

Реферат

Кваліфікаційна робота магістра на тему «Використання гібридних накопичувачів енергії для забезпечення якості напруги в системах електропостачання» виконано в обсязі 85 сторінок пояснювальної записки.

Пояснювальна записка містить 20 рис., 5 таблиць. При написанні кваліфікаційної роботи магістра було використано 39 джерел літератури.

У кваліфікаційній роботі магістра були розглянуті різні режими роботи електричних мереж які впливають на якість електроенергії та її вплив на електроспоживачів. Проведено аналіз поточного стану в області забезпечення якості електроенергії розглянуті існуючі засоби і, способи та методи регулювання напруги.

Проведено аналіз різних видів накопичувачів енергії та досліджені передумови використання гібридних накопичувачів енергії, розглянутий спосіб використання гібридного накопичувача електроенергії для забезпечення якості напруги, підібрані складові гібридного накопичувача для підприємства за графіком навантаження. У якості вихідних даних були використані дані КП «Дніпровський електротранспорт» м. Дніпро.

Розраховано економічну доцільність використання гібридних накопичувачів електроенергії

Ключові слова: якість електричної енергії, напруга, пікові навантаження, засоби регулювання напруги, гібридний накопичувач енергії, супер конденсатор, системи акумулювання енергії.

Abstract

Master's qualification work on the topic "The use of hybrid energy storage devices to ensure the quality of voltage in power supply systems" was completed in the amount of 85 pages of the explanatory note.

The explanatory note contains 20 figures, 5 tables. When writing the master's work, 39 sources of literature were used.

In the qualification work of the Master the various modes of operation of electric networks influencing the quality of electric power and its influence on electric consumers were considered. The analysis of the current state in the field of ensuring the quality of electricity is considered existing means and methods and methods of voltage regulation.

The analysis of various types of energy storage devices has been carried out and the preconditions for the use of hybrid energy storage devices have been investigated, the method of using the hybrid electric energy storage device for ensuring the voltage quality has been analyzed, the components of the hybrid drive for the enterprise according to the load schedule have been selected. As data, the data of the Communal enterprise "Dneprovskiy elektrotransport" of the city of Dnipro was used.

The economic feasibility of using hybrid power storage devices is calculated

Key words: electric power quality, voltage, peak load, voltage regulation, hybrid energy storage, super capacitor, energy storage system.

Зміст

Вступ	7
Розділ 1. Аналіз поточного стану в області забезпечення якості електроенергії	
електроенергії.....	10
1.1 Режими роботи систем електропостачання промислових підприємств.....	11
1.2 Вплив якості електричної енергії на роботу електроприймачів....	13
1.3 Взаємозв'язок показників якості електричної енергії від режимів роботи систем електропостачання	19
1.4 Способи і засоби регулювання напруги.....	20
1.5 Регулятори напруги в побутових і промислових енергомережах...	30
1.6 Системи акумулювання енергії.....	38
Висновок.....	43
Розділ 2. Аналіз гібридних накопичувачів енергії та перспективи їх використання	
використання.....	45
2.1 Гібридні накопичувачі електроенергії.....	46
2.2 Принцип роботи гібридного накопичувача енергії.....	49
2.3 Аналіз різних видів накопичувачів електроенергії.....	51
2.4 Застосування гібридних накопичувачів електроенергії	53
2.5 Аналіз можливості використання гібридних накопичувачів енергії для забезпечення якості напруги в системах електропостачання.....	55
2.6 Перспективи використання накопичувачів електроенергії.....	57
Висновок.....	60
Розділ 3. Використання гібридних накопичувачів електроенергії для забезпечення якості напруги	
.....	62
3.1 Аналіз навантаження енергосистеми.....	63
3.2 Характеристика підприємства ПАО «ДТЭК Днепрооблэнерго»....	64
3.3 Вибір складових модулів гібридного накопичувача електроенергії.....	66

Висновок.....	69
Розділ 4. Економічне обґрунтування застосування гібридного накопичувача.....	71
4.1 Актуальність результатів роботи.....	72
4.2 Розрахунок капітальних втрат.....	73
4.3 Розрахунок експлуатаційних витрат.....	75
4.4 Визначення річної економії від впровадження об'єкта	77
4.5 Визначення та аналіз показників економічної ефективності.....	78
Висновок.....	79
Висновки.....	80
Список використаних джерел.....	82

ВСТУП

В комплексі задач електропостачання особливе місце займає проблема забезпечення якості електричної енергії у споживачів, оскільки енергетичні характеристики обладнання СЕП залежать від її показників. Тому питання аналізу якості електроенергії і його нормалізації є актуальними на сьогодні.

Проблема дослідження впливу несиметричних режимів на якість електричної енергії придбала особливу актуальність останніми роками.

Це обумовлено широким впровадженням в різні галузі промисловості нових прогресивних технологічних процесів і систем і, як наслідок, безперервне зростання потужних несиметричних споживачів електроенергії, істотно погіршуючи показники якості електроенергії, а також режимні зміни в роботі промислових електричних мереж.

У свою чергу, зниження показників якості електричної енергії приводить, з одного боку, до збільшення втрат напруги та потужності в мережах, зменшенню їх пропускної спроможності, а з іншою боку – порушенню нормальної роботи і зниженню терміну служби електрообладнання, зниженню кількості і якості продукції що випускається, зменшенню продуктивності праці.

Так, наприклад, зниження напруги на 1% викликає зменшення продуктивності в різних галузях промисловості від 0,1 до 2,0 %. При не симетрії напруги 2 % терміни служби асинхронних двигунів скорочуються на 10,8 %, синхронних – на 16,2 %, трансформаторів – на 4 – 6 %, конденсаторів – на 20 % [10]. При зменшенні напруги на 10 %, так само як при не симетрії напруги 4 %, термін служби електродвигунів скорочується удвічі.

Численні дослідження якості електричної енергії, проведені науково-дослідницькими закладами, свідчать про те, що показники якості електричної енергії у багатьох випадках не відповідають вимогам стандарту.

Одна з головних причин невиробничих затрат енергії в енергетиці – високі втрати в електричних мережах. У середньому в електричних мережах енергосистем і споживачів вони складають 16 %. Порівняно з розвиненими країнами Західної Європи, це в 1,5–2 рази більше. Проблема якості електроенергії знаходиться у центрі уваги багатьох дослідників і практичних працівників енергетики й електрифікації.

Важливе місце займає пошук нових рішень цієї актуальної наукової задачі. Кінцевим результатом у цьому пошуку повинно бути впровадження передових методів оптимального планування, які знаходять більше застосування у всіх ланках народного господарства. У системах електропостачання промислових підприємств дуже часто зустрічаються такі приймачі електричної енергії, трифазне симетричне виконання яких або неможливе, або через низку причин недоцільне. До таких споживачів, по-перше, відноситься частина печей опору, печі графітації, більшість установок електричного зварювання тощо. Спільне живлення однофазних і трифазних приймачів електричної енергії від трифазної чотирипровідної мережі має широке поширення в системах електропостачання промислових підприємств. У таких випадках практично завжди виникає несиметрія навантаження за фазами, а також значні струми в нульовому проводі. Ці фактори призводять до зниження якості напруги й є причиною промислового збитку.

Метою даної роботи є – дослідження можливості використання гібридних накопичувачів енергії для забезпечення якості напруги в системах електропостачання, за рахунок компенсації пікових навантажень.

Для досягнення поставленої мети вирішуються наступні завдання:

1. проаналізована статистика порушень якості електричної енергії в Дніпропетровській області;
2. досліджені засоби й способи регулювання напруги;
3. проаналізовані існуючі накопичувачі електричної енергії;
4. досліджені передумови використання гібридного пристрою накопичення електроенергії для забезпечення якості напруги;

5. розглянута можливість використання гібридного пристрою для забезпечення якості напруги в мережі на прикладі підприємства.

Об'єктом дослідження є способи регулювання якості напруги в мережі.

Предмет дослідження ефективний пристрій, здатний компенсувати пікові навантаження в мережі й також швидко накопичувати електроенергію.

Наукова новизна результатів роботи полягає в тому, що забезпечення якості напруги в системах енергопостачання досягається шляхом компенсації пікових навантажень за допомогою гібридного накопичувача енергії. Базовою технологією накопичувачів енергії є гібридні системи накопичення енергії на базі довгочасних накопичувальних систем – акумуляторів і короткочасних накопичувальних систем – батарей суперконденсаторів, що дозволяють підвищити керованість, надійність і економічність функціонування ЕС, у тому числі при наявності в її складі децентралізованих і нетрадиційних джерел електроенергії.

Також використання гібридного накопичувача енергії дозволить:

- не містити величезні кількості резервних генеруючих потужностей;
- підприємства перестануть прив'язувати графіки своєї роботи до годин з «дешевою» енергією;
- генеруючим компаніям не прийде настільки гостро реагувати на зміни й перепади електроспоживання.

Практична значимість роботи характеризується тим, що її результати дозволяють використовувати запропонований спосіб у системах електроенергетики, у тому числі в системах на основі поновлюваних джерел енергії, для стабілізації напруги й згладжування пікових навантажень. Гібридний накопичувач електроенергії здатний ефективно накопичувати електроенергію під час базисних навантажень і віддавати її під час пікових і проміжних навантажень, задовольняючи вимоги по надійності і якості електропостачання конкретних споживачів, так само дозволяють зберегти електропостачання споживачів при відключеннях мережі.

Розділ 1
АНАЛІЗ ПОТОЧНОГО СТАНУ В ОБЛАСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

1.1 Режими роботи систем електропостачання промислових підприємств

У системах електропостачання (СЕП) практично не буває реального проміжку часу, протягом якого не відбувалося б яких-небудь змін умов її роботи:

1. включень, відключень або технологічних змін електричних навантажень окремих споживачів;
2. включень або відключень окремих ЛЕП;
3. регулювання режиму напруги;
4. регулювання режиму пусків і самозапусків електродвигунів;
5. регулювання змін уставок пристроїв керування, одне- і багатофазних КЗ, АПВ і АВР і ін.

Режимом систем електропостачання – називається сукупність процесів, що протікають у системах електропостачання й визначальний її стан у заданий момент часу або на деякому інтервалі часу. Режим систем електропостачання характеризується параметрами (показниками) режиму, які кількісно визначаються умовами роботи систем електропостачання [2].

Параметрами режиму систем електропостачання є:

- потужності й напруги у вузлових точках і на затискачах окремих електроприймачів;
- кути зрушення векторів напруг і струмів,
- коефіцієнт корисної дії, $\text{tg}\delta$ і ін.

Показники режиму систем електропостачання зв'язані між собою співвідношеннями, у які входять параметри окремих елементів системи з урахуванням схем їх з'єднання, параметри джерел живлення й характеристики навантажень. Параметри режиму систем електропостачання визначаються розрахунковим або експериментальним методами [2].

Розрізняють наступні види режимів систем електропостачання:

- нормальні режими, що встановилися, стосовно до яких спроектована система електропостачання й визначені її основні показники;

- нормальні перехідні режими, під час яких система переходить із одного робочого стану в інший;
- аварійні перехідні режими, для яких визначаються уставки спрацьовування пристроїв захисту, і виявляється можливість відновлення режиму, що встановився, усієї або частини системи електропостачання;
- післяаварійні режими, що встановилися, для яких виявляється можливість подальшої роботи системи електропостачання з погіршеними техніко-економічними показниками при використанні закладеного в системі резерву.

У нормальних режимах, що встановилися, систем електропостачання параметри режиму безупинно змінюються, але ці зміни щодо деякого середнього значення настільки малі, що ними можна зневажити.

Зміни параметрів режиму систем електропостачання в цьому випадку обумовлюється зміною електричних навантажень, напруги в живильній енергосистемі й реакцією на них регулюючих пристроїв СЕП. При ньому можливі короточасні відхилення параметрів (наприклад, при включенні або відключенні окремих елементів системи) зі швидким (частки секунди) відновленням нормального стану, що встановився. Розрізняють нормальні режими найбільших навантажень, найменших і ін. [2].

Нормальні перехідні режими супроводжують поточну експлуатацію систем електропостачання й виникають при включеннях і відключеннях окремих навантажень і ліній електропередачі. Також до таких режимів приводять короткі замикання, аварії, відключення елементів системи, різке зниження напору води на ГЕС або падіння тиску пари на теплових станціях і т.д.

Аварійні перехідні режими виникають при одне- і багатофазних коротких замиканнях (КЗ) у системах електропостачання. У СЕП підприємств застосовується роздільна робота секцій збірних шин розподільних пристроїв 6-10 кВ із автоматичним введенням резерву (АВР) на секційному вимикачі. При КЗ, що приводять до роботи пристрою АВР,

може відбуватися порушення стійкості роботи синхронних (СД) і асинхронних (АД) двигунів. Відновлення режиму, що встановився, і збереження технологічних процесів безперервних виробництв при таких КЗ може бути забезпечене при успішному самозапуску СД і АД. Тенденція росту одиничної потужності електродвигунів і їх частки в загальному навантаженні системи електропостачання приводить до постійного збільшення струму підживлення від електродвигунів точками КЗ. На окремих підстанціях частка струмів підживлення крапки КЗ від електродвигунів досягає 50-60 % від загального струму КЗ. Тому при коротких замиканнях для аварійних перехідних режимів виявляються достовірні значення струмів КЗ і розробляються заходи щодо їхнього обмеження [3].

При відключенні електродвигунів оцінюється характер зміни напруги на статорних обмотках у часі, обумовлений протіканням струмів в обмотках ротора. Знання залежності зміни напруги на статорі від часу необхідно при визначенні впливу струму на людину, що потрапила під напругу, а також для визначення уставок АВР.

Для післяаварійних режимів, що встановилися, визначаються можливість функціонування систем електропостачання при зниженій на 5% напрузі у вузлових точках, допустимість перевантаження силових трансформаторів, запаси стійкості системи.

1.2 Вплив якості електричної енергії на роботу електроприймачів

Споживачі електроенергії розраховані на тривалу роботу з номінальними електричними параметрами режиму (f_n , U_n , I_n і ін.), при яких вони мають найвищі техніко-економічними показники. Однак при передачі електроенергії від генеруючої електростанції до споживачів якість її погіршується, тому що в мережах мають місце втрати напруги, несиметрія навантаження фаз викликає несиметрію напруги, наявність

перетворювальних пристроїв приводить до несинусоїдальності напруги, а поштовхи навантаження при відключенні й підключенні споживачів викликають коливання частоти й напруги. Зазначені причини, а також ряд інших факторів приводять до відхилення параметрів якості електричної енергії від нормованих значень, що впливає на роботу електроприймачів [4].

Якість електроенергії безпосередньо пов'язане з економічністю виробництва, оскільки відхилення показників якості від номінальних приводять до зниження ККД, коефіцієнта потужності, продуктивності, терміну служби й інших показників споживачів електроенергії.

Іншим відбиттям якості електроенергії є його вплив на сам предмет виробництва, на якість продукції. Дійсно, відхилення показників якості енергії від номінальних веде безпосередньо до порушення технологічних процесів (обробки, прокату, гальванізації, нагрівання й т.п.).

Якість електричної енергії зв'язане й з деякими соціальними проблемами. Так, наприклад, неприпустимі відхилення напруги в освітлювальних мережах викликають зниження освітленості, що позначається на органах зору людину. Поява вищих гармонійних у мережах електропостачання викликає не тільки порушення роботи радіо - і телевізійної апаратури, але в певних умовах впливає й на здоров'я людей. Високочастотні вібрації робочого інструмента, викликані наявністю вищих гармонійних, приводять до різних професійних захворювань робітників.

Відхилення й коливання напруги в електричних мережах, викликані безперервною зміною електричних навантажень, приводять до зміни освітленості, підвищенню питомої витрати енергії, зміни технологічних процесів, збільшенню собівартості продукції, браку й іншим негативним наслідкам, що знижують народногосподарську ефективність виробництва. Зміна напруги в різних вузлах мережі може бути неоднаковим [5].

Найбільш чутливі до відхилень напруги асинхронні двигуни, момент на валу яких пропорційний квадрату підведеної напруги, тому при більших

відхиленнях напруги може настати так зване «перекидання» двигуна, тобто гальмування його до повної зупинки.

Момент синхронних двигунів пропорційний нарузі. Зміни підведеної напруги викликають відповідні зміни моменту на валу, впливають на статичну стійкість роботи таких двигунів і на значення їх розташовуваної реактивної потужності.

Споживачі, що мають перетворювальні установки (керовані випрямлячі, перетворювачі частоти й т.п.), на відхилення напруги реагують зміною кута регулювання й відповідно зміною коефіцієнта потужності установки.

Електротермічні установки при зменшенні живлячого напруги знижують продуктивність, яка пропорційна другому ступеню підведеної напруги. Відхилення напруги в освітлювальних мережах впливають на весь виробничий процес, оскільки ці відхилення приводять до зміни освітленості, що у свою чергу викликає підвищену стомлюваність органів зору, зниження продуктивності людини, збільшення травматизму й виробничого браку.

Коливання напруги, що виникають в електричних мережах при пусках потужних двигунів, при роботі зварювальних агрегатів, дугових печей, вентиляльних установок і внаслідок інших причин, викликають відчутні наслідки: – в освітлювальних мережах — «миготіння» ламп;
– у схемах автоматики виникнення неправильних команд;
– коливання впливають на пуск двигунів, на самовідключення контакторів, пускачів і ін.

Коливання напруги негативно позначаються на зоровому сприйнятті людьми предметів, деталей, графічних матеріалів, що в підсумку приводить до зниження продуктивності праці. Коливання напруги, викликані потужними періодичними навантаженнями (прокатним станом, потужними компресорними установками і т.п.), можуть привести до коливань електромагнітного моменту, активної і реактивної потужності генераторів ТЕЦ [5].

Несиметричний режим багатофазної системи електропостачання викликає поява поряд із системою прямої послідовності напруги систем зворотної й нульовий послідовностей. Причини виникнення несиметрії напруг наступні: наявність несиметричного навантаження, відмінність параметрів фаз на окремих ділянках мережі, відсутність транспозиції фаз протяжних ЛЕП. Неврівноваженість напруги викликається в основному наявністю потужних однофазних приймачів. Викривлення симетрії напруги мережі погіршує умови роботи споживачів, знижує їхню економічність і погіршує технічні характеристики (виникають додаткові втрати в елементах мережі, скорочується термін служби електроустаткування й т.п.) [6].

Несиметрія напруги приводить до виникнення в електричних машинах магнітних полів, що обертаються відповідно із синхронною частотою обертання в напрямку обертання ротора (результат прямої послідовності напруги) і з тою же швидкістю в протилежному (результат зворотної послідовності напруги). У підсумку створюється гальмовий електромагнітний момент і додаткове нагрівання активних частин машин. Додаткове нагрівання електричних машин змушує знижувати їхню номінальну потужність, щоб зберегти нормований термін служби.

В електричних машинах несиметрія напруги, крім розглянутих наслідків, може привести до появи вібрацій ротора, що виникають у результаті знакозмінних обертаючих моментів, які можуть викликати руйнування механічних конструкцій машини.

Несиметрія напруги викликає підвищене нагрівання трансформаторів, отже, і скорочення строку їх служби.

Також несиметрія напруги суттєво впливає на батареї конденсаторів, тому що реактивна потужність, генеруєма батареєю, залежить від наявності напруги зворотної послідовності фаз.

Несиметрія напруги не виявляє помітного впливу на роботу повітряних і кабельних ліній, але термін служби устаткування цих ліній може помітно знизитися.

Методи симетризування режимів залежно від того, на який параметр направлено дію, можна підрозділити на методи симетризування струмів і методи симетризування напруги (рис. 1.1).



Рис. 1.1 – Класифікація методів нормалізації несиметричних режимів

Зміна синусоїдальної форми напруги виникає в електричних мережах, що мають елементи, генеруючі вищі гармоніки: устаткування з нелінійними магнітопроводами, що насичуються, випрямні установки, перетворювачі частоти. Вищі гармоніки напруги й струму несприятливо впливають на електроустаткування, системи автоматики, релейного захисту, телемеханіки, зв'язку. Вони викликають додаткові втрати в електричних машинах, трансформаторах і мережах, скорочують строк їх служби, підвищують аварійність кабельних мереж, приводять до перевантаження по струму конденсаторні батареї, створюють умови для резонансних явищ у мережах, прискорюють старіння ізоляції електроустаткування [7].

Відхилення частоти найбільше чутливо впливають на синхронні двигуни, кутова швидкість яких лінійно залежить від частоти живлячої

напруги. Практично лінійно від частоти залежить і кутова швидкість асинхронних двигунів.

На зазначених двигунах в основному будуються електроприводи робочих механізмів, тому зниження частоти приводить до зниження їх продуктивності, а в ряді випадків і до порушення технологічних процесів. При зменшенні частоти порушується робота й механізмів власних потреб електростанцій (дутьевые вентилятори, димососи, циркуляційні насоси й ін.), що може привести до зупинки станції й навіть виходу з роботи системи. Відхилення частоти також впливають на розподіл навантаження між паралельно працюючими електростанціями.

Коливання частоти в системі викликаються та мають значний вплив: короткими замиканнями, підключенням і відключенням споживачів, періодичними навантаженнями великої потужності. Коливання частоти можуть викликати «хитання» двигунів і навіть генераторів електростанцій. Виходячи із усього вищесказаного, можна зробити висновок, що в цей час досить актуальною є проблема контролю й підтримки (регулювання) якості електроенергії. На рис. 1.2 показана статистика порушень показників якості електроенергії по даним ПАО «ДТЭК Днепрооблэнерго» за 2018 р.



Рис. 1.2 Статистика порушень показників якості електроенергії

Таблиця 1 Тривалість відхилення параметрів якості електроенергії

ПЯЕ	Відхилення напруги	Коефіцієнт не симетрії напруги по нульовій послідовності K_{0U}	Коефіцієнт не симетрії напруги по зворотній послідовності K_{2U}	Відхилення частоти
Час, хв/рік	4516	2745	625	85

У таблиці 1 наведена тривалість відхилення параметрів якості електроенергії за даними ПАО «ДТЭК Днепрооблэнерго» за 2018 р.

Виходячи зі статистики, можна зробити висновок, що найбільше часто відбувається порушення таких параметрів якості, як відхилення напруги, коефіцієнтів несиметрії напруги по нульовій і зворотній послідовності.

1.3 Взаємозв'язок показників якості електричної енергії від режимів роботи систем електропостачання

Якість напруги в електроенергетичних системах характеризується його відхиленнями, коливаннями, несиметрією й несинусоїдальністю форми кривої напруги. У зв'язку зі зміною навантажень напруга в мережі не може підтримуватися строго в їхніх номінальних значеннях у будь-який момент часу, тому й виникають відхилення напруги. Вони залежать від режиму роботи й параметрів електроприймачів та місцевих мереж. Інші параметри напруги суттєво залежать також від режиму й параметрів районних мереж напругою 35-154 кВ [8].

Через велику нерівномірність у споживанні електроенергії протягом дня, необхідно покривати як базисні й проміжні, так і пікові навантаження в мережі. Також у ході проведеного дослідження виявлене, що одноразові пікові навантаження, тривалістю нехай і кілька хвилин, мають досить

коштовні наслідки в рахунках за електроенергію, у погіршенні якості напруги в мережі, у порушенні нормальної роботи устаткування. Основні способи боротьби з піковими навантаженнями в цей час – це відключення навантажень по запиту, що означає розподіл і керування електроенергією залежно від запитів користувачів з урахуванням можливостей живильної мережі й розподіл навантаження за часом. Однак у промисловості є можливості по застосуванню зазначених схем, для офісних або житлових будов це не так зручно, тому що вони не можуть різко скоротити енергоспоживання без істотного впливу на комфорт людей, що перебувають у них.

Так одні ПЯЕ характеризує режими, що встановилися, роботи електроустаткування енергопостачальної організації й споживачів ЕЕ й дає кількісну оцінку по ЯЕ особливостям технологічного процесу виробництва, передачі, розподілу й споживання ЕЕ. До цих ПЯЕ відносяться: стале відхилення напруги, коефіцієнт викривлення синусоїдальності кривої напруги, коефіцієнт n -ої гармонійної складової напруги, коефіцієнт несиметрії напруг по зворотній послідовності, коефіцієнт несиметрії напруг по нульовій послідовності, відхилення частоти, розмах зміни напруги [4].

Інші ПЯЕ характеризує короточасні перешкоди, що виникають в електричній мережі в результаті комутаційних процесів, грозових атмосферних явищ, роботи засобів захисту й автоматики у після аварійних режимах. До них відносяться провали й імпульси напруги, короточасні перенапруги.

1.4 Способи і засоби регулювання напруги

Під регулюванням напруги розуміється комплекс технічних заходів щодо обмеження відхилень напруг від їхніх номінальних значень на шинах споживачів електроенергії в припустимих межах.

Крім того, регулювання напруг виконується в системоутворюючих і розподільних мережах електроенергетичних систем з метою забезпечення економічної й надійної роботи енергетичного устаткування та підтримки напруг у вузлах мережі в технічно припустимих границях. Регулювання напруг здійснюється як у системах електропостачання споживачів, так і в мережах електроенергетичних систем [5].

Розрізняють централізоване й місцеве регулювання напруги. При централізованому регулюванні в живильному вузлі одночасно підтримуються припустимі рівні напруги в цілому для групи споживачів прилеглому району. Місьцеве регулювання припускає підтримку необхідних рівнів напруги безпосередньо на шинах споживача.

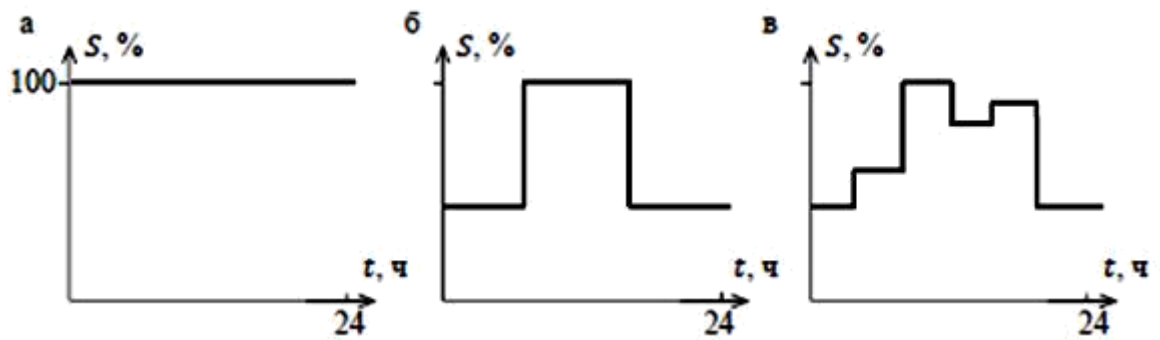
Місьцеве регулювання напруги можна підрозділити на групове й індивідуальне. Групове регулювання виконується одночасно для групи споживачів, індивідуальне регулювання – для одного конкретного, як правило, особливого споживача.

Централізоване регулювання напруги залежно від характеру графіків навантажень можна умовно розбити на три типи:

- стабілізація напруги;
- двоступінчасте регулювання;
 - зустрічне регулювання напруги.

Стабілізація напруги застосовується для споживачів із практично незмінним навантаженням, де необхідний рівень напруги необхідно підтримувати незмінним протягом доби. Графік навантаження таких підприємств показано на рис. 1.3, а.

Двоступінчасте регулювання застосовують для навантажень, графік яких має два явно виражені рівні (рис 1.3, б). При цьому підтримуються два необхідні рівні напруги відповідно до графіка навантажень. Звичайно необхідний рівень напруги в режимі максимальних навантажень вище, чим у режимі мінімальних навантажень [6].



*Рис. 1.3 – Графік навантажень споживачів: а – незмінний;
б – двоступінчастий; в – багатоступінчастий.*

Зустрічне регулювання напруги застосовується для споживачів зі змінним, багатоступінчастим графіком навантажень (рис. 1.3, в) і є розвитком двоступінчастого. Для кожного значення навантаження в системі електропостачання споживача будуть мати місце свої значення втрат напруги. Для підтримки необхідних рівнів напруг на шинах споживача напруга слід регулювати відповідно до графіка навантажень.

Зустрічне регулювання полягає в підтримці підвищеної напруги на шинах електричних станцій або понижувальних підстанцій у період найбільших навантажень і в зниженні його до номінального в період найменших навантажень.

Таким чином, напруга на затискачах споживачів як вилучених від живильної підстанції, так і прилеглих уводиться в припустимі межі. При такому регулюванні в режимах максимальних і мінімальних навантажень відповідно підвищується й знижується й тому називається зустрічним.

Практично, без спеціальних регулюючих пристроїв, припустимий режим напруг може бути забезпечений тільки в умовах, коли сумарні втрати напруги в електричній мережі відносно невелике. Такі умови мають місце в електричних мережах невеликої довжини з малим числом проміжних трансформацій.

Сучасні вітчизняні електричні системи характеризуються багатоступінчастою трансформацією та лініями різних напруг які збільшуються по довжині. Сумарна величина втрат напруги на шляху передачі електроенергії від її джерел до приймачів виходить досить великою. При зміні значень навантажень від найменших до найбільших сумарні втрати напруги також змінюються. У результаті на затискачах електроприймачів має місце зміна напруги в досить значних межах, що суттєво перевищують припустимі. У цих умовах не можна забезпечити необхідну якість напруги без застосування спеціальних регулюючих пристроїв.

Завданням регулювання напруги є навмисна зміна режиму напруг в окремих пунктах мережі по заздалегідь заданих законах. Більш надійним і економічним є автоматичне регулювання напруги. Закони регулювання напруги повинні встановлюватися з умов забезпечення найбільш економічної спільної роботи джерел реактивної потужності, електричних мереж і приєднаних до них електроприймачів. Вибір вихідних положень для регулювання напруги багато в чому залежить від місцевих умов, типу мережі, складу електроприймачів і т.п.

1.4.1 Засоби регулювання напруги

Засобами регулювання напруги можуть служити:

- генератори на електростанціях, трансформатори із пристроями регулювання напруги під навантаженням (РПН) і без навантаження (ПБВ);
- вольтодобавочні трансформатори і лінійні регулятори;
- пристрої, що компенсують, виробляють (батареї конденсаторів, синхронні компенсатори в Perezбудженому режимі) і споживають (реактори, синхронні компенсатори в недозбудженому режимі) реактивну потужність.

Крім того, регулювання напруги може здійснюватися зміною конфігурації мережі. Деяку участь у регулюванні напруги приймає і навантаження, що знижують споживання активної й особливо реактивної потужності при зниженні напруги на шинах (регулюючий ефект навантаження) [8].

Засобу регулювання напруги можна розглянути на прикладі розподільної мережі, приєднаної до шин центру живлення (ЦЖ). Величини відхилень напруг в електроприймачах (ЕП) залежать від багатьох факторів: режиму напруг у центрі живлення, втрат напруги в елементах мережі, по яких здійснюється електропостачання даних електроприймачів від центру живлення, наявності в цій мережі додаткових регулюючих пристроїв.

Для схеми, показаної на рис. 1.4, можуть бути використані наступні способи регулювання напруги:

- зміна режиму напруг або регулювання напруги на шинах ЦЖ;
- зміна значень втрат напруги в окремих елементах мережі (лініях, трансформаторах) або на декількох ділянках мережі одночасно;
- зміна коефіцієнтів трансформації нерегульованих і регульованих під навантаженням трансформаторів, і автотрансформаторів, лінійних регуляторів (ЛР), включених на ділянці мережі ЦЖ-ЕП. При цьому змінюються величини відповідних добавок напруги.

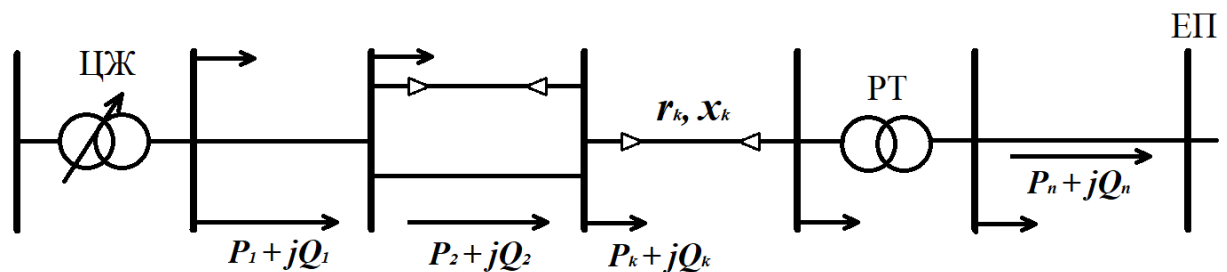


Рис. 1.4 – Схема електричної мережі

Регулювання напруги на центрі живлення звичайно приводить до зміни режиму напруг у всій приєднаній до центру живлення мережі. Тому

інші способи ставляться до місцевого регулювання напруги, що приводить до зміни режиму напруг в обмеженій частині розподільної мережі [9].

Надалі під зміною напруги розуміється його коректування за допомогою одноразового заходу, проведеного на тривалий період часу. До таких заходів належать:

- зміна робочого положення регулювального відгалуження нерегульованого трансформатора;
- включення установки ємнісній-повздошно-ємнісної компенсації;
- включення додаткової лінії;
- заміна перетину проводів і т.п.

При цьому режим напруг може бути суттєво поліпшений. Однак закон зміни напруги залишається змушеною, обумовленою зміною навантаження.

Під регулюванням розуміється поточна зміна параметрів системи (напруги, коефіцієнта трансформації, втрат напруги), застосовуване з метою забезпечення бажаного режиму напруг. Регулювання може проводитися автоматично.

Серед способів регулювання напруги слід особливо виділити застосування автоматизованих джерел реактивної потужності (пристроїв, що компенсують). Використання пристроїв, що компенсують, дуже важливо у зв'язку з тим, що регулювання напруги в електричній мережі практично можливо тільки в тому випадку, коли є достатній резерв реактивної потужності. Це пояснюється тим, що зниження рівня напруги в мережі звичайно пов'язане з помітним ростом споживаної реактивної потужності. Додатково необхідна реактивна потужність при цьому повинна бути покрита за рахунок наявного резерву.

1.4.2 Регулювання напруги на шинах генераторної напруги електростанцій або шинах низької напруги знижувальних підстанцій

Центрами живлення розподільних електричних мереж можуть бути шини генераторної напруги електростанцій або шини НН знижувальних підстанцій.

Напруга на шинах генераторної напруги станцій регулюється шляхом зміни струму порушення генераторів автоматично за допомогою спеціальних автоматичних регуляторів порушення (АВР). Регулювання на шинах нижчої напруги знижувальних підстанцій може проводитися за допомогою: трансформаторів із РПН, синхронних компенсаторів, лінійних регуляторів ЛР.

Напруга при цьому повинне регулюватися автоматично за допомогою регуляторів напруги за бажаним законом у межах розташованого діапазону одночасно для всіх ліній розподільної мережі, приєднаних до шин даного ЦП. Тому ці схеми централізованого регулювання можуть забезпечити необхідна якість напруги в електроприймачів тільки в тих випадках, коли до шин ЦП приєднуються лінії розподільної мережі, що харчують однорідних споживачів. Під однорідними споживачами розуміються групи електроприймачів, для яких графіки зміни навантажень у часі є практично однотипними.

У випадку приєднання до ЦП ліній розподільної мережі, що живить різнорідних споживачів, слід застосовувати схеми групового централізованого регулювання.

Аналіз можливих способів регулювання напруги можна виконати, розглядаючи втрати напруги. Значення втрат напруги (%) у деякому елементі розподільної мережі (рис. 1.5, 1.6) з достатнім ступенем точності виражається по формулі 1:

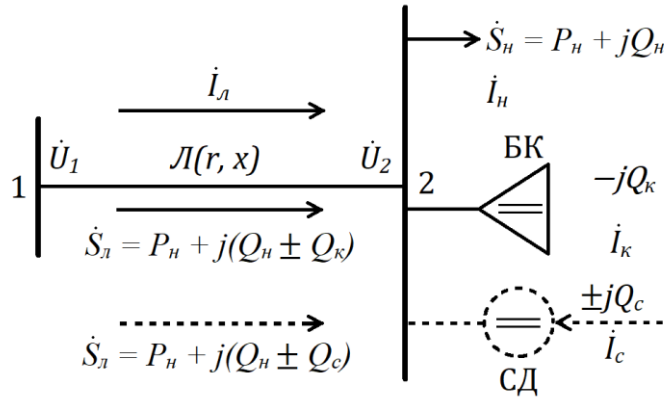


Рис. 1.5 – Схема розподільної мережі

$$\Delta U_{ak} = 100U_{\text{ном}} \cdot (P_k \cdot r_k + Q_k \cdot x_k) = \Delta U_{ak} + \Delta U_{rk} \quad (1)$$

де $\Delta U_{ak} = 100P_k \cdot \frac{r_k}{U_{\text{ном}}}$, $\Delta U_{rk} = 100Q_k \cdot \frac{x_k}{U_{\text{ном}}}$ напруги, що складаються втрат, обумовлені відповідно передачею активної й реактивної потужності.

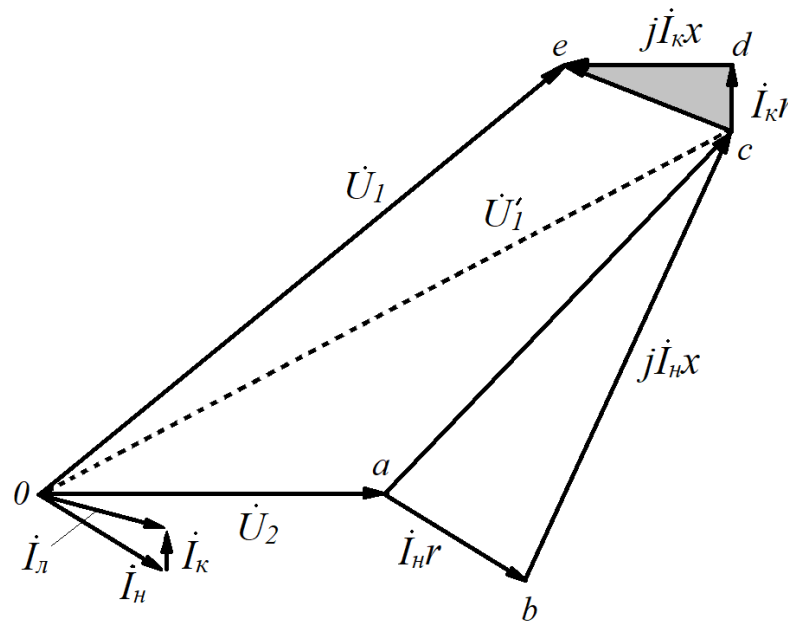


Рис. 1.6 - Векторна діаграма напруг

Звичайно для елемента мережі заданими є номінальна напруга $U_{\text{ном}}$ і активна потужність P_k у розглянутому режимі навантаження. Звідси випливає, що величину втрат напруги в даному елементі мережі можна змінити або шляхом зміни його активного або індуктивного опору, або шляхом зміни переданої по ньому реактивної потужності.

1.4.3 Регулювання напруги за допомогою пристроїв, що компенсують

Зміна величини переданої реактивної потужності впливає на рівні напруги. Реактивна потужність може вироблятися не тільки генераторами станцій, але й іншими джерелами реактивної потужності –, що компенсують пристроями (КП). При наявності КП необхідна споживачам реактивна потужність може вироблятися різними джерелами. Регулюючи частку виробітку реактивної потужності різними джерелами, можна змінювати навантаження мережі на ділянці між ними, а отже, і величину втрат напруги на цій ділянці мережі [10].

При наявності джерел реактивної потужності, або, як їх ще називають, втрати напруги можна визначати по рівнянню (2):

$$\Delta U = \frac{PR + (Q + Q_{\text{кв}}) \cdot X}{U_{\text{ном}}} \quad (2)$$

де $Q_{\text{кв}}$ – реактивна потужність, генеруєма або споживана пристроєм, що компенсує, *квар*, Мвар.

З формули видно, що втрати напруги можна звести до величини, обумовленої лише втратами напруги на активному опорі мережі, виробляючи всю реактивну потужність на місці споживання ($Q_{\text{кв}} = Q$), або, навпаки, побільшати, перевірши пристрій, що компенсує у режим споживання реактивної потужності [11].

Синхронний компенсатор — це синхронний двигун, що працює без навантаження на валу. СК не може виробляти активну потужність, а для покриття своїх механічних і електричних втрат він споживає енергію з мережі. При перезбудженні СК генерує реактивну потужність у мережу, а при недозбудженні стає споживачем реактивної потужності. Регулювання напруги за допомогою СК здійснюється плавно.

Синхронний двигун широко використовується в якості електропривода для робочих механізмів. Споживаючи активну потужність, він одночасно може генерувати реактивну потужність (при перезбудженні) або споживати

її (при недозбудженні). СД дозволяє реалізувати плавне, автоматичне регулювання напруги в місцевій мережі.

Батареї конденсаторів застосовують у тих випадках, коли не потрібно її робота в режимі споживання реактивної потужності. Керовані батареї конденсаторів (КБК) являють собою групу послідовно й паралельно з'єднаних конденсаторів для одержання необхідної потужності й для підключення на задану напругу. КБК більш економічні, чому СК. Їх виконують на більші потужності (до 100 і більш $M_{вар}$). Батареї конденсаторів установлюються на великих підстанціях і підключаються як на шини 6...35 кВ, так і на шини високої напруги 110 кВ. Наявність перемикаючого пристрою батарей конденсаторів дає можливість східчастого регулювання напруги на шинах споживачів, тому що дозволяє відключати частина паралельно включених конденсаторів або всю батарею при зниженні навантаження й включати повністю всі конденсатори при її максимумі.

Статичні джерела реактивної потужності (ДРП, СКУ, СТК і ін.) в останні роки одержують усе більше застосування в силу таких їхніх якостей, як відсутність обертових частин, висока швидкодія, плавність регулювання напруги й генеруючої реактивної потужності, незначний вплив на струми кз. і т.п.

Протяжні ЛЕП є потужними нерегульованими джерелами реактивної потужності в системі. Ця потужність в основному змінюється за рахунок компенсації за допомогою *шунтувальних реакторів* (поперечна індуктивна компенсація).

1.4.4 Регулювання напруги зміною параметрів мережі

У незначних межах напруга можна регулювати зміною активного й реактивного опорів живильної мережі. При декількох паралельно працюючих лініях або трансформаторах, показаних на рис 1.7 а, б, у години мінімального навантаження, коли знижуються втрати напруги, можна

відключити одну з ліній або трансформатор, що приведе до збільшення втрат напруги в живильній мережі й, отже, до зниження напруги в споживача.

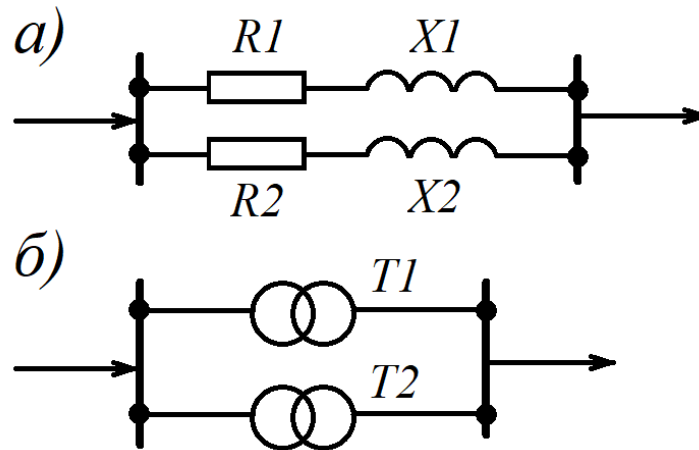


Рис. 1.7- Схеми параметрів мережі: а - схема паралельно працюючих ліній електропередач; б - схема паралельно працюючих трансформаторів.

Таке регулювання, незважаючи на ступінчастість, підвищує економічність передачі, однак його можна використовувати тільки в тому випадку, якщо не знижується надійність електропостачання [12].

1.5 Регулятори напруги в побутових і промислових енергомережах

Електроустаткування спроектоване для роботи із синусоїдальним змінним струмом з певними номінальними значеннями напруги (наприклад, 220 В, 380 В) і частоти (наприклад, 50 Гц).

На практиці стикаються з певними труднощами й проблемами в роботі устаткування, а саме:

- викривлення синусоїдальної форми напруги живлення через гармоніки в мережі, створюваних нелінійним навантаженням (інвертори, приводи, зварювальні апарати, газорозрядні лампи і т.д.);
- коливання напруги мережі стосовно номінального значення.

Такі коливання можуть бути «швидкими» і зникати самотійно протягом тисячних часток секунди (наприклад, при влученні блискавки в

розподільні лінії) і «повільними», час існування яких перебуває в межах від декількох секунд до декількох хвилин або навіть годин залежно від конкретної ситуації. Повільні коливання можуть викликати підвищення напруги (так звані «перегони напруги», які виникають, приміром, при неякісному перетворенні високої напруги на трансформаторній підстанції, відключенні великих навантажень, перенарузі на виході генератора) або зниження, що часто з'являється, напруги (так звані «осідання», викликані, наприклад, підключенням великих навантажень, запуском електродвигунів, живленням від ліній недостатньої потужності, замиканнями на землю, неякісним перетворенням високої напруги).

Нижче наведений зразковий список галузей, де застосовується устаткування, чутливе до коливань напруги:

- державний сектор: телекомунікації, телефонія, лікарні й клініки, державні установи, радіолокаційні установки, воєнна промисловість;
- харчова промисловість: розлив і впакування харчових продуктів, обробка їжі, промислове розведення тварин і рослин;
- приватний сектор і бізнес: котеджі, малі підприємства, лабораторії, фабрики, банки;
- промисловий сектор: лазерне різання, водне різання, виробничі лінії, тютюнова промисловість, машинобудування.

У всіх перерахованих сферах, коливання напруги навіть у межах, припустимих стандартами, можуть приводити до порушень у роботі устаткування. Пристрою, особливо чутливі до перепадів напруги, можуть зазнати несправностям або збоєм, що виходять за рамки припустимих норм. Нижче наведений список типових ситуацій, у яких коливання напруги можуть виходити за межі припустимого діапазону навіть для стандартного устаткування:

- живлення від низьковольтних або малопотужних розподільних ліній у сільській місцевості або від ліній великої довжини (ферми, бази відпочинку, готелю, котеджі);

- приватний сектор, де застосовується устаткування високої потужності (насоси для басейнів, більші холодильні установки, електричні казани) або високочутливі пристрої (побутове електронне устаткування високої потужності);
- безпосередня близькість до великих промислових підприємств, де використовується індивідуальне устаткування великої потужності (високовольтні електродвигуни), запуск яких може викликати сильне зниження напруги в мережі;
- автономне живлення (судна, морські платформи, пристрої, ізольовані від електромережі).

Існують спеціальні заходи для розв'язку всіх описаних проблемних ситуацій. Нижче наведені пристрої, здатні підтримувати стабільну напругу живлення навантаження незалежно від коливань вхідної напруги, що найчастіше є ключовим чинником для забезпечення ефективної й надійної роботи споживача.

1.5.1 Джерела безперебійного живлення

Джерело безперебійного живлення – це пристрій, призначене для забезпечення напругою споживачів у випадку короткочасного відключення основної мережі електропостачання. Додатковим завданням також є захист від перешкод у ланцюгах змінного струму, і втримання характеристик живлячого напруги в потрібних межах.

Безперебійне джерело живлення захищає споживачів електроенергії від відключення за рахунок установки акумуляторних батарей, які й гарантують хоча б на недовгий період часу підтримка напруги мережі в потрібних межах. При цьому найчастіше вони обладнані звуковим механізмом, що також сигналізує світловим і, для того щоб споживач вчасно вжив заходів по запобіганню аварійної ситуації [13].

Джерело безперебійного живлення також допомагає усувати й інші проблеми з електропостачанням, це:

– зниження частоти живлячого напруги. Частота напруги мережі повинна бути 50 Гц, при зміні цього параметра електроприлади будуть працювати не стабільно або ж взагалі вийдуть із ладу.

– зниження живлячого напруги або ж повна його відсутність. Це найпоширеніший варіант погіршення електропостачання.

Системи безперебійного живлення діляться на:

– централізовані, установлені для забезпечення надійності живлення цілого вдома або поверху;

– розподілені, що забезпечують роботу конкретного будинку або електричного пристрою.

По конструкції й за принципом роботи ДБЖ діляться на:

1. Off-line UPS або резервні. Принцип дії такого пристрою спрямована на миттєве перемикавання на резервне автономне джерело живлення при виникненні аварійної ситуації. Вони звичайно постачені вбудованою акумуляторною батареєю й інвертором, саме інвертор перетворить постійна напруги видаване акумулятором у змінне потрібне для роботи електроприладів.

2. Лінійно-інтерактивного типу. Мають у своєму розпорядженні також стабілізатор, який працює в процесі всієї експлуатації й включає вбудовані акумулятори тільки у випадку повної відсутності напруги або його зниження до тих величин, коли стабілізація вже неможлива.

Стабілізатор же, у свою чергу, може бути зібраний на автотрансформаторі або на напівпровідникових приладах. Стабілізація на напівпровідникових приладах відрізняється безшумністю роботи й більшими межами регулювання. Для перемикавання обмоток автотрансформатора застосовуються реле, які при спрацьовуванні видають звук і тому чутні людському слуху [13].

1.5.1.1 Джерело безперебійного живлення 12 Вольтів

Однак безперебійне живлення може бути необхідно й для забезпечення напругою тільки певних систем:

- систем контролю й керування доступом. Тобто електроприводів дверей воріт і т.д., які можуть обмежувати або дозволяти доступ людей на охоронювану територію;
- систем відеоспостереження;
- систем пожежогасіння;
- різних охоронних систем.

Усі ці види поєднує одна особливість, вони призначені для живлення від постійної напруги 12 вольтів. Джерело безперебійного живлення 12В такого характеру, може забезпечувати напругою потрібні системи й пристрої, навіть при тривалому знеструмленні всього об'єкта.

1.5.1.2 Промислове джерело безперебійного живлення

У виробництві й у промисловості використовується для живлення не однофазна, а трифазна мережа, що володіє більшою потужністю й кращим коефіцієнтом корисної дії. Трифазні ланцюги використовуються для живлення більшої частини електродвигунів, установлених у багатьох системах промисловості. Тому в деяких випадках для зменшення браку при проваллі або зміні напруги використовуються трифазний ДБЖ на 380В, приклад пристрою представлено на рис. 1.8. Потужність таких пристроїв значно вище, чим однофазних систем, тому й габарити відповідно теж і починається від 10 кВа.



Рис. 1.8 - Трифазне джерело безперебійного живлення

Трифазні виробничі джерела безперебійного живлення можуть також бути виконані із вхідним трифазним та вихідною однофазною напругою. При цьому габарити такого пристрою й потужність значно менше, і тут на виході відсутній ефект перекосу фаз.

1.5.2 Сучасні стабілізатори напруги

Стабілізатори напруги зарекомендували себе як ефективний розв'язок для запобігання небезпечних ситуацій, викликаних нестабільністю вхідної напруги.

Установка стабілізатора напруги замість джерела безперебійного живлення є оптимальним розв'язком по наступних причинах [14]:

- значно менша вартість при рівних показниках потужності;
- відмітна стабільність вихідної напруги навіть в умовах значних коливань вхідної напруги, з якими не може впоратися ДБЖ;
- відсутність внесених гармонійних викривлень при рівній продуктивності;
- завдяки більш високій перевантажувальній здатності й надійності стабілізатор можна використовувати навіть у несприятливому середовищі (-25°C, 95% вологості);
- здатність працювати з перевантаженням, що вдвічі перевищує номінальний струм (до 2 хвилин);
- завдяки відсутності АКБ стабілізатор не представляє особливих проблем при зберіганні, транспортуванні, обслуговуванні й утилізації;
- здатність плавно й надійно регулювати вихідну напругу, що живить навантаження, з точністю $\pm 0,5\%$ від номінальної напруги навіть в умовах значних коливань вхідної напруги;
- висока продуктивність;
- здатність витримувати високі значення пускового струму.

Стабілізатори напруги розраховані на роботу в побутових і промислових енергомережах. Подібні прилади можуть відрізнятися високою потужністю, тому що з їхньою допомогою здійснюється живлення цілого ряду споживачів. Виробниками випускаються стабілізатори трьох типів:

1. електромеханічні, де контактор переміщається по обмотці трансформатора струму або для перемикання, використовуються механічні реле;
2. електронні, де для перемикання використовуються спеціальні ключі.

Асортименти продукції містить у собі вітчизняні й імпорتنі стабілізатори напруги.

1.5.3 Пристрої плавного пуску

Елемент, що сприяє плавній зміні показників швидкості наростання й граничного значення пускового струму, називається пристроєм плавного пуску. Він може бути механічним, електронним (регулює рівень напруги на обмотках, забезпечуючи поступове збільшення), електромеханічним.

ППП є присутнім у приводах наступних механізмів:

- конвеєри, компресори,
- вентилятори,
- насосні системи,
- устаткування з високим моментом інерції, що регулює частоту

обертання, оснащене ремінною, ланцюговою, механічною передачею.

Сфера його застосування досить велика й постійно розширюється завдяки появі нових видів промислового устаткування, що споживають велику кількість струму й напруги для запуску електродвигунів. Завдяки

цьому доступно безліч різновидів ППП, серед яких можна знайти оптимальний розв'язок для конкретних завдань [32].

Призначення пристрою плавного пуску двигуна

Пристрій плавного пуску використовується там, де присутні високі пускові струми. Воно допомагає досягти двох цілей:

1. Захист системи від різких ривків, здатних привести до підвищеного зношування.

2. Запобігання надмірного росту споживання напруги, яка може спровокувати зниження показника в мережі. Двигун не запуститься, інші системи, що живляться, будуть відчувати проблеми в роботі.

Які функції виконує:

- поступове збільшення швидкості;
- поступова зупинка;
- зниження показників пускового струму. Може перевищувати номінальний показник в 6-8 раз. З ППП він обмежується 300-400 %;
- синхронізація крутного моменту у двигуні з навантаженням. Він дуже швидко може досягти 150-200 % від номінального значення, що приводить до дострокового виходу з ладу механічних елементів конструкції.

Пристрій плавного пуску двигуна дозволяє більш ефективно управляти його запуском, роботою й вимиканням.

Переваги використання:

Застосування ППП сприяє істотному збільшенню терміну служби електродвигуна й інших механізмів. Використання пристрою плавного пуску дозволяє одержати наступні переваги:

- скорочення інтенсивності вироблення ресурсу компонентів клиноремінних передач;
- зменшення пікових навантажень на елемент привода при запуску механізму;

- довгострокове зношування приводної системи помітно вповільнюється;
- доступ до керування пусковим моментом з можливістю установки оптимального показника;
- запобігання перевантажень устаткування й мережі;
- безструмова комутація дозволяє скоротити зношування контактів.

Застосування виробу дозволяє одержати ряд додаткових можливостей:

- відслідковувати обриви фаз;
- регулювати потужнісні характеристики електродвигуна;
- запускати двигуни на менших струмах;
- запобігати втратам у тиристорах, використовуючи механізм як обвідний захист;
- ефективно використовувати електричну гальмівну систему завдяки можливості спільної роботи;
- оптимізувати витрати енергії при регулюванні робочих струмів відповідно до завантаження устаткування.

Більшість, що використовують асинхронний електродвигун систем в обов'язковому порядку оснащуються регульованими й обмежувачими механізмами.

1.6 Системи акумулювання енергії

Системи акумулювання енергії (технології відновлення) використовуються для підтримки безперервності електропостачання навантажень в умовах поганої якості електроенергії. На рис. 1.9 представлена схема технології відновлення, на рис. 1.10 представлена схема принципу дії системи акумулювання енергії.

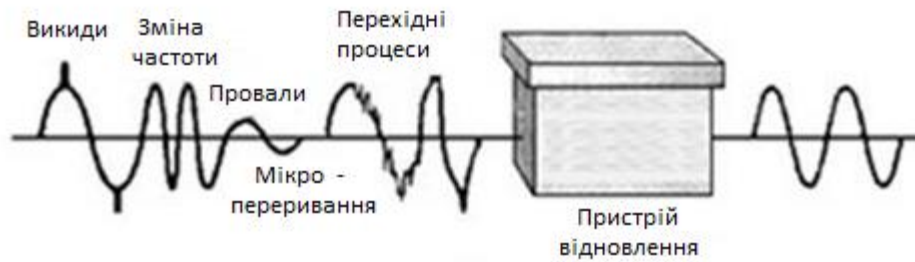


Рис. 1.9 - Принцип технології відновлення

Останні досягнення в областях силової електроніки й технологій акумулювання привели до того, що технології відновлення стали одним із кращих рішень для зменшення проблем якості електроенергії.

Першою технологією акумулювання енергії, використаної в області якості електроенергії й найбільше часто використовуваної в цей час, є застосування електрохімічних батарей. Незважаючи на появу нових технологій, таких як інерційні накопичувачі (маховики), суперконденсатори, надпровідні індуктивні накопичувачі (НІН), які мають багато переваг, електрохімічні батареї як і раніше переважають завдяки їхній низькій вартості й розвиненості технології.

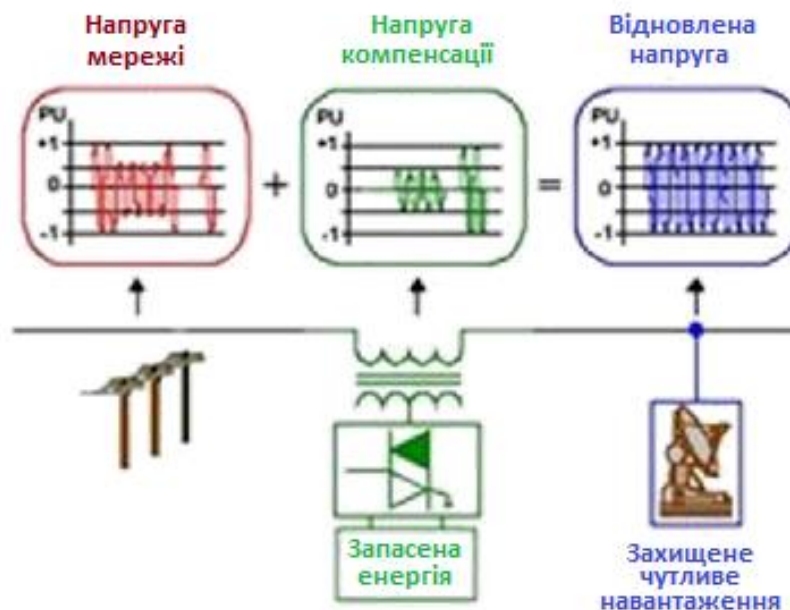


Рис. 1.10- Принцип дії системи компенсації енергії

1.6.1 Маховики

Маховик – цей електромеханічний пристрій, який поєднує в собі обертову електричну машину (двигун/генератор) з обертовим тілом великої маси для короткочасного акумулювання енергії. Двигун/генератор забезпечує обертання ротора пристрою за рахунок енергії мережі. При порушенні живлення кінетична енергія, запасена в роторі, за допомогою генератора перетвориться в електричну енергію постійного струму, і ця енергія видається через перетворювач і систему керування з постійними частотою й напругою. На рис. 1.11 зображена схема маховика й показані основні переваги такої системи.

Традиційні ротори маховика звичайно виготовляються зі сталі й мають обмеження швидкості обертання на рівні декількох тисяч обертів у хвилину. Сучасні маховики, виготовлені із застосуванням вуглецевого волокна й магнітних підшипників, можуть обертатися у вакуумі зі швидкістю 40000 – 60000 про/хв. Величина акумулюємо енергії пропорційна моменту інерції й квадрату швидкості обертання, тому високошвидкісні маховики можуть запасати набагато більше енергії, чому звичайні.



Рис. 1.11 - Маховик

Маховик забезпечує живлення протягом періоду часу між провалами енергії від постачальника й поновленням її подачі або запуском системи резервного живлення (наприклад, дизель-генератора). Час підтримки енергопостачання за допомогою маховика звичайно становить 1 – 100 з, а резервні генератори можуть бути готові до роботи через 5 – 20 с.

1.6.2 Суперконденсатори

Суперконденсатори (або ультраконденсатори) – це джерела енергії постійного струму, представлено на рис 1.12. Вони повинні підключатися до мережі за допомогою статичного пристрою забезпечення якості електроенергії, яка видає енергію на частоті мережі. Суперконденсатор забезпечує живлення під час короткочасних переривань або провалів напруги.

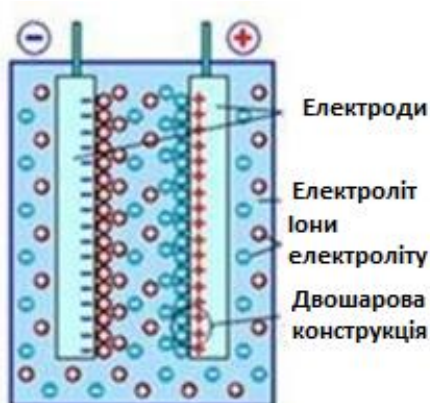


Рис. 1.12 – Двошаровий електричний суперконденсатор.

Суперконденсатори середньої величини (1 Мдж) є комерційно доступними для реалізації безперервності електропостачання малопотужного електронного устаткування. Більші суперконденсатори в цей час перебувають у стадії розробки, але можуть скоро стати реальним компонентом систем акумулювання енергії.

Більша величина ємності досягається за рахунок дуже малої відстані між обкладинками і великої площі поверхні провідника (приміром,

активованого вугілля), яка досягає 1500 – 2000 м²/г. Тому величина енергії, що запасається, у таких конденсаторах може досягати 50 – 60 Дж/г [15].

Недоліки іонисторов:

- висока ціна іонисторов з більшими розрядними струмами, що перешкоджає їхньому широкому застосуванню;
- напруга прямо залежить від ступеня заряду;
- можливість вигорання внутрішніх контактів при короткому замиканні для іонисторов великої ємності й з низьким внутрішнім опором;
- низька робоча напруга в порівнянні з більшістю конденсаторів інших типів;
- значно більший, у порівнянні з акумуляторами, саморозряд – порядку 1 мкА в іонистора 2 Ф × 2,5 В;
- суттєво менша швидкість віддачі заряду в порівнянні зі звичайними конденсаторами.

Переваги іонисторов:

- більші максимальні струми зарядки й розрядки;
 - мала деградація навіть після сотень тисяч циклів заряду/розряду.
- Проводилися дослідження з визначення максимального числа циклів заряд-розряд. Після 100 000 циклів не спостерігалось погіршення характеристик;
- високий внутрішній опір у більшості іонисторов(перешкоджає швидкому саморозряду, а також перегріву й руйнуванню);
 - іонистор має тривалий термін служби (при 0.6 U_{ном.} Близько 40000 годин з незначним зниженням ємності);
 - низька токсичність матеріалів (крім органічних електролітів);
 - неполярність (однак на іонисторах і зазначені «+» і «-»), це робиться для позначення полярності залишкової напруги після його зарядки на заводі-виготовлювачі);
 - мала залежність від навколишньої температури: можуть працювати як на морозі, так і на жарі;
 - більша механічна міцність: виносять багаторазові перевантаження.

1.6.3 Надпровідний індуктивний накопичувач (НІН)

При циркуляції постійного струму в замкненій котушці з надпровідного провідника створюється магнітне поле. Струм, що протікає через котушку, може перериватися за допомогою безконтактного комутатора. Завдяки високій індуктивності котушки при розмиканні ключа вона стає джерелом струму й може жити перетворювач, який буде виробляти напругу з певним рівнем. При відповідній модуляції безконтактного комутатора на перетворювачі буде підтримуватися напруга в межах заданого діапазону, яке потім буде перетворено з постійного в змінне.

Системи НІН мають високу потужність, вони звичайно використовуються протягом короткого часу, наприклад, при перемиканні джерел енергопостачання.

1.8 Висновки

Наявність електроенергії з високою якістю має вирішальне значення для життєдіяльності сучасного суспільства. Для деяких секторів якість електроенергії, яку забезпечують постачальники, є задовільним, деякі інші пред'являють більш високі вимоги.

Щоб уникнути великих втрат, пов'язаних з якістю електроенергії, найбільш вимогливі споживачі повинні вживати певних заходів захисту. Важливу роль відіграє вибір менш чутливого устаткування. Якщо навіть саме стійке устаткування зазнає впливу, повинні бути прийняті інші заходи для захисту від проблем якості електроенергії, такі як використання технологій відновлення, розподіленої генерації або пристроїв сполучення, сучасних засобів регулювання напруги [20, 21].

У даний момент існує велика кількість приладів для регулювання напруги в мережі, однак у більшості є ряд недоліків.

Високошвидкісні маховики перебувають приблизно в одному ціновому діапазоні зі НІН і суперконденсаторами й приблизно в 5 раз

дорожче низькошвидкісних маховиків через більш складну конструкцію й обмеженої номінальної потужності. Електрохімічні батареї мають більш пророблені технології й просту конструкцію. При часі зберігання менш 25 з низькошвидкісний маховик може бути більш ефективним у порівнянні з батареєю. Режим роботи АКБ при стрибкоподібному зміні струму зарядки/розрядки, викликаний періодичними коливань генеруємої потужності, є не оптимальним і веде до значного зменшення терміну служби АКБ. Також варто відзначити обмежену кількість циклів зарядки/розрядки АКБ і необхідність завищення ємності АКБ для можливості роботи механізмів з тривалими режимами пуску [19].

У зв'язку із цим виникає необхідність використання нового пристрою, який максимально б виключав недоліки існуючих приладів. Прикладом такого приладу може бути гібридний накопичувач електричної енергії. Гібридний накопичувач енергії конструюється у вигляді єдиного пристрою, абсолютною електричною сумісністю складених електронних вузлів, і високим ступенем надійності.

Гібридний накопичувач енергії звичайно застосовується:

- ✓ у якості накопичувача енергії, джерела безперебійного живлення в складі системи аварійного енергопостачання при нетривалих перебоях в енергопостачанні;
- ✓ у складі системи аварійного енергопостачання, що працює – при тривалій відсутності сіткової напруги – від автономних джерел енергопостачання – бензо- дизель- газогенераторів;
- ✓ у складі альтернативної системи енергопостачання – сонячної або вітряної (комбінованої), при відсутності централізованого енергопостачання;
- ✓ у комбінованій системі електропостачання, яка живиться від централізованої електромережі, що й використовує альтернативні джерела енергії для акумуляції електроенергії, видачі її в навантаження при перебоях у лінійній електромережі; а також для видачі надлишку електроенергії, отриманої від альтернативних джерел у лінійну мережу.

Розділ 2

АНАЛІЗ ГІБРИДНИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ

2.1 Гібридні накопичувачі електроенергії

У цей час створення й розвиток технології енергоаккумуляції є важливим напрямком роботи. Наявність в електроенергетичній системі енергоємних і потужних накопичувачів як проміжного пристрою між генерацією енергії й споживачем дозволило б звільнитися від жорсткої відповідності генерації енергії і її споживання.

Базовою технологією накопичувачів енергії є гібридні системи нагромадження енергії на базі довгочасних накопичувальних систем – акумуляторів і короткочасних накопичувальних систем – батарей суперконденсаторів, що дозволяють підвищити керованість, надійність і економічність функціонування ЕС, у тому числі при наявності в її складі децентралізованих і нетрадиційних джерел електроенергії[27].

Гібридні накопичувачі енергії призначені для виконання наступних функцій:

- вирівнювання графіків навантаження в мережі (нагромадження електричної енергії в періоди надлишкової електроенергії й видача в мережу в періоди дефіциту);
- забезпечення в комбінації із сучасними пристроями силової електроніки підвищення меж статичної й динамічної стійкості;
- демпфірування коливань активної й реактивної потужності, зняття або істотне скорочення нерегулярних коливань у міжсистемних лініях електропередачі, підвищення внаслідок цього пропускної здатності ліній електропередачі;
- забезпечення безперебійного живлення як властиво підстанцій і електричних мереж (власні потреби), так і особливо відповідальних споживачів;
- забезпечення стабільної й стійкої роботи децентралізованих і нетрадиційних джерел, що працюють як автономно, так і в складі ЕС.

Гібридні накопичувачі енергії в ЕС можуть використовуватися при розв'язку наступних завдань [28]:

- 1) Покриття пікових навантажень/згладжування графіків навантаження при встановленій потужності ГНЕ 1,5 МВт, 5 МВт, 20 МВт, 50 МВт і для тривалості роботи (3...5) годин у добу, що дозволяє одержати наступні переваги:
 - зниження навантаження на електромережеве устаткування шляхом нагромадження енергії замість витрат по модернізації мережної інфраструктури;
 - вивільнення потужності генеруючого устаткування в регіонах з нестачею енергії;
 - збільшення надійності системи шляхом усунення стану перевантаження;
- зниження операційних і експлуатаційних витрат,
- 2) Використання систем ГНЕ на підстанціях мережної інфраструктури з метою підвищення якості електроенергії й надійності енергосистеми, при встановленій потужності ГНЕ (відповідної до потужності підстанції мережної інфраструктури) 5 МВА, 20 МВА, 50 МВА й для тривалості роботи до 2 годин на добу, що дозволяє одержати наступні переваги [29]:
 - поліпшення якості енергії для ключових кінцевих користувачів;
 - скорочення кількості відключень і поліпшення експлуатаційної надійності;
 - скорочення операційних і експлуатаційних витрат;
 - збільшення пропускної здатності устаткування й ліній електропередач.
- 3) Регулювання частоти в енергосистемі/ послуги із заміщення обертового резерву підтримка диспетчерського графіка навантаження при установленій потужності ГНЕ (20...40) МВт і для тривалості роботи від 1 хвилини (регулювання частоти) до 1 години (послуги з підтримки

диспетчерського графіка) і до 2-х годин (послуги із заміщення обертового резерву), що дозволяє одержати наступні переваги:

- вивільнення потужності генеруючого устаткування в регіонах з нестачею енергії;
 - підвищення якості енергії шляхом забезпечення оперативного резерву потужності зі швидким відгуком і регулюванням частоти;
 - зниження витрат на регулювання системи шляхом скорочення обсягу використовуваного палива;
- зменшення викидів від традиційних генеруючих джерел;
- зниження зношування генеруючого устаткування.

4) Використання як резервне джерело електропостачання для особливо важливих споживачів і підтримка при перебоях в електропостачанні при встановленій потужності ГНЕ 1 Мвт і для тривалості роботи (3...12) годин у добу, що дозволяє одержати наступні переваги:

- збільшення надійності енергопостачання при відключеннях;
- збільшення швидкості реакції на відключення й скорочення тривалості відключення;
- зниження впливу на навколишнє середовище в чутливих областях, включаючи зниження викидів і рівня шуму;
- розміщення аварійного резерву в місцях, де неприпустиме зберігання палива для традиційних джерел резервного електропостачання.

5) Накопичення електроенергії в період її низької вартості/ видача електроенергії в період високої вартості при встановленій потужності ГНЕ 1,5 Мвт, 5 Мвт, 20 Мвт, 50 Мвт і для тривалості роботи (6...12) годин у добу, що дозволяє одержати наступні переваги:

- збільшення прибутки генеруючих компаній;
- зниження витрат на мережну й розподільну інфраструктуру;
- зниження вартості електрики для кінцевого користувача;
- вивільнення генераційних, трансмісійних і розподільних ресурсів.

б) Інтеграція з генеруючим устаткуванням ВДЕ (вітровий і сонячної) при встановленій потужності ГНЕ (відповідної до потужності устаткування ВДЕ) 100 кВт, 500 кВт, 1 Мвт, 5 Мвт і для тривалості роботи (2...6) годин у добу, що дозволяє одержати наступні переваги:

- поліпшення стабільності мережі і якості вироблюваної електроенергії;
- забезпечення резервної потужності систем ВДЕ;
- можливість виводу систем ГНЕ на ринок електроенергії й потужності;
 - відстрочка капіталовкладень на будівлю нових / відновлення існуючих ЛЕП;
 - поліпшення інтеграції ВДЕ в системи передачі й розподілу електричної енергії.

7) Застосування систем ГНЕ кінцевими споживачами при встановленій потужності ГНЕ (відповідної до обсягів споживання) 500 кВт, 1,5 Мвт, 5 Мвт, 20 Мвт і для тривалості роботи (1...12) годин у добу, що дозволяє одержати наступні переваги:

- забезпечення аварійного резерву електричної енергії;
- підвищення якості електроенергії;
- зниження витрат на споживану електричну потужність;
- зниження витрат на обслуговування мережі;
 - зниження середніх витрат на електроенергію за допомогою її придбання в періоди низьких тарифів.

2.2 Принцип роботи гібридного накопичувача енергії

Гібридний накопичувач енергії являє собою електротехнічний комплекс, що полягає з підсистем накопичення, узгодження, споживання, генерування електричної енергії й інформаційних зв'язків між підсистемами. Підсистема накопичення складається з довгочасного

накопичувача енергії (наприклад батарея акумуляторів), і короткочасного накопичувача енергії (наприклад батарея суперконденсаторів) [30].

Кожний накопичувач енергії містить також системи захистів, контролю й моніторингу параметрів батарей.

Підсистема узгодження з мережею призначена для перетворення постійного струму накопичувачів енергії в змінний. Діапазон зміни напруги постійного струму обумовлений мінімальною розрядною й максимальною зарядною напругою, напруга й частота змінного струму підтримуються постійними з можливим варіюванням цих параметрів у заданих межах. У якості приймача електричної енергії (навантаження) виступає споживач, що має, загалом, досить великий розкид електричних параметрів у часі, як миттєвих (струми, напруги) так і інтегральних (потужність, спектр), обумовлених природою споживання, що й мають випадковий характер.

Генератором служить мережа як нескінченної потужності (централізоване енергопостачання) так і мережа з кінцевою потужністю, наприклад, локальні генеруючі установки на основі дизель - генераторів, газових турбін з порядком потужності, порівнянної із пристроями узгодження.

Для забезпечення взаємодії всіх основних підсистем гібридного накопичувача енергії використовуються локальні керуючі контролери й контролер верхнього рівня. Локальні контролери вбудовані у відповідні елементи системи накопичення: контролер пристрою узгодження забезпечує задані режими роботи, пов'язані з компенсаційними механізмами, стабілізацією параметрів споживаної електричної енергії, забезпеченням надійності постачання; контролер споживача забезпечує його захист від перевищення номінальних діапазонів, робить виміри електричних параметрів, їх облік і архівування; контролер мережі, генератора забезпечує схожі функції як і для контролера навантаження; контролер накопичувача служить для його керування, забезпечення

захисних функцій його елементів, контролю параметрів с їхнім аналізом і збереженням[30].

Загальне керування гібридним накопичувачем енергії бере на себе логічний контролер верхнього рівня, який надає формальний механізм (протокол) для забезпечення взаємодії між основними елементами накопичувача. Фізично ж він виконується або у вигляді закінченого модуля або окремих конструктивних одиниць, що більш переважно при реалізації багаторівневої системи контролю моніторингу й керування з урахуванням істотного збільшення електромагнітних імпульсних перешкод, вимог до додаткових захистів, відмовостійкість й кліматичним умовам.

Пристрій узгодження з мережею являє собою автономний трифазний інвертор напруги з вихідним реактором ємністю, що згладжує, погодить трансформатором і фільтром електромагнітної сумісності. Власний коефіцієнт гармонік вихідного струму не повинен перевищувати 3% при роботі на номінальне навантаження або мережу без викривлень.

Навантаження (споживач) підключається до первинної обмотки трансформатора безпосередньо, без комутаційних елементів для забезпечення режиму автономної роботи від напруги, формованим інвертором. Між первинною обмоткою трансформатора й мережею є контактор перемикання між режимом автономної роботи й режимом роботи на мережу.

2.3 Аналіз різних видів накопичувачів електроенергії

Для визначення ефективності використання гібридного накопичувача електроенергії, у роботі був проведений аналіз різних НЕЕ по 6-ти основних параметрах: час зарядки, час розрядки, питома енергія, питома потужність, кількість циклів зарядки/розрядки й ефективність зарядки/розрядки. Результати даного аналізу наведено в таблиці 2.

З отриманих даних можна зробити вивід про те, що по 6-ти основних параметрах суперконденсатори займають проміжне положення між хімічними джерелами електричної енергії й звичайними конденсаторами.

Таблиця 2 Порівняльна таблиця накопичувачів електроенергії

Параметр	Акумуляторні батареї	Суперконденсатори	Конденсатори
Час зарядки	1 – 5 год	0.3 – 30 с	$10^{-3} – 10^{-6}$ с
Час розрядки	0.3 – 3 год	0.3 – 30 с	$10^{-3} – 10^{-6}$ с
Питома енергія, (Вт год/кг)	10 – 100	1 – 10	<0.1
Кіл-У циклів	1000	>500000	>500000
Питома потужність, (Вт/кг)	<1000	<10000	<100000
Ефективність зарядки/розрядки	0.7 – 0.85	0.85 – 0.98	>0.95

З отриманих даних можна зробити висновок про те, що по 6 основних параметрах суперконденсатори займають проміжне положення між хімічними джерелами електричної енергії й звичайними конденсаторами. Більш наочно це видно з порівняльної характеристики НЕЕ в координатах «питома енергія E (кДж/кг або Вт·час/кг; при цьому $3,6$ кДж/кг = 1 Вт·час/кг) — питома потужність P (кВт/кг)». На рис. 2.1 зображені такі характеристики і області перспективного розвитку деяких типів акумуляторів, іоністорів і конденсаторів з оксидними діелектриками в логарифмічному масштабі [19,24].

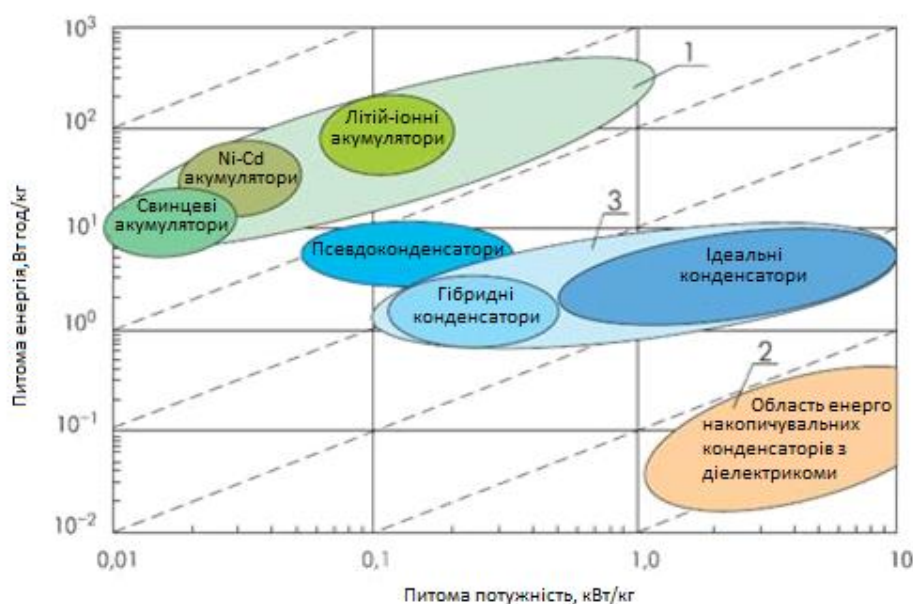


Рис. 2.1 – Порівняльні характеристики електрохімічних накопичувачів електричної енергії: 1 – область перспективного розвитку хімічних джерел струму, що перезаряджаються (аккумуляторів); 2 – область перспективного розвитку енергонакопичуючих конденсаторів з діелектриками; 3 – область перспективного розвитку конденсаторів з подвійним електричним шаром

2.4 Застосування гібридних накопичувачів електроенергії

Застосування в електричних мережах гібридних накопичувачів енергії великої енергоемності є перспективною технологією, яка може знайти широке застосування в електроенергетичних системах і електричних мережах України, забезпечуючи підвищення енергоефективності, надійності, стійкості й економічності.

Застосування накопичувачів енергії на об'єктах промисловості дозволяє забезпечити:

- запуск електростанції «з нуля» після її раптового виходу з роботи через аварію в мережі (зупинка турбін);

– зняти перевантаження розподільної мережі при проходженні максимумів навантаження (особливо екстраординарних: різке похолодання, в режимах високого ризику порушення електропостачання через природні факторів або аварійний стан мережі й т.п.).

Застосування накопичувачів енергії на об'єктах залізної дороги у системі тягового електропостачання дозволить [25]:

- ✓ вирівняти графік навантаження;
- ✓ зменшити встановлену потужність понижувальних і перетворювальних трансформаторів тягових підстанцій;
- ✓ поліпшити використання встановленої потужності підстанцій і перетину проводів тягової мережі при збільшенні розмірів і ваги поїздів;
- ✓ забезпечити умови для рекуперації енергії;
- ✓ зменшити витрата енергії на тягу, за рахунок використання надлишкової енергії рекуперації на тягу поїздів;
- ✓ знизити втрати електроенергії в тяговій мережі;
- ✓ побільшати термін служби проводів контактної мережі й вентилів напівпровідникових агрегатів;
- ✓ поліпшити якість напруги на струмоприймачах електрорухомого складу.

Необхідна енергоємність накопичувачів енергії на магістральних вантажонапружених ділянках залізниці близько 2000 Мвт·ч. При цьому досягається 25% економія електроенергії на тягу, зменшуються втрати електроенергії в тяговій мережі на 30-40%.

Застосування накопичувачів енергії в енергосистемах, що містять поновлювані джерела енергії (на вітрових електростанції (ВЕС) і на приливних електростанціях (ПЕС)) дозволяє:

- вирівнювати змінні графіки роботи;
- знизити коливання потужності;
- забезпечити необхідна якість електроенергії;

- забезпечити безперебійне електропостачання споживачів.

Вивчення застосування в електричних мережах гібридних накопичувачів є перспективним завданням, яке може визначити частку застосування в електроенергетичних системах і електричних мережах Росії, для забезпечення підвищення енергоефективності, надійності, стійкості й економічності.

Можна припустити, що гібридна комбінація акумуляторів і суперконденсаторів в одному накопичувачі може дати істотний ефект. Так, суперконденсатор без підключення акумулятора компенсує збурювання тривалістю до декількох перших хвилин. При більш тривалих збурюваннях (хвилини, годинник) у дію включається акумуляторна частина накопичувача. А наявність у складі накопичувача суперконденсаторної частини (при паралельному з акумулятором включенні) дозволяє згладжувати фронти імпульсів струму й напруги, забезпечуючи тим самим зниження миттєвої потужності, що віддається або одержуваною акумуляторною частиною накопичувача [30].

2.5 Аналіз можливості використання гібридних накопичувачів енергії для забезпечення якості напруги в системах електропостачання

Накопичувачі енергії є базовими структурними елементами автономних систем електропостачання (АСЕ). Накопичувачі енергії здатні ефективно накопичувати надлишкову електроенергію під час менших навантажень (уночі) і віддавати її під час підвищення навантаження (днем), задовольняючи вимоги по надійності і якості електропостачання конкретних споживачів. В установках, що мають підключення до мережі, наявність НЕ й пов'язаних з ними перетворювачів дозволяє зберегти електропостачання споживачів при відключеннях мережі [32].

У цей час в автономних системах електропостачання як накопичувачів енергії широко застосовуються свинцево-кислотні, натрій-сірчані, літій-

іонні й никель-кадмієві акумуляторні батареї (АКБ), вартість яких може становити до половини вартості всього устаткування, а строк їх служби прямо залежить від кількості й характеру циклів «заряд – розряд» у процесі експлуатації. Серед накопичувачів енергії, що пропонуються сьогодні для використання, особливий інтерес представляють електрохімічні конденсатори (ЕК) або іонистори (суперконденсатори). Відмінними рисами ЕК є їхня здатність швидко заряджатися необмежена кількість раз і розряджатися за час від декількох мілісекунд до десятків хвилин, віддаючи високі потужності в навантаження. Недоліками й обмежувальними факторами застосування ЕК є відносно низька щільність енергії й високий саморозряд. Однак іонистори мають більшу вихідну потужність, що дозволяє використовувати їх разом з АКБ, поєднуючи їх переваги і компенсуючи недоліки. Перспективним представляється застосування іонисторів у системах електроенергетики, для стабілізації напруги й згладжування пікових навантажень.

Використання гібридних накопичувачів електроенергії також дозволить комерційним організаціям і промисловим підприємствам зменшити витрати на електроенергію за рахунок заряду вночі по недорогому тарифу й витраті накопиченої енергії вдень, коли тариф вище.

На рис. 2.2 представлений графік навантаження із вказівкою базисних, проміжних і пікових навантажень.

У момент проміжних навантажень включається в роботу акумуляторна частина гібридного накопичувача електроенергії, яка здатна в плинні тривалого часу (1...5ч) покривати навантаження споживача, у момент пікових навантажень починає працювати суперконденсаторна частина й компенсує збурювання тривалістю до декількох перших хвилин, видаючи більшу потужність за короткий час, тим самим компенсуючи пікові навантаження й забезпечуючи якість напруга в системах електропостачання.

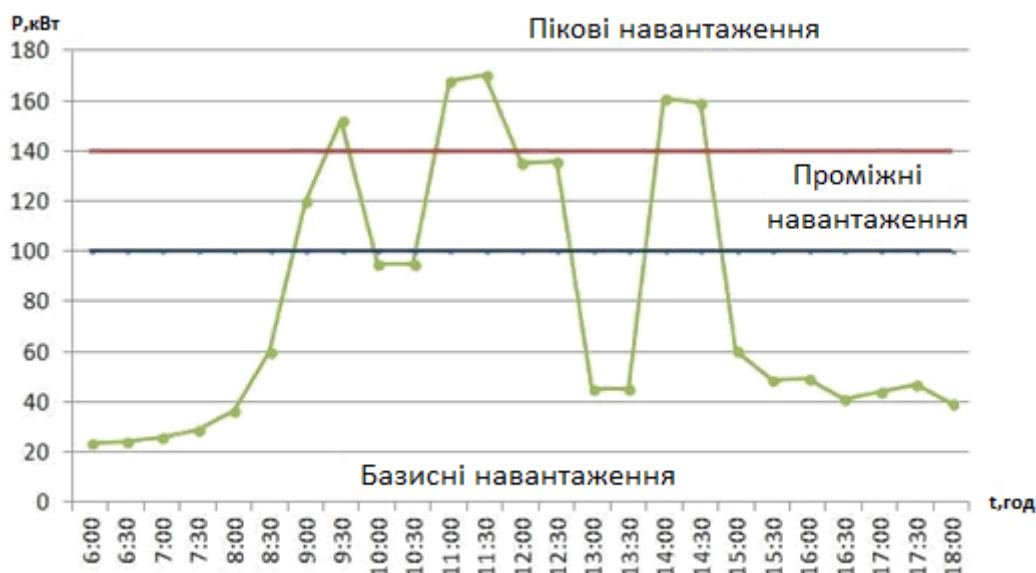


Рис. 2.2 – Графік навантаження із вказівкою базисних, проміжних і пікових навантажень

2.6 Перспективи використання накопичувачів електроенергії

У цей момент для покриття пікових навантажень в енергосистемі використовуються, в основному, ГЕС і маневрені ТЕС. Однак будівництво ГЕС можливе не скрізь, а використання ТЕС у піковому режимі суттєво знижує ефективність використання палива. Перераховані вище проблеми приводять до встановлення суттєво більшої вартості електроенергії в годинник пікового навантаження в енергосистемі й у підсумку – до більш високої середньодобової ціни на електроенергію для кінцевого споживача. Так, вартість електроенергії в піковий годинник у різних країнах світу може перевищувати вартість електроенергії в годинник базового навантаження більш ніж в 7 раз.

Можливість рознести в часі виробництво й споживання електроенергії шляхом її накопичення в більших масштабах – один з найбільш ефективних шляхів вирішення проблеми покриття піків споживання.

Найпоширеніший систем накопичення електроенергії на теперішній момент бу електростанції, що гідроакумулюють (ГАЕС) [15] Їхня дія

заснована на циклічному переміщенні того самого обсягу води між двома басейнами (б'єфами), рознесеними по висоті. Однак можливості по застосуванню ГАЕС обмежені географічними аспектами: необхідні басейни великої ємності, рознесені по висоті на 50-100 метрів, що не часто зустрічається.

В останні роки для цілей накопичення більших обсягів енергії стали застосовуватися нові технології: електрохімічні акумулятори, інерційні акумулятори (маховики), акумулятори, засновані на принципі стиски повітря й інші, гібридні накопичувачі енергії [34]. Однак частка нових технологій у загальній установленій потужності накопичувальних систем у світі поки невелика (близько 1,5% від загальної встановленої потужності), варто очікувати росту ринку «нових накопичувачів» з поліпшенням і здешевленням технологій (Рис. 19).

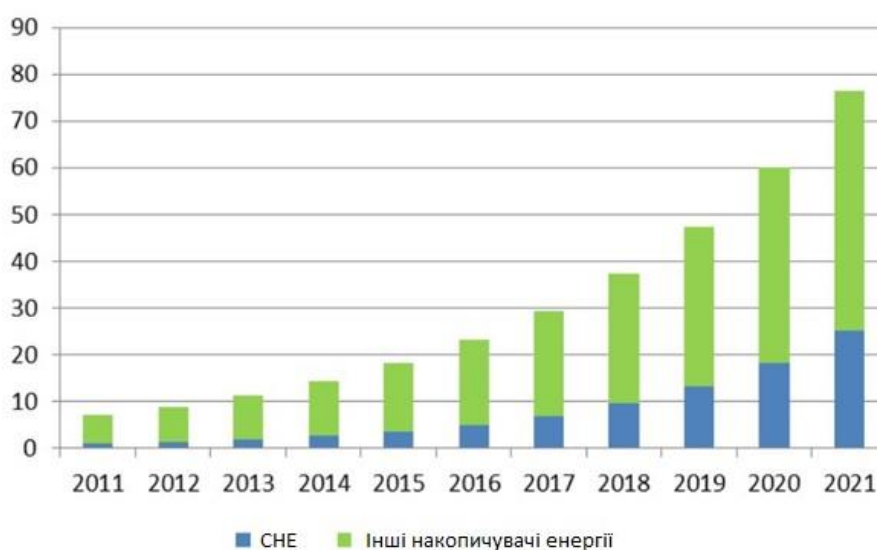


Рис. 19 – Прогноз росту ринку накопичувачів енергії, млрд. у.о

Уже зараз можна виділити ряд тенденцій, які, імовірно, вплинуть на розвиток застосування накопичувачів енергії:

– Тенденції по збільшенню ефективності використання енергоресурсів і розвитку інтелектуальних мереж (*Smart Grids*). Застосування накопичувачів дозволяє заощаджувати як первинні

енергоресурси, згладжуючи профіль завантаження генеруючих потужностей, так і ресурс електромережевого устаткування, знижуючи пікове навантаження на підстанції;

– Розвиток ВДЕ (сонячних і вітрових електростанцій). У випадку великої частки ВДЕ в енергосистемі (більш 10%), відмінності добових графіків виробітку електроенергії джерелами, що використовують ВДЕ, і її споживання зажадають додаткового узгодження, яке може бути реалізоване за рахунок систем накопичення енергії;

– Жорсткість екологічних норм (вимог) при будівництві будинків щодо аварійних джерел електроенергії (не завжди є можливість використовувати дизельні генератори).

Можливість накопичення електроенергії в більших масштабах в електроенергетичній галузі дозволяє вирішувати не тільки проблеми покриття піків (рис. 20).

Крім іншого, застосування систем нагромадження електроенергії приваблює з екологічної точки зору. Так, використання накопичувачів для згладжування пікових навантажень зменшує сумарні викиди шкідливих речовин в атмосферу за рахунок зниження витрати палива, а використання накопичувачів як аварійних джерел живлення дозволяє відмовитися від дизельних генераторів (зменшити шум і скоротити викиди в атмосферу продуктів згорання). Росту ринку накопичувачів істотний вплив виявляє розширення використання нових технологій, що розкривають переваги накопичувачів (smart grids і ВДЕ), і ріст цін на паливо. Однак поки основним двигуном ринку накопичувачів є державна підтримка.

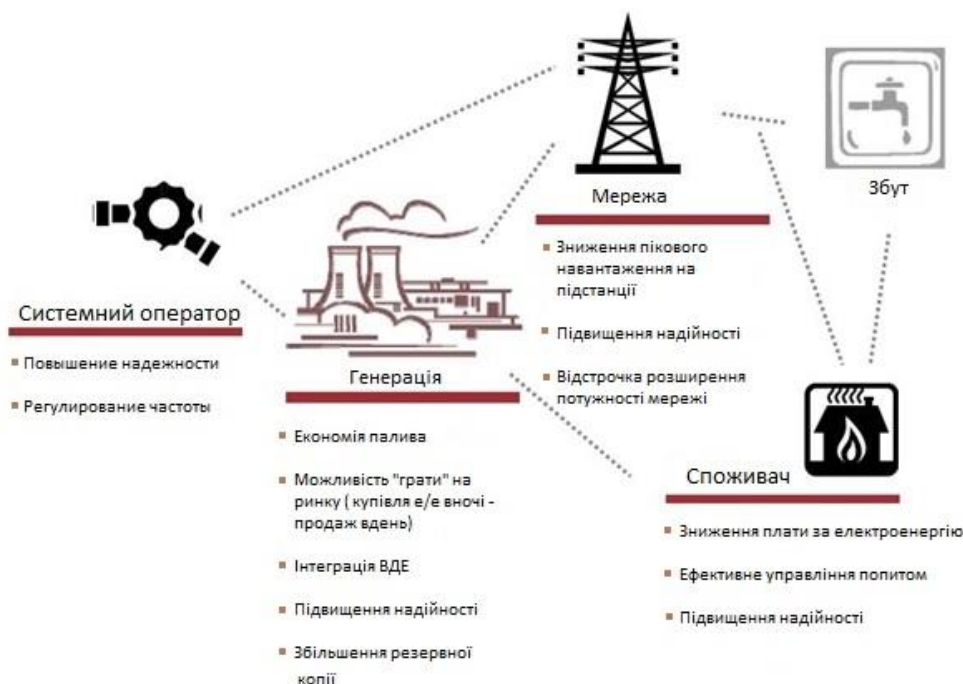


Рис. 20 – Можливість застосування накопичувачів енергії у великій енергетиці

Висновок

На теперішній момент найбільше економічно виправданими напрямками застосування систем нагромадження енергії в Україні є:

1. Нагромадження електроенергії в технологічно ізольованих енергосистемах, у тому числі гібридне з використанням ВДЕ, з метою зниження витрати палива;
2. Використання пересувних систем нагромадження електроенергії для мережних компаній, що дозволяє відстрочити інвестиції в мережні активи на певний період;
3. Використання накопичувачів енергії як резервних джерел електроенергії для об'єктів, що пред'являють підвищені вимоги до надійності поставки електроенергії. До основних факторам, що стримують розвиток накопичувальних систем в Україні, ставляться:
4. Висока вартість накопичувачів. Використання накопичувачів забезпечує економію первинних енергоресурсів. Газ, вугілля, інші види палива й сама електроенергії. В Україні з року в рік електрична енергія дорожчає.

5. Нормативно-правова невизначеність використання накопичувачів енергії в енергосистемі. Взаємини на оптовому ринку електроенергії й потужності (ОРЕП) вибудовуються щодо потужності генеруючих об'єктів, накопичувачі такими не є. Тому, як видно, при поточному законодавстві постачальник ОРЕП, що використовує накопичувач енергії, повинен мати генеруючу потужність, що заміщає його (накопичувач).

Таким чином, для масштабного розвитку застосування накопичувачів енергії в енергетику України, крім здешевлення самих накопичувачів, необхідне внесення коректувань у діючі нормативно-правові акти.

Розділ 3

ВИКОРИСТАННЯ ГІБРИДНИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ НАПРУГИ

3.1 Аналіз навантаження енергосистеми

Специфіка роботи енергогенеруючого устаткування, а саме, безперервність виробництва електроенергії й необхідність підтримки протягом усього періоду експлуатації устаткування рівності між виробництвом генерованої потужності і її споживанням з урахуванням втрат енергії в мережах при транспортуванні до споживача, визначає нерівномірний режим його роботи.

Сучасні графіки добового навантаження енергосистем відрізняються досить великою нерівномірністю, типовий графік представлено на рис. 3.1. У цей час зберігається тенденція росту нерівномірності графіків навантаження. Причини цього полягають, по-перше, у зміні структури енергоспоживання, викликану збільшенням частки комунально-побутового, транспортного й сільськогосподарського споживання, що відрізняється значною нерівномірністю, а по-друге, у зміні умов роботи промисловості, зниженні змінності в багатьох галузях.



Рис. 3.1 – Типова динаміка споживання потужності

Навантаження енергосистеми протягом доби змінюється залежно від навантаження підключених у цей момент споживачів. Включення й відключення тих або інших споживачів іде за природним добовим циклом і

за ритмом життя суспільства. Виникає досить складне завдання вигідного розподілу навантаження між електростанціями різного типу з обліком їх маневреності.

Відомі спосіб згладжування піків добових навантажень у великих енергосистем, що полягає у підключенні до енергосистеми у години максимального навантаження (наприклад, у ранкові й вечірні години) додаткову генеруючу потужність на гідроелектростанціях, включення у роботу гідроакумуляуючих, газотурбінних електростанцій, перекидання надлишкової електроенергії з регіонів з іншими часовими поясами, встановленні зміщених графіків роботи деяких підприємств і залізничного транспорту, за кільцювання генеруючих потужностей і потребу керувати ними з єдиного диспетчерського пункту.

Крім впливу пікових навантажень на великі енергосистеми, вони також прямо впливають на напругу в системах електропостачання комерційних організацій, промислових підприємств. На прикладі підприємства КП «Дніпровський електротранспорт», розглянемо можливість вирівнювання графіків навантаження для забезпечення якості напруги за рахунок застосування гібридного накопичувача електроенергії.

3.2 Характеристика підприємства КП «Дніпровський електротранспорт»

Для дослідження можливості використання гібридних накопичувачів електроенергії, розглянемо підприємство На сьогоднішній день у КП «Дніпровський електротранспорт» парк пасажирського рухливого складу нараховує 259 трамваїв, з них 250 – на ходу й 161 тролейбус, з них на ходу - 154 одиниць рухомого складу, 15 тягових підстанцій. Довжина контактної мережі для трамвая становить 125 км, для тролейбуса 67 км. Довжина кабельної мережі становить:

– високовольтні кабельні лінії 6-10кВ – 69км;

– кабелі до 1000В позитивної й негативної полярності –127,7км.

У роботі буде розглянута можливість використання гібридних накопичувачів електроенергії для забезпечення якості напруги в системі електропостачання трамвайного депо №3. На території депо перебуває наступне устаткування, що обслуговується:

- ✓ верстатне устаткування - 86 одиниць;
- ✓ вентиляційні пристрої - 46 одиниць;
- ✓ домкрати (консольні, канавні) - 36 одиниць;
- ✓ ГПМ (до/балки, до/укосини, тельфери) - 22 одиниці;
- ✓ розподільні пункти, щити освітлення - 77 одиниць;
- ✓ інше устаткування (зварювальні трансформатори, зарядні пристрої стенди іспитові, насоси і т.д.) – 36 одиниць.

Для визначення складових гібридного накопичувача були досліджені активні навантаження ремонтного цеху трамвайного депо.

На рис. 3.2 представлений добовий графік активних навантажень ремонтного цеху трамвайного депо, побудований за допомогою ватметра, під час обстеження електричних навантажень підприємства.

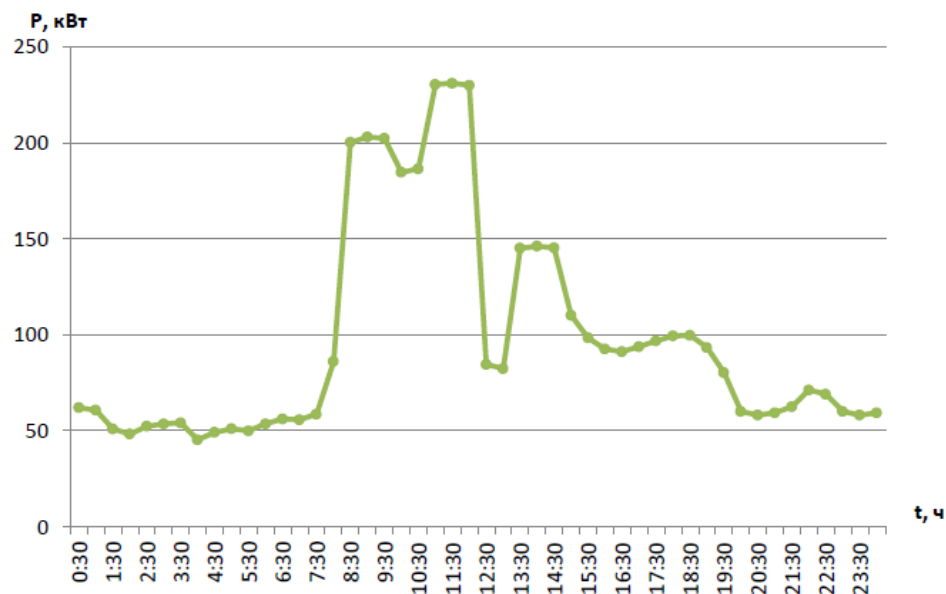


Рис. 3.2 - Добовий графік навантаження ремонтного цеху трамвайного депо

Навантаження ремонтного цеху протягом доби змінюється залежно від навантаження підключеного в цей момент устаткування. Включення й відключення того або іншого устаткування визначаються технологічним процесом.

Із графіка на рис. 3.2 видно, як протягом доби змінюється навантаження в цеху. З добового графіка видно, що найбільш завантаженим періодом є час із 8 до 19 годин, менш завантаженим з 20 до 7 годин. У добовому графіку спостерігаються кілька пікових навантажень тривалістю близько 1 години: з 10-30 до 11-30 годин і з 13-30 до 14-30, відбувається сумарне збільшення навантаження приблизно на 100 кВт. Крім силового навантаження технологічного устаткування, є присутнім освітлювальне навантаження.

3.3 Вибір складових модулів гібридного накопичувача електроенергії

Гібридний накопичувач енергії складається із трьох модулів, на рис. 3.3, 3.4 представлені спрощена схема й блок-схема накопичувача:

- батареї літій-іонних акумуляторів;
- батареї суперконденсаторів;
- пристроїв узгодження з мережею.

Модуль нагромадження складається з акумуляторного накопичувача енергії й суперконденсаторну частину накопичувача енергії. Також необхідні додаткові перетворюючі пристрої, що й погодять, силової електроніки функції, що реалізують, заряду/розряду, контролю й керування. У системах, що мають підключення до мережі, гібридний накопичувач повинен бути доповнений пристроями узгодження з мережею.

Перший модуль - батарея літій-іонних акумуляторів (у даній роботі розглядалася батарея на основі потужнострумівих літій - іонних акумуляторів виробництва Liotex *LT-LFP 700P*). У даному модулі

відбувається нагромадження електроенергії з мережі в період зниження навантаження (наприклад, у нічний час), або за рахунок додаткових джерел енергії (ДГУ, поновлювані джерела енергії)

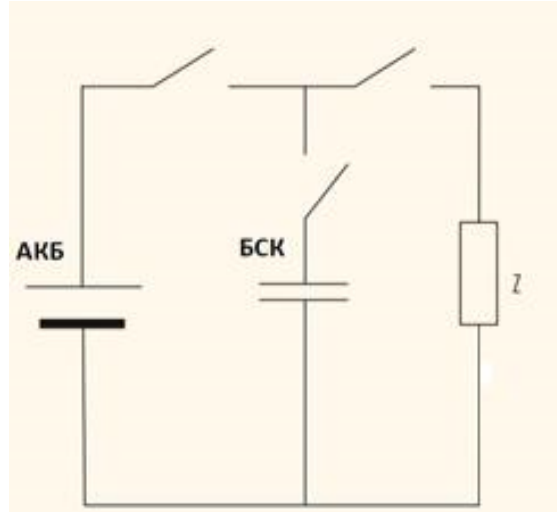


Рис. 3.3 – Спрощена схема гібридного накопичувача енергії.

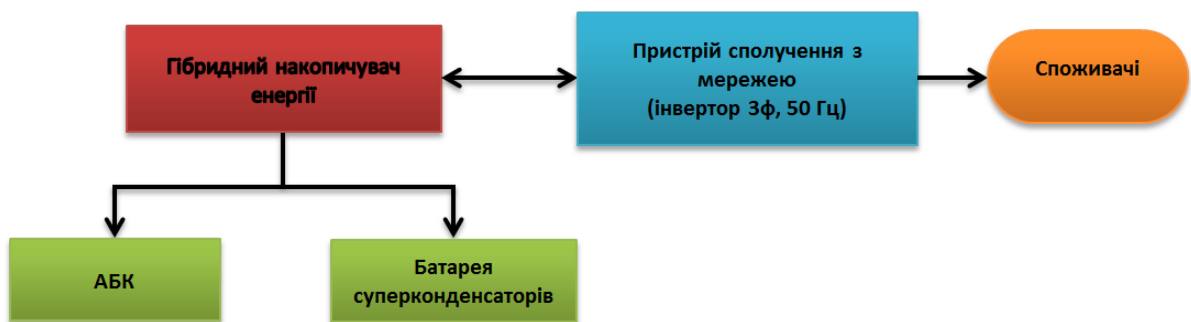


Рис 3.4 – Блок - схема гібридного накопичувача енергії.

У період зростання навантаження вище номінального рівня батарея віддає запасену електроенергію в мережу для стабілізації напруги й згладжування пікових навантажень. Додатково, батареї літій-іонних акумуляторів можливо підключати пристроєм інтелектуального керування, здатним виконувати наступні функції:

- вирівнювати напруги на окремих комірках;
- комутація модулів і їх захисту за миттєвим значенням струму з використанням контактора й швидкодіючих запобіжників;
- контроль ізоляції елементів.

Напруга в мережі трамвайного депо 220В и 380 В. Порахуємо, скільки знадобиться акумуляторів виходячи з характеристик, щоб підтримувати напруга в мережі й покрити добові пікові навантаження в трамвайному депо по рівнянню 3:

$$x \frac{U}{U_a} = \frac{380}{3.2} = 120 \text{ шт.} \quad [3]$$

де U – номінальна напруга трифазної мережі, а U_a – номінальна напруга одного акумулятора, з'єднавши 120 акумуляторів послідовно в ланцюзі, одержимо підсумкову напругу на виході, рівне 380 В.

Другий модуль гібридного накопичувача являє собою батарею модулів суперконденсаторів (батарея модулів суперконденсаторів LSUM 0380R8L 0002FEA), призначену для компенсації короткочасних коливань напруги мережі (1-5 с). Батарея буде складатися з 3 модулів суперконденсаторів:

- напруга 380 В;
- ємність 2,5 Ф;
- маса 55,2 кг.

Пристрою з'єднання з мережею повинне складатися із двох однакових блоків: один для роботи з акумуляторною батареєю, іншої з батареєю суперконденсаторів і являє собою два перетворювачі постійного струму в змінний і навпаки з відповідним узгодженням рівнів напруг. Основою пристрою з'єднання з мережею є гібридний інвертор, у якому сполучаються функції інвертора, контролера заряду акумуляторів від сонячних батарей і зарядного пристрою акумуляторних батарей від мережі 220В для забезпечення безперебійної подачі живлення, з можливістю вибору пріоритетів зарядки й навантаження.

На рис. 3.5 представлений добовий графік навантаження із вказівкою моментів включення батарей літій-іонних акумуляторів і батарей суперконденсаторів:

- у проміжку з навантаженням 150-200 кВт відбувається включення батарей акумуляторів, тому що вони є основним накопичувачем електричної енергії напруги, що реагує на довгочасні зміни мережі, що живить, і компенсують проміжні навантаження;

- починаючи від навантаження 200 кВт включається суперконденсатор і миттєво видає потужність у мережу (короткочасно 1...5сек), компенсуює пікові навантаження, а коли навантаження знижується, суперконденсатор потихеньку накопичує енергію.



Рис. 3.5 – Графік навантаження з включенням гібридного накопичувача

Висновок

Запропонований новий підхід до забезпечення якості напруги в мережі, шляхом використання гібридного накопичувача, побудованого на комбінації акумуляторної батареї й батареї суперконденсаторів.

Використання гібридного накопичувача електроенергії дозволить згладжування добового графіка споживання електроенергії, за рахунок створення гнучкого додаткового резерву потужності, що покриває виникаючий дефіцит, що й оперативно видає потужність у мережу, тим

самим забезпечуючи підтримку рівня напруги в системах електропостачання.

При періодичній зміні навантаження з періодом 1, 2, 5, 10, 100 сек у діапазоні від 0 до 100 кВт забезпечується стабілізація перетікань активної й реактивної потужності з мережі за допомогою гібридного накопичувача:

✓ при цьому впливи, що обурюють, навантаження високочастотного спектра (з періодом 1-10 сек) компенсуються за допомогою суперконденсаторів, впливи, що обурюють, навантаження низькочастотного спектра (з періодом більш 10 сек) компенсуються за допомогою акумуляторних батарей

Розділ 4
ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ
ГІБРИДНОГО НАКОПИЧУВАЧА

4.1 Актуальність результатів роботи

Зниження показників якості електричної енергії приводить, з одного боку, до збільшення втрат напруги та потужності в мережах, зменшенню їх пропускної спроможності, а з іншою боку – порушенню нормальної роботи і зниженню терміну служби електрообладнання, зниженню кількості і якості продукції що випускається, зменшенню продуктивності праці.

Спільне живлення однофазних і трифазних приймачів електричної енергії від трифазної чотирипровідної мережі має широке поширення в системах електропостачання промислових підприємств. У таких випадках практично завжди виникає несиметрія навантаження за фазами, а також значні струми в нульовому проводі. Ці фактори призводять до зниження якості напруги й є причиною промислового збитку.

Метою даної магістерської дисертації є – дослідження можливості використання гібридних накопичувачів енергії для забезпечення якості напруги в системах електропостачання, за рахунок компенсації пікових навантажень.

Застосування в електричних мережах гібридних накопичувачів енергії великої енергоємності є перспективною технологією, яка може знайти широке застосування в електроенергетичних системах і електричних мережах, забезпечуючи підвищення енергоефективність, надійності, стійкості й економічності.

Крім впливу пікових навантажень на великі енергосистеми, вони також прямо впливають на напругу в системах електропостачання комерційних організацій, промислових підприємств. Використання гібридних накопичувачів електроенергії також дозволить комерційним організаціям і промисловим підприємствам зменшити витрати на електроенергію за рахунок заряду вночі по недорогому тарифу й витраті накопиченої енергії вдень, коли тариф вище. На прикладі підприємства КП «Дніпровський електротранспорт» проводимо економічний розрахунок застосування гібридної системи.

4.2 Розрахунок капітальних витрат

Капітальні інвестиції – це кошти, призначені для створення і придбання основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації.

Проекти капіталовкладення в обладнання та будівельно-монтажні роботи визначаються на основі цін та розцінок, наведених у цінниках на монтаж електроустановок та інших довідкових матеріалів або за фактичними витратами.

Для визначення вартості обладнання складемо кошторис-специфікацію відповідно однолінійної схеми розподільчого пристрою, наведеного у графічній частині дипломного проекту.

При визначенні проектних капіталовкладень ($K_{пр}$) користуймося формулою:

$$K_{пр} = K_{об} \left(\sum_{i=1}^K C_i \right) Z_{тзс} + Z_{м} + Z_{н} + Z_{пр}$$

Де $K_{об} \left(\sum_{i=1}^K C_i \right)$ – вартість придбання електрообладнання за проектом або сумарна вартість комплектуючих елементів i -го виду, необхідних для реалізації прийнятого технічного рішення;

K – кількість необхідних комплектуючих елементів;

$Z_{тзс}$ – транспортно-заготівельні і складські витрати;

$Z_{м}$ – витрати на монтажні роботи

$Z_{н}$ – витрати на налагоджувальні роботи

$Z_{пр}$ – інші одноразові вкладення грошових коштів.

Розрахунок капіталовкладень зводимо до таблиці 4.1.

Коштовне обладнання доставляється безкоштовно (суперконденсатори, акумулятори, інвертори), для додаткового обладнання враховуємо найм автомобіля для перевезення вантажів для доставки з відділення компаній експрес-доставки – 500 грн. [24].

Розраховуємо вартість монтажно-налагоджувальних робіт, K_{MH} , грн.:

$$K_{MH} = \sum (Ч \cdot a \cdot t) \cdot K_d \cdot K_{cm} \cdot K_{pr}$$

де Ч– чисельність інженерів, необхідних для виконання даних робіт, Ч=3 чол.;

а – годинна тарифна ставка інженерів, а=30 грн.;

t – час на виконання монтажно-налагоджувальних робіт, t=125 годин;

K_d – коефіцієнт враховуючий розмір доплат, $K_d=1,1$;

K_{cm} – коефіцієнт враховуючий відрахування на соц. заходи, $K_{cm}=1,22$;

K_{pr} – коефіцієнт, що враховує інші затрати, $K_{pr} = 1,05$;

$$K_{MH} = (3 \cdot 30 \cdot 125) \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 15\ 853 \text{ грн.}$$

Визначаємо число проектних капіталовкладень:

$$K_{pr}=3546000+15853+500=3\ 562\ 353 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.1 Зведені витрати на придбання електричного обладнання

Матеріали	кількість	Ціна за одиницю, тис. грн.	Сума, тис. грн.
Модуль суперконденсаторний <i>LSUM 0380R8L 0002FEA</i>	3	46	138
Літій-Іонний акумулятор <i>LT-LFP 700P</i>	120	20	2400
Система гібридних інверторів <i>SILA PRO 50кВт</i>	2	483	966
Додаткове обладнання		42	42
Всього			3546

4.3 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати – це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта проектування за певний період (рік) виражені в грошовій формі:

$$C=C_a+C_z+C_c+C_T+C_e+C_{ін},$$

де C_a – амортизаційні відрахування;

C_z – заробітна плата персоналу;

C_c – відрахування на соціальні заходи від зарплата;

C_T – витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт установок та мереж;

C_e – вартість електроенергії, яка споживається об'єктом проектування;

$C_{ін}$ – інші витрати.

$$C=C_a=70920 \text{ грн.}$$

У зв'язку з тим, що чисельність обслуговуючого персоналу не змінилась, так як акумуляторні батареї та батареї суперконденсаторів не обслуговуються то розрахунок витрат на оплату праці та відрахування на соціальні заходи від зарплати не виконуються.

4.3.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Амортизація об'єкта основних засобів нараховується виходячи і часу його використання. Час корисного використання об'єкта основних засобів нараховується виходячи з часу його корисного використання. Строк корисного використання об'єктів основних засобів і нематеріальних активів 5 років, виходячи з очікуваних економічних вигод, технічних і якісних характеристик основного засобу, морального і фізичного зносу, а також інших факторів, які можуть вплинути на можливість використання.

Норма амортизації при прямолінійному методі постійна протягом всього амортизаційного періоду і дорівнює:

$$H_a = \frac{\Phi_{\pi}}{\Phi_{\pi} \cdot T_{\pi}} \cdot 100, \%$$

Де T_{π} – термін корисного використання (амортизаційний період);

Φ_{π} – первісна вартість об'єкта основних засобів

$$H_a = \frac{3546000}{3546000 \cdot 5} \cdot 100 = 20 \%$$

Тоді річні амортизаційні відрахування АО за прямолінійним методом:

$$AO = \frac{\Phi_{\pi} \cdot H_a}{100}$$

$$AO = \frac{3546000 \cdot 20}{100} = 70920 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.2 розрахунок амортизаційних відрахувань

№ з/п	Найменування	Капітальні інвестиції, тыс. грн.	Норма амортизації, %	Сума амортизації, грн.
1	Проектный вариант	3 546	20	70920

У зв'язку з тим, що чисельність обслуговуючого персоналу не змінилась, то розрахунок витрат на оплату праці та відрахування на соціальні заходи від зарплата не виконуються.

4.4 Визначення річної економії від впровадження об'єкту.

Середні витрати на електроенергію в трамвайному депо 400 000 грн. на місяць. Тариф на підприємстві одноставочний 2,28 грн/ кВт·год, якщо перейти на двоставочний тариф, диференційований по двом зонам доби (Денна зона (пікова й напівпікова) –3 грн/ кВт·год., Нічна зона – 0,8 грн/ кВт·год.), а накопичення електроенергії робити з мережі в нічний час.

4.4.1 Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Вартість електроенергії, спожитої об'єктом протягом року, визначається виходячи з його встановленої потужності, річного фонду робочого часу і витрат електроенергії, визначається за формулою:

$$C_e = W_r \cdot C_e, \text{ грн.}$$

де W_r – кількість спожитої за рік електроенергії, кВт год;

C_e – тариф на електроенергію = 2,28 грн. / кВт год; (За станом на листопад 2018 року, згідно із даних ДТЕК «Обленерго»)

$$C_e = 2105268 \cdot 2,28 = 4800000 \text{ грн.}$$

При зміні тарифу при переході на двоставочний тариф, диференційований по двом зонам доби (Денна зона (пікова й напівпікова) –3 грн/ кВт·год., Нічна зона – 0,8 грн/ кВт·год.),

$$C_{ед} = 1400000 \cdot 3 = 4200000 \text{ грн.}$$

$$C_{ен} = 700000 \cdot 0,8 = 560000 \text{ грн.}$$

$$C_{e2} = 4200000 + 560000 = 4760000 \text{ грн.}$$

$$\Delta C_{ee} = C_e - C_{e2} = 4800000 - 4760000 = 40000 \text{ грн.}$$

Річна економія від впровадження системи та переходу на двоставочний тариф складає:

$$E_{k_p} = Z_{\text{попер}} + \Delta C_{ee} = 746252 + 40000 = 786252 \text{ грн.}$$

де $Z_{\text{попер}}$ – затрати яких можливо уникнути в результаті встановлення гібридної системи накопичувача енергії який стабілізує та підвищує якість електричної енергії що зменшує можливість виходу з ладу електричних приладів та електричного обладнання та продовжує термін їх експлуатації.

Повна річна економія від впровадження прийнятого технічного рішення визначається з урахуванням експлуатаційних витрат по даному об'єкту:

$$E_{k_n} = E_{k_p} - C = 786252 - 70920 = 715332 \text{ грн.}$$

4.5 Визначення та аналіз показників економічної ефективності

Оцінка економічної ефективності розглянутих в дипломному проекті технічних і організаційних рішень здійснюється на основі визначення та аналізу наступних показників:

- а) розрахунок коефіцієнта (прибутковості) капітальних витрат (E_p);
- б) термін окупності капітальних витрат (T_p).

Коефіцієнт енергоефективності (прибутковості) капітальних витрат показує, скільки гривень додаткового прибутку (економії) приносить одна гривня капітальних витрат який знаходимо за формулою:

$$E_p = \frac{E_{k_n}}{K_{\text{пр}}} = \frac{715332}{3562353} = 0,2 \text{ долі од.,}$$

Термін окупності капітальних витрат показує, за скільки років вони окупляться за рахунок загальної економії від впровадження прийнятого технічного рішення та визначається:

$$T_p = K_{\text{пр}} / E_{K_n} = 3562353 / 715332 = 4,97 \text{ років.}$$

Висновок

Запропонований новий підхід до забезпечення якості напруги в мережі, шляхом використання гібридного накопичувача, побудованого на комбінації акумуляторної батареї й батареї суперконденсаторів.

Дозволяє отримати економічну вигоду за рахунок стабілізації енергетичної системи та збереження і продовження терміну роботи електричних приладів та електричних установок і електричного устаткування. Також запропоновано змінити тариф на підприємстві. Термін окупності при застосуванні нової системи та рекомендацій станове 5 років.

ВИСНОВКИ

Особливості енергетичного виробництва обумовлюють залежність режиму роботи ЕЕС і її енергетичних об'єктів — електростанцій, підстанцій, ліній електропередачі — від режиму споживання енергії. Режим споживання енергії має тенденцію постійної зміни в часі й характеризується за допомогою графіків навантаження. Залежно від состава споживачів конкретної енергосистеми, від співвідношення промислового навантаження різних видів, транспортної й побутовий, від рівномірності, з якої споживачі користуються електроенергією протягом доби, тижня, року, вид графіка навантаження може помітно мінятися від однієї системи до іншої. У зв'язку зміною навантажень, напруга в мережі не може підтримуватися строго в його номінальному значенні в будь-який момент часу, тому виникають відхилення напруги, а виходить, погіршується якість напруги в мережі.

Проведений аналіз методів вирівнювання графіків навантаження. Існують наступні методи:

- 1) створення оптимальної структури генеруючих потужностей енергосистеми;
- 2) використання перетікань із сусідніми енергосистемами;
- 3) залучення споживачів до вирівнювання графіків навантаження енергосистеми за рахунок адміністративних (обмежуючих) і економічних (стимулюючих заходів). Поширення двоставочного тарифу, тарифу, диференційованого по зонах доби, і погодинних цін, і деякі інші заходи стимулюють знижувати пікове споживання або переносити його на інший години і дні тижня.

Якщо метод економічного стимулювання досить ефективно впливає на промислові підприємства, то житлово-комунальний комплекс не повною мірою піддається такому впливу. Регулювання графіка навантаження комунально-побутового комплексу найбільш складне завдання.

Запропонований у роботі спосіб компенсації пікових навантажень для забезпечення якості напруги за рахунок використання гібридного накопичувача енергії дозволить:

- не містити величезні кількості резервних генеруючих потужностей;
- підприємства перестануть прив'язувати графіки своєї роботи вчасно з «дешевою» енергією;
- генеруючим компаніям не прийде настільки гостро реагувати на зміни й перепади електроспоживання.

Запропонований спосіб забезпечення якості напруги за рахунок використання гібридних накопичувачів може застосовуватися різними споживачами електроенергії. Залежно від параметрів складових гібридного накопичувача при періодичній зміні навантаження забезпечується стабілізація перетікань активної й реактивної потужності з мережі за допомогою гібридного накопичувача; при цьому впливи, що обурюють, навантаження високочастотного спектра (з періодом 1-10 с) компенсуються за допомогою суперконденсаторів, а навантаження, що обурюють впливи, низькочастотного спектра (з періодом більш 10 с) компенсуються за допомогою акумуляторних батарей.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. - К.: Изд-во стандартов Украины, 1997. - 32 с.
2. Стандарт вищого навчального закладу. Кваліфікаційні робота випускників. Загальні вимоги до дипломних проектів та дипломних робіт./ Упоряди.: В.О. Салов, О.М. Кузьменко, В.И. Прокопенко, - Дніпропетровськ Національний гірничий університет, 2002, - 52 с.
3. Милях А.Н., Шидловский А.К., Кузнецов В.Г. Схемы симметрирования однофазных нагрузок в трехфазных цепях. - К.: Наукова думка, 1973. - 211 с.
4. Гитгарц Д.А., Мухин Л.А. Симметрирование трехфазной сети при питании однофазных электротермических установок. - М.: Информэлектро, 1989.- 128 с.
5. Кузнецов В.Г. , Дядищев Б.А. Эксплуатационные несимметричные режимы в распределительных сетях и пути их устранения,- В кн. Проблемы технической электродинамики, вып. 29. К., Наукова думка, 1971
6. Николаенко В.Г. Расчет оптимальных параметров корректирующих устройств в системах электроснабжения с несимметричными нагрузками. - Техническая электродинамика, 1982, №3 с. 85 - 95
7. Солдаткина Л.А., Шабан М. Оценка несимметрии напряжений при проектировании городских сетей. - Методы и средства повышения качества электрической энергии. - К. Наукова думка, 1976
8. Зевеке Г.В. и др. Основа теории цепей
9. Москаленко Г. А. К вопросу об эквивалентировании несимметричных трехфазных нагрузок // Пробл. техн. электродинамики.- 1976.- Вып. 59,- С. 84 - 88.

10. Мостовяк И. В. Симметрирование системы напряжений на зажимах трехфазного потребителя при подключенной к сети несимметричной нагрузки // Пробл. техн. электродинамики.- 1976.- Вып. 59.

11. Николаенко В. Г. К исследованию методов коррекции несимметричных режимов трехфазных электрических цепей без нулевого провода // Техн. электродинамика.- 1981,- № 5.- С. 79 - 85.

12. Петров Г. Н. Статические компенсаторы токов обратной последовательности // Электричество.- 1984.- №11/12.- С. 23 - 26.

13. Семичевский П. И. Расчет дополнительных потерь активной мощности и электрической энергии в элементах системы внутризаводского электроснабжения при несимметрии в сети // Тр. Моек, энергет. ин-та.- 1978,- Вып. 363 - С. 44 - 48.

14. Методические указания по выполнению раздела «Охрана труда» и окружающей среды в дипломном проекте.

15. Долин П.А. Справочник по технике безопасности.- М. Энергоатомиздат 1984 - 824 с.

16. Солдаткина Л. А. Несимметрия напряжений в трехфазных электрических сетях и способы ее снижения // Электричество.- 1974.- № П.- С. 5 - 11.

17. Тамазов А. И. Несимметрия токов и напряжений, вызываемая однофазными тяговыми нагрузками.- М.: Транспорт, 1965.- 236 с.

18. Тер-Газарян Г. Н. Несимметричные режимы синхронной машины.- М.: Энергия, 1968 - 214 с.

19. Терешкевич Л. Б. Об одном алгоритме внутреннего симметрирования при управлении несимметричным режимом электрической сети // Изв. вузов. Энергетика.- 1980.- № 12 - С. 73 - 75.

20. Тимофеев Д. В. Режимы в электрических сетях с тяговыми нагрузками.- М.: Энергия, 1972. - 296 с.

21. Церазов А. Л. Влияние несимметрии и несинусоидальности напряжения на асинхронные двигатели // Пром. энергетика. - 1963 - № 12. - С. 8-13.

22. Церазов А. Л., Якименко Н. И. Исследование влияния несимметрии и несинусоидальности напряжения на работу асинхронных двигателей.- М.: Госэнергоиздат, 1963.- 120 с.

23. Шидловский А. К., Кузнецов В. Г., Невский В. А. Автоматически дискретная система минимизации тока в нулевом проводе низковольтной распределительной сети // Пробл. техн. электродинамики,- 1979.- Вып. 69.- С. 6 – 10

24. Vitok [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.vitok-energo.ru/>

25. Зиновкин В.В. Анализ экономического ущерба в системах электроснабжения энергоёмких промышленных предприятий [Текст] / В.В. Зиновкин, А.П. Лютый, М.В. Зиновкин // Техн. электродинамика. – 2001. – № 5. – С. 60-63.

26. Котов О.М. Методы эквивалентности в задачах анализа надежности электроэнергетических систем [Текст] / О.М. Котов, В.К. Нгуен, В.П. Обоскалов // Современные технологии экономического и безопасного производства и использования электроэнергии. Сборник докладов научно-технической конференции. Днепропетровск, 1997. — С. 73-78.

27. Лихачев Ф.В. Повышение надежности распределительных сетей 6-10 кВ [Текст] / Ф.В. Лихачев // Электрические станции. – 1981. – № 11. – С. 51–56.

28. Півняк Г.Г. Розрахунки електричних мереж систем електропостачання [Текст]: Навч. Посібник / Г.Г. Півняк, Г.А. Кігель, Н.С. Волотковська; За ред. академіка НАН України Г.Г.Півняка. — 2-е вид., перероб. і доп. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2002. — 219 с.

29. Півняк Г.Г. Расчеты электрических сетей систем электроснабжения [Текст]. Навч. пособие /Г.Г. Півняк, Н.С. Волотковська, Г.А. Кігель, А.В. Коротун. за ред. Г.Г. Півняка. — К. ІЗМН, 1998.-136 с.

30. Пивняк Г.Г. Несимметричные повреждения в электрических сетях карьеров [Текст] / Г.Г. Пивняк, Ф.П. Шкрабец: Справочное пособие. — М.: Недра, 1993. — 192 с.

31. Пивняк Г.Г. Аварийные токи при обрыве фазного провода воздушной ЛЭП [Текст] / Г.Г. Пивняк, Ф.П. Шкрабец, А.А. Дворников // Гірничя електромеханіка та автоматика: Наук. – техн. зб. – 2003. – Вип. 70. – С. 9-15.

32. Півняк Г.Г. Системи ефективного енергозабезпечення вугільних шахт [Текст]. Монографія. // Г.Г. Півняк, Ф.П. Шкрабець, В.Т. Заїка, Ю.Т. Розумний. / Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2004. — 206 с.

34. Сирота И.М. Режимы нейтрали электрических сетей [Текст] / И.М. Сирота, С.Н. Кисленко, А.М. Михайлов — К.: Наукова думка, 1985. — 264 с.

35. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий [Текст]. Промышленные электрические сети. 2-е изд., перераб. и доп. / Под общ. ред. А.А. Федорова и Г.В. Сербиновского. -М. Энергия, 1980. — 576 с.

36. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий: Электрооборудование и автоматизация [Текст] / Сост: Т.В. Анчарова. В.В. Каменева, А.А. Катарская; под общ. Ред А.А. Федорова и Г.В. Сербиновского. — 2-е изд., перераб и доп. — М.: Энергоиздат, 1981. — 624 с.

37. Calhoun H. Development and testing of an electro - mechanical relay to detect fallen distribution conductors [Текст] / Calhoun H., Bishop M., Eichler C., Lee R. // Power Apparatus and Systems. USA. – 1982. PAS – 101, N6, – P. 1643 – 1658.

38. Lecogne J.C. La prevention de accidents d'origine e'lectrique [Текст]. "Eguip ind achats ut entretion. – 1986. 35. №384, 79, 81, 83-84, 87-88.

39. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломної роботи для студентів напряму підготовки 6.050702 "Електромеханіка" / Укладачі: Л.В. Тимошенко, І.В. Шереметьєва – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. - 15с.