створити децентралізовану систему (наприклад, коли немає окремого приміщення, або неможливо розгорнути додаткову струморозподільну мережу).



Децентралізований спосіб безпосереднього живлення використовується для живлення окремих комп'ютерів, окремого мережового обладнання (комутаторів, концентраторів, моделей, тощо).

Децентралізована система



Живлення робочої станції (системного блока та монітора)

У всіх інших випадках, а таких випадків переважна більшість, слід використовувати змішану систему безперебійного живлення.

Лекція 10. Хімічні джерела струму

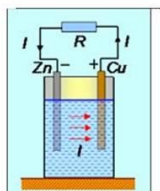
Коли немає можливості використовувати бензинові або дизельні генератори або рідкісні та дорогі паливні елементи, тоді слід звернути увагу на електрохімічні джерела енергії, більш відомі як батарейки та акумулятори. Взагалі усе вивчення електричних явищ почалося із електрохімічних елементів, бо певний, досить тривалий час, вони були єдиним доступним джерелом електричної енергії. Перше електрохімічне джерело електричної енергії створив Алессандро Вольт у 1800 році. Саме його роботи стали поштовхом для вивчення електричної енергії іншими вченими. Дослідами Волта цікавилися багато людей, у тому числі і Наполеон Бонапарт, який завжди приділяв увагу науці та науковим дослідям. З того часу електрохімічні джерела живлення майже не змінилися – з'явилися лише нові матеріали та більш досконалі технології виготовлення.

Електрохімічні джерела постійного струму

Перше електрохімічне джерело електричної енергії було винайдено італійським вченим Алессандро Волта у 1800 році



Алессандро
Вольта
1745 – 1827



Елемент
вольта



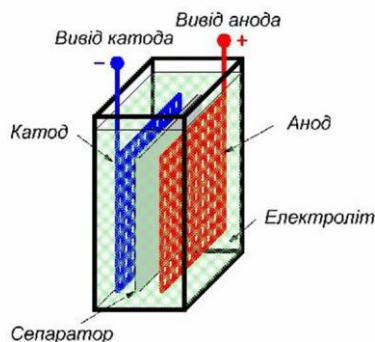
Вольтів
стовп

Вольта знайомить зі своїми дослідями
Наполеона Бонапарта



Будова та принцип роботи електрохімічного елемента багато у чому нагадує будову та принцип роботи паливного елемента. Любе електрохімічне джерело електричної енергії має два електроди: катод та анод, що обов'язково повинні бути виготовлені із різних матеріалів. Для того щоб електрохімічний елемент почав генерувати струм катод і анод необхідно помістити у електроліт – певну речовину, спроможну пропускати електричний струм внаслідок дисоціації на іони, наприклад, сірчану кислоту. Для того що уникнути електричного замикання електроди дуже часто розділяють сепаратором – певним матеріалом, який не дозволяє катоду і аноду фізично торкатися один одного, але дозволяє відносно вільно проходити електроліту та електричним зарядам.

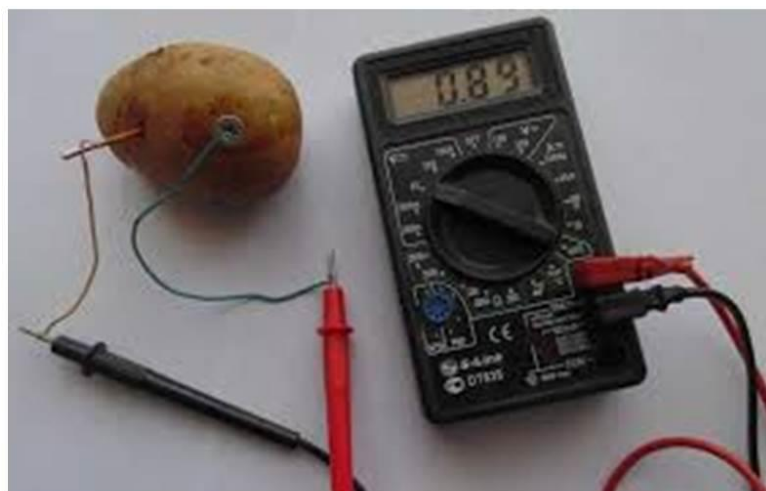
Будова електрохімічного елемента



Такий елемент можна виготовити самостійно, наприклад встроївши в картоплю залізний та мідний штирі. Залізний електрод у даному випадку буде виконувати функцію катода, мідний – анода, а картопляний крохмаль – роль електроліту. Такий імпровізований

елемент буде генерувати напругу приблизно 0,9 В і його цілком можна використовувати як малопотужне джерело електричної енергії.

Батарейка з картоплі



Величина електрорушійної сили на виводах залежить від відстані між використаними речовинами у електрохімічному ряду напруг речовин. Чим далі один від одного вони знаходяться, тим більша буде напруга.

Електрохімічний ряд напруг металів

Відновлена форма	Кількість електронів, що віддав атом	Окиснена форма	Стандартний електродний потенціал, В
Li	1e	Li ⁺	-3,05
K	1e	K ⁺	-2,925
Rb	1e	Rb ⁺	-2,925
Cs	1e	Cs ⁺	-2,923
Ba	2e	Ba ²⁺	-2,91
Sr	2e	Sr ²⁺	-2,89
Ca	2e	Ca ²⁺	-2,87
Na	1e	Na ⁺	-2,71
Mg	2e	Mg ²⁺	-2,36
Al	3e	Al ³⁺	-1,66
Mn	2e	Mn ²⁺	-1,18
Zn	2e	Zn ²⁺	-0,76
Cr	3e	Cr ³⁺	-0,74
Fe	2e	Fe ²⁺	-0,44
Cd	2e	Cd ²⁺	-0,40
Co	2e	Co ²⁺	-0,28
Ni	2e	Ni ²⁺	-0,25
Sn	2e	Sn ²⁺	-0,14
Pb	2e	Pb ²⁺	-0,13
Fe	3e	Fe ³⁺	-0,04
H ₂	2e	2H ⁺	0,00
Cu	2e	Cu ²⁺	0,34
Cu	1e	Cu ⁺	0,52
2Hg	2e	Hg ₂ ²⁺	0,79
Ag	1e	Ag ⁺	0,80
Hg	2e	Hg ²⁺	0,85
Pt	2e	Pt ²⁺	1,20
Au	3e	Au ³⁺	1,50

Наприклад Алессандро Вольта у своїй батарейці використовував електроди із міді та цинку. Якщо обчислити різницю потенціалів цих металів, то вийде, що елемент Вольта повинен був генерувати напругу, що дорівнює приблизно 1 вольт.

Електрохімічний ряд напруг металів

Відновлена форма	Кількість електронів, що віддає атом	Окиснена форма	Стандартний електродний потенціал, В
Li	1e	Li ⁺	-3,05
K	1e	K ⁺	-2,925
Rb	1e	Rb ⁺	-2,925
Cs	1e	Cs ⁺	-2,923
Ba	2e	Ba ²⁺	-2,91
Sr	2e	Sr ²⁺	-2,89
Ca	2e	Ca ²⁺	-2,87
Na	1e	Na ⁺	-2,71
Mg	2e	Mg ²⁺	-2,36
Al	3e	Al ³⁺	-1,66
Mn	2e	Mn ²⁺	-1,18
Zn	2e	Zn ²⁺	-0,76
Cd	2e	Cd ²⁺	-0,40
Fe	2e	Fe ²⁺	-0,44
Co	2e	Co ²⁺	-0,28
Ni	2e	Ni ²⁺	-0,25
Sn	2e	Sn ²⁺	-0,14
Pb	2e	Pb ²⁺	-0,13
Fe	3e	Fe ³⁺	-0,04
H ₂	2e	2H ⁺	0,00
Cu	2e	Cu ²⁺	0,34
Cu	1e	Cu ⁺	0,53
2Hg	2e	Hg ₂ ²⁺	0,79
Ag	1e	Ag ⁺	0,80
Hg	2e	Hg ²⁺	0,85
Pt	2e	Pt ²⁺	1,20
Au	3e	Au ³⁺	1,50

$$0,34 - (-0,76) = 1,1 \text{ В}$$

У випадку батарейки з картошки, то напруга повинна бути близько 0,8 вольт, але це у випадку використання одного з електроду із заліза. При використанні оцинкованих елементів, наприклад, шурупів, як було показано на фото, напруга збільшиться і буде дорівнювати приблизно 0,9 В.

Електрохімічний ряд напруг металів

Відновлена форма	Кількість електронів, що віддає атом	Окиснена форма	Стандартний електродний потенціал, В
Li	1e	Li ⁺	-3,05
K	1e	K ⁺	-2,925
Rb	1e	Rb ⁺	-2,925
Cs	1e	Cs ⁺	-2,923
Ba	2e	Ba ²⁺	-2,91
Sr	2e	Sr ²⁺	-2,89
Mn	2e	Mn ²⁺	-1,18
Zn	2e	Zn ²⁺	-0,76
Cd	2e	Cd ²⁺	-0,40
Fe	2e	Fe ²⁺	-0,44
Co	2e	Co ²⁺	-0,28
Ni	2e	Ni ²⁺	-0,25
Sn	2e	Sn ²⁺	-0,14
Pb	2e	Pb ²⁺	-0,13
Fe	3e	Fe ³⁺	-0,04
H ₂	2e	2H ⁺	0,00
Cu	2e	Cu ²⁺	0,34
Cu	1e	Cu ⁺	0,53
2Hg	2e	Hg ₂ ²⁺	0,79
Ag	1e	Ag ⁺	0,80
Hg	2e	Hg ²⁺	0,85
Pt	2e	Pt ²⁺	1,20
Au	3e	Au ³⁺	1,50

$$0,34 - (-0,44) = 0,78 \text{ В}$$

Існують два основних типи електрохімічних елементів. Гальванічні елементи, більш відомі як батарейки, є непоновлювальними джерелами енергії. Під час роботи цих елементів протікає незворотна хімічна реакція, що змінює хімічний склад батарейки і призводить до руйнування її компонентів. На відміну від гальванічних елементів хімічна реакція в акумуляторах є зворотною. Це означає, що після розряду такого елемента його можна знову зарядити, підключивши, наприклад, до зарядного пристрою. Хімічна реакція у цьому випадку почне протікати у зворотному напрямку і після заряду хімічний склад акумулятора стане таким же самим як і на початку розряду.

Але усе це тільки теоретично. На практиці, як не намагаються виробники акумуляторних батарей збільшувати термін служби своїх виробів, але після кожного циклу

заряд-розряд акумулятор втрачає певну частину своїх активних речовин на незворотні хімічні реакції, що хоч у в малому обсязі, але все ж таки протікають. Тому кожен акумулятор має обмежену кількість робочих циклів, після проведення яких його ємність зменшується до неприпустимих величин.

Електрохімічні елементи



- **Гальванічні елементи** (батарейки) – непоновлювальні джерела енергії



- **Акумулятори** – поновлювальні джерела енергії (допускають перезарядження)

Усі електрохімічні елементи є джерелом забруднення довколишнього середовища і потребують утилізації!

Отже рано чи пізно кожне електрохімічне джерело живлення потребує заміни та обов'язкової утилізації, оскільки у його складі є досить багато отруйних для живих істот речовин, які попавши у ґрунт або підземні води будуть отруювати усе живе. У жодному разі не можна використати батарейки та акумулятори викидати у сміття – їх необхідно відносити до спеціалізованих пунктів прийому, яких, на щастя, в Україні з кожним роком стає усе більше.

Основні характеристики гальванічних елементів

- Напруга, В
- Ємність, А·год або Вт·год
- Внутрішній опір, Ом
- Термін зберігання (для батарейок)
- Кількість циклів заряд-розряд (для акумуляторів)
- Температурні умови експлуатації
- Питомі характеристики Вт·год/кг, Вт·год/м³

Внутрішній опір обмежує максимальний струм, який може забезпечити елемент

Другим важливим параметром є ємність. Ємність залежить безпосередньо від об'єму фізичних речовин, тому тут діє просте життєве правило: чим більша та тяжча батарейка чи акумулятор, тим більшу ємність вони мають. Але таке порівняння справедливо лише для акумуляторів та батарейок, що виготовлені по одній технології. Для електрохімічних джерел живлення виготовлених по різним технологіям це правило працювати не буде, наприклад літій-іонний акумулятор буде мати набагато меншу вагу ніж свинцево-кислотний такої ж самої ємності.

Ємність акумулятора чи батарейки традиційно вимірюють у ампер-годинах. Якщо батарейка має ємність, наприклад, 1 ампер-годину, то це означає, що якщо розряджати її струмом 1 А, то вона віддасть свою енергію за одну годину, а якщо розряджати струмом 0,5 А – то за дві години і так далі. Для того що перевести ампер-години у звичні для нас ват-години треба знайти добуток величини ємності у ампер-годинах на величину напруги у вольтях.

Як було сказано раніше усі електрохімічні джерела живлення мають подібну конструкцію і відрізняються лише хімічним складом. Зараз найбільш поширеними є певна кількість батарей, більшість із яких можна придбати у спеціалізованих магазинах, що торгують радіoeлементами та навіть у звичайних супермаркетах.

До основних характеристик електрохімічних джерел живлення відноситься у першу чергу вихідна напруга. Це й зрозуміло, бо напруга є однією із головних характеристик любого джерела живлення.

Основні характеристики гальванічних елементів

- Напруга, В
- Ємність, А·год або Вт·год
- Внутрішній опір, Ом
- Термін зберігання (для батарейок)
- Кількість циклів заряд-розряд (для акумуляторів)
- Температурні умови експлуатації
- Питомі характеристики Вт·год/кг, Вт·год/м³

Внутрішній опір обмежує максимальний струм, який може забезпечити елемент

Важливим параметром любого електрохімічного джерела струму є внутрішній опір. Хімічні реакції протікають дуже повільно, тому дуже часто батарейка чи акумулятор просто не можуть швидко віддати усю накопичену енергію. Внутрішній опір, так само як і вихідна напруга, залежать від технології виготовлення електрохімічного елемента. Тому не кожна батарейка чи акумулятор підходить до конкретного обладнання. Навіть якщо ці елементи мають однакову напругу та ємність, великий внутрішній опір призведе до того, батарейка просто не зможе забезпечити обладнання струмом потрібної величини.

Основні характеристики гальванічних елементів

- Напруга, В
- Ємність, А·год або Вт·год
- Внутрішній опір, Ом
- Термін зберігання (для батарейок)
- Кількість циклів заряд-розряд (для акумуляторів)
- Температурні умови експлуатації
- Питомі характеристики Вт·год/кг, Вт·год/м³

Внутрішній опір обмежує максимальний струм, який може забезпечити елемент

Окрім технології виготовлення елемента внутрішній опір залежить від температури. Із зниженням температури внутрішній опір збільшується, тому дуже часто можуть виникнути ситуації коли одна і та сама батарейка нормально живила обладнання при кімнатній температурі, але при встановленні її на морозі обладнання перестало працювати через значне

збільшення внутрішнього опору і, як результат, через різке зменшення максимального струму. Ось чому умови експлуатації, у першу чергу температурний режим, є також однією із найважливіших характеристик хімічних джерел енергії. До речі, далеко не всі акумулятори можуть заряджатися при негативних температурах, тому не потрібно дивуватися, якщо, наприклад, акумулятор вашого смартфона не буде заряджатися взимку, якщо залишити його на вулиці.

Основні характеристики гальванічних елементів

- Напруга, В
- Ємність, А·год або Вт·год
- Внутрішній опір, Ом
- Термін зберігання (для батарейок)
- Кількість циклів заряд-розряд (для акумуляторів)
- Температурні умови експлуатації
- Питомі характеристики Вт·год/кг, Вт·год/м³

Внутрішній опір обмежує максимальний струм, який може забезпечити елемент

І останнім параметром, на який слід звертати увагу, це питомі характеристики. Вони цілком залежать від технології і необхідні лише для порівняння різних технологій виготовлення хімічних джерел живлення між собою, та оцінки основних параметрів джерела живлення: геометричних розмірів, ваги та вартості на певних стадіях проектування обладнання.

Основні характеристики гальванічних елементів

- Напруга, В
- Ємність, А·год або Вт·год
- Внутрішній опір, Ом
- Термін зберігання (для батарейок)
- Кількість циклів заряд-розряд (для акумуляторів)
- Температурні умови експлуатації
- Питомі характеристики Вт·год/кг, Вт·год/м³

Внутрішній опір обмежує максимальний струм, який може забезпечити елемент

На сьогоднішній серед гальванічних елементів найбільш поширеними є соляні батарейки. Соляна батарейка складається із цинкового стакану, що виконує роль катода, заповненому пастою із суміші перекису марганцю та вугілля, яка виконує функцію електроліту. Позитивним електродом (анодом) є графітовий стрижень, розташований посередині стакану.

Найбільш поширені типи гальванічних елементів



- Соляні елементи
- Соляні елементи Heavy Duty
- Лужні елементи
- Ртутні елементи
- Літієві елементи

Соляні батарейки є найдешевшими джерелами енергії. Найдешевші із найдешевших моделей цих гальванічних елементів мають найпростішу конструкцію у якій цинковий стакан виконує роль безпосередньо негативного електрода. Але під час експлуатації батарейки, та навіть під час зберігання, цинк витрачається на хімічну реакцію і товщина цинкового стакану стає меншою.

Соляні елементи



- Напруга 1,51 В
- Питома потужність 5...10 Вт·год / кг
- Великий внутрішній опір
- Низька вартість

Рано чи пізно настає момент, коли у цинковому стакані з'являються отвори, через які почне просочуватися електроліт. Попавши у відсік живлення електроліт почне роз'їдати металеві елементи обладнання і дуже швидко виведе його із ладу. Ось чому не можна на тривалий час залишати батарейки в обладнанні. Після розряду батарейки необхідно вийняти батарейки із відсіку живлення та утилізувати

Корозія соляних батарейок



Корозія цинкового електроду призводить до витоку електроліту і пошкодженню обладнання!

Небезпеку витоку електроліту розуміють і виробники батарейок, тому сучасні батарейки вже не випускаються у відкритих цинкових стаканах. Зараз цей елемент розміщується всередині захисного металевого корпусу, який істотно зменшує імовірність витоку електроліту, але не зводить її до нуля. Тому буде можливість купівлі дешевих батарейок у відкритих цинкових стаканах, які ще й досі виготовляються деякими китайськими виробниками, то згадайте цей матеріал та обережіть своє обладнання, бо на сьогоднішній день усі відомі світові виробники гальванічних елементів вже давно відмовились від цієї технології.

Пошкодження обладнання через витік електроліту



Незважаючи на свої невисокі технічні характеристики, у першу чергу великий внутрішній опір та малу питому ємність, соляні батарейки мають певну сферу використання. У першу чергу це пристрої, що не потребують високих струмів розряду. До таких пристроїв відносяться електронні годинники, пульти дистанційного керування дитячі іграшки та інші не критичні до якості живлення додатки. У телекомунікаційній апаратурі та інфокомунікаційному обладнанні соляні батарейки через високий внутрішній опір та невисокі питомі та експлуатаційні характеристики майже не використовують.

Використання соляних елементів



Соляні елементи, як правило, використовуються для живлення обладнання з невеликим струмом споживання



- Пульти дистанційного керування
- Електронні годинники
- Портативні радіоприймачі
- Дитячі іграшки

Подальшим розвитком соляних гальванічних елементів стали елементи з позначкою Heavy Duty. Вони мають більшу питому ємність та менший внутрішній опір. Але їх характеристики не настільки покращені, щоб виділяти ці елементи у якості якихось нових електрохімічних джерел живлення.

Соляні елементи Heavy Duty



- Соляні елементи «Heavy Duty» є подальшим розвитком соляних елементів.
- Елементи «Heavy Duty» мають зменшений внутрішній опір, та можуть давати більший, порівняно із звичайними соляними елементами, струм.

А от лужні елементи вже мають набагато кращі технічні характеристики. У першу чергу – майже на порядок більшу питому ємність та менший внутрішній опір. Крім того їх терміни зберігання та експлуатації також істотно збільшені.

Лужні елементи



Лужні елементи, (алкалайнові, лужно-марганцеві, марганцево-цинкові) мають конструкцію подібну до соляних елементів, але у якості електроліту використовують луги.

- Напруга 1,5 В
- Питома потужність 65...90 Вт·год/кг
- Герметична конструкція
- Зменшений внутрішній опір
- Збільшений термін зберігання

Конструкція лужних елементів та вихідна напруга аналогічні соляним батарейкам, тому лужні елементи можна використовувати замість соляних, але не навпаки. Головною відмінністю лужних елементів від соляних є хімічний склад електроліту – замість солей у них використовуються більш хімічно активні луги. Через високу хімічну активність усі лужні елементи виготовляють герметизованими, причому у корпусі елемента передбачений спеціальний об'єм для газів, що утворюються під час роботи елемента.

Будова лужного елемента



Лужні елементи мають більш широку область застосування. Через значно менший внутрішній опір вони підходять для живлення обладнання із середнім та значним струмом споживання, наприклад, ліхтарів, рацій, цифрових фотоапаратів та іншої подібної техніки. Ну, і, звісно, їх можна використовувати у всіх додатках, розрахованих на живленні від соляних батарей. Але не слід забувати, що лужні елементи мають і більшу вартість ніж соляні батарейки. Тому перед заміною соляного елемента на лужний слід зрозуміти чи буде правильною така заміна із економічної точки зору. Оскільки, наприклад, у пультах дистанційного керування терміни служби обох елементів виявиться приблизно однаковим, бо там основний розряд елемента відбувається під впливом часу, але кошти при цьому будуть витрачені більші.

Застосування лужних елементів



Лужні елементи, як правило, використовуються для живлення обладнання із середнім та великим струмом споживання

- Рації
- GPS-трекери
- Фотоапарати
- Ліхтарі
- Бездротове комп'ютерне обладнання

Ще кращі характеристики мають ртутні елементи. Порівняно із лужними вони мають більшу питому ємність та більший термін експлуатації. Електрорушійна сила такого елемента також становить приблизно 1,5 В, але розміри цих елементів набагато менші.

Ртутні елементи



Ртутні елементи містять у своєму складі сполучення ртуті

- Напруга 1,25...1,52 В
- Питома потужність 135 Вт·год/кг
- Тривалий термін зберігання

Більшість ртутних елементів мають конструкцію подібну до таблетки і через наявність небезпечних для життя речовин, самим шкідливим із котрих є оксид ртуті, випускаються тільки в герметизованих корпусах. Основні елементи ртутних батарейок подібні до усіх електрохімічних елементів – два електроди, що контактують із електролітом, я кості якого використовується гідроксид калію.

Ртутні елементи знайшли широке застосування у військовій та медичній техніці, у першу чергу через малі розміри та меншу залежність напруги від часу експлуатації та величини вихідного струму. Але через наявність ртуті та складної процедури утилізації зараз ці елементи заборонені до використання у більшості провідних світових країн. Тим не менше обладнання, розраховане на живлення від ртутних елементів, ще й досі експлуатується, тому ртутні елементи ще й досі можна знайти у продажі. Але у нових розробках їх вже не застосовують.

Застосування ртутних елементів



У кінці XX сторіччя ртутні елементи використовувались для живлення обладнання з підвищеними вимогами до надійності та часу роботи (військове та медичне обладнання)

- Годинники
- Кардіостимулятори
- Слухові апарати
- Прибори нічного бачення

У XXI сторіччі із-за складності утилізації та токсичності ртутні елементи заборонені до виготовлення у більшості країн світу

Замість ртутних елементів у обладнанні із високими вимогами до якості напруги живлення вже давно використовують літієві. Літій має найбільший відновлювальний потенціал у електрохімічному ряду напруг металів, тому не дивно, що електрорушійна сила літієвих елементів щонайменше удвічі більша за усі, розглянуті вище, типи гальванічних елементів. Максимальна напруга літієвої батареї може досягає 3,7 В, тому їх у більшості випадків не можна безпосередньо встановлювати у обладнання, розраховане на живлення від соляних, лужних чи ртутних елементів.

Літієві елементи



- Літієві елементи містять у своєму складі металевий літій або його сполуки
- Напруга 1,5...3,7 В
- Питома потужність 330 Вт-год/кг
- Тривалий термін роботи та зберігання (5...10 років)
- Висока вартість

Будова літієвих елементів аналогічна будові їх соляних та лужних аналогів – два електроди, розділені сепаратором, що знаходяться у середовищі електроліту. Але тут можуть бути і відмінності, бо, через високу ємність та малий внутрішній опір існують два типи літієвих батарейок. Батарейки бобінного типу мають більший внутрішній опір та розраховані на живлення обладнання із незначним споживаним струмом. Але при цьому через високу ємність вони здатні жити це обладнання на протязі до 15 років. Батарейки рулонного типу мають більшу поверхню контакту електродів із електролітом. Це зменшує внутрішній опір але збільшує струм саморозряду. Тому літієві батарейки рулонного типу мають менший

термін зберігання та експлуатації, але спроможні забезпечити обладнання значним струмом, що може досягати кількох ампер.

Будова літієвих елементів



Літієві батарейки застосовуються там, де необхідно забезпечити обладнання значним струмом, або там, де необхідно забезпечувати енергією обладнання на протязі кількох років. У першу чергу це медична та військова техніка, але і в інформаційних системах вони з кожним роком знаходять все більше застосування. Наприклад від літієвих батарей можуть житися інтелектуальні лічильники енергоресурсів, причому термін автономної роботи цих пристроїв може перевищувати 15 років.

Застосування літієвих елементів

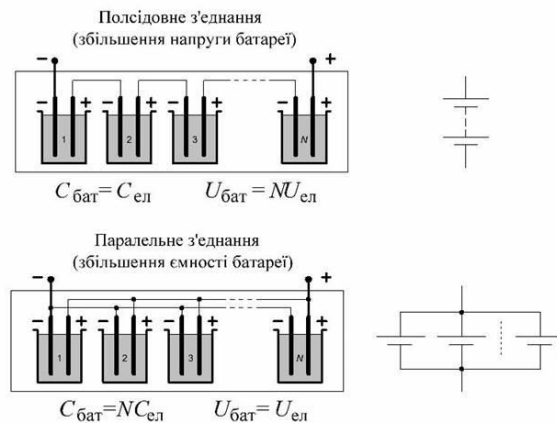


Основне використання літієвих елементів – високотехнологічне обладнання

- Електронні годинники
- Медичне обладнання
- Військова техніка
- Радіопульти
- Персональні комп'ютери (живлення годинника BIOS материнської плати)

Ви, напевно, вже звернули увагу, що електрорушійна сила електрохімічних елементів невелика і не перевищує 4 В. У більшості випадків такої напруги недостатньо для роботи обладнання. Тому електрохімічні елементи дуже часто об'єднують у батареї. Існує два варіанти з'єднань. При послідовному з'єднанні збільшується напруга батареї, а при паралельному – максимальний струм, що можна отримати від батареї.

Способи з'єднання елементів



У більшості випадків елементи з'єднують послідовно. Випускаються навіть готові батареї елементів, найбільш відомими з яких є квадратна батарейка, всередині якої знаходиться три елемента з розмірами, що відповідають розміру R6, або як кажуть у народі – пальчикової батарейки та батарейка «Крона», всередині якої знаходиться шість соляних або лужних елементів. Нескладно визначити, що при послідовному з'єднанні елементів із напругою 1,5 В напруга квадратної батарейки буде дорівнювати 4,5 В, а батарейки «Крона» – 9 В.

Промислові батареї гальванічних елементів



- 3R12 (квадратна батарейка) з напругою 4,5 В, що містить 3 елемента у розмірі AA (R6, LR6, 316, A316)
- Батарея «Крона» з напругою 9 В, що містить 6 елементів

Коли потрібна інше напруга або інший струм, то батарейки об'єднують у батареї штучно. Промисловістю навіть випускають спеціальні відсіки, куди можна встановити батарейки стандартних розмірів. При використанні такого способу живлення необхідно пам'ятати головне правило: усі елементи повинні бути однаковими. Тобто, усі елементи повинні бути одного типу, одного виробника і бажано – з однієї партії. Крім того окремі елементи не повинні більше ніде експлуатуватися – усі елементи повинні бути одночасно встановлені і, відповідно, одночасно зняті з прибору. Невиконання цих умов призведе до дисбалансу всередині батареї, що істотно зменшить її термін експлуатації.

Батареї елементів



Незалежно від типу з'єднання при об'єднанні елементів у батарею слід використовувати елементи:

- одного типу
- однієї партії
- з однаковими умовами зберігання
- з однаковими умовами попередньої експлуатації

Невиконання цих умов приведе до зменшення терміну служби елементів або виходу їх із ладу.

Головним недоліком гальванічних елементів є те, що вони є одноразовими. Тому коли запас енергії у автономному джерелі живлення інтенсивно використовується і його хватає не більше ніж на тиждень, тоді замість гальванічних елементів доцільно використовувати акумулятори. На відміну від гальванічних елементів акумулятор можна перезаряджати, тобто поновлювати запас енергії у ньому. Але усі акумулятори мають значний струм саморозряду, тому якщо обладнання повинно працювати від автономного джерела живлення більше ніж кілька місяців, все ж таки доцільно орієнтуватися на гальванічні елементи ніж на акумулятори.

Акумулятор



- **Акумулятор** – хімічне джерело електричної енергії, що здатний багаторазово перетворювати хімічну енергію у електричну та зберігати її тривалий час
- Свинцево-кислотні
- Нікель-кадмієві
- Нікель-метал-гідридні
- Літій-іонні

Так само як у гальванічних елементів, характеристики акумуляторів залежать від матеріалів із яких вони були виготовлені. Найбільш розповсюдженими серед акумуляторів є свинцево-кислотні акумулятори. Вони мають дві головні переваги, що обумовлюють їх широке використання: низьку вартість, та здатність заряджатися при негативних температурах.

Свинцево-кислотні акумулятори

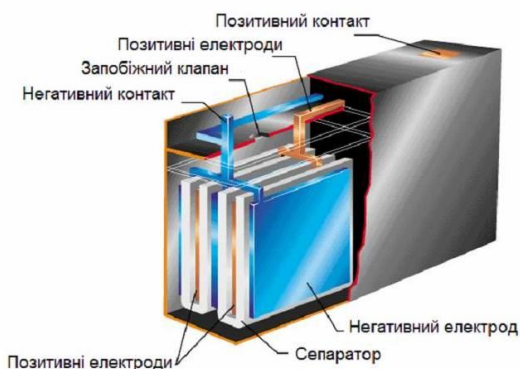


Свинцево-кислотні акумуляторні батареї мають свинцеві електроди та електроліт на основі сірчаної кислоти

- Напруга 2 В
- Питома потужність 30...60 Вт·год/кг
- Низька вартість
- Малий внутрішній опір
- Найбільш поширений тип акумуляторних батарей

Свинцево-кислотний елемент складається із двох електродів, виготовлених на основі свинцю, які розміщені у розчині сірчаної кислоти. Реальний хімічний склад електродів та технологія їх виготовлення у різних виробників різна і є комерційною таємницею. Та електричні характеристики у всіх свинцево-кислотних акумуляторів майже однакові. Головна різниця полягає у кількості циклів заряд-розряд, величині внутрішнього опору та умовах експлуатації.

Будова свинцево-кислотного елемента



Завдяки дуже малому внутрішньому опору, який може не перевищувати кількох сотих долів ома, свинцево-кислотні акумулятори здатні дуже швидко віддавати накопичену енергію. Тому вони знайшли широке застосування в автомобільному транспорті. В автомобілях енергія, накопичена в акумуляторі витрачається на запуск двигуна, а вже після його вдалого запуску генератор автомобіля повертає в акумулятор витрачену енергію. Крім того, акумулятор є основним джерелом енергії для бортового обладнання автомобіля, коли він знаходиться на стоянці і основний двигун, разом із генератором, не працюють.

Крім того свинцево-кислотні акумулятори використовуються у додатках де необхідно мати певний запас енергії і де розміри та вага мають другорядне значення. У цей список входять сонячні та вітряні електростанції, а також, зверніть увагу, джерела безперебійного живлення для електронного обладнання.

Застосування свинцево-кислотних акумуляторів

Завдяки малому внутрішньому опору можуть віддавати значний струм



- Автомобільний транспорт
- Електромобілі
- Джерела безперебійного живлення
- Сонячні та вітряні електростанції
- Аварійні та автономні джерела світла

Але звичайні свинцево-кислотні акумулятори мають ще один суттєвий недолік, який дуже обмежує їх практичне використання. Річ у тому, при роботі свинцево-кислотного акумулятора можуть виділятися водень і пари сірчаної кислоти. Тому звичайні свинцево-кислотні акумулятори не можна експлуатувати у приміщеннях, не обладнаних відповідною системою вентиляції. На підприємствах зв'язку, у великих датацентрах де звичайні свинцево-кислотні акумулятори використовують у якості аварійного джерела живлення, вони знаходяться у спеціальному приміщенні із потужною системою вентиляції та контролем якості повітря до якого можуть заходити лише люди, що мають відповідний допуск. І це є обов'язковим заходом безпеки, невиконання якого може призвести до вибуху, пожежі та загибелі людей. У автомобілях свинцево-кислотні акумулятори завжди розташовуються під вентиляльованим капотом і ніколи не будуть розташовуватися у герметичних об'ємах.

Техніка безпеки при використанні свинцево-кислотних акумуляторів



Обережно
Акумуляторні
Батареї



Забороняється
Палити

- Під час роботи можуть виділяти водень та пари сірчаної кислоти
- Використання можливе лише у спеціальних приміщеннях обладнаних системою вентиляції
- Обслуговування стаціонарних акумуляторних батарей допускається лише персоналом із відповідною групою допуску

Порушення даних правил може нанести шкоду здоров'ю людей, та призвести до вибуху чи пожежі

Але існують і спеціальні свинцево-кислотні акумулятори, які розраховані на експлуатацію у звичайних приміщеннях. Вони удвічі дорожчі за звичайні, але при їх роботі, у нормальному режимі не виділяється ніяких газів. У таких акумуляторах використовується електроліт у виді гелю, і до складу цих елементів завжди входять абсорбери, що поглинають гази, що утворюються під час роботи. Акумулятори з гелевим електролітом не потребують обслуговування і можуть експлуатуватися у будь-якому положенні. Їх основна сфера використання – джерела та системи безперебійного живлення для комп'ютерного та телекомунікаційного обладнання а також систем автоматизації. Тому є дуже велика імовірність що з акумуляторами цього типу вам доведеться стикнутися безпосередньо під час вашої подальшої трудової діяльності. Тому добре їх запам'ятайте. А ще запам'ятайте те, що їх не можна замінити на більш дешеві автомобільні акумулятори. І хоч система буде працювати, але у приміщенні, де вони будуть розташовуватися, рано чи пізно може статися вибух через накопичення водню. Та й випари сірчаної кислоти є не самою гарною речовиною для легенів людини.

Акумулятори для використання у приміщеннях



Для експлуатації у приміщеннях необхідно використовувати свинцево-кислотні акумулятори виконані за технологіями Absorbent Glass Mat (AGM) (абсорбуюче скловолокно) або Gelled Electrolite (GEL) – акумулятори з електролітом у вигляді гелю

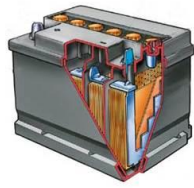
- Не виділяють газів під час роботи
- Не потребують обслуговування
- Можуть використовуватися у будь-якому положенні
- Мають високу вартість

70

Середня напруга одного свинцево-кислотного елемента дорівнює 2 В. Але слід пам'ятати, що її величина під час роботи коливається у межах від 1,8 В – коли акумулятор повністю розряджений до 2,45 В, коли він повністю заряджений. На практиці, звісно, продаються окремі свинцево-кислотні акумулятори, що складаються лише з одного елемента із напругою 2 В, але найбільшого поширення набули акумулятори, що мають у своєму складі три або шість елементів. Зрозуміло, що вихідна напруга цих батарей буде дорівнювати 6 В, або 12 В. 6-вольтові акумуляторні батареї використовуються для живлення малопотужних додатків. Наприклад такий акумулятор може використовуватися на невеликих мопедах чи мотоциклах. Але найбільшого поширення набули 12-вольтові акумуляторні батареї.

Тепер стає зрозуміло, чому бортова напруга живлення більшості автомобілів дорівнює 12 В або 24 В. Така напруга, фактично, є результатом компромісу між складністю обладнання та фізичною можливістю реалізації акумуляторної батареї, яка, до речі, є достатньо дорогим елементом. З цієї ж причини більшість потужного телекомунікаційного обладнання має напругу живлення кратну 12 В – це дозволяє в аварійних режимах, коли пропадає напруга у промисловій мережі, використовувати типові акумуляторні батареї.

Свинцево-кислотні акумуляторні батареї



Напруга одного елемента – 2 В (1,8...2,45 В)

Найпоширеніші акумулятори:

- 6 В (3 елемента, з'єднані послідовно) – малопотужні джерела живлення, бортова мережа деяких мотоциклів
- 12 В (6 елементів, з'єднані послідовно) – найбільш поширений тип акумуляторів



Якщо необхідна більша напруга, то її отримують шляхом послідовного з'єднання 12-вольтових акумуляторних батарей

Типова напруга живлення телекомунікаційного обладнання: 12 В, 24 В, 48 В, 60 В

Головним недоліком свинцево-кислотних акумуляторних батарей наявність рідкого електроліту, через яку з'являється потреба у періодичному обслуговуванні необхідність використання тільки у горизонтальному положенні. Ці недоліки відсутні у нікель-кадмієвих акумуляторах. Питома ємність у свинцево-кислотних та нікель-кадмієвих акумуляторах приблизно однакова, але нікель-кадмієві акумулятори не потребують обслуговування і можуть використовуватися у будь якому положенні.

Нікель-кадмієві акумулятори

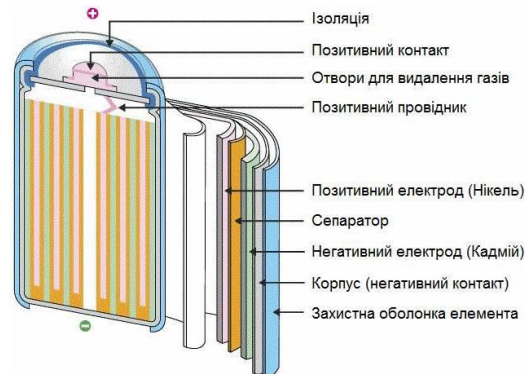


Нікель-кадмієві (NiCd) акумулятори мають збільшену питому потужність порівняно з свинцево-кислотними акумуляторами

- Напруга 1,37 В
- Питома потужність 45...65 Вт·год/кг
- Не потребують обслуговування
- Не критичні до режиму заряду та розряду
- Забруднюють довколишнє середовище (кадмій – сильна отрута)
- Мають «ефект пам'яті»

Будова нікель-кадмієвого акумулятора мало чим відрізняється від будови інших електрохімічних джерел живлення. Нікель-кадмієвий елемент так само має два електроди, розташовані у герметизованому корпусі. Але їх головним недоліком є наявність шкідливих речовин, оскільки кадмій є сильною отрутою. Але до недавнього часу нікель-кадмієві акумулятори були фактично єдиною доступною альтернативою свинцево-кислотним елементам, оскільки інших доступних та дешевих технологій на той час не існувало.

Будова нікель-кадмієвого елемента



Вони активно використовувалися у тих додатках, де за різних причин було неможливо використовувати свинцево-кислотні елементи. Найбільш активного використання нікель-кадмієві акумулятори набули у ручному електроінструменті. Також, до появи більш енергоємних літєвих акумуляторів нікель-кадмієві елементи були фактично єдиним джерелом живлення для мобільних пристроїв. До речі, перші мобільні телефони живилися саме від цих елементів. Оскільки напруга нікель-кадмієвого акумулятора дорівнює 1,2 В, що майже дорівнює напрузі соляних та лужних елементів, то існували нікель-кадмієві елементи, які за розмірами були такі ж самі як і батарейки і призначалися для їх заміни.

Застосування нікель-кадмієвих акумуляторів

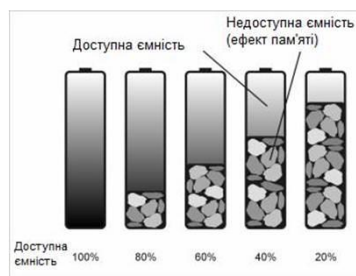


- Заміна гальванічних елементів
- Живлення портативної радіоапаратури
- Електроінструмент
- Побутові прилади

На даний час практично не використовуються у зв'язку з появою більш сучасних нікель-метал-гідридних акумуляторів

У нікель-кадмієвих акумуляторів є одна специфічна особливість, яка у технічній літературі отримала назву «Ефект пам'яті». Він полягає у тому, що, якщо не повністю розряджений нікель-кадмієвий акумулятор поставити на зарядку, то у наступному циклі розряду він буде ефективно віддавати енергію до тих пір, поки залишок енергії не буде дорівнювати кількості енергії, яка у ньому була на момент коли його поставили на зарядку. Тобто акумулятор якби запам'ятовує момент коли його почали заряджати і «не хоче» віддавати більшу кількість енергії. Через ефект пам'яті нікель-кадмієві акумулятори потрібно ставити на зарядку тільки після повного розряду. Але це інколи буває неможливо під час експлуатації, тому після кількох подібних циклів навіть новий нікель-кадмієвий акумулятор може повністю втратити свою ємність.

«Ефект пам'яті»



- «Ефект пам'яті» акумулятора – явище, при якому акумулятор віддає свій заряд лише до того моменту з якого розпочалося його заряджання
- Яскраво виражений у нікель-кадмієвих акумуляторів, менше у нікель-метал-гідридних
- Дані типи акумуляторів рекомендується заряджати лише після повного розряду
- Відновлення ємності акумуляторів з ефектом пам'яті можливе при використанні спеціальних зарядних пристроїв

Для відновлення ємності нікель-кадмієвих акумуляторів необхідно використовувати спеціалізовані зарядні пристрої, у яких реалізована функція відновлення ємності, зменшення якої відбулося через ефект пам'яті. Суть відновлення полягає у автоматичному формуванні послідовних циклів повного заряду і повного розряду із обов'язковим контролем кількості спожитої енергії. І якщо після чергового циклу заряду акумулятор спожив таку ж саму кількість енергії як у попередньому циклі, то вважається що відновлення ємності закінчилося.

Інтелектуальний зарядний пристрій для нікель-кадмієвих акумуляторів із функцією відновлення ємності



Ефект пам'яті мають не тільки нікель-кадмієві акумулятори. Він притаманний і акумуляторам інших типів, у тому числі у сучасним літєвим акумуляторам. Але у нікель-кадмієвих акумуляторах він просто найбільш сильно виражений. Крім того, наявність кадмію, що є сильною отрутою і необхідність складної утилізації призвели до поступової відмови від виробництва та експлуатації акумуляторів цього типу.

Їм на заміну були розроблені нікель-метал-гідридні акумулятори, які за своїми характеристиками майже ідентичні нікель-кадмієвим, але вони зовсім не містять кадмію і мають не такий яскраво виражений ефект пам'яті. На сьогоднішній день нікель-метал-гідридні акумулятори активно використовуються у певних додатках і поки що, у першу чергу, через меншу вартість, досить вдало конкурують із літєвими акумуляторами.

Нікель-метал-гідридні акумулятори



- Нікель-метал-гідридні (NiMH) акумулятори є подальшим розвитком нікель-кадмієвих акумуляторів
- Більш висока питома потужність
- **Не містять кадмію**

Основна сфера застосування відповідає сфері застосування нікель-кадмієвих акумуляторів

77

На протязі досить тривалого часу, компактних та відносно дешевих акумуляторів для живлення високотехнологічного обладнання, такого як ноутбуки, смартфони, мобільні телефони, інтелектуальні годинники та іншого подібного обладнання просто не існувало. І лише відносно недавно з'явилися літій-іонні акумулятори, питома ємність яких щонайменше втричі перевищує питому ємність усіх відомих типів акумуляторів. Висока вихідна напруга, зумовлена використанням літію, що має найбільшу відновлювальну здатність, та висока питома ємність зумовили його широке використання у самих різних високотехнологічних сферах.

Літій-іонні акумулятори

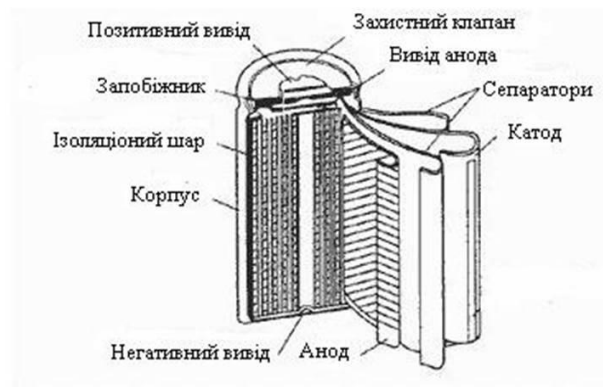


Літій-іонні акумулятори (Li-ion) використовуються для живлення високотехнологічного обладнання

- Напруга 3,6 В
- Питома потужність 240 Вт·год/кг
- Вибухонебезпечні
- Мають вбудований контролер заряду

Будова літій-іонного акумулятора подібна до будови літєвих батарейок рулонного типу, але на відміну від одноразових батарейок літій-іонні акумулятори досить можна перезаряджати. Через наявність високоактивного літію і можливість виділення газів під час роботи усі літій-іонні акумулятори випускають у герметизованих корпусах, всередині якого розміщені електроди та електроліт.

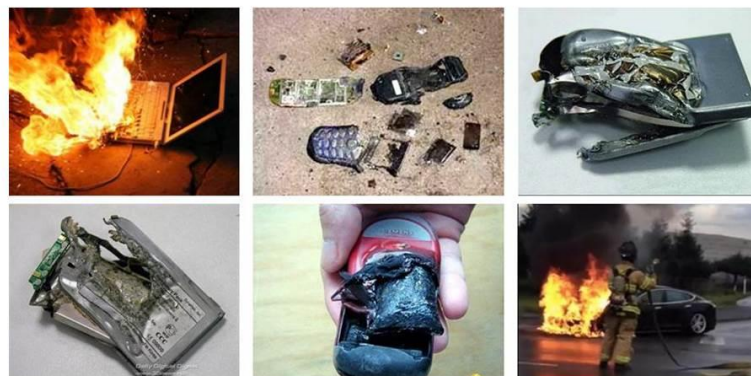
Будова літій-іонного елемента



79

Особливістю літій-іонних акумуляторів є їх пожежонебезпечність. При експлуатації літій-іонних акумуляторів необхідно постійно стежити за температурою елементів, а також не допускати їх роботи в аварійних режимах. Через це більшість літій-іонних акумуляторних батарей випускаються із вбудованими контролерами, які контролюють величини зарядного і розрядного струмів, температуру кожного елемента а також вирівнюють розподіл електричної енергії між окремими елементами акумуляторної батареї. Та усе одно це не дає стовідсоткової гарантії їх безпечного використання, особливо у випадку механічного пошкодження. Вже зафіксовано велику кількість самозаймань та навіть вибухів літій-іонних акумуляторів, що стали причиною нанесення шкоди здоров'ю та навіть загибелі людей.

Небезпека експлуатації літій-іонних акумуляторів



Але, оскільки усе одно більш безпечної альтернативи немає, літій іонні акумулятори широко використовуються для живлення усього сучасного високотехнологічного обладнання у якому встановити більш безпечні нікель-метал-гідридні або свинцево-кислотні акумулятори немає просто фізичної можливості. Крім того літій-іонні акумулятори є основним накопичувачем енергії в автономному електротранспорті – електромобілях, електромотоциклах, електросамокатах, гіроскутерах, моноколесах та інших подібних транспортних засобах.

Застосування літій-іонних акумуляторів



- Мобільні телефони
- Ноутбуки
- Мобільне комп'ютерне обладнання
- Електромобілі
- Гібридні автомобілі

Незалежно від технології побудови акумулятора слід пам'ятати, що будь-який вид акумулятора критичний до режиму експлуатації. Майже усі акумулятори не повинні перезаряджатися або глибоко розряджатися. У цих режимах у акумуляторах починаються незворотні хімічні процеси у результаті яких його ємність катастрофічно зменшується. Крім того акумулятори, особливо літій-іонні, критичні до високих значень розрядного та зарядного струмів, особливо при короткому замиканні, при яких у них збільшується температура – це також стає причиною незворотних хімічних процесів та втраті ємності. Виключенням є лише свинцево-кислотні стартерні акумулятори, призначені для запуску двигунів а автомобілях. Але й для них тривала робота у цих режимах є небажаною.

На практиці необхідних режим роботи підтримується контролером – невеликою схемою, яка не дозволяє акумуляторній батареї зайти у критичний режим роботи. При заряді акумулятора контролер, зазвичай стежить за величиною напруги на елементах і не дозволяє напрузі дійти до критичних значень. Так само і при розряді – при зниженні напруги нижче максимального допустимого рівня контролер просто відключить обладнання від батареї, щоб запобігти її глибокого розряду.

Критичні режими роботи акумулятора



- **Глибокий розряд** – зниження напруги на елементі нижче мінімально-допустимого значення може призвести до незворотних хімічних реакцій та втрати ємності акумулятора
- **Перезаряд** – збільшення напруги на елементі вище максимального-допустимого значення може призвести до розігріву акумулятора, незворотних хімічних реакцій, втрати ємності акумулятора, виділенню газів, вибуху або пожежі
- **Великий зарядний або розрядний струм** (наприклад, при короткому замиканні) може призвести до розігріву акумулятора, виділенню газів, вибуху або пожежі

Лекція 11. Електроживлення автономних об'єктів

Із попередніх тем дисципліни Електроживлення комп'ютерного обладнання, вам вже відомо, що основним джерелом електричної енергії для стаціонарних об'єктів є промислова мережа змінного струму. У цій системі електрична енергія генерується на електричних станціях, які зв'язані між собою мережею ліній електропередач, яка охоплює усю Україну і має зв'язок із аналогічними мережами сусідніх країн.

Електрична мережа України



Електростанції, розподільче обладнання і усі інші компоненти промислової мережі змінного струму працюють 24 години на добу, 7 днів на тиждень та 365 днів на рік, безперервно забезпечуючи своїх споживачів електричною енергією у кількості яка їм необхідна. Отже промислова мережа змінного струму є потужним і умовно невичерпним джерелом електричної енергії. Але у неї є один суттєвий недолік – для того, щоб отримати енергію із мережі необхідно фізичне з'єднання із нею. Тобто, завжди повинен бути кабель, який з'єднує обладнання з електричною розеткою, електричним щитком, трансформатором, чи якимось іншим компонентом розподільчої мережі.

Перший у світі тролейбус (1882 рік)



Отже, промислова мережа змінного струму ідеально підходить тільки для стаціонарного обладнання, яке постійно знаходиться на одному місці. У деяких випадках її можна використовувати і для живлення нестаціонарного обладнання, наприклад,

електроінструменту. Але для цього необхідний додатковий гнучкий електричний кабель і, можливо, електричні подовжувачі. Але у будь-якому випадку максимальна відстань між обладнанням та найближчою електричною розеткою не буде перевищувати кількох десятків метрів.

Електричні подовжувачі



А от електроживлення від промислової мережі об'єктів, які за своїм призначенням не можуть бути стаціонарними, вже викликає певну низку технічних складнощів. Наприклад, для електроживлення трамваїв, тролейбусів або залізничних локомотивів, необхідно будувати дорогу та складну у використанні контактну мережу. І усе одно мобільність таких об'єктів буде сильно обмежена. Отже як можна забезпечити електричною енергією пристрої та обладнання у випадку коли немає можливості підключення до промислової мережі змінного струму? А такі питання виникають набагато частіше, ніж здається на перший погляд.

Електрична контактна мережа у тролейбусному парку



Незважаючи на велику розповсюдженість розподільчих мереж доступність до них сильно обмежена. Наприклад, у полі, в лісі або в морі, зазвичай, немає електричних розеток. Вони там і не потрібні. Але ж бувають випадки, коли у таких місцях необхідно встановити електричне обладнання – інколи тимчасово, а інколи і на постійній основі.

Наприклад, комусь необхідно освітити вночі рекламний щит. А найближчій електричний кабель знаходиться за кілька кілометрів від місця розташування цього щита. Звісно, у цьому випадку можна прокласти кілька кілометрів електричного кабелю, бо рекламний щит все ж таки є стаціонарним об'єктом і навряд чи колись буде переміщуватися в інше місце. Але це вийде дуже дорого, а інколи і зовсім неможливо. А що робити коли електрична енергія потрібна лише на кілька годин, наприклад, коли цей щит необхідно просто полагодити? До якого джерела електричної енергії підключити електричну дріль або електрозварку? У цьому випадку монтувати кілька кілометрів кабелю для того, щоб годину попрацювати якось зовсім недоцільно. То де ж у цьому місці знайти джерело електричної енергії?

Електроживлення віддалених об'єктів



А підключити до електричної мережі обладнання, яке дійсно повинне бути мобільним, наприклад, смартфон, взагалі неможливо, бо смартфон за своїм призначенням не повинен ні до чого підключатися за допомогою проводів, окрім деяких випадків. Звідки взяти енергію для його роботи? А у цю категорію попадаються і усі пристрої, що носяться: розумні годинники, фітнес-браслети, планшетні комп'ютери та інше подібне обладнання.

Електроживлення мобільних пристроїв та пристроїв, що носяться



Та ж сама задача виникає і у всіх видах транспорту. Ви ж добре розумієте, що у сучасному автомобілі, мотоциклі та навіть самокаті існує велика кількість бортового обладнання, яке необхідно забезпечувати електричною енергією як під час руху, так і під час стоянки. Звідки взяти цю електричну енергію?

Електроживлення бортового обладнання електротранспорту



У загальному випадку існує усього два шляхи вирішення цієї проблеми. Або генерація електроенергії безпосередньо на місці де вона потрібна, або все ж таки використання промислової мережі змінного струму. Але тут мова вже йде не про стаціонарне підключення, а про тимчасове. У цьому випадку обладнання на деякий час підключається до промислової мережі змінного струму, або якогось іншого, більш ємного, джерела електричної енергії, запасає у своєму накопичувачі певну кількість енергії, а потім, після відключення від основного джерела, поступово використовує накопичені запаси.

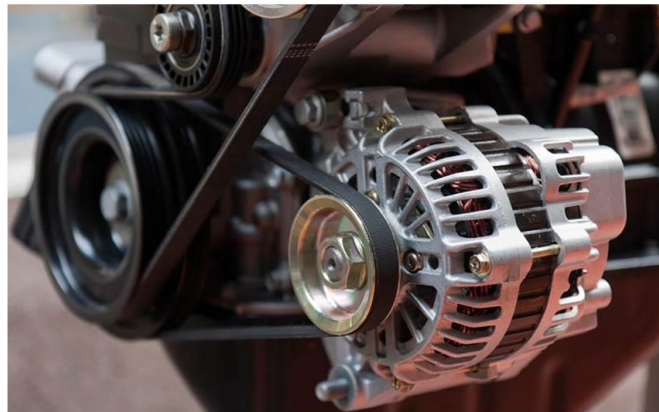
Ну, і, звісно, ще може бути і третій спосіб, коли на місці одночасно використовується і генерована і акумульована енергія, але цей спосіб, фактично, є комбінацією перших двох варіантів електроживлення.

Основні способи живлення нестаціонарного обладнання

- Генерація електричної енергії власними електростанціями
- Накопичення електричної енергії з промислової мережі змінного струму
- Комбінований спосіб (генерація та накопичення)

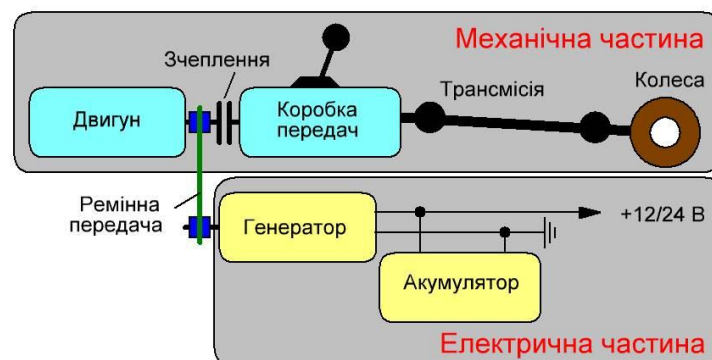
Для генерації електричної енергії безпосередньо на місці необхідно мати невеличку електростанцію, потужність якої повинна бути достатньою для забезпечення потреб обладнання. Дуже добре, якщо десь поблизу є джерело кінетичної енергії – якийсь об'єкт, що рухається, або обертається. Тоді можна встановити електричний генератор, який і перетворює кінетичну енергію на електричну. Саме так зроблено в транспортних засобах. Двигун внутрішнього згоряння чи дизельний двигун разом із трансмісією обертає і електричний генератор, який і забезпечує електричною енергією усе бортове обладнання автомобіля.

Електричний генератор легкового автомобіля



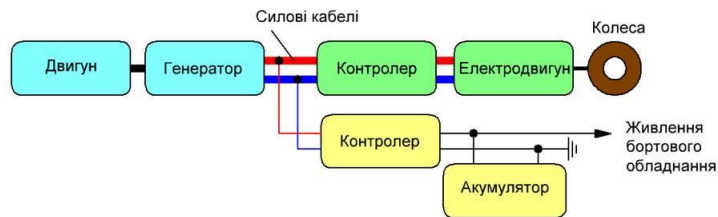
В автомобільній техніці можуть бути два варіанти побудови системи електроживлення. У першому випадку колеса автомобіля з'єднуються з двигуном за допомогою механічної трансмісії, а електрична енергія вироблюється малопотужним генератором, який забезпечує електричною енергією усе бортове обладнання автомобіля. Оскільки головне призначення двигуна – рух автомобіля, то двигун працює у різних режимах із різною кількістю обертів, а це означає, що генератор буде виробляти енергію нестабільно і зовсім не буде виробляти, коли основний двигун не працює. Для того зменшити ці коливання та забезпечити електричною енергією обладнання під час стоянок паралельно генератору підключають невелику акумуляторну батарею, яка виконує роль буфера. Ця батарея використовується також і для запуску двигуна. Така схема електроживлення реалізована у більшості легкових та вантажних автомобілях, мотоциклах літаках, пароплавах та іншому транспорті на основі двигунів внутрішнього згоряння або дизельних двигунів.

Структурна схема силової частини малопотужного автомобіля



Але на великих транспортних засобах інколи використовують і іншу схему передавання потужності від двигуна до рушія. У цьому варіанті використовують електричну трансмісію, яку ще називають електричною передачею. При такому підході уся енергія, яку розвиває головний двигун, за допомогою потужного електричного генератора перетворюється на електричну. Невеличка частина електричної енергії йде на живлення бортового обладнання а основна – на тягові електродвигуни, які, інколи, можуть бути вмонтовані безпосередньо у колеса транспортного засобу.

Структурна схема силової частини потужного транспортного засобу



Електрична трансмісія має багато переваг перед механічною, у першу чергу – менші втрати енергії при передаванні потужності від двигуна до рушія, відсутність коробки передач та інші. До недавнього часу вона використовувалась переважно у великих транспортних засобах: кар'єрних самоскидах, тепловозах, криголамах, важких тракторах, броньованій техніці. Але зараз її все частіше використовують і в транспорті з меншою вантажопідйомністю. З кожним роком усе більше виробників автобусів та позашляховиків використовують цей спосіб передавання потужності. А в гібридних автомобілях т, які можуть працювати від різних джерел енергії, та електромобілях цей тип передачі є одним із основних.

Транспортні засоби із електричною трансмісією



Кар'єрні самоскиди



Тепловози



Криголами



Важкі трактори



Гібридні автомобілі

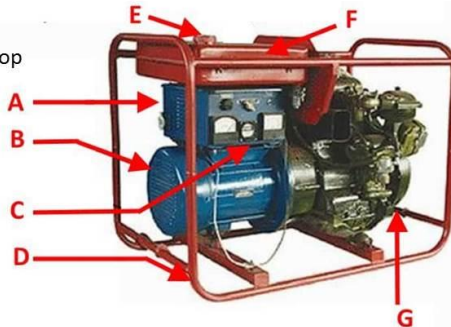


Позашляховики

Отже, коли є двигун, що може обертати генератор, ніяких особливих складнощів для отримання електричної енергії немає. Але що робити, якщо його немає? У даному випадку усе просто – якщо нема двигуна, то його необхідно поставити. Саме по такому принципу пішли виробники автономних електростанцій. У цих силових агрегатах на одній рамі встановлюють двигун внутрішнього згоряння або дизельний двигун, вал якого обертає ротор електричного генератора. Електрична енергія при цьому буде вироблятися поки є паливе у баку.

Бензинова електростанція

- A** – електронний блок керування
- B** – електричний генератор
- C** – контрольно-вимірювальні прилади
- D** – рама
- E** – горловина паливного баку
- F** – паливний бак
- G** – двигун внутрішнього згоряння



Подібні електростанції, які, до речі, можуть бути доволі компактними та легкими, використовують, у першу чергу, різноманітні мобільні ремонтні бригади, яким електрична енергія необхідна безпосередньо на місці проведення робіт. Але зараз усе більше таких електростанцій використовуються у якості резервного джерела електричної енергії на випадок, якщо основне джерело живлення – промислова мережа змінного струму вийде із ладу.

Застосування бензинових та дизельних електростанцій



- Джерело живлення у місцях де немає можливості підключення до промислової мережі (ремонтні бригади)
- Резервне джерело живлення на випадок аварії у промисловій мережі (у тому числі і на підприємствах, що працюють в області інформаційних та телекомунікаційних технологій)

Саме з подібними електростанціями вам, можливо, доведеться стикатися у професійній діяльності, оскільки вони широко використовуються у якості резервного джерела живлення на самих різноманітних підприємствах, у тому числі і на підприємствах, що працюють в галузях інформаційних та телекомунікаційних технологій. Електростанції, що використовуються у системах електроживлення телекомунікаційних та інформаційних підприємств встановлюються стаціонарно на окремому постаменті і мають найвищий рівень автоматизації. Тобто, у процесі експлуатації вона не потребує постійного нагляду чи обслуговування. У випадку аварії в електричній мережі від системи електроживлення буде поданий сигнал запуску і ця електростанція увімкнеться автоматично без допомоги людини. Так само автоматично відбудеться її вимикання у випадку, коли потреби у неї вже не буде. Людина у даному випадку повинна слідкувати лише за рівнем палива у баку. Але на ринку вже давно є автономні електростанції, які у якості пального використовують природний газ і розраховані на підключення до тих ще мереж розподілу природного газу, що і звичайне побутове чи промислове газове обладнання.

Автоматизована дизельна електростанція потужністю 200 кВт



Зверніть увагу, що більшість із цих електростанцій фактично призначені для заміни промислової мережі змінного струму. Вони бувають однофазними та трифазними та генерують електричну енергію змінного струму із частотою 50 Гц. Вихідна напруга сучасних однофазних електростанцій повинна дорівнювати 230 В, а трифазних, відповідно, 230/400 В. Така сумісність дозволяє підключати до таких електростанцій обладнання, що розраховане на живлення від промислової мережі без якихось додаткових перетворювачів чи узгоджувачів.

Зверніть увагу, що через особливості технічної реалізації, більшість автономних електростанцій мають обмеження на мінімальний коефіцієнт потужності обладнання, яке буде до неї підключатися. Для більшості електростанцій мінімальний коефіцієнт потужності обладнання не повинен бути нижчим за 0,8. Якщо підключити до такої електростанції обладнання із гіршою якістю споживання, то схема керування може аварійно вимкнути електростанцію через неможливість підтримання необхідної величини частоти або напруги.

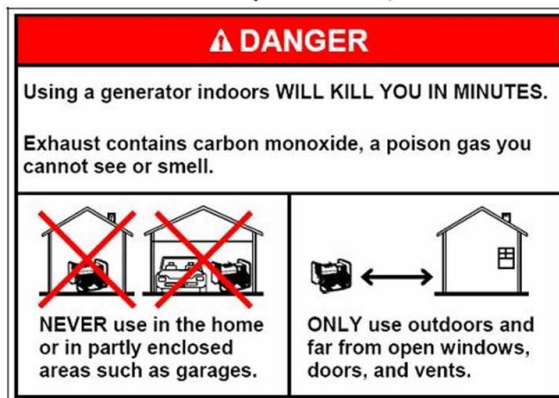
Параметри більшості бензинових та дизельних
електростанцій відповідають параметрам
промислової мережі змінного струму



Отже теоретично система двигун генератор дозволяє вирішити проблему нестачі електроенергії у випадку аварії в електричній мережі або навіть повній її відсутності. Але подібні рішення мають суттєвий недолік. Під час згоряння бензину або дизельного пального утворюються шкідливі речовини, тому ці електростанції можна використовувати тільки на свіжому повітрі і заборонено використання всередині приміщень не обладнаних спеціалізованою вентиляційною системою. Крім того вони є джерелом значного шуму та

вібрації, що також відноситься до їх недоліків. Ну а головним недоліком, звісно, є висока вартість виробленої енергії, оскільки бензин та дизельне пальне є одними із найдорожчих енергоресурсів, тому електрична енергія, вироблена таким способом, вийде, щонайменше у 5 разів, дорожче за електроенергію, отриману від промислової мережі.

Недоліки бензинових та дизельних електростанцій



Ось чому подібні електростанції використовуються лише у випадках, коли інших альтернатив немає. Але цей сегмент ринку електроживлення буде завжди актуальним і деякі компанії можуть пропонувати досить цікаві рішення. Так наприклад компанія Ini Power Systems налагодила випуск портативних генераторів потужністю від 0,5 кВт до 5 кВт. Особливістю цих генераторів є можливість працювати майже на будь-якому виді рідкого або газоподібного пального. До переліку можливих видів пального входять бензин, гас, дизельне пальне, природний газ, пропан, ізопропіловий спирт, метиловий спирт, спиртовмісні рідини і навіть на деякі види лікеру. Такі генератори, судячи з дизайну, можуть використовуватися у якості джерела електричної енергії, наприклад, у туристичних походах або під час відпочинку на природі. Їх також можна використовувати у якості резервного джерела електричної енергії для підзарядки смартфона, ноутбука, або іншого подібного обладнання.

Портативні генератори від компанії INI Power Systems можуть працювати на будь-якому виді рідкого чи газоподібного пального



Зверніть увагу, що усі види хімічного пального: бензин, гас, дизельне пальне, спирт, олія, та навіть просто дрова або вугілля є дуже енергоємним джерелом енергії. Наприклад, при згорянні одного літру бензину, що важить усього 710 г, виділиться приблизно 32,7 МДж або 9,1 кВт·год теплової енергії. Якщо перетворити цю енергію в електричну, то її буде

достатньо для того, щоб один персональний комп'ютер чи ноутбук при середній швидкості енергоспоживання 250 Вт зміг працювати майже цілий робочий тиждень – приблизно 36 годин.

Хімічні джерела енергії



Вага - 710 г
Кількість енергії - 9,1 кВт•год



36,4 годин роботи
(4,5 робочих дня
при споживанні 0,25 кВт)

Якщо ці цифри порівняти із питомими характеристиками, наприклад, автомобільних акумуляторів, то виявиться, що типовий свинцево-кислотний автомобільний акумулятор з напругою 12 В, ємністю 55 А·год та вагою близько 15 кг містить усього 0,66 кВт·год енергії. Тобто, для того щоб накопичити таку ж саму кількість енергії, що міститься і літрі бензину, необхідна акумуляторна батарея щонайменше із 14 свинцево-кислотних автомобільних акумуляторів ємністю 55 А·год, загальна вага якої буде більше 200 кг.

Пальне vs. акумулятори



Вага - 710 г
Кількість енергії - 9,1 кВт•год



Вага - 15 кг
Кількість енергії - 0,66 кВт•год

У одному літрі бензину з вагою 710 г міститься стільки ж енергії скільки міститься у 14 автомобільних акумуляторах із загальною вагою більше 200 кг!

Причому енергія, яку ми отримуємо разом із бензином, не набагато дорожча за енергію, яку ми отримуємо, купуючи електричну енергію. Причому бензин є одним із найдорожчих видів палива. Якщо використовувати більш дешевші дизельне паливо, газ природний газ, або навіть дрова, то виявиться що купувати готову електричну енергію набагато дорожче ніж генерувати її самостійно. Тоді чому ж бензинові та дизельні електростанції використовують лише як резервне джерело електричної енергії, а не як

основне? Чому у кожному дворі не стоїть своя електростанція, підключена, наприклад до газорозподільної системи?. Чому так не роблять на практиці?

Вартість енергії



Середня ціна	0,81 USD/л		
Кількість енергії	9,1кВт•год		
Вартість енергії	0,09 USD/кВт•год	Вартість енергії	0,078 USD/кВт•год

Бо є одна технічна проблема. Звісно, бензин та інші види хімічного пального є дуже енергоємними. І у одному літрі бензину дійсно міститься велика кількість енергії. Але як перетворити її не електричну? При згорянні хімічного пального, неважливо якого: бензину, гасу, природного газу, дров або пелет утворюється тепло. Як перетворити теплову енергію, що є внутрішньою енергією тіла, на електричну?

Сьогодні для цього використовуються теплові машини, найбільш відомими із яких є двигуни внутрішнього згоряння та дизельні двигуни. Але ці агрегати мають дуже низький коефіцієнт корисної дії (ККД). Наприклад ККД типового бензинового двигуна внутрішнього згоряння знаходиться у діапазоні від 20% до 30%. Дизельний двигун більш ефективний, але усе одно ККД більшості із них не перевищує 40%. Найбільший ККД серед теплових машин мають турбіни, що використовуються на електростанціях. Якщо додати сюди ще й використання більш дешевого палива, а у багатьох випадках це вугілля, то тобі стає зрозумілим чому автономні бензинові та дизельні електростанції є дуже дорогим джерелом електричної енергії. Якщо у літрі бензину і міститься 9 кВт•год енергії то після усіх перетворень у вас залишиться у кращому випадку четверта частина, оскільки ця енергія при згорянні спочатку перетвориться на теплову, потім, за допомогою теплової машини, та кінетичну, а вже потім, за допомогою електрогенератора, на електричну.

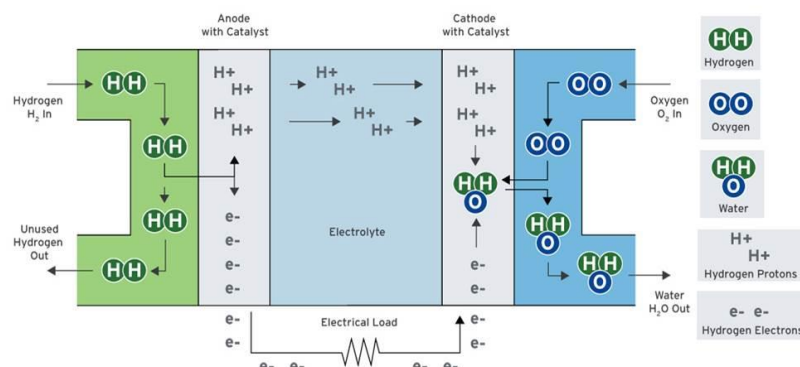
ККД парових машин

Тип парової машини	ККД, %
Паровий двигун	1 – 8
Бензиновий двигун внутрішнього згоряння	20 – 30
Газова турбіна	30 – 35
Дизельний двигун внутрішнього згоряння	30 – 40
Парова турбіна	35 – 45
Двигун авто для Формули-1	50

Але виявляється є і інший шлях енергії валентних зв'язків атомів у молекулах безпосередньо на електричну без усяких проміжних перетворень. Такі джерела електричної енергії називаються паливними елементами. Найбільш відомими з них є паливні елементи, що працюють на водні. Принцип роботи цього елемента полягає у наступному. Газоподібний водень подається у спеціальну камеру, де частина молекул контактує з поверхнею аноду, активованою каталізатором. Під дією каталізатора молекули водню розпадаються на іони. Позитивно заряджені ядра атомів водню через спеціальну протонну мембрану потрапляють в область катода, також активованого каталізатором, де вони вступають у хімічну реакцію із

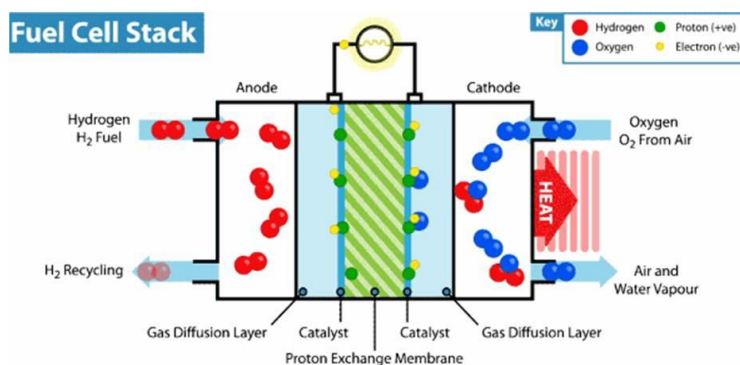
атомами кисню. У результаті цієї реакції утворюються молекули води – так само як і при звичайному спалюванні водню.

Принцип роботи паливного елемента (топливного элемента, Fuel Cell)



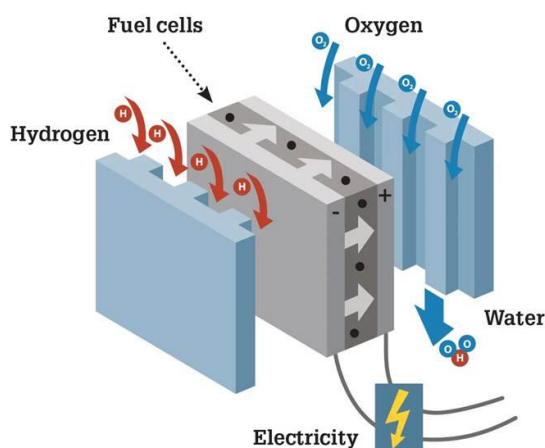
Але для того щоб утворилася повноцінна, електрично нейтральна молекула води необхідні ще й електрони, які колись входили до складу атомів водню. Але ці електрони залишились біля анода, оскільки протонна мембрана, судячи із назви, пропускає лише позитивно заряджені протони і зовсім не пропускає електрони. Тому між анодом та катодом поступово утвориться різниця потенціалів, яка буде заважати протонам водню проходити скрізь мембрану і реакція припиниться. Та якщо до електродів паливного елемента підключити електричне обладнання, то електрони із області аноду через утворене електричне коло зможуть потрапити в область катоду і завершити хімічну реакцію.

Принцип роботи паливного елемента (топливного элемента, Fuel Cell)



Отже у паливному елементі відбувається хімічна реакція, у результаті якої виділяється певна кількість енергії. Ця енергія з'являється у результаті перегрупування атомів у молекулах. Тобто загальна кількість енергії в атомних зв'язках утворених молекулах води виявляється менше, ніж загальна кількість енергії у атомних зв'язках молекул водню та кисню до початку реакції. Та ж сама хімічна реакція відбувається і при звичайному горінні водню. Але на відміну від звичайного горіння, при протіканні енергії у паливному елементі теплоти виділяється набагато менше. Типовий ККД паливного елемента дорівнює не менше 60%, а у найкращих лабораторних зразках доходить до 90%. Отже, саме за допомогою паливного елемента і можна перетворити майже всю енергію хімічного палива на електричну.

Принцип роботи паливного елемента (топливного элемента, Fuel Cell)



Але чому ж тоді більшість людей нічого не чули про ці елементи, і чому вони майже не використовуються на практиці? Дійсно, якщо визначити особливості паливних елементів, то виявиться що у цей перелік входить велика кількість переваг і лише один єдиний недолік – висока вартість. Річ у тому, що у звичайних умовах – при нормальному атмосферному тиску та кімнатній температурі жоден із видів пального не реагує із киснем повітря. Ви добре знаєте, що для того щоб загорівся газ на газовій плиті необхідно піднести запаленого сірника чи скористатися запальничкою. Так і в паливному елементі, для того почалася ця хімічна реакція необхідні певні умови. Необхідно допомогти паливу вступити у хімічну реакцію із киснем. Для цього використовується каталізатор, який хоч і не приймає участі у хімічній реакції, але без нього вона і не відбудеться.

Особливості паливних елементів

Переваги

- Високий ККД (60...80%)
- ККД не залежить від вихідної потужності
- Енергія виробляється поки є паливо
- Екологічна чистота (при використанні палива, вироблено із поновлювальних ресурсів)
- Компактні розміри
- Відсутність високих температур, шуму, вібрації, акустичних шумів
- Можливість роботи на будь-якому виді палива

Недоліки

- **Висока вартість** (одним із відомих каталізаторів є платина, земних запасів якої, при масовому виробництві паливних елементів вистачить лише на 15 – 20 років)

І ось тут і виникають проблеми – таких каталізаторів людству відомо небагато і одним із найвідоміших із них є платина. Отже паливні елементи аж ніяк не можуть бути дешевими – це дуже дороге джерело електричної енергії, яке використовується лише у тих випадках, де немає іншої можливості генерації електричної енергії. Крім того природних запасів платини на Землі дуже мало – це дуже рідкісний метал. Тому, якщо навіть і налагодити промислове виробництво паливних елементів, то усіх світових запасів платини вистачить по оптимістичним прогнозам максимум на 20 років. Крім того, платиновий каталізатор у паливному елементі буде служити вічно лише за умови використання чистого палива, бо при наявності домішок відбувається його отруєння. А це означає, що у реальних паливних елементах дорогий платиновий каталізатор потрібно ще й періодично замінювати.

Паливо для паливних елементів



- Водень
- Метан (природний газ)
- Метанол
- Етанол (етиловий спирт)
- Біопаливо (біогаз, біодизель)

До недавнього часу паливні елементи використовувалися виключно у космічній техніці. Але зараз, по мірі хоч і повільного, але все ж таки розвитку технологій виробництва паливних елементів, ці джерела живлення стали доступними для більш широкого кола застосування. Сьогодні від паливних елементів можуть житися системи зв'язку, розташовані у важкодоступних місцях. Зараз існує певна кількість проектів, призначених для живлення, наприклад ноутбуків, смартфонів або квадрокоптерів. Основним видом палива для невеликих додатків є метанол, або етанол. Для більш потужних вже необхідно використовувати водень, оскільки водневі елементи на сьогоднішній день мають найбільшу ефективність.

Застосування паливних елементів



Водневий паливний елемент космічних кораблів Apollo, призначений для вироблення електричної енергії, тепла та води

- Космічна техніка
- Системи зв'язку
- Портативна техніка
- Електростанції у важкодоступних місцях
- Живлення мобільних пристроїв (автомобілів, літаків, квадрокоптерів та ін.)

На сьогоднішній день паливні елементи є перспективним напрямком заміни важких та габаритних електричних акумуляторів. Багато компаній роблять серйозну ставку на паливні елементи і розробляють на їх основі автомобілі, літаки та іншу техніку. Але, на жаль, перспективним цей напрямок вважається вже кілька десятиріч. І поки що жодна з компаній, що працює у цій сфері не знайшла ефективної заміни ні платині, що й досі використовується у якості каталізатора, ні водню, що поки що є, фактично єдиним видом палива для низькотемпературних паливних елементів. Але перспективи є, і ці перспективи цілком реальні, тому, як тільки знайдуть необхідний каталізатор та простий та дешевий метод отримання водню, чи якого іншого палива, то наш світ за кілька десятиріч може змінитися до невпізнанності.

Застосування паливних елементів



Літак на водневих паливних елементах (2020 р.)



Проект тягача на водневих паливних елементах (2020 р.)



Безпілотний літак на водневих паливних елементах (2020 р.)



Водневий паливний елемент для зарядки портативних пристроїв (2013 р.)



Метанольний паливний елемент для ноутбука (Casio) (2005 р.)



КПК із живленням від метанольного паливного елемента (2005 р.)

Ну а поки що ситуація в області живлення мобільних об'єктів є наступною. Краще за все було б використовувати паливні елементи, але їх вартість дуже велика. Є також бензинові або дизельні електростанції але це дуже великі пристрої, які не можна використовувати всередині приміщень не обладнаних відповідною системою вентиляції. Більш менш проблема вирішена на транспортних засобах – там є власний генератор та акумулятор, які забирають частину механічної енергії основного двигуна та перетворюють її на електричну. Але усі ці рішення зовсім не підходять для живлення різної малогабаритної техніки, такої як смартфони, ноутбуки, інтелектуальні годинники та інших подібних пристроїв. У цих сферах єдиним джерелом живлення залишаються хімічні джерела живлення, відомі вам як батарейки та акумулятори.

Основні джерела енергії для мобільних пристроїв та портативної техніки – батарейки та акумулятори



Отже, на сьогоднішній день існує досить багато варіантів побудови системи електроживлення автономних об'єктів. Наприклад, перелік типів гальванічних елементів та акумуляторів не обмежується лише тими типами, що були розглянуті у даному матеріалі. Тут наведені лише найпоширеніші на сьогоднішній типи, кожен з яких має певні недоліки і обмеження у використанні. Крім того ситуація постійно змінюється. Наприклад, зараз ведуться активні розробки по створенню більш дешевих але не менш ефективних натрій-іонних, натрієво-сірчаних, літій-залізо-фосфатних та інших типів акумуляторів. На момент написання цього матеріалу вони поки ще набули широкого розповсюдження. Але є велика імовірність, що, коли ви почнете свою трудову діяльність, типи гальванічних елементів та типи акумуляторів вже будуть другими. Але, у будь-якому випадку основні характеристики та підходи до аналізу джерел живлення автономних об'єктів залишаться незмінними ще на протязі досить тривалого часу.

Лекція 12. Особливості електроживлення мікропроцесорів

Персональні комп'ютери, ноутбуки, мобільні телефони, смартфони, інтелектуальні годинники та інші цифрові пристрої вже давно стали невід'ємною частиною нашого життя. Незважаючи на те, що усі ці різновиди обладнання мають різне функціональне призначення, і розраховані на роботу від свого джерела живлення, у них є одна загальна особливість – головним елементом цих пристроїв є мікропроцесори – пристрої, що працюють під керівництвом певного програмного забезпечення. Тому перед тим як розібратися із живлення персональних комп'ютерів, слід спочатку зрозуміти як працює мікропроцесор і чому його електроживлення має певні особливості.

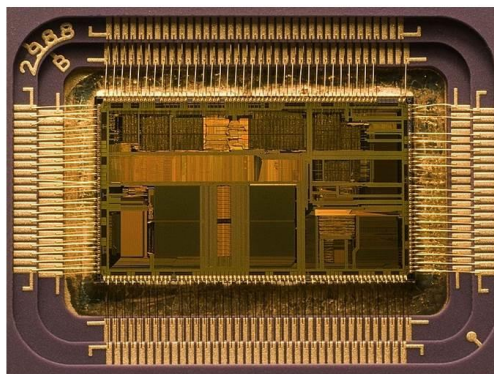
Персональний комп'ютер
(середина 80-х років XX сторіччя)



Мікропроцесор – це електронна схема, яка складається із великої кількості вузлів, кожен з яких складається із логічних елементів, кожен з яких, у свою чергу, складається із електронних компонентів – транзисторів, діодів, резисторів та інших елементів. Загальна кількість елементів у сучасному процесорі дуже велика. У першому мікропроцесорі Intel 4004, який був створений у 1971 році, було усього 2300 транзисторів. Кількість транзисторів у сучасних процесорах може дорівнювати кільком трильйонам. Щоб уявити собі таку кількість достатньо згадати, що наша галактика має приблизно 8 трильйонів зірок, отже загальна кількість транзисторів у 10 сучасних процесорах перевищує кількість зірок у нашій галактиці.

Та з точки зору електроживлення зовсім неважливо яку кількість транзисторів має та чи інша мікросхема, бо незалежно від її потужності та функціонального призначення усі вони споживають електричну енергію абсолютно однаково. Тому давайте розбиратися, як споживає електричну енергію звичайний мікропроцесор.

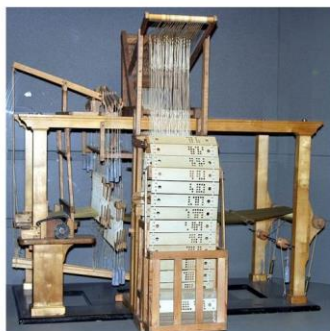
Кристал мікропроцесора
Intel 80486DX2



У загальному випадку мікропроцесор можна зібрати налюбій елементній базі. Перші апарати, здатні працювати за програмою, створювались на механічній основі. Перший програмно керований ткацький верстат, що працював за програмою, записаною на

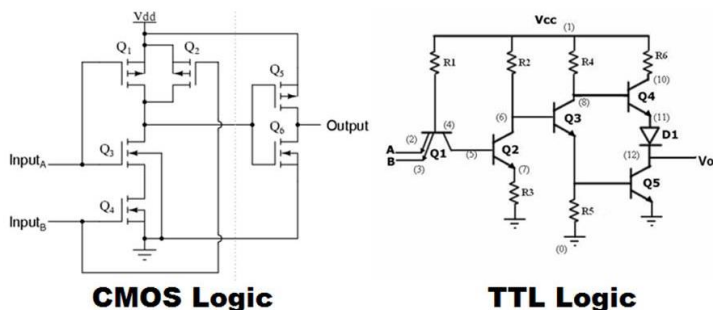
перфокартах, було створено у 1801 році. Перші механічні калькулятори – арифмометри почали серійно виготовляти з 1820 року. Але найбільший розвиток обчислювальна техніка отримала у XX сторіччі після розвитку електроніки. Спочатку обчислювальну техніку з програмним керуванням створювали на електронних лампах, потім на дискретних транзисторах. Та вже у 60-х роках XX сторіччя стало зрозуміло, що загальна кількість елементів, яку може містити електронний пристрій обмежена його надійністю. Тобто, не можна нескінченно нарощувати кількість окремих електронних компонентів – рано чи пізно настане межа, коли велика кількість пайок на з'єднань між елементами призведе до того, що ця техніка буде більше знаходитися у ремонті ніж працювати. Тоді почали активно розробляти мікросхеми – бо їх виробництво можна більш жорстко контролювати. У 1971 році компанія Intel створила перший мікропроцесор, і цей рік є стартовою точкою епохи комп'ютеризації.

Ткацький верстат Жаккарда з програмним керуванням (1801 р.)



Спочатку було багато експериментів. Та у кінці XX сторіччя серед великої кількості технологій, на яких можна було побудувати мікропроцесор, фактично залишилося лише дві: транзисторно-транзисторна логіка (ТТЛ) (Transistor-Transistor Logic TTL) та логіка на основі комплементарних структур метал-оксид-напівпровідник (КМОН) (Complementary metal-oxide semiconductor CMOS). Головною різницею цих двох технологій була елементна база: основою ТТЛ логіки були біполярні транзистори, а КМОН-структур – польові транзистори із ізольованим затвором. До кінця 80-років XX сторіччя пристрої на ТТЛ логіці були більш поширеними за КМОН аналоги. Проте з початку 90-х років після освоєння нових технологій виробництва, КМОН логіка почала домінувати над ТТЛ і зараз пристрої на основі ТТЛ вже практично не випускаються.

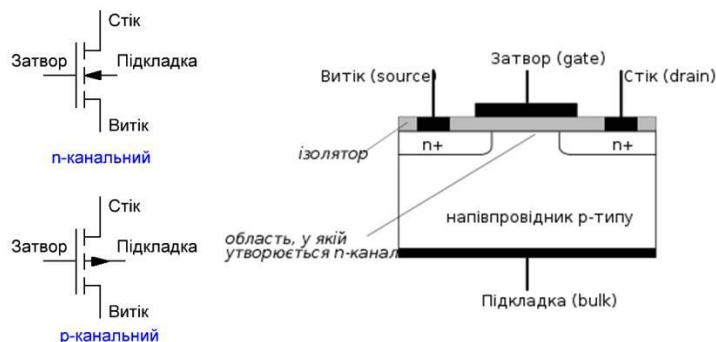
Тип логічних елементів



Основою КМОН структур є польові транзистори з ізольованим затвором та інжектованим каналом. Цей транзистор має чотири виводи: витік та стік є виводами між якими протікає вихідний струм, а затвор та підкладка призначені для керування струмом між витіком та стоком. За типом каналу існують польові транзистори з n-каналом, у яких у основними носіями заряду є електрони, та з p-каналом, у яких у якості носіїв заряду

виступають дірки (вільні місця в електронній оболонці атомів напівпровідника, де могли б бути електрони), які утворюються після легування напівпровідника спеціальними домішками.

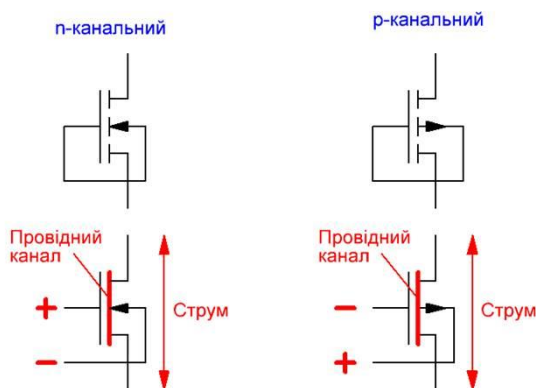
Польовий транзистор з ізольованим затвором



Якщо у транзисторах з інжектованим каналом між затвором та підкладкою немає напруги, то струм між виток та стоком не протікає. Та якщо між затвором та підкладкою подати напругу, яка перевищує певне порогове значення, то між виток та стоком утворюється (інjektується) провідний канал із малим опором, після створення якого між виток та стоком починає протікати струм.

Зверніть увагу на дві речі. По-перше, після створення провідного каналу струм між виток та стоком може протікати у будь-якому напрямку, а по-друге, транзистори із різним типом каналу потребують різної полярності напруги між затвором та підкладкою. Для того, щоб n-канальний польовий транзистор почав проводити струм, його затвор повинен мати більший потенціал ніж підкладка. Для р-канального транзистора усе навпаки – для того що він почав проводити струм потенціал його затвора повинен бути меншим за потенціал підкладки. Тобто n-канальні та р-канальні транзистори мають різну полярність напруги керування. Це дуже важливо.

Принцип роботи польового транзистора з ізольованим затвором



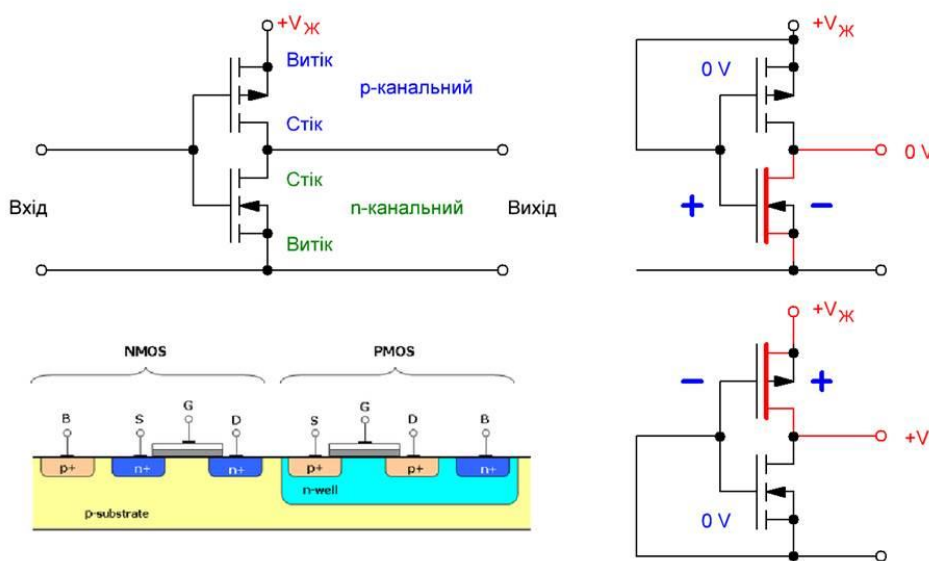
КМОН структура утворюється двома польовими транзисторами із ізольованим затвором, що мають різні типи каналів. Електричні характеристики цих транзисторів приблизно однакові, але через те, що вони мають різні типи каналів, то вони якби доповнюють один одного. Саме тому цю пару називають комплементарною, тобто такою, що доповнює один одного. У верхнє плече встановлюють транзистор з р-каналом, причому так, що його підкладка з'єднується з виток та підключається до позитивного полюсу джерела

живлення. У нижнє плече встановлюють транзистор з п-каналом так, щоб його підкладка, яка також з'єднується із витоком, підключалася до негативного полюса джерела живлення. Стоки та затвори транзисторів верхнього та нижнього плеча об'єднуються. Затвори підключаються до входу, а стоки, відповідно, до виходу утвореної схеми.

Якщо підключити вхід цього логічного елемента до негативного полюса джерела живлення (до загального для усіх кіл провідника), то затвор транзистора нижнього плеча виявиться з'єднаним із його підкладкою та витоком, тобто напруга між затвором та підкладкою транзистора нижнього плеча буде дорівнювати нулю. Цього недостатньо для створення провідного каналу, тому струм витоком та стоком п-канального транзистора нижнього плеча протікати не буде. А от напруга між затвором та підкладкою транзистора верхнього плеча виявиться під напругою, що дорівнює напрузі джерела живлення, причому полярність цієї напруги буде негативна (по відношенню до витоку та підкладки цього транзистора). У результаті між витоком та стоком польового транзистора верхнього плеча утвориться провідний канал, опір між його витоком та стоком зменшиться майже до нуля і на виході логічного елемента з'явиться напруга, яка буде дорівнювати напрузі живлення.

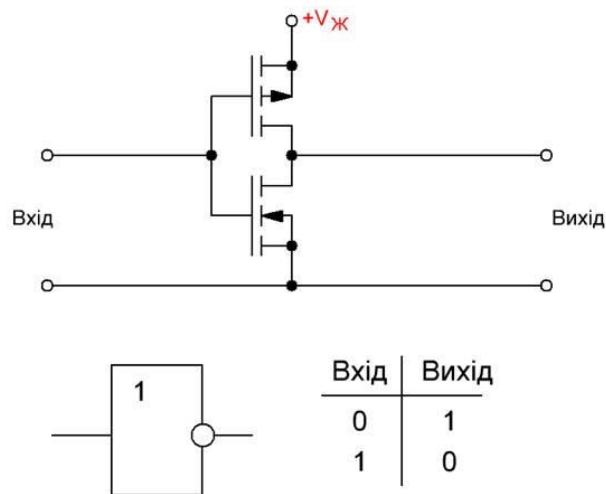
А от якщо підключити вхід цього логічного елемента до позитивного полюса джерела живлення, то усі процеси підуть навпаки. Транзистор верхнього плеча закритється, оскільки напруга його між затвором та підкладкою буде дорівнювати нулю, а от транзистор нижнього плеча навпаки – відкриється, тому що на його затворі з'явиться позитивна (відносно витоку та підкладки) напруга, що дорівнює напрузі джерела живлення. Таким чином опір між витоком та стоком транзистора нижнього плеча зменшиться майже до нуля, і напруга на виході логічного елемента також стане дорівнювати нулю.

Принцип роботи КМОН структури



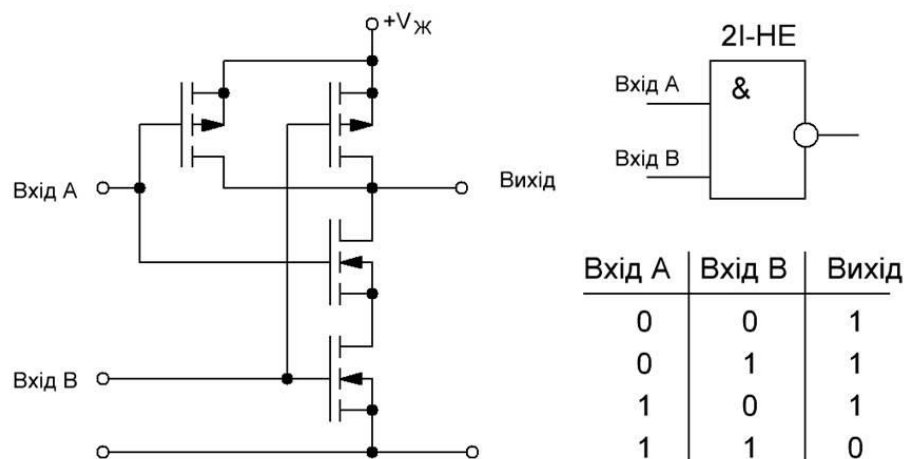
Така структура за своїм функціональним призначенням є логічним інвертором, пристроєм призначеним для інвертування логічного рівня вхідного сигналу. Тобто, якщо на його вхід подати логічний нуль, то на його виході буде логічна одиниця, і навпаки, якщо на його вхід подати логічну одиницю, то на його виході буде логічний нуль. Логічні інвертори є одними із елементарних «цеглин» сучасних процесорів. Незважаючи на свою простоту вони є повноцінними елементами сучасних мікропроцесорів.

Логічний інвертор



На таких комплементарних структурах можна побудувати будь-який, навіть самий складний логічний елемент. Трішки модифікувавши схему можна побудувати, наприклад, елемент 2І-НЕ, який, як відомо, є універсальним логічним елементом, за допомогою якого можна реалізувати будь яку логічну функцію, у тому числі і базові функції І, АБО та НЕ. Отже якщо створити на одному кристалі кілька мільярдів таких елементів і з'єднати їх відповідним чином, то у результаті ми отримаємо сучасний мікропроцесор. До речі, саме так і роблять на практиці.

Елемент 2І-НЕ



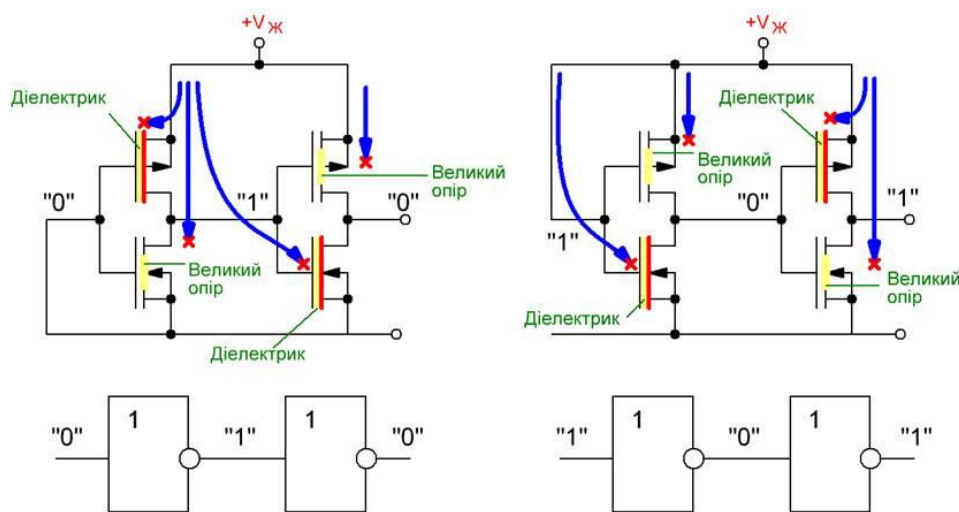
Та до чого тут електроживлення? Давайте з'єднаємо каскадно два логічні інвертори і подивимося, що відбувається у схемі. Якщо вхід першого інвертора підключити до загального провідника, то на вході першого інвертора буде сигнал із рівнем, що дорівнює рівню логічного нуля. Але через вхід першого інвертора струм протікати не буде, оскільки його затвор електрично ізолюваний від інших кіл діелектриком. Транзистор верхнього плеча першого інвертора буде знаходитися у відкритому стані, і на виході першого інвертора буде напруга живлення (рівень логічної одиниці), але струм через транзистор верхнього плеча

також протікати не буде, оскільки транзистор нижнього плеча заходиться у закритому стані і опір між його витоком та стоком дуже великий. Також не буде протікати струм і через затвор транзистора нижнього плеча другого інвертора, бо він також ізольований діелектриком. Отже, незважаючи на те, що транзистор верхнього плеча першого інвертора знаходиться у відкритому стані, струму між його витоком та стоком нікуди протікати бо на усіх можливих шляхах його протікання знаходяться ділянки із дуже високим опором – або діелектрики затворів, або закриті канали інших транзисторів. Так само не буде протікати струм і через транзистори другого інвертора, бо на усіх шляхах їх можливого протікання також знаходяться ділянки із високим опором.

Отже, через жоден із транзисторів логічних елементів, побудованих на основі КМОН структур, струм протікати не може. А якщо струм не протікає, то ці елементи і не споживають електричну енергію, бо, ви пам'ятаєте, що швидкість споживання енергії це є потужність, а потужність де добуток напруги та струму. Напруга у схемі є, а от струму немає, тому і швидкість споживання енергії, тобто потужність, також дорівнює нулю.

Звісно, можна зауважити, що безкінечного опору не існує, і як би ми не старалися, усе одно у схемі буде протікати хоч і невеличкий, але певний струм. Це дійсно так, але цей струм дійсно настільки малий, що його дуже складно навіть виміряти, тому прийміть це як факт. Коли КМОН елементи знаходяться у статичному стані, електричну енергію вони не споживають. До речі, це є однією із головних причин відмови від технології ТТЛ, оскільки біполярні транзистори споживають енергію завжди, і досить велику кількість. А от КМОН логіка у статичному режимі електричну енергію не споживає.

У схемі не протікає жодного струму!



Та чому ж тоді комп'ютери мають такі потужні блоки живлення? Чому усі процесори потребують охолодження? Причому охолодження інколи може бути досить складним, бо для потужних мікропроцесорів простого вентилятора буває замало, і на них встановлюють потужні водяні системи охолодження. Усе це якось не співпадає із тим, що тільки що було показано. Отже процесор таки споживає енергію, але коли?

Персональний комп'ютер із водяною системою охолодження процесора



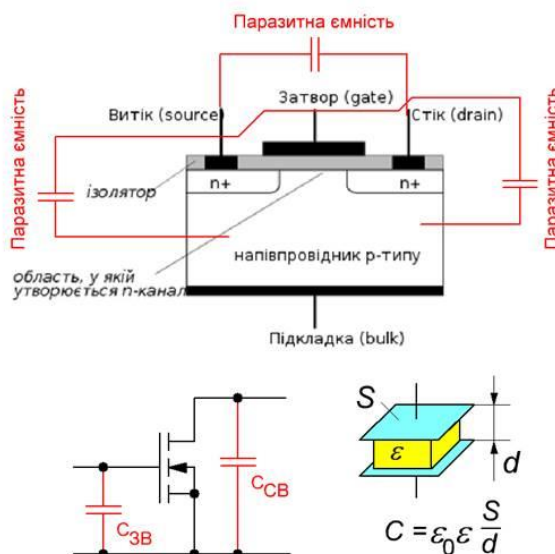
Для того, щоб розібратися у цьому питанні слід спочатку згадати, щолюбий електронний компонент є реальним фізичним елементом і має певні геометричні розміри. А тепер ще раз уважно подивіться на будову польового транзистора. Його затвор із площею S , ізолюваний від інших елементів шаром діелектрика із діелектричною проникністю ϵ та товщиною d . Отже структура затвор-підкладка фактично є конденсатором, що має певну електричну ємність, яку можна розрахувати за формулою:

$$C = \epsilon_0 \epsilon S / d;$$

де $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – діелектрична проникність вакууму або електрична стала.

Аналогічні паразитні конденсатори утворюються і між іншими електродами транзистора: виток та сток, затвором та витком, затвором та стоком, витком та підкладкою тощо. Ємність цих конденсаторів залежить від багатьох факторів, у тому числі і від температури та режиму роботи транзистора. Щоб спростити інженерні розрахунки, у технічній документації на польові транзистори, зазвичай, вказують еквівалентні значення двох головних ємностей: вхідної $C_{ЗВ}$ – між затвором та витком – та вихідної $C_{СВ}$ – між стоком та витком. Саме ці паразитні ємності і є причиною енергоспоживання мікропроцесорів.

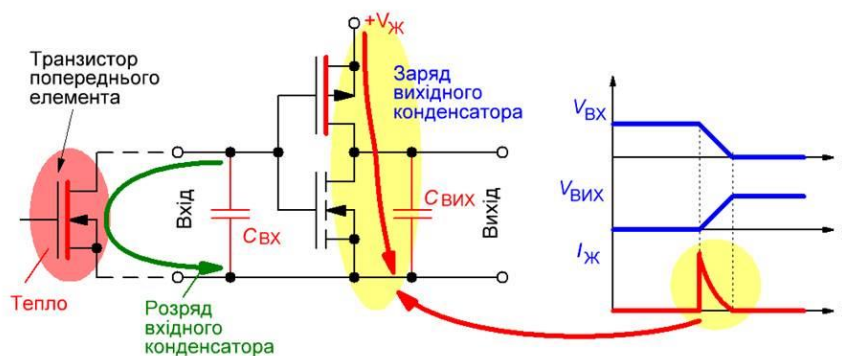
Паразитні ємності польового транзистора з ізолюваним затвором



Особливістю любого конденсатора є здатність накопичувати енергію в електричному полі діелектрика, що знаходиться між його обкладинками. Коли рівень сигналу на вході логічного інвертора змінюється з рівня логічної одиниці до рівня логічного нуля, то на виході рівень сигналу повинен змінитися із рівня логічного нуля до рівня логічної одиниці. Але ж на виході схеми є паразитна ємність $C_{\text{вих}}$, яка до цього часу була розряджена. Звідки взяти електричну енергію для її заряду? Зрозуміло, що тільки із джерела живлення. Отже, після відкривання транзистора верхнього плеча між його витоком та стоком почне протікати струм заряду вихідної паразитної ємності $C_{\text{вих}}$. Як тільки ця ємність зарядиться, напруга на виході стане дорівнювати напрузі живлення, протікання струму припиниться, і схема перестане споживати електричну енергію.

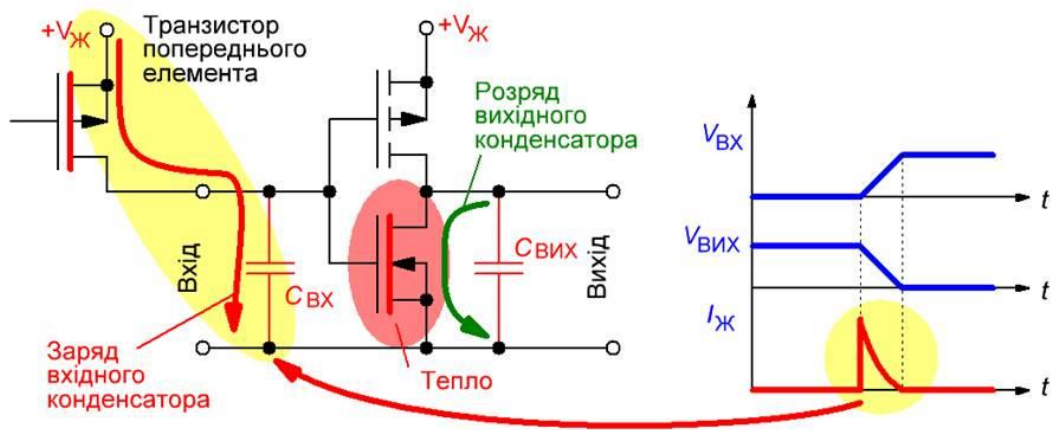
А що відбувається у входних колах? До моменту зміни входного сигналу входна паразитна ємність $C_{\text{вх}}$ була заряджена до величини напруги живлення, бо до перехідного процесу на вході інвертора був рівень логічної одиниці. Отже, до початку перемикавання у діелектриках входної ємності знаходилась певна кількість енергії. Коли рівень входного сигналу стане дорівнювати рівню логічного нуля, входна ємність повинна бути повністю розряджена, тобто не повинна містити ніякої енергії. А куди діти ту енергію, яка вже у цій ємності знаходилась? А ця енергія розсіюється на кристалі вихідного транзистора попереднього каскаду у вигляді тепла, оскільки у схемі більше немає ніяких елементів, які могли її поглинути. Отже, при зміні рівні сигналу на вході логічного інвертора із рівня логічного нуля до рівня логічної одиниці, із джерела живлення буде спожито певну кількість енергії, а сам кристал мікроконтролера трішки нагріється, тому що на ньому буде розсіяно також певну кількість енергії.

Електричні процеси при зміні рівня сигналу на вході логічного інвертора із логічного нуля у логічну одиницю



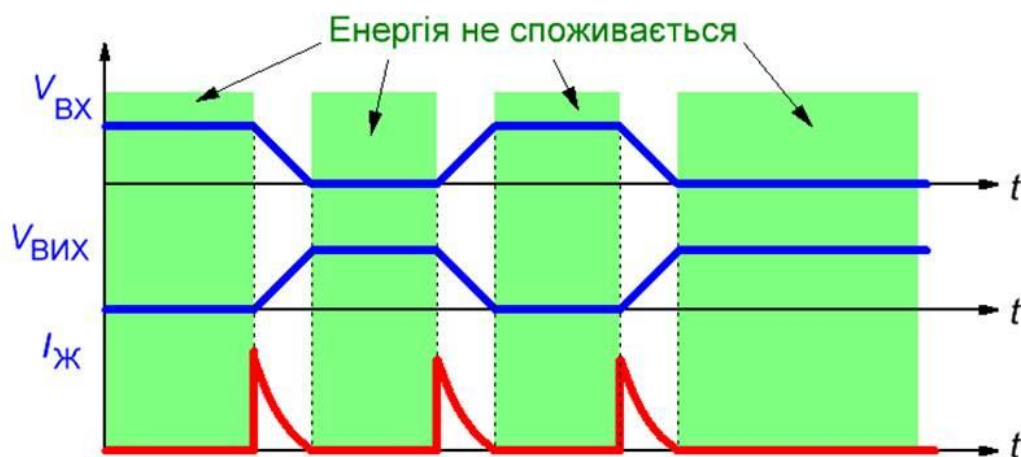
Я певен, ви вже здогадалися, що при зворотному перемиканні логічного інвертора, коли сигнал на вході змінюється із рівня логічного нуля до рівня логічної одиниці, енергетичні процеси у схемі аналогічні. Тільки у цьому випадку усе відбувається навпаки: входна ємність $C_{\text{вих}}$ тепер необхідно розряджається, а входна $C_{\text{вх}}$ – заряджається. Так само, як і при зворотному перемиканні, енергія для заряду входної ємності береться із джерела живлення, а енергія, що знаходилась у вихідній ємності, розсіюється на кристалі у вигляді тепла. Шляхи протікання струмів заряду та розряду, відповідно, входної та вихідної паразитних ємностей показані на рисунку, і я певен, ви вже зможете самотійно в них розібратися.

Електричні процеси при зміні рівня сигналу на вході логічного інвертора із логічної одиниці до логічного нуля



Отже КМОН елементи споживають енергію тільки тоді, коли відбувається зміна їх стану. Через це струм, що споживає мікропроцесор, має яскраво виражену імпульсну форму. Частота імпульсів споживаного струму відповідає частоті перемикань внутрішніх елементів. Зазвичай вона дорівнює подвоєній робочій частоті тактового генератора, оскільки за один період тактового сигналу може відбутися два перемикання внутрішніх елементів: одне – у момент, коли логічний рівень тактового сигналу переходить із нуля в одиницю, і друге – коли із одиниці у нуль.

КМОН елементи споживають енергію тільки при зміні стану!



А от амплітуда імпульсів струму залежить від того, яка кількість внутрішніх елементів перемикається у даний момент. А це вже залежить від конкретної програми та навіть від конкретних даних, які оброблюються мікропроцесором у даний момент. Крім того, не забувайте, що майже енергія, що була спожита від джерела живлення, перетворюється на тепло, бо мікропроцесор окрім тепла фактично нічого не випромінює. Звідси можна зробити один важливий висновок: чим більша частота роботи процесора, тим більшу кількість енергії він споживає і, відповідно, тим більша кількість тепла виділяється на кристалі процесора.

Струм, що споживає мікропроцесор, має імпульсний характер із частотою імпульсів, удвічі більшою за частоту тактового сигналу



І є ще один важливий висновок, який вже виходить за межі електроніки і стосується безпосередньо програмування. Чим більше арифметико-логічних операцій відбувається у програмі, тим більша кількість елементів мікропроцесора перемикається, і, відповідно, тим більша кількість енергії споживається. Цю особливість слід особливо запам'ятати програмістам, що пишуть програми для додатків із живленням від батарей. Зменшення кількості операцій, що виконуються процесором, наприклад, зменшення кількості вкладених підпрограм, або зменшення загальної кількості перевірок якихось подій, дозволить не тільки прискорити роботу програми, а ще й збільшити час автономної роботи. Недарма зменшення частоти тактового генератора для режимів роботи, у яких не передбачено велике обчислювальне навантаження на мікропроцесор, є ефективним засобом для зменшення енергоспоживання.

Чим більше арифметико-логічних операцій у програмі, тим більшу кількість енергії необхідно витратити на її виконання

```
// Listing2.cpp : Defines the entry point
// for the console application.
//
#include "stdafx.h"
#include <iostream>
#include <cstdlib>

int main(int argc, char* argv[])
{
    int av2 = atoi(argv[2]);

    for (int i = 1; i <= av2; i++)
        std::cout << argv[1] << "\n";

    return 0;
}
```

Зменшення операцій це, звісно, ефективний спосіб зменшення тепловиділення та споживання енергії. Але ж мікроконтролери були створені для того, щоб ці операції виконувати – це їх пряма функція. Чи можна ще якось зменшити рівень їх

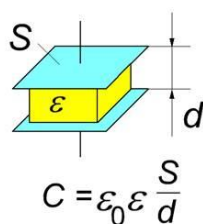
енергоспоживання? Ми вже з'ясували, що уникнути наявності паразитних ємностей у польових транзисторах не можна. Але може їх якось можна мінімізувати? Розбираємося далі.

Кількість енергії E , яка зберігається у конденсаторі ємністю C , пропорційна величині його ємності та квадрату напруги (у даному випадку – напруги живлення $V_{\text{ж}}$) між його обкладинками:

$$E = 0,5CV_{\text{ж}}^2$$

Отже ми маємо два шляхи можливого зменшення енергоспоживання процесора: зменшення паразитної ємності та зменшення напруги живлення.

Шляхи зменшення енергоспоживання мікропроцесорів



$$E = \frac{CV_{\text{ж}}^2}{2}$$

- **Зменшення напруги живлення** (зменшення напруги живлення $V_{\text{ж}}$ у два рази, дозволить зменшити енергоспоживання у чотири рази)
- **Зменшення геометричних розмірів транзистора** (чим менші розміри, тим менша величина паразитної ємності C між выводами)

Зменшення напруги живлення є ефективним засобом зменшення енергоспоживання. Зменшення напруги живлення удвічі дозволяє зменшити енергоспоживання учетверо, оскільки величина енергоспоживання пропорційна квадрату напруги живлення.

Перші КМОН мікросхеми мали можливість працювати у широкому діапазоні напруги живлення: від 3 В до 15 В. Але їх швидкодія була невеликою, навіть кращі серії КМОН мікросхем не могли працювати на частотах більше 1 МГц. Через це сфера їх використання була доволі обмеженою. В основному це були невеликі автоматизовані пристрої, охоронні системи, що не потребували великої кількості обчислень. Типова напруга живлення подібної техніки, частіше за все дорівнювала 12 В, а загальне енергоспоживання, через низьку обчислювальну спроможність було дуже малим.

Мікросхеми ТТЛ, які на протязі досить тривалого часу були домінуючими на ринку високошвидкісних додатків, мали напругу живлення 5 В. Саме ця напруга стала де факто першою стандартною напругою для живлення більшості цифрових пристроїв. Саме на цю напругу, розраховані більшість портів вводу-виводу персональних комп'ютерів та іншої цифрової техніки. Таку напругу, наприклад, має паралельний порт LPT, до якого можна підключати принтери та іншу оргтехніку, або порти PS/2, до яких підключаються клавіатура та миша. Саме з такими рівнями цифрових сигналів працює порт SVGA, до якого підключається монітор (через цифровий інтерфейс цього порту передається інформація про модель монітора). А самий відомий порт, який має таку напругу живлення, є універсальний послідовний порт USB. Через це і більшість смартфонів розраховані на живлення від напруги 5 В – це було зроблено для того, щоб їх можна було підключати до персональних комп'ютерів без додаткових узгоджувачів або перехідників. На сьогоднішній день напруга 5 В є найбільш поширеною напругою для малих та середніх цифрових пристроїв.

Але після припинення масового використання ТТЛ мікросхем необхідності у такій високій напрузі вже нема. Тому з кожним роком усе більше виробників електронних компонентів поступово переходять на напругу живлення 3,3 В, яка дає можливість зменшити енергоспоживання без істотного зменшення продуктивності. Зараз стандарти 5 В та 3,3 В

успішно конкурують між собою, і єдина причина широкого використання напруги 5 В – це велика кількість вже існуючих пристроїв та стандартів, які буде важко перевести на іншу напругу живлення.

Наступним кроком зменшення енергоспоживання цифрових пристроїв є перехід на напругу 2,5 В, але зараз кількість радіоелементів із такою напругою живлення, поки що мала.

Усі зазначені вище напруги є стандартними і підходять для цифрових пристроїв, малих та середніх мікроконтролерів та мікропроцесорів. Але коли потрібно робити велику кількість арифметико-логічних операцій, то використання такої високої напруги живлення призведе до значного розігріву мікросхеми. Тому усі потужні процесори мають напругу живлення у діапазоні від 0,8 В до 2,5 В. Єдиного стандарту тут немає – і кожен виробник обирає ту напругу, за якою його прилад зможе забезпечити необхідну працездатність мікросхеми.

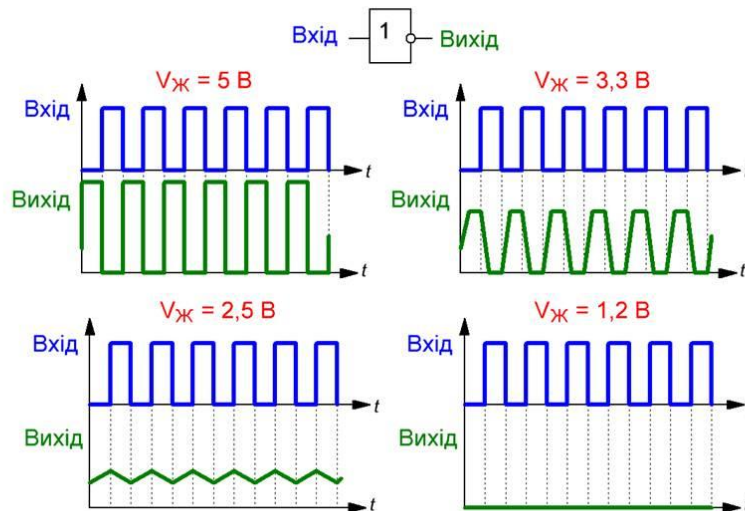
Стандартні напруги живлення цифрової техніки

- **3...15 В** (зазвичай – **12 В**) – напруга живлення низькочастотних (до 1 МГц) КМОН мікросхем (охоронні системи, пристрої протипожежного захисту, нескладна промислова автоматика, автомобільна автоматика)
- **5 В** – напруга живлення ТТЛ мікросхем, комп'ютерних портів PS/2, USB, цифрових КМОН мікросхем та мікроконтролерів загального призначення («розумний будинок», пристрої Інтернету речей, побутова техніка, промислова автоматика)
- **3,3 В** – наступний (після 5 В) стандарт напруги, розповсюджений так же широко, як і стандарт 5 В
- **2,5...2,7 В** – наступний (після 3,3 В) стандарт напруги, поки що не набув широкого використання
- **0,8...2,5 В** – потужні мікропроцесори (комп'ютери, смартфони тощо)

Та чи можна взагалі зменшити напругу живлення. Виявляється не можна, бо від напруги живлення, яка фактично прикладається між затвором та витоком польових транзисторів, залежить величина опору їх каналів і відкритому стані, а від них, у свою чергу, залежить швидкість перезаряджання паразитних ємностей транзисторів. Якщо напруга між затвором та витоком буде низькою, то зменшиться крутизна фронтів вихідної напруги і вхідні та вихідні паразитні ємності просто не встигнуть зарядитися до необхідної величини. А якщо напруга живлення буде меншою ніж порогове значення для відкривання польових транзисторів, то схема взагалі не буде працювати.

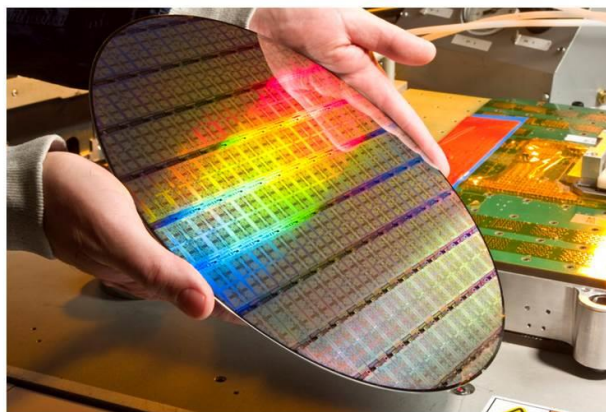
Ось чому деякі «фахівці», що люблять експериментувати із процесорами персональних комп'ютерів, для того щоб їх «розігнати» – змусити працювати на більш високій частоті – повинні разом із частотою збільшувати напругу живлення, бо недостатня швидкість перезаряджання паразитних ємностей призведе не нестабільної роботи системи, або до повної її відмови. Але ви тепер знаєте, що збільшення напруги живлення та збільшення частоти перемикання призведе до збільшення тепловиділення на кристалі, тому якщо не приймати додаткових заходів, у даному випадку – збільшення потужності системи охолодження, то мікросхема дуже швидко перегріється і, можливо, навіть вийде з ладу.

Вплив напруги живлення на форму вихідного сигналу



Отже зменшення напруги живлення є ефективним засобом для зменшення енергоспоживання, але його використання має певні межі. Та є ще один засіб, який дозволяє одразу і зменшити енергоспоживання і зменшити напругу живлення, а, отже, і ще більш зменшити енергоспоживання – це зменшення геометричних розмірів транзисторів. Але цей захід дуже складний та дорогий, оскільки зменшення розмірів напівпровідникових елементів потребує розробки зовсім інших технологій.

Енергоспоживання мікроконтролера залежить від роздільної здатності техпроцесу виробництва



Фізичні розміри будь якого елемента, що виготовляється на кристалі мікросхеми безпосередньо залежить від роздільної здатності технологічного процесу. Перші мікропроцесори виготовлялись по технологічному процесу, роздільна здатність якого дорівнювала 10 мікрон. Зараз подібні мікросхеми випускаються по техпроцесу, роздільна здатність якого у тисячу разів більше і дорівнює, залежно від виробника, від 7 або 10 нанометрів. І це ще не межа. Найближчим часом більшість провідних виробників напівпровідникових компонентів планує перейти на технологічні процеси із роздільною знатністю 3 нанометри, а компанія Intel прогнозує перехід та техпроцес із роздільною здатністю 1,4 нм. А це означає, що при тій же самій продуктивності, енергоспоживання і, відповідно, температура кристала, будуть ще зменшуватися.

Роздільна здатність технологічних процесів виготовлення напівпровідникових мікросхем

- **10 мкм** – Intel 4004 (1971 рік)
- **3 мкм** – Zilog Z80 (1975 рік), Intel 8086 (1979 рік)
- **1 мкм** – Intel 80386 (1985 рік)
- **0,6 мкм** – Intel Pentium (1994 рік)
- **0,13 мкм** – AMD Athlon XP, Intel Pentium III (початок 2000-х років)
- **45 нм** – Intel Core 2 Quad, Fujitsu SPARC64 VIIIfx (2007 рік)
- **14 нм** – Celeron N3000, N3050, N315, Apple A10 (2015 рік)
- **10 нм** – Apple A11, Snapdragon 845 (2017 рік)
- **7 нм** – Apple A12, Kirin 980, Snapdragon 855, Intel Ice Lake (2019 рік)
- **3 нм** – Cadence Design Systems (перші дослідні зразки) (2018 рік), Samsung (планується у 2021 році)
- **1,4 нм** – Intel (планується у 2029 році)

Отже мікропроцесор просто фізично не може мати високу напругу живлення. Для цифрових пристроїв із малою та середньою працездатністю, ця напруга становить або 5 В, або 3,3 В, причому чим менша напруга живлення, тим менше енергоспоживання та виділення тепла на кристалі мікросхеми. А от для потужних мікропроцесорів навіть така мала напруга живлення є дуже завеликою, тому для створення персональних комп'ютерів, смартфонів, телекомунікаційного та іншого обладнання, що потребує великої кількості обчислень, використовують мікросхеми, напруга живлення яких може дорівнювати усього 0,8 В. Ну і, звісно, не потрібно забувати, що енергоспоживання кінцевого пристрою багато у чому залежить від майстерності програміста, який створює для нього програмне забезпечення.

Висновки

- Мікропроцесори фізично не можуть мати велику напругу живлення, бо виділення тепла на кристалі пропорційне квадрату напруги живлення мікросхеми та її робочої частоти
- Енергоспоживання мікропроцесорів залежить від геометричних розмірів напівпровідникових компонентів
- Типова напруга живлення сучасних мікропроцесорів дорівнює 5 В або 3,3 В (мікросхеми малої та середньої працездатності), для потужних процесорів – 0,8...2,5 В
- Енергоспоживання мікропроцесора залежить від змісту програми та оброблювальних даних

Лекція 13. Електроживлення персонального комп'ютера

Персональні комп'ютери залишаються одним із найпоширеніших видів обчислювальних пристроїв. На сьогоднішній день вже важко знайти професію, де б не використовувались персональні комп'ютери, або як основний робочий інструмент (письменники, бухгалтери, оператори) або як допоміжний (наприклад, довідникова система слюсаря СТО для пошуку запчастин).

У сучасних бізнес-центрах можуть одночасно працювати кілька тисяч комп'ютерів. А це означає, що фахівці, що вміють налагоджувати, ремонтувати та підтримувати цю техніку у робочому стані, буде робота щонайменше на кілька десятиліть наступних років, поки не вигадають якийсь інший пристрій, що зможе замінити персональні комп'ютери. Але поки що пристрої, які б могли повноцінно замінити персональні комп'ютери, відсутні навіть у творах письменників-фантастів.

Використання персональних комп'ютерів



У цій лекції мова піде про особливості електроживлення персональних комп'ютерів. Ця інформація буде корисна у першу чергу для фахівців, що планують у подальшому працювати із комп'ютерною технікою: збирати, налагоджувати або ремонтувати системні блоки персональних комп'ютерів.

Із попереднього матеріалу, присвяченого специфіці електроживлення мікропроцесорів – головного елемента усього комп'ютерного обладнання, ви знаєте, що енергоспоживання будь-якої цифрової мікросхеми, побудованою за КМОН-технологією, залежить від фізичних розмірів транзисторів, із яких вона побудована, напруги живлення та частоти роботи. Зараз нас у першу чергу цікавить саме напруга живлення, оскільки на розміри транзисторів та частоту роботи ми навряд чи можемо якось вплинути. Тому із попереднього матеріалу слід згадати головний висновок: енергоспоживання будь-якої КМОН-мікросхеми, а усі мікросхеми процесорів, відео-, звукових та мережних карт, оперативної пам'яті, та усіх інтерфейсів побудовані саме за КМОН-технологією, пропорційні квадрату напруги живлення. Тому напруга живлення цих мікросхем ніяк не може бути великою.

Особливості енергоспоживання мікропроцесорів

- Енергоспоживання мікропроцесорів залежить від геометричних розмірів напівпровідникових компонентів
- Типова напруга живлення сучасних мікропроцесорів дорівнює 5 В або 3,3 В (мікросхеми малої та середньої працездатності), для потужних процесорів – 0,8...2,5 В
- Енергоспоживання мікропроцесора залежить від змісту програми та оброблювальних даних

Також слід нагадати стандартні напруги живлення цифрових мікросхем, бо ми сьогодні з цими напругами будемо досить активно працювати. Зараз найбільш поширеними напругами живлення є 5 В та 3,3 В. Є дуже велика кількість мікросхем, розрахованих на живлення від безпосередньо напругами 5 В або 3,3 В, наприклад, контролери клавіатури, миші, а також більшості USB-пристроїв, бо 5 В є стандартною напругою живлення інтерфейсу USB.

Напруга 12 В у комп'ютерному обладнанні також присутня, але для безпосереднього живлення цифрових мікросхем вона не використовується (за винятком кількох специфічних інтерфейсів, наприклад, RS232). Напруга 12 В призначена, у першу чергу, для живлення двигунів та приводів. Напруга 12 В подається на вентилятори, зчитувачі жорстких дисків (використовується для двигунів розкрутки магнітних пластин та приводів позиціонування магнітних головок), зчитувачі CD-ROM (розкрутка диску, позиціонування лазера, механізм заміни диску), зчитувачі гнучких дисків (якщо вони є) та усіх інших вузлів, у яких можливо використання двигунів. Крім того, деякі материнські плати мають вбудовані контролери світлодіодного підсвічування, а живлення потужних (не індикаторних) світлодіодів також простіше забезпечити від напруги 12 В.

А ще потрібно згадати, що потужні цифрові мікросхеми, такі як процесори, контролери оперативної пам'яті, процесори відеокарт, мають меншу напругу живлення, тому що вони мають велику кількість компонентів, і збільшення напруги живлення призвело б до значних виділень тепла.

Стандартні напруги живлення цифрової техніки

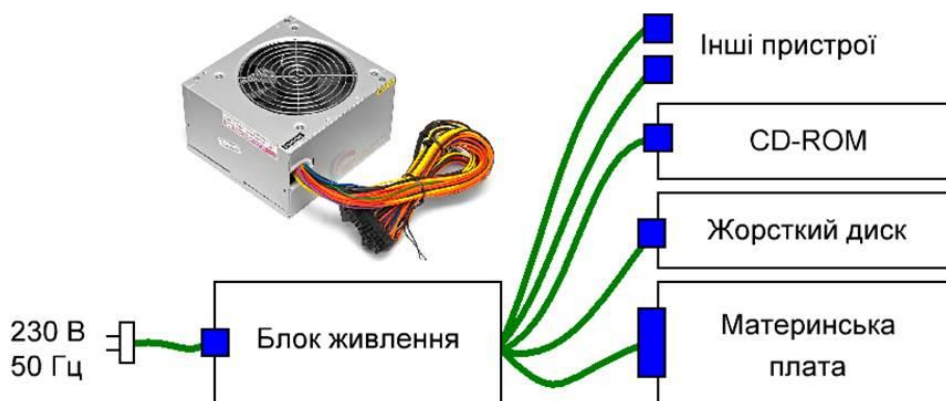
- **3...15 В** (зазвичай – **12 В**) – напруга живлення низькочастотних (до 1 МГц) КМОН мікросхем (охоронні системи, пристрої протипожежного захисту, нескладна промислова автоматика, автомобільна автоматика)
- **5 В** – напруга живлення ТТЛ мікросхем, комп'ютерних портів PS/2, USB, цифрових КМОН мікросхем та мікроконтролерів загального призначення («розумний будинок», пристрої Інтернету речей, побутова техніка, промислова автоматика)
- **3,3 В** – наступний (після 5 В) стандарт напруги, розповсюджений так же широко, як і стандарт 5 В
- **2,5...2,7 В** – наступний (після 3,3 В) стандарт напруги, поки що не набув широкого використання
- **0,8...2,5 В** – потужні мікропроцесори (комп'ютери, смартфони тощо)

У персональному комп'ютері за забезпечення усіх вузлів електричною енергією відповідає блок живлення. З точки зору дисципліни електроживлення блок живлення

персонального комп'ютера є джерелом вторинного електроживлення (тобто сам він не створює електричну енергію), який перетворює параметри промислової мережі змінного струму. Фактично він перетворює змінну напругу із частотою 50 Гц у декілька постійних напруг, які необхідні для живлення обладнання, тобто, є випрямним пристроєм.

Конструктивно блок живлення персонального комп'ютера є окремим блоком, що має певні розміри (форм-фактор). На одній із сторін корпусу блока живлення, що виходить на задню стінку системного блока розташований роз'єм для підключення з'єднувального шнура для підключення до розетки промислової мережі. З іншого боку з блока живлення виходить комплект з'єднувальних проводів на кінцях яких присутні роз'єми для підключення до материнської плати, приводів жорстких дисків, зчитувачів оптичних та гнучких дисків та інших пристроїв, що можуть бути присутніми у системному блоці.

Структурна схема системи електроживлення персонального комп'ютера

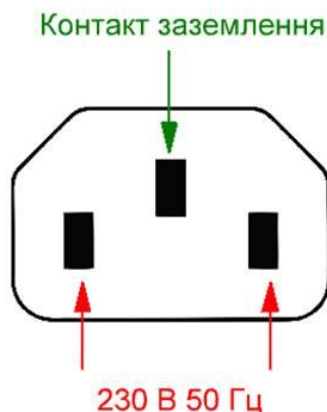


Потужність, яку споживають системні блоки персональних комп'ютерів, зазвичай, не перевищує 1000 Вт, тому більшість комп'ютерних блоків живлення розраховані на підключення до однієї фази із напругою 230 В. Для підключення до мережі використовується роз'єм C14, що відповідає міжнародному стандарту ІЕС 60320. Це дозволяє один і той самий блок живлення використовувати у країнах із різними стандартами електричних розеток. Блок живлення, призначений для використання у певній країні, комплектується відповідним шнуром. Наприклад, для України блоки живлення комплектуються шнуром на одному кінці якого встановлено роз'єм C13 (відповідна частина роз'єму C14), а на іншому – електрична вилка СЕЕ 7/7. А для продажу у Швейцарії цей блок живлення вже буде комплектуватися шнуром, обладнаним вилкою SEV-1011, бо саме такі розетки використовуються у електричних мережах цієї країни.

Роз'єми C13/C14 мають три контакти, два з яких призначені для подачі напруги (на який подавати фазу, а на який нуль, зазвичай, немає значення), а третій (центральний) призначений для підключення захисного заземлення. Тому такий спосіб підключення є не тільки універсальним, а ще й відповідає усім вимогам електробезпеки.

Роз'єм для підключення до промислової мережі

IEC 60320



Кабель C13/CEE 7/7
(Україна)



Кабель C13/SEV-1011
(Швейцарія)

Перші моделі комп'ютерних блоків живлення разом із роз'ємом C14 для підключення до мережі дуже часто мали додатковий роз'єм C13, до якого можна було підключати монітор. На той час рівень енергозбереження комп'ютерного обладнання був невисоким, а блоки живлення формату AT мали можливість фізичного відключення від мережі. Тому така функція була дуже зручною: однією кнопкою на системному блоці можна було одночасно відключити від мережі і системний блок і монітор. Після переходу на стандарт ATX, що не має функції повного відключення від мережі, великої необхідності у такому роз'ємі вже немає. Проте деякі виробники комп'ютерних блоків живлення ще й досі встановлюють цей роз'єм. Він дозволяє зменшити необхідну кількість електричних розеток і підключати системний блок та монітор лише до однієї розетки.

На деяких блоках живлення на задній стінці встановлюють вимикач, що дозволяє, відключити блок живлення від електричної мережі. Великої потреби у цьому вимикачеві немає, проте інколи його використовують для повного перезавантаження материнської комп'ютера (у випадку зависання її компонентів).

Досить велика кількість ранніх моделей комп'ютерних блоків живлення мала ручний перемикач напруги (115/230 В), що дозволяв один і той самий блок живлення використовувати у країнах із різними напругами. Проте від цього вимикача було більше шкоди ніж користі, тому що його неправильне встановлення могло за кілька секунд повністю вивести із ладу і блок живлення і внутрішнє обладнання системного блоку. Зараз краще придбати блоки живлення, що вже розраховані на живлення від напруги країни, де вони плануються використовувати. У будь якому випадку, при наявності такого перемикача слід бути особливо уважними, тому що в українських електромережах із напругою 230 В, включення блока живлення із перемикачем, встановленим на 115 В, дуже швидко призведе до виходу блока живлення із ладу.

Варіанти оснащення блока живлення

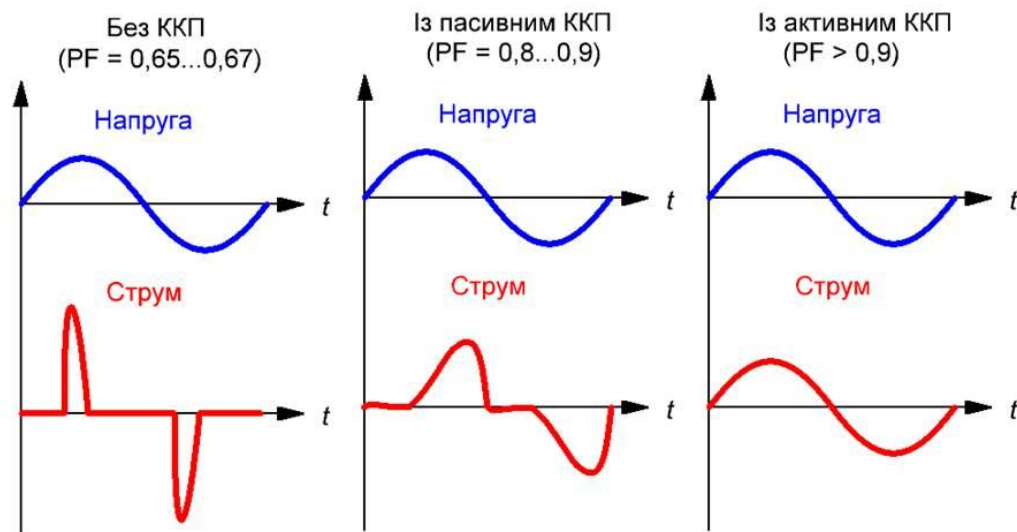


Оскільки блок живлення комп'ютера підключається до мережі змінного струму, то одним із його важливих параметрів є якість споживання електричної енергії, яка визначається коефіцієнтом потужності (Power Factor PF). У найпростішому блоці живлення форма струму, споживаного із мережі, має яскраво виражену нелінійну форму із коефіцієнтом потужності $PF = 0,65 \dots 0,67$. Така форма споживаного струму створює додаткові навантаження на електричну мережу, особливо у нульовому проводі, і при великій кількості комп'ютерів може призвести до перегорання нульового проводу та виходу із ладу усього обладнання, що підключене до цього сегменту мережі.

Відповідно до діючих в Україні стандартів таку форму споживаного струму може мати обладнання із споживаною потужністю до 300 Вт, яке не відноситься до освітлювальних пристроїв (для світильників без ККП потужність не повинна перевищувати 80 Вт). Тому усі блоки живлення персональних комп'ютерів потужністю більше 300 Вт повинні мати у своєму складі спеціальний вузол – коректор коефіцієнту потужності (ККП). Проте наявність ККП збільшує вартість блока живлення, тому на ринку України є велика кількість дешевих моделей комп'ютерних блоків живлення потужністю більше 300 Вт, не обладнаних ККП. У домашніх комп'ютерах такі блоки живлення можна використовувати без особливих наслідків, але на виробництві, особливо у бізнес центрах, слід вживати додаткових заходів по підвищенні коефіцієнту потужності.

Існує два види ККП, які використовуються у комп'ютерних блоках живлення: пасивні та активні. Пасивні ККП більш прості та дешеві, проте форма струму у блоків живлення із пасивним ККП також не синусоїдальна. Типовий коефіцієнт потужності блока живлення із пасивним ККП знаходиться у межах $0,8 \dots 0,9$, що вкладається у межі стандартів. Блоки живлення із активними ККП мають майже синусоїдальну форму споживаного струму. Їх коефіцієнт потужності наближається до 1, проте вони і більш дорогі і мають менший ККД.

Форма струму, споживаного різними моделями блоків живлення



Пасивний ККП складається із низькочастотного (50 Гц) дроселя, що включається послідовно із входним випрямлячем. При необхідності його можна вилучити, замкнувши між собою точки його підключення, при цьому блок живлення буде нормально функціонувати хоч і з меншим коефіцієнтом потужності. Активний ККП використовує імпульсний спосіб перетворення електричної енергії і є доволі складним та дорогим пристроєм, який і більшості випадків не можна просто вилучити із блока живлення. У деяких моделях активний коректор змонтований на окремій платі, але у більшості випадків ККП розташовується на одній друкованій платі із іншими вузлами блока живлення.

Активний vs. пасивний ККП



Дросель пасивного ККП



Плата активного ККП

Зазвичай виробники, щоб обґрунтувати високу вартість блока живлення із ККП, вказують його наявність безпосередньо на маркуванні, акцентуючи увагу, що це є конкурентною перевагою цього виробу. Реальний коефіцієнт потужності повинен

вказуватися у технічній документації на блок живлення. Якщо цього параметра у технічній документації немає, як і немає ніякого маркування на корпусі приладу, то це скоріш за все означає, що у цьому блоці живлення немає ніякого ККП і його коефіцієнт потужності дорівнює типовому значенню – 0,65...0,67.

Блок живлення із активним ККП



Коефіцієнт корисної дії (ККД) типового блока живлення дорівнює 65...70%, що, враховуючи масове використання комп'ютерів, є доволі низьким значенням. З 2007 року проводяться заходи із підвищення ККД комп'ютерних блоків живлення. Так, наприклад, у рамках стандарту енергозбереження Energy Star 4.0 було запроваджено сертифікацію 80 PLUS для енергоефективності блоків живлення. І хоч перші версії сертифікатів 80 PLUS були розраховані лише на блоки живлення, що працюють лише у мережах із напругою 115 В, починаючи із рівня 80 PLUS Bronze такий сертифікат можуть отримати і блоки живлення, що розраховані для роботи у мережах із напругою 230 В.

Рівні ККД комп'ютерних блоків живлення по сертифікації 80 PLUS

Сертифікат	Навантаження (процент від максимальної потужності)			
	10 %	20 %	50 %	100 %
80 PLUS	—	80 %	80 %	80 %
80 PLUS Bronze	—	81 %	85 %	81 %
80 PLUS Silver	—	85 %	89 %	85 %
80 PLUS Gold	—	88 %	92 %	88 %
80 PLUS Platinum	—	90 %	94 %	91 %
80 PLUS Titanium	90 %	94 %	96 %	91 %

Зверніть увагу, що системний блок типового персонального комп'ютера дуже рідко споживає від блока живлення енергію більше ніж на 80% його максимальної потужності, а більшість часу його навантаження взагалі складає приблизно 20...30% від максимальної

потужності блока живлення. Тому значення ККД при низьких рівнях завантаження є дуже важливим, оскільки це безпосередньо впливає на рівень витрат коштів на електроенергію, яка використовується для живлення комп'ютерів.

Сертифікат 80 PLUS на маркуванні блока живлення персонального комп'ютера



Усі блоки живлення для персональних комп'ютерів мають певні геометричні розміри, та роз'єми для підключення до інших елементів комп'ютера. Це дає змогу використовувати блоки живлення різних виробників у різних корпусах системних блоків. На сьогоднішній день існує досить велика кількість форм-факторів блоків живлення, проте в Україні найпоширенішим із них, є форм-фактор ATX. Цей форм-фактор був розроблений у 1995 році компанією Intel для корпусів системних блоків у яких можна було встановлювати повнорозмірні материнські плати сучасних (на той час) персональних комп'ютерів.

Саме цей стандарт ми і будемо розглядати далі. І хоч зараз все більше виробників корпусів для системних блоків орієнтуються на більш компактні рішення, усе одно вони у своїй більшості багато в чому аналогічні форм-фактору ATX.

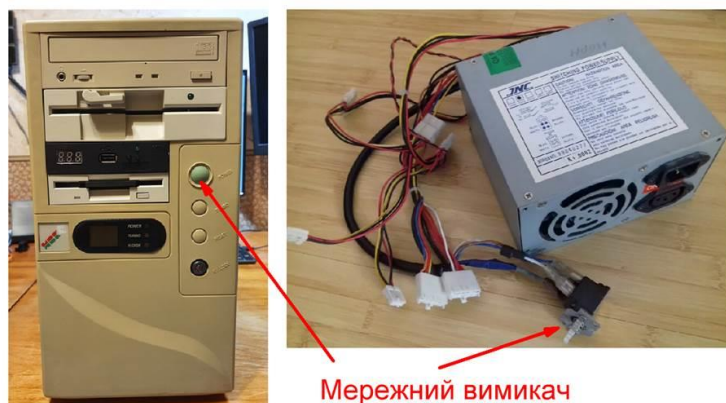
Параметри деяких форм-факторів блоків живлення

Форм-фактор	Розміри, мм	Розробник	Застосування
XT	216 × 279	IBM, 1983	Оригінальна архітектура IBM PC/XT
AT	305 × 279...330	IBM, 1984	Архітектура IBM PC/AT (Desktop/Tower)
Baby-AT	216 × 254...330	IBM, 1985	Архітектура IBM PC/XT,
ATX	305 × 244	Intel, 1995	Основна архітектура повнорозмірних плат для установки в системних блоках типів MiniTower, FullTower.
microATX	244 × 244	Intel, 1997	Скорочений формат <u>ATX</u> .
FlexATX	244 × 190,5...244	Intel, 1999	Підмножина формату MicroATX,
Mini-ATX	284 × 208	AOOpen, 2005	Розроблені з використанням технології MoDT для мобільних процесорів.

Але перед тим як перейти до розгляду блоків живлення АТХ, слід спочатку звернути увагу на попередні блоки живлення формату АТ, який зараз вже не використовується. Це дозволить зрозуміти як йшла еволюція блоків живлення, і чому сучасні блоки живлення мають саме таку архітектуру.

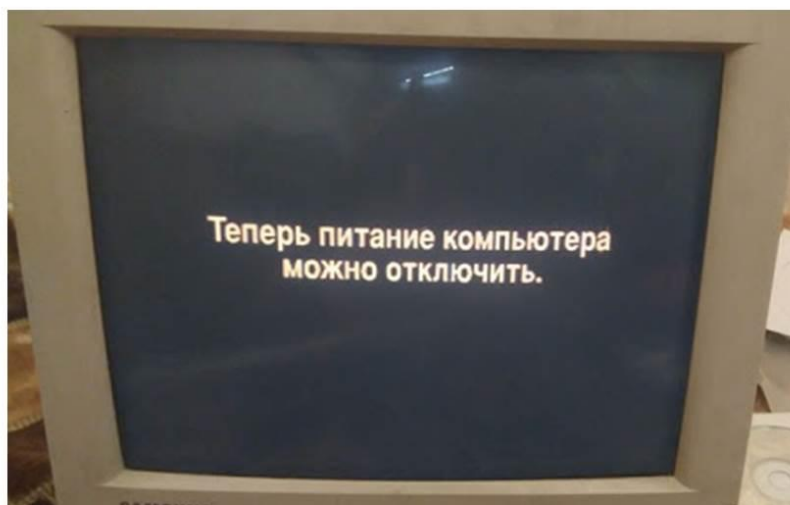
Особливістю цих блоків живлення була наявність мережного вимикача, який дозволяв фізично відключити блок живлення разом із монітором, який підключався до відповідного роз'єму на задній стороні блока живлення, від мережі. Ця кнопка була розташована на передній панелі системного блоку і активно використовувалася користувачами.

Системний блок АТ



Оскільки більшість операційних систем, особливо Windows, перед вимкненням комп'ютера потребують виконання певних операцій, то перед тим як вимкнути живлення користувач натискав кнопку «Завершити роботу» (вона залишилась і зараз) а потім чекав доки на екрані не з'явиться дозвіл на фізичне вимкнення живлення. У ранніх версіях Windows раптове вимкнення живлення могло закінчитися катастрофічно для системного блоку. У найгіршому випадку непередбачуване вимкнення живлення могло призвести до виходу із ладу жорстких дисків (пошкодження поверхні магнітного носія зчитувальною голівкою) або, у кращому випадку, потребувало переустановлення операційної системи.

Дозвіл на вимикання живлення у ранніх версіях ОС Windows



Блок живлення підключався до материнської плати за допомогою двох однорядних роз'ємів і формував усього чотири напруги. Напруга +12 В використовувалась для живлення

електродвигунів приводів жорстких та гнучких дисків, CD-ROM та вентиляторів. Цифрові мікросхеми, у тому числі і процесор, жили від напруги +5 В. Негативні напруги –5 В та –12 В необхідні були для роботи мікросхем певних інтерфейсів. Наприклад, інтерфейс RS232, який був дуже розповсюджений у той час, використовує біполярні сигнали +12 В (логічний нуль) та –12 В (логічна одиниця). Тому саме для цього інтерфейсу і використовувалась ця напруга. Напруги –5 В та –12 В також використовувались у старих системних шинах, наприклад, ISA. Ці шини також ще деякий час використовувалися і на материнських платах стандарту ATX, тому блоки живлення формату ATX також формують ці напруги, хоч на сучасних материнських платах вони практично не використовуються (хоча стандарт RS232 ще й досі може використовуватися у промислових системах та засобах автоматизації).

Із сигналів самодіагностики існував лише сигнал «Power Good» («Живлення у нормі»), який формувався контролером блока живлення і сигналізував BIOS материнської плати, що усі напруги живлення знаходяться у допустимих межах. У нормальному режимі роботи на цьому виводі присутній сигнал із напругою +5 В. Якщо контролер блока живлення виявляв, що хоч одна із напруг виходить за межі допустимих значень (стає або більшою або меншою за норму), то рівень сигналу зменшувався до 0 В а BIOS материнської плати, для запобігання фізичного пошкодження обладнання, терміново вимикав усі системи.

Роз'єм для підключення материнської плати стандарту AT

Color	Pin	Signal
Orange	P8.1	Power good
Red	P8.2	+5 V
Yellow	P8.3	+12 V
Blue	P8.4	–12 V
Black	P8.5	Ground
Black	P8.6	Ground
Black	P9.1	Ground
Black	P9.2	Ground
White	P9.3	–5 V
Red	P9.4	+5 V
Red	P9.5	+5 V
Red	P9.6	+5 V

Стандарт AT був першим із стандартів живлення персональних комп'ютерів, який набув масового розповсюдження. Проте вже у першій половині 90-х років XX сторіччя стало зрозуміло, що його недоліки вже не дозволяють комп'ютерній техніці розвиватися. Тому у 1995 році компанія Intel розробила новий стандарт ATX, який з 2001 року став домінуючим стандартом живлення комп'ютерного обладнання.

Недоліки стандарту AT

- Немає підтримки мікросхем із напругою живлення 3,3 В
- Немає можливості дистанційного керування комп'ютером
- Неповний контроль над живленням
- Мала потужність
- Невдалий роз'єм для підключення до материнської плати (дві однакових частини які частот плутали між собою)

Блок живлення формату ATX формує ті ж самі основні напруги, що і блок живлення AT (+5 В, +12 В, –5 В та –12 В). Проте для підтримки обладнання із напругою живлення 3,3 В у ньому з'явилася ще одна основна напруга живлення +3,3 В. Крім того, щоб забезпечити повноцінне керування живленням блок живлення формує напругу +5 В SB (Standby). Особливістю цієї напруги є те, що вона присутня завжди, навіть коли комп'ютер вимкнений (але фізично підключений до мережі). На сучасних материнських платах ця напруга подається на певні вузли і забезпечує можливість дистанційного керування комп'ютером.

У першу чергу напруга +5 В SB подається на BIOS, забезпечуючи його живлення та економію заряду батарейки, встановленої на материнській платі, необхідної для живлення системного годинника під час, коли системний блок фізично відключений від мережі. Ця напруга також може подаватися на мережну карту, що дозволяє увімкнути або вимкнути комп'ютер через локальну інформаційну мережу. Якщо відповідна функція активована, то мережна карта навіть під час простою комп'ютера продовжує оброблювати інформаційні пакети і при виявленні відповідної команди може увімкнути або вимкнути живлення комп'ютера. Крім того напруга +5 В SB може подаватися на контролери клавіатури та миші, і, якщо, наприклад, клавіатура підтримує необхідні функції, то увімкнути або вимкнути основне живлення комп'ютера можна простим натисканням на відповідну клавішу.

Роз'єм для підключення материнської плати стандарту ATX

Color	Signal	Pin	Pin	Signal	Color
Orange	+3.3 V	1	13	+3.3 V	Orange
Orange	+3.3 V	2	14	–12 V	Blue
Black	Ground	3	15	Ground	Black
Red	+5 V	4	16	Power on	Green
Black	Ground	5	17	Ground	Black
Red	+5 V	6	18	Ground	Black
Black	Ground	7	19	Ground	Black
Grey	Power good	8	20	–5 V	White
Purple	+5 V standby	9	21	+5 V	Red
Yellow	+12 V	10	22	+5 V	Red
Yellow	+12 V	11	23	+5 V	Red
Orange	+3.3 V	12	24	Ground	Black

Наявність постійного живлення +5 В SB може стати причиною збоїв у роботі комп'ютера, навіть коли він вимкнений. Причиною цих збоїв у більшості випадків є електромагнітні завади, що наводяться у довгих лініях. Особливо до них чутливі мережні

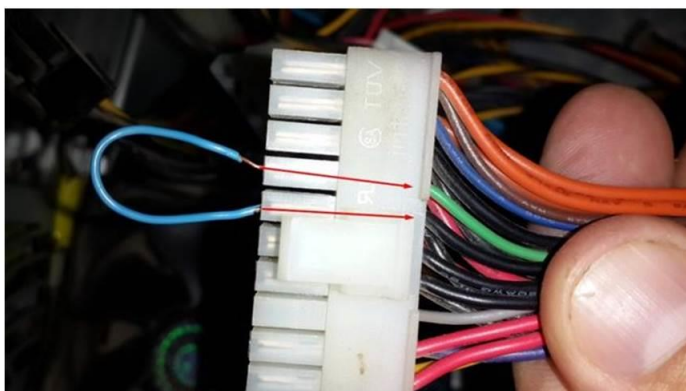
карти. Аварії у мережі живлення (увімкнення або вимкнення потужного навантаження, короткі замикання) або розряди блискавок можуть навести у проводах локальної мережі та проводах живлення значну електрорушійну силу, яка призведе до збою у роботі мережної карти або BIOS. Тому якщо комп'ютер не вмикається, або якісь його системи після включення не працюють, наприклад, немає доступу до локальної обчислювальної мережі, то необхідно у першу чергу фізично відключити системний блок від мережі за допомогою вимикача або, якщо він відсутній, фізично вимкнути системний блок із розетки, почекати не менше 10 секунд, а вже потім пробувати відновити його роботу.

Коли потрібно повністю вимикати живлення системного блоку (знімати напругу +5 В SB)

- Якщо системний блок не вмикається
- Якщо клавіатура, миша чи якийсь інший пристрій (особливо USB) не працює, або працює некоректно
- Якщо не працює мережна карта (немає доступу до обчислювальної мережі, хоча система не виявляє ніяких помилок)
- У всіх інших незрозумілих ситуаціях

Ще одною відмінністю блоків живлення ATX від AT є можливість керування основним блоком живлення. Для цього призначений вивід «Power on» («Увімкнути живлення»). Цей сигнал виведений на 16 вивід роз'єму для підключення материнської плати (для 24-вивідного варіанту), а провід, який підключений до цього виводу, зазвичай, має зелений колір. Для того увімкнути основний блок живлення без материнської плати, наприклад, для того щоб перевірити його працездатність, необхідно з'єднати його із любым із проводів, що з'єднані із загальним проводом (зазвичай, вони мають чорний колір ізоляції). Якщо блок живлення працездатний, то після такого з'єднання з'являться усі напруги і почне крутитися вентилятор. На материнській платі цю функцію виконує спеціальний електронний ключ, який керується BIOS.

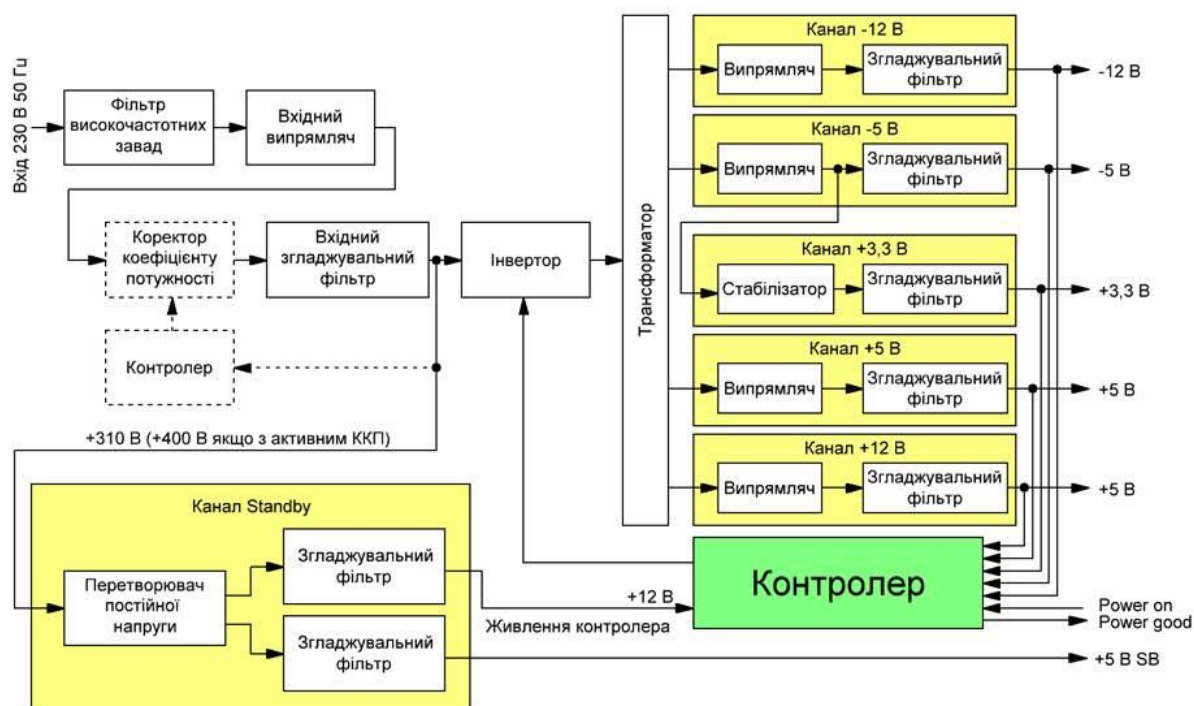
Включення блока живлення без материнської плати



Структурна схема блока живлення ATX складається із наступних вузлів. Вхідна напруга подається на фільтр високочастотних завад, який з одного боку не пропускає завади зі мережі до основної схеми, а з іншого перешкоджає потраплянню завад, що створює блок живлення, у мережу. Після цього вхідна напруга за допомогою випрямляча на згладжувального фільтра перетворюється на постійну із величиною близько 300 В. Якщо у

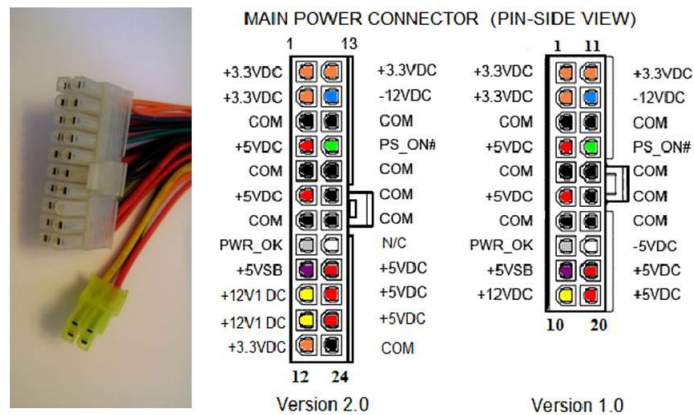
блоці живлення є активний коректор коефіцієнту потужності, то він встановлюється між вхідним випрямлячем та його згладжувальним фільтром. Коректор коефіцієнту потужності зазвичай має власний контролер, який підтримує напругу на виході згладжувального фільтра на рівні приблизно 400 В. Постійна напруга 300 В або 400 В подається на перетворювач постійної напруги, який формує дві стабілізовані напруги +5 В та +12 В. Напруга величиною +5 В подається на материнську плату (напруга +5 В SB), а напруга +12 В використовується для живлення мікросхем контролера блока живлення. Сам контролер формує сигнали керування транзисторами інвертора, який перетворює постійну напругу 300 В або 400 В на змінну напругу із частотою від 50 кГц до 500 кГц (частота залежить від конкретної схеми блока живлення). Високочастотна змінна напруга подається на основний силовий трансформатор, який її понижує та забезпечує гальванічну розв'язку. До вторинних обмоток трансформатора підключені відповідні випрямлячі та згладжувальні фільтри, які перетворюють її на напруги +5 В, +12 В, -5 В та -12 В. Напруга +3,3 В, зазвичай, формується окремим стабілізатором із напруги +5 В. Контролер забезпечує групову стабілізацію усіх напруг та формує сигнал Power good. При високому рівні сигналу Power on контролер перестає формувати сигнали керування транзисторами інвертора, що призводить до зникнення напруг +3,3 В, +5 В, +12 В, -5 В та -12 В, а виході блока живлення залишається тільки напруга +5 В SB.

Структурна схема блока живлення АТХ



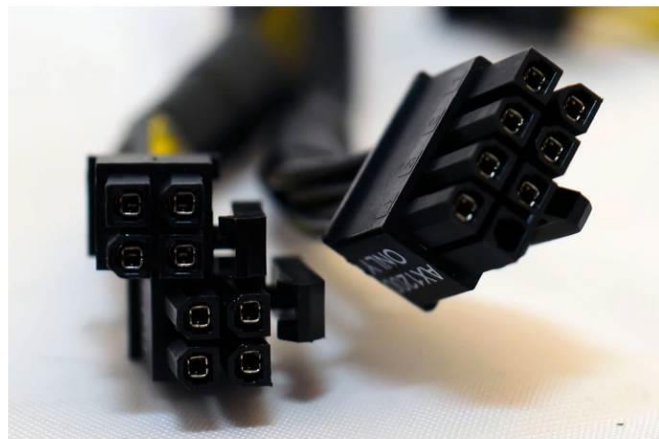
Перші блоки живлення формату АТХ підключалися до материнської плати за допомогою 20-контактного роз'єму. Та після появи шини PCI Express їх вже стало не вистачити для забезпечення необхідної потужності. Тому до 20-контактного роз'єму додали ще 4 контакти, при цьому була забезпечена сумісність із попередніми версіями материнських плат. Роз'єм блока живлення мав таку конструкцію, що при необхідності додаткові чотири контакти можна було від'єднати, залишивши тільки 20 контактів.

Роз'єм для підключення материнської плати стандарту ATX



Перші процесори живилися від напруги +5 В, яка понижувалась до величини, необхідної для живлення процесора (близько 1,6 В), за допомогою потужного багатоканального перетворювача постійної напруги. Та після появи багатоядерних процесорів електроспоживання материнських плат зросло, і цей роз'єм вже не міг забезпечити необхідну потужність. Тому кількість проводів, що виходить із блоку живлення була збільшена, і на материнських платах були встановлені додаткові роз'єми на які подавалася напруга +12 В, від якої і забезпечувалося живлення перетворювача процесора. Спершу було додано 4-контактний роз'єм, що міг теоретично забезпечити потужність до 190 Вт, проте реальна його потужність не перевищувала 150 Вт. Потім, для збільшення потужності, було додано ще чотири контакти. Для забезпечення сумісності ці роз'єми робили розбірними, що дозволяло використовувати одні і ті ж блоки живлення із материнськими платами, що мають як 4-контактні, так і 8-контактні роз'єми для підключення блоку живлення.

Додаткові роз'єми для живлення потужних процесорів



Отже, незважаючи на усі заходи по забезпеченню сумісності, не кожен блок живлення може підійти для конкретної материнської плати. Але тут є наступна тенденція. Як правило, нові блоки живлення можна використовувати із більшістю старих материнських плат. А от нові материнські плати на старих блоках живлення вже навряд чи будуть працювати. І річ не тільки у рівні потужності, чи рівнях напруги – усі блоки живлення ATX мають стандартні напруги – у наявності відповідних роз'ємів. Звісно, існують перехідники, що, можливо,

зможуть вирішити цю проблему. Але на практиці, краще за все використовувати ті блоки живлення, які найбільш відповідають потребам конкретної материнської плати.

А ще потрібно пам'ятати головне. Блок живлення може вивести із ладу материнську плату і усе обладнання, що знаходиться у системному блоці. Тому на блоках живлення не можна економити, оскільки заощадивши кілька гривень на блоці живлення потім доведеться купувати усе устаткування системного блоку, у тому числі, і блок живлення.

Висновки

- Системи живлення персональних комп'ютерів постійно розвиваються
- Є кілька стандартів електроживлення персональних комп'ютерів із яких самим популярним є ATX
- Блок живлення повинен відповідати потребам материнської плати не тільки за рівнем потужності, а ще й за наявністю необхідних роз'ємів.

Лекція 14. Принципи електроживлення автономних об'єктів

Із попередніх тем дисципліни Електроживлення систем зв'язку, вам вже відомо, що основним джерелом електричної енергії для стаціонарних об'єктів є промислова мережа змінного струму. У цій системі електрична енергія генерується на електричних станціях, які зв'язані між собою мережею ліній електропередач, яка охоплює усю Україну і має зв'язок із аналогічними мережами сусідніх країн.

Електрична мережа України



Електростанції, розподільче обладнання і усі інші компоненти промислової мережі змінного струму працюють 24 години на добу, 7 днів на тиждень та 365 днів на рік, безперервно забезпечуючи своїх споживачів електричною енергією у кількості яка їм необхідна. Отже промислова мережа змінного струму є потужним і умовно невичерпним джерелом електричної енергії. Але у неї є один суттєвий недолік – для того, щоб отримати енергію із мережі необхідно фізичне з'єднання із нею. Тобто, завжди повинен бути кабель, який з'єднує обладнання з електричною розеткою, електричним щитком, трансформатором, чи якимось іншим компонентом розподільчої мережі.

Перший у світі тролейбус (1882 рік)



Отже, промислова мережа змінного струму ідеально підходить тільки для стаціонарного обладнання, яке постійно знаходиться на одному місці. У деяких випадках її можна використовувати і для живлення нестаціонарного обладнання, наприклад,

електроінструменту. Але для цього необхідний додатковий гнучкий електричний кабель і, можливо, електричні подовжувачі. Але у будь-якому випадку максимальна відстань між обладнанням та найближчою електричною розеткою не буде перевищувати кількох десятків метрів.

Електричні подовжувачі



А от електроживлення від промислової мережі об'єктів, які за своїм призначенням не можуть бути стаціонарними, вже викликає певну низку технічних складнощів. Наприклад, для електроживлення трамваїв, тролейбусів або залізничних локомотивів, необхідно будувати дорогу та складну у використанні контактну мережу. І усе одно мобільність таких об'єктів буде сильно обмежена. А як же тоді забезпечити електричною енергією пристрої та обладнання яке взагалі не може бути підключене до промислової мережі? Такі питання виникають набагато частіше, ніж здається на перший погляд.

Електрична контактна мережа у тролейбусному парку



Незважаючи на велику розповсюдженість розподільчих мереж доступність до них сильно обмежена. Наприклад, у полі, в лісі або в морі, зазвичай, немає електричних розеток. Вони там і не потрібні. Але ж бувають випадки, коли у таких місцях необхідно встановити електричне обладнання – інколи тимчасово, а інколи і на постійній основі.

Наприклад, комусь необхідно освітити вночі рекламний щит. А найближчий електричний кабель знаходиться за кілька кілометрів від місця розташування цього щита.

Звісно, у цьому випадку можна прокласти кілька кілометрів електричного кабелю, бо рекламний щит все ж таки є стаціонарним об'єктом і навряд чи колись буде переміщуватися в інше місце. Але це вийде дуже дорого, а інколи і зовсім неможливо. А що робити коли електрична енергія потрібна лише на кілька годин, наприклад, коли цей щит необхідно просто полагодити? До якого джерела електричної енергії підключити електричну дріль або електрозварку? У цьому випадку монтувати кілька кілометрів кабелю для того, щоб годину попрацювати якось зовсім недоцільно. То де ж у цьому місці знайти джерело електричної енергії?

Електроживлення віддалених об'єктів



А підключити до електричної мережі обладнання, яке дійсно повинне бути мобільним, наприклад, смартфон, взагалі неможливо, бо смартфон за своїм призначенням не повинен ні до чого підключатися за допомогою проводів, окрім деяких випадків. Звідки взяти енергію для його роботи? А у цю категорію попадаються і усі пристрої, що носяться: розумні годинники, фітнес-браслети, планшетні комп'ютери та інше подібне обладнання.

Електроживлення мобільних пристроїв та пристроїв, що носяться



Та ж сама задача виникає і у всіх видах транспорту. Ви ж добре розумієте, що у сучасному автомобілі, мотоциклі та навіть самокаті існує велика кількість бортового обладнання, яке необхідно забезпечувати електричною енергією як під час руху, так і під час стоянки. Звідки взяти цю електричну енергію?

Електроживлення бортового обладнання електротранспорту



У загальному випадку існує усього два шляхи вирішення цієї проблеми. Або генерація електроенергії безпосередньо на місці де вона потрібна, або все ж таки використання промислової мережі змінного струму. Але тут мова вже йде не про стаціонарне підключення, а про тимчасове. У цьому випадку обладнання на деякий час підключається до промислової мережі змінного струму, або якогось іншого, більш ємного, джерела електричної енергії, запасає у своєму накопичувачі певну кількість енергії, а потім, після відключення від основного джерела, поступово використовує накопичені запаси.

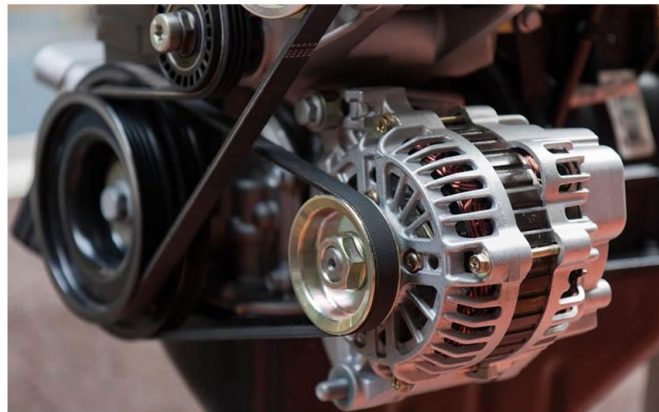
Ну, і, звісно, ще може бути і третій спосіб, коли на місці одночасно використовується і генерована і акумульована енергія, але цей спосіб, фактично, є комбінацією перших двох варіантів електроживлення.

Основні способи живлення нестационарного обладнання

- Генерація електричної енергії власними електростанціями
- Накопичення електричної енергії з промислової мережі змінного струму
- Комбінований спосіб (генерація та накопичення)

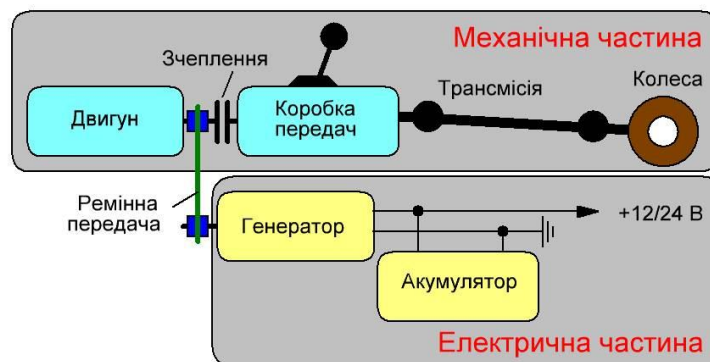
Для генерації електричної енергії безпосередньо на місці необхідно мати невеличку електростанцію, потужність якої повинна бути достатньою для забезпечення потреб обладнання. Дуже добре, якщо десь поблизу є джерело кінетичної енергії – якийсь об'єкт, що рухається, або обертається. Тоді можна встановити електричний генератор, який і перетворює кінетичну енергію на електричну. Саме так зроблено в транспортних засобах. Двигун внутрішнього згоряння чи дизельний двигун разом із трансмісією обертає і електричний генератор, який і забезпечує електричною енергією усе бортове обладнання автомобіля.

Електричний генератор легкового автомобіля



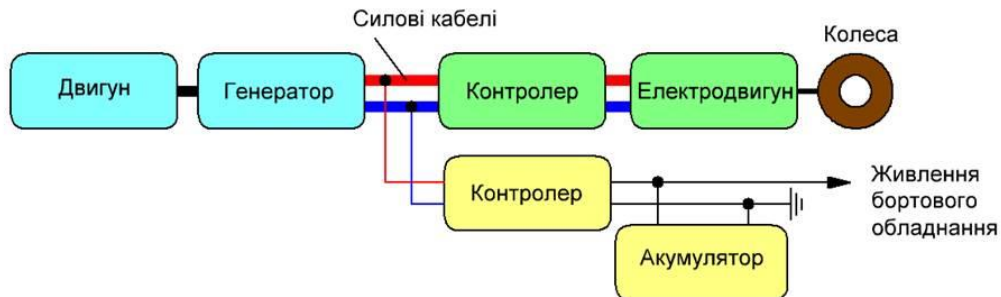
В автомобільній техніці можуть бути два варіанти побудови системи електроживлення. У першому випадку колеса автомобіля з'єднуються з основним двигуном за допомогою механічної трансмісії, а електрична енергія вироблюється малопотужним генератором, призначеним для живлення лише бортового обладнання автомобіля. У цьому випадку головне призначення двигуна – рух автомобіля. Це означає, що двигун буде працювати у різних режимах із різною кількістю обертів, і це призведе до того, що генератор буде виробляти енергію нестабільно і зовсім не буде працювати, коли основний двигун буде вимкнено. Для того зменшити ці коливання та забезпечити електричної енергією обладнання під час стоянок паралельно генератору підключають невелику акумуляторну батарею, яка виконує роль буфера. Ця батарея використовується також і для запуску двигуна. Така схема електроживлення реалізована у більшості легкових та вантажних автомобілях, мотоциклах літаках, пароплавах та іншому транспорті на основі двигунів внутрішнього згоряння або дизельних двигунів.

Структурна схема силової частини малопотужного автомобіля



Але на великих транспортних засобах інколи використовують і іншу схему передавання потужності від двигуна до рушія. У цьому варіанті використовують електричну трансмісію, яку ще називають електричною передачею. При такому підході уся енергія, яку розвиває головний двигун, за допомогою потужного електричного генератора перетворюється на електричну. Невеличка частина електричної енергії йде на живлення бортового обладнання а основна – на тягові електродвигуни, які, інколи, можуть бути вмонтовані безпосередньо у колеса транспортного засобу.

Структурна схема силової частини потужного транспортного засобу



Електрична трансмісія має багато переваг перед механічною, у першу чергу – менші втрати енергії при передаванні потужності від двигуна до рушія, відсутність коробки передач та інші. До недавнього часу вона використовувалась переважно у великих транспортних засобах: кар'єрних самоскидах, тепловозах, криголамах, важких тракторах, броньованій техніці. Але зараз її все частіше використовують і в транспорті з меншою вантажопідйомністю. З кожним роком усе більше виробників автобусів та позашляховиків використовують цей спосіб передавання потужності. А в гібридних автомобілях т, які можуть працювати від різних джерел енергії, та електромобілях цей тип передачі є одним із основних.

Транспортні засоби із електричною трансмісією



Кар'єрні самоскиди



Тепловози



Криголами



Важкі трактори



Гібридні автомобілі



Позашляховики

Отже, коли є двигун, що може обертати генератор, ніяких особливих складнощів для отримання електричної енергії немає. Але що робити, якщо його немає? У даному випадку усе просто – якщо нема двигуна, то його необхідно поставити. Саме по такому принципу пішли виробники автономних електростанцій. У цих силових агрегатах на одній рамі встановлюють двигун внутрішнього згоряння або дизельний двигун, вал якого обертає ротор електричного генератора. Електрична енергія при цьому буде вироблятися поки є паливе у баку.

Бензинова електростанція



Подібні електростанції, які, до речі, можуть бути доволі компактними та легкими, використовують, у першу чергу, різноманітні мобільні ремонтні бригади, яким електрична енергія необхідна безпосередньо на місці проведення робіт. Але зараз усе більше таких електростанцій використовуються у якості резервного джерела електричної енергії на випадок, якщо основне джерело живлення – промислова мережа змінного струму – вийде із ладу.

Застосування бензинових та дизельних електростанцій



- Джерело живлення у місцях де немає можливості підключення до промислової мережі (ремонтні бригади)
- Резервне джерело живлення на випадок аварії у промисловій мережі (у тому числі і на підприємствах, що працюють в області інформаційних та телекомунікаційних технологій)

Саме з подібними електростанціями вам, можливо, доведеться стикатися у професійній діяльності, оскільки вони широко використовуються у якості резервного джерела живлення на самих різноманітних підприємствах, у тому числі і на підприємствах, що працюють в галузях інформаційних та телекомунікаційних технологій. Електростанції, що використовуються у системах електроживлення телекомунікаційних та інформаційних підприємств встановлюються стаціонарно на окремому постаменті і мають найвищий рівень автоматизації. Тобто, у процесі експлуатації вона не потребує постійного нагляду чи обслуговування. У випадку аварії в електричній мережі від системи електроживлення буде поданий сигнал запуску і ця електростанція увімкнеться автоматично без допомоги людини. Так само автоматично відбудеться її вимикання у випадку, коли потреби у неї вже не буде. Людина у даному випадку повинна слідкувати лише за рівнем палива у баку. Але на ринку вже давно є автономні електростанції, які у якості пального використовують природний газ і розраховані на підключення до тих ще мереж розподілу природного газу, що і звичайне побутове чи промислове газове обладнання.

Автоматизована дизельна електростанція потужністю 200 кВт



Зверніть увагу, що більшість із цих електростанцій фактично призначені для заміни промислової мережі змінного струму. Вони бувають однофазними та трифазними та генерують електричну енергію змінного струму із частотою 50 Гц. Вихідна напруга сучасних однофазних електростанцій повинна дорівнювати 230 В, а трифазних, відповідно, 230/400 В. Така сумісність дозволяє підключати до таких електростанцій обладнання, що розраховане на живлення від промислової мережі без якихось додаткових перетворювачів чи узгоджувачів.

Зверніть увагу, що через особливості технічної реалізації, більшість автономних електростанцій мають обмеження на мінімальний коефіцієнт потужності обладнання, яке буде до неї підключатися. Для більшості електростанцій мінімальний коефіцієнт потужності обладнання не повинен бути нижчим за 0,8. Якщо підключити до такої електростанції обладнання із гіршою якістю споживання, то схема керування може аварійно вимкнути електростанцію через неможливість підтримання необхідної величини частоти або напруги.

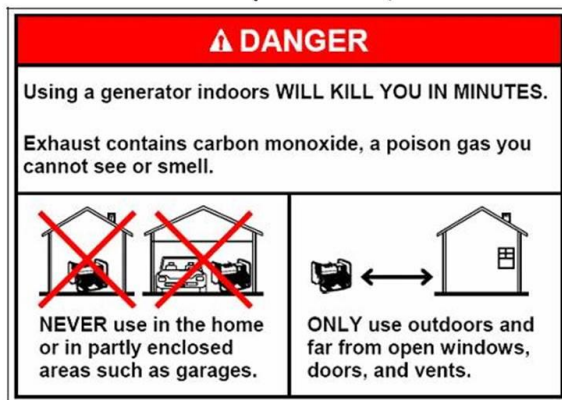
Параметри більшості бензинових та дизельних електростанцій відповідають параметрам промислової мережі змінного струму



Отже, теоретично, система двигун-генератор дозволяє вирішити проблему нестачі електроенергії у випадку аварії в електричній мережі або навіть повній її відсутності. Але подібні рішення мають суттєвий недолік. Під час згоряння бензину або дизельного пального утворюються шкідливі речовини, тому ці електростанції можна використовувати тільки на свіжому повітрі і заборонено використання всередині приміщень не обладнаних спеціалізованою вентиляційною системою. Крім того вони є джерелом значного шуму та

вібрації, що також відноситься до їх недоліків. Ну а головним недоліком, звісно, є висока вартість виробленої енергії, оскільки бензин та дизельне паливо є одними із найдорожчих енергоресурсів, тому електрична енергія, вироблена таким способом, вийде, щонайменше у 5 разів, дорожче за електроенергію, отриману від промислової мережі.

Недоліки бензинових та дизельних електростанцій



Ось чому подібні електростанції використовуються лише у випадках, коли інших альтернатив немає. Але цей сегмент ринку електроживлення буде завжди актуальним і деякі компанії можуть пропонувати досить цікаві рішення. Так наприклад компанія Ini Power Systems налагодила випуск портативних генераторів потужністю від 0,5 кВт до 5 кВт. Особливістю цих генераторів є можливість працювати майже на будь-якому виді рідкого або газоподібного пального. До переліку можливих видів пального входять бензин, гас, дизельне паливо, природний газ, пропан, ізопропіловий спирт, метиловий спирт, спиртовмісні рідини і навіть на деякі види лікеру. Такі генератори, судячи з дизайну, можуть використовуватися у якості джерела електричної енергії, наприклад, у туристичних походах або під час відпочинку на природі. Їх також можна використовувати у якості резервного джерела електричної енергії для підзарядки смартфона, ноутбука, або іншого подібного обладнання.

Портативні генератори від компанії INI Power Systems можуть працювати на будь-якому виді рідкого чи газоподібного пального



Зверніть увагу, що усі види хімічного пального: бензин, гас, дизельне паливо, спирт, олія, та навіть просто дрова або вугілля є дуже енергоємним джерелом енергії. Наприклад, при згорянні одного літру бензину, що важить усього 710 г, виділиться приблизно 32,7 МДж або 9,1 кВт·год теплової енергії. Якщо перетворити цю енергію в електричну, то її буде

достатньо для того, щоб один персональний комп'ютер чи ноутбук при середній швидкості енергоспоживання 250 Вт зміг працювати майже цілий робочий тиждень – приблизно 36 годин.

Хімічні джерела енергії



Вага - 710 г
Кількість енергії - 9,1 кВт•год



36,4 годин роботи
(4,5 робочих дня
при споживанні 0,25 кВт)

Якщо ці цифри порівняти із питомими характеристиками, наприклад, автомобільних акумуляторів, то виявиться, що типовий свинцево-кислотний автомобільний акумулятор з напругою 12 В, ємністю 55 А·год та вагою близько 15 кг містить усього 0,66 кВт·год енергії. Тобто, для того щоб накопичити таку ж саму кількість енергії, що міститься і літрі бензину, необхідна акумуляторна батарея щонайменше із 14 свинцево-кислотних автомобільних акумуляторів ємністю 55 А·год, загальна вага якої буде більше 200 кг.

Пальне vs. акумулятори



Вага - 710 г
Кількість енергії - 9,1 кВт•год



Вага - 15 кг
Кількість енергії - 0,66 кВт•год

У одному літрі бензину з вагою 710 г міститься стільки ж енергії скільки міститься у 14 автомобільних акумуляторах із загальною вагою більше 200 кг!

Причому енергія, яку ми отримуємо разом із бензином, не набагато дорожча за енергію, яку ми отримуємо, купуючи електричну енергію. Причому бензин є одним із найдорожчих видів палива. Якщо використовувати більш дешевші дизельне паливо, газ природний газ, або навіть дрова, то виявиться що купувати готову електричну енергію набагато дорожче ніж генерувати її самостійно. Тоді чому ж бензинові та дизельні електростанції використовують лише як резервне джерело електричної енергії, а не як

основне? Чому у кожному дворі не стоїть своя електростанція, підключена, наприклад до газорозподільної системи? Чому так не роблять на практиці?

Вартість енергії



Середня ціна	0,81 USD/л	
Кількість енергії	9,1кВт•год	
Вартість енергії	0,09 USD/кВт•год	Вартість енергії 0,078 USD/ кВт•год

Бо є одна технічна проблема. Звісно, бензин та інші види хімічного пального є дуже енергоємними. І у одному літрі бензину дійсно міститься велика кількість енергії. Але як перетворити її не електричну? При згорянні хімічного пального, неважливо якого: бензину, гасу, природного газу, дров або пелет утворюється тепло. Як перетворити теплову енергію, що є внутрішньою енергією тіла, на електричну?

Сьогодні для цього використовуються теплові машини, найбільш відомими із яких є двигуни внутрішнього згоряння та дизельні двигуни. Але ці агрегати мають дуже низький коефіцієнт корисної дії (ККД). Наприклад ККД типового бензинового двигуна внутрішнього згоряння знаходиться у діапазоні від 20% до 30%. Дизельний двигун більш ефективний, але усе одно ККД більшості із них не перевищує 40%. Найбільший ККД серед теплових машин мають турбіни, що використовуються на електростанціях. Якщо додати сюди ще й використання більш дешевого палива, а у багатьох випадках це вугілля, то тоді стає зрозумілим чому автономні бензинові та дизельні електростанції є дуже дорогим джерелом електричної енергії. Якщо у літрі бензину і міститься 9 кВт•год енергії то після усіх перетворень у вас залишиться у кращому випадку четверта частина, оскільки ця енергія при згорянні спочатку перетвориться на теплову, потім, за допомогою теплової машини, та кінетичну, а вже потім, за допомогою електрогенератора, на електричну.

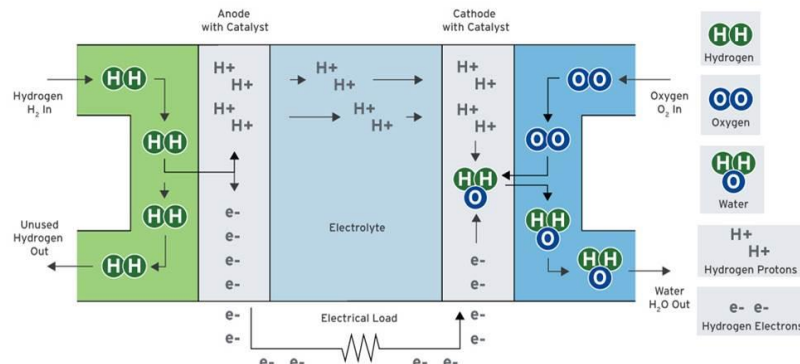
ККД парових машин

Тип парової машини	ККД, %
Паровий двигун	1 – 8
Бензиновий двигун внутрішнього згоряння	20 – 30
Газова турбіна	30 – 35
Дизельний двигун внутрішнього згоряння	30 – 40
Парова турбіна	35 – 45
Двигун авто для Формули-1	50

Але виявляється є і інший шлях перетворення енергії валентних зв'язків атомів у молекулах (хімічної енергії) безпосередньо на електричну без усяких проміжних перетворень. Такі джерела електричної енергії називаються паливними елементами. Найбільш відомими з них є паливні елементи, що працюють на водні. Принцип роботи цього елемента полягає у наступному. Газоподібний водень подається у спеціальну камеру, де частина молекул контактує з поверхнею аноду, активованою каталізатором. Під дією каталізатора молекули водню розпадаються на іони. Позитивно заряджені ядра атомів водню

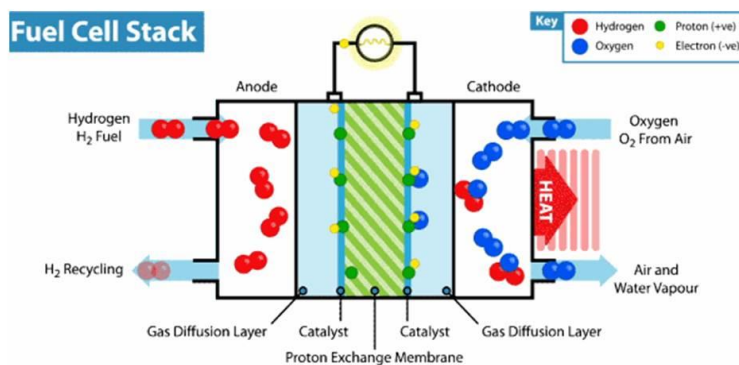
через спеціальну протонну мембрану потрапляють в область катода, також активованого каталізатором, де вони вступають у хімічну реакцію із атомами кисню. У результаті цієї реакції утворюються молекули води – так само як і при звичайному спалюванні водню.

Принцип роботи паливного елемента (топливного элемента, Fuel Cell)



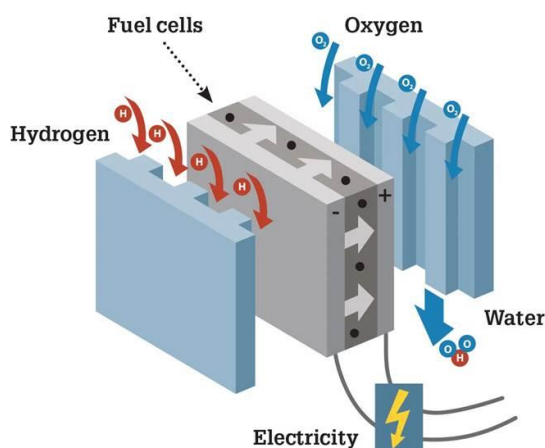
Але для того щоб утворилася повноцінна, електрично нейтральна молекула води необхідні ще й електрони, які колись входили до складу атомів водню. Але ці електрони залишились біля анода, оскільки протонна мембрана, судячи із назви, пропускає лише позитивно заряджені протони і зовсім не пропускає електрони. Тому між анодом та катодом поступово утвориться різниця потенціалів, яка буде заважати протонам водню проходити скрізь мембрану і реакція припиниться. Та якщо до електродів паливного елемента підключити електричне обладнання, то електрони із області аноду через утворене електричне коло зможуть потрапити в область катода і завершити хімічну реакцію.

Принцип роботи паливного елемента (топливного элемента, Fuel Cell)



Отже у паливному елементі відбувається хімічна реакція, у результаті якої виділяється певна кількість енергії. Ця енергія з'являється у результаті перегрупування атомів у молекулах. Тобто загальна кількість енергії в атомних зв'язках утворених молекулах води виявляється менше, ніж загальна кількість енергії у атомних зв'язках молекул водню та кисню до початку реакції. Та ж сама хімічна реакція відбувається і при звичайному горінні водню. Але на відміну від звичайного горіння, при протіканні енергії у паливному елементі теплоти виділяється набагато менше. Типовий ККД паливного елемента дорівнює не менше 60%, а у найкращих лабораторних зразках доходить до 90%. Отже, за допомогою паливного елемента можна перетворити майже всю енергію хімічного палива на електричну.

Принцип роботи паливного елемента (топливного элемента, Fuel Cell)



Але чому ж тоді більшість людей нічого не чули про ці елементи, і чому вони майже не використовуються на практиці? Дійсно, якщо визначити особливості паливних елементів, то виявиться що у цей перелік входить велика кількість переваг і лише один єдиний недолік – висока вартість. Річ у тому, що у звичайних умовах – при нормальному атмосферному тиску та кімнатній температурі жоден із видів пального не реагує із киснем повітря. Ви добре знаєте, що для того щоб загорівся газ на газовій плиті необхідно піднести запаленого сірника чи скористатися запальничкою. Так і в паливному елементі, для того почалася ця хімічна реакція необхідні певні умови. Необхідно допомогти паливу вступити у хімічну реакцію із киснем. Для цього використовується каталізатор, який хоч і не приймає участі у хімічній реакції, але без нього вона і не відбудеться.

Особливості паливних елементів

Переваги

- Високий ККД (60...80%)
- ККД не залежить від вихідної потужності
- Енергія виробляється поки є паливо
- Екологічна чистота (при використанні палива, вироблено із поновлювальних ресурсів)
- Компактні розміри
- Відсутність високих температур, шуму, вібрації, акустичних шумів
- Можливість роботи на будь-якому виді палива

Недоліки

- **Висока вартість** (одним із відомих каталізаторів є платина, земних запасів якої, при масовому виробництві паливних елементів вистачить лише на 15 – 20 років)

І ось тут і виникають проблеми – таких каталізаторів людству відомо небагато і одним із найвідоміших із них є платина. Отже паливні елементи аж ніяк не можуть бути дешевими – це дуже дороге джерело електричної енергії, яке використовується лише у тих випадках, де немає іншої можливості генерації електричної енергії. Крім того природних запасів платини на Землі дуже мало – це дуже рідкісний метал. Тому, якщо навіть і налагодити промислове виробництво паливних елементів, то усіх світових запасів платини вистачить по оптимістичним прогнозам максимум на 20 років. Крім того, платиновий каталізатор у паливному елементі буде служити вічно лише за умови використання чистого палива, бо при наявності домішок відбувається його отруєння. А це означає, що у реальних паливних елементах дорогий платиновий каталізатор потрібно ще й періодично замінювати.

Паливо для паливних елементів



- Водень
- Метан (природний газ)
- Метанол
- Етанол (етиловий спирт)
- Біопаливо (біогаз, біодизель)

До недавнього часу паливні елементи використовувалися виключно у космічній техніці. Але зараз, по мірі хоч і повільного, але все ж таки розвитку технологій виробництва паливних елементів, ці джерела живлення стали доступними для більш широкого кола застосування. Сьогодні від паливних елементів можуть житися системи зв'язку, розташовані у важкодоступних місцях. Зараз існує певна кількість проектів, призначених для живлення, наприклад ноутбуків, смартфонів або квадрокоптерів. Основним видом палива для невеликих додатків є метанол, або етанол. Для більш потужних вже необхідно використовувати водень, оскільки водневі елементи на сьогоднішній день мають найбільшу ефективність.

Застосування паливних елементів



Водневий паливний елемент космічних кораблів Apollo, призначений для вироблення електричної енергії, тепла та води

- Космічна техніка
- Системи зв'язку
- Портативна техніка
- Електростанції у важкодоступних місцях
- Живлення мобільних пристроїв (автомобілів, літаків, квадрокоптерів та ін.)

Паливні елементи, теоретично, можуть замінити важкі та габаритні хімічні акумулятори. Багато компаній роблять серйозну ставку на паливні елементи і розробляють на їх основі автомобілі, літаки та іншу техніку. Але, на жаль, перспективним цей напрямок вважається вже кілька десяти років. І поки що жодна з компаній, що працює у цій сфері не знайшла ефективної заміни ні платині, що й досі використовується у якості каталізатора, ні водню, що поки що є, фактично єдиним видом палива для низькотемпературних паливних елементів. Але перспективи є, і ці перспективи цілком реальні, тому, як тільки знайдуть необхідний каталізатор та простий та дешевий метод отримання водню, чи якого іншого палива, то наш світ за кілька десяти років може змінитися до невпізнанності.

Застосування паливних елементів



Літак на водневих паливних елементах (2020 р.)



Проект тягача на водневих паливних елементах (2020 р.)



Безпілотний літак на водневих паливних елементах (2020 р.)



Водневий паливний елемент для зарядки портативних пристроїв (2013 р.)



Метанольний паливний елемент для ноутбука (Casio) (2005 р.)



КПК із живленням від метанольного паливного елемента (2005 р.)

Ну а поки що ситуація в області живлення мобільних об'єктів є наступною. Краще за все було б використовувати паливні елементи, але їх вартість дуже велика. Є також бензинові або дизельні електростанції але це дуже великі пристрої, які не можна використовувати всередині приміщень не обладнаних відповідною системою вентиляції. Більш-менш проблема вирішена на транспортних засобах – там є власний генератор та акумулятор, які забирають частину механічної енергії основного двигуна та перетворюють її на електричну. Але усі ці рішення зовсім не підходять для живлення різної малогабаритної техніки, такої як смартфони, ноутбуки, інтелектуальні годинники та інших подібних пристроїв. У цих сферах єдиним джерелом живлення залишаються хімічні джерела живлення, відомі вам як батарейки та акумулятори. Саме про них і піде мова у другій частині лекції.

Принципи електроживлення автономних об'єктів

- Якщо є така можливість слід використовувати паливні елементи (рішення, що має найменші розміри та найменшу вагу)
- Якщо є джерело механічної енергії, то можна використовувати електричні генератори (автомобілі та інший транспорт)
- У крайньому випадку можна використовувати автономні електростанції (на основі двигунів внутрішнього згоряння або дизельних двигунів)

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Василега П.О. Електропостачання. Університетська книга. 2023. 416с. ISBN: 9789666803668.
2. Правила улаштування електроустановок. Індустрія. 2022. 925с. ISBN: 9789662160222.
3. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Основа. 2022. 328с. ISBN: 9789666999453.
4. ДСТУ EN 61140:2019 Захист від ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання (EN 61140:2016, IDT; IEC 61140:2016, IDT)
5. J. Paul Guyer, P.E., R.A. An Introduction to Electric Power Systems Protection Engineering. 2021. 74p.
6. ДСТУ Lekha J, Lija Jacob, R. Gunavathi, S. Vijayalakshmi, Savita Dahiya Smart Power Systems Grid Modernization Using AI and IoT-Based Applications. Springer Nature Switzerland. 2025. 438p. ISBN: 9783031894589, 3031894588
7. Robert Delauter UPS Handbook. Quirauk Mountain Publishing. 2020. 124p. ISBN: 9781735942001, 1735942006.

Допоміжна

8. Frede Blaabjerg, Pooya Davari, Tomislav Dragicevic Applications of Power Electronics Volume 1. MDPI AG. 2019. 476 p. ISBN: 9783038979746, 3038979740.
9. Frede Blaabjerg, Pooya Davari, Tomislav Dragicevic Applications of Power Electronics Volume 2. MDPI AG. 2019. 500 p. ISBN: 9783039210206, 3039210203.
10. Mauro Feliziani, Tommaso Campi, Silvano Cruciani, Francesca Maradei Wireless Power Transfer for E-Mobility Fundamentals and Design Guidelines for Wireless Charging of Electric Vehicles. Elsevier Science. 2023. 240p. ISBN: 9780323995245, 0323995241.
11. Johnson I. Agbinya Wireless Power Transfer. River Publishers. 2022. 720p. ISBN: 9781000793338, 1000793338.
12. A. D. Dhass Energy Harvesting Technologies for Powering WPAN and IoT Devices for Industry 4.0 Up-gradation. Nova Science Publishers, Incorporated. 2020. 253p. ISBN: 1536169447, 9781536169447.

Інформаційні ресурси

13. Національна бібліотека ім. В.І.Вернадського. URL: <http://www.nbuv.gov.ua/>
14. Одеська обласна універсальна наукова бібліотека ім. М.С. Грушевського. URL: <https://biblioteka.od.ua/>
15. Портал «Electronic Design». URL: <https://www.electronicdesign.com/>
16. Портал «Power Electronics» URL: <https://power-electronics.com/en>

Навчальне видання

Русу Олександр Петрович

ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ОБЛАДНАННЯ

Конспект лекцій для здобувачів вищої освіти,
які навчаються за спеціальностями галузі «Інформаційні технології»

Українською мовою