Міністерство освіти і науки України

Тернопільський НАЦІОНАЛЬНИЙ технічний Університет

імені Івана Пулюя

ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЇ

КАФЕДРА СИСТЕМ ЕЛЕКТРОСРОЖИВАННЯ ТА КОМП’ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ

**ГУДЗЬ ВОЛОДИМИР МАКСИМ ОЛЕГОВИЧ**

УДК 621.9

**АНАЛІЗ ЗАСОБІВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ**

**ПОТУЖНОСТІ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**

**ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ЦЕХУ МЕХАНІЧНОГО ЗАВОДУ**

8.05070103 «Електротехнічні системи електроспоживання»

**Автореферат**

дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Тернопіль

2017

|  |  |
| --- | --- |
| Роботу виконано на кафедрі систем електроспоживання та комп’ютерних технологій в електроенергетиці Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України | |
| **Керівник роботи:** | кандидат технічних наук, доцент кафедри систем електроспоживання та комп’ютерних технологій в електроенергетиці **Оробчук Богдан Ярославович,** Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, |
| **Рецензент:** | кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин  **Костик Любов Миколаївна,**  Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, |

Захист відбудеться 22 лютого 2017 р. о 14.00 годині на засіданні екзаменаційної комісії № 40 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Микулинецька, 46, навчальний корпус № 7, ауд. 310

**ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОТИ**

**Актуальність теми.** Проблема компенсації реактивної потужності (РП) виникла одночасно з практичним використанням змінного струму. Основним навантаженням у промислових електроме­режах є асинхронні електродвигуни і розподільчі трансформатори. Ці індуктивні навантаження в процесі роботи є джерелом реактивної електроенергії (реактив­ної потужності), яка здійснює коливальні рухи між навантаженням і джерелом (генератором), не пов'язана з виконанням корисної роботи, а витрачається на створення електро­магнітних полів і створює додаткове навантаження на силові лінії живлення.

Зниження реактивної потужності, циркулюючої між джерелом струму і приймачем, а отже, і зниження реактивного струму в генераторах і мережах виконується компенсацією реактивної потужності (КРП).

Існує два взаємодоповнюючі один одного шляхи зниження реактивних наван­тажень мережі та генераторів: установка спеціальних компенсуючих прис­троїв або зниження реактивної потужності самих приймачів електроенергії. Основними технічними засобами, за допомогою яких здійснюється компенсація реактивній потужності на промислових підприємствах, є:

- синхронні двигуни;

- синхронні компенсатори;

- конденсаторні батареї;

- статичні тиристорні конденсатори;

- компенсаційні перетворювачі та ін., а також допоміжні засоби компенсації, які крім компенсації реактивної потужності покращують показники якості електричної енергії.

Наявність в мережі вказаних пристроїв сприяє підтримці балансу реактивної потужності і заданих рівнів напруги в точках їх включення.

В сучасній електроенергетиці знайшли широке застосування пристрої компенсації реактивної складової потужності. В загальному випадку пристрої будуються на основі реактивних елементів реакторів чи конденсаторів. За необхідністю та значенням компенсованої потужності застосовують паралельне чи послідовне з’єднання відповідної кількості елементів. В залежності від режиму електричної мережі компенсатори виконуються комбінованими та включають як індуктивний, так і ємнісний елементи, що дозволяє балансувати реактивну потужність як під час її дефіциту, так і під час надлишку. Зважаючи на нестаціонарний режим роботи мережі, наприклад, при зміні реактивної потужності на проміжку часу, розробляються пристрої з тиристорним регулю­ванням та автоматизованими системами управління. Це дозволяє постійно під­тримувати рівень реактивної потужності у вузлі мережі в заданому діапазоні.

Таким чином, робота є актуальною, так як задача оптимального електро­споживання як на стадії проектування так і на стадії експлуатації систем електропостачання, не можлива без застосування засобів компенсації реактивної потужності.

**Мета і завдання дослідження.**

Метою дипломної роботи є аналіз сучасних систем і комплексів компен­сації реактивної потужності та алгоритмів їх функціонування, дослідження зниження втрат електричної енергії в мережах, а також керування компенсу­вальними установками.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

1. Підвищення точності розрахунку компенсації реактивної потужності на основі проведеного аналізу засобів компенсації реактивної потужності в системі електропостачання і врахування додаткових факторів;

2. Розроблення автоматичного регулятора потужності батарей конден­са­торів для мереж споживачів і енергопостачальних компаній, для яких тривалий період має місце недопустиме відхилення напруги;

3. Розроблення блок-схеми алгоритму керування збудженням групи синхронних двигунів для забезпечення технічних значень вхідної реактивної потужності, заданих енергопостачальною компанією.

**Об'єкт** **дослідження -** режими роботи джерел реактивної потужності та засобів керування ними.

**Предмет** **дослідження** – способи компенсації реактивної потужності, енергетичні характеристики режимів роботи джерел реактивної потужності.

**Наукова новизна роботи.**

Наукова новизна роботиполягає у розробленому регуляторі конденса­торних батарей, який ліквідує основний недолік відомих пристроїв автоматич­ного регулювання, а саме він враховує специфічні вимоги до компенсації реактивної потужності, які полягають в тому, що для деяких характерних добових режимів електроспоживання більш доцільно підтриму­вати на вводі вузла задане значення ВРП, а для інших режимів – рівень напруги в допустимих межах.

**Практична значущість роботи**.

Практичне значення одержаних результатів роботи полягає в тому, що вдосконалені методи розрахунку компенсації реактивної потужності, які реалізують системний підхід і дають можливість обґрунтовувати підвищені рівні компенсації в мережах підстанцій і споживачів. Запропонований спосіб керування батареями конденсаторів і синхронними двигунами дозволяє реалізу­вати оптимальні режими в процесі керування за критерієм мінімальних втрат.

**Апробація.**

Основні положення роботи і її результати доповідалися на V Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 17-18 лис­топада 2016 р. (Тернопіль 2016 р.)

**Структура роботи.**

Робота складається зі вступу, 8 розділів, висновків, переліку посилань (34 найменування), 2 додатки.

Загальний обсяг текстової частини – 134 сторінoк, 21 таблиці, 20 рисунків.

**ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** подано загальну характеристику роботи: стан розробки наукової проблеми й актуальність, мету і завдання роботи, об’єкт та предмет дослідження, описану наукову новизну і практичну значимість отриманих результатів.

**У першому розділі «Аналітична частина»** проаналізовано роль компен­сації реактивної потужності в мережах, розглянуто основні проблеми компен­сації реактивної потужності, представлено сучасні заходи щодо зменшення споживання реактивної потужності та можливість їх застосування до компенса­ції реактивної потужності, зокрема за допомогою статичних компенсаторів реактивної потужності.

Одним із основних питань, пов'язаних з підвищенням якості електроенергії в мережах, що вирішуються як на стадії проектування, так і на стадії експлуатації систем промислового електропостачання, є питання компенсації реактивної потужності, що включає вибір доцільних джерел, розрахунок і регулювання їх потужності, розміщення джерел в системі електропостачання.

Вибір раціональної компенсації реактивної потужності призводить до зниження втрат потужності через її перетоки, до забезпечення належної якості споживаної електроенергії за рахунок регулювання та стабілізації рівня напруги в електромережах, досягненню високих техніко-економічних показників роботи електроустановок.

Зменшення споживання реактивної потужності на підприємстві досяга­ється шляхом компенсації реактивної потужності, як природними заходами (обмеження впливу ЕП на мережу живлення шляхом впливу на сам приймач), так і за рахунок спеціальних КУ в відповідних точках системи електропостачан­ня. Заходи, що проводяться щодо компенсації реактивної потужності експлуато­ваних або проектованих електроустановок споживачів, можуть бути розділені на наступні дві групи:

1) не потребують застосування компенсуючих пристроїв;

2) пов'язані із застосуванням компенсуючих пристроїв.

Дослідження процесу роботи конденсаторних установок при наявності вищих гармонік в мережі живлення, особливо при роботі вентильних перетво­рювачів, представляє важливе практичне значення для визначення можливості застосування конденсаторних батарей в системах електропостачання промисло­вих підприємств.

При наявності швидких і різкозмінних навантажень стає перспективним застосування статичних компенсаторів реактивної потужності, що забезпечують практичну можливість безінерційного регулювання реактивної потужності. При цьому поліпшуються умови статичної стійкості енергосистеми в цілому, що забезпечує додаткову економію за рахунок підвищення техніко-економічних показників роботи електроустановок.

**У другому розділі «Науково-дослідна частина»** було виконанорозробку структурної схеми автоматичного регулятора потужності конденсаторних батарей та пояснено принцип його роботи, запропоновано систему керування збудженням СД з метою регулювання напруги.

Основним недоліком відомих пристроїв автоматичного регулювання є те, що вони не враховують специфічних вимог до компенсації реактивної потуж­ності, які полягають в тому, що для деяких характерних добових режимів електроспоживання більш доцільно підтримувати на вводі вузла задане значен­ня вхідної реактивної потужності (ВРП), а для інших режимів – рівень напруги в допустимих межах.

В роботі запропоновано реалізувати вказані принципи керування за допомо­гою автоматичного перемикача параметра управління (рис. 1).

Рисунок 1 - *Структурна схема автоматичного перемикача параметра управління*:

24 – електронний годинник; 25 – органи порівняння; 26-31 – задавачі часу періодів електроспоживання; 32, 33 – логічні елементи «АБО»; 34, 35 – RS-тригери

Даний регулятор ліквідує основний недолік відомих пристроїв. Він вра­хо­вує специфічні вимоги до компенсації реактивної потужності, які полягають в тому, що для деяких характерних добових режимів електроспоживання більш доцільно підтримувати на вводі вузла задане значення ВРП, а для інших режимів – рівень напруги в допустимих межах.

**У третьому розділі «Технологічна частина»** розглянуто технологічну характеристика цеху, виконано визначення категорії надійності і вибір схеми силової мережі, проведено характеристику споживачів електроенергії.

Умовний механічний завод, інструментальний цех якого ми досліджуємо в дипломні роботі, виробляє перфорований лист для будівництва та дизайну, комплектуючі деталі для механізмів і обладнання різної складності, нестан­дартні корпусні металоконструкції, складні профілі високої точності, полотна ґратчасті для сільськогосподарських машин, сітки металеві для сантехніки, секції огородження, контейнери для сміття, металеві меблі тощо.

Ремонтно-механічна ділянка укомплектована металорізальними верстата­ми різних груп: фрезерними, токарними, шліфувальними, свердлильними. Тут також встановлені преси гідравлічні та кривошипні. Перевезення вантажів здійснюють крани електричні та наземний електротранспорт.

За ступенем небезпеки ураження електричним струмом приміщення цеху відносяться до категорії особливо небезпечних із-за наявності струмопровід­ного пилу, струмопровідної підлоги та можливості одночасного дотику людини до металоконструкцій, що поєднані з землею, та до корпусів електроустат­кування, які випадково опинилися під напругою.

Так як досліджуваний цех відноситься до другої категорії надійності, то ми вибираємо двотрансформаторну підстанцію з незалежними вводами електро­­енергії до трансформаторів на рівні високої напруги 10 кВ.

В дипломній роботі було використано радіальну схему, яка володіє висо­кою надійністю живлення і можли­вістю застосування автоматики. Ця схема електропоста­чання являє собою сукуп­ність ліній цехової електричної мережі, що відходять від розподіль­них пристроїв нижчої напруги трансформаторної під­станції і призначених для живлення невеликих груп приймачів електроенергії, розташованих в різних місцях цеху.

Таким чином, розподіл електроенергії на рівні 0,4 кВ у інструменталь­ному цеху передбачається здійснювати від трансформаторної підстанції через магістральний струмопровід до розподільчих шафа, а дальше від розподільчих пунктів окремими лініями за найкоротшими трасами електроенергія має надхо­дити до кожного окремого електроприймача.

**У четвертому розділі «Проектно-конструкторська частина»** виконано вибір силових трансформаторів, кабелю живлення для підстанції, високовольт­них вимикачів, проводів живлення і обладнання, зокрема проводів для живлення цехового обладнання та силових розподільних пунктів.

Повна потужність силових трансформаторів обчислюється за формулою:

, (1)

де n - кількість трансформаторів на підстанції; так як заводська підстанція має два трансформатори підстанція, то n = 2.

 кВА

Умова вибору трансформатора:



Вибираємо трансформатор ТМН – 2500/10 з такими паспортними даними:

Sнт=2500 кВА, Uвн=10 кВ, Uнн=0,4 кВ, Рхх=4,6 кВт, Ркз=23,5 кВт, Uкз=5,5%.

Реактивна потужність по цеху становить Qсм=2144 кВАр.

Активна потужність по цеху дорівнює: Рсм=2346 кВт.

При компенсації реактивної потужності через трансформатор буде прохо­дити активна потужність Рм = 2346 кВт і не компенсована реактивна потужність Q = 144 кВАр.

Потужність трансформатора за умови компенсації реактивної потужності обчислюється за формулою:

 кВА (2)

Виходячи з цього, можна встановити на підстанцію два трансформатора потужністю 2500 кВА.

Реактивна потужність через трансформатори Qт обчислюється за форму­лою:

 кВАр. (3)

В якості розподільних пунктів - на основі кількості приєднань і допусти­мого струму - вибираємо розподільчі шафи типу ШР-11.

При об'єднанні шаф живлення в групи за магістральною схемою, живлення всіх шаф здійснюється кабелями однакового перетину. Прокладка кабелів від КТП до розподільних шаф здійснюється в кабельних каналах.

**У п’ятому розділі «Спеціальна частина»** виконано озрахунок струмів короткого замикання, зокрема трифазного і однофазного, виконано перевірку апаратів захисту та проведено розрахунок втрат напруги.

Протікання струму КЗ призводить до збільшення втрат електричної енергії в провідниках та контактах, що супроводжується їх сильним нагріванням. Пе­ре­грів струмоведучих частин може призвести до швидкого старіння та руйну­вання ізоляції, зварювання та вигорання контактів електричних апаратів, втрату механічної міцності шин та провідників. Провідники та комутаційні пристрої повинні витримувати нагрів струмами короткого замикання, тобто бути терміч­но стійкими.

При трифазному КЗ всі фази мережі знаходяться в однакових умовах, тому його називають симетричним. При інших видах КЗ у кожній фазі мережі протікають різні струми, у зв’язку з чим векторні діаграми струмів та напруг скривлюються. Такі замикання називають несиметричними.

Однофазні короткі замикання є найчастішим видом ушкоджень у мере­жах із глухозаземленими нейтралями, що характерно для чотирипровідних мереж напругою до 1 кВ. Замикання фази на землю в мережі 380 В становить небезпеку для асинхронного двигуна і є однофазним коротким замиканням, що характери­зується протіканням великих струмів сумірних зі струмами міжфаз­них коротких замикань.

Пониження напруги у споживача в порівнянні з нормальною позначається на роботі струмоприймача - силового або освітлювального навантаження. Тому при розрахунку будь-якої лінії електропередачі відхилення напруг не повинні пе­ревищувати допустимих норм. Мережі, вибрані за струмом навантаження і роз­раховані на нагрів, як правило, перевіряють за втратою напруги. Схема роз­рахунку втрат напруги в режимі мінімального навантаження по­ка­зана на рис. 2. Мінімальне навантаження для цеху становить 20% від мак­си­ма­ль­ного. При цьому відключені батареї конденсаторів Р=479,8 кВт, Q=440,6 кВАр.

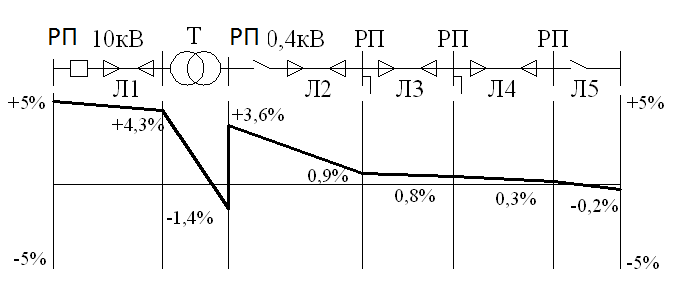


Рисунок 2 - *Розрахунок втрати напруги в режимі мінімального навантаження*

Так як на РП 0,4 кВ напруга знаходитися в допустимому діапазоні (+5%, - 5%), то на всіх верстатах воно буде в допустимому діапазоні.

**У шостому розділі «Обґрунтування економічної ефективності»** про­ведено економічне обґрунтування компенсації реактивної потужності та визначено економічну і енергетичну ефективність розрахунку.

**У сьомому розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуа­ціях»** розглянутозаходи з електробезпеки в електроустановках, виконанорозрахунок занулення інструментального цеху, розроблено заходи з надання першої допомоги потерпілому при ураженні електрич­ним струмом.

**У восьмому розділі «Екологія»** обгрунтовано актуальність проблеми охорони навколишнього середовища, визначено джерела електромагнітних випромінювань та розроблено заходи щодо захисту від дії електромагнітного поля виробничого персоналу.

**ВИСНОВКИ**

На підставі виконаних досліджень в дипломній роботі зроблено наступні висновки:

1. Виконаний аналіз показав, що оптимальна компенсація реактивної потужності є одним з найбільш ефективних способів зниження втрат електро­енергії в електричних мережах промислових підприємств і енергосистем.

2. Виконано дослідження принципової схеми частотно-регульованого електроприводу та впливу ввімкнення конденсаторів 10 кВ на рівень перенапруг у електричній мережі.

3. Проаналізовано процеси під час увімкнення конденсаторної батареї 10 кВ на рівень перенапруг на шинах 0,38 кВ системи електропостачання, що містить частотно-регульовані електроприводи та регульовані конденсаторні установки.

4. Показано, що за певних комбінацій під’єднаних до шин 0,38 кВ конденсаторів під час перехідного процесу можуть виникати небезпечні перенапруги на обладнанні електроприводів.

5. Проаналізовано вплив на рівень перенапруг додаткових індуктивностей в колах конденсаторної батареї 10 кВ і фільтрових реакторів, які встановлюють у колах конденсаторів 0,38 кВ.

6. Показана можливість значного зниження комутаційних перенапруг застосуванням попереднього вмикання шунтівного резистора у колі основних контактів вимикача конденсаторної батареї 10 кВ.

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Гудзь В.-М.О Компенсація реактивної потужності в системі електропостачання. Актуальні питання розвитку агропромисло­вого комплек­су: зб. тез доповідей студентської науково-практичної конференції (Бережани, 22–24 листоп. 2016) // Бережани: ВП НУБІП України «Бережанський агротех­нічний інститут», 2016. – С. 87.

АНОТАЦІЯ

**Гудзь В.-М.О. Аналіз засобів компенсації реактивної потужності в системі електропостачання інструментального цеху механічного заводу**, 8.05070103 – Електро­технічні системи електроспоживання, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2017.

У дипломній роботі проведено огляд та виконаний аналіз засобів компен­сації реактивній потужності, розглянуто алгоритми управління і функціонування систем управління. Показано, що конденсаторні батареї мають переваги над синхронними двигунами, тому вони набули найбільшої популярності. Останніми роками у зв'язку із значним прогресом у створенні швидкодіючих силових напівпровідникових приладів з’явилася тенденція до створення досконаліших структур перетворювачів змінного струму. Зокрема, для керування рівнем реактивної потужності.

**Ключові слова:** джерела реактивної потужності, конденсаторна батарея, транзисторні перетворювачі.

**ANNOTATION**

**Vadym Maxym Gudz. Analysis means of reactive power compensation the system power supply of tool shop of mechanical plant,** 8.05070103 – Electrotechnical Systems of Electricity Consumption; Ternopil Ivan Puluj National Technical University; Ternopil, 2017.

In the diploma paper examined the review and the analysis of reactive powerfully with those considered control algorithms and operation of control systems. Shown that the condenser batteries have advantages over synchronous motors, so they were most popular. Recent years due to the significant progressive catfish in the creation of high-speed power semiconductor devices there was a tendency towards the creation. Rennes improved structures of alternating current. In particular, management different levels of reactive power.

**Key words:** sources of reactive power, capacitor bank, transistor converters.