

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

Русу О.П.

СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ

Навчальний посібник
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. Системи електроживлення систем зв'язку. Навчальний посібник для здобувачів вищої освіти, які навчаються за спеціальностями галузі «Інформаційні технології» [Електронне видання]. Кафедра комп'ютерних наук Міжнародного гуманітарного університету. Одеса, 2025. 79 с.

Методичний посібник складається із двох частин. В першій частині викладено теоретичні положення принципів побудови і функціонування систем електроживлення систем зв'язку та ІТ-компаній. Приведено основні відомості про обладнання і системи безперебійного електроживлення змінного і постійного струму. В другій частині приведена методика проектування систем електроживлення. Викладено принципи проектування і методики розрахунку пристроїв і систем електроживлення постійного і змінного струму.

Методичний посібник призначений для самостійної роботи студентів при виконанні УДРС, НДРС, курсового і дипломного проектування, при підготовці до лабораторних і практичних занять з дисциплін «Електроживлення систем зв'язку», «Електроживлення комп'ютерного обладнання».

Може бути корисним для інженерно-технічних працівників, що займаються дослідженням і проектуванням пристроїв і систем електроживлення

Зміст

ЧАСТИНА 1 НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК.....	5
1 ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ І ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ПІДПРИЄМСТВ ЗВ'ЯЗКУ	6
1.1 Основні поняття про електроживлення підприємств зв'язку	6
1.2 Системи електроживлення підприємства зв'язку	8
1.3 Основні вимоги до установок електроживлення.....	12
1.4 Система безперебійного живлення змінного струму.....	14
1.4.1 Призначення.....	14
1.4.2 Принципи побудови СБЖ змінного струму	14
1.4.3 Принципи побудови ДБЖ змінного струму	15
1.4.4 Основні характеристики ДБЖ змінного струму	18
1.5 Системи безперебійного живлення постійного струму.....	20
1.5.1 Принципи побудови СБЖ постійного струму.....	20
1.5.2 Свинцево-кислотні акумулятори	24
1.5.3 Випрямні пристрої.....	26
1.5.4 Струморозподільна мережа	30
1.6 Компенсатори реактивної потужності.....	30
1.6.1 Загальні відомості про компенсацію реактивної потужності	30
1.6.2 Принципи корекції коефіцієнта потужності.....	32
1.6.3 Компенсатори реактивної потужності	34
1.7 Заземлення технічних засобів підприємств зв'язку	35
1.7.1 Призначення.....	35
1.7.2 Системи заземлення	36
1.7.3 Заземлювальні пристрої.....	38
1.8 Обладнання автоматики і захисту.....	39
1.8.1 Призначення.....	39
1.8.2 Автомат вводу резерву.....	40
1.8.3 Плавкі вставки.....	40
1.8.4 Автоматичні вимикачі.....	42
1.8.5 Обладнання захисного відключення	44
1.8.6 Пристрої захисту від перевантаження по напрузі.....	45
ЧАСТИНА 2 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ	46
2 ПРИНЦИПИ РОЗРАХУНКУ І ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ.....	47
2.1 Вимоги і рекомендації до виконання розрахункової роботи	47
2.1.1 Зміст роботи	47
2.1.2 Обсяг та графік виконання	47
2.1.3 Оформлення пояснювальної записки	48
2.1.4 Вхідні дані	50
2.2 Принципи розрахунку і проектування СБЖ змінного струму.....	52
2.2.1 Методика розрахунку і проектування СБЖ змінного струму	52
2.2.2 Типові помилки при проектуванні СБЖ змінного струму.....	55
2.2.3 Приклад розрахунку СБЖ змінного струму	56

2.3 Принципи розрахунку і проектування СБЖ постійного струму	57
2.3.1 Методика розрахунку та вибору СБЖ постійного струму.....	57
2.3.2 Типові помилки при проектуванні СБЖ постійного струму	60
2.3.3 Приклад розрахунку СБЖ постійного струму	61
2.4 Принципи розрахунку загальної потужності підприємства зв'язку	63
2.4.1 Загальні положення	63
2.4.2 Методика розрахунку загальної потужності підприємства зв'язку	63
2.4.3 Приклад розрахунку загальної потужності підприємства зв'язку	64
2.5 Принципи розрахунку та вибору КРП.....	65
2.5.1 Методика розрахунку та вибору КРП	65
2.5.2 Типові помилки при проектуванні КРП.....	66
2.5.3 Приклад розрахунку КРП	67
2.6 Принципи розрахунку і проектування захисного заземлення	68
2.6.1 Методика розрахунку пристрою захисного заземлення.....	68
2.6.2 Типові помилки при розрахунку захисного заземлення	70
2.6.3 Приклад розрахунку захисного заземлення.....	71
2.7 Принципи розрахунку та вибору пристроїв автоматики та захисту	73
2.7.1 Методика розрахунку та вибору автоматичного вимикача	73
2.7.2 Приклад розрахунку та вибору автоматичного вимикача.....	73
2.8 Принципи складання функціональної схеми системи електроживлення підприємства зв'язку	74
2.8.1 Методика складання функціональної схеми системи електроживлення підприємства зв'язку	74
2.8.2 Приклад складання функціональної схеми системи електроживлення підприємства зв'язку	74
3 ЛІТЕРАТУРА	77

ЧАСТИНА 1

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

1 ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ І ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ПІДПРИЄМСТВ ЗВ'ЯЗКУ

1.1 Основні поняття про електроживлення підприємств зв'язку

Телекомунікацією є передача і прийом звуку, знаку, сигналу, письмового тексту, зображення по дротяній, кабельній, оптичній, магнітній, радіо- і іншим магнітним системам.

Мережа телекомунікації складає взаємозв'язану і єдину систему різноманітних технічних засобів, за допомогою якої здійснюється телекомунікація.

Для функціонування технічних засобів телекомунікації (підприємств і споруджень електрозв'язку, дротяного мовлення, радіомовлення, телебачення і поштового зв'язку) потрібна електрична енергія.

Електрична енергія використовується для здійснення основних і додаткових технологічних і загальновиробничих процесів.

Основні технологічні процеси здійснюються за допомогою основного обладнання, призначеного, наприклад, для комутації, посилення, передачі, обробки, прийому повідомлень.

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

Окрім 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 телекомунікаційного підприємства покладається на систему електроживлення

Система електроживлення підприємств і споруджень зв'язку – це комплекс споруд на території підприємства зв'язку, що включає систему електропостачання, обладнання перетворення, розподілу, регулювання і резервування електричної енергії, забезпечує функціонування підприємства зв'язку, як в нормальних, так і в аварійних режимах роботи.

Система електроживлення підприємств зв'язку, як правило, містить:

- електричні мережі загального призначення;
- пристрої вводу, захисту, комутації і розподілу постійного і змінного струму;

- автономні джерела (основні і резервні) електричної енергії однофазного, трьохфазного і постійного струму;
- системи електроживлення постійного і змінного струму.

Залежно від вимог по надійності електропостачання електроприймачі підприємств зв'язку підрозділяються на першу, другу і третю категорії. Більшість підприємств електрозв'язку відносяться до споживачів першої категорії, і їх електропостачання повинне забезпечуватися від трьох незалежних джерел електроенергії. Два зовнішні вводи електроенергії підключають до окремих енергосистем або електростанцій, а третій – до власної автономної (дизельною) електростанції. Нині в окремих практичних випадках допускається застосування двопробієвих систем електропостачання (з одним вводом і автономною електростанцією) **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**.

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 широко використовуються дизель-генератори (автоматизовані дизельні електростанції АДЕС – рис. 1.1, 1.2).

До споживачів гарантованого електроживлення відносяться обладнання підприємств зв'язку, що забезпечує функціонування і 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 (СЕЖ) змінного струму СЕП_~, і постійного струму СЕП₌ як джерел резервного електроживлення використовуються акумуляторні батареї (рис. 1.1).

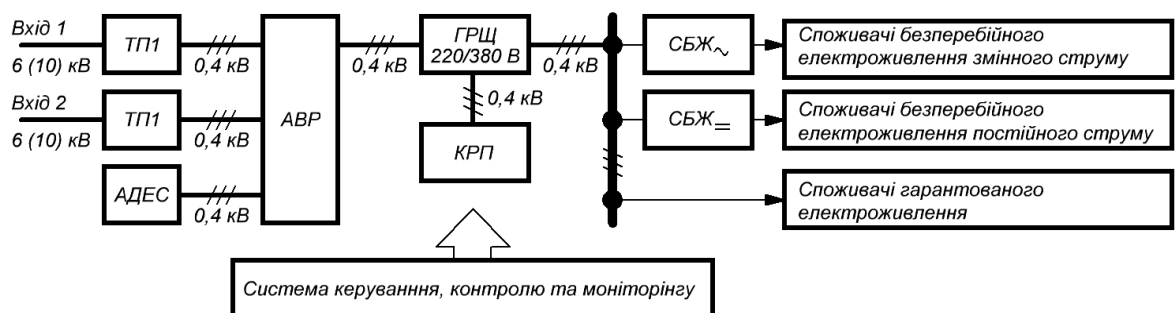


Рисунок 1.1 – Структурна схема системи електроживлення підприємства зв'язку

Системи електроживлення підприємств зв'язку широка використовують схеми (рис. 1.1, 1.2), які поєднують і гарантоване, і безперебійне живлення. При припиненні зовнішнього електропостачання запускається авто-

матизована дизельна електростанція АДЕС. З моменту зникнення напруги основної мережі до моменту запуску АДЕС, безперебійне електроживлення здійснюється від акумуляторних батарей систем СЕП₊, і СЕП₋. В результаті, при аварії основної мережі, системи електроживлення переходять в автономний режим від акумуляторних батарей, і забезпечується безперебійне електроживлення.

1.2 Системи електроживлення підприємства зв'язку

Спрощена структурна і функціональна схеми електроживлення підприємства зв'язку трьохпроменевого типу показані відповідно на рис. 1.1 та рис. 1.2..

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, зазвичай, 6 або 10 кВ. Безпосередньо до мережі низької напруги 0,4 кВ (220/380 В) підприємство зв'язку 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 вводів 1 і 2 до величини 0,4 кВ (220/380 В). До складу трансформаторних підстанцій входять понижувальні трансформатори *TV1* і *TV2* та обладнання захисту від перевантаження по струму: плавкі вставки *FU1*, *FU2* і автоматичні вимикачі *Q1*, *Q2*. Вторинні обмотки силових трансформаторів *TV1* і *TV2* вмикаються по схемі «зірка» з нульовим виводом (чотирьохпровідна «зірка2»), який підключають до системи заземлення. Дублювання автоматичних вимикачів *Q1* і *Q2* плавкими вставками *FU1* і *FU2* пов'язано з можливою відмовою автоматичних вимикачів (детальніше, див. .п. 1.8.3, 1.8.4).

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

АДЕС являє собою дизельний двигун, на валу якого встановлений електрогенератор. *АДЕС* підприємств зв'язку 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 автомату вводу резерву *АВР1*.

Автомат вводу резерву (АВР) потрібен для автоматичного вибору необхідного джерела живлення. При аварії основного джерела, яке, зазвичай, підключено до вводу 1, АВР автоматично переключається 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 (детальніше див. п. 1.8.2).

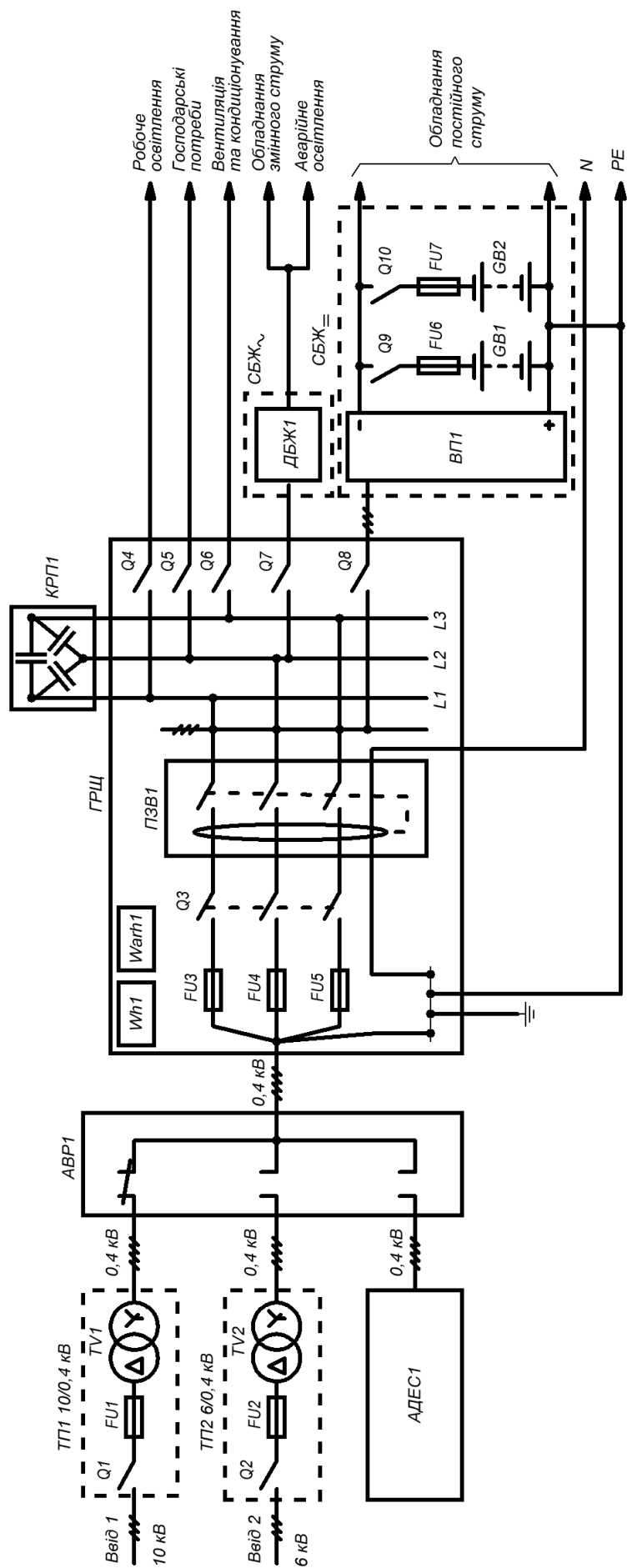


Рисунок 1.2 – Структурна схема системи електроживлення підприємства зв’язку трьохпроменевого типу

З виходу *ABP1* електрична енергія подається на **головний розподільний щит (ГРЩ)** (рис. 1.3), 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 1.3 – Головні розподільні щити

Захист кіл ГРЩ від перевантаження від струму відбувається за допомогою плавких запобіжників *FU3 – FU5* і трьохфазного автоматичного вимикача *Q3*. Дублювання захисту пов'язано з потенціальною можливістю відмови автоматичного вимикача *Q3* в той час як плавкі запобіжники *FU3 – FU5* мають більш високу надійність, проте, є одноразовими (детальніше, див. п 1.8.3, 1.8.4).

Пристрій захисного відключення (ПЗВ) *ПЗВ1* призначено для захисту персоналу від удару електричним струмом. При дотику людини до струмоведучих частин ПЗВ автоматично вимкне живлення підприємства зв'язку (детальніше див. п. 1.8.5).

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 дроту. Для великих струмів шини є мідними смугами прямокутного перетину, жорстко змонтованими в розподільному щиті (рис. 1.4).

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 електроенергії (детальніше див. п. 1.6).

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

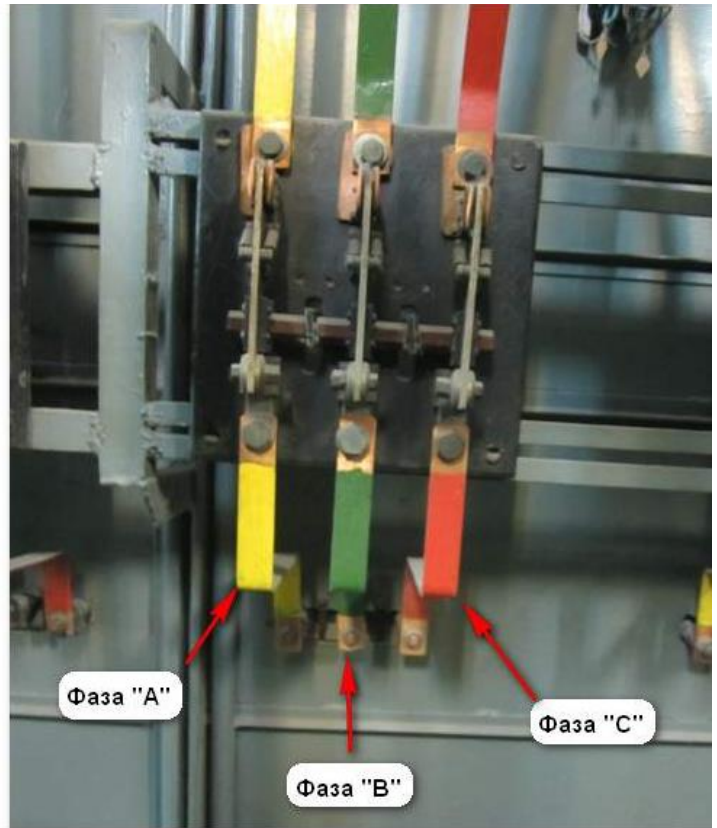


Рисунок 1.4 – Шини у вигляді мідних смуг в розподільному щиті

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 (детальніше див. п. 1.4).

Випрямний пристрій (ВП) ВП1 призначений для живлення обладнання постійного струму від мережі змінного струму, а також для заряду акумуляторних батарей *GB1, GB2* (детальніше див. п. 1.5.3).

Акумуляторні батареї *GB1, GB2* призначені для роботи обладнання постійного струму при аваріях основного джерела живлення (*ТП1, ТП2*) до запуску резервного (*АДЕС1*). В системах електроживлення підприємств зв'язку зазвичай використовуються акумуляторні батареї, сполучені у дві групи (двохгрупні 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 (детальніше див. п. 1.5.2).

Випрямний пристрій *ВП1*, акумуляторні батареї *GB1, GB2* автоматичні вимикачі *Q9, Q10* спільно із струморозподільною мережею утворюють **систему безперебійного живлення постійного струму** (детальніше див. п. 1.5).

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 сис-

теми безперебійного живлення постійного струму (до виходу *ВП1*) або до ДБЖ змінного струму (*ДБЖ1*).

Захисне заземлення, аналогічно ПЗВ, призначено для захисту персоналу від ураження електричним струмом. До проводу захисного заземлення підключається нейтральний провідник струморозподільної мережі (провідник *N* на схемі рис. 1.2), провідник захисного заземлення (провідник *PE* на схемі рис. 1.2), а також позитивні полюси випрямного пристрою *ВП1* і акумуляторних батарей *GB1*, *GB2*.

1.3 Основні вимоги до установок електроживлення

До електроживильних установок (ЕЖУ) висувається ряд вимог, які необхідно враховувати при проектуванні ЕЖУ [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]:

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

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

3) Електрозабезпечення ЕЖУ здійснюється від електричної мережі загального призначення і резервних джерел електроенергії трьохфазного або однофазного змінного струму з частотою 50 Гц з номінальною напругою 220/380 В, при цьому напруга на виході установок може бути 48 рідше 24, 60 В постійного струму.

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

5) Типове обладнання, яке використовується, повинно бути надійним у дії і комплектуватися по блочному принципу, що дозволяє нарощувати потужність в перспективі. Блочний принцип забезпечує рівномірний розподіл навантаження при його змінні і 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) В якості резервного джерела 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 освітлен-

ня. Ємність АБ, використовуваної для електроживлення мережі аварійного освітлення, повинна забезпечувати можливість роботи аварійного освітлення впродовж розрахункового часу розряду

8) Струмозподільні мережі ЕЖУ повинні проектуватися таким чином, щоб витрати провідникових матеріалів були мінімальними. Втрати напруги в СРМ на ділянці від ЕЖУ до стійок апаратури зв'язку, включаючи втрати в обладнанні захисту і комутації, не повинні перевищувати 4 % від номінального значення вихідної напруги ЕЖУ. При проектуванні СРМ постійного струму індуктивні і омичні опори провідників кола живлення повинні вибиратися з умови обмеження величини імпульсної напруги на виході ЕЖУ при короткому замиканні в СРМ, при цьому розрахункові величини струму і 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 зв'язку [Ошибка! Источник ссылки не найден.], а саме:

- відхилення напруги, яке установилося на виході ЕЖУ постійного струму для підключення кіл живлення апаратури зв'язку 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 в діапазоні частот до 300 Гц включно, не більше 7 мВ на частотах вище 300 Гц до 150 кГц;

- пульсації напруги по діючому значенню суми гармонічних складових в діапазоні частот від 25 Гц до 150 кГц – не більше 50 мВ;

- пульсації напруги по психометричному значенню не більше 2 мВ.

10) Заземлення ЕЖУ повинно задовольняти умовам «Правил улаштування електроустановок» (ПУЕ) [Ошибка! Источник ссылки не найден.] і забезпечити електробезпеку персоналу. Корпус обладнання ЕЖУ повинен мати болт (гвинт, шпильку) для підключення захисного провідника, при цьому для чотирьохпровідної зовнішньої мережі змінного струму повинно бути виконано заземлення і занулення обладнання ЕЖУ, а при п'ятипровідної мережі – тільки заземлення.

11) Заземлення нейтралі в трьохфазних мережах змінного струму є робочим, і опір його не повинен перевищувати 4 і 8 Ом відповідно при лінійних напругах 380 і 220 В джерела трьохфазного струму [5]. 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 перетину.

12) Прилади автоматичного захисту повинні виконувати свої функції при наступних входних діях [Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.]: 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 по кожній із фаз до ± 1000 В тривалістю імпульсів до 10 мкс – для інших пристроїв.

13) В пристроях автоматичного захисту амплітуда імпульсів перенапруги будь-якої полярності на виходах пристроїв (при входних діях) повинна бути не більше 4 кВ [Ошибка! Источник ссылки не найден.] (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.

1.4 Система безперебійного живлення змінного струму

1.4.1 Призначення

На підприємствах зв'язку система безперебійного живлення (СБЖ) змінного струму призначена для електропостачання захисту обладнання, критичного до невідповідності електричної енергії регламентованим нормам (враховуючи зникання і змінні напруги мережі), при аварії основного джерела електричної енергії до запуску резервного.

При відсутності резервного джерела живлення СБЖ підтримує роботу обладнання протягом деякого часу (сама СБЖ є резервним джерелом). Мінімальний час роботи в аварійному режимі повинен бути достатнім для коректного вимкнення обладнання.

За наявності аварійного джерела час роботи СБЖ складає 10...15 хвилин – за цей час відбувається запуск резервної електростанції.

При відсутності аварійного джерела час роботи СБЖ складає або 10...15 хвилин (час, необхідний для коректної зупинки обладнання), або 2...4 години (СБЖ виконує функцію електростанції).

Максимальний час перерви в електропостачанні напруги СБЖ змінного струму не повинен перевищувати тривалості половини періоду мережі. Для промислової мережі з частотою 50 Гц цей час складає 10 мс.

1.4.2 Принципи побудови СБЖ змінного струму

На підприємствах зв'язку безперебійне електропостачання забезпечується за допомогою джерел безперебійного живлення (ДБЖ). СБЖ будуються по централізованому принципу – з одним потужним ДБЖ (рис. 1.5, а), по децентралізованому принципу – з кількома ДБЖ (рис. 1.5, б) або по змішаному принципу (Рисунок 1., в).

Перевагою централізованого принципу побудови СБЖ є: зменшення проблеми пускових струмів, спрощення контролю та обслуговування, мож-

ливість використання існуючої електричної мережі, не критичність до потужності окремих споживачів.

До недоліків централізованого принципу побудови відносяться: збільшення вартості, необхідність у кваліфікованому персоналі, відсутність гнучкості в зміні конфігурації системи.

До переваг децентралізованого принципу відносяться: простота реалізації та використання, простота нарощуванні потужності, відсутність необхідності використання кваліфікованого персоналу для встановлення та обслуговування СБЖ.

1.4.3 Принципи побудови ДБЖ змінного струму

Основною функцією джерела безперебійного живлення є забезпечення підключеного до нього обладнання (навантаження) електричної енергією з якістю, що регламентується ГОСТ 13109-97. Існують дві основні технології побудови ДБЖ змінного струму: Off-Line і On-Line.

Суть технології Off-Line (рис. 1.6, а) полягає в контролі параметрів електричної енергії живильної мережі і прийнятті рішення, від якого джерела живити підключене обладнання: безпосередньо від мережі, або від власного джерела енергії (акумулятора). При такій технології забезпечується високий ККД (при роботі від мережі немає втрат електричної енергії неминучих при перетворенні) і низька вартість ДБЖ, однак швидкість реакції ДБЖ інколи може виявитися недостатньою для забезпечення необхідної якості електроенергії.

На практиці найбільш частою невідповідністю встановлених норм якості електроенергії є відхилення діючого значення живильної напруги. В зв'язку з цим на основі технології Off-Line була розроблена технологія Line-Interactive (Рисунок 1., б), яка має додатковий стабілізатор напруги мережі. ДБЖ, побудовані за даною технологією, на сьогоднішній день є самими масовими ДБЖ, що випускаються виробниками електроніки.

Суть технології On-Line (Рисунок 1.6, в) полягає в перетворенні електричної енергії: в постійний струм, а потім повторного його перетворення в змінний. Із-за цього ДБЖ класу On-Line в технічній літературі часто називають ДБЖ з подвійним перетворенням. Оскільки напруга на виході ДБЖ заново синтезується, її якість не залежить від якості напруги мережі. Це дозволяє живити обладнання від мережі з параметри, якої не відповідають ГОСТ 13109-97.

ДБЖ класу Off-Line і Line-Interactive мають значно меншу вартість і більший ККД порівняно з ДБЖ класу On-Line, однак рівень захисту у них нижче. В зв'язку з цим, ДБЖ класу On-Line використовуються в основному для електропостачання обладнання, критичного до якості електричної енергії (медичне обладнання, чутливі вимірювальні прилади тощо). Для питання телекомунікаційного обладнання в більшості випадків використовується ДБЖ класу Line-Interactive

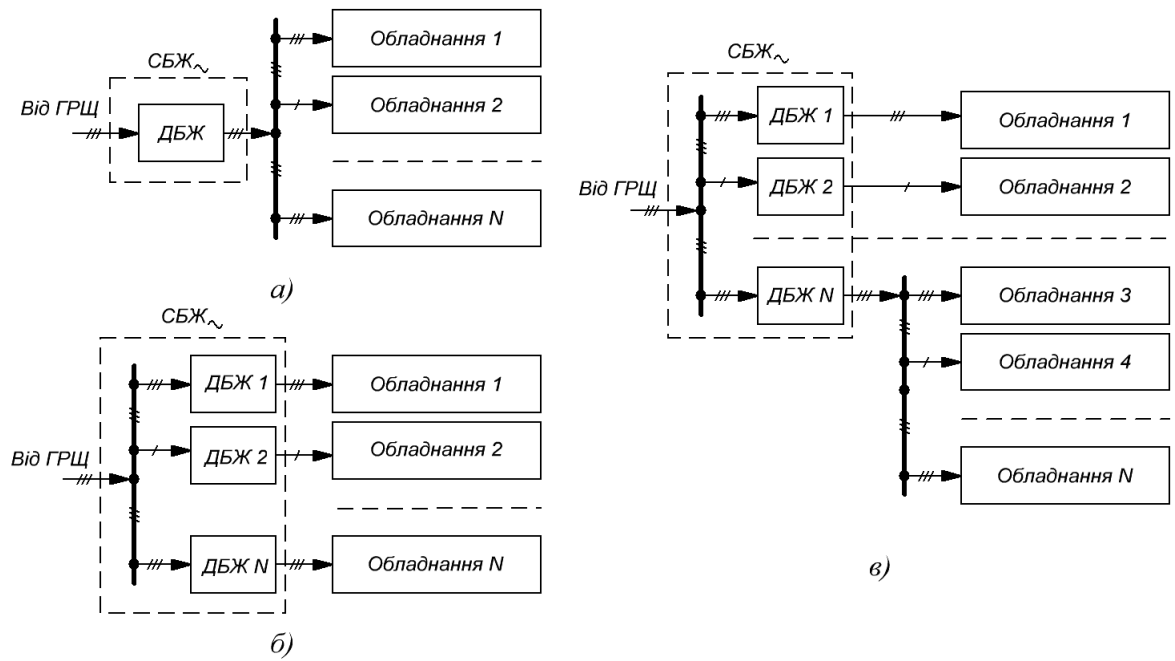


Рисунок 1.5 – СБЖ змінного струму: *а* – централізована (з одним ДБЖ), *б* – децентралізована (з кількома ДБЖ), *в* – змішана

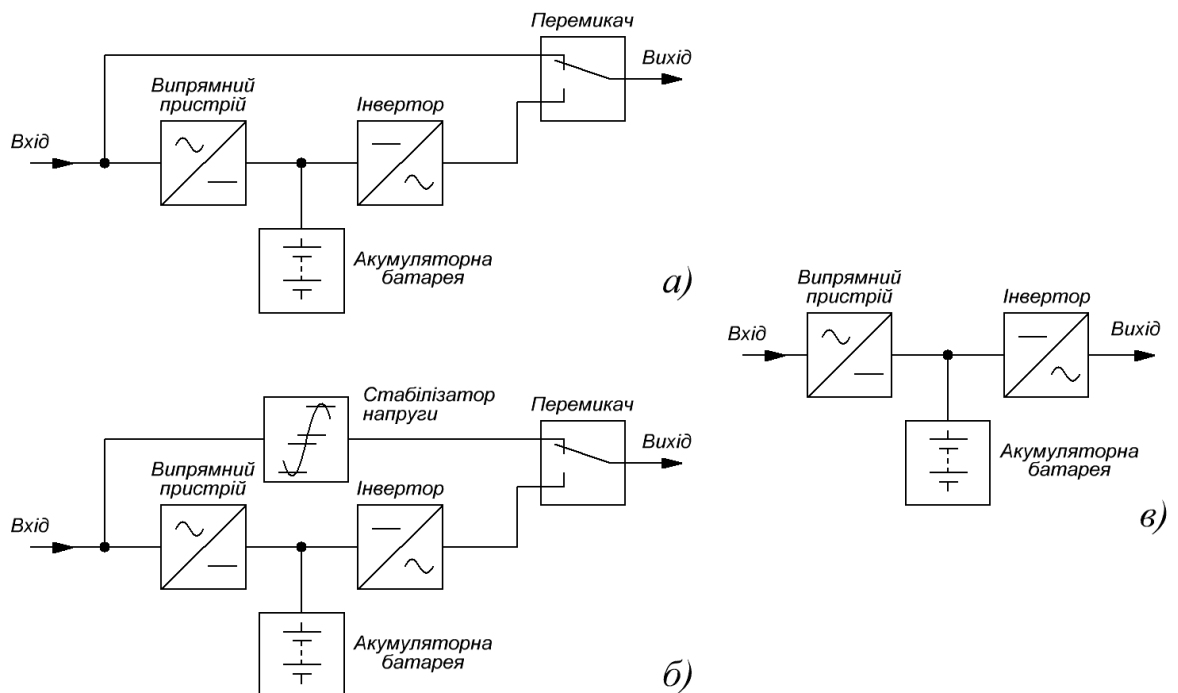


Рисунок 1.6 – Структурні схеми джерел безперебійного живлення класу Off-Line – *а*, Line-Interactive – *б*, On-Line – *в*

Системи безперебійного живлення потужністю більше 3 кВА будуються з використанням *трьохфазних* ДБЖ. При низьких потужностях (до 5 кВА) зазвичай використовують *однофазні* ДБЖ. В діапазоні 3...5 кВА вид ДБЖ залежить від виду обладнання (однофазне або трьохфазне).

Розрізняють ДБЖ із *зовнішніми* і *вбудованими* акумуляторами. ДБЖ невеликої потужності (до 5 кВА), зазвичай, мають вбудовану акумуляторну батарею невеликої ємності. ДБЖ великої потужності (більше 1 кВА) зазвичай виготовляють із зовнішніми акумуляторами. Напруга акумуляторної батареї залежить від потужності ДБЖ (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Орієнтовні значення напруги акумуляторних батарей ДБЖ змінного струму

Вихідна потужність ДБЖ, кВА	до 1	1...3	3...6	6...10	10...15	15...20	Більше 20
Напруга акумуляторних батарей, В	12	24	36	48	60	96	120 і вище

ДБЖ для побутового використання (рис. 1.7), зазвичай, є самостійними пристроями з вбудованим акумулятором. Вони не вимагають спеціальної кваліфікації для установки і обслуговування. Потужність ДБЖ побутового застосування складає не більше 5 кВА (зазвичай, до 1 кВА), час роботи від акумуляторних батарей – не більше 30 хвилин при номінальному навантаженні (зазвичай 15 хв.).

Промислові ДБЖ (рис. 1.8) зазвичай випускаються з зовнішніми акумуляторами, конструкція корпусу яких дозволяє встановлювати їх в стійки стандартного розміру. Часто промислові ДБЖ виготовляються за модульним принципом, який дозволяє при необхідності нарощувати потужність ДБЖ, а також забезпечувати необхідний рівень надійності (один або декілька модулів можуть використовуватися як резервні). Схема управління модульного ДБЖ високої якості дозволяє виконувати «гарячу» заміну модулів і акумуляторних батарей без зняття напруги з обладнання.

ДБЖ призначені для забезпечення живлення комп'ютерного обладнання, як правило, мають порт для підключення комп'ютера (протокол, USB, RS-232, RS-482) або локальної обчислювальної мережі (Ethernet). Через даний порт відбувається обмін інформацією між ДБЖ і серверами: стан батареї, час роботи, що залишився, напруга мережі, а також відбувається налаштування ДБЖ. Сучасні ДБЖ мають вбудовану Flash-пам'ять, в якій зберігається журнал роботи ДБЖ.



Рисунок 1.7 – ДБЖ побутового застосування: виконаний у вигляді подовжувача SPD-850U фірми Powercom потужністю 0,85 кВА – а; Back-UPS 350 фірми APC потужністю 0,35 кВА – б; всі ДБЖ з вбудованими акумуляторами

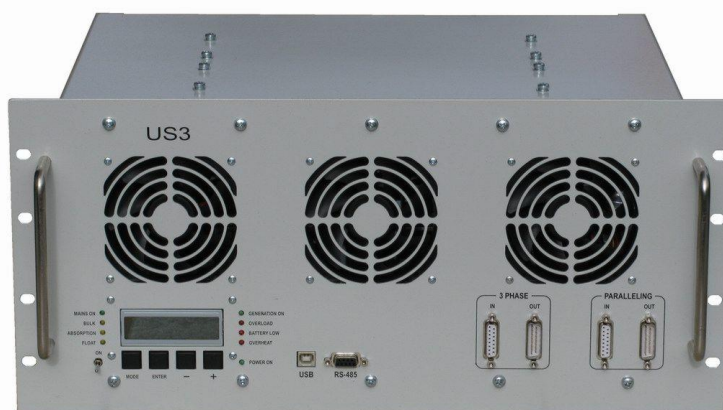


Рисунок 1.8 – Промисловий ДБЖ US3 компанії «ИКС-Техно» потужністю 3 кВА з зовнішніми акумуляторами призначений для монтажу в стійку з можливістю паралельної роботи декількох блоків

1.4.4 Основні характеристики ДБЖ змінного струму

Максимальна потужність, кВА – максимальна потужність обладнання яке можна підключити до ДБЖ. ДБЖ побутового застосування призначені для роботи з комп'ютерним обладнанням, типовий коефіцієнт потужності якого складає 0,62...0,67, тому максимальна активна потужність у них, як правило, менша. Так, наприклад, максимальна повна потужність ДБЖ SPD-850U фірми Powercom (, а) $S = 0,8$ кВА, в той час як активна $P = 0,51$ кВт. Для ДБЖ Back-UPS 350 фірми APC (рис. 1.7, б) $S = 0,35$ кВА, $P = 0,21$ кВт. Для промислових ДБЖ (наприклад, US3 компанії «ИКС-Техно», рис. 1.8) максимальні активна та повна потужності становлять ($S = 3$ кВА, $P = 3$ кВт).

Час роботи від акумулятора, год – мінімальний час роботи від вбудованої акумуляторної батареї. Час роботи від акумулятора залежить від його ємності, величини підключеного навантаження і температури навколишнього середовища. В документації на ДБЖ виробник, як правило, приводить

спеціальні формули, графіки або таблиці, що дають можливість розрахувати орієнтовне значення даного параметра в конкретному випадку.

Форма вихідного навантаження. Інвертор ДБЖ синтезує змінну вихідну напругу із постійної напруги акумулятора. Для зменшення вартості ДБЖ деякі виробники використовують спрощені схеми інверторів, форма вихідної напруги яких відрізняється від синусоїдальної (так звана, апроксимована синусоїда) (рис. 1.9). Зазвичай у ДБЖ типу Off-Line форма вихідної напруги у автономному режимі є прямокутною або апроксимованої синусоїди (трапецією або сходи́нками), а у ДБЖ типу On-Line – синусоїдальною.

Якщо обладнання, що підключене до ДБЖ, критичне до форми живильної напруги, до використання для його живлення ДБЖ з апроксимованою синусоїдою може привести до виходу з ладу обладнання або ДБЖ. Зазвичай, до форми напруги критичні трансформатори і електродвигуни, що працюють на частоті мережі, активні коректори потужності, фільтри гармонік, мережні фільтри високочастотних завад.

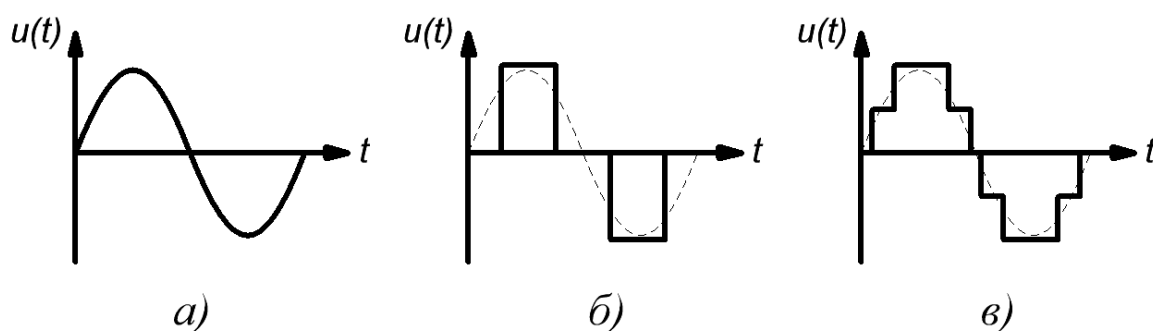


Рисунок 1.9 – Форма вихідного навантаження інверторів ДБЖ: синусоїдальна – а; двоступінчата апроксимація синусоїди – б; трьохступінчата апроксимація синусоїди – в

Основні характеристики деяких промислово випущених ДБЖ змінного струму приведені у табл.1.2.

Таблиця 1.2 – ДБЖ змінного струму

Виробник	Модель	Потужність пристрою, $S_{\text{ДБЖ max}}$, кВА	Потужність модуля, $S_{\text{мод}}$, кВА
APC	Symmetra Power Array	16	4
APC	Symmetra RM	6	2
APC	Symmetra LX	16	4
Newave UPS Systems	Minipower Tower	8	1
Newave UPS Systems	Minipower Rack	4	1
PK Electronics	US 9003	4,8	0,4
Eaton-Powervare	9170	18	3
Socomec-Sicon	Modulys	18	1,5

1.5 Системи безперебійного живлення постійного струму

На підприємствах зв'язку система безперебійного живлення (СБЖ) постійного струму призначена для безперебійного електропостачання обладнання постійного струму.

На відміну від системи безперебійного живлення змінного струму, яку можна тимчасово відключити, підключивши обладнання безпосередньо до мережі (режим «байпас»), відключення СБЖ постійного струму призведе до зупинки обладнання. Другою відмінністю СБЖ змінного від СБЖ постійного струму є перетворення змінного струму в постійний.

1.5.1 Принципи побудови СБЖ постійного струму

Аналогічно СБЖ змінного струму, на підприємствах зв'язку системи безперебійного живлення постійного струму будуються по централізованому (див. рис. 1.5, *а*), децентралізованому (див. рис. 1.5, *б*) або по змішаному принципу (див. рис. 1.5, *в*).

СБЖ постійного струму малої потужності (до 1 кВт), як правило, реалізуються на основі невеликих спеціалізованих джерел безперебійного живлення (рис. 1.10), які містять у своєму складі випрямний пристрій і акумуляторну батарею.

Залежно від наявності або відсутності акумуляторної батареї (АБ) у складі СБЖ постійного струму і способу підключення АБ відносно навантаження розрізняють три модифікації системи електроживлення:

- буферна система (рис. 1.11);
- з відокремленою від навантаження АБ (рис. 1.12, *а*);
- безакумуляторна (двопроменева – рис. 1.12, *б*).

Для отримання необхідного рівня надійності використовують паралельне включення випрямних модулів за принципом $N + 1$ (N – основних модулів і 1 резервний) і ділення акумуляторної батареї на 2 незалежні групи (двохгрупна акумуляторна батарея).



Рисунок 1.10 – ДБЖ постійного струму малої потужності
SOROTEC IG3115E (12 В, 3 А, 7 Ач) – *а*; Штиль PS1205B (12 В, 5 А, 7 Ач) – *б*

Потужні СБЖ постійного струму, що використовуються на підприємствах зв'язку, є набором обладнання, сполученого в систему, за чотирма основними структурними схемами:

- буферна схема без пристроїв стабілізації;
- буферна схема із стабілізованим конвертором;
- буферна схема із вольтододатним конвертором;
- схема з відокремленою від навантаження акумуляторною батареєю.

Незалежно від схеми побудови, СБЖ постійного струму містить як мінімум два основних силових вузла: випрямний пристрій (ВП) і акумуляторну батарею (АБ). Випрямний пристрій перетворює змінну напругу мережі в постійну. Він забезпечує живлення обладнання і заряд акумуляторної батареї. Акумуляторна батарея є резервним джерелом електричної енергії. При зникненні напруги мережі протягом деякого часу обладнання живиться від акумуляторної батареї.

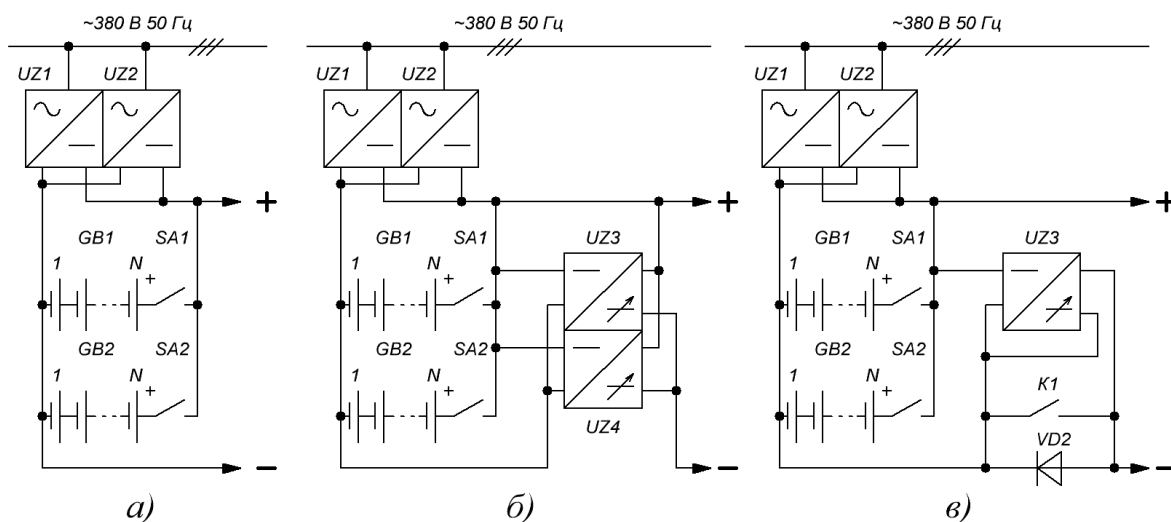


Рисунок 1.11 – Системи електроживлення постійного струму: буферна схема – а; буферна схема із стабілізованим конвертором – б; буферна схема з вольтододатним конвертором – в

Акумуляторна батарея є резервним джерелом електричної енергії. При зникненні напруги мережі протягом деякого часу обладнання живиться від акумуляторної батареї.

В буферних схемах АБ постійно підключена до навантаження. Після аварії заряд батареї і одночасно живлення навантаження відбувається від випрямлячів. Перевагою буферних систем електроживлення є відсутність комутацій при зникненні напруги в електромережі і її відновленні.

У буферних системах електроживлення рис. 1.11 випрямний пристрій і акумуляторна батарея включені паралельно і забезпечують електроживленням навантаження. Можливість електроживлення споживачів електричної енергії або від випрямного пристрою (при наявності мережі змінного стру-

му), або від акумуляторної батареї (при відсутності мережі змінного струму) і забезпечує високу надійність даної системи електроживлення.

В **буферній схемі** однофазна або трьохфазна напруга змінного струму випрямляється, понижується і стабілізується за допомогою випрямлячів $UZ1$ і $UZ2$ виходи яких з'єднані паралельно (рис. 1.11, *а*). Акумуляторна батарея складається із двох груп акумуляторів $GB1$ і $GB2$, які підключаються за допомогою автоматичних вимикачів $SA1$ і $SA2$ до виходу ВП. Автоматичні вимикачі дозволяють при необхідності відключати групу АБ, а також забезпечують захист від перевантаження по струму (при перевищенні струму автоматичний вимикач розімкне аварійне коло).

Буферна схема із стабілізованим конвертором містить декілька паралельно включених випрямлячів $UZ1$, $UZ2$ і двохгрупну акумуляторну батарею $GB1$, $GB2$ (рис. 1.11, *б*). Конвертори $UZ3$, $UZ4$ призначені для додаткової стабілізації вихідної напруги і компенсації зміни напруги на акумуляторній батареї.

Буферна схема з вольтододатним (ВДК) конвертором крім випрямних пристроїв $UZ1$, $UZ2$ і акумуляторної батареї $GB1$, $GB2$ містить вольтододатний конвертор (ВДК) (рис. 1.11, *в*).

В штатному режимі контактор $K1$ замкнений, елементи акумуляторної батареї $GB1$, $GB2$ підтримуються в зарядженому стані за допомогою випрямного пристрою $UZ1$, $UZ2$, який одночасно забезпечує живленням основне обладнання. В аварійному режимі контактор $K1$ розмикається, а вихід вольтододатного конвертора $UZ3$ з'єднується послідовно з акумуляторною батареєю $GB1$, $GB2$. Так як напруга на виході вольтододатного конвертора більше за напругу випрямного пристрою, то діод $VD1$ переходить у непровідний стан. При розрядженні акумуляторної батареї за допомогою вольтододатного конвертора додається недостатня доля напруги для забезпечення сталості напруги на навантаженні. Діод $VD1$ необхідний для забезпечення безперервного протікання струму в момент спрацьовування контактора $K1$.

Система електроживлення з відокремленою від навантаження акумуляторною батареєю може бути реалізована з використанням пристрою комутації (КК) у вигляді керованого комутувального пристрою (рис. 1.12, *а* – або електронно-механічного контактора або електронного: тиристорного або транзисторного), або у вигляді розв'язувального діоду (рис. 1.12, *б*). В останньому випадку досягається безрозривність підключення акумуляторної батареї до навантаження.

При наявності напруги в мережі змінного струму (в нормальному режимі роботи) електроживлення споживачів (навантаження СБЖ_н) здійснюється безпосередньо від випрямного пристрою.

Акумуляторна батарея відключена від загальної точки з'єднання навантаження і основного випрямного пристрою. У зв'язку з цим підзарядження і режим утримання акумуляторної батареї здійснюється від додаткового випрямляча $UZ3$ (рис. 1.12, *а, б*), який називається – випрямляч змісту. При зниженні напруги нижче допустимої норми АБ підключається до обладнання за допомогою пристрою комутації ПК.

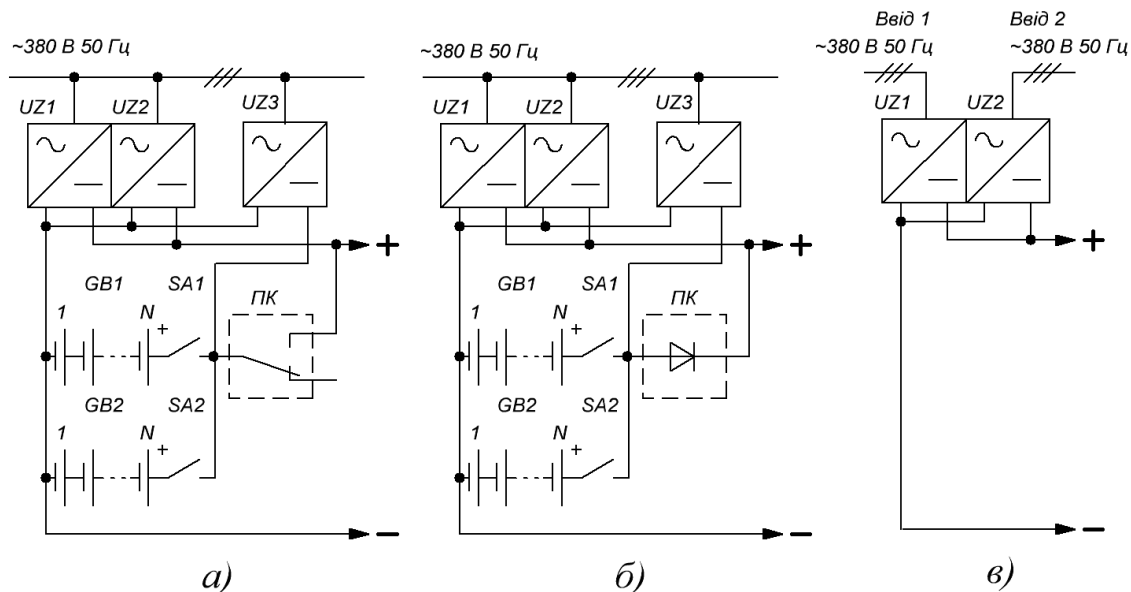


Рисунок 1.12 – Системи електроживлення постійного струму: з відокремленою від навантаження акумуляторною батареєю – а) і б); безакумуляторна (двохпроменева) – в)

У безакумуляторній (двопроменевій) системі електроживлення кожне з паралельно працюючих на загальне навантаження випрямних пристроїв отримує електричну енергію від одного з двох незалежних джерел електропостачання (Вхід 1 і Вхід 2 – рис. 1.12, в).

На підприємствах зв'язку рекомендується побудова двохгрупних акумуляторних батарей (GB1 и GB2), як це показано на Рисунок 1.. Така побудова не тільки підвищує надійність акумуляторної батареї в цілому, але і дозволяє проводити регламентні роботи по обслуговуванню і ремонту батарей. Для обслуговування батарей необхідно провести їх перемикання за допомогою перемикачів QR1 або QR2. Контроль стану батарей відбувається за допомогою вольтметра (PV1), амперметра (PA1) і магазину навантаження (R1, R2, R3).

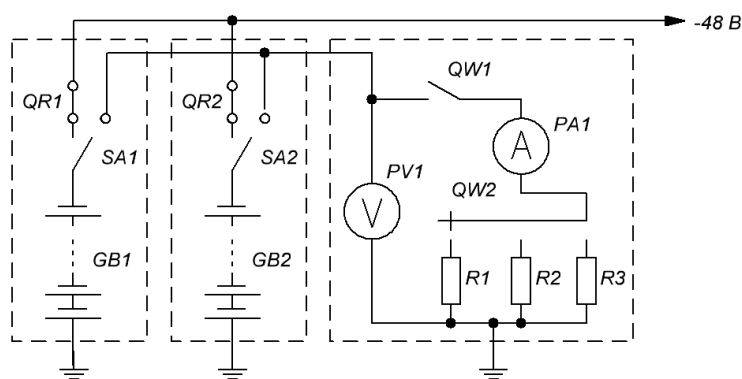


Рисунок 1.13 – Двохгрупна акумуляторна батарея

1.5.2 Свинцево-кислотні акумулятори

Акумулятор – це електрохімічне джерело струму багатократної дії. Він здатний накопичувати, тривало зберігати і віддавати у міру потреби електричну енергію, отриману від зовнішнього джерела постійного струму.

Нині на підприємствах зв'язку найбільш широке поширення отримали свинцево-кислотні акумулятори. В особливих випадках, при жорстких вимогах до температури довколишнього середовища, застосовуються нікель-кадмієві акумуляторні батареї. Це пов'язано з тим, що свинцево-кислотні акумулятори мають найменшу питому вартість (ціна / кВт·год). Строк служби стаціонарних свинцево-кислотних акумуляторів може досягати 12...15 років. Строк служби АБ в джерелах безперебійного живлення 5...7 років.

Елемент звичайного свинцево-кислотного акумулятора складається з двох свинцевих пластин, розділених між собою сепаратором, який перешкоджає їх замиканню (рис. 1.4, а). Пластины розташовані в електроліті, в якості якого використовується розчин сірчаної кислоти.

Середня напруга на одному елементі $U_{\text{ел ном}} = 2 \text{ В}$. Для збільшення напруги або ємності акумулятора елементи сполучають у батарею (акумуляторну батарею АБ). Послідовне сполучення елементів (рис. 1.4, б) збільшує напругу батареї, паралельне (рис. 1.4, в) – ємність. Виробники випускають акумуляторні батареї з номінальною напругою 2 В (1 елемент), 4 В (2 елемента), 6 В (3 елемента), 12 В (6 елементів).

За конструктивними особливостями акумулятори діляться на дві великі групи – закритого типу, що мало обслуговуються, і герметичного, що не обслуговуються.

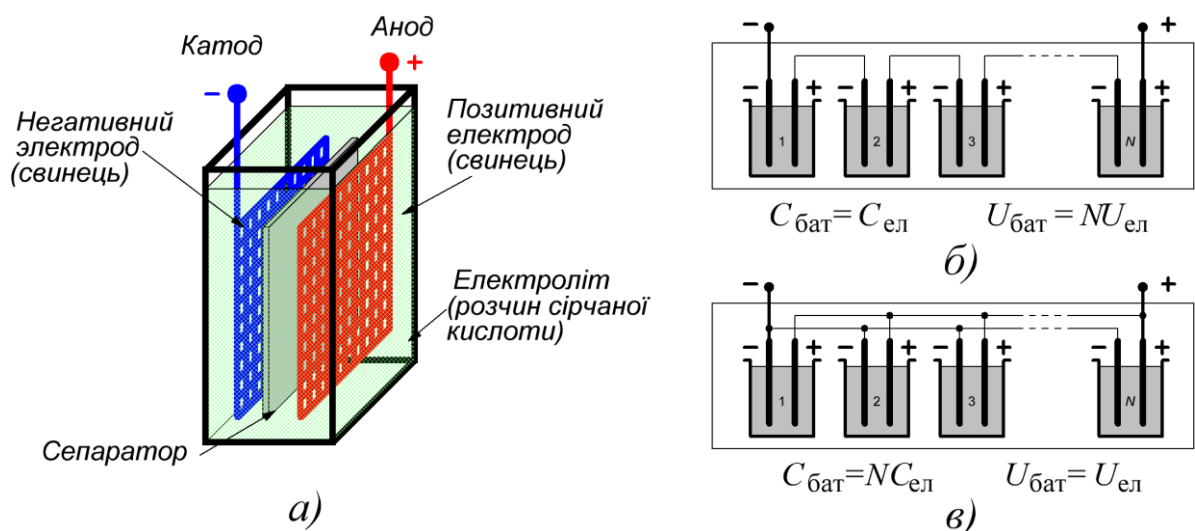


Рисунок 1.14 – Елемент свинцево-кислотної акумуляторної батареї АБ а; способи сполучення елементів: послідовний (збільшує напругу батареї) б; паралельний (збільшує ємність) в

Під час роботи малообслуговуваних акумуляторів можуть виділятися водень і пари сірчаної кислоти, тому ці акумулятори не можна використовувати в приміщеннях де знаходиться апаратура і працюють люди. На підприємствах зв'язку малообслуговувані акумулятори розташовуються в окремому приміщенні – акумуляторній, яке обладнане системою вентиляції. Доступ в акумуляторну мають співробітники, що мають спеціальну групу допуску з техніки безпеки. Обслуговування акумуляторів полягає в періодичному контролі щільності електроліту і, при необхідності, його додаванні.

У акумуляторах, що не обслуговуються, електроліт виконаний у вигляді гелю (акумулятори з гелевим електролітом). Хімічні процеси в акумуляторах оптимізовані таким чином, що при нормальній експлуатації газу в атмосферу не виділяються і щільність електроліту не змінюється. Ці акумулятори можна використати в будь якому положенні (малообслуговувані тільки у вертикальному), а також використати в приміщеннях де знаходиться апаратура і працюють люди. Недоліком акумуляторів, що не обслуговуються, є висока вартість (у 2 рази дорожче за малообслуговувані).

Напруга на елементі залежить від рівня заряду і коливається в межах 1,75...2,14 В. Глибокий розряд (зменшення напруги менше 1,75 В) або перезаряд акумулятора (збільшення напруги більше 2,14 В) приводить до незворотних хімічних процесів і скороченню терміну служби акумулятора. В процесі експлуатації ємність акумулятора зменшується, що приводить до зменшення часу роботи апаратури. Строк служби акумулятора зазвичай обмежений кількістю циклів заряд-розряд. При зменшенні ємності до величини менше половини номінальної ємності акумуляторна батарея підлягає заміні.

Зарядження акумуляторів здійснюється струмом, величина якого обмежується зарядним пристроєм на рівні 10...25 % від ємності акумулятора. По мірі зарядження напруга акумулятора росте. В кінці зарядження зарядний пристрій обмежує величину напруги на рівні 2,28 В (режим «плаваючого» заряду).

Кількість електричної енергії, що віддається акумулятором, залежить від температури довкілля і швидкості розряду. При низьких температурах швидкість хімічних реакцій нижча, що призводить до зменшення ємності акумулятора і збільшення його внутрішнього опору.

Основні електричні характеристики акумуляторів

Ємність акумулятора $A \cdot \text{год}$ – це кількість електричної енергії, яку можна отримати від акумулятора в певних умовах розряду. Ємність акумулятора вимірюється в $A \cdot \text{год}$ (Ампер-годинах) або в $Вт \cdot \text{год}$ (Ват-годинах):

$$1 \text{ Вт} \cdot \text{год} = 1 \text{ А} \cdot \text{год} \cdot \text{Напруга акумулятора, В.}$$

Номінальна ємність акумулятора, наводиться при заданому струмі розряду і температурі довкілля.

Номинальна напруга на елементі, В – це напруга на виводах повністю зарядженого елемента протягом першої години розряду струмом 10-годинного режиму розряду при температурі електроліту 20⁰С. Для свинцево-кислотного акумулятора $U_{\text{ел ном}} = 2 \text{ В}$.

Номинальна напруга акумулятора, В – це напруга на виводах повністю зарядженого акумулятора протягом першої години розряду струмом 10-годинного режиму розряду при температурі електроліту 20⁰С. Виробники випускають акумуляторні батареї з номінальним навантаженням 2, 4, 6, 12 В.

Напруга на елементі в кінці розряду, В – мінімальна напруга на елементі при якому не настають незворотні хімічні реакції. При 10-ти годинному циклі розряду $U_{\text{ел кр}} = 1,75 \dots 1,8 \text{ В}$. При розряді акумулятора струмами, які перевищують струм 10-годинного режиму розряду, напруга знижується швидше, ніж при 10-годинному режимі і досягає рівня 1,8 В, коли акумулятори ще не розряджені повністю. В таких випадках показником закінчення розряду є величина напруги.

Величина напруги заряду, В – максимальна напруга на елементі в режимі плаваючого заряду. $U_{\text{пз}} = 2,28 \text{ В}$.

Внутрішній опір елемента, Ом складається із опору акумуляторних пластин, сепаратора і електроліту. Внутрішній опір збільшується по мірі розряду в силу зменшення щільності електроліту а також у зв'язку з утворенням сульфату свинцю. Опір одного повністю зарядженого елемента (при номінальній температурі) складає 0,0036 Ом, а в стані повного розряду – 0,007 Ом.

Основні характеристики деяких акумуляторних батарей, що не обслуговуються, приведені в табл. 1.3).

1.5.3 Випрямні пристрої

Випрямний пристрій (ВП) – пристрій, призначений для перетворення електричної енергії змінного струму в електричну енергію постійного струму. Є вторинним джерелом електроживлення.

На сьогоднішній день на підприємствах зв'язку використовується ВП з перетворенням електричної енергії на високій частоті, структурна схема яких показана на рис. 1.15. ВП даного класу забезпечують найкращі техніко-економічні показники.

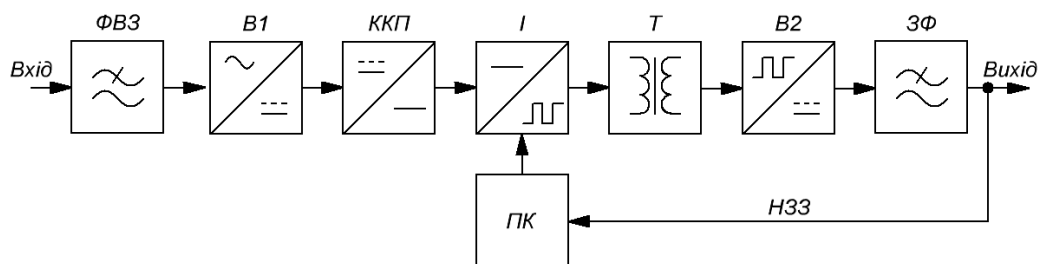


Рисунок 1.15 – Структурна схема випрямного пристрою

Таблиця 1.3 – Електричні параметри акумуляторних батарей фірми HAWKER при 10-годиним режимі розряду

Виробник, марка	Тип	Технологія	Напруга, В	Ємність, С ₁₀ А•год
HAWKER, PHEBVS	6SC4	Електроліт сорбований в сепараторі	6	6
	6SC10		6	10
	12SC24		12	24
	12SC40		12	40
HAWKER, POWER Safer	12V20	З рекомбінацією газу і запобіжним клапаном	12	22
	12V57		12	68
	12V80		12	79
	8V100F		8	100
	4V105		4	103
	6V105		6	103
	4V155		4	154
	6V155		6	154
	2V200		2	200
	4V230		4	231
	2V275		2	275
	2V320		2	320
	2V460		2	460
	2V500		2	500
	4V525		4	524
	6V525		6	524
	2V915		2	917
	2V1575		2	1573
	2V1770		2	1769
	12VE50		12	46
	12VE90		12	79
	6VE140		6	132
	2VE170		2	152
	6VE180		6	165
	2VE310		2	275
	2VE450		2	400
	2VE540		2	500
	6MLTC100		12	100
	6MLTC150		12	162
	3MLTC200		6	200
	3MLTC250		6	265
	3MLTC300		6	300
HAWKER, ESPACE RG	12RG24	З мікропористим сепаратором, рекомбінацією газу і запобіжним клапаном	12	24
	12RG40		12	40
	12RG70		12	70
	6RG70		6	70
	12RG85		12	85
	6RG110		6	110
	2RG135		2	135
	6RG140		2	140
	2RG200		2	200
	2RG250		2	250

Напруга змінного струму через фільтр високочастотних завад *ФВЗ* перетвориться випрямлячем *В1* на напругу, що пульсує з подвійною частотою мережі (100 Гц), яка подається на коректор коефіцієнта потужності *ККП*. *ККП* зменшує рівень пульсації випрямленої напруги, а також формує синусоїдальну форму споживаного струму, синфазну з формою напруги живильної мережі. З виходу *ККП* постійна напруга величиною приблизно 400 В подається на вхід інвертора *I*, який перетворює постійну напругу в змінну напругу прямокутної форми з частотою 50...500 кГц. Ця напруга поступає на трансформатор *T*, який зменшує її до потрібної величини, а також забезпечує гальванічну розв'язку вхідних і вихідних кіл.

Високочастотна напруга з виходу трансформатора випрямляється випрямлячем *В2*, і згладжується фільтром *ЗФ*. Вихідна напруга на виході стабілізується за рахунок використання пристрою керування (*ПК*) и на основі сигналу негативного зворотного зв'язку (*НЗЗ*), який несе інформацію про величину вихідної напруги. Регулювання вихідної напруги, як правило, здійснюється шляхом зміни ширини імпульсу інвертора (*ШІМ-регулювання*).

Аналогічно ДБЖ змінного струму промислові ВП випускаються в модульному виконанні, що дозволяє нарощувати потужність системи шляхом паралельного з'єднання необхідної кількості модулів, а також забезпечувати необхідний рівень надійності шляхом ведення резервування.

Основні характеристики випрямних пристроїв

Вихідна напруга, В – номінальна напруга на виході ВП.

Максимальний струм, А. Для ВП модульного виконання слід розрізняти максимальний струм модуля і максимальний струм пристрою.

Максимальна вихідна потужність, Вт – дорівнює добутку вихідної напруги на максимальний струм. У документації виробника може бути вказана як максимальна потужність, так і максимальний струм. Для ВП модульного виконання слід розрізняти потужність модуля і потужність ВП.

Коефіцієнт пульсації вихідної напруги, % – відносна величина рівня високочастотних пульсацій в випрямленій напрузі.

Максимальна споживана потужність, Вт або ВА. В документації виробник може вказати як максимальну активну потужність (Вт), що споживається з мережі, так і максимальну повну потужність (ВА).

Коефіцієнт потужності – величина, яка характеризує якість споживання електричної енергії змінного струму – відношення активної споживаної потужності до повної.

Коефіцієнт корисної дії, % – характеризує величину втрат електричної енергії при перетворенні.

Основні характеристики деяких промислово випускаючих випрямних пристроїв приведені у табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики випрямних пристроїв

Тип, виробник	Модель	Число паралельних модулів в одному випрямлячі	Напруга, В	Максимальний вихідний струм, А (струм одного модуля)
MPSU «OLDAM», $\eta \geq 91 \%$, $\delta \leq 1 \%$ $\cos \varphi = 0,98$	MPSU 4000 цифровий контроль	1...4	24	148 (37)
			48	83 (21)
			60	66 (17)
PRS «OLDAM» $\eta \geq 91 \%$, $\delta \leq 1 \%$ $\cos \varphi = 0,98$	PRS I цифровий контроль	1...7	24	260 (37)
			48	144 (21)
			60	116 (17)
	PRS II цифровий контроль	1...14	24	520 (37)
			48	288 (21)
			60	232 (17)
	PRS III, цифровий контроль	1...21	24	780 (37)
			48	432 (21)
			60	348 (17)
ДБЖ «Связь инжиниринг» $\delta \leq 1 \%$	ДБЖ-1, аналогова апаратура контролю	3, 4, 6, 7	24	308 (44)
		2, 3, 4, 8, 9, 12	48	264 (22)
		2, 3, 4, 6, 8, 9	60	171 (19)
ДБЖ «Связь инжиниринг» $\delta \leq 1 \%$	ДБЖ-3, цифровий контроль, $\eta \approx 88 \%$, $\cos \varphi = 0,8$	3, 4, 9	24	396 (44)
		2, 3, 4, 9, 12, 18, 24	48	528 (22)
		3, 4, 7, 9	60	171 (19)
	ДБЖ-4, цифровий контроль, $\eta \approx 91 \%$ $\cos \varphi = 0,99$	3, 6, 9, 12	24	1200 (100)
		3, 6, 9, 12	48	600 (50)
		3, 6, 9, 12	60	480 (40)
	ДБЖ-5, цифровий контроль, $\eta \approx 88 \%$, $\cos \varphi = 0,8$	4, 6	24	132 (22)
		4, 6	48	66 (11)
		4, 6	60	54 (9)
УЭПС, СУЭП ОАО Юрьев-Польский завод «Промсвязь» $\eta \approx 85 \%$, $\cos \varphi = 0,95$, $\delta = 2 \%$	УЭПС-2	1...4	60	60 (15)
		1...4	48	80 (20)
		1...6	48	120 (20)
		1...3	24	60 (20)
		1...3	24	120 (40)
		1...5	24	200 (40)
		1...10	24	400 (40)
	СУЭП-2	1...12	60	300 (25)
		1...8	60	200 (25)
		1...12	48	360 (30)
		1...8	48	240 (30)
		1...4	48	120 (30)

Примітка. Вихідна напруга промислових випрямлячів може регулюватися в межах не менше чим на $\pm 10 \%$ від номінальної.

1.5.4 Струморозподільна мережа

На підприємствах зв'язку акумуляторні батареї, випрямні пристрої, і обладнання постійного струму можуть бути територіально рознесені на значні відстані. Струморозподільна мережа є необхідним сполучною ланкою, що об'єднує елементи системи безперебійного живлення постійного струму.

Струморозподільна мережа (СРМ) – сукупність пристроїв, встановлювальних елементів і силових кабелів, призначена для транспортування і розподілу електричної енергії постійного струму.

При передачі електричної енергії на відстані виникають неминучі втрати. Це може привести до того, що напруга живлення віддаленого обладнання може виявитися менше за мінімально-допустиму величину, і його робота буде нестійкою. При проектуванні СБЖ постійного струму необхідно обов'язково виконати перевірку відповідності напруги живлення вимогам обладнання.

1.6 Компенсатори реактивної потужності

1.6.1 Загальні відомості про компенсацію реактивної потужності

Компенсатор реактивної потужності призначений для зменшення рівня реактивної потужності, споживаної підприємством, яка з'являється із-за неідеальності використовуваного обладнання.

У ідеальному випадку обладнання споживає синусоїдальний струм $i(t)$, фаза якого співпадає з фазою напруги $u(t)$ (рис. 1.16, *а*). Такий характер споживаного струму спостерігається у випадку, коли обладнання містить тільки активні компоненти. До таких пристроїв відносяться обігрівачі, електроплити, обладнання підігрівання води, лампи розжарювання тощо.

У електродвигунах електричний струм $i(t)$ протікає через обмотки (статор, ротор), що мають значну індуктивність. Це призводить до того, що споживаний струм має синусоїдальну форму, але відстає по фазі від напруги (рис. 1.16, *б*). Подібну форму споживаного струму мають також газорозрядні лампи високого і низького тиску з дросельним пускорегулювальним пристроєм, які використовуються в системах освітлення.

Телекомунікаційне обладнання вимагає для своєї роботи постійної напруги, яка формується за допомогою випрямних пристроїв (див. п. 1.5). Наявність у складі випрямних пристроїв нелінійних елементів (напівпровідникових діодів) і реактивних елементів призводить до того, що форма струму $i(t)$, споживаного цими пристроями, є нелінійною (рис. 1.16, *в*). При цьому з'являються гармонійні складові струму з частотами, кратними основній частоті джерела електричної енергії, які призводять до появи додаткових втрат електричної енергії у системі електроживлення.

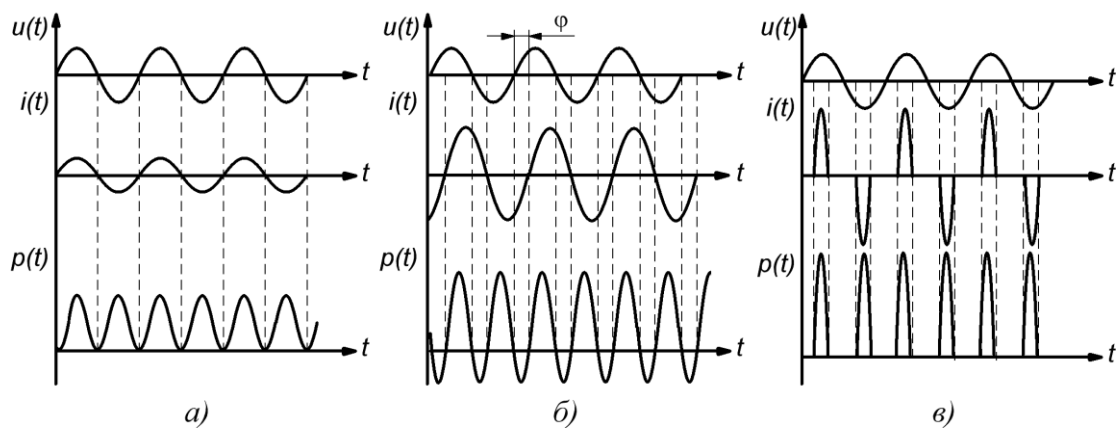


Рисунок 1.16 – Діаграми споживаного струму $i(t)$ і потужності $p(t)$ при активному (а); індуктивному (б); і нелінійному характері навантаження (в)

Таким чином, якщо не приймати ніяких заходів, то підприємство зв'язку споживатиме як корисну активну потужність, що використовується для надання телекомунікаційних послуг, так і непотрібну реактивну потужність. Отже, підприємство зв'язку створює додаткові навантаження на електромережу, що призводить до збільшення витрат на електроенергію.

Якість споживання електроенергії оцінюється за допомогою коефіцієнта потужності K_M (англ. Power factor – PF), який показує ступінь вмісту активної потужності P в повній S .

У випадку, коли обладнання споживає синусоїдальний струм ($i(t)$ – рис. 1.16, а, б) і джерела електричної енергії мають також синусоїдальну форму напруги ($u(t)$ рис. 1.16, а, б) коефіцієнт потужності визначається як:

$$K_M = \frac{P}{S} = \cos \varphi. \quad (1.1)$$

де φ – кут зсуву (фазовий зсув) струму $i(t)$ відносно напруги $u(t)$.

Бачимо, що величина $\cos \varphi$ відображає ефективність використання джерела електричної енергії змінного струму при синусоїдальних формах струму і напруги однієї основної частоти при лінійних і синусоїдальних навантаженнях.

Існують наступні градації якості споживання електричної енергії за коефіцієнтом потужності:

- 0,95...1 – високе;
- 0,85...0,95 – добре;
- 0,65...0,85 – задовільне;
- 0,5...0,65 – низьке;
- 0...0,5 – незадовільне.

Таким чином, основним завданням компенсатора реактивної потужності є зменшення рівня реактивної потужності і, відповідно, зменшення витрат на електроенергію. Для підприємств зв'язку можна практично можна досягти значення коефіцієнта потужності на рівні 0,95...1.

1.6.2 Принципи корекції коефіцієнта потужності

Існують два основні підходи до корекції (збільшення) коефіцієнта потужності: корекція на рівні пристрою і корекція на рівні підприємства.

При використанні першого підходу в кожен пристрій вбудовується **коректор коефіцієнта потужності (ККП)** (рис. 1.17, *а*). Необхідність установки в конкретному пристрої ККП визначається виробником обладнання на основі відповідних нормативних документів для даного класу пристроїв. Головним плюсом такого підходу являється те, що обладнання завжди має високий коефіцієнт потужності (ККП є його невід'ємною частиною), що значно спрощує різні зміни (установка додаткового обладнання, розширення, переміщення тощо). Однак даний спосіб має ряд істотних недоліків.

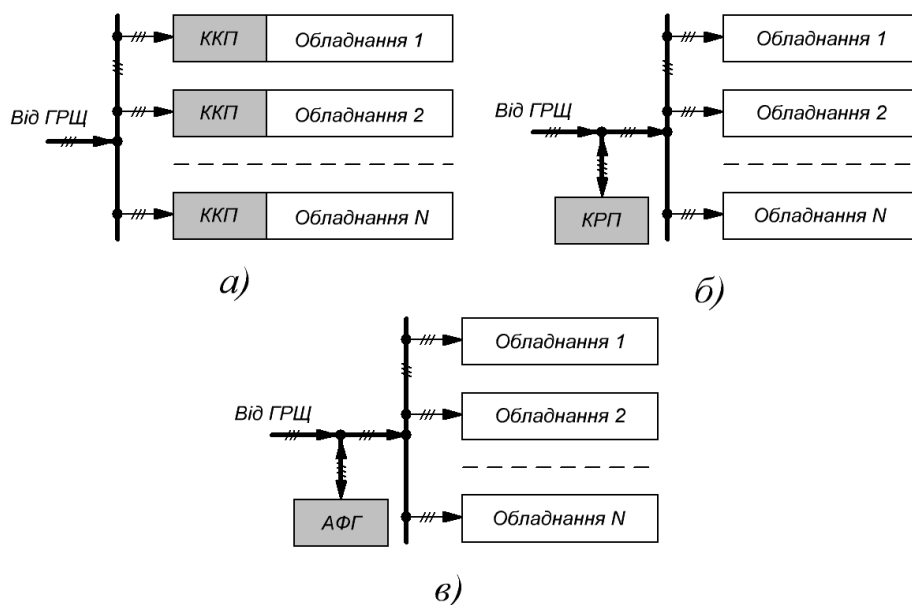


Рисунок 1.17 – Принципи корекції коефіцієнта потужності: за допомогою коректора коефіцієнта потужності (ККП), встановленого в кожному пристрої (*а*); за допомогою компенсатора реактивної потужності (КРП) (*б*); за допомогою активного фільтра гармонік (АФГ) (*в*)

По-перше, установка ККП приводить до збільшення вартості пристрою, що знижує конкурентоспроможність обладнання порівняно з аналогічним, без ККП.

По-друге, не все обладнання попадає під дію відповідних регламентуючих документів. Так, наприклад, системний блок і монітор персонального комп'ютера потужністю до 300 Вт у відповідності з міжнародними нормативами, можуть не містити в своєму складі ККП. Коефіцієнт потужності даних пристроїв, в цьому випадку складає 0,65...0,67. Наявність великої кількості таких комп'ютерів (типова ситуація для офісів, бізнес-центрів, call-центрів тощо) приведе до того, що сумарний коефіцієнт потужності підприємства в

цілому буде низьким. В цьому випадку приймають корекцію коефіцієнта потужності на рівні підприємства.

Існують два типи пристроїв, що здійснюють цю функцію: **компенсатори реактивної потужності** і **активні фільтри гармонік**.

Компенсатор реактивної потужності (КРП) (деякі виробники називають данні пристрої коректорами коефіцієнта потужності) являє собою конденсаторну батарею, яку підключають в точці підключення підприємства до енергосистеми (рис. 1.17, б). Подібні пристрої давно і активно використовуються на промислових підприємствах, які містять велику кількість споживачів індуктивного характеру. КРП призначені для зменшення зсуву фаз між напругою мережі і споживаним струмом. Перевагами КРП є простота і низька вартість. До недоліків можна віднести те, що дані пристрої не можуть збільшити коефіцієнт потужності підприємства у випадку нелінійних спотворень споживаного струму.

Активні фільтри гармонік (АФГ) виконують аналогічну функцію, але виконують корекцію як лінійних (зсув фаз), так і нелінійних (зміна форми) спотворень споживаного струму, що є їх перевагою. Недоліком являється висока вартість даних пристроїв (рис. 1.17, в).

Принцип роботи КРП в АФГ заснований на першому законі Кірхгофа (рис. 1.18). Струм, який споживається від мережі $i_{\text{мережі}}(t)$, є сумою струмів, які споживає підприємство $i_{\text{підпр}}(t)$ і КРП $i_{\text{КРП}}(t)$ (АФГ $i_{\text{АФГ}}(t)$). КРП або АФГ мають у своєму складі аналізатор споживаного струму і формує власний струм таким чином, щоб форма струму, споживаного із мережі була максимально наближена до форми навантаження мережі $u_{\text{мережі}}(t)$.

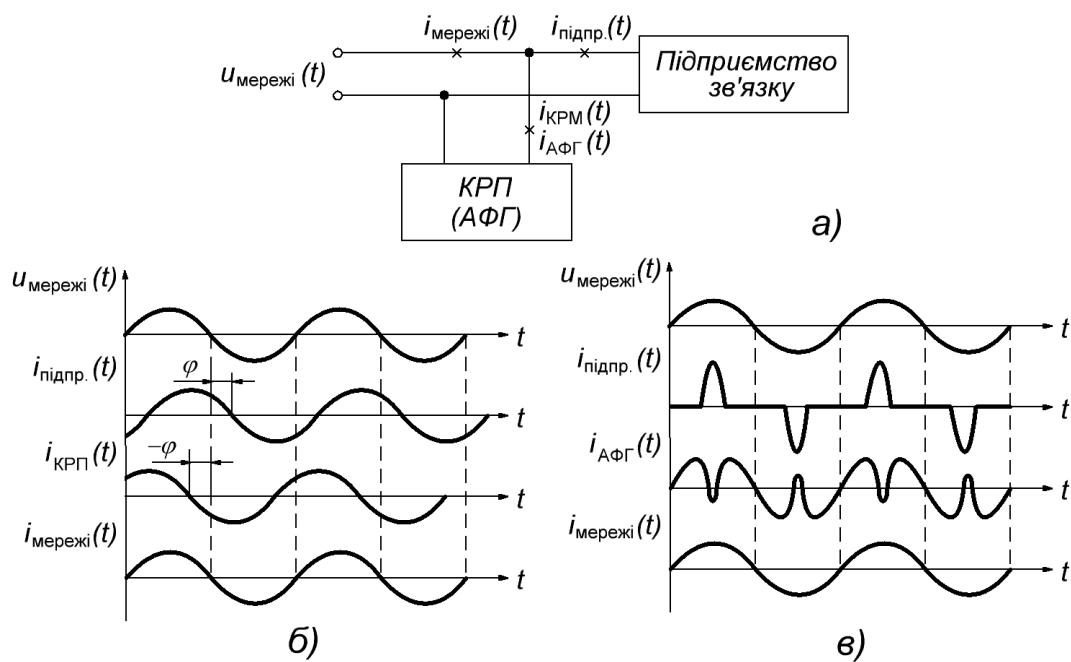


Рисунок 1.18 – Схема підключення однофазного компенсатора реактивної потужності (КРП) або активного фільтра гармонік (АФГ) (а); діаграми роботи КРП (б); і АФГ (в)

1.6.3 Компенсатори реактивної потужності

Основними параметрами компенсаторів реактивної потужності є:

- максимальна потужність (кВАР);
- номінальне робоче навантаження (В);
- кількість фаз (однофазні, трьохфазні).

На сьогодні промисловістю випускаються спеціальні конденсаторні батареї, призначені для зменшення рівня реактивної потужності, наприклад, серії КПС (Косинусні Поліпропіленові Самовідновлювальні) (рис. 1.19). Конденсатори КПС призначені для підвищення коефіцієнта потужності електроустановок змінного струму частотою 50 і 60 Гц, а також для комплектації конденсаторних установок.

Конденсатори, призначені для роботи в однофазних мережах, випускаються в корпусі з двома ізолюваними виводами (рис. 1.19, б) і містять всередині 1 конденсатор, конденсатори, призначені для використання в трьохфазних мережах, випускаються в корпусі з трьома ізолюваними виводами і містять три конденсатора, з'єднаних по схемі «зірка» (рис. 1.19, в). Усі конденсатори містять вбудовані розрядні резистори. Основні параметри конденсаторів серії КПС приведені в табл. 1.5.

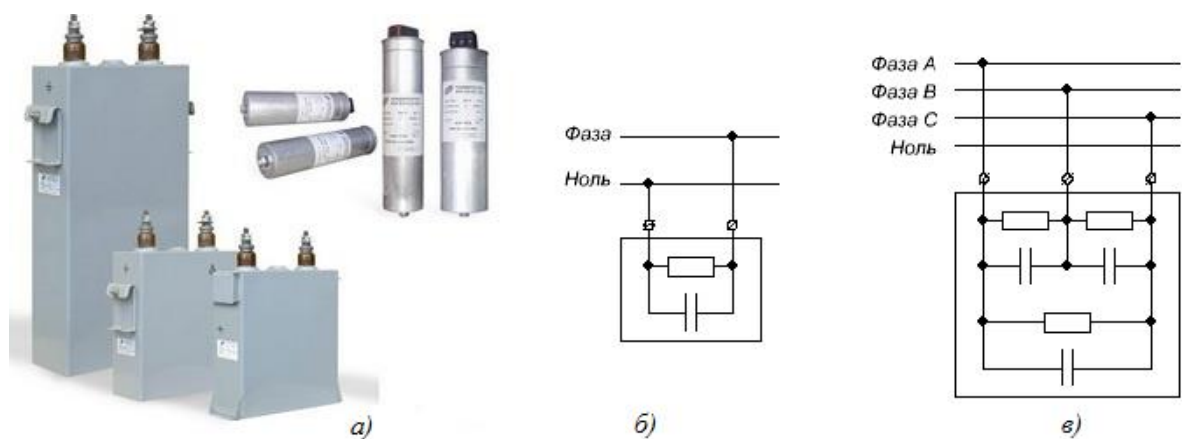


Рисунок 1.19 – Зовнішній вигляд конденсаторів для корекції коефіцієнта потужності серії КПС (а); електрична схема і схема підключення до мережі конденсаторів з двома (б) і трьома (в) ізолюваними виводами

Необхідна потужність установки (ємність підключених конденсаторів) залежить від рівня реактивної потужності, споживаної обладнанням. Для обладнання, у якого цей рівень постійний, використовують конденсатори, постійно підключені до мережі. Якщо рівень реактивної потужності в процесі роботи міняється, тоді використання постійно підключених конденсаторів малоефективне. В цьому випадку використовують автоматичні установки, які вимірюють рівень реактивної потужності і підключають необхідну кількість конденсаторів.

Таблиця 1.5 – Основні характеристики конденсаторів серії КПС

Типономінал	На- пруга, кВ	Поту- жність, кВАР	Ємність конден- саторів, мкФ	Кількість ізолюва- них виво- дів	Габарити, мм	Маса, кг
КПС-0,4-1-3УЗ	0,4	1	3х6,6	3	Ø = 45; h = 129	0,23
КПС-0,4-1,5-3УЗ	0,4	1,5	3х9,9	3	Ø = 45; h = 129	0,23
КПС-0,4-1,67-2УЗ	0,4	1,67	1х33,2	2	Ø = 55; h = 114	0,26
КПС-0,4-2,5-2УЗ	0,4	2,5	1х49,8	2	Ø = 55; h = 114	0,28
КПС-0,4-2,5-3УЗ	0,4	2,5	3х16,6	3	Ø = 55; h = 129	0,35
КПС-0,4-3,33-2УЗ	0,4	3,33	1х66,3	2	Ø = 55; h = 129	0,30
КПС-0,4-4,17-2УЗ	0,4	4,17	1х82,9	2	Ø = 60; h = 129	0,38
КПС-0,4-5-2УЗ	0,4	5	1х99,5	2	Ø = 65; h = 129	0,425
КПС-0,4-5-3УЗ	0,4	5	3х33,2	3	Ø = 70; h = 150	0,675
КПС-0,4-6,25-3УЗ	0,4	6,25	3х41,5	3	Ø = 70; h = 205	0,91
КПС-0,4-7,5-3УЗ	0,4	7,5	3х49,8	3	Ø = 70; h = 205	0,91
КПС-0,4-10-3УЗ	0,4	10	3х66,3	3	Ø = 70; h = 230	1,00
КПС-0,4-12,5-3УЗ	0,4	12,5	3х82,9	3	Ø = 70; h = 270	1,20
КПС-0,4-15-3УЗ	0,4	15	3х99,5	3	Ø = 85; h = 280	1,825
КПС-0,4-16,7-3УЗ	0,4	16,7	3х110,8	3	Ø = 85; h = 280	1,825
КПС-0,4-20-3УЗ	0,4	20	3х132,7	3	Ø = 95; h = 280	2,18
КПС-0,44-1-3УЗ	0,44	1	3х5,5	3	Ø = 45; h = 129	0,23
КПС-0,44-1,67-2УЗ	0,44	1,67	1х27,4	2	Ø = 45; h = 129	0,225
КПС-0,44-2,5-2УЗ	0,44	2,5	1х41,1	2	Ø = 50; h = 129	0,265
КПС-0,44-2,5-3УЗ	0,44	2,5	3х13,7	3	Ø = 55; h = 129	0,35
КПС-0,44-3,33-2УЗ	0,44	3,33	1х54,8	2	Ø = 55; h = 129	0,30
КПС-0,44-4,17-2УЗ	0,44	4,17	1х68,5	2	Ø = 65; h = 129	0,425
КПС-0,44-5-2УЗ	0,44	5	1х82,2	2	Ø = 70; h = 129	0,515
КПС-0,44-5-3УЗ	0,44	5	3х27,4	3	Ø = 70; h = 190	0,675
КПС-0,44-7,5-3УЗ	0,44	7,5	3х41,1	3	Ø = 70; h = 205	0,91
КПС-0,44-10-3УЗ	0,44	10	3х54,8	3	Ø = 70; h = 230	1,00
КПС-0,44-12,5-3УЗ	0,44	12,5	3х68,5	3	Ø = 70; h = 270	1,20
КПС-0,44-15-3УЗ	0,44	15	3х82,2	3	Ø = 85; h = 280	1,825
КПС-0,44-20-3УЗ	0,44	20	3х109,7	3	Ø = 95; h = 280	2,18

Прикладом такої установки є компенсаторна установка АКУ-0,4-125-12,5-УХЛЗ з напругою 0,4 кВ і потужністю 125 кВАР. Установка містить декілька конденсаторних батарей (рис. 1.20), які підключаються до мережі за допомогою потужних контакторів. Необхідна кількість конденсаторів визначається за допомогою блоку управління на основі мікроконтролера.

1.7 Заземлення технічних засобів підприємств зв'язку

1.7.1 Призначення

Заземлення – умисне електричне з'єднання частин електрообладнання, що нормально не знаходяться під напругою, із заземлювальним пристроєм. Під землею розуміють середовище, електропровідність якої визначається ґрунтом. Потенціал «землі» умовно приймається рівним нулю.

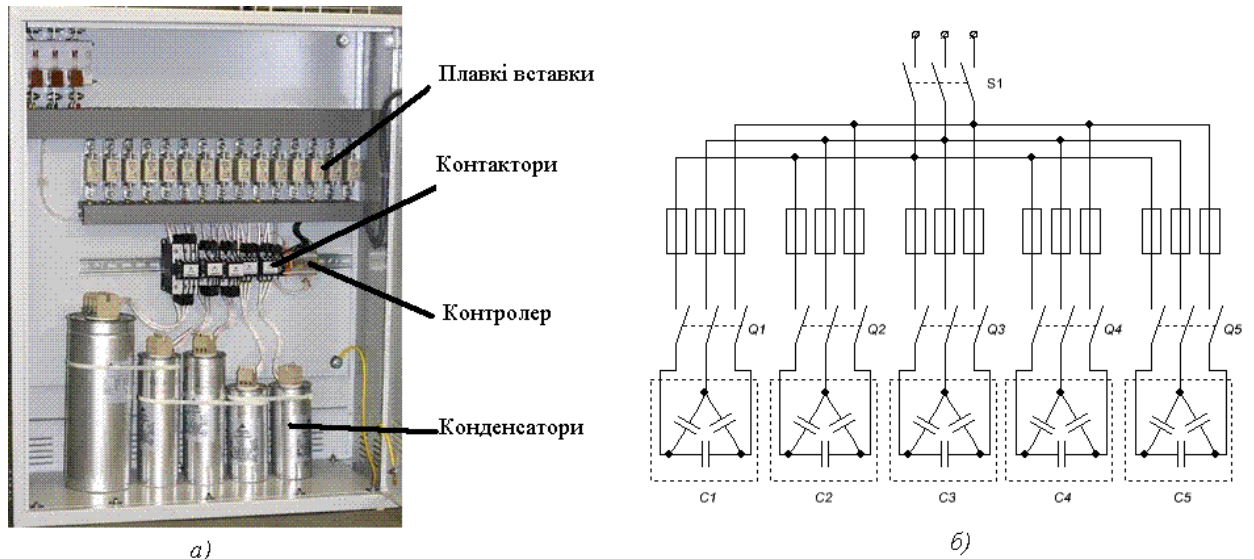


Рисунок 1.20 – Зовнішній вигляд трьохфазного компенсатора реактивної потужності АКУ-0,4-125-12,5-УХЛЗ напругою 0,4 кВ і потужністю 125 кВАР (а); і його спрощена електрична схема (б)

На підприємствах зв'язку система заземлення є частиною системи електроживлення і призначене одночасно для створення нормальних умов для роботи обладнання зв'язку (*робоче заземлення*), для захисту персоналу від ураження електричним струмом (*захисне заземлення*), для одночасного використання функцій робочого та захисного заземлення (*робоче-захисне заземлення*), для лінійно-кабельних споруд телекомунікаційної мережі (*лінійно-захисне заземлення*) і для контролю вимірів електричного опору робочого та захисного заземлювальних пристроїв.

На підприємствах зв'язку робоче і захисне заземлення рекомендується підключати до одного заземлювального пристрою.

1.7.2 Системи заземлення

На підприємстві зв'язку слід розрізняти типи заземлення для систем електроживлення постійного і змінного струму.

Для систем змінного струму заземлення може бути здійснено безпосереднім підключенням до заземлювального пристрою, до заземленої нейтралі або до окремого заземлюючого провідника, який в свою чергу, може бути підключений як до заземлювача, так і до заземленої нейтралі.

Існує п'ять найбільш поширених систем заземлення:

- **система TN** – система, в якій нейтраль джерела електроживлення глухо заземлена, а відкриті частини устаткування, що проводять електричний струм, приєднані до глухозаземленої нейтралі джерела за допомогою нульових захисних провідників;

- **система TN-C** – як система TN, в якій нульовий захисний і нульовий робочий провідники поєднані в одному провіднику на усьому його протязі (рис. 1.21, а);

- **система TN-S** – як система TN, в якій нульовий захисний і нульовий робочий провідники розділені по всій її довжині (рис. 1.21, б);

- **система TN-C-S** — як система TN, в якій функції нульового захисного і нульового робочого провідників поєднані в одному провіднику в якійсь її частині, починаючи від джерела електроживлення (рис. 1.21, в);

- **система IT** — система, в якій нейтраль джерела електроживлення ізолювана від землі або заземлена через прилади або пристрої, що мають великий опір, а відкриті частини устаткування, що проводять електричний струм, заземлені (рис. 1.21, г).

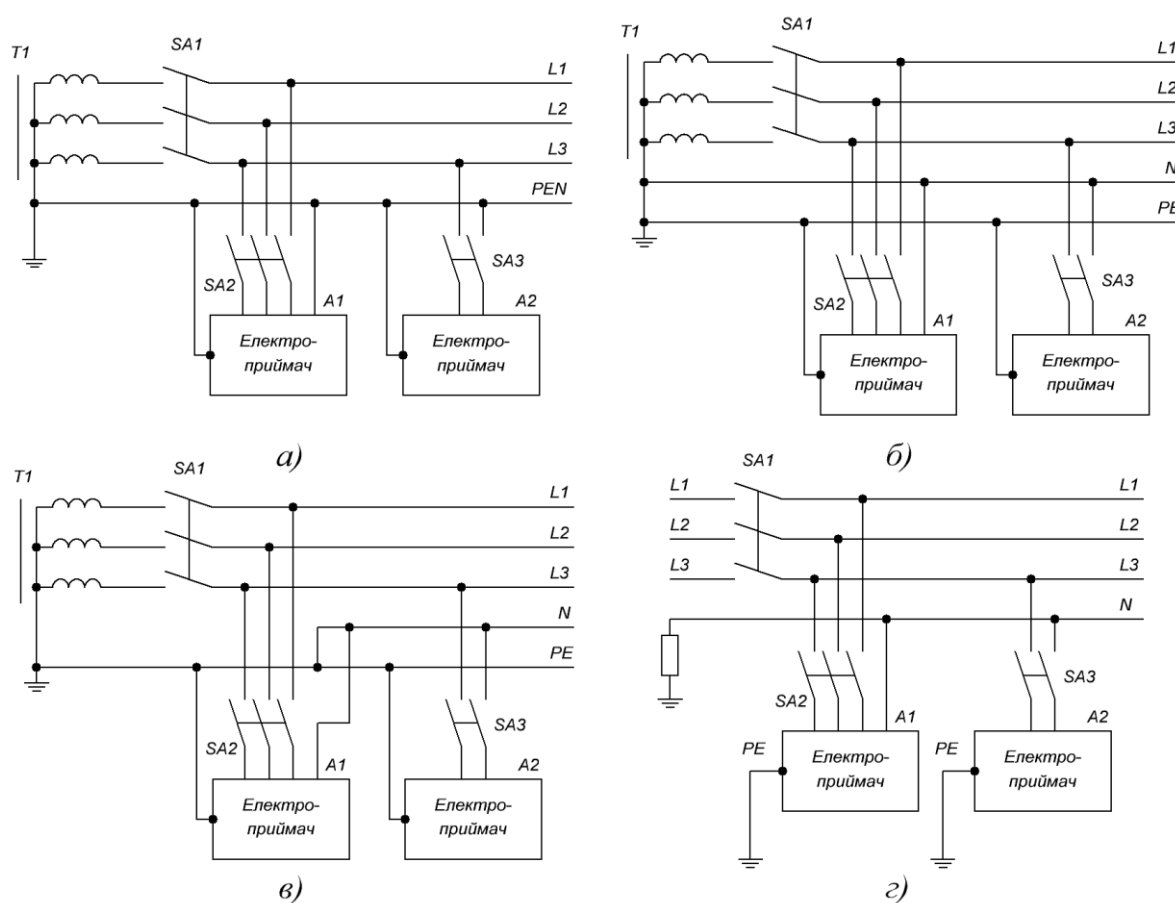


Рисунок 1.21 – Схеми заземлення на стороні змінного струму: а) система TN-C; б) система TN-S; в) система TN-C-S; г) система IT

В системах електроживлення постійного струму до заземлення можуть бути підключені або тільки корпуси обладнання, або корпуси обладнання та один із полюсів живильної напруги (позитивний або негативний). На підприємствах зв'язку зазвичай заземляється позитивний полюс джерел живлення.

Найбільш поширеними схемами заземлення обладнання постійного струму є: двохпровідна система (TN-C) з заземленням струмоведучого провідника – (рис. 1.22, а); трьохпровідна система (TN-S) – (рис. 1.22, б); двох-

провідна система з роздільним заземленням струмоведучого провідника і корпусу струмоприймача (ТТ) – (рис. 1.22, в); двохранівна система з заземленням корпусу струмоприймача (ІТ) (рис. 1.22, г).

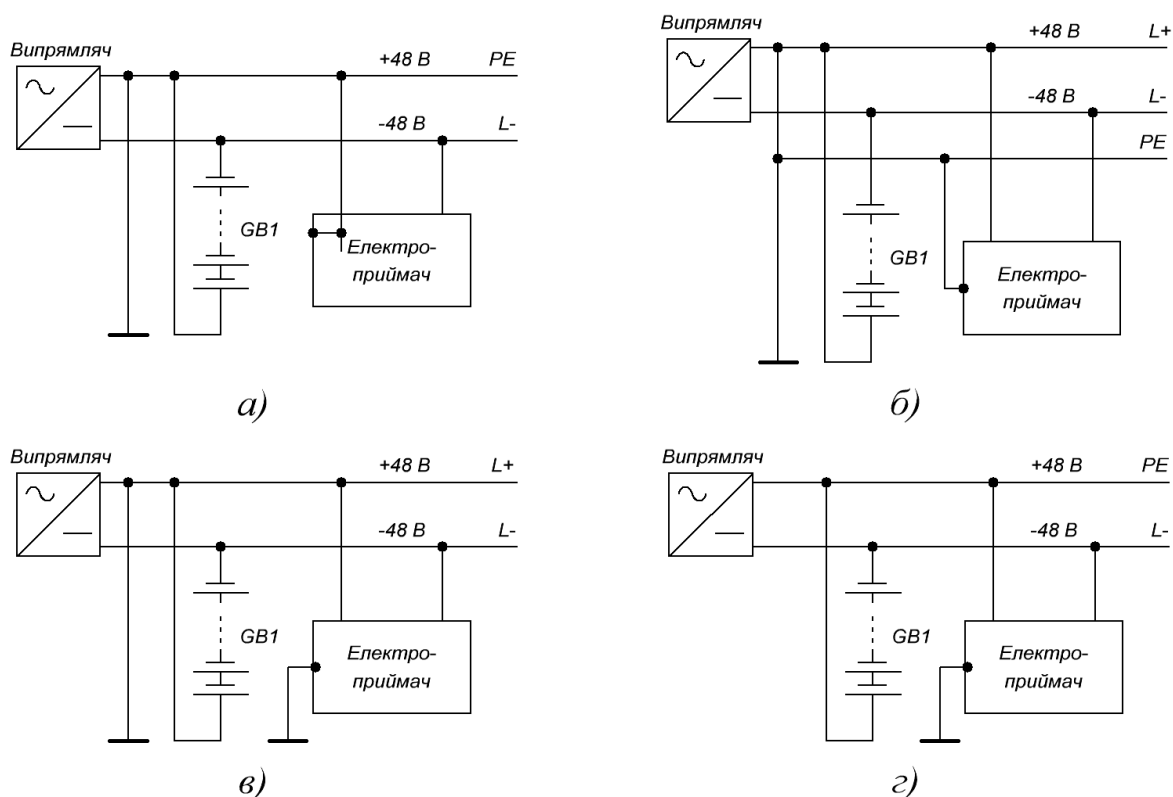


Рисунок 1.22 – Схеми заземлення обладнання постійного струму:
а) TN-C; б) TN-S; в) TT; г) IT

1.7.3 Заземлювальні пристрої

Заземлювальні прилади складається із заземлювача і заземлювальних провідників. В якості заземлювачів часто використовують природні заземлювачі: прокладені в землі сталі водопровідні труби; сталі броні і свинцеві оболонки силових кабелів, прокладених в землі; металеві конструкції споруд і будівель, що мають надійний контакт з землею. На підприємствах зв'язку обов'язковим є використання штучних заземлювачів.

Конструктивно штучний заземлювач виконується в вигляді одного або декількох рядів вертикальних (рідше горизонтальних) електродів (рис. 1.23). В якості вертикальних електродів використовуються залізні труби або кутники довжиною 2,5...5 м. Верхній кінець вертикального електроду повинен знаходитися на глибині 0,5...1,5 м від поверхні. Відстань між електродами повинна бути не менше 2,5...3 м. Вертикальні електроди з'єднуються між собою горизонтальними залізними смугами. Електричне з'єднання між вертикальними і горизонтальними електродами, як правило, відбувається зварюванням.

Обладнання з'єднується з заземлювачем провідниками. В якості заземлювальних провідників можуть використовуватися спеціальні провідники, перетин яких повинен бути не менше струмоведучих провідників і визначатися Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ).

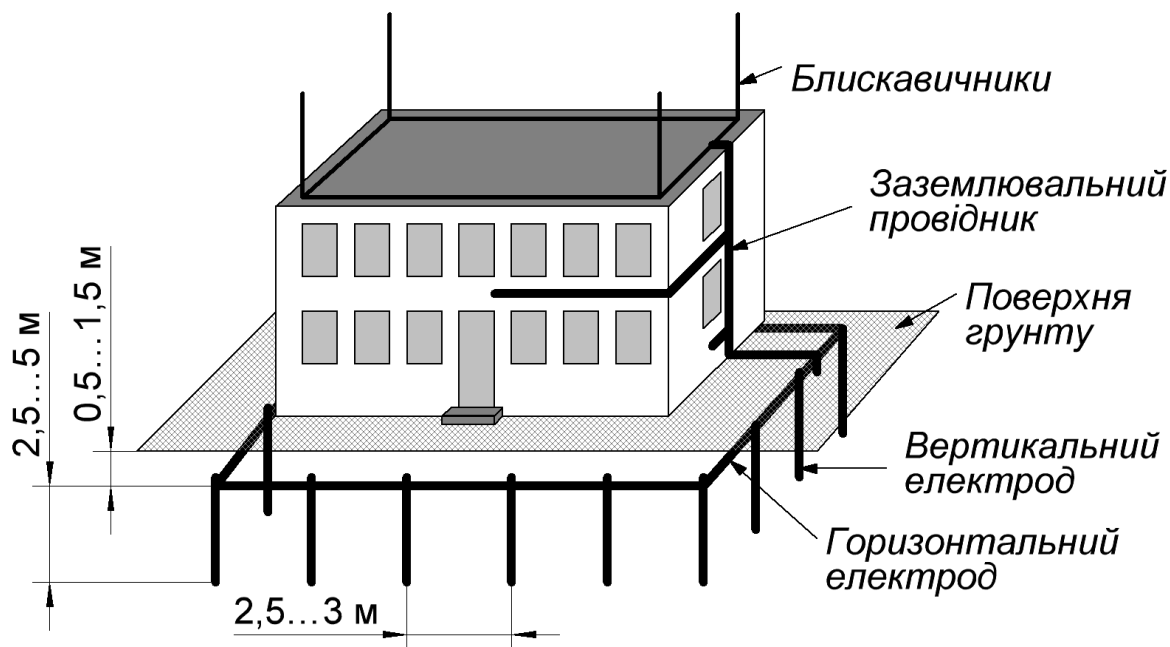


Рисунок 1.23 – Обладнання заземлення

1.8 Обладнання автоматики і захисту

1.8.1 Призначення

Обладнання автоматики і захисту призначені для автоматичної підтримки системи електроживлення у максимально працездатному стані при виникненні аварійних ситуацій і запобігання їх подальшого розвитку. Аварійні ситуації можуть привести до призупинення надання послуг зв'язку, ушкодженню обладнання, а також створювати загрозу для життя і здоров'я персоналу.

Існують наступні основні види аварійних ситуацій:

- **зникнення (короткочасне або повне) живильної напруги**, виникає при аваріях або планових роботах в системі електропостачання району – у цьому випадку виникає загроза зупинки роботи обладнання і, як наслідок, призупинення надання телекомунікаційних послуг;

- **перевантаження по напрузі** (у вигляді спотворення, імпульсної завади, відхилення частоти) виникає при аваріях в системі електропостачання, при розрядах блискавок або інших подіях, в результаті яких утворюється потужний електромагнітний імпульс, – у цьому випадку живильна напруга може значно перевищувати гранично допустимі значення і привести до виходу із ладу елементів системи електроживлення (кабелів, розподільних пристроїв) і телекомунікаційного обладнання;

- **перевантаження по струму** виникає при аваріях в системі електропостачання підприємства зв'язку або в телекомунікаційному обладнанні – у цьому випадку виникає загроза виходу з ладу розподільних пристроїв системи електроживлення з подальшою можливою пожежею;

- **пошкодження ізоляції** може виникнути у будь-яких електричних пристроях – у цьому випадку виникає загроза для здоров'я і життя персоналу, оскільки деякі металеві частини, не призначені для протікання електричного струму, можуть виявитися під небезпечною для життя і здоров'я напругою.

1.8.2 Автомат вводу резерву

Автомат вводу резерву (АВР) – електричний комутаційний пристрій, призначений для відновлення електропостачання обладнання за рахунок автоматичного підключення резервних джерел.

При аварії основного джерела електропостачання АВР автоматично підключає резервні джерела. При потребі АВР може подати команду на запуск дизель-генераторної установки. При відновленні основного джерела АВР автоматично підключає обладнання до основної мережі. Сучасні АВР здійснюють постійний контроль наявності напруги в колах основного і резервного джерел живлення.

До АВР висуваються наступні основні вимоги:

- мінімальний час перемикання;
- надійність спрацьовування – під час зникнення напруги АВР повинен спрацьовувати завжди, незалежно від причини;
- затримка перемикання (в деяких випадках, наприклад, під час запуску потужних електродвигунів) для ігнорування можливих просадок напруги;
- однократне спрацьовування АВР у випадку якщо зникання напруги визвано внутрішнім коротким замиканням в системі.

До складу АВР входять реле різного призначення, обладнання захисту (автоматичні вимикачі), потужні перемикачі (контактори), мікропроцесорний блок управління (контролер АВР) з панеллю індикації і управління.

Промисловістю випускаються як готові щити АВР (ЩАВР) (рис. 1.24), так і окремі контролери (блоки управління) АВР (БУАВР) (рис. 1.25).

1.8.3 Плавкі вставки

Плавкий запобіжник (fuse) (рис. 1.26, 1.27) – пристрій, призначений для захисту від перевантаження по струму. При виникненні перевантаження внутрішній провідник плавиться і розмикає електричне коло.

Плавкий запобіжник є найслабкішою ділянкою електричного кола, що плавиться в аварійному режимі, тим самим розриваючи коло і запобігаючи подальшому руйнуванню цінніших елементів електричного кола через перегрів або займання, що викликані надмірним збільшенням струму.

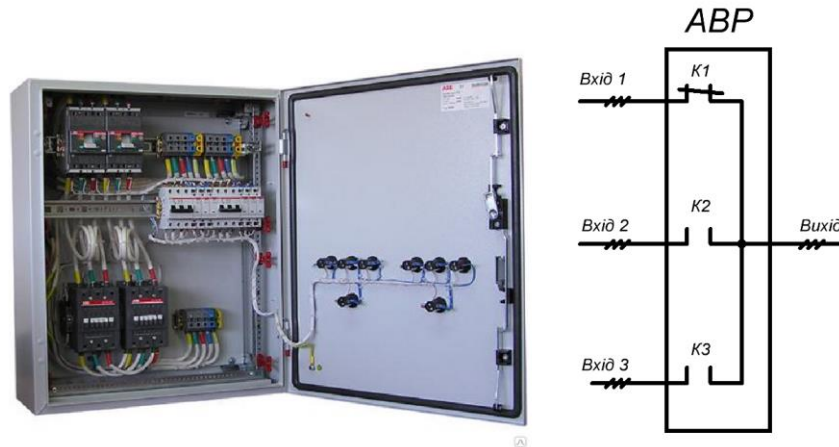


Рисунок 1.24 – Щит АВР (ЩАПР)



Рисунок 1.25 – Контролери АВР (БУАВР)



Рисунок 1.26 – Плавкі вставки

До переваг плавких запобіжників відноситься простота, висока надійність і низька вартість. Основним недоліком плавких запобіжників є їх одноразовість. Після спрацювання плавкої вставки вона підлягає заміні. Шунтування плавких вставок (використання «жучків»), так як при використанні «жучків» при повторному виникненні аварійної ситуації часто призводить до пожежі.



Рисунок 1.27 – Плавкі запобіжники в розподільному щиті

1.8.4 Автоматичні вимикачі

Автоматичний вимикач («автомат») – механічний комутаційний апарат, призначений для комутації кола і автоматичного її розчеплення (розриву), якщо струм перевищує задане значення впродовж певного часу.

До переваг автоматичних вимикачів відноситься можливість багатократного спрацьовування, а також відключення трьох фаз при виникненні перевантаження на одній будь-якій фазі.

До недоліків автоматичних вимикачів можна віднести складність конструкції, внаслідок чого знижується надійність спрацьовування (автоматичний вимикач може спрацювати при меншому струмі, або не спрацювати взагалі). Також вартість автоматичних вимикачів, як правило, набагато вище за вартість плавких вставок.

Для підвищення надійності коло, що захищається автоматичним вимикачем, додатково захищають плавкою вставкою.

До основних параметрів автоматичних вимикачів відносяться:

- **кількість полюсів** – кількість кіл, що одночасно захищаються;
- **номінальний струм (А)** – максимальний струм, який автоматичний вимикач може пропускати тривалий час без спрацьовування;
- **характеристика спрацьовування** – визначає поведінку автоматичного вимикача при перевищенні номінального струму.

Характеристики деяких автоматичних вимикачів наведено у табл. 1.6.

У системах електроживлення найчастіше використовуються однополюсні (рис. 1.28, а), двохполюсні (рис. 1.28, б) – для застосування в однофазних мережах, трьохполюсні (рис. 1.28, в) – для застосування в трьохфазних мережах з характеристиками спрацьовування типу А, В, і С.

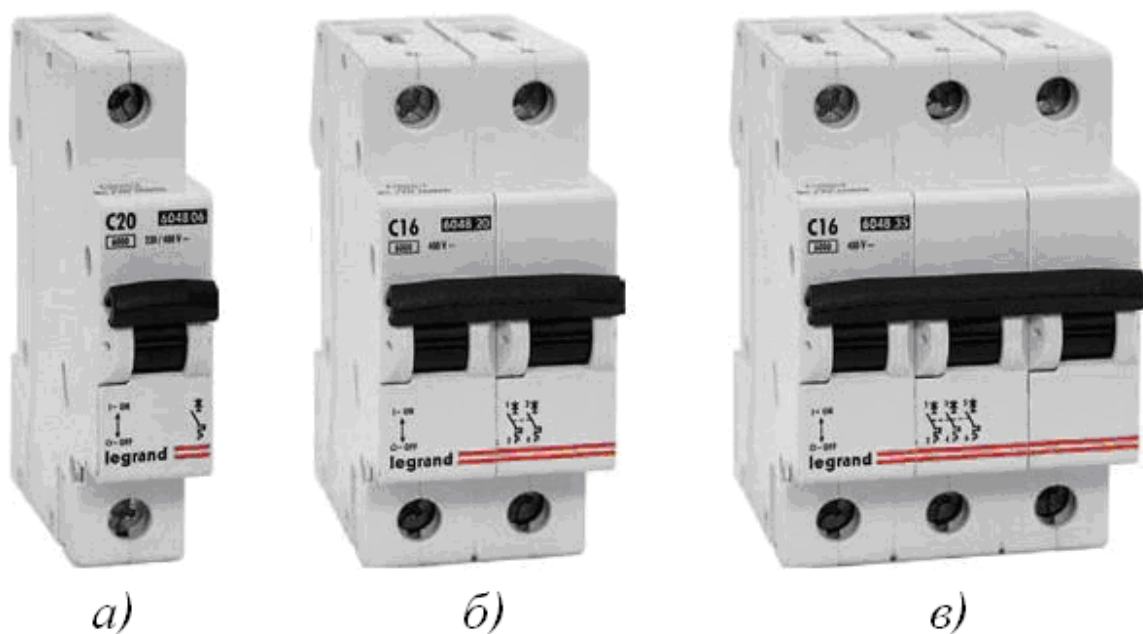


Рисунок 1.28 – Автоматичні вимикачі: однополюсний – *а*; двохополюсний – *б*; трьохполюсний – *в*

Таблиця 1.6 – Характеристики автоматичних вимикачів

Тип	Номинальний струм, А	Кількість полюсів, шт.	Номинальна робоча напруга, 50/60 Гц, В	Розчеплювальна здатність, кА	Число перемикань при номінальному навантаженні
ВА 69-29 (ГОСТ 50345-99)	2, 4, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40	1, 3	230, 400	6	20000
	50, 63	1, 3	230, 400	4	20000
ВА 69-100 (ГОСТ 50345-99)	80	1	230/400	10	
	100	3	400	10	
DPX-125 (фірма Legrand)	16, 25, 40, 63, 100 125	1,3,4	500 В ~	16	8500 механ. 4500 електр.
			250 В =	30	
DPX-160	25, 40, 63, 100, 160	3,4	500 В ~ 250 В =	36	7000, 1000

Автоматичні вимикачі з характеристикою типу А є найбільш чутливими до перевантажень. Спрацьовування може відбутися при струмі 1,3 від номінального, при цьому час відключення становить близько години. При струмі в 2 рази більше номінального часу, максимальний час спрацьовування складає 20...30 с. При струмі в 3 рази більше номінального, час спрацьовування складає соті частини секунди. Вимикачі з характеристикою типу А встановлюються в колах, де короткочасні перевантаження не можуть виникнути при нормальному режимі роботи, наприклад в колах живлення телекомунікаційної апаратури.

Автоматичні вимикачі з характеристикою типу В установлюються в колах, де пускові струми невеликі або відсутні взагалі, наприклад, в системах освітлення. Гарантоване спрацювання автоматичного вимикача відбувається при струмі в 5 (для змінного струму) або в 7,5 (для постійного струму) разів, що перевищує номінальне значення. При трьохразовому перевантаженні автоматичний вимикач спрацює протягом 4.5 секунд.

Автоматичні вимикачі з характеристикою спрацювання типу С відрізняються ще більшою перевантажувальною здатністю. Гарантоване спрацювання таких вимикачів відбувається при 10-ти кратному (для змінного струму) або 15-ти кратному (для постійного струму) перевантаженні впродовж сотих часток секунди. При 5-ти кратному перевантаженні автоматичний вимикач спрацює впродовж 1,5 секунд. Автоматичні вимикачі типу С встановлюють в колах зі змішаним навантаженням в яких можуть короткочасно виникати великі пускові струми.

1.8.5 Обладнання захисного відключення

Пристрої захисного відключення (ПЗВ) (вимикачі диференціального струму, диференціальний вимикач) (residual current device – RCD) – механічний комутаційний апарат (рис. 1.29), призначений для захисту людини від ураження електричним струмом і (або) від виникнення пожежі, унаслідок витoku струму через пошкоджену ізоляцію проводів.

Принцип роботи ПЗВ ґрунтований на вимірі балансу струмів між провідниками за допомогою диференціального трансформатора струму. Якщо баланс струмів порушений, то ПЗВ розмикає усі контактні групи, що входять в нього і відключає аварійний сегмент мережі.



Рисунок 1.29 – ПЗВ: однофазний (зліва), трьохфазний (справа)

1.8.6 Пристрої захисту від перевантаження по напрузі

У системах електроживлення використовуються два типи захисних пристроїв: розрядники (рис. 1.30, *а, б*) і варистори (рис. 1.30, *в*).

При виникненні перенапруження в розряднику відбувається пробій газу і відбувається коротке замикання кола, що захищається, з подальшим спрацюванням захисту від перевантаження по струму.

На відміну від розрядника варистор перетворює енергію перенапруження в тепло, обмежуючи рівень напруги на своїх клеммах. При великих енергіях імпульсу (наприклад, при прямому попаданні блискавки) також можливе спрацювання захисту від перевантаження по струму.

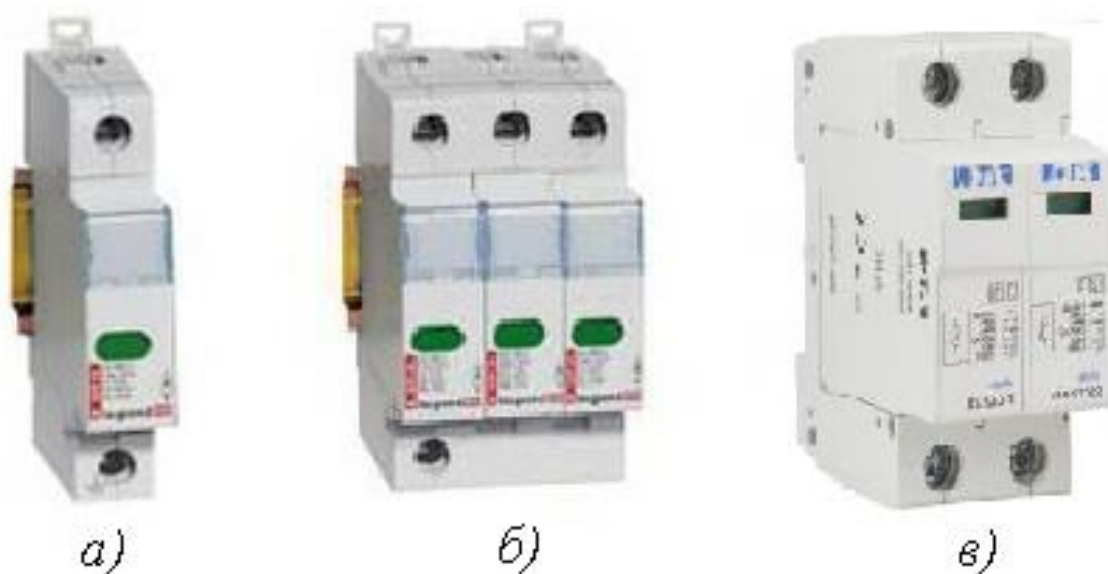


Рисунок 1.30 – Обладнання захисту від перенапруження: однофазний розрядник (*а*), трьохфазний розрядник (*б*), двохфазний варистор (*в*)

Перевагою варистора, в порівнянні з розрядником, є висока швидкість дії, це дозволяє також ефективно використати його для захисту від імпульсних перешкод.

ЧАСТИНА 2

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

2 ПРИНЦИПИ РОЗРАХУНКУ І ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

2.1 Вимоги і рекомендації до виконання розрахункової роботи

Для виконання роботи необхідно вивчити теоретичний матеріал даного посібника і рекомендованої літератури. Під час розрахунку слід використовувати довідкові дані, приведені у посібнику. Якщо цих даних виявиться недостатньо, треба скористатися додатковою літературою, що публікується, наприклад, в мережі Інтернет по устаткуванню систем електроживлення і електропостачання.

2.1.1 Зміст роботи

Розрахункова робота (комплексне завдання, курсовий проект) передбачає виконання наступного обсягу робіт:

1. Розрахунок системи безперебійного електроживлення змінного струму. На підставі виконаних розрахунків вибір джерела безперебійного живлення змінного струму.
2. Розрахунок системи безперебійного електроживлення постійного струму. На підставі виконаних розрахунків вибір акумуляторної батареї і випрямного пристрою.
3. Розрахунок загальної потужності, споживаної підприємством.
4. Вибір коректора коефіцієнта потужності.
5. Розрахунок пристрою захисного заземлення.
6. Вибір автомата захисту.
7. Складання функціональної схеми системи електроживлення підприємства зв'язку з позначенням усього вибраного обладнання по результатам виконання пунктів 1...6.

При виконанні контрольної розрахункової роботи, розрахунків при самостійній роботі студентів, розрахунків на практичних заняттях завдання може бути обмежено виконанням одного, двох пунктів, вказаних в табл. 2.1 (тем практичного заняття)

Вхідні дані для розрахунку обираються з п. 2.1.4. Результатом роботи є функціональна схема системи електроживлення і список вибраного обладнання.

2.1.2 Обсяг та графік виконання

Робота розрахована на 2 модуля. Графік роботи тісно пов'язаний з графіком практичних занять, які проводяться 1 раз у два тижня. Розрахункова робота розрахована на 5 практичних занять в кожному модулі.

В першому модулі виконуються пункти 1...3 роботи. Залік по першому модулю ставиться при наявності правильно виконаної і оформленої пояснювальної записки без захисту.

У другому модулі виконуються пункти 4...7. Залік і оцінка за роботу ставляться по результатам захисту роботи в цілому.

Орієнтовний графік виконання роботи приведений табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Графік роботи над комплексним завданням

№ заняття		Тема практичного заняття	Стан роботи
Модуль 1	1	Видача завдання. Система електроживлення підприємства зв'язку	
	2	Системи безперебійного живлення змінного струму	Вибрані вихідні данні, розрахована система безперебійного живлення змінного струму (п. 1)
	3	Системи безперебійного живлення постійного струму	Усунені помилки в розрахунках п. 1, розрахована система безперебійного живлення постійного струму
	4	Параметри споживачів електричної енергії постійного і змінного струму	Усунені помилки в розрахунках п. 1, 2, розрахована загальна потужність підприємства зв'язку
	5	Залікове заняття	Усунено помилки в п. 1...3
Модуль 2	1	Пристрої для зменшення реактивної потужності	Вибрано коректор коефіцієнта потужності (п.4)
	2	Пристрої для захисту персоналу від ураження електричним струмом	Усунено помилки п. 4, розраховано захисне заземлення
	3	Пристрої для обліку і розподілу електричної енергії	Усунено помилки п. 4, 5, вибрано автомат захисту
	4	Особливості експлуатації систем електроживлення	Здача на перевірку
	5	Залікове заняття	Робота захищена

2.1.3 Оформлення пояснювальної записки

Пояснювальна записка оформлюється в відповідності з вимогами єдиної системи оформлення конструкторської документації (ЄСКД).

Текстова частина разом з ілюстраціями виконується на одній стороні паперу формату А4 (297 x 210 мм) з полями не менше: ліве – 25 мм, верхнє і нижнє – 20 мм, праве – 10 мм. Текст пишеться пастою темного кольору з інтервалом між рядками по трафарету № 2 або друкується з використанням комп'ютерних технологій - в редакторі Microsoft Word з використанням шрифту Times New Roman (або аналогічного) розміру – 14, інтервал між рядками – 1,2. Таблиці оформлюються шрифтом розміру 12.

Розміщення матеріалів в роботі наступне:

- титульний аркуш;
- зміст;
- вхідні данні;
- основна частина;
- функціональна схема системи;
- перелік джерел.

Сторінки нумеруються арабськими цифрами, дотримуючись наскрізної нумерації упродовж усього тексту. Номер сторінки ставиться в правому верхньому куті тексту тим же шрифтом, що і основна частина. Титульний аркуш включається в загальну нумерацію, але номер на ньому не ставиться. Також не ставиться номер сторінки на сторінці зі змістом.

Титульний аркуш надає відомості про назву роботи, виконавця, керівника і осіб, які його перевіряли і погоджували (Форма № Н-6.01).

Зміст знаходиться на окремій сторінці. В зміст включають усі складові роботи. Назви повинні повністю відповідати тексту. Номера сторінок показують початок даного матеріалу.

Вихідні дані для розрахунку розпочинаються з нової сторінки. При оформленні вхідних даних мають бути приведені усі умовні позначення, значення і одиниці виміру.

Текст основної частини розділяється на розділи. Розділи повинні мати порядкові номери арабськими цифрами (1, 2 і т.д. без слова «Розділ») і назви (заголовки). Заголовки розділів необхідно починати з абзацного відступу і писати великими буквами без точки після номера і в кінці.

Робота містить один розділ "Розрахунок системи електроживлення підприємства зв'язку". Розділ розбивається на підрозділи, відповідно до завдань (1.1, 1.2 и т.д.). назви підрозділів пишуться з абзацного відступу рядковими (маленькими) буквами (окрім першої заголовної) без підкреслення і точок після номера і у кінці. Текст має бути чітким і не допускати різних тлумачень. При цьому слід використати терміни, позначення і визначення, рекомендовані в ДСТУ, учбовій або спеціальній літературі.

Відстань між заголовком (розділу або підрозділу) і подальшим або попереднім текстом повинно бути не менше ніж рядок тексту. Не допускається розміщення назви розділу або підрозділу в нижній частині сторінки, якщо після нього розміщено один рядок тексту.

Абзацний відступ має бути однаковим упродовж усього тексту і дорівнювати 5 знакам ($\approx 1,27$ см).

Формули і рівняння розміщують безпосередньо після тексту, в якому вони згадуються, посередині рядки з відступом згори і знизу не менше одного рядка. Номер формули ставиться на її рівні в круглих дужках в крайньому правому положенні на рядку і складається з номера розділу і порядкового номера формули, розділених точкою, наприклад (2.4) – четверта формула другого розділу. Пояснення значення кожного символу і числового коефіцієнта, які входять у формулу, необхідно приводити безпосередньо під формулою в тій послідовності, в якій вони приведені у формулі. У формулах і рівняннях латинські букви друкуються курсивом, окрім математичних функцій і позначень (sin, cos, lg, exp, tg і т.ін.), та грецьких літер (η , ϕ , ρ тощо).

Перед використанням формул повинні бути приведені посилання на джерела, а перед використанням числових значень – пояснення з приводу їх походження. Результати розрахунків супроводжуються вказівкою відповідних одиниць виміру. Порядок оформлення розрахунків: основна формула –

підстановка числових даних без перетворення в послідовності, в якій вони приведені у формулі – кінцевий результат з вказівкою розмірності.

Перелік джерел розміщується з нового рядка і містить в собі тільки ті книги і підручники, сайти і т.д., які були використані під час виконання роботи, і на які є посилання в тексті. Посилання на джерела записують в тексті в квадратних дужках, в яких вказують номер, по якому джерело розміщено у списку.

2.1.4 Вхідні дані

Методичні вказівки передбачають 100 варіантів завдань для виконання розрахункової роботи. Номер варіанту складається із двох цифр (00...99) тазначається викладачем кожному студенту індивідуально. Вхідні дані обираються із таблиць 2.2, 2.3.

Тип живильної мережі – трьохфазна, чотирьохпровідна, 220/380, 50 Гц.

Тип обладнання змінного струму – однофазне, 220 В, 50 Гц.

Бажаний коефіцієнт потужності системи електроживлення підприємства зв'язку – $\cos\varphi_{\text{баж}} = 0,95$.

Коефіцієнт потужності системи аварійного освітлення, $\cos\varphi_{\text{ао}} = 1^1$.

Середньостатистичний коефіцієнт завантаження телекомунікаційного обладнання $k_{\text{и}} = 1$.

Коефіцієнт збільшення пускового струму навантаження джерела безперебійного живлення $k_{\text{а}} = 1,2$.

Коефіцієнт корисної дії джерела безперебійного живлення змінного струму $\eta = 0,9$.

Коефіцієнт корисної дії інвертора джерела безперебійного живлення $\eta_{\text{інв}} = 0,95$.

Таблиця 2.2 – Вхідні дані

Остання цифра номеру варіанту	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кількість променів системи електроживлення	2	3	1	2	3	2	1	3	2	1
Максимальний струм обладнання змінного струму $I_{\text{н AC}}, \text{A}$	10	15	20	25	12	16	18	22	26	28
Максимальний струм обладнання постійного струму $I_{\text{н DC}}, \text{A}$	40	50	70	30	90	90	75	45	55	65
Максимальний струм аварійного освітлення $I_{\text{ао}}, \text{A}$	5	3	4	4,5	3,5	2,8	1,9	2,7	3,2	4,7

Таблиця 2.2 (закінчення) – Вхідні данні

Остання цифра номеру варіанту	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Повна потужність споживана на господарські потреби, $S_{\text{гос}}$, кВА	5	6	7	8	10	3	4	3,5	5	4
Повна потужність, споживана системою вентиляції і кондиціонування, $S_{\text{вк}}$, кВА	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	3,0	4,0	5,0
Температура навколишнього середовища $t_{\text{ср}}$, $^{\circ}\text{C}$	+20	+18	+24	+22	+25	+20	+18	+15	+16	+22
Діаметр електроду заземлення d , мм	60	32	35	40	60	50	60	50	40	45
Відстань між електродами заземлення a , м	10	5	12	5	10	5	15	10	4	10
Питомий опір ґрунту ρ_0 , Ом·м	20	30	10	6	40	30	20	80	50	40

Таблиця 2.3 – Вхідні дані

Передостання цифра номера залікової книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Напруга живлення обладнання постійного струму, $U_{\text{н DC}}$, В	48	48	24	48	60	24	60	48	24	48
Напруга живлення системи аварійного освітлення ² , $U_{\text{ао}}$, В	220 AC	48 DC	220 AC	220 AC	60 DC	24 DC	220 AC	220 AC	24 DC	48 DC
Час роботи від акумуляторних батарей $t_{\text{р}}$, ч	3	1	0,5	3	0,5	1	2	3	2	0,5
Коефіцієнт потужності господарських потреб, $\cos\varphi_{\text{гос}}$	0,97	0,93	0,9	0,95	0,98	0,94	0,92	0,91	0,96	0,89
Коефіцієнт потужності системи вентиляції і кондиціонування $\cos\varphi_{\text{вк}}$	0,75	0,76	0,78	0,8	0,75	0,76	0,78	0,8	0,75	0,76
Довжина електроду заземлення l , м	4,5	2,8	3,5	3	3,2	5	6	5,5	3,5	3,3

Примітки:

1. Коефіцієнт потужності аварійного освітлення має сенс при живленні системи аварійного освітлення від змінного струму.

2. Абревіатура «АС» (Alternation current) означає, що аварійне освітлення живиться змінним струмом, відповідно повинно бути підключено до ДБЖ змінного струму, абревіатура «DC» (Direct current) означає, що аварійне освітлення живиться постійним струмом, відповідно повинно бути підключено до ДБЖ постійного струму.

2.2 Принципи розрахунку і проектування СБЖ змінного струму

2.2.1 Методика розрахунку і проектування СБЖ змінного струму

Робота розрахована на те, що СБЖ побудована по централізованому принципу (див. рис. 1.5, а) з одним ДБЖ. При проектуванні необхідно вибрати ДБЖ, а також розрахувати максимальну потужність, яка споживається системою з мережі. Методика також справедлива для вибору кожного ДБЖ СБЖ розподіленого і змішаного типів.

Вхідними даними для розрахунку є:

- тип обладнання змінного струму – однофазний, 220 В, 50 Гц;
- максимальний струм обладнання змінного струму, $I_{н AC}$, А;
- тип системи аварійного освітлення (постійного, DC або змінного, AC струму);
- напруга живлення системи аварійного освітлення, U_{ao} , В;
- максимальний струм системи аварійного освітлення, I_{ao} , А.

Результатом розрахунку є:

- модель ДБЖ;
- кількість одиниць обладнання (модулів, блоків);
- максимальна потужність, яка споживається системою із мережі (повна $S_{СБЖ AC}$, активна $P_{СБЖ AC}$ і реактивна $Q_{СБЖ AC}$).

В загальному випадку при $k_U = 1$, $k_i = 1$ максимальна потужність навантаження ДБЖ $S_{н ДБЖ}$ є сумою потужностей усього обладнання, що підключене до ДБЖ:

$$S_{н ДБЖ} = \sum_{i=1}^N S_i = \sum_{i=1}^N \frac{P_i}{\cos \varphi_i}, \text{ кВА}, \quad (2.1)$$

де N – загальна кількість одиниць обладнання, S_i – повна потужність, P_i – активна потужність, $\cos \varphi_i$ – коефіцієнт потужності i -го обладнання.

Згідно вхідним даним для усіх варіантів на підприємстві використовується однофазне обладнання з номінальною напругою живлення $U_{н AC} = 220$ В. В цьому випадку повна потужність обладнання змінного струму $S_{н AC}$ дорівнює:

$$S_{н AC} = U_{н AC} I_{н AC}, \text{ кВА}. \quad (2.2)$$

а активна:

$$P_{н AC} = S_{н AC} \cos \varphi_{AC}, \text{ кВт}. \quad (2.3)$$

Якщо використовувати систему аварійного освітлення змінного струму (AC), то ДБЖ повинен додатково забезпечувати електричною енергією дану систему. В цьому випадку повна потужність, яка споживається системою аварійного освітлення S_{ao} :

$$S_{ao} = U_{ao} I_{ao}, \text{ кВА}, \quad (2.3)$$

максимальна потужність навантаження ДБЖ:

$$S_{н ДБЖ} = S_{н AC} + S_{ao}, \text{ кВА}. \quad (2.4)$$

Якщо на підприємстві використовується система аварійного освітлення постійного струму (DC), тоді до ДБЖ підключено тільки обладнання змінного струму:

$$S_{\text{н ДБЖ}} = S_{\text{н АС}}, \text{ кВА.} \quad (2.5)$$

Особливістю обладнання змінного струму є наявність *пускових струмів* – струмів, які споживаються в момент включення. Для деяких типів пристроїв (потужні трансформатори, електродвигуни) пусковий струм може в 10 разів перевищувати номінальний. Якщо ДБЖ змінного струму обирати без урахування пускових струмів, то у момент включення ДБЖ може спрацювати захист від перевантаження. Тривалість і кратність перевантаження зазвичай вказується в документації на конкретний ДБЖ. Для телекомунікаційних приладів зазвичай вибирають ДБЖ з 20 % запасом потужності (коефіцієнт збільшення пускового струму $k_a = 1,2$). На практиці $1,2 \leq k_a \leq 2$).

На практиці не все обладнання використовується одночасно. Тому реальна необхідна потужність ДБЖ може бути менша ніж встановлена потужність обладнання (типовий приклад будь-яка квартира: загальна потужність усього домашнього електрообладнання може досягати десятків кіловат, проте одночасно включені прилади споживають потужність не більше 5 кВт). Цей момент враховується за допомогою середньостатистичного коефіцієнта навантаження k_i . На практиці $0,2 \leq k_i \leq 1$, для телекомунікаційного обладнання зазвичай $k_i = 1$, оскільки до ДБЖ підключено обладнання, яке повинно працювати цілодобово.

Таким чином, необхідна вихідна потужність ДБЖ $S_{\text{вих ДБЖ}}$ дорівнює:

$$S_{\text{вих ДБЖ}} = k_i k_a S_{\text{н ДБЖ}}, \text{ кВА.} \quad (2.6)$$

На основі необхідної потужності по каталогах виробників або дистриб'юторів обладнання вибирається модель ДБЖ, яка повинна бути більше за $S_{\text{вих ДБЖ}}$.

Потужні промислові ДБЖ виготовляють по модульному принципу. Такий ДБЖ є своєрідним конструктором: загальний модуль управління (часто дубльований) до якого підключаються силові модулі (наприклад, з метою збільшення потужності пристрою), або модулі батарей (дозволяють збільшити тривалість роботи в аварійному режимі). Такі ДБЖ зазвичай мають механізми самодіагностування і самоналаштування, що дозволяє виконати відключення і заміну модулів (в тому числі і несправних) без зняття напруги з навантаження («гаряча» заміна).

Наприклад, ДБЖ Symmetra RM фірми APC є пристроєм безперебійного живлення блочної конфігурації з подвійним перетворенням (технологія On-Line). Габаритні розміри дозволяють встановлювати ДБЖ в стандартну стойку. ДБЖ складається із каркасу 5 (рис. 2.1), основного силового модуля 1, основного 3 і резервного 2 модулів управління і шести відсіків 4, в які можуть бути установлені як силові модулі, так і модулі батарей.

Мінімальна вихідна потужність ДБЖ складає 2 кВА (1 силовий модуль). Для збільшення вихідної потужності ДБЖ має можливість установки додаткових силових модулів. Максимально в відсіках може бути встановлено

3 додаткових силових модуля, які разом із основним модулем забезпечують схему 3 + 1 (3 основних модуля, 1 резервний) з максимальною потужністю 6 кВА

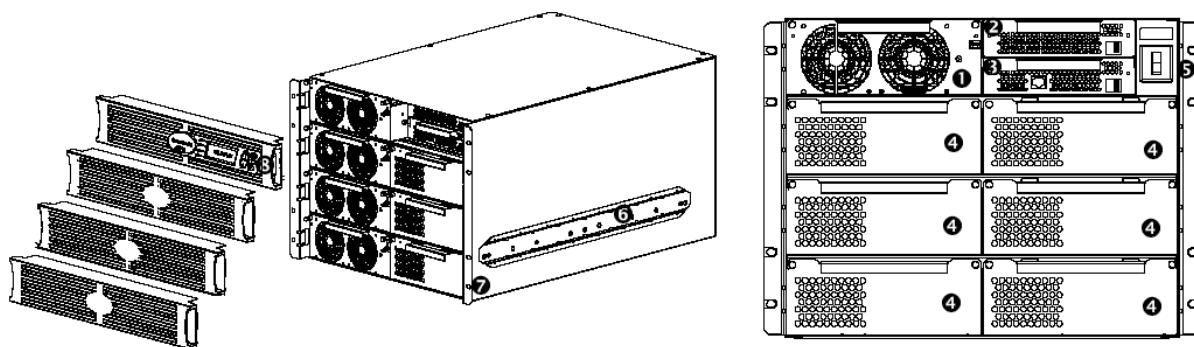


Рисунок 2.1 – Конструкція ДБЖ Symmetra RM фірми APC

Мінімальна конфігурація ДБЖ містить 1 модуль батареї. Для збільшення тривалості роботи ДБЖ має можливість встановлення додаткових модулів батарей. Максимально в відсіках ДБЖ може бути встановлено 6 модулів батарей.

Використання модульних ДБЖ, аналогічних Symmetra RM, дозволяє будувати системи безперебійного живлення з високим рівнем надійності. Для цього при виборі ДБЖ один модуль є резервним. Він підключається до системи у випадку виходу із ладу одного із основних модулів.

Параметри деяких ДБЖ змінного струму модульного типу наведено у табл. 2.1.

Необхідна кількість модулів ДБЖ N , з врахуванням резервування, визначається по формулі:

$$N = \frac{S_{\text{вих ДБЖ}}}{k_{\text{пм}} \cdot S_{\text{мод}}} + 1, \quad (2.7)$$

де $k_{\text{пм}} = 0,75 \dots 0,95$ – коефіцієнт що враховує зменшення ефективної потужності модуля при паралельному включенні через нерівномірність розподілу навантаження між модулями ДБЖ.

Отримане значення N потрібно округлити в більшу сторону. При цьому необхідно слідкувати, щоб необхідна кількість модулів не перевищувала максимальну кількість модулів для даного пристрою N_{max} :

$$N \leq N_{\text{max}}. \quad (2.8)$$

Максимальну кількість модулів ДБЖ орієнтовно можна визначити як відношення:

$$N_{\text{max}} = \frac{S_{\text{ДБЖmax}}}{S_{\text{мод}}}, \quad (2.9)$$

а точніше – із технічної документації на конкретне обладнання.

Якщо умова (2.8) не виконується, треба вибрати більш потужний ДБЖ.

Після вибору ДБЖ можна визначити його максимальну потужність $S_{\text{вих ДБЖ max}}$:

$$S_{\text{вих ДБЖ max}} = NS_{\text{мод}}, \text{ кВА.} \quad (2.10)$$

Максимальна потужність споживається ДБЖ із мережі у післяаварійному режимі – коли батареї ДБЖ розряджені. В цьому випадку ДБЖ споживає із мережі як потужність, необхідну для роботи навантаження, $S_{\text{вих ДБЖ}}$, так і потужність заряду акумуляторних батарей $S_{\text{зар АБ}}$, яка складає орієнтовно 10 % від максимальної потужності ДБЖ:

$$S_{\text{зар АБ}} \approx 0,1S_{\text{вих ДБЖ max}}, \text{ кВА.} \quad (2.11)$$

Точне значення потужності заряду акумуляторних батарей $S_{\text{зар АБ}}$ можна визначити із технічної документації на пристрій.

Таким чином, потужність системи безперебійного живлення, $S_{\text{СБЖ АС}}$ підраховується по формулі:

$$S_{\text{СБЖ АС}} = \frac{S_{\text{вих ДБЖ}} + S_{\text{зар АБ}}}{\eta_{\text{ДБЖ}}}, \text{ кВА.} \quad (2.12)$$

Активна $P_{\text{СБЖ АС}}$ і реактивна $Q_{\text{СБЖ АС}}$ потужності, СБЖ:

$$P_{\text{СБЖ АС}} = S_{\text{СБЖ АС}} \cos \varphi_{\text{ДБЖ}}, \text{ кВт,} \quad (2.13)$$

$$Q_{\text{СБЖ АС}} = \sqrt{S_{\text{СБЖ АС}}^2 - P_{\text{СБЖ АС}}^2}, \text{ кВАР.} \quad (2.14)$$

В формулах (2.12) – (2.14) $\eta_{\text{ДБЖ}}$ – коефіцієнт корисної дії, $\cos \varphi_{\text{ДБЖ}}$ – коефіцієнт потужності ДБЖ, які беруться із технічної документації на пристрій. В силу обмеженого об'єму роботи дані коефіцієнти орієнтовно можна прийняти рівними: $\eta_{\text{ДБЖ}} = 0,9$, $\cos \varphi_{\text{ДБЖ}} = 0,85$.

2.2.2 Типові помилки при проектуванні СБЖ змінного струму

1. Неправильно переписується модель пристрою, фірма виробник і технічні характеристики. Основною метою роботи являється саме вибір пристрою. На практиці, навіть одна неправильна буква або цифра в назві фірми виробника або моделі пристрою може привести до того, що буде проведена закупка іншого обладнання не маючого нічого спільного з джерелами безперебійного живлення.

2. Не відбувається перевірка необхідної кількості модулів N . В результаті отримуємо, що необхідна кількість модулів більша ніж максимальна кількість модулів, яку можна встановити в вибраному ДБЖ.

3. Неправильне округлення (або відсутність округлення взагалі) необхідної кількості модулів N . Кількість модулів не можна округляти в меншу сторону – в цьому випадку ДБЖ не зможе забезпечити необхідну потужність. Навіть якщо по розрахункам виходить, що необхідно 3,05 модулів, треба приймати $N = 4$. Ну а приймати в розрахунках (і в закупці!) 3,5 модуля просто абсурд.

2.2.3 Приклад розрахунку СБЖ змінного струму

Вхідні данні:

- тип обладнання змінного струму – однофазне, 220 В, 50 Гц;
- максимальний струм обладнання змінного струму, $I_{н AC} = 12$ А;
- тип системи аварійного освітлення – змінного струму;
- напруга живлення системи аварійного освітлення, $U_{ao} = 220$ В;
- максимальний струм системи аварійного освітлення, $I_{ao} = 3$ А.

Повна потужність обладнання змінного струму $S_{н AC}$:

$$S_{н AC} = U_{н AC} I_{н AC} = 220 \cdot 12 = 2,64 \text{ кВА.}$$

Оскільки система аварійного освітлення живиться змінним струмом, ДБЖ повинно додатково забезпечувати електропостачання системи аварійного освітлення.

Потужність системи аварійного освітлення змінного струму S_{ao} :

$$S_{ao} = U_{ao} I_{ao} = 220 \cdot 3 = 0,66 \text{ кВА.}$$

Максимальна потужність навантаження ДБЖ $S_{н ДБЖ}$:

$$S_{н ДБЖ} = S_{н AC} + S_{ao} = 2,64 + 0,66 = 3,3 \text{ кВА.}$$

Необхідна вихідна потужність ДБЖ $S_{вих ДБЖ}$:

$$S_{вих ДБЖ} = k_{и} k_{a} S_{н ДБЖ} = 1 \cdot 1,2 \cdot 3,3 = 3,96 \text{ кВА.}$$

З табл. 1.2 на підставі необхідної потужності $S_{вих ДБЖ}$ вибираємо джерело безперебійного живлення US 9003 фірми РК Electronics, що має наступні параметри:

- максимальна потужність пристрою, $S_{ДБЖ \max} = 4,8$ кВА;
- потужність одного модуля $S_{\text{мод}} = 0,4$ кВА.

Необхідна кількість модулів ДБЖ N з урахуванням резервування:

$$N = \frac{S_{вих ДБЖ}}{k_{пм} S_{\text{мод}}} + 1 = \frac{3,96}{0,95 \cdot 0,4} + 1 = 11,2 \approx 12.$$

де $k_{пм} \approx 0,95$ – коефіцієнт врахування паралельного включення.

Максимальна кількість модулів у пристрої, $N_{\max}$:

$$N_{\max} = \frac{S_{ДБЖ \max}}{S_{\text{мод}}} = \frac{4,8}{0,4} = 12.$$

Оскільки $N \leq N_{\max}$ вибір ДБЖ виконаний без помилок.

Максимальна потужність ДБЖ $S_{вих ДБЖ \max}$:

$$S_{вих ДБЖ \max} = N S_{\text{мод}} = 12 \cdot 0,4 = 4,8 \text{ кВА.}$$

Потужність заряду акумуляторних батарей $S_{зар AB}$:

$$S_{зар AB} \approx 0,1 S_{вих ДБЖ \max} = 0,1 \cdot 4,8 = 0,48 \text{ кВА.}$$

Повна потужність системи безперебійного живлення, $S_{СБЖ AC}$:

$$S_{\text{СБЖ АС}} = \frac{S_{\text{вих ДБЖ}} + S_{\text{зар АБ}}}{\eta_{\text{ДБЖ}}} = \frac{3,96 + 0,48}{0,9} = 4,93 \text{ кВА},$$

де $\eta_{\text{ДБЖ}} = 0,9$ – коефіцієнт корисної дії ДБЖ.

Активна потужність системи безперебійного живлення $P_{\text{СБЖ АС}}$:

$$P_{\text{СБЖ АС}} = S_{\text{СБЖ АС}} \cos \varphi_{\text{ДБЖ}} = 4,93 \cdot 0,85 = 4,19 \text{ кВт},$$

де $\cos \varphi_{\text{ДБЖ}} = 0,85$ – коефіцієнт потужності ДБЖ.

Реактивна потужність системи безперебійного живлення $Q_{\text{СБЖ АС}}$:

$$Q_{\text{СБЖ АС}} = \sqrt{S_{\text{СБЖ АС}}^2 - P_{\text{СБЖ АС}}^2} = \sqrt{4,93^2 - 4,19^2} = 2,6 \text{ кВАР}.$$

2.3 Принципи розрахунку і проектування СБЖ постійного струму

2.3.1 Методика розрахунку та вибору СБЖ постійного струму

В роботі мається на увазі, що СБЖ побудована за централізованим принципом (див. рис. 1.5, а) з одним ВП і двохгрупною АБ. При проектуванні необхідно вибрати АБ і ВП, а також розрахувати максимальну потужність, яку споживає система із мережі. Методика також справедлива для вибору кожного ВП і АБ СБЖ розподільного і змішаного типів.

Вхідними даними для розрахунку являються:

- напруга живлення обладнання постійного струму, $U_{\text{н DC}}$, В;
- максимальний струм обладнання постійного струму, $I_{\text{н DC}}$, А;
- тривалість роботи від акумуляторних батарей, $t_{\text{р}}$, год;
- температура довколишнього середовища $t_{\text{ср}}$, $^{\circ}\text{C}$;
- тип системи аварійного освітлення (постійного, DC або змінного, АС

струму);

- напруга живлення системи аварійного освітлення, $U_{\text{ао}}$, В;
- максимальний струм системи аварійного освітлення, $I_{\text{ао}}$, А.

Результатом розрахунку є:

- модель АБ;
- необхідна кількість АБ;
- модель ВП;
- кількістю одиниць обладнання ВП (модулів, блоків);
- максимальна потужність, яку споживає система із мережі (повна $S_{\text{СБЖ DC}}$, активна $P_{\text{СБЖ DC}}$ і реактивна $Q_{\text{СБЖ DC}}$).

Першим етапом розрахунку є визначення необхідної кількості елементів акумуляторної батареї $N_{\text{ел}}$.

Орієнтовне значення $N_{\text{ел}}$ визначається за формулою:

$$N_{\text{ел}} = \frac{U_{\text{н DC}}}{U_{\text{ел ном}}}, \quad (2.15)$$

де $U_{\text{ел ном}} = 2 \text{ В}$ – номінальна напруга на елементі свинцево-кислотного акумулятора.

Після цього задається загальний рівень втрат напруги в СРМ, який не повинен перевищувати 4 % (див. п.1.13, Вимога № 8) і визначається максимальне падіння напруги в СРМ ($\Delta \bar{U}_{\text{СРМ}} = \Delta U_{\text{СРМ}} / U_{\text{н DC}} \leq 0,04$):

$$\Delta U_{\text{СРМ}} = \Delta \bar{U}_{\text{СРМ}} U_{\text{н DC}}, \text{ В} \quad (2.16)$$

Визначається величина напруги на клеммах обладнання у кінці розряду батареї $U_{\text{н DC кр}}$, коли напруга на елементі зменшується до величини $U_{\text{ел кр}} = 1,75...1,8 \text{ В}$:

$$U_{\text{н DC кр}} = N_{\text{ел}} U_{\text{ел кр}} - \Delta U_{\text{СРМ}}, \text{ В}, \quad (2.17)$$

і в режимі “плаваючого” заряду $U_{\text{н DC пз}}$, коли напруга на елементі максимальна і складає $U_{\text{ел пз}} = 2,28 \text{ В}$:

$$U_{\text{н DC пз}} = N_{\text{ел}} U_{\text{ел пз}} - \Delta U_{\text{СРМ}}, \text{ В}. \quad (2.18)$$

Напруга $U_{\text{н DC кр}}$ і $U_{\text{н DC пз}}$ повинні знаходитися в діапазоні допустимих значень $U_{\text{н DC min}}...U_{\text{н DC max}}$ для даного $U_{\text{н DC}}$ яке визначається з вимог до установок електроживлення підприємств зв'язку (див. п.1.13, Вимога № 9):

$$\begin{aligned} U_{\text{н DC min}} &\leq U_{\text{н DC кр}} \leq U_{\text{н DC max}}, \\ U_{\text{н DC min}} &\leq U_{\text{н DC пз}} \leq U_{\text{н DC max}}. \end{aligned} \quad (2.19)$$

Якщо умова (2.19) не виконується, слідє або збільшити кількість елементів, $N_{\text{ел}}$, або зменшити падіння напруга в струмозподільній мережі $\Delta \bar{U}_{\text{СРМ}}$. Після виконання необхідних змін, обчислення за формулами (2.17)...(2.19) необхідно повторити до тих пір, поки не виконається умова (2.20).

Після вибору необхідної кількості елементів акумуляторної батареї, визначаємо номінальний струм розряду I_p .

Якщо на підприємстві використовується система аварійного освітлення змінного струму, то струм розряду дорівнює максимальному струму обладнання:

$$I_p = I_{\text{н DC}}, \text{ А}. \quad (2.20)$$

У іншому випадку акумуляторна батарея повинна додатково забезпечувати електроживлення і системи аварійного освітлення:

$$I_p = I_{\text{н DC}} + I_{\text{ао}}, \text{ А}. \quad (2.21)$$

Мінімальна загальна ємність акумуляторної батареї:

$$C'_{10} = \frac{I_p t_p}{\eta_Q (1 + 0,008(t_{\text{cp}} - 20^\circ \text{C}))}, \text{ А} \cdot \text{год}, \quad (2.22)$$

де η_Q – коефіцієнт віддачі акумуляторної батареї, який враховує зменшення ємності батареї при збільшенні швидкості розряду. Орієнтовно значення η_Q можна знайти в Таблиця 2.2 для заданого часу роботи t_p .

Таблиця 2.2 – Рекомендовані значення коефіцієнта віддачі акумуляторних батарей по ємності

$t_p, \text{ год}$	≥ 10	9	8	7	6	5	4	3	2	≤ 1
η_Q	1	0,97	0,94	0,91	0,89	0,83	0,8	0,75	0,61	0,51

Оскільки на підприємстві зв'язку використовуються двохгрупні акумуляторні батареї, необхідна ємність акумулятора однієї групи має бути в два рази менше $C_{AB \min}$:

$$C_{AB \min} = 0,5C'_{10}, A \cdot \text{год.} \quad (2.23)$$

Із каталогів постачальника акумуляторних батарей вибирається акумуляторна батарея, у якої ємність перевищує $C_{AB \min}$ (на практиці, як правило, обирається найближче більше значення ємності). У роботі можна скористатися інформацією з табл. 1.3.

Необхідна кількість акумуляторних батарей в одній групі, $N_{AB \text{ гр}}$ визначається з умови отримання необхідної напруги:

$$N_{AB \text{ гр}} = \frac{N_{\text{ел}}}{N_{\text{ел AB}}} = \frac{N_{\text{ел}} U_{\text{ел ном}}}{U_{AB}}, \quad (2.24)$$

де $N_{\text{ел AB}}$ – кількість елементів у вибраній акумуляторній батареї, U_{AB} – напруга вибраної акумуляторної батареї.

Отримане значення AB має бути цілим (не можна встановити нецілу кількість акумуляторів), інакше слід вибрати іншу модель акумулятора.

Загальна кількість акумуляторів, $N_{AB \text{ заг}}$:

$$N_{AB \text{ заг}} = 2N_{AB \text{ гр}}. \quad (2.25)$$

Загальна ємність акумуляторної батареї $C_{AB \text{ заг}}$:

$$C_{AB \text{ заг}} = 2C_{AB \text{ гр}}, A \cdot \text{год.} \quad (2.26)$$

Після вибору акумуляторної батареї необхідно вибрати випрямний пристрій. Максимальний струм від випрямного пристрою споживається в післяаварійному режимі, коли акумулятори розряджені, при цьому струм заряду акумуляторів $I_{\text{зар}}$ може досягати 25 % від ємності.

$$I_{\text{зар}} = 0,25C_{AB \text{ заг}}, A. \quad (2.27)$$

При цьому сумарний максимальний струм, що споживається від випрямного пристрою, досягає значення, I_{Σ} :

$$I_{\Sigma} = I_p + I_{\text{зар}}, A. \quad (2.28)$$

По величині максимального струму I_{Σ} , номінальній напрузі U_{HDC} із каталогів постачальників обладнання вибирається випрямний пристрій, який здатний забезпечити необхідний струм. У роботі можна скористатися інформацією з табл. 1.4.

Аналогічно вибору ДБЖ змінного струму, при виборі ВП необхідно визначити кількість модулів, яке вибирається з врахуванням резервування N :

$$N = \frac{I_{\Sigma}}{k_{\text{пм}} I_{\text{мод}}} + 1, \quad (2.29)$$

де $I_{\text{мод}}$ – максимальний струм модуля, $k_{\text{пм}} = 0,75 \dots 0,95$ – коефіцієнт урахування паралельного включення. Цей коефіцієнт враховує можливу нерівномірність розподілу навантаження між модулями ВП.

Отримане значення N слід округлити у більшу сторону. При цьому необхідно стежити, щоб необхідна кількість модулів не перевищувала максимальну кількість модулів для цього пристрої N_{max} :

$$N \leq N_{\text{max}} \quad (2.30)$$

При визначенні кількості модулів необхідно звернути увагу, що деякі моделі випрямних пристроїв можуть працювати тільки з фіксованою кількістю модулів, наприклад, 3, 6, 9. А даному випадку вибір кількості модулів $N = 7$ приведе до помилки, оскільки цей випрямний пристрій не може працювати з 7-ма модулями (або 6 або 9).

Максимальна активна потужність споживається системою безперебійного живлення $P_{\text{СБЖ DC}}$ із мережі в післяаварійному режимі, коли напруга на елементі акумуляторної батареї мінімальна ($U_{\text{ел}} = U_{\text{ел кр}}$), а струм максимальний:

$$P_{\text{СБЖ DC}} = \frac{I_{\Sigma} N_{\text{ел}} U_{\text{ел кр}}}{\eta_{\text{ВП}}}, \text{ кВт}, \quad (2.31)$$

де $\eta_{\text{ВП}}$ – коефіцієнт корисної дії вибраного випрямного пристрою.

Повна потужність, яка споживається СБЖ постійного струму, $S_{\text{СБЖ DC}}$:

$$S_{\text{СБЖ DC}} = \frac{P_{\text{СБЖ DC}}}{\cos \varphi_{\text{ВП}}}, \text{ кВА}, \quad (2.32)$$

де $\cos \varphi_{\text{ВП}}$ – коефіцієнт потужності вибраного випрямного пристрою.

Реактивна потужність СБЖ постійного струму:

$$Q_{\text{СБЖ DC}} = \sqrt{S_{\text{СБЖ DC}}^2 - P_{\text{СБЖ DC}}^2}, \text{ кВАР}. \quad (2.33)$$

2.3.2 Типові помилки при проектуванні СБЖ постійного струму

1. Неправильно виписуються з п. 1.3 (Вимога № 9) допустимі відхилення вихідної напруги для свого варіанту $U_{\text{н DC}}$, внаслідок чого виникають помилки при перевірці вихідної напруги.

2. Помилки при перевірці відповідності вихідної напруги вимогам до електроживильних установок (2.20). Напруга у кінці розряду має бути більше мінімально-допустимої напруги.

3. Неправильно переписуються характеристики акумуляторної батареї і випрямного пристрою.

4. Кількість акумуляторних батарей і модулів випрямного пристрою має бути цілим числом – не можна купити 3,5 акумуляторні батареї.

2.3.3 Приклад розрахунку СБЖ постійного струму

Вхідні данні:

- напруга живлення обладнання постійного струму, $U_{HDC} = 60$ В;
- максимальний струм обладнання постійного струму, $I_{HDC} = 40$ А;
- тривалість роботи від акумуляторних батарей, t_p , год;
- температура довколишнього середовища t_{cp} , $^{\circ}\text{C}$;
- тип системи аварійного освітлення – змінного струму;
- напруга живлення системи аварійного освітлення, $U_{ao} = 220$ В;
- максимальний струм системи аварійного освітлення, $I_{ao} = 3$ А.

Визначимо орієнтовне число елементів $N_{ел}$ в акумуляторній батареї, прийнявши що на підприємстві використовуються свинцево-кислотні акумулятори з номінальною напругою на елементі, $U_{ел ном} = 2$ В:

$$N_{ел} = \frac{U_{HDC}}{U_{ел ном}} = \frac{60}{2} = 30.$$

Задамося максимальним падінням напруги в струмозподільній мережі на рівні 4 % ($\Delta \bar{U}_{CPM} = 0,04$).

Падіння напруги в струмозподільній мережі (CPM), ΔU_{CPM} :

$$\Delta U_{CPM} = \Delta \bar{U}_{CPM} U_{HDC} = 0,04 \cdot 60 = 2,4 \text{ В.}$$

Напруга на клеммах апаратури в кінці розряду акумулятора:

$$U_{HDC кр} = N_{ел} U_{ел кр} - \Delta U_{CPM} = 30 \cdot 1,75 - 2,4 = 50,1 \text{ В,}$$

де $U_{ел кр} = 1,75$ В – напруга на елементі у кінці розряду.

Напруга на клеммах апаратури в режимі плаваючого заряду:

$$U_{HDC пз} = N_{ел} U_{ел пз} - \Delta U_{CPM} = 30 \cdot 2,28 - 2,4 = 66 \text{ В,}$$

де $U_{ел пз} = 2,28$ В – напруга на елементі в режимі “плаваючого” заряду.

Для номінальної напруги живлення $U_{HDC} = 60$ В відхилення напруги на виході електроживильної установки має бути не більше ± 12 В (п. 1.13, вимога № 9), що відповідає: 48...72В.

$$U_{HDC min} = 60 - 12 = 48 \text{ В,}$$

$$U_{HDC max} = 60 + 12 = 72 \text{ В.}$$

Виконаємо перевірку відповідності напруги на клеммах обладнання вимогам до електроживильних установок:

$$U_{HDC min} \leq U_{HDC кр} \leq U_{HDC max} \quad 48 \leq 50,1 \leq 72 \text{ В,}$$

$$U_{HDC min} \leq U_{HDC пз} \leq U_{HDC max} \quad 48 \leq 66 \leq 72 \text{ В.}$$

Таким чином, напруга на клеммах апаратури у всіх режимах задовольняє вимогам до електроживильних установок і кількість елементів $N_{ел} = 30$ достатньо для роботи обладнання.

Оскільки на підприємстві використовується система аварійного освітлення змінного струму, струм розряду акумулятора дорівнює максимальному струму, який споживає обладнання:

$$I_p = I_{н DC} = 40 \text{ А.}$$

По Таблиця 2.2 для часу розряду $t_p = 2$ год визначаємо коефіцієнт віддачі акумуляторних батарей по ємності $\eta_Q = 0,61$.

Мінімальна загальна ємність акумуляторної батареї:

$$C'_{10} = \frac{I_p t_p}{\eta_Q (1 + 0,008(t_{cp} - 20^\circ \text{C}))} = \frac{40 \cdot 2}{0,61(1 + 0,008(18 - 20))} = 133 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

Необхідна ємність акумулятора однієї, $C_{AB \min}$:

$$C_{AB \min} = 0,5 C'_{10} = 0,5 \cdot 133 = 66,5 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

По Таблиця 1.3 вибираємо акумулятори типу Power safer 12V57 фірми HAWKER, яка має наступні характеристики:

- напруга $U_{AB} = 12 \text{ В}$,
- ємність $C_{AB} = 68 \text{ А} \cdot \text{год.}$

Кількість акумуляторних батарей в одній групі, $N_{AB \text{ гр}}$:

$$N_{AB \text{ гр}} = \frac{N_{ел} U_{ел ном}}{U_{AB}} = \frac{30 \cdot 2}{12} = 5.$$

Кількість акумуляторних $N_{AB \text{ гр}} = 5$ ціле число, тому вибір акумуляторної батареї правильний.

Необхідна кількість акумуляторів, $N_{AB \text{ заг}}$:

$$N_{AB \text{ заг}} = 2 \cdot 5 = 10.$$

Загальна ємність акумуляторної батареї, $C_{AB \text{ заг}}$:

$$C_{AB \text{ заг}} = 2 \cdot 68 = 136 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

Максимальний струм заряду акумулятора, $I_{зар}$:

$$I_{зар} = 0,25 C_{AB \text{ заг}} = 0,25 \cdot 136 = 34 \text{ А.}$$

Максимальний струм випрямного пристрою, I_Σ :

$$I_\Sigma = I_p + I_{зар} = 34 + 40 = 74 \text{ А.}$$

По струму $I_\Sigma = 74 \text{ А}$ і номінальній вихідній напрузі $U_{н DC} = 60 \text{ В}$ з табл. 1.4 обираємо випрямний пристрій типу ДБЖ-4 фірми «Связь инжиниринг», який має наступні характеристики:

- вихідна напруга – 60 В;
- максимальний струм модуля $I_{мод} = 40 \text{ А}$;
- максимальний струм пристрою – 480 А;
- число паралельних модулів в одному випрямлячі – 3, 6, 9, 12;
- коефіцієнт корисної дії, $\eta_{ВП} \approx 91\%$;
- коефіцієнт потужності, $\cos \phi_{ВП} = 0,99$.

Необхідна кількість модулів $N_{мод}$ з врахуванням резервування:

$$N_{\text{мод}} = \frac{I_{\Sigma}}{k_{\text{пм}} I_{\text{мод}}} + 1 = \frac{74}{0,95 \cdot 40} + 1 = 2,95 \approx 3,$$

де $k_{\text{пм}} \approx 0,95$ – коефіцієнт який враховує паралельне включення.

Вибраний випрямний пристрій може працювати тільки з фіксованою кількістю модулів, яка дорівнює 3, 6, 9, 12. За розрахунками нам потрібно 3 модулі, отже, вибір випрямного пристрою виконаний без помилок.

Максимальне значення активної потужності, яка споживається із мережі $P_{\text{СБЖ DC}}$:

$$P_{\text{СБЖ DC}} = \frac{I_{\Sigma} N_{\text{ел}} U_{\text{ел кр}}}{\eta_{\text{ВП}}} = \frac{74 \cdot 30 \cdot 1,75}{0,91} = 4,27 \text{ кВт.}$$

Повна потужність, яку споживає СБЖ постійного струму, $S_{\text{СБЖ DC}}$:

$$S_{\text{СБЖ DC}} = \frac{P_{\text{СБЖ DC}}}{\cos \varphi_{\text{ВП}}} = \frac{4,27}{0,99} = 4,31 \text{ кВА.}$$

Реактивна потужність СБЖ постійного струму $Q_{\text{СБЖ DC}}$:

$$Q_{\text{СБЖ DC}} = \sqrt{S_{\text{СБЖ DC}}^2 - P_{\text{СБЖ DC}}^2} = \sqrt{4,31^2 - 4,27^2} = 0,59 \text{ кВАР.}$$

2.4 Принципи розрахунку загальної потужності підприємства зв'язку

2.4.1 Загальні положення

Загальна активна $P_{\text{заг}}$ і реактивна $Q_{\text{заг}}$ потужності, яку споживає підприємство, являється сумою відповідних потужностей усіх категорій споживачів:

$$\begin{aligned} P_{\text{заг}} &= \sum_{i=1}^N P_i, \text{ кВт,} \\ Q_{\text{заг}} &= \sum_{i=1}^N Q_i, \text{ кВАР,} \end{aligned} \quad (2.34)$$

де N – кількість категорій споживачів, P_i , Q_i – відповідно активна і реактивна потужність кожної категорії.

Повна потужність $S_{\text{заг}}$, яку споживає підприємство, визначається по формулі

$$S_{\text{заг}} = \sqrt{P_{\text{заг}}^2 + Q_{\text{заг}}^2}, \text{ кВА.} \quad (2.35)$$

Якщо для будь якої категорії споживачів активна або реактивна потужності невідомі, їх можна визначити із повної потужності S_i , знаючи коефіцієнт потужності $\cos \varphi_i$ даної категорії споживачів:

$$\begin{aligned} P_i &= S_i \cos \varphi_i, \text{ кВт,} \\ Q_i &= S_i \sin \varphi_i = S_i \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_i} = \sqrt{S_i^2 - P_i^2}, \text{ кВАР.} \end{aligned} \quad (2.36)$$

2.4.2 Методика розрахунку загальної потужності підприємства зв'язку

У роботі вхідними даними для розрахунку є:

- активна $P_{\text{СБЖ } AC}$, кВт і реактивна $Q_{\text{СБЖ } AC}$, кВАР, потужності СБЖ змінного струму, визначені в п.1.4;

- активна $P_{\text{СБЖ } DC}$, кВт і реактивна $Q_{\text{СБЖ } DC}$, кВАР, потужності СБЖ постійного струму, визначені в п.2.3;

- повна потужність, $S_{\text{госп}}$, кВА і коефіцієнт потужності господарських потреб $\cos\varphi_{\text{госп}}$;

- повна потужність, $S_{\text{БК}}$, кВА і коефіцієнт потужності системи вентиляції і кондиціонування $\cos\varphi_{\text{БК}}$.

Результатом розрахунку являється активна $P_{\text{заг}}$, кВт, реактивна $Q_{\text{заг}}$, кВАР і повна $S_{\text{заг}}$, кВА потужності, які споживає підприємство.

Спочатку визначається активна $P_{\text{гос}}$ і реактивна $Q_{\text{гос}}$ потужності, споживані господарськими потребами:

$$\begin{aligned} P_{\text{госп}} &= \beta_{\text{госп}} S_{\text{хоз}} \cos\varphi_{\text{госп}}, \text{ кВт}, \\ Q_{\text{госп}} &= \sqrt{(\beta_{\text{госп}} S_{\text{госп}})^2 - P_{\text{госп}}^2}, \text{ кВАР}, \end{aligned} \quad (2.37)$$

де $\beta_{\text{госп}} = 0,9$ – середньоквадратичний коефіцієнт завантаження, який показує, яка частина обладнання в даній категорії працює одночасно.

Після цього визначається активна $P_{\text{БК}}$ і реактивна $Q_{\text{БК}}$ потужності, які споживаються системою вентиляції і кондиціонування:

$$\begin{aligned} P_{\text{БК}} &= S_{\text{БК}} \cos\varphi_{\text{БК}}, \text{ кВт}, \\ Q_{\text{БК}} &= \sqrt{S_{\text{БК}}^2 - P_{\text{БК}}^2}, \text{ кВАР}. \end{aligned} \quad (2.38)$$

Підраховуються загальні активні $P_{\text{заг}}$ і реактивні $Q_{\text{заг}}$ потужності, споживані підприємством:

$$\begin{aligned} P_{\text{заг}} &= P_{\text{СБЖ } AC} + P_{\text{СБЖ } DC} + P_{\text{БК}} + P_{\text{госп}}, \text{ кВт}, \\ Q_{\text{заг}} &= Q_{\text{СБЖ } AC} + Q_{\text{СБЖ } DC} + Q_{\text{БК}} + Q_{\text{госп}}, \text{ кВАР}. \end{aligned} \quad (2.39)$$

Підраховується повна потужність, споживана підприємством:

$$S_{\text{заг}} = \sqrt{P_{\text{заг}}^2 + Q_{\text{заг}}^2}, \text{ кВА}. \quad (2.40)$$

2.4.3 Приклад розрахунку загальної потужності підприємства зв'язку

Вхідні данні:

- активна потужність споживана системою безперебійного живлення змінного струму, $P_{\text{СБЖ } AC} = 4,19$ кВт;

- реактивна потужність споживана системою безперебійного живлення змінного струму, $Q_{\text{СБЖ } AC} = 2,6$ кВАР;

- активна потужність споживана системою безперебійного живлення постійного струму, $P_{\text{СБЖ } DC} = 4,31$ кВт;

- реактивна потужність споживана системою безперебійного живлення постійного струму, $Q_{\text{СБЖ } DC} = 0,59$ кВАР;

- повна потужність споживана на господарські потреби, $S_{\text{госп}} = 8$ кВА;

- коефіцієнт потужності господарських потреб, $\cos\varphi_{\text{госп}} = 0,95$;

- повна потужність споживана системою вентиляції і кондиціонування, $S_{\text{БК}} = 8$ кВА;

- коефіцієнт потужності системи вентиляції і кондиціонування, $\cos\varphi_{\text{госп}} = 0,76$.

Активна потужність, споживана на господарські потреби, $P_{\text{госп}}$:

$$P_{\text{гос}} = \beta_{\text{госп}} S_{\text{госп}} \cos\varphi_{\text{госп}} = 0,9 \cdot 8 \cdot 0,95 = 6,84 \text{ кВт},$$

де $\beta_{\text{госп}} = 0,9$ – середньоквадратичний коефіцієнт загрузки.

Реактивна потужність, споживана на господарські потреби, $Q_{\text{госп}}$:

$$Q_{\text{госп}} = \sqrt{(\beta_{\text{госп}} S_{\text{госп}})^2 - P_{\text{госп}}^2} = \sqrt{(0,9 \cdot 8)^2 - 6,84^2} = 2,25 \text{ кВАР}.$$

Активна потужність, споживана системою вентиляції і кондиціонування, $P_{\text{вк}}$:

$$P_{\text{вк}} = S_{\text{вк}} \cos\varphi_{\text{вк}} = 8 \cdot 0,76 = 6,08 \text{ кВт}.$$

Реактивна потужність, споживана системою вентиляції і кондиціонування, $Q_{\text{вк}}$:

$$Q_{\text{вк}} = \sqrt{S_{\text{вк}}^2 - P_{\text{вк}}^2} = \sqrt{8^2 - 6,08^2} = 5,2 \text{ кВАР}.$$

Активна потужність, яку споживає підприємство, $P_{\text{заг}}$:

$$P_{\text{заг}} = P_{\text{СБЖАС}} + P_{\text{СБЖДС}} + P_{\text{вк}} + P_{\text{госп}} = 4,19 + 4,31 + 6,08 + 6,84 = 21,42 \text{ кВт}.$$

Реактивна потужність, яку споживає підприємство, $Q_{\text{заг}}$:

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{СБЖАС}} + Q_{\text{СБЖДС}} + Q_{\text{вк}} + Q_{\text{госп}} = 2,6 + 0,59 + 5,2 + 2,25 = 10,64 \text{ кВАР}.$$

Повна потужність, яку споживає підприємство, $S_{\text{заг}}$:

$$S_{\text{заг}} = \sqrt{P_{\text{заг}}^2 + Q_{\text{заг}}^2} = \sqrt{21,42^2 + 10,64^2} = 23,92 \text{ кВА}.$$

2.5 Принципи розрахунку та вибору КРП

2.5.1 Методика розрахунку та вибору КРП

У роботі мається на увазі, що телекомунікаційне обладнання працює цілодобово, отже, рівень реактивної потужності можна вважати постійним, і рівень реактивної потужності можна зменшити за допомогою конденсаторів.

Спочатку визначається існуючий коефіцієнт потужності підприємства, $\cos\varphi_{\text{заг}}$:

$$\cos\varphi_{\text{заг}} = \frac{P_{\text{заг}}}{S_{\text{заг}}}, \quad (2.41)$$

де $P_{\text{заг}}$, $S_{\text{заг}}$, відповідно активна і повна потужності, споживані підприємством (див. п. 2.4).

Отриманий коефіцієнт потужності $\cos\varphi_{\text{заг}}$ порівнюється з бажаним з коефіцієнтом потужності підприємства $\cos\varphi_{\text{ж}}$, вказаним в вхідних даних.

Якщо $\cos\varphi_{\text{заг}} \geq \cos\varphi_{\text{ж}}$, тоді коректор коефіцієнта потужності непотрібний і розрахунок на цьому закінчується.

Визначається тангенс кутів, відповідних існуючому і бажаному коефіцієнтам потужності:

$$\operatorname{tg}\varphi_{\text{заг}} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{\text{заг}}}}{\cos \varphi_{\text{заг}}}, \quad (2.42)$$

$$\operatorname{tg}\varphi_{\text{баж}} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{\text{баж}}}}{\cos \varphi_{\text{баж}}}. \quad (2.43)$$

Визначається необхідна реактивна потужність коректора коефіцієнта потужності $Q_{\text{ккм}}$:

$$Q_{\text{ккм}} = P_{\text{заг}} (\operatorname{tg}\varphi_{\text{заг}} - \operatorname{tg}\varphi_{\text{баж}}), \text{ кВАР}, \quad (2.44)$$

і необхідна ємність конденсаторної установки, $C_{\text{ккм}}$:

$$C_{\text{ккм}} = \frac{10^9 Q_{\text{ккм}}}{U_{\text{ккм}}^2 2\pi f_c}, \quad (2.45)$$

де $U_{\text{ккм}}$ – робоча напруга установки.

Для однофазних і трьохфазних коректорів, конденсатори яких, включені за схемою «зірка» робоча напруга установки дорівнює фазній напрузі ($U_{\text{ккм}} = U_{\text{ф}} = 220 \text{ В}$), для трьохфазних коректорів, конденсатори, яких включені за схемою «трикутник» робоча напруга дорівнює лінійній напрузі мережі ($U_{\text{ккм}} = U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$).

Після цього по каталогах виробників вибирають конденсаторні установки за наступними критеріями:

- максимальна напруга установки має бути менше напруги мережі (фазної або лінійної, залежно від схеми включення);
- загальна сумарна ємність усіх конденсаторів ККП має бути приблизно рівна $C_{\text{ккм}}$;
- кількість фаз ККП повинна відповідати кількості фаз живильної мережі.

2.5.2 Типові помилки при проектуванні КРП

На відміну від систем безперебійного живлення, потужність живильних пристроїв яких повинна бути завжди більше потужності підключеного обладнання, потужність вибраного КРП може бути менше розрахованої. В ідеальному випадку потужність КРП повинна дорівнювати розрахованій $C_{\text{ккм}}$ – тільки в цьому випадку коефіцієнт потужності системи $\cos\varphi_{\text{заг}}$ буде приблизно дорівнювати бажаному $\cos\varphi_{\text{баж}}$. Вибір КРП, ємність якого значно менше розрахованої приведе до недокомпенсації, а якщо ємність буде значно більше розрахованої – відбудеться перекомпенсація (КРП буде споживати реактивну потужність більшу ніж підключене обладнання) і загальний коефіцієнт потужності підприємства знизиться. Таким чином, однією із помилок при виконанні цього пункту роботи становить – вибір КРП загальна ємність якого значно відрізняється від розрахованої.

Невідповідність числа фаз живильної мережі та числа фаз вибраного КРП. У вхідних даних для усіх варіантів вказано, що тип живильної мережі – трьохфазна чотирьохпровідна. Тому не можна вибирати КРП, розрахований на роботу в однофазній мережі (конденсаторну установку з кількістю ізолюваних виведень рівним 2, (див. рис. 1.19).

2.5.3 Приклад розрахунку КРП

Вхідні дані:

- тип живильної мережі – трьохфазна чотирьохпровідна 220/380 В, 50 Гц;

- активна потужність, споживана системою електроживлення, $P_{\text{заг}} = 21,42$ кВт;

- повна потужність, споживана системою електроживлення, $S_{\text{заг}} = 23,92$ кВА,

- бажаний коефіцієнт потужності системи електроживлення – $\cos\varphi_{\text{баж}} = 0,95$.

Визначаємо існуючий коефіцієнт потужності системи, $\cos\varphi_{\text{заг}}$:

$$\cos\varphi_{\text{заг}} = \frac{P_{\text{заг}}}{S_{\text{заг}}} = \frac{21,42}{23,92} = 0,89.$$

Визначаємо тангенс, що відповідає існуючому коефіцієнту потужності $\text{tg}\varphi_{\text{заг}}$:

$$\text{tg}\varphi_{\text{заг}} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{\text{заг}}}}{\cos \varphi_{\text{заг}}} = \frac{\sqrt{1 - 0,89^2}}{0,89} = 0,512.$$

Визначаємо тангенс, що відповідає бажаному коефіцієнту потужності $\text{tg}\varphi_{\text{ж}}$:

$$\text{tg}\varphi_{\text{баж}} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{\text{баж}}}}{\cos \varphi_{\text{баж}}} = \frac{\sqrt{1 - 0,95^2}}{0,95} = 0,329.$$

Реактивна потужність компенсувальних конденсаторів коректора коефіцієнта потужності $Q_{\text{ККП}}$:

$$Q_{\text{ККП}} = P_{\text{заг}} (\text{tg}\varphi_{\text{заг}} - \text{tg}\varphi_{\text{баж}}) = 20,52 \cdot (0,512 - 0,329) = 3,76 \text{ кВАР}.$$

Загальна ємність компенсувальних конденсаторів, які з'єднані по схемі «трикутник» $C_{\text{ККП}}$:

$$C_{\text{ККП}} = \frac{10^9 Q_{\text{ККП}}}{U_{\text{л}}^2 2\pi f_{\text{с}}} = \frac{10^9 \cdot 3,76}{380^2 \cdot 2 \cdot 3,1415 \cdot 50} = 82,89 \text{ мкФ},$$

де $U_{\text{л}} = 380$ В лінійна напруга мережі.

Для компенсатора реактивної потужності із табл. 1.5 вибираємо конденсатори КПС-0,4-5-3У3, що мають наступні характеристики:

- номінальна напруга – 0,4 кВ;
- частота – 50 Гц;
- потужність – 5 кВАР;
- ємність – 3х33,2 мкФ;
- кількість ізолюваних виводів – 3;

- розміри: діаметр – 70 мм, висота 150 мм;
- маса – 0,675 кг.

2.6 Принципи розрахунку і проектування захисного заземлення

2.6.1 Методика розрахунку пристрою захисного заземлення

Розрахунок заземлювального устаткування зводиться до вибору кількості заземлювальних стержнів в залежності від типу ґрунту і форми електродів.

Вхідними даними для розрахунку в роботі є:

- тип живильної мережі;
- максимальна потужність, яку споживає система електроживлення підприємства $S_{\text{заг}}$, кВА;
- довжина електроду заземлення l , м;
- діаметр електроду заземлення d , мм;
- відстань між електродами заземлення a , м;
- питомий опір ґрунту ρ_0 , Ом·м.

Результатом розрахунку є:

- необхідна кількість вертикальних електродів n_v ;
- опір заземлюючого приладу

Першим етапом розрахунку є визначення максимального опору заземлювального обладнання $R_{\text{з вим}}$, що визначається за вимогами Правил Улаштування Електроустановок (ПУЕ).

Спочатку визначається максимальний лінійний струм $I_{\text{л}}$, що споживається системою електроживлення:

$$I_{\text{л}} = \frac{S_{\text{озаг}}}{3U_{\text{ф}}} \text{ — для трьохфазної мережі;}$$

$$I_{\text{л}} = \frac{S_{\text{заг}}}{U_{\text{ф}}} \text{ — для однофазної мережі,}$$
(2.46)

де $U_{\text{ф}}$ – фазна напруга.

Після цього визначається розрахований струм замикання $I_{\text{з}}$, що дорівнює 125 % від номінального значення лінійного струму $I_{\text{л}}$:

$$I_{\text{з}} = 1,25I_{\text{л}}.$$
(2.47)

Далі, згідно вимогам ПУЕ, визначається необхідний опір заземлення $R_{\text{з макс}}$:

$$R_{\text{з макс}} = \frac{125}{I_{\text{з}}}.$$
(2.48)

При цьому повинна виконуватися умова:

$$R_{\text{з макс}} \leq 4 \text{ Ом.}$$
(2.49)

Якщо умова (2.49) не виконується, то необхідний опір заземлення в подальших розрахунках слід приймати 4 Ом ($R_{\text{з макс}} = 4 \text{ Ом}$).

Далі визначається опір вертикального електроду $R_{\text{в}}$:

$$R_{\text{в}} = 0,336 \frac{\rho_{\text{в}}}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right), \text{ Ом}, \quad (2.50)$$

де $\rho_{\text{в}}$ – питомий опір ґрунту для вертикальних електродів, t відстань від поверхні землі до середини електрода.

Для вертикальних електродів питомий опір ґрунту обчислюється за формулою:

$$\rho_{\text{в}} = \eta_{\text{св}} \rho_0, \text{ Ом} \cdot \text{м}, \quad (2.51)$$

де $\eta_{\text{св}}$ – коефіцієнт сезонності для вертикальних електродів, який, зазвичай, приймають $\eta_{\text{св}} = 1,4$.

Відстань від поверхні землі до середини електроду можна обчислити за формулою:

$$t = h + \frac{l}{2}, \text{ м}, \quad (2.52)$$

де $h = 0,5 \dots 1,5$ м – глибина залягання вертикального електроду.

Якщо в результаті розрахунку виявиться, що опір одного вертикального електрода $R_{\text{в}}$ менше необхідного опору заземлення $R_{\text{з макс}}$ ($R_{\text{в}} \leq R_{\text{з макс}}$), то одного електроду досить і подальший розрахунок можна не продовжувати. Інакше слід визначити орієнтовну кількість вертикальних електродів $n'_{\text{в}}$:

$$n'_{\text{в}} = \frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{з макс}}}. \quad (2.53)$$

При паралельній установці вертикальних електродів на відстані порівнянню з їх довжиною, їх ефективність знижується, тому реальна кількість вертикальних електродів визначається за формулою:

$$n_{\text{в}} = \frac{R_{\text{в}}}{\eta_{\text{в}} R_{\text{з макс}}}, \quad (2.54)$$

де $\eta_{\text{в}}$ – коефіцієнт використання вертикальних електродів.

Значення коефіцієнта $\eta_{\text{в}}$ залежить від співвідношення довжини електроду l до відстані між вертикальними електродами a . Значення коефіцієнтів $\eta_{\text{в}}$ наведено в Таблиця 2.талл. 2.6.

Визначивши кількість вертикальних електродів $n_{\text{в}}$, можна визначити загальну довжину заземлювального пристрою яка дорівнює довжині горизонтального електроду $l_{\text{г}}$:

$$l_{\text{г}} = (n_{\text{в}} - 1)a, \text{ м}, \quad (2.55)$$

і його опір $R_{\text{г}}$:

$$R_{\text{г}} = 0,336 \frac{\rho_{\text{г}}}{l_{\text{г}}} \lg \frac{2l_{\text{г}}^2}{bh}, \text{ Ом}, \quad (2.56)$$

де b – ширина горизонтального електроду ($b = 4 \dots 6$ см), $\rho_{\text{г}}$ – питомий опір ґрунту для горизонтальних електродів.

Для горизонтальних електродів питомий опір ґрунту $\rho_{\text{г}}$ визначається за формулою:

$$\rho_{\text{г}} = \eta_{\text{сг}} \rho_0, \text{ Ом} \cdot \text{м}, \quad (2.57)$$

де $\eta_{\text{г}}$ – коефіцієнт сезонності для горизонтальних електродів. Для горизонтальних електродів зазвичай приймають $\eta_{\text{г}} = 3$.

Таблиця 2.6 – Коефіцієнти використання вертикальних і горизонтальних електродів

Відношення a/l	Кількість вертикальних електродів n'_b	η_b	η_g
1	2	0,85	0,8
	3	0,8	0,8
	5	0,7	0,75
	10	0,6	0,6
2	2	0,9	0,9
	3	0,85	0,9
	5	0,8	0,85
	10	0,75	0,75
3	2	0,95	0,95
	3	0,9	0,9
	4	0,85	0,8

Загальний опір заземлювача визначається за формулою

$$R_3 = \frac{R_b R_g}{R_b \eta_g + R_g n'_b \eta_b}, \text{ Ом}, \quad (2.58)$$

де η_g – коефіцієнт використання горизонтальних електродів визначається з табл. 2.6.

При правильному розрахунку заземлення повинна виконуватися умова

$$R_3 \leq R_{3 \text{ макс}}. \quad (2.59)$$

Якщо умова (2.59) не виконується, і немає помилок в розрахунку, слід збільшити кількість вертикальних електродів і повторити розрахунок з формули (2.54).

2.6.2 Типові помилки при розрахунку захисного заземлення

Першою помилкою, яка може статися в розрахунку являється невиконання вимог ПУЕ (умова (2.49)). Якщо максимальний опір $R_{3 \text{ макс}}$, визначений за формулою (2.48), вийшов більше 4 Ом в подальших розрахунках слід приймати $R_{3 \text{ макс}} = 4 \text{ Ом}$.

Наступною помилкою є неправильне прийняття рішення після розрахунку опору вертикального електроду R_b . Якщо $R_b \leq R_{3 \text{ макс}}$, то розрахунок на цьому закінчується, оскільки одного вертикального електроду достатньо для забезпечення необхідного опору заземлення. Горизонтальний електрод в цьому випадку відсутній (оскільки нічого сполучати між собою), і усі подальші розрахунки за цією методикою будуть помилкові.

Часто в процесі виконання роботи студенти приймають кількість вертикальних електродів n_b в формулах (2.53), (2.54) дробовим числом (напри-

клад $n_b = 2,2$). Кількість вертикальних електродів має бути цілим числом, при цьому отримане значення n_b можна округлювати як у більшу, так і в меншу сторону.

Останньою помилкою, яка може виникнути є невиконання умови (2.59). Якщо ця умова не виконується, і немає помилок в розрахунках, слід збільшити кількість вертикальних електродів n_e і повторити розрахунок з формули (2.54).

2.6.3 Приклад розрахунку захисного заземлення

Вхідні дані:

- тип живильної мережі – трьохфазна, чотирьохпровідна, 220/380 В, 50 Гц;
- максимальна потужність, споживана системою електроживлення підприємства $S_{\text{заг}} = 23,92$ кВА;
- довжина електроду заземлення $l = 3$ м;
- діаметр електроду заземлення $d = 50$ мм;
- відстань між електродами заземлення $a = 6,5$ м;
- питомий опір ґрунту $\rho_0 = 10$ Ом·м.

Визначаємо максимальний лінійний струм, споживаний системою електроживлення $I_{\text{л}}$. Для трьохфазної мережі:

$$I_{\text{л}} = \frac{S_{\text{заг}}}{3U_{\text{ф}}} = \frac{23920}{3 \cdot 220} = 36,24 \text{ А},$$

де $U_{\text{ф}} = 220$ В фазна напруга.

Обчислюємо струм замикання I_3 :

$$I_3 = 1,25I_{\text{л}} = 1,25 \cdot 36,24 = 45,3 \text{ А}.$$

Максимальний опір заземлення $R_{3 \text{ макс}}$:

$$R_{3 \text{ макс}} = \frac{125}{I_3} = \frac{125}{45,3} = 2,76 \text{ Ом}.$$

Обчислений опір $R_{3 \text{ макс}}$ не перевищує 4 Ом, відповідно, вимога ПУЕ ($R_{3 \text{ макс}} \leq 4$ Ом) виконується.

Визначаємо питомий опір ґрунту для вертикальних електродів ρ_b :

$$\rho_b = \eta_{\text{св}} \rho_0 = 1,4 \cdot 10 = 14 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

де $\eta_{\text{св}} = 1,4$ – коефіцієнт сезонності для вертикальних електродів.

Визначаємо відстань від поверхні землі до середини електроду t :

$$t = h + \frac{l}{2} = 1 + \frac{3}{2} = 2,5 \text{ м},$$

де $h = 1$ м – глибина залягання вертикального електроду.

Визначаємо опір вертикального електроду R_b :

$$R_B = 0,336 \frac{\rho_B}{l} \left[\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right] =$$

$$= 0,336 \frac{14}{3} \left[\lg \frac{2 \cdot 3}{0,05} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2,5 + 3}{4 \cdot 2,5 - 3} \right] = 3,47 \text{ Ом.}$$

Оскільки опір вертикального електроду більший за потрібний ($R_B > R_{3 \text{ макс}}$) то один електрод не може забезпечити необхідний опір заземлення.

Орієнтовна кількість вертикальних електродів n'_B :

$$n'_B = \frac{R_B}{R_{3 \text{ макс}}} = \frac{3,47}{2,76} = 1,25 \approx 2.$$

Співвідношення a/l для вертикальних електродів:

$$a/l = \frac{a}{l} = \frac{6,5}{3} = 2,17 \approx 2.$$

По Таблиця 2. для кількості вертикальних електродів $n'_B = 2$ і співвідношення розмірів вертикального електроду $a/l = 2$ визначаємо коефіцієнти використання вертикальних і горизонтальних електродів: $\eta_B = 0,9$, $\eta_\Gamma = 0,9$.

Кількість вертикальних електродів n_B :

$$n_B = \frac{R_B}{\eta_B R_{\text{макс}}} = \frac{3,47}{0,9 \cdot 2,76} = 1,4 \approx 2.$$

Визначаємо довжину горизонтального електроду l_Γ

$$l_\Gamma = (n_B - 1)a = (2 - 1)6,5 = 6,5 \text{ м.}$$

Визначаємо питомий опір ґрунту для горизонтальних електродів ρ_Γ :

$$\rho_\Gamma = \eta_{\text{сг}} \rho_0 = 3 \cdot 10 = 30 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

де $\eta_{\text{сг}} = 3$ – коефіцієнт сезонності для горизонтальних електродів.

Визначаємо опір горизонтального електрода R_Γ :

$$R_\Gamma = 0,336 \frac{\rho_\Gamma}{l_\Gamma} \lg \frac{2l_\Gamma^2}{bh} = 0,336 \frac{30}{6,5} \lg \frac{2 \cdot 6,5^2}{0,05 \cdot 1} = 5 \text{ Ом.}$$

де $b = 0,05$ м – ширина горизонтального електрода.

Загальний опір обладнання заземлення, R_3 :

$$R_3 = \frac{R_B R_\Gamma}{R_B \eta_\Gamma + R_\Gamma n_B \eta_B} = \frac{3,47 \cdot 5}{3,47 \cdot 0,9 + 5 \cdot 2 \cdot 0,9} = 1,43 \text{ Ом.}$$

Отриманий опір заземлення R_3 менше необхідного $R_{3 \text{ макс}}$ ($1,43 \text{ Ом} < 2,76 \text{ Ом}$), відповідно, для забезпечення необхідного опору заземлення необхідно 2 вертикальних електрода.

2.7 Принципи розрахунку та вибору пристроїв автоматики та захисту

2.7.1 Методика розрахунку та вибору автоматичного вимикача

1. Кількість полюсів повинна відповідати типу мережі: для однофазної мережі вибирають одно- (в цьому випадку вимикач включають в коло фази) або двохполюсні (вимикач включають в кола фази і нуля), для трьохфазної – трьох- (в цьому випадку вимикач включають в кола трьох фаз) або чотирьохполюсні (в цьому випадку вимикач включають в кола трьох фаз і нуля) вимикачі.

2. Номінальний струм вимикача $I_{\text{ном авт}}$ зазвичай вибирають в 1,5 раз більше номінального значення струму $I_{\text{ном}}$, що протікає в колі:

$$I_{\text{ном авт}} = 1,5 I_{\text{ном}} \cdot A, \quad (2.60)$$

при цьому перетин проводів має бути достатній для протікання цього струму впродовж тривалого часу.

3. Характеристику спрацьовування вибирають в залежності від типу обладнання: для радіоелектронного обладнання, систем освітлення зазвичай вибирають вимикачі з характеристикою спрацьовування типу А або В; для систем вентиляції і кондиціонування, господарських потреб вибирають вимикачі з характеристикою спрацювання типу В або С, для групових вимикачів зазвичай вибирають характеристику типу С.

2.7.2 Приклад розрахунку та вибору автоматичного вимикача

У роботі слід вибрати груповий автомат захисту в головному розподільному щиті. Початковими даними для розрахунку є максимальне значення лінійного струму, визначене при розрахунку заземлення. При необхідності для визначення цього струму можна скористатися формулою (2.46).

В нашому випадку максимальний лінійний струм складає, $I_{\text{л}} = 36,24 \text{ А}$ (див. п. 2.6.3).

Визначимо номінальний струм автоматичного вимикача $I_{\text{ном авт}}$:

$$I_{\text{ном авт}} = 1,5 I_{\text{л}} = 1,5 \cdot 36,24 = 54,36 \text{ А}.$$

Із Таблиця 1. вибираємо автоматичний вимикач DPX-125 фірми Legrand для трьохфазної мережі з наступними характеристиками:

- номінальний струм – 63 А;
- кількість полюсів – 3;
- номінальна робоча напруга – 500 В (для змінного струму).

Оскільки вимикач є груповим для змішаного обладнання (телекомунікаційне обладнання, система освітлення, система вентиляції і кондиціонування тощо) рекомендується використання автоматичного вимикача з характеристикою спрацьовування типу С.

2.8 Принципи складання функціональної схеми системи електроживлення підприємства зв'язку

2.8.1 Методика складання функціональної схеми системи електроживлення підприємства зв'язку

Початковими даними для побудови структурної схеми системи електроживлення є:

- кількість променів системи (1, 2 або 3);
- тип системи аварійного освітлення (постійного або змінного струму);
- список вибраного обладнання.

Спрощена структурна схема системи електроживлення трьохпроменевого типу показана на рис. 1.2, опис її основних частин дано в п. 1.2.

Для двохпроменевої схеми *Вхід 2* і трансформаторна підстанція *ТП2* відсутня, а автомат вводу резерву *АВР1* містить тільки два входи (дві контактні групи).

Для однопроменевої схеми відсутні: *Вхід 2*, трансформаторна підстанція *ТП2*, автоматична дизель-генераторна установка *АДЕС1* і автомат входу резерву *АВР1*. В однопроменевої схемі головний розподільний щит підключається безпосередньо до виходу трансформаторної підстанції *ТП1*.

Якщо, згідно початковим даним, на підприємстві використовується система аварійного освітлення змінного струму, то вона підключається до виходу джерела безперебійного живлення *ДБЖ1*. При використанні системи аварійного освітлення постійного струму, її необхідно підключити до виходу випрямного пристрою *ВП1* паралельно обладнанню постійного струму.

В роботі, на структурній схемі в обов'язковому порядку мають бути вказані:

- модель автоматичного вимикача *Q3* і його номінальний струм, вибраного в п. 2.7;
- модель компенсатора реактивної потужності *КРП1*, вибраного в п. 2.5;
- модель джерела безперебійного живлення змінного струму, *ДБЖ1* з вказівкою кількості модулів, вибраного в п. 2.2;
- модель випрямного обладнання *ВП1* з вказівкою кількості модулів, вибраного в п. 2.3;
- модель акумуляторних батарей *GB1*, *GB2* з вказівкою кількості акумуляторів, вибраних в п. 2.3.

2.8.2 Приклад складання функціональної схеми системи електроживлення підприємства зв'язку

Вхідні дані:

- кількість променів системи – 2;
- тип системи аварійного освітлення – змінного струму;
- автоматичний вимикач *Q3* – Legrand DPX-125, 63 А;
- компенсатор реактивної потужності *КРМ1* – КПС-0,4-5-3У3;

- джерело безперебійного живлення *ИБП1* – РК Electronics US 9003, 12 модулів;
- випрямний пристрій *BV1* – Связь інжиніринг ДБЖ-4, 3 модуля;
- акумуляторні батареї *GB1*, *GB2* – Hawker Power safer 12V57 5 батареї в одній групі.

Функціональна схема системи електроживлення наведена на рис. 2.2.

З 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 СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ

Навчальний посібник для здобувачів вищої освіти,
які навчаються за спеціальностями галузі «Інформаційні технології»

Українською мовою