

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Шуневич Микола Володимирович

УДК 621.359.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Оцінка варіанту нових технологій компенсації реактивної потужності в
електричних мережах 6-10 кВ
(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Шуневич М.В.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Цивенкова Наталія Миколаївна

_(прізвище, ім'я, по батькові)

к.т.н., доцент кафедри електрифікації,
автоматизації виробництва та інженерної екології
(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Шуневич М.В. Оцінка варіанту нових технологій компенсації реактивної потужності в електричних мережах 6-10 кВ. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2026.

Метою даної роботи є обґрунтування застосування автоматичної системи компенсації реактивної потужності зумовлено динамічним характером споживання реактивної потужності в мережі.

Основна ціль роботи: зниження втрат і підвищення ефективності використання електроенергії призводять до зменшення загальних витрат на електропостачання.

Ключові слова: електрична енергія, компенсація реактивної потужності, електропостачання.

ABSTRACT

Shunevych M.V. Evaluation of a variant of new technologies for reactive power compensation in 6-10 kV electrical networks. Qualification work for obtaining a bachelor's degree in specialty 141 - Electric power, electrical engineering and electromechanics - Polissia National University, Zhytomyr, 2026.

The purpose of this work is to justify the use of an automatic reactive power compensation system due to the dynamic nature of reactive power consumption in the network.

The main objective of the work: reducing losses and increasing the efficiency of electricity use lead to a decrease in total costs for electricity supply.

Keywords: electric energy, reactive power compensation, electricity supply.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ВІДОМИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО ПІДТРИМАННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПОТУЖНОСТІ	7
1.1 Загальні відомості	7
1.2. Вибір типу та місця компенсації	14
1.3. Назви, що використовуються в установках компенсації РП	15
1.4. Резонансні явища	17
Висновки по розділу 1	19
РОЗДІЛ 2 НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ	21
2.1 Фактори які впливають на реактивну потужність	22
2.2 Рішення з компенсації реактивної потужності	24
Висновки по розділу 2	30
РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОЇ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ЕНЕРГІЇ	32
3.1 Вибір мікропроцесорного регулятора	35
3.2 Регулятори реактивної потужності Beluk	36
Висновки по розділу 3	40
ВИСНОВКИ	41
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	43

ВСТУП

Основною державною проблемою є раціональне використання всіх видів енергії, в тому числі й електричної, а також підвищення економічності роботи електричних установок. Електричну енергію можна вважати особливим видом продукції, що володіє характеристиками, за допомогою яких можна судити про її придатність у різних технологічних процесах. У сукупності ці характеристики об'єднані одним загальним поняттям, як якість електроенергії.

Зараз якості електроенергії приділяють особливу увагу, тому що вона сильно впливає на надійність системи електропостачання, також впливає на витрачену кількість електричної енергії і на виробничий технологічний процес.

Коли порушуються питання підвищення якості електричної енергії, то зачіпаються математичні, технічні та економічні аспекти. Математичний підхід обґрунтовує той чи інший метод розрахунку показників якості електричної енергії. За розробку спецзасобів і заходів для поліпшення якості електричної енергії, а також організації системи контролю та управління якістю, відповідає технічний підхід. При розрахунку збитків через погану якість електричної енергії в мережі використовують економічний підхід.

Правильна компенсація призводить до зменшення втрат електроенергії через перетікання реактивної енергії та підтримки якості електричної енергії шляхом регулювання і вирівнювання рівня напруги в енергосистемі, а також підвищення техніко-економічних показників електроустановок.

Розробка системи автоматичної компенсації реактивної потужності (САКРП) в мережах 6-10 кВ зумовлена необхідністю підвищення ефективності електропостачання, зниження втрат потужності та підтримки необхідного рівня напруги в розподільних мережах. Реактивна потужність, що споживається індуктивним навантаженням, таким як електродвигуни та трансформатори, знижує коефіцієнт потужності ($\cos \varphi$) і, як наслідок, збільшує струм, що протікає мережею. Це призводить до ряду негативних наслідків.

Основними цілями розробки САКРП є:

1. Зниження втрат електроенергії: Компенсація реактивної потужності безпосередньо поблизу навантаження знижує струмове навантаження на лінії електропередач і трансформаторні підстанції, що пропорційно зменшує втрати потужності в них.

2. Підвищення пропускної здатності мережі: Зменшення струму дозволяє збільшити допустиме навантаження на існуючі лінії електропередач і трансформатори, відкладаючи необхідність модернізації мережі.

3. Поліпшення якості електроенергії: Підтримання оптимального рівня напруги за рахунок компенсації реактивної потужності знижує коливання напруги і запобігає перенапругам, забезпечуючи надійну роботу електрообладнання.

4. Оптимізація роботи генеруючого обладнання: Зниження навантаження на генератори дозволяє їм працювати в більш ефективному режимі, що в свою чергу знижує витрату палива (для теплових електростанцій) і збільшує термін служби обладнання.

5. Зниження витрат на електроенергію: Зниження втрат і підвищення ефективності використання електроенергії призводять до зменшення загальних витрат на електропостачання.

Основною метою роботи є обґрунтування застосування автоматичної системи компенсації реактивної потужності зумовлено динамічним характером споживання реактивної потужності в мережі.

Автоматична система дозволяє швидко і точно реагувати на зміни навантаження, забезпечуючи оптимальну компенсацію в будь-який момент часу. Це досягається за рахунок використання тиристорних ключів, які дозволяють оперативно вмикати та вимикати конденсаторні батареї, адаптуючи компенсацію до поточної потреби мережі. Зрештою, впровадження САКРП сприяє підвищенню надійності, ефективності та економічності системи електропостачання.

При виконанні роботи були **використані методи** аналізу та математичного моделювання а також работа по моделюванню в програмному пакеті Multisim та Matlab + Simulink.

Перелік публікацій автора за темою дослідження:

Шуневич М. В. ВИКОРИСТАННЯ ПАСИВНИХ ФІЛЬТРІВ ДЛЯ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Матеріали науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики «НАУКОВІ ЧИТАННЯ за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей» 29 квітня 2026 року. Житомир: Поліський національний університет, 2026.- С 195-198.

Славінський Д.А., Шуневич М. В. ФАКТОРИ ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА РЕАКТИВНУ ПОТУЖНОСТЬ

Матеріали науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики «НАУКОВІ ЧИТАННЯ за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей» 29 квітня 2026 року. Житомир: Поліський національний університет, 2026.- С 195-198.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ВІДОМИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО ПІДТРИМАННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПОТУЖНОСТІ

1.1 Загальні відомості

«Будь-яка електрична машина, що використовує змінний струм (двигун, трансформатор), використовує дві форми енергії: активну та реактивну. Активна спожита енергія (кВт·год) визначається активною потужністю P (кВт) електроприймачів (ЕП). Вона повністю переходить у механічну потужність (роботу) та в тепло (втрати). Реактивна спожита енергія (квар·год) служить для живлення магнітних ланцюгів електричних машин. Вона відповідає реактивній потужності Q (квар) ЕП. Повна енергія (кВ·А·год) є векторною сумою двох попередніх видів енергії. Вона відповідає повній потужності S (кВ·А) ЕП, тобто векторній сумі P (кВт) та Q (квар)»[7].

В електричних колах, що містять комбіноване навантаження, зокрема, активне (електроплити, обігрівачі, електропечі та ін.) та індуктивне (асинхронні двигуни, електромагніти, дроселі, реактори, трансформатори, випрямлячі, тиристорні перетворювачі) складові, тоді їх загальну потужність, взяту з мережі, можливо показати векторною діаграмою (рис. 1.1).

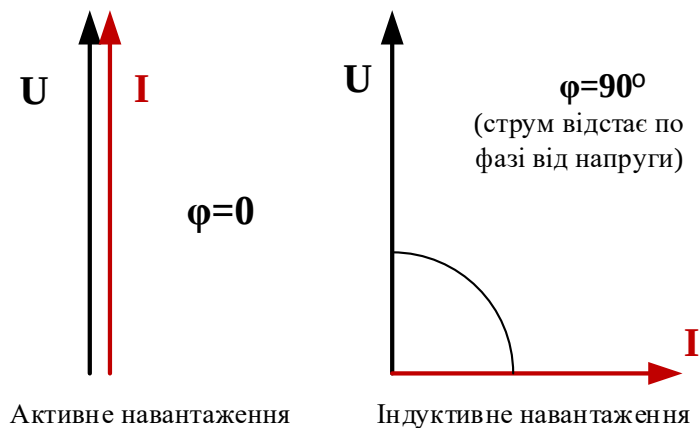


Рисунок 1.1- Сутність виникнення реактивної потужності

Коли напруга має додатний знак, а струм – від’ємний, і навпаки, це і зумовлює інтервал часу, в якому відбувається відставання струму від напруги за фазою в індуктивних елементах (рис. 1.2). У цей момент реактивна енергія нікуди не витрачається, а подається назад у мережу, тільки вже в напрямку генератора. Лише в цьому випадку реактивна енергія, що залишається в індуктивних елементах, йде в мережу, не витрачаючись активними елементами, а лише здійснюючи коливальні рухи. Така енергія і називається реактивною.

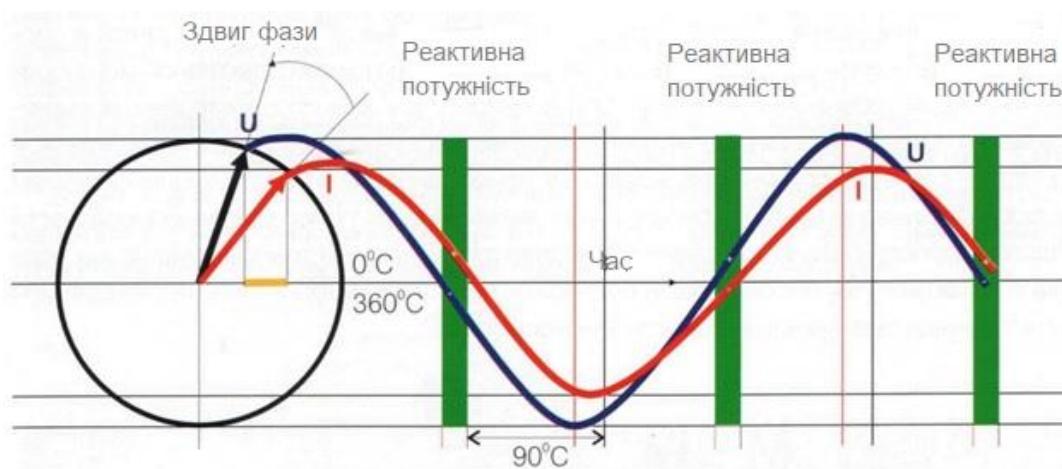


Рисунок 1.2 – Зсув фаз між активною та реактивною потужністю

Якщо підсумувати активну енергію, яка виконує корисну роботу, та реактивну енергію, що йде на створення магнітного поля, то отримаємо повну потужність. Відношення активної потужності до повної, виражене через косинус кута зсуву фаз їх векторів, називається коефіцієнтом потужності (рис. 1.3).

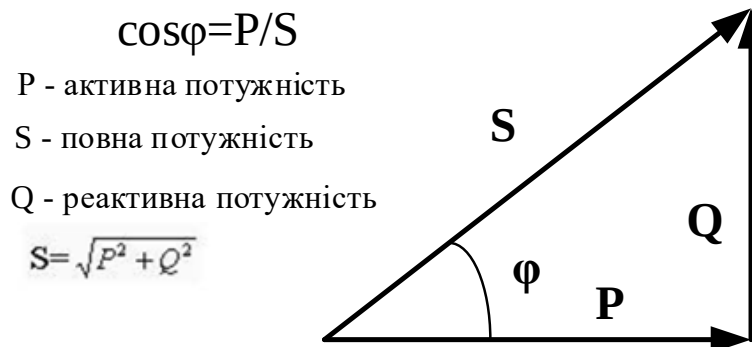


Рисунок 1.3 – Трикутник потужностей

Вся активна енергія переходить у необхідну нам механічну, теплову та будь-яку іншу корисну роботу. У свою чергу, реактивна енергія не витрачається на корисну роботу, єдине, для чого вона необхідна – це для створення електромагнітних полів, без яких неможлива робота трансформатора та електродвигуна. Через ці особливості отримувати реактивну потужність від організації з енергопостачання недоцільно, тому що доведеться збільшувати потужність генераторів, перетин ліній і кабелів, оскільки зменшується їх пропускна здатність, та збільшуються активні втрати. З цієї причини реактивну потужність краще генерувати безпосередньо у споживача. Для цього використовують спеціальні пристрої, які називаються установками компенсації реактивної потужності. В основному це бувають конденсаторні батареї.

Реактивний струм, який протікає через індуктивні елементи, пропорційний реактивній потужності:

$$Q = \dot{U} \cdot \dot{I}_L, \quad (1.1)$$

де $\dot{I}_L$ - індуктивний струм, $\dot{U}$ - напруга живильної мережі.

З цього випливає, що при додаванні активної та індуктивної складових отримуємо повний струм, який живить навантаження:

$$\dot{I} = \dot{I}_R + \dot{I}_L. \quad (1.2)$$

Для зменшення кількості реактивної потужності в системі генератор-навантаження, роблять паралельне підключення до навантаження компенсаторів типу КРП. Після такої установки реактивна потужність не рухається між навантаженням і генератором, а тільки здійснює коливання між реактивними елементами навантаження та компенсуючим пристроєм. Такі заходи з компенсації реактивної потужності в системі навантаження-генератор, дають можливість передавати більше активної енергії при тій же номінальній потужності генератора і тому ж перерізі лінії.

«Середнє значення РП за період дорівнює нулю, оскільки за цей час вона змінює свій напрямок чотири рази. Але циркуляція РП по мережі призводить

до серйозних технічних та економічних наслідків. На рисунку 1.3 показано, що чим більша величина РП, тим більша передавана повна потужність та струм». З цих причин необхідно виробляти РП по можливості ближче до навантажень, щоб уникнути її споживання з мережі. Таке рішення називається «компенсація реактивної потужності»[7].

«Щоб уникнути підвищених витрат на мережу, електропостачальна організація спонукає споживачів застосовувати такі рішення шляхом стягнення штрафу при споживанні РП вище певного значення. Щоб виробити і поставити РП індуктивним споживачам використовуються конденсатори»[7].

У промисловій електромережі основним навантаженням вважаються розподільчі трансформатори та асинхронні електродвигуни. Вони і є джерелами реактивної енергії, що здійснюють коливальні рухи від цього навантаження до генератора.

Оскільки в індуктивних елементах струм відстає від напруги, то реактивна енергія характеризується затримкою між синусоїдами фаз струму та напруги мережі. Коефіцієнт потужності, який чисельно дорівнює $\cos\varphi$ між I та U , показує споживання реактивної потужності з мережі. $\cos\varphi$, для організації, яка споживає енергію, розраховується як: відношення P енергії, що споживається, до S енергії, спожитої з мережі. Цей коефіцієнт характеризує кількість всієї Q енергії, споживаної підприємством. Чим косинус φ більше наближений до 1, тим менше реактивної енергії береться з мережі. З цього випливає, що протікання реактивної потужності в мережі є несприятливим.

В результаті:

- зменшується пропускна здатність ліній;
- збільшуються втрати в провідниках через зростання прохідного струму;
- виникають номінальні відхилення напруги живильної мережі.

Через вище перелічені причини, енергопостачальна організація вимагає від споживача зменшення частки реактивної складової в мережі.

Дана проблема вирішується компенсацією реактивної енергії - головна і необхідна умова надійності в функціонуванні та економічності підприємств. З

поставленим завданням справляються компенсуючі пристрої – конденсаторні установки, головним елементом яких, власне, і є конденсатори. Правильно підібрані компенсуючі пристрої реактивної потужності можуть:

- знизити навантаження на лінії електропередач, трансформатори та інші розподільчі пристрої, продовжуючи термін їх служби;
- знизити втрати;
- зменшити витрати на електричну енергію;
- збільшити пропускну здатність мережі, що дозволяє збільшити навантаження, не збільшуючи вартість самої мережі;
- знизити витрати на оновлення електрообладнання;
- усунути непотрібну генерацію реактивної складової в години мінімуму навантаження;
- при створенні нових мереж зменшити перетин ліній та потужність підстанції.

Першочерговим напрямком зниження втрат електроенергії та збільшення продуктивності електрообладнання промислових підприємств є збільшення коефіцієнта потужності разом зі збільшенням якості електроенергії безпосередньо в самій мережі підприємства. У свою чергу, мале значення коефіцієнта потужності, при незмінному активному навантаженні, призводить до великих втрат потужності та зниження напруги в системі. З цього випливає, що потрібно прагнути отримати значення $\cos\phi$ наближене до одиниці. Щоб впоратися з даною проблемою, використовують компенсуючі установки, так звані пристрої компенсації реактивної потужності, в якості головного елемента застосовуючи конденсатори. Їх встановлення дозволяє виключити споживання та генерацію реактивної енергії в мережу, що знижує витрати на оплату електроенергії, до того ж, скорочується сума платежу за електрику, що визначається тарифами енергосистеми.

Встановлення компенсуючих пристроїв ефективно на підприємствах, де працюють зварювальні апарати, компресори, електролізні установки, плавильні печі та подібні до них споживачі з різкозмінним навантаженням.

Мається на увазі на виробництвах металу, видобутку гірничої руди, обробки дерева, тобто там, де з різних виробничих причин $\cos \varphi$ варіюється від 0,4 до 0,8.

В той час, як почали у всю використовувати змінний струм, відразу з цим виникла проблема компенсації реактивної енергії. Саме реактивна енергія, яка необхідна для роботи деяких електроустановок, є однією з причин втрат електричної енергії в мережах електропостачання. Перетікання реактивної потужності в мережі і обумовлює велику частину втрат активної потужності. Знизити перетікання реактивної енергії можливо при збільшенні ступеня її компенсації.

При правильній компенсації реактивної енергії в електричній мережі підприємств, виникає ряд питань, звернені на підвищення економічності роботи електричних установок. Вони включають в себе: методику підбору компенсуючих пристроїв, їх раціональне місце розташування для безпечної експлуатації, захист від аварій, а також регулювання реактивної потужності в автоматичному режимі. З цього випливає, що зменшення втрат електричної енергії та дотримання норм щодо її якості, в значній мірі залежить від наявності пристроїв компенсації реактивної енергії та їх конструктивної побудови.

Для більшості електричних машин, які перетворюють електричну енергію в інший вид енергії (механічну, теплову, або навіть світлову), потрібна реактивна енергія. У таких пристроях вона створює змінне електромагнітне поле.

Щоб виробити реактивну потужність, немає необхідності витратити будь-яку енергію, але при цьому для передачі по КЛ та ЛЕП потрібна енергія. Грубо кажучи, вона займає місце в лініях електропередач.

Величину цих втрат можна виразити наступною формулою:

$$W_{TP} = \frac{Q^2}{U^2} \cdot R \cdot \tau, \quad (1.3)$$

де τ - часова характеристика графіка передачі реактивної енергії. Компенсація реактивної енергії має кілька цілей. По-перше, це необхідно для виконання умов балансу реактивної потужності у вузлах споживача. По-друге, застосування компенсуючих пристроїв знижує втрати. По-третє, компенсуючі пристрої використовуються для регулювання напруги та підвищення якості електричної енергії.

Нормальні режими роботи електромережі, а також постачання якісної електричної енергії досягається лише при дотриманні рівності виробленої та споживаної електроенергії, тобто балансу повної потужності.

Зміна напруги в мережі – це наслідок порушення балансу реактивної потужності. Якщо реактивної потужності виробляється більше, ніж споживається, то напруга живильної мережі збільшується, і навпаки, якщо реактивної потужності не вистачає – напруга падає. Однак, нестачу реактивної енергії, на відміну від активної, краще не передавати по лініях, а отримувати за допомогою компенсуючих пристроїв, там, де є нестача реактивної енергії.

«Зазначено, що без пристроїв компенсації, які встановлюються в мережах енергосистем, режим балансу реактивної потужності при допустимих рівнях напруг у вузлах навантаження неможливий» [8].

Встановлення КУ, безпосередньо на підприємствах, повинно забезпечувати баланс реактивної енергії, стабілізацію U , а також підвищення резерву стійкості в центрах навантаження. «Для цього можуть використовуватись синхронні компенсатори та електродвигуни, конденсаторні установки та пристрої компенсації, що містять індуктивність та ємність» [6].

Регулювання потужності КУ в автоматичному режимі, в залежності від кількості споживаної реактивної енергії, дає можливість знизити втрати електричної енергії до мінімальних показників. При цьому виключаються режими перекомпенсації або недокомпенсації реактивної енергії.

Монтаж комплектних компенсуючих пристроїв з автоматичним регулюванням реактивної енергії дає можливість налаштувати компенсацію в години мінімуму та максимуму навантаження.

В залежності від того, які отримані дані про потужність електроспоживання підприємства, буде проводитися розрахунок необхідної компенсації реактивної потужності. Розраховується він від дійсного значення коефіцієнта реактивної потужності $\cos\varphi_1$, до необхідного коефіцієнта $\cos\varphi_2$. Для визначення сумарної потужності компенсуючих пристроїв потрібно скористатися наступною формулою:

$$Q_{KV} = P(\cos\varphi_1 - \cos\varphi_2). \quad (1.4)$$

«де P - активна потужність навантаження.

Питома потужність компенсувального пристрою визначається за формулою:»[8]

$$k_{KV} = \frac{Q_{KV}}{S_{BCT}}, \quad (1.5)$$

де S_{BCT} - встановлена потужність трансформатора.

В промисловій електромережі основним навантаженням вважаються розподільчі трансформатори та асинхронні електродвигуни. Вони і є джерелами реактивної енергії, що здійснюють коливальні рухи від навантаження до генератора. Ці коливання не пов'язані з виконанням корисної роботи, а лише витрачаються для створення електромагнітних полів і створюють навантаження на лінії електропередач. У свою чергу, без електромагнітних полів неможлива робота трансформаторів та електродвигунів, і створюється навантаження на лінії електропередач.

Правильно підібрані компенсувальні пристрої реактивної потужності (КПРП), можуть зменшити витрати на електричну енергію до 20%, зменшити навантаження на трансформатори, знизити втрати електричної енергії при перетіканні реактивної енергії по лініях, а також значно підвищити якість електричної енергії.

Через вище перелічені причини енергопостачальна організація вимагає від споживача зменшення частки реактивної складової в мережі.

1.2. Вибір типу та місця компенсації

«Нерегульована (одноступенева) компенсація.

Конденсаторна батарея працює за принципом «все або нічого». Включення може бути ручним (рубильник або вимикач) або напівавтоматичним (за допомогою контактора, що керує електродвигуном). Цей тип компенсації використовується, якщо РП відносно невелика ($<15\%$ потужності трансформатора), а графік навантаження рівний.

Ступенева автоматично регульована компенсація.

Конденсаторна батарея набирається з окремих секцій з можливістю підключати (зазвичай автоматично) потрібну їх кількість. Така батарея встановлюється в голові мережі або на ділянці достатньої потужності і має можливість ступеневого регулювання виробленої реактивної потужності. Включенням і виключенням секцій керує реле контролю РП»[7].

«- Централізована компенсація

Батарея підключається в голові мережі і забезпечує компенсацію її загального реактивного навантаження. Цей спосіб використовується, якщо потрібно лише розвантажити трансформатор і уникнути сплати штрафу за споживання значної РП.

- Групова компенсація

Батарея встановлюється в голові ділянки мережі, що обслуговує групу ЕП, які потребують компенсації. Цей спосіб використовується в протяжних мережах, що містять ділянки з різними режимами роботи ЕП.

- Індивідуальна компенсація

Батарея підключається безпосередньо до затискачів кожного індуктивного ЕП (електродвигуни, індукційні печі). Цей спосіб рекомендується, коли потужність ЕП значна по відношенню до заявленого максимуму навантаження. Економічний і технічний ефект при цьому максимальний, так

як РП виробляється в тому місці, де вона споживається і в такій кількості, скільки потрібно» [7].

1.3. Назви, що використовуються в установках компенсації РП

-Конденсатор

«Пристрій, що складається з двох пластин, розділених діелектриком, поміщених у пластмасовий корпус. У цьому корпусі також розміщується пристрій захисту на весь термін служби, що складається з реле тиску та запобіжника НРС, який відключає конденсатор у разі пошкодження»[17].

-Блок конденсаторів Varplus2

«Комплект конденсаторів, об'єднаних у трифазний блок. Існує у стандартній версії та з підвищеною номінальною напругою. Серія силових конденсаторів Varplus2 має повністю модульне виконання. Різні варіанти з'єднання конденсаторів дозволяють видавати будь-яку необхідну реактивну потужність (кВАр) в залежності від напруги, частоти та вмісту вищих гармонік в мережі»[17].

-Модуль компенсації Varpact

«Серія функціональних модулів Varpact є готовим рішенням для встановлення у функціональні та універсальні шафи. Кожен модуль Varpact включає в себе силові конденсатори Varplus2, спеціальні контактори та пристрої захисту (в залежності від виконання). Модулі компенсації існують у стандартній версії (тип CLASSIC), з підвищеною номінальною напругою (тип COMFORT), з підвищеною номінальною напругою та захисним реактором (тип HARMONY) »[97].

-Комплектна конденсаторна установка Varset

«Конденсаторні установки Varset мають основні відмінності: нерегульовані КУ - це Direct, КУ з авто регулюванням та КУ зі швидким регулюванням FAST. КУ типу Direct мають два виконання: з автоматичним вимикачем, який відключається автоматично, та без такого вимикача. КУ з автоматичним регулюванням Varset (від 7,5 до 1200 кВАр) оснащуються конденсаторами Varplus2, спеціальними контакторами, регулятором

реактивної потужності Varlogic та мають два виконання: з автоматичним вимикачем і без нього. Конденсаторні установки з автоматичним регулюванням Varset FAST (від 100 до 600 кВАр) оснащуються конденсаторами Varplus2, спеціальними швидкодіючими контакторами (тиристорними ключами), захисними реакторами та швидкодіючим регулятором реактивної потужності (час спрацювання менше 40 мс). Конденсаторні установки існують у стандартній версії (тип CLASSIC), з підвищеною номінальною напругою (тип COMFORT), з підвищеною номінальною напругою та захисним реактором (тип HARMONY)» [9].

1.4. Резонансні явища

«Резонансні явища на вищих гармоніках є причиною значних спотворень струмів і напруг у розподільчих мережах і викликають також перевантаження силових конденсаторів.

Явища, описані нижче, відносяться до типу «паралельного резонансу» (резонансу струмів).

Розглянемо спрощену схему (рис. 1.4), що представляє електроустановку, яка включає в себе:

- живильний трансформатор,
- лінійне навантаження,
- нелінійне навантаження, що є джерелом гармонік (ДГ),
- конденсатори для компенсації реактивної потужності.

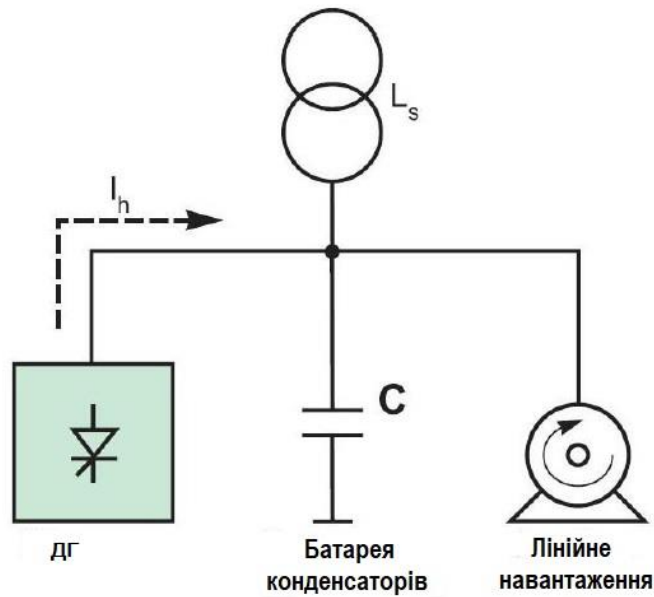


Рисунок 1.4 – Спрощена схема електроустановки

Еквівалентна схема для аналізу гармонік виглядає наступним чином:

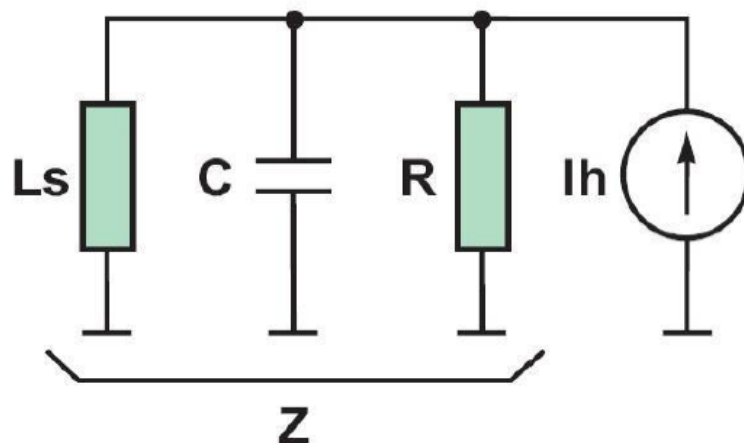


Рисунок 1.5 - Еквівалентна схема для гармонічного аналізу.

- L_s – індуктивність ланцюга живлення (мережа+трансформатор+лінія),
- C – ємність силових конденсаторів,
- R – опір навантаження, що має лінійну вольт-амперну характеристику (ВАХ),
- I_h – ДС (джерело струму).

Залежність модуля еквівалентного опору Z для струмів вищих гармонік від частоти представлена на рисунку нижче:

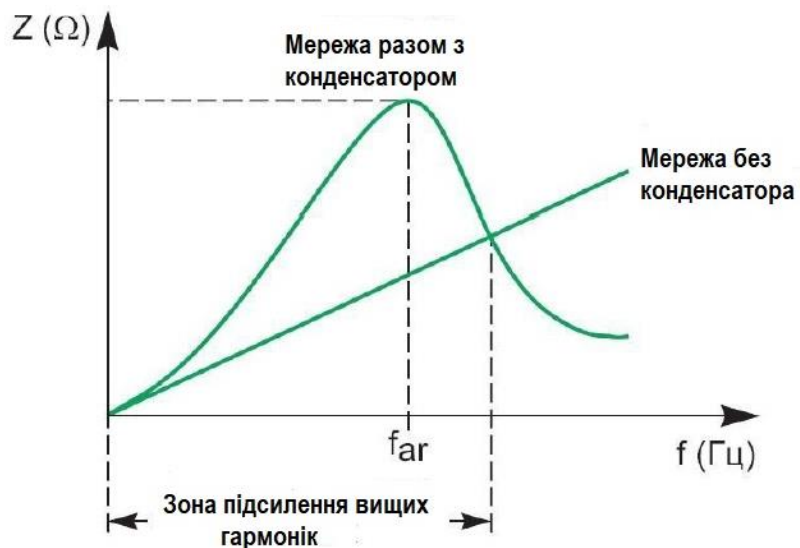


Рисунок 1.6 - Модуль опору Z в залежності від частоти.

Фізична інтерпретація:

- частота f_{ar} є резонансною частотою паралельного ланцюга ($L_s - C$),
- на частоті f_{ar} модуль опору ланцюга максимальний. Отже, при незмінному струмі напруга відповідних гармонік велика і має місце значне спотворення кривої напруги.
- струми гармонік, що відносяться до зони посилення, які протікають всередині ланцюга $L_s - C$, перевищують за величиною струми, що протікають в нерозгалуженій частині ланцюга (тобто струми, які генерує ДС).

На нижченаведеній схемі показані елементи ланцюга, навантажені посиленими струмами вищих гармонік:

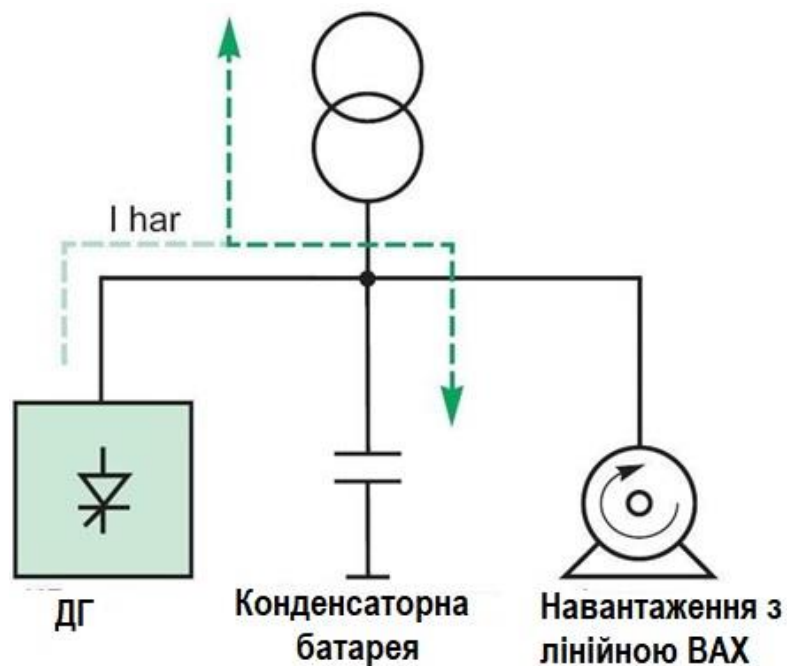


Рисунок 1.7 – Циркуляція посилених струмів гармонік.

Живильна мережа та батарея для компенсації реактивної потужності навантажені значними струмами вищих гармонік, що може призвести до перевантаження» [17].

Висновки по першому розділу

Реактивна потужність, споживана мережею та мережевими збуреннями у вигляді гармонік, спричиняє додаткові втрати в мережі передачі та розподілу, які повинні покриватися за рахунок використання первинної енергії на електростанціях. Справедливий розподіл витрат, пов'язаних з джерелами, безсумнівно, буде більш актуальним у майбутньому.

Це робить ємнісну та індуктивну компенсацію в певній зоні покриття – можливою, з живленням від місцевих електростанцій – важливим фактором. Транспортування реактивної потужності на великі відстані неможливе без значного впливу на діапазон напруг.

Таким чином, одним із майбутніх завдань буде використання невикористаного потенціалу економії за рахунок ширшого використання систем компенсації реактивної потужності для підвищення якості електроенергії.

РОЗДІЛ 2

НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Висока надійність постачання не обов'язково є синонімом високої якості електроенергії, яка враховує відхилення напруги мережі від ідеальної форми синусоїдальної хвилі або коливань напруги та частоти мережі. Операційні збої, вихід з ладу обладнання та пов'язана з цим втрата якості продукції або великі витрати часу на відновлення, найчастіше зумовлені зниженням якості електроенергії, ніж відключенням електроенергії.

Численні електронні перетворювачі енергії все частіше використовуються як у промислових, так і в міських мережах для забезпечення ефективного використання електроенергії, від джерел живлення з імпульсним режимом і енергозберігаючих ламп низької потужності до роликів приводів, електролізу і навіть з високою напругою постійного струму. Частка цих систем у загальній електроенергетиці неухильно зростає. Результуючі мережеві перешкоди, такі як зміни напруги, дисбаланси, гармоніки, комутації або інтергармоніки, можуть призвести до різкого погіршення якості електроенергії і, зрештою, до вищезазначених наслідків, якщо не будуть вжиті ефективні заходи. Водночас відбувається зниження потужності короткого замикання лінії за рахунок подачі живлення через електронні компоненти.

Виробники обладнання та систем для компенсації реактивної потужності змушені займатися сталим покращенням якості електроенергії. Нові пристрої були зосереджені, зокрема, на тому, як компенсувати збільшення гармонійних навантажень, які дуже чутливі до систем компенсації реактивної потужності з нерівномірними конденсаторами. Найбільш важливі технології будуть розглянуті в наступному:

- Ослаблена компенсація реактивної енергії (ємнісна).
- Компенсація реактивної енергії з тиристорним перемиканням (ємнісна та індуктивна).
- Пасивні схеми фільтрів (ємнісні).

- Активні електронні фільтри (ємнісні та індуктивні, як 4 або 3-провідні версії).

Деякі з цих технологій захищають систему компенсації реактивної потужності від небезпечних надструмів через резонанси; інші також покращують якість електроенергії. Перш ніж вибрати, яка система найкраще підходить за технологією, місцем розташування та вартістю, необхідно провести вимірювання якості електроенергії та оцінити зроблені в результаті порушення мережі в плановій системі. Крім того, постійний моніторинг якості електроенергії під час роботи системи компенсації захищає розробників, операторів системи та операторів мережі від несподіваних ситуацій.

2.1 Фактори які впливають на реактивну потужність

Коли ми говоримо про реактивну потужність, ми зазвичай маємо на увазі косинус кута зсуву фаз, який відноситься до основної частоти 50/60 Гц і є результатом фазового зсуву струмів відносно напруги. Основними причинами є двигуни та трансформатори, але також відіграють роль приводи в перетворювачах потужності, які контролюються за допомогою керування фазовим кутом. 60 відсотків електроенергії, споживаної в Україні, реалізується як механічна енергія через електродвигуни – з відповідним негативним впливом на реактивну потужність в мережі. Цей відсоток показує вплив коефіцієнта потужності, який є частиною майже кожного технологічного процесу.

Крім реактивної потужності, існують й інші ефекти, що також створюють велике навантаження на електричні мережі:

- $\cos\phi$ спотворення через гармоніки;
- $\cos\phi$ дисбалансу з однофазними та двофазними споживачами;
- $\cos\phi$ модуляції зі споживачами та з сильно змінним споживанням навантаження.

Нерідко можна побачити, що всі типи реактивної потужності використовуються в реальних установках, таких як електродугові печі та зварювальні установки.

Ці різні типи реактивної потужності базуються на наступних явищах, які завжди призводять до зниження якості електроенергії:

- Гармоніки струму та напруги живлення (поточний вигляд до 50-ї гармоніки).
- Комутаційні стрибки напруги через силову електроніку.
- Мерехтіння напруги живлення через періодичні коливання струму в діапазоні 9-10 Гц.
- Короткочасне падіння напруги через перемикання роботи обладнання, такого як трансформатори та двигуни.
- Незбалансованість напруги живлення при роботі одно- або двофазних споживачів.

Наслідки всіх цих фізичних явищ, які значною мірою впливають на напругу живлення і, отже, на безпечне живлення, обмежені відповідними стандартами. Слід розрізняти визначення рівнів сумісності для напруги живлення та визначення імпульсів, викликаних окремими пристроями та системами, які можуть складатися або не складатися з безлічі різних пристроїв.

ДСТУ EN 50160:2023 є важливим для цієї теми та описує допустимі рівні сумісності в нарузі живлення громадських мереж низької, середньої та високої напруги [1]. Цей стандарт містить обмеження на гармонічні рівні, а також положення щодо допустимого діапазону напруг, мерехтіння та багато іншого.

У промислових мережах ДСТУ EN 50160:2023 визначає різні рівні сумісності, наприклад, для гармонік відповідних класів. Тут проводиться розрізнення між класами з дуже чутливими споживачами та «чистою» потужністю і класами з домінуючою потужністю перетворювача, такими як компресорні станції та прокатні стани.

Тут частка всього споживання енергії в мережі пропорційна виду споживача, наприклад, частка гармонійної або флікерної генерації. Якщо відповідні викиди перевищують специфікації, які були визначені, то замовник

повинен вжити заходів щодо зниження, наприклад, гармонік, комутаційних перемикачів або мерехтіння і координувати їх з оператором мережі стосовно мережевої сумісності. Також важливо забезпечити, щоб вплив систем контролю пульсацій звукової частоти відповідав застосовним стандартам. Цей норматив тепер застосовується для низької, середньої та високої напруги та є важливою документацією для стандартизованої оцінки приєднання.

На додаток до розгляду індивідуальних підключень клієнтів у світлі вищенаведених стандартів та/або принципів оцінки, дуже важливо обмежити кидки струму, що надходять від пристроїв з номіналом <16 А. Такі пристрої масового ринку включають в себе імпульсні джерела живлення в телевізорах і комп'ютерах, а також енергозберігаючі лампи. Дуже висока частота використання телевізорів у вечірні години щодня створює екстремальні гармонічні навантаження в наших громадських мережах, ефект яких може бути значно збільшений як у мережах середньої та високої напруги (резонансна здатність). Це навантаження представляє собою, так зване, попереднє навантаження напруги живлення, яке також повинно враховуватися при плануванні з'єднань з клієнтами.

2.2 Рішення з компенсації реактивної потужності

Рішення, описані нижче, є сучасними технологіями в галузі компенсації реактивної потужності та представляють собою найвідоміші застосування. З роками проблеми, з якими доводиться стикатися, змінилися. Пристрої та системи компенсації реактивної потужності та покращення якості електроенергії також продовжували розвиватися. У той час як ще кілька років тому основна увага приділялася скороченню витрат на реактивну потужність та зменшенню втрат електроенергії, сьогоднішні проблеми складніші та пов'язані з повною інтеграцією мереж.

- Нерівномірна компенсація

При нерівномірній компенсації конденсатори використовуються як суто ємнісна вітка (рис. 2.1).

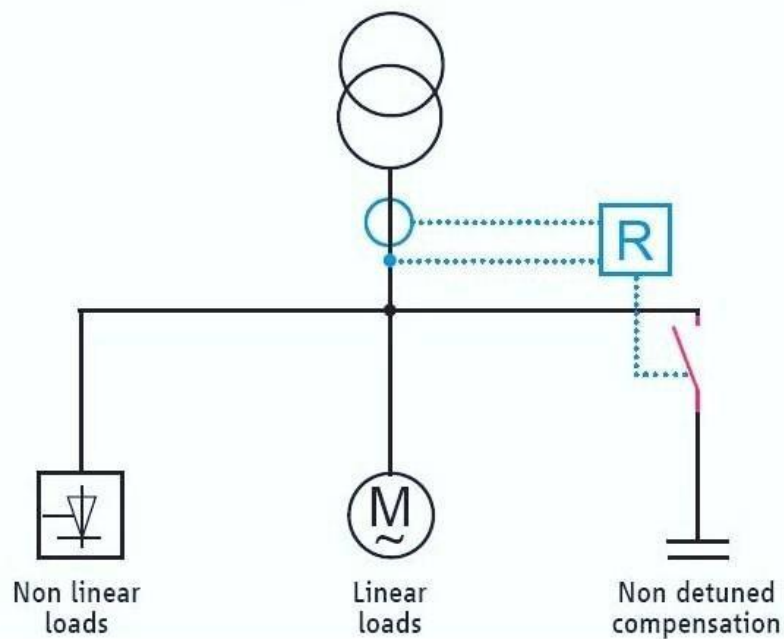


Рисунок 2.1 – Схема нерівномірної компенсації

Раніше це було стандартне рішення, яке використовувалось для економії витрат на реактивну потужність, розрахованих постачальником електроенергії. Це пов'язано зі зменшенням уявної потужності в лінії живлення і, тим самим, зменшенням втрат на лінії та трансформаторах. Зі зміною умов мережі та зростанням кількості гармонік збільшується ризик перевантаження потужності через резонанси. Це призводить до вдосконалення технологій компенсації.

- Розлагоджена компенсація (схеми відстроювання фільтра)

Окрім фактичного основного завдання компенсації реактивної потужності, ризик перевантаження по струму через резонанс значною мірою може бути виключений шляхом правильного вибору типу налаштування для системи компенсації та конструкції конденсаторів і котушок індуктивності, що використовуються. Сьогодні розлагоджена компенсація – це сучасна технологія. Ступінь розлагодження також може бути обраний таким чином, щоб зменшити специфічно вибрані низькочастотні гармоніки в мережі клієнтів або не допустити, щоб керування частотою пульсацій частоти не порушувалось у розподільчій мережі. Старіння компонентів та збільшення

рівня гармонік через зміни технологій пристрою означають, що обладнання та системи повинні контролюватися, щоб своєчасно виявити ризик перевантаження.

- Тиристорна комутувана компенсація

Коли динаміка навантаження не дозволяє проводити ступінчасту компенсацію, перемикаючись через контактор, то це замінюється комбінацією тиристорів і діодів (рис. 2.2).

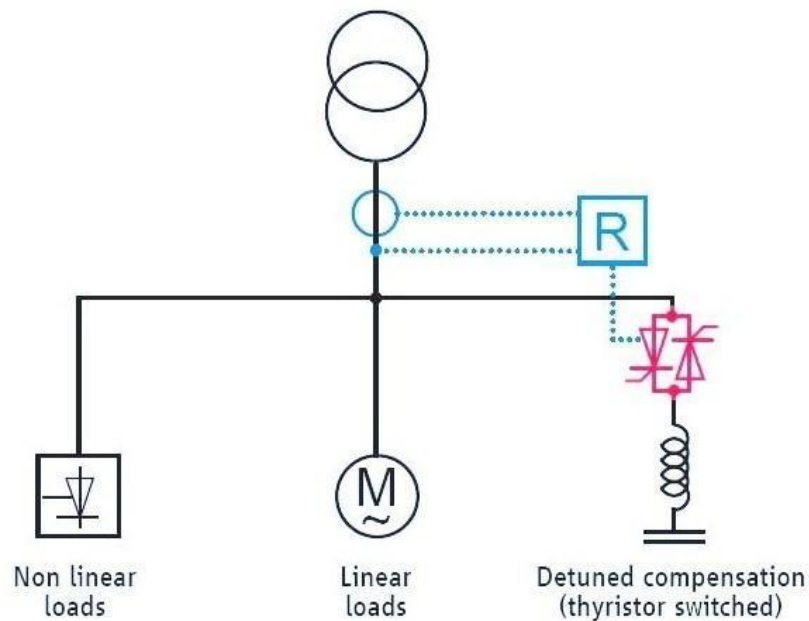


Рисунок 2.2 – Схема компенсації за допомогою тиристорів

Завдяки швидкому збору даних і контролю, можливі реальні операції перемикання в діапазоні декількох мережевих циклів без перехідних процесів перемикання. Це дозволяє практично миттєво коригувати швидкі зміни реактивної потужності, і в деяких випадках це усуває ефект мерехтіння від стрибків навантаження. Основною перевагою такого типу комутації напівпровідників є те, що він запобігає вмиканню струмових навантажень, таких як ті, що виникають при звичайному розладі компенсації. Це м'яке перемикання має значні переваги, особливо для чутливих споживачів, підключених до того ж рівня потужності.

- Пасивні фільтри (налаштовані схеми фільтрів)

Пасивні фільтри мають частоту природного резонансу, дуже близьку до частоти гармонійного струму, що підлягає фільтрації від споживача або групи споживачів, таких як перетворювачі потужності живлення.

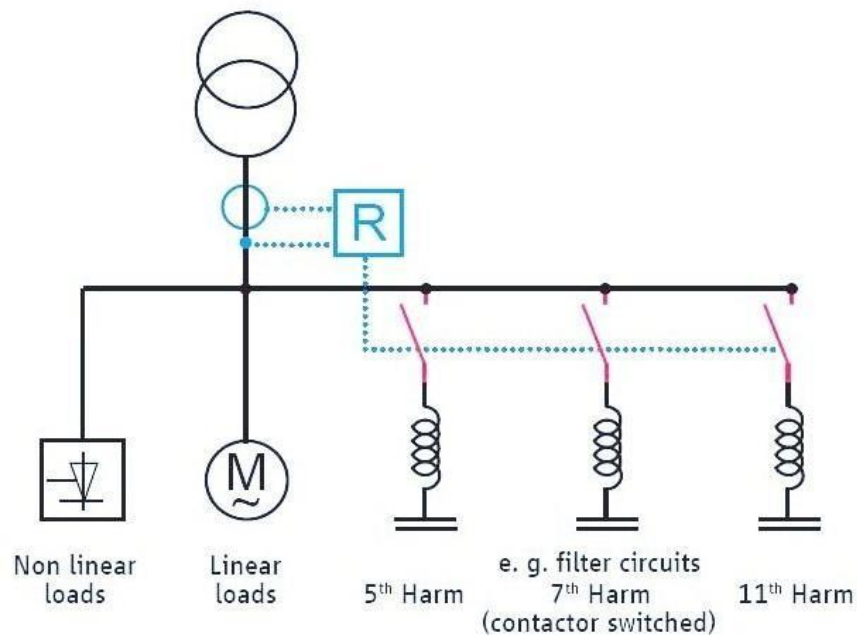


Рисунок 2.3 – Схема пасивних фільтрів

Для запобігання перехідним процесам у цих фільтрах, частоту налаштування індуктивно розстроюють на 5-10 Гц.

Він ефективно фільтрує гармонічний струм, що надходить від джерела, і запобігає його передачі в розподільчу мережу; це значно знижує навантаження від гармонічного струму на лінії живлення / трансформатора (рис. 2.4).

Цей метод працює в діапазоні від 3-ї до 5-ї гармоніки та вимагає, щонайменше, один етап фільтрації для кожної гармоніки мережі. Ризик перевантаження особливо високий з пасивними фільтрами. Необхідний постійний моніторинг та регулярне обслуговування. Крім того, пасивні фільтри можуть лише частково адаптуватися до змін навантаження. Об'єднавши резистори паралельно з реакторами з фільтром, для гармонік можуть бути встановлені фільтри високих частот.

Пасивні схеми фільтрів здатні лише зменшувати комутаційні провали в напрузі живлення, якщо, наприклад, одночасно вмикаються схеми фільтра для 5-ї, 7-ї та 11-ї гармонік.

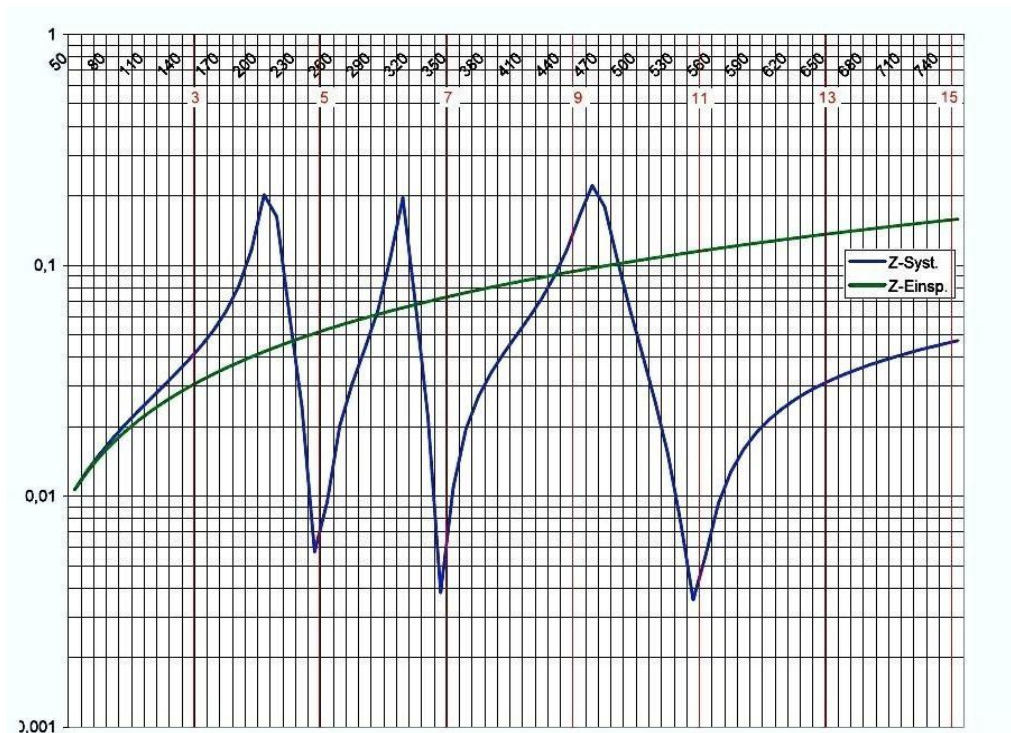


Рисунок 2.4 – Діаграма роботи пасивних фільтрів

Точні розрахунки впливу пасивних фільтруючих схем зазвичай вимагають кваліфікованих фахівців і використання потужного програмного забезпечення для моделювання.

- Індуктивна компенсація

Різке збільшення кількості кабелів у наших мережах і особливо збільшення кількості підключених фотоелектричних і вітрових установок зумовлює необхідність компенсації ємнісної навантажувальної здатності в певний час доби з використанням котушок індуктивності (рис. 2.5).

Подібно до систем з контрольованою компенсацією, вони можуть бути контакторними або тиристорними, включеними на низькому рівні напруги, або вмикатися та вимикатися на рівні середньої напруги за допомогою автоматичних вимикачів з RC-ланцюгами.

Ємнісна реактивна потужність, видалена з мережі, також зараховується при перевищенні певного коефіцієнта потужності, тому ці системи швидко окупаються.

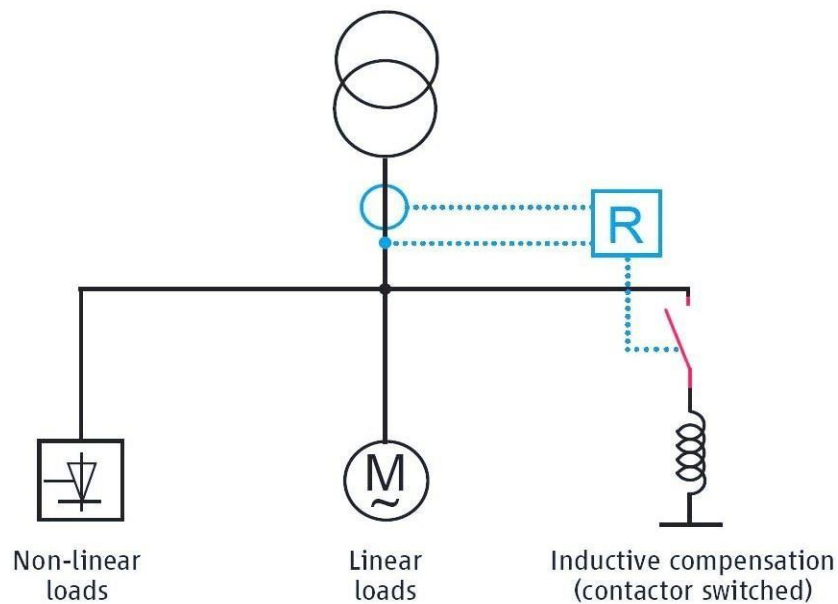


Рисунок 2.5 – Схема індуктивної компенсації

Це лише незначно впливає на повний опір мережі.

- Активні фільтри

Активний фільтр – це електронна система, яка використовується для активного покращення якості електроенергії. Активна фільтрація – це сучасна технологія, яка є дуже універсальною. Вона може прибирати гармоніки різних порядків, виконувати динамічну компенсацію реактивної потужності як ємнісно, так і індуктивно, або компенсувати дисбаланси напруги.

Для гармонійної компенсації кожної окремої гармоніки може бути задано певний ступінь компенсації. Таким чином, фільтруються лише встановлені граничні значення, узгоджені з оператором мережі.

Завдяки високій динаміці деякі активні фільтри навіть здатні ефективно коригувати зміни в поточній формі хвилі, які представлені комутаційними провалами. На додаток до компенсації трьох провідників, активні фільтри також забезпечують можливість зменшення гармонік на нейтральному провіднику. Третя гармоніка складається арифметично в нейтральному провіднику, що може призвести до важких навантажень або перевантаження нейтрального провідника. Активний фільтр реагує негайно зі своїм ступенем компенсації, встановленим для конкретної точки вимірювання кожної гармоніки. В принципі, це означає, що на нього не впливають інші ефекти в

мережі і, таким чином, не змінює структуру мережі в резонансних точках. Він продовжує доставляти свої номінальні характеристики, коли він «перевантажений», і рівномірно обмежує рівень компенсації. Це дає ту перевагу, що максимальна ефективність компенсації фільтра доступна навіть при надмірних гармонійних навантаженнях.

Компенсація реактивної потужності настільки динамічна, що навіть забезпечує компенсацію мерехтіння. Також можливо компенсувати ємнісну операцію, яка часто виникає в комп'ютерних центрах, або реалізувати робочу точку, наприклад, для систем «джерело безперебійного живлення» (ДБЖ).

Активний фільтр потужності виконує кілька функцій одночасно. Завдяки цільовому використанню можна вирішувати особливі проблеми з якістю електроенергії практично незалежно від існуючої системи компенсації реактивної потужності. Перевантаження системи не призводить до відключення пристрою і збою всього фільтра. Гармоніки можуть бути компенсовані по всьому спектру аж до 50-ї гармоніки.

Висновок по другому розділу

Щоб мати можливість використовувати реактивну потужність і гармонічну компенсацію в тих випадках, коли прості стандартні рішення практично не впливають, важливо приділяти більше уваги розробці нових рішень. Представлені вище технології не завжди є індивідуальними рішеннями, але також можуть бути об'єднані у вигляді гібридних рішень. Хорошим прикладом є користувач з різним навантаженням і різними характеристиками: звичайні індуктивні споживачі, встановлені разом із багатьма приводами, керованими частотними перетворювачами. Таким чином, є дві проблеми, які необхідно вирішити: зменшення кількості гармонік, які можуть бути згенеровані перетворювачами, з одночасним високим коефіцієнтом потужності, і компенсація індуктивної реактивної потужності інших споживачів. Сучасні активні фільтри потужності здатні одночасно вирішувати обидві проблеми. Щоб знизити інвестиційні витрати, часто використовується гібридне рішення, в якому класичні пасивні схеми фільтра для 5-ї та 7-ї гармонік одночасно

компенсують основну частотну реактивну потужність решти споживачів. Лише гармоніки з вищою частотою, які значно менші за розміром струмів, затухають до сумісного рівня за допомогою активного фільтра. Однак такі рішення вимагають детального аналізу планованого використання, вимірювань у точці підключення та технічних розрахунків мережі.

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОЇ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ЕНЕРГІЇ

Однією з систем регулювання реактивної енергії в автоматичному режимі є РРМГ-12.

Призначення:

- Утримання заданого параметра коефіцієнта потужності.
- Індикація та контроль параметрів мережі.
- Забезпечення оптимальної роботи конденсаторів у важких режимах експлуатації, в тому числі в режимах перенапруги та за наявності гармонійних складових.

Використання:

- У системах автоматичного регулювання компенсації реактивної потужності в трифазних мережах 0,4 кВ із симетричним, не швидкозмінним навантаженням, як з наявністю гармонійних складових, так і без них.

Принцип роботи:

- Регулятор реактивної потужності РРМГ-12, що застосовується в установках компенсації реактивної потужності (УКРП), оснащений вимірювальними контурами струму та напруги. Після цифрової обробки вимірних величин з високою точністю визначаються значення коефіцієнта потужності, i , шляхом підключення або відключення необхідної кількості батарей (ступенів) конденсаторів, здійснюється регулювання реактивної потужності.
- Регулятор розраховує необхідні включення та відключення ступенів згідно з різними алгоритмами:
 - затримки на включення/відключення,
 - затримки на повторне включення,
 - запобігання резонансним явищам,
 - зовнішньої послідовності.
- Регулятор забезпечує наступні види захистів конденсаторів (ступенів):

- захист від гармонійного спотворення напруги,
- захист від перенапруги,
- захист від частих перемикань,
- захист від миттєвих подвійних включень.

Переваги

- Відображення коефіцієнтів нелінійного спотворення напруги та струму.
- Відображення повного коефіцієнта потужності мережі PF
- Відображення основного коефіцієнта потужності мережі DPF
- Висока точність вимірювань, 4-розрядний дисплей.
- Ручний та автоматичний режим роботи.
- Автоматичний режим розрахунку ємності C1.

Конденсаторні установки з автоматичним регулюванням компенсації реактивної енергії на $U=0,4$ кВ типу АУКРМ показані на рисунку 13. Вони випускаються номінальною потужністю від 5 до 1200 кВАр. За бажанням замовника можна і більше.

В установки для компенсації РП з авторегулюванням встановлюють тільки екологічно безпечні конденсатори. В конденсатори сухого виконання встановлюють розрядні резистори, а також запобіжники-переривники, які спрацьовують при тиску вище заданого.

За особливим бажанням замовника можливе виготовлення конденсаторних установок з регулюванням на різні значення потужності та зі зміненими габаритними розмірами. До цього можна додати різну кількість ступенів і автоматичне охолодження або підігрів самої установки.

Конденсаторні установки з автоматичним регулюванням компенсації реактивної енергії (АУКРЕ) представлені у вигляді металевої шафи (рис. 3.1) підлогового або навісного виконання з повітряним охолодженням. Шафи пофарбовані порошковою фарбою, що запобігає появі корозії. Силовий кабель заводиться знизу установки, але за бажанням замовника можна і зверху.



Рисунок 3.1 – Установка для компенсації РП з авторегулюванням

На передній панелі КУ розташований регулятор РП під управлінням спеціального мікропроцесора. КУ з авторегулюванням необхідної реактивної енергії дає потрібний нам коефіцієнт потужності» [3] з високою точністю і великим діапазоном:

- Відстеження зміни реактивної енергії в тій мережі, якій йде компенсація, з потрібним значенням $\cos \varphi$;
- реактивна енергія не надходить в мережу від своїх джерел;
- поява перенапруг практично неможлива, тому що використовується АКУРЕ;
- відстеження всіх параметрів відбувається в онлайн режимі, і виводиться на екран;

- так само йде повний контроль КУ і всіх додаткових елементів, необхідних для її роботи;
- передбачена система аварійного відключення конденсаторної установки та попередження обслуговуючого персоналу;
- можливе автоматичне підключення примусового обігріву або вентиляції конденсаторної установки.

Необхідний $\cos\phi$, з високою точністю і в великому діапазоні, компенсованої реактивної потужності в установках АУКРЕ забезпечується мікропроцесорним програмованим контролером – регулятором реактивної потужності.

Регулятор реактивної потужності автоматично відстежує зміну реактивної потужності навантаження і, відповідно до заданого значення коефіцієнта потужності, коригує $\cos\phi$, керуючи комутаційними апаратами секцій конденсаторних батарей.

На панелі управління відстежуються всі основні параметри компенсованої мережі. Разом з цим ведеться контроль за режимами експлуатації та роботою кожного елемента КУ, при цьому враховується час роботи і кількість підключених секцій, що дає можливість оптимізувати зносостійкість контакторів і розподілу навантаження в мережі.

Передбачена система аварійного відключення конденсаторної установки та попередження обслуговуючого персоналу.

Можливе автоматичне підключення примусового обігріву або вентиляції конденсаторної установки.

3.1 Вибір мікропроцесорного регулятора

В якості мікропроцесорного регулятора вибираємо DCRK виробництва Lovato.

«Даний мікропроцесорний регулятор має індикатор з трьома розрядами та розділений на 7 рівних сегментів, що задають параметри мережі, та чотири кнопки для задання цих параметрів.

Мікропроцесорний регулятор випускають на дванадцять, а також на п'ять, сім і вісім ступенів регулювання. Регулятор оснащений інтерфейсом RS-232/TTL для встановлення напруги, струму та косинуса ϕ . Все це можна робити за допомогою комп'ютера та віддаленого підключення по пром-інтерфейсу RS-485. В комплекті з DCRK може поставлятися програмне забезпечення DCRK - SOFTWARE CONTROL PANEL, для всебічного використання всіх наданих регулятором функцій.

Переваги регулятора DCRK:

- всередині встановлений тепловий датчик, який дає сигнал при високій температурі КУ;
- одна з найкращих функцій, закладених в процесор, для розрахунку перевантаження КУ;
- розрахунок $\cos \phi$ за кожний тиждень за середнім значенням;
- встановлено 2 додаткових вихідних реле, які можна запрограмувати як «тривога та/або вкл. вентилятор»[3].

3.1.1 Конструкція та підключення регулятора DCRK

Регулятор розміщується в пластиковому корпусі, який можна прикріпити до електричних шаф, щитів. З'єднувальний кабель підключається до панелі регулятора з задньої сторони. Живильна та вимірювальна напруга йде безпосередньо на регулятор з фази "В" і "С" та підключається, через відповідні запобіжники, до клем "9" і "10" або "15" і "16". Живильна напруга знаходиться в районі трьохсот вісімдесяти - чотирьохсот п'ятнадцяти вольт. Перед тим, як під'єднати регулятор, необхідно перевірити U в живильній мережі. Також на регулятор приходить вимірювальний струм, який приходить з трансформаторів струму. Трансформатор струму встановлений на фазі А, яка не розривається і не розгалужується на ділянці навантаження - конденсаторна батарея (рис. 3.1).

3.2 Регулятори реактивної потужності Beluk

Технічні характеристики мікропроцесорного регулятора BLR-CX [4]

- Компенсація реактивної потужності шляхом повністю автоматичного розпізнавання та контролю потужності ступеня регулювання.
- Інтелектуальний алгоритм регулювання забезпечує оптимальний вибір ступеня та малу тривалість процесу регулювання.
- Функції регулювання, налаштування для запуску не потрібне. Принцип дії мікропроцесорного регулятора BLR-CX (рис. 3.2)

Інтелектуальний алгоритм регулювання фірми Beluk включає ступені регулювання оптимальним чином, завдяки чому забезпечується мала тривалість процесу регулювання в поєднанні з мінімальною кількістю включень. При цьому частота включень розподіляється рівномірно по всіх ступенях.

Всі суттєві для регулювання параметри задаються на заводі-виробнику таким чином, що майже у всіх випадках BLR-CX може почати регулювання відразу після підключення – без додаткових налаштувань. Разом з тим, регульовальні характеристики компенсаційного пристрою можна узгоджувати з місцевими умовами. При необхідності зміна параметрів може виконуватися і в процесі регулювання.

Додаткові налаштування виконуються у двох окремих меню користувача. В меню "Пуск" ("Start") доступні лише суттєві для введення в експлуатацію налаштування: номінальна напруга, коефіцієнти трансформації струму і напруги, автоматичне коригування підключення та ввімкнення/вимкнення регулювання. В розширеному меню налаштовуються наступні параметри:

Вимірювання: Номінальна напруга, трансформатори струму і напруги, допуск на напругу, вимірювання L-L/L-N, кут фазової корекції, автоматичне підлаштування підключення, синхронізація, скидання лічильника годин роботи, скидання середнього значення $\cos \phi$, скидання максимальної температури.

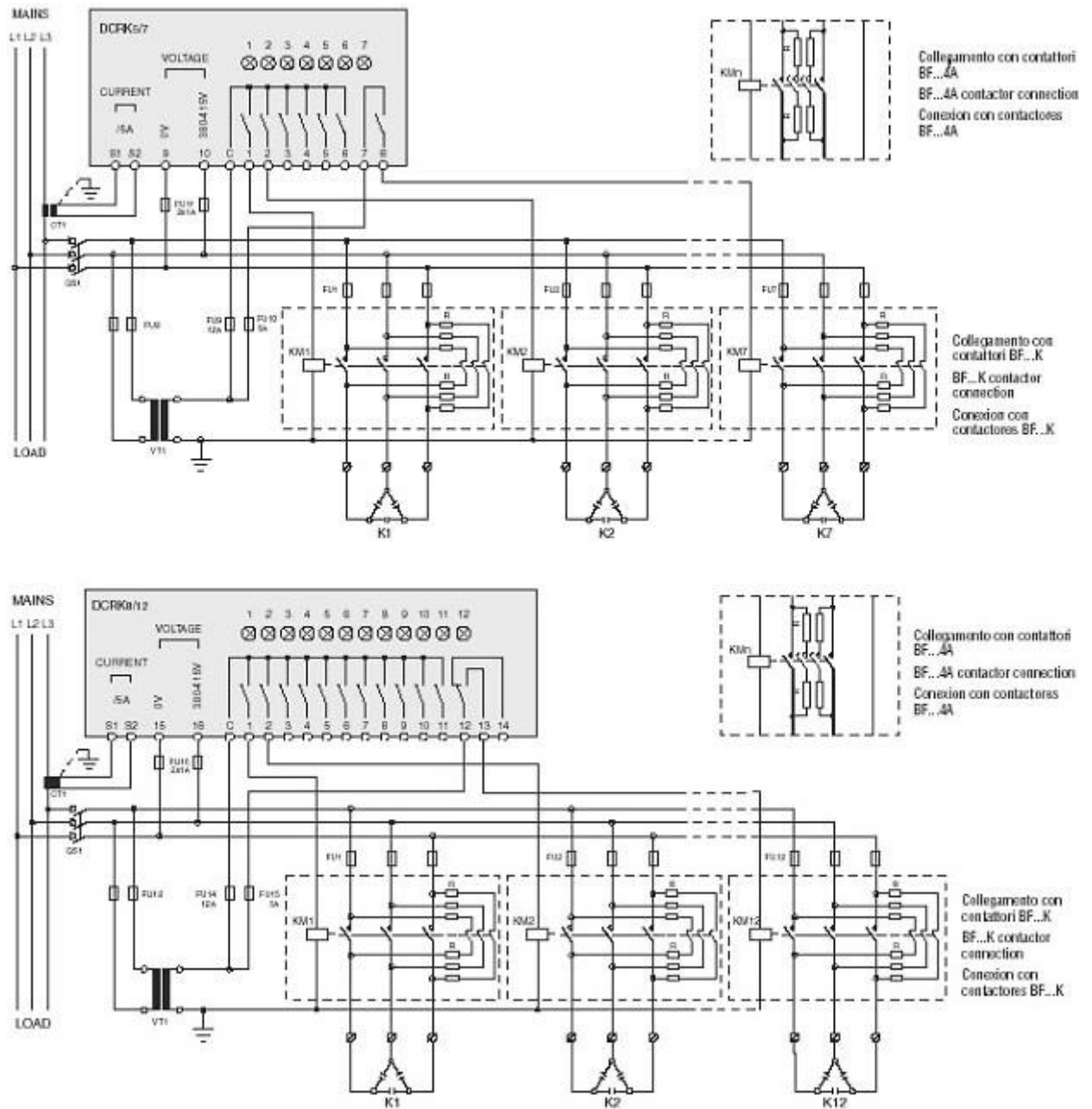


Рисунок 3.1 – Підключення регулятора DCRK



Рисунок 3.2 – Регулятори реактивної потужності Beluk

Регулювання: Чутливість регулювання, цільові значення $\cos\phi$ 1 і 2, час перемикавання, час зміни ступеня, зміна ступеня, автоматичне розпізнавання конденсатора, блокування заданих ступенів. Програми регулювання: "максимальна відповідність (Best-Fit)", і "принцип LIFO", "комбіноване регулювання", "прогресивне регулювання", "реактивна потужність зсуву", "асиметричний час перемикавання".

Ступені: Час розряду, величина ступеня в кВАр, число циклів перемикавання для даного типу ступенів (наприклад, для фіксованих ступенів), скидання параметрів ступеня.

Аварійна сигналізація: Сигналізація про збій регулювання, про дефектний ступінь, про втрату потужності конденсатора, про нелінійні спотворення напруги, про досягнення граничного значення співвідношення "температура 1/температура 2", про досягнення граничного числа циклів перемикавання, про досягнення граничного напруження пристрою, про зависання регуляторів I = 0.

Для запуску регулювання необхідно лише правильно задати номінальну напругу. В іншому випадку регулювання блокується для захисту конденсаторів. Якщо не буде заданий коефіцієнт трансформації струму, то будуть відсутні виміряні значення, залежні від величини струму. Неправильне підключення усувається завдяки автоматичній активації фазового коректора. При техобслуговуванні пристрою всі виходи можуть переключатися вручну.

Вимірювальні входи мікропроцесорного регулятора BLR-CX

За виміряними значеннями напруги і струму BLR-CX визначає коефіцієнт потужності в мережі. При цьому не має значення, в яких фазах підключені вимірювачі струму і напруги, оскільки помилка виправляється за рахунок автоматичної активації коригування підключення. Поріг спрацювання вимірювання струму становить менше 20 мА, завдяки чому досягається надійне і точне регулювання. Можуть застосовуватися як 1 А-, так і 5 А-перетворювачі. Для цього ручне налаштування не потрібне. Завдяки

широкодіапазонному блоку живлення стає можливим вимірювання напруги в межах 90 - 550 В.

За допомогою датчика температури регулятор реактивної потужності BLR-SX може вимірювати температуру всередині комутаційної шафи і, в разі необхідності, безпосередньо через одне з вихідних реле активувати підключений вентилятор або відключати конденсатори для їх захисту. Замикаючі контакти зовнішніх термостатів, включені паралельно датчику температури, роблять можливим відключення виходів при перегріві в паралельно встановлених шафах.

Висновки по третьому розділу

В даному розділі проведено аналіз існуючих системи автоматичної компенсації реактивної енергії . Розглянуті конденсаторные установки с автоматическим регулированием компенсации реактивной энергии на $U=0,4$ кВ типа АУКРП, а також мікропроцесорні регулятори, в якості якого вибрано DCRK виробництва Lovato, а також регулятори реактивної потужності типу Beluk.

ВИСНОВКИ

Реактивна потужність, яка споживається мережею та мережевими збуреннями у вигляді гармонік, спричиняє додаткові втрати в мережі передачі та розподілу. Дана потужність покривається за рахунок використання первинної енергії на електростанціях.

Це робить ємнісну та індуктивну компенсацію в певній зоні покриття разом з живленням від місцевих електростанцій – важливим фактором. Транспортування реактивної потужності на великі відстані неможливе без значного впливу на діапазон напруг.

Тому одним із головних питань, що вирішуються при проєктуванні та експлуатації систем електропостачання, є питання про компенсацію реактивної енергії, яке включає розрахунок і вибір компенсувальних пристроїв, їх регулювання та розміщення на території підприємства.

При роботі багатьох промислових пристроїв з'являється реактивна складова, яку неможливо виключити зовсім, але можна застосовувати засоби, що зменшують її споживання з живильної мережі. Щоб цього досягти, необхідно наблизити джерело реактивної потужності до місця її споживання, та зменшити її отримання з енергосистеми. Це розвантажить живильні лінії та трансформатори від реактивної складової.

У даній роботі проведено синтез пристрою компенсації реактивної потужності.

Пристрій автоматичної компенсації реактивної потужності дозволяє регулювати реактивну енергію, що генерується в мережу енергопостачання, контролювати поточні значення струму, напруги та коефіцієнта потужності в мережі, вимірювати значення реактивної енергії, що віддається в систему, та підтримувати задану споживачем величину коефіцієнта потужності в мережі.

Проведено аналіз існуючих системи автоматичної компенсації реактивної енергії. Розглянуті конденсаторные установки с автоматическим регулированием компенсации реактивной энергии на $U=0,4$ кВ типа АУКРП,

а також мікропроцесорні регулятори, в якості якого вибрано DCRK виробництва Lovato, а також регулятори реактивної потужності типу Beluk.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ EN 50160:2023 Допустимі рівні сумісності в напрузі живлення громадських мереж низької, середньої та високої напруги
2. Постанова НКРЕКП № 310 від 14.03.2018 «Про затвердження Кодексу систем розподілу»
3. <https://www.svaltera.ua/upload/images/lovato/Technic>
4. <https://vector-vs.com/vimirjuvannja-ta-jakist-elektroenergiji-4227/elementi-kompensatsiji-reaktivnoji-potuzhnosti-2652/kontroleri-114/blr-cx-06r-l-kontroler-reaktivnoji-potuzhnosti-6-kanalnij-beluk-z-termodatchikom-2755330179>
5. Правила улаштування електроустановок/ МІНІСТЕРСТВО ЕНЕРГЕТИКИ ТА ВУГІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ/ Наказ №476 від 21.07.2017р.- Київ, 2017.
6. Б. С. Рогальський, С. О. Кузьмінська, Визначення оптимального ступеня компенсації реактивних навантажень для електричних мереж з урахуванням чутливості// Вісник ВПІ, 2004, № 5
7. Рогальський Б. С. Компенсація реактивної потужності. Методи розрахунку, способи та технічні засоби управління. І частина. Навчальний посібник. — Вінниця: 2002. — 119 с.
8. Резніченко Т.П., Омельчук А.О. Про ефективність компенсації реактивної потужності в районних електричних мережах// Енергетика и электрификация. –2001. – №6. – С. 26 – 29. 6. Указания по компенсации реактивной мощности в распределительных сетях.– М.: Энергия, 1974. – 73 с.
9. Реактивна потужність в електричних мережах : монографія / І. В. Жежеленко, Г. Г. Півняк, Г. Г. Трофімов, Ю. А. Папаїка ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. у-т «Дніпровська політехніка». Дніпро : НТУ «ДП», 2020. 72 с.