

Хмельницький національний університет

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма «Електропобутова техніка»

**Розробка стенда для дослідження компенсації  
реактивної потужності.**

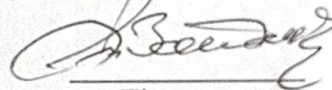
Шифр БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент  
3 курсу група ЕТс 22-2

  
Підпис

Стецюк В.Р.  
Ініціали, прізвище  
старший викладач  
Залізецький А.М.  
Ініціали, прізвище

Керівник

  
Підпис, дата

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

О.Г.Тимошук  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
Зав. Кафедри МАЕЕС

  
Підпис, дата

к.т.н., Неймак В.С.  
Ініціали, прізвище

  2     06   2025р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем  
Освітній рівень бакалавр  
Галузь знань 14 Електрична інженерія  
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

  
2. 06 2025 р.

ЗАВДАННЯ  
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ  
**Стецюк Володимир Русланович**  
Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи **Розробка стенда для дослідження компенсації реактивної потужності.**

Керівник роботи **Залізецький Анатолій Михайлович. Ст.викладач**  
Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 2.02 2025 р. № 23

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 2.06.25

3. Вихідні дані до роботи: **розробка стенда для наглядного процесу компенсації реактивної потужності.**

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)  
Розробка схеми електричної принципової.

Вибір елементної бази схеми та їх призначення.

Принцип дії схеми електричної принципової стенда.

Обробка результатів проведених досліджень компенсації реактивної потужності.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

**Аркуш 1.** Схеми підключення конденсаторних установок. Документ оглядовий (A1). **Аркуш 2.** Класифікація компенсуючих пристроїв. Схема електрична структурна (A1). **Аркуш 3.** Стенд для компенсації реактивної потужності. Схема електрична принципова (A1). **Аркуш 4.** результати та розрахунки проведених досліджень. Таблиця розрахункова (A1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

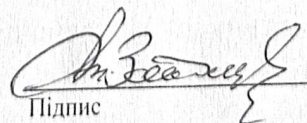
Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Огляд та аналіз методів та засобів компенсації реактивної потужності.	05.05.25 р.	
2. Розробка схеми електричної принципової стенда	20.05.25 р.	
3. Проведення та обробка результатів досліджень компенсації реактивної потужності асинхронного двигуна	20.06.25 р.	

Студент

  
Підпис

Стецюк В.Р.  
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

  
Підпис

Залізецький А.М.  
Ініціали, прізвище

## АНОТАЦІЯ

до бакалаврської роботи студента спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

1. Прізвище, ім'я та по батькові Стецюк Володимир Русланович  
2. Тема бакалаврської роботи Розробка стенда для дослідження компенсації реактивної потужності

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання рецензента

4. Об'єм бакалаврської роботи: креслень 4 арк., сторінок записки 51

5. Сенс цієї роботи полягає у тому, що розроблений стенд дасть змогу дослідити процес компенсації реактивної потужності.

У роботі описується розробка схеми електричної принципової стенда, вибір елементної бази схеми та їх призначення також принцип дії схеми електричної принципової стенда.

В розрахунково-пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам.

В аналітичному розділі зроблено аналіз Основних відомостей про потужність електричного струму, Реактивну потужність та її компенсацію Зокрема, реактивна потужність це потужність що споживають споживачі з індуктивним навантаженням. Здійснено аналіз методів та засобів компенсації реактивної потужності. Описано узагальнені способи та типи компенсації реактивної потужності . Приведено різноманітні типи схем підключення компенсуючих пристроїв

В проектно-конструкторському розділі наведено технічні характеристики асинхронного двигуна . Запропоновано параметри які має забезпечити стенд для компенсації реактивної потужності. З цією метою було попередньо розроблено електричну принципову схему стенда . Здійснено розрахунок та вибір елементної бази схеми, конденсаторів комутаційної та захисної апаратури. Описано Принцип дії схеми електричної принципової стенда.

В розрахунково-дослідницькому розділі здійснено розрахунок ємності та потужності конденсаторної батареї.

Проведено дослідження, компенсації реактивної потужності за допомогою розробленого стенда. Відповідно зроблено розрахунки по даних дослідженнях, які вказують на різницю значень повної, активної та реактивної потужностей до та після застосування стенда компенсації реактивної потужності.

Зроблено узагальнені висновки про важливість компенсації реактивної потужності.

Підпис студента [підпис]  
«25» серпня 2025 р.

### РІШЕННЯ ЕК

Протокол 8 від «30» 06 2025 р.

Оцінка проекту ЕК 5.0/A

Рекомендації ЕК Виробдження в навчальний процес

Особливі відмітки -

Технічний секретар [підпис]

«30» 06 2025 р.

Зміст	с.
Вступ.....	3
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	4
1.1 Основні відомості про потужність електричного струму.....	4
1.2 Реактивна потужність та її компенсація.....	6
1.3 Методи та засоби компенсації реактивної потужності.....	11
1.4 Джерела реактивної потужності.....	13
1.4.1 Конденсаторні батареї.....	13
1.4.2 Синхронні електродвигуни.....	17
1.4.3 Статичні джерела реактивної потужності.....	20
1.5 Споживачі реактивної потужності.....	23
1.5.1 Асинхронні двигуни.....	24
1.5.2 Силові трансформатори.....	27
1.5.3 Зварювальні трансформатори.....	29
1.5.4 Дугові електричні печі.....	31
1.5.5 Люмінесцентні лампи.....	32
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	34
2.1 Розробка схеми електричної принципової.....	35
2.2 Вибір елементної бази схеми та їх призначення.....	36
2.3 Принцип дії схеми електричної принципової стенда.....	37
3 РОЗРАХУНКОВО- ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.....	39
3.1 Розрахунок ємності та потужності конденсаторної батареї.....	39
3. Проведення та обробка результатів досліджень компенсації реактивної потужності асинхронного двигуна.....	46
Висновки.....	48
Список використаної літератури.....	50

БРМА25.00.00.000 ПЗ				
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
Виконав	Стецюк		<i>[Signature]</i>	23.06
Перевір.	Фалізецький		<i>[Signature]</i>	24.06
Н.контр.	Тимошук		<i>[Signature]</i>	
Затвер.	Медведь		<i>[Signature]</i>	
Розробка стенда для дослідження компенсації реактивної потужності			Літера	Аркуш
			ХНУ група –ЕТс22-2	

## Вступ

Питання компенсації реактивної потужності (РП) є дуже актуальним для економії енергосистеми.

Реактивна потужність суттєво відрізняється від активної потужності. Активна потужність виробляється джерелом (підстанцією) доходить до споживача і перетворюється в корисну роботу. Наприклад, світяться лампи, нагріваються електропечі.

Реактивна потужність по аналогії з активною приходиться до споживача і повертається назад у мережу, це нескінченний процес.

Після вище сказаного постає питання, як виникає та для чого потрібна реактивна потужність. Вся причина полягає в наявності індуктивних елементів у споживачах електричної енергії. В будинках працюють ліфти, на підприємствах станки, для різного виду робіт, які приводяться в дію асинхронними двигунами.

Оскільки в асинхронному двигуні присутня обмотка вона і є індуктивним навантаженням. При проходженні змінного струму по індуктивному навантаженні виникає електромагнітне поле, яке створює реактивна потужність.

Тобто, якщо електроприймачі мають індуктивне навантаження вони обов'язково споживають реактивну потужність, без її споживання їх робота неможлива.

Асинхронні двигуни є основними елементами в різних типах електроприводів, тому їх можна назвати найбільшими споживачами реактивної потужності.

Справа в тім, що при проходженні реактивної потужності від джерела до споживача у провідниках виникають втрати активної потужності, збільшення навантаження на електромережу в цілому.

Підсумувавши сказане зробимо висновок, потрібно розвантажити мережу від перехідних процесів реактивної потужності, зменшити втрати активної потужності, Для цього в енергетиці застосовують пристрої компенсації реактивної потужності. Компенсація реактивної потужності важлива для

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		3

промислових підприємств та економічно вигідна, оскільки там багато споживачів реактивної потужності, тому там необхідне зменшення її споживання.

Якщо компенсуючий пристрій (конденсаторна батарея) джерело реактивної потужності буде розташований близько до споживача РП асинхронного двигуна відповідно між ними буде відбуватися обмін.

В такому випадку буде можливість розвантажити великий участок мережі при проходженні по ній реактивної потужності від підстанції де вона виробляється до розподільчого пункту підприємства, та зменшити, втрати активної потужності.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		4

# 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1 Основні відомості про потужність електричного струму.

Потужність у колі змінного струму можна виразити комплексним числом. У якому активна потужність буде дійсною частиною, реактивну потужність – можна вважати уявною складовою, повну потужність – приймемо модулем, а кут  $\varphi$  (зсув фаз) – за аргумент. Це можна виразити математичним співвідношенням. У ланцюгах однофазного  $P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$ , де  $U$  і  $I$  це середньоквадратичні значення напруги і струму, а  $\varphi$  – кут зсуву фаз між ними[4].

Для трифазних ланцюгів електрична потужність визначається як сума потужностей окремих фаз. Активна потужність  $P$  пов'язана з повною потужністю  $S$ , виразом  $P = S \cdot \cos\varphi$ ,

Реактивна потужність обумовлена коливаннями енергії електромагнітного поля в колі змінного струму,  $Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi$ . У тому випадку коли струм відстає від напруги, зсув фаз вважається позитивним, якщо випереджає, зсув фаз приймають за негативне значення[11].

Фізичний зміст реактивної потужності характеризує енергію, що передається від джерела на реактивні елементи [11].

Якщо навантаження має активно-індуктивний характер, то реактивна потужність є позитивною величиною [11]. При навантаженні активно-ємнісного характеру потужність приймає негативне значення. Це означає, що реактивна потужність не має відношення до роботи електричного струму.

Якщо у пристрої наводиться позитивна реактивна потужність, то він її споживає, а при негативній реактивній потужності – є генератором. Ця умовність, пов'язана з тим, що більшість пристроїв (наприклад, асинхронні двигуни) мають активне навантаження[11].

Синхронні генератори, встановлені на електричних станціях, можуть як бути як і споживачами так і джерелами реактивної потужності, це залежить від

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		5

величини струму збудження, що протікає в обмотці ротора. Така особливість синхронних електричних машин дає можливість здійснювати регулювання заданого рівня напруги мережі. Для розвантаження енергомережі, підвищення коефіцієнта потужності електричних установок потрібно знизити реактивну потужність методом компенсації [11].

Повну потужність – виражають величиною:  $S = U \cdot I$ , що є добутком значень напруги та струму, залежність повної потужності з активною та реактивною можна записати [11]:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (1)$$

де  $S$ - повна потужність, ВА;

$P$  – активна потужність, Вт;

$Q$  – реактивна потужність Вар.

Розрахунок векторної діаграми, що показує залежність повної, активної та реактивної електричної потужностей (рисунок 3) проводиться за формулою:  
 $S = P + Q$ .

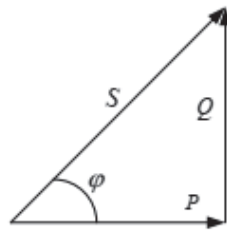


Рисунок 3 – Векторна діаграма потужностей [5].

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.

6

## 1.2 Реактивна потужність та її компенсація.

Споживання реактивної енергії з електричної мережі не виконує корисної роботи. Ця енергія необхідна для створення електромагнітного поля, яке необхідне для функціонування електричних двигунів та трансформаторів.

Споживання реактивної потужності від електричної мережі є не бажаним, так як воно не виконує корисної роботи а лише приводить до збільшення потужності генераторів, трансформаторів. Одночасно це впливає на збільшення площі перерізу мережевих кабелів для зменшення активних втрат і падіння напруги [5].

При обмеженні споживання реактивної потужності, можна зменшити встановлену потужність генераторів, трансформаторних підстанцій, а також знизити навантаження на енергосистему, не збільшуючи перерізів кабелів, проводів та інших струмоведучих частин [5].

Найважливіші чинники впливу споживання реактивної потужності та наслідки передачі електроенергії [8] зображено в таблиці на рисунку 4.



Рисунок 4 Найважливіші чинники впливу реактивної потужності на передачу електроенергії.

Тому виникає необхідність генерувати реактивну потужність максимально близько до її споживача за допомогою пристроїв компенсації реактивної потужності (ПКРП) [5].

Основними споживачами реактивної потужності на промислових підприємствах є асинхронні двигуни. На їх роботу приходиться 65–70% споживаної реактивної потужності. Слід відзначити, що 20–25% реактивної потужності споживають трансформатори. На лінії електропередачі та інші приймачі (люмінесцентні лампи, індуктивні печі і та ін.) припадає 10% споживання [10].

Коли реактивна потужність досягає зниження до значення:  $Q$  до  $Q - Q_k$  у цей момент кут зсуву фаз  $\varphi_1$  зменшується до  $\varphi_2$ , в результаті цього відбувається збільшення коефіцієнта потужності при не змінній величині переданої активної потужності [10].

При передачі реактивної потужності від електричних станцій у енергосистему та мережі електропостачання промислових підприємств виникають додаткові втрати [10].

У процесі передачі споживачам активної ( $P$ ) і реактивної ( $Q$ ) потужностей у провідниках системи електропостачання будуть втрати

$$\Delta P = 3I^2 R \frac{S^2}{U^2} R = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} = R + \frac{Q^2}{U^2} R = \Delta P_a + \Delta P_p, \quad (2)$$

де  $\Delta P_a$  й  $\Delta P_p$  — втрати, що зумовлені при передачі активної й реактивної потужностей [4].

Показником споживання реактивної потужності є коефіцієнт потужності (КП), чисельно рівний косинусу кута ( $\varphi$ ) між струмом і напругою [2].

Коефіцієнт потужності, що споживається виражається, як відношення споживаної активної потужності до повної:

$$\cos(\varphi) = \frac{P}{S} \quad (3)$$

Коефіцієнтом  $\cos\varphi$  прийнято характеризувати рівень реактивної потужності двигунів, генераторів і мережі підприємства в цілому[5].

Виникає необхідність виробництва реактивної потужності безпосередньо біля споживачів, оскільки втрати на виробництво і передачу всієї необхідної реактивної потужності від шин електричних станцій значно великі[10].

З наведеного співвідношення (2) видно , що при зниженні переданої реактивної потужності  $Q$  втрата активної потужності в мережі знижується від величини  $\Delta P_1$  до величини  $\Delta P_2$ , цього результату досягають пристроями компенсації реактивної потужності [4].

Таким чином економічно доцільно від генераторів електричних станцій передавати частину реактивної потужності, а більшу частину компенсувати на шинах підстанцій. Виникає завдання вибору видів, потужності і місць розміщення компенсуючих пристроїв, що забезпечують баланс реактивної потужності в режимі максимального і мінімального навантажень. Це забезпечить значенні зниження сумарних витрат на виробництво і передачу реактивної потужності[10].

У системі електропостачання в цілому і для кожного вузла в будь-який момент часу необхідно дотримуватися балансу. Сумарне значення реактивних потужностей, що поступають у вузол і що відходять від вузла необхідно звести до мінімуму. Рівняння балансу реактивної потужності можна записати [10].

$$Q_{Г\Sigma} = Q_{н\Sigma} + \Delta Q_{тр\Sigma}, \quad (4)$$

де  $Q_{Г\Sigma}$ – сумарне постачання реактивної потужності джерел;

$Q_{н\Sigma}$ – сумарне реактивне навантаження споживачів;

$\Delta Q_{л\Sigma}$  – сумарні втрати реактивної потужності в лінії мережі;

$\Delta Q_{mp\Sigma}$  – сумарні втрати РП в трансформаторах мережі.

Із наведеного рівняння (4) видно те, що процеси генерації й споживання реактивної енергії збігаються в часі. Всі члени правої частини рівняння у системах є величинами змінними. За умови стабільної частоти струму баланс реактивної потужності досягають зміною спаду напруги. В тих випадках, якщо реактивна потужність мережі електропостачання не досягає достатнього значення, щоб компенсувати реактивну потужність споживачів при заданій напрузі, напруга спадає до тих значень, що зможуть забезпечити баланс реактивних потужностей [10]. При зміні співвідношення реактивних потужностей джерел і приймачів зміниться значення на протилежне. В результаті напруга підвищиться на певну величину. Це дасть можливість до збереження балансу реактивних потужностей.

Проаналізувавши сказане вище можна ствержувати, що підстанції електропостачання потребують від споживачів зниження частки реактивної потужності в мережі. [5].

Для зниження реактивної потужності в мережі необхідна компенсація. Це важлива і необхідна умова економічного та надійного електропостачання підприємства. Тому буде доцільно застосувати пристрої компенсації реактивної потужності [5].

Застосування компенсації реактивної потужності має такі переваги:

- зниження загальних витрат на електроенергію;
- зменшення навантаження елементів розподільчої мережі (підвідних ліній, трансформаторів і розподільних пристроїв), тим самим продовжуючи їх термін служби;
- зниження теплових втрат струму та витрат на ремонт, мінімізувати вплив вищих гармонік придушити мережеві перешкоди, знизити несиметрію фаз [5];
- домогтися більшої надійності і економічності розподільчих мереж.

Чим ближче значення  $\cos(\varphi)$  до одиниці, тим менше частка взятої з мережі реактивної потужності. Варто зазначити що у кожного споживача цей коефіцієнт буде мати індивідуальне значення. Коефіцієнт потужності  $\cos(\varphi)$  для асинхронних двигунів становить орієнтовне значення 0,7;  $\cos(\varphi)$  електродугових печей і зварювальних трансформаторів - досягає приблизно 0,4;  $\cos(\varphi)$  верстатів і машин не вище 0,5. Це свідчить проте, що повне використання потужностей мережі можна досягти компенсацією реактивної потужності . [5]

Компенсують реактивну потужність такими пристроями:

- синхронними компенсаторами,
- синхронними двигунами.
- конденсаторними установками. [5]

На рисунку 5 зображена векторна діаграма, що демонструє роботу компенсуючого пристрою.

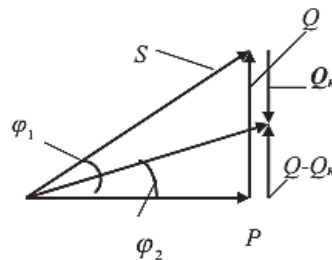


Рисунок 5– Векторна діаграма роботи пристрою компенсації реактивної потужності.

Один із найбільш поширених засобів КРП передусім на промислових підприємствах є конденсаторні установки . Це можна пояснити низкою істотних переваг цих засобів компенсації , наприклад, порівнюючи із синхронними двигунами та компенсаторами[1]

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.

11

### 1.3 Методи та засоби компенсації реактивної потужності.

Цей процес розглянемо рисунку 6, на ньому наведена спрощена схема передачі електроенергії з двома ступенями трансформації [1].

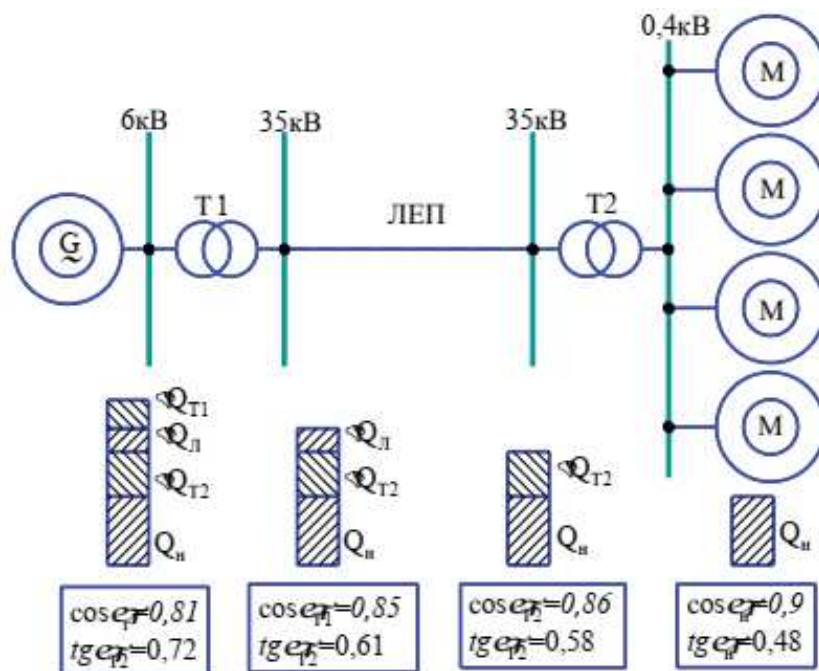


Рисунок 6 – Пояснення процесу компенсації реактивної потужності

Кожна вітка системи електропостачання зумовлює збільшення реактивної потужності, що призводить до зміни коефіцієнту потужності. Так, якщо реактивна потужність навантаження на шинах 0,4 кВ становить 48 % активної потужності ( $Q_H = \operatorname{tg} \varphi_H \cdot P_H = 0,48 \cdot P_H$ ), то вже на шинах генераторної напруги ця цифра досягає значення 72 %. Приведенні дані що показують приріст реактивної складової потужності на 24 % це приблизне значення [14].

При проектуванні системи електропостачання і її експлуатації розглядаються і впроваджуються заходи, що не потребують спеціальних компенсуючих пристроїв. До них можна віднести [10]:

- впорядкування технологічного процесу для підвищення коефіцієнта потужності ;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

БРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.

12

- використання синхронних двигунів як джерел реактивної потужності у всіх випадках, коли у цьому буде необхідність;
- впровадження пристрої, що обмежують роботу холостого ходу – асинхронних двигунів, трансформаторів, заміна і тимчасове відключення трансформаторів при малому значенні навантаження.

Технічні засоби компенсації без яких здійснити вище зазначені заходи не можливо. На рисунку 7 зображено класифікацію цих засобів[3].



Рисунок 7– Класифікація компенсуючих пристроїв.

Найбільш популярними серед представлених вище засобів компенсації є : синхронні компенсатори, синхронні двигуни, конденсаторні установки.

## 1.4 Джерела реактивної потужності

Відомо, що реактивна потужність генерується певним елементом електропостачальної системи або електроприймачем, якщо він створює реактивний ємнісний (або активно-ємнісний) характер навантаження, його називають джерелом реактивної енергії, а реактивну потужність позначають  $Q_c$ .

Розглянемо конкретні приклади джерел компенсації реактивної потужності.

### 1.4.1 Конденсаторні батареї

Компенсуючі пристрої на базі статичних конденсаторів, (конденсаторні батареї) застосовують для підвищення коефіцієнта потужності  $\cos(\varphi)$  електричних установках промислових підприємств і розподільних мереж, а також забезпечують підтримання  $\cos(\varphi)$  на заданому рівні (не нижче 0,9). Установа складається з конденсаторних батарей, які вмикаються і вимикаються автоматично за допомогою контактів, оснащених пристроєм, здатним обмежувати пік струму включення на основі необхідної для установки ємнісної реактивної потужності [5].

Головними їх перевагами є:

- малі втрати активної потужності (0,0025-0,005 кВт/кВАр);
- простота експлуатації; можливість збільшення або зменшення встановленої потужності залежно від потреби;
- можливість встановлення в будь-якій точці мережі: індивідуальне розміщення біля споживача, або групами в цехах підприємства.[10].

До недоліків конденсаторів відносяться:

- згенерована реактивна потужність на пряму залежить від напруги мережі;
- чутливість до спотворення напруги живлення (вищих гармонік).

Залежно від місця призначення, параметрів напруги та потужності, яку видає конденсаторна батарея (КБ) застосовуються різні типи схем з'єднання

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		14

конденсаторних пристроїв можуть бути одно та трифазні з відповідним типом з'єднанням конденсаторів, паралельним чи паралельно-послідовним. В електричних мережах змінного струму напругою 220 і 380 В. найчастіше застосовують трифазні конденсаторні пристрої з паралельним з'єднанням конденсаторів, що з'єднанні за схемою трикутника [4].

Схеми такого підключення трифазних КБ на напругу 380 В зображені на рисунку 8, де вказані можливі варіанти установки захисної та комутаційної апаратури, де (автоматичний) вимикач АВ, рубильник Р із запобіжником П, запобіжник П з контактором КТ або магнітним пускателем) [4].

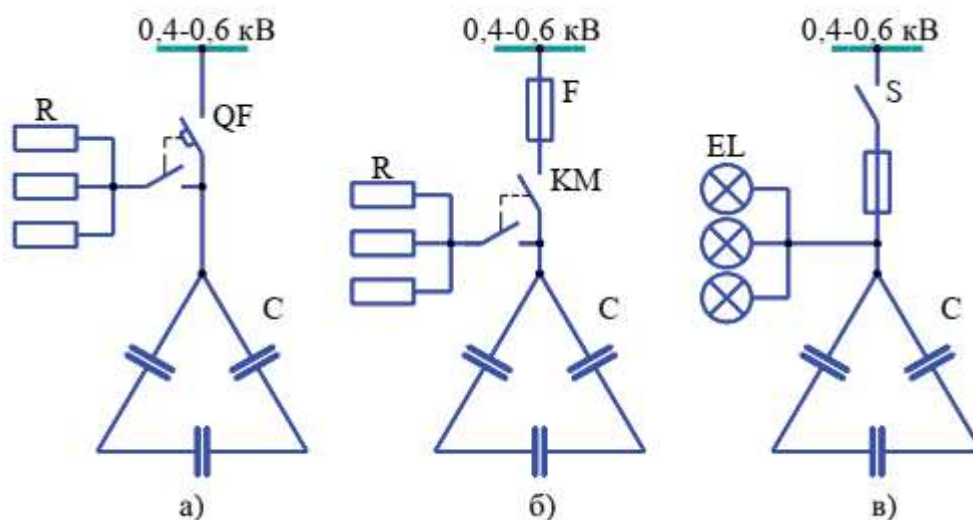


Рисунок 8 –Схема зєднання конденсаторів до шин на напругу 380 В [1].

Компенсацію реактивної потужності електроустановок промислових підприємств здійснюють за допомогою статичних конденсаторів, що включають звичайно паралельно електроспоживачам. Це так звана поперечна компенсація [4].

При різко змінному навантаженні мереж, наприклад при підключенні дугових печей, зварювальних установок виникає необхідність послідовного включення конденсаторів, так званої поздовжньої компенсації [7].

У мережах напругою до 1000 В и вище розміщення конденсаторів має відповідати умові найбільшого зниження втрат активної потужності від реактивних навантажень[4].

Залежно від місця підключення конденсаторних установок компенсація може бути розділена на індивідуальну, групову і централізовану [10].

Індивідуальна - з розміщенням конденсаторів безпосередньо в струмоприймачах. У цьому випадку від реактивних струмів розвантажується вся мережа системи електропостачання (мережі зовнішнього й внутрішнього електропостачання й розподільні мережі до струмоприймачів) [4].

Недоліком індивідуальної компенсації є унеможливлення повного використання встановленої потужності конденсаторів, розміщених у струмоприймачів. На рис. 9 представлена схема індивідуальної компенсації [5].

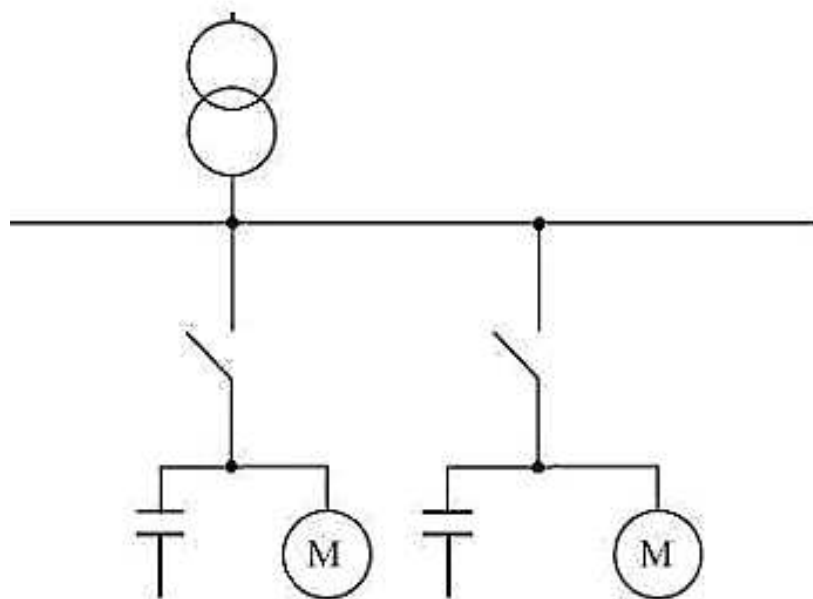


Рисунок 9 – Індивідуальна компенсація.

При централізованій компенсації компенсуючі пристрої підключають до шин цехової трансформаторної підстанції на стороні до 1 кВ або до шин розподільного пункту напругою 10 кВ. При цьому не розвантажується розподільна живильна мережа РП [10].

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.

16

При груповій компенсації конденсатори розміщують у силових шафах і шино проводів які знаходяться у електрощитовій підприємства. В результаті цього розподільча мережа що подає живлення до струмоприймачів не розвантажується від реактивних струмів, але значно збільшується період роботи батареї конденсаторів у порівнянні з індивідуальною компенсацією. На рисунку 10 представлено схему групової компенсації [4].

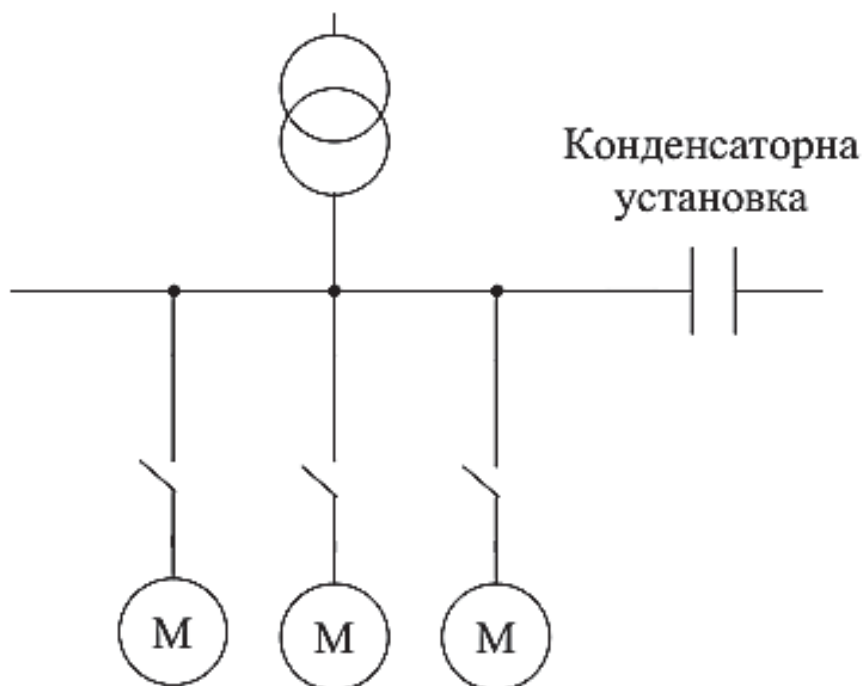


Рисунок 10 – – Групова компенсація.

У першому випадку від реактивних струмів розвантажуються трансформатори підстанції. У цьому випадку розподільна мережа нижчої напруги від реактивних струмів не розвантажуються. У другому випадку від реактивних струмів розвантажуються тільки мережі енергосистеми, а трансформатори підстанцій не розвантажуються [4].

Компенсація реактивної потужності за допомогою конденсаторних установок на багатьох підприємствах не завжди ефективна, через інерційність

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

регулювання їх потужності, оскільки батареї конденсаторів є нерегульованими або ступінчасто-регульованими джерелами реактивної потужності. Батарею необхідно розділяти на секції, кожна з яких слід підключати через окремий комутаційний апарат [10].

Для цього необхідно створити новітні компенсуючі пристрої статичних джерел реактивної потужності (ДРП), з відповідними вимогами:

- висока швидкість зміни реактивної потужності;
- мати властивість бути як джерелом так і споживачем реактивної потужності (оскільки батареї конденсаторів можуть бути не тільки джерелами, а ще й споживачами реактивної потужності) [5].

#### 1.4.2 Синхронні електродвигуни

Як джерела реактивної потужності широко використовуються синхронні двигуни (СД). В електропостачанні промислових підприємств допускається при потребі спільна робота батарей конденсаторів і СД. При цьому конденсатори компенсують базисну частину добового графіка реактивної потужності, а СД застосовують переважно для зниження навантаження у піковий період. СД являють собою плавно регульоване джерело реактивної потужності [10].

Компенсуючі властивості двигуна визначається за навантаженням його валу, напругою, підведеною до його клем і струмом збудження. Зі зменшенням струму порушення нижче номінального, як результат, здатність компенсації двигуна знижується [4].

Звичайно в практичних умовах навантаження синхронних двигунів на валу становить 50—100% від номінальної. При таких навантаженнях, а також при регулюванні напруги, підведеної до електродвигуна, можна використати електроприводи із синхронними двигунами як компенсатори реактивної потужності при роботі їх з випереджальним коефіцієнтом потужності [4].

Розглянемо U-подібну характеристику синхронного двигуна (рисунок 11).

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		18

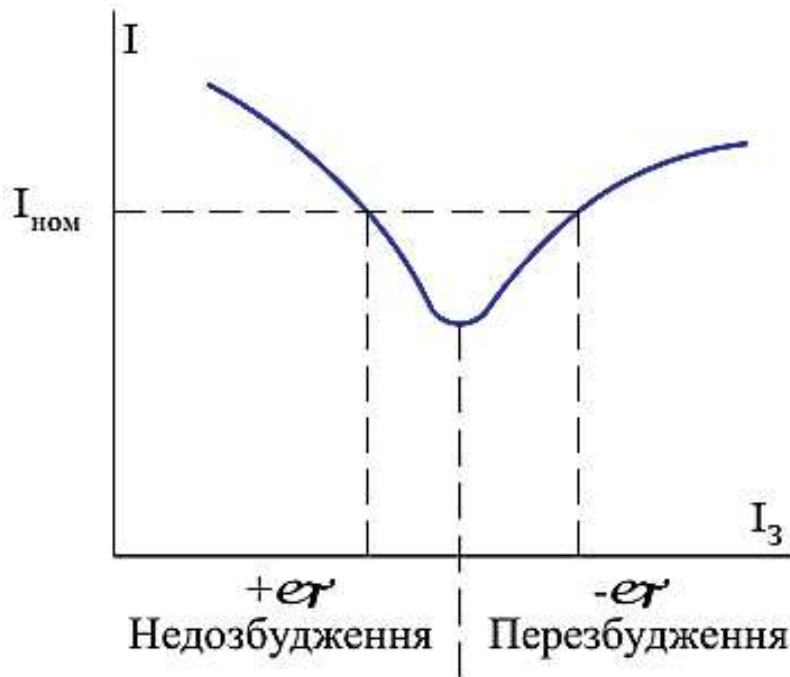


Рисунок 11 - U-подібна характеристика синхронного двигуна[1].

U-подібна характеристика показує залежність струму статора  $I$  від струму збудження  $I_3$  за незмінних напруги живлення ( $U = \text{const}$ ) і навантаження на валу ( $P = \text{const}$ ).

При перезбудженні синхронний компенсатор генерує випереджальну реактивну потужність, а при недозбудженні споживає відстаючу реактивну потужність. Це властивість синхронних компенсаторів використовується для регулювання реактивної потужності й підвищення коефіцієнта потужності й для регулювання напруги в електричних мережах[4].

Ліва частина кривої (рисунок 11) відповідає роботі двигуна з недозбудженням. У такому режимі вектор струму відстає від вектора напруги (кут  $\varphi$  має додатні значення), і синхронний двигун є приймачем реактивної енергії.

Права частина кривої відповідає роботі двигуна з перезбудженням. У такому режимі роботи вектор струму випереджає вектор напруги (кут  $\varphi$  має від'ємні значення), а синхронний двигун є джерелом реактивної енергії [1].

Згідно з U-подібною характеристикою синхронний двигун має найменше значення струму статора при  $\cos \varphi = 1$ . Але більшість синхронних двигунів, виготовлених серійно, мають номінальні значення коефіцієнта потужності  $\cos \varphi_{ном} = 0,88-0,9$  і в нормальному режимі роботи працюють із перебудженням та є джерелами реактивної потужності [1]. Можна дійти висновку, що головна функція синхронного двигуна, це перетворення електричної енергії в механічну, при потребі є ефективним засобом КРП. Перевага синхронного двигуна та, що він є регульованим пристроєм КРП, що дозволило плавню змінювати величини реактивної потужності[1].

В залежності від величини струму збудження синхронний двигун може виконувати роль генератора РП, або споживати її, також може ні генерувати ні споживати реактивну потужність. Важливою умовою такого регулювання є те, щоб величина струму збудження певний період часу не була значно більшою його номінального значення. Збільшення струму збудження що перевищує номінальне значення короткочасно допустиме для підвищення стійкості, зменшення коливань реактивної потужності й напруги в мережі[1].

Формула за якою визначають максимальне значення РП, що генерується СД відповідно до умов нагріву обмоток і металу статора і ротора, має вигляд[3]:

$$Q_{*сд} = K_{зр} \frac{P_{н} \operatorname{tg} \varphi_{н}}{\eta_{н}} = K_{зр} Q_{н} \quad (5),$$

де  $P_{н}$ ,  $Q_{н}$  - номінальні активна та реактивна потужності СД;

$K_{зр}$ - коефіцієнт, що характеризує найбільшу величину перевантаження по РП;

$\operatorname{tg} \varphi_{н}$  та  $\eta_{н}$ - відповідають номінальним даним двигуна.

Додаткові втрати активної потужності в СД, пов'язані з генерацією  $Q_{сд}$ , визначаються за виразом:

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		20

$$\Delta P_{\text{сд}} = \frac{D^1}{Q_{\text{н.сд}}} Q_{\text{сд}} + \frac{D^2}{Q^2_{\text{н.сд}}} Q^2_{\text{сд}} \quad (6)$$

де  $D_1$  та  $D_2$  значення які визначаються в залежності в типу СД [7].

Якщо не довантажити синхронний двигун активною потужністю існує ймовірність що він перевантажиться реактивною потужністю. На величину перевантаження, крім величини активної потужності, впливає ще й значення величини напруги на обмотках статора синхронного двигуна. Перевантаження коефіцієнта потужності в межах коливань напруги становить приблизно

$$U = \pm 0,05 U_{\text{ном}} [1].$$

Згідно із зазначеним можна зробити висновок: якщо синхронний двигун під час роботи в складі робочої машини працює з певним недовантаженням активною потужністю, його доцільно завантажити реактивною потужністю. Проте використання більш потужних синхронних двигунів, ніж необхідно відповідно до забезпечення вимог технологічного процесу, лише для підвищення їх компенсувальної спроможності економічно недоцільне. Цю причину можна пояснити як зростанням вартості робочого механізму, а також не зовсім ефективним використанням всієї потужності двигуна [1].

Зазначається, що за жодних умов синхронний двигун не зможе видавати реактивну потужність, що буде дорівнювати повній потужності. Гранично-допустиме значення реактивної потужності синхронних двигунів становить від 60–80 % його повної потужності.

Основним критерієм визначення раціонального режиму роботи синхронного двигуна як регульованого засобу КРП є додаткові втрати активної потужності на генерацію реактивної потужності, визначають за формулою, кВт:

$$\Delta P = K_1 \cdot \frac{Q_{\text{сд}}}{Q_{\text{ном}}} + K_2 \cdot \frac{Q_{\text{сд}}^2}{Q_{\text{ном}}^2}, \quad (7)$$

де  $K_1, K_2$  – величина в залежності від типу синхронного двигуна.

Важлива перевага СД є здатність забезпечувати стійкість роботи енергосистеми: при питомих втратах 0,0085-0,018 кВт/квар та споживають менше активної потужності в режимі генератора РП, порівняно з СК [7].

#### 1.4.3 Статичні джерела реактивної потужності.

Для потужних споживачів з нелінійними характеристиками й ударними навантаженнями (головні приводи безперервних та обтискних прокатних станів, було розроблено принципово нові статичні джерела реактивної потужності (СДРП) [7].

Основні елементи що забезпечують роботу статичних ДРП конденсатор і дросель – накопичувачі електромагнітної енергії також наявні вентиляти та тиристри, вони надають можливість швидкісного перетворення. Одну з таких схем, що застосовується в мережах де навантаження може різко змінюватись розглянемо на (рисунку 12) [10].

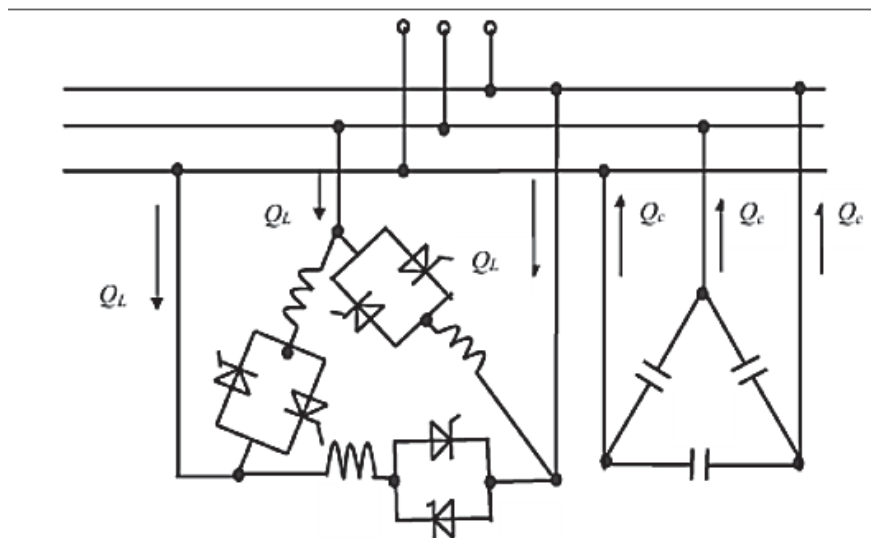


Рисунок 12 – Статистичне джерело реактивної потужності .

Перевагою таких пристроїв є: висока швидкодія, відносна простота і надійність роботи.

Водночас слід відмітити й недоліки: висока вартість пристрою, великі питомі втрати активної потужності, що у рази більші ніж втрати в конденсаторах [7].

Статичні тиристорні компенсатори - електричні навантаження які споживають, і генерують реактивну потужність. Слід зазначити, що потужність, споживана з мережі, змінюється в добовий період, разом з тим змінюється й баланс реактивної потужності мережі. Це призводить до не прийнятних змін амплітуди напруги.

Статичні тиристорні компенсатори СТК мають можливість у безперервному режимі та практично миттєво, відповідно до запитів енергомережі, вводити ємнісну або індуктивну складову, регулюючи таким чином напругу в лінії та підтримуючи необхідний рівень генерації реактивної потужності., статичні компенсатори здатні знижувати коливання активної потужності, які відбуваються через зміну напруги. Статичні тиристорні компенсатори застосовуються як у розподільчих, так і внутрішніх електричних мережах підприємства.

Статичні тиристорні компенсатори - ефективний засіб що має здатність вирівнювати коливання напруги при швидкозмінному навантаженні. Тиристорні компенсатори реактивної потужності є практично єдиним економічно вигідним рішенням для віддалених підприємств, де мережа досить слабка. [9]

Основні характеристики СТК:

- номінальна напруга: від 6 до 110 кВ;
- потужність тиристорних компенсаторів: складає 1,360 МВАр;
- передача імпульсів керування тиристорами по волоконно-оптичних каналах;
- надлишкові тиристори у кожній фазі; резервування ключових компонентів;
- модульна конструкція для легкого обслуговування [9].

Конфігурація СТК складається з конденсаторних батарей, що працюють як фільтри вищих гармонік, та мають назву фільтрокомпенсуючі ланцюги, які мають 2 варіанти підключення: постійно підключені до енергомережі або вмикаються через вимикачі відповідно, усе залежить від поставлених вимог

заповнювачем, і включені паралельно їм за схемою «трикутника» три фази реакторів, що керуються тиристорами [10]. Тиристри можуть змінювати кут при чому струм у реакторі може відстежувати струм в навантаженні або реактивну потужність в енергосистемі. На рисунку 13 схеми включення статичного тиристорного компенсатора до мережі 110 Кв.

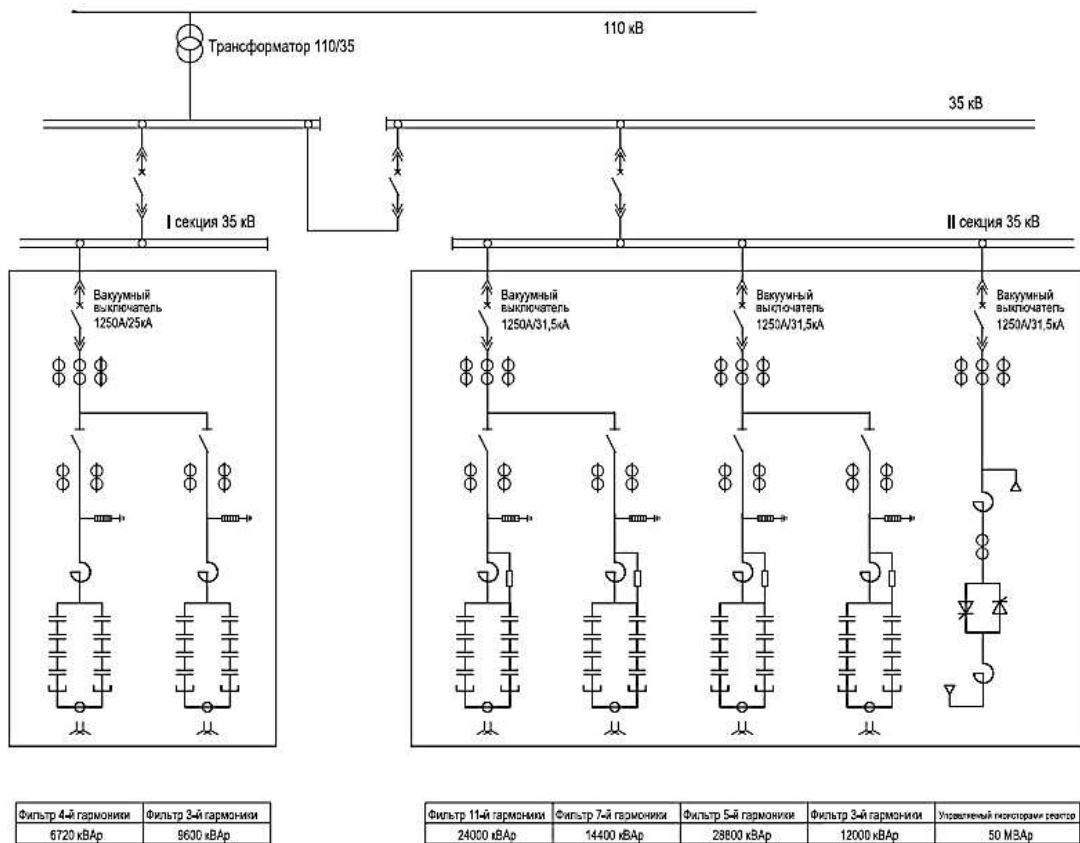


Рисунок 13 Схеми включення статичного тиристорного компенсатора до мережі 110 Кв.

Номінальна потужність та схема підключення СТК індивідуальна для кожного об'єкта все залежить від параметрів схеми електропостачання, виду компенсованого навантаження та вимог щодо якості електроенергії [9].

### 1.5 Споживачі реактивної потужності

Основними споживачами реактивної потужності на промислових підприємствах є асинхронні двигуни.

На їх частку приходиться 65–70% споживаної реактивної потужності, 20–25% приходиться на трансформатори і 10% на повітряні лінії електропередачі, люмінесцентні лампи, індуктивні печі [10].

#### 1.5 1 Асинхронні двигуни.

Принцип дії асинхронних двигунів як із короткозамкненим, так і з фазним ротором однаковий полягає у законі електромагнітної індукції.

Перехідні процеси, що відбуваються в асинхронних двигунах, та у трансформаторах схожі [1]. Реактивну потужність асинхронного двигуна  $Q_{\text{АД}}$  виражають через дві основні складові – реактивну потужність у режимі неробочого ходу  $Q_0$  і приріст споживання реактивної потужності за заданих значень його навантаження  $\Delta Q_{\text{АД}}$ .

Розрахунок Реактивної потужності асинхронного двигуна, подібний до розрахунку РП для силового трансформатора [12]. Формула для розрахунку має наступний вигляд, кВАр:

$$Q_{\text{АД}} = Q_0 + \Delta Q_{\text{АД}} = Q_0 + \Delta Q_{\text{НОМ АД}} \beta_{\text{АД}}^2, \quad (8)$$

де  $Q_{\text{НОМАД}}$  – реактивна потужність двигуна яку виражають при номінальному навантаженні, кВАр, за формулою:

$$Q_{\text{НОМАД}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\eta_{\text{НОМ}}} \operatorname{tg} \varphi_{\text{НОМ}}, \quad (9)$$

де  $P_{\text{НОМ}}$ ,  $\eta_{\text{НОМ}}$ ,  $\operatorname{tg} \varphi_{\text{НОМ}}$  – номінальні значення потужності, ККД і коефіцієнта потужності асинхронного двигуна відповідно, до його паспортних даних ;

$$\beta_{\text{АД}} = \frac{P \eta_{\text{НОМ}}}{P_{\text{НОМ}} \eta} \approx \frac{P}{P_{\text{НОМ}}}. \quad (10)$$

Реактивна потужність у режимі холостого ходу  $Q_0$  із визначається практичними розрахунками при чому допускається похибка за формулою приведеною нижче, кВАр:.

$$Q_0 \approx \sqrt{3}I_0 U_{\text{НОМ}} = \sqrt{3}I_0 U_{\text{НОМ}} \cos\varphi_{\text{НОМ}} \frac{I_0}{I_{\text{НОМ}} \cos\varphi_{\text{НОМ}}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\eta_{\text{НОМ}}} \frac{I_0}{I_{\text{НОМ}} \cos\varphi_{\text{НОМ}}}. \quad (11)$$

На значення реактивної потужності й величина коефіцієнта потужності асинхронних двигунів впливають такі умови :

- величини навантаження. У трифазних асинхронних двигунів у режимі холостого ходу реактивної потужність становить 60–80% реактивної потужності при номінальному навантаженні[1]. Тому в разі зменшення навантаження на валу двигуна ( $\beta < 1$ ) коефіцієнт потужності  $\cos \varphi$  істотно зменшується (рисунок 14) і в режимі холостого ходу значення становить  $\cos \varphi = 0,1-0,2$ ;
- величини напруги. Коливання напруги живлення обмоток статора асинхронного двигуна  $U_1$  відносно номінального значення зумовлює зміну основного магнітного потоку  $\Phi$  та ЕРС  $E_1$ , що врівноважує згідно з значну частину напруги  $U_1$ . У разі збільшення напруги живлення до вищої за номінальне значення відбувається збільшення струму намагнічування  $I_{\text{НОМ}}$  та основного магнітного потоку  $\Phi$ .

Слід зазначити той факт , що при насиченій магнітній системі асинхронного двигуна основний магнітний потік збільшиться не рівномірно збільшенню струму намагнічування, його величина буде значно менше [1].

У цей період реактивна потужність розсіювання буде збільшуватися рівномірно напрузі, бо магнітний опір потоків розсіювання, замкнених здебільшого по повітрю, залишиться незмінним [1]. Якщо взяти до уваги, що навантаження на валу асинхронного двигуна залишиться незмінним, то, дійдемо висновку, що коефіцієнт потужності  $\cos \varphi$  асинхронного двигуна при збільшені напруги живлення до вищої за номінальне значення буде досить низьким.

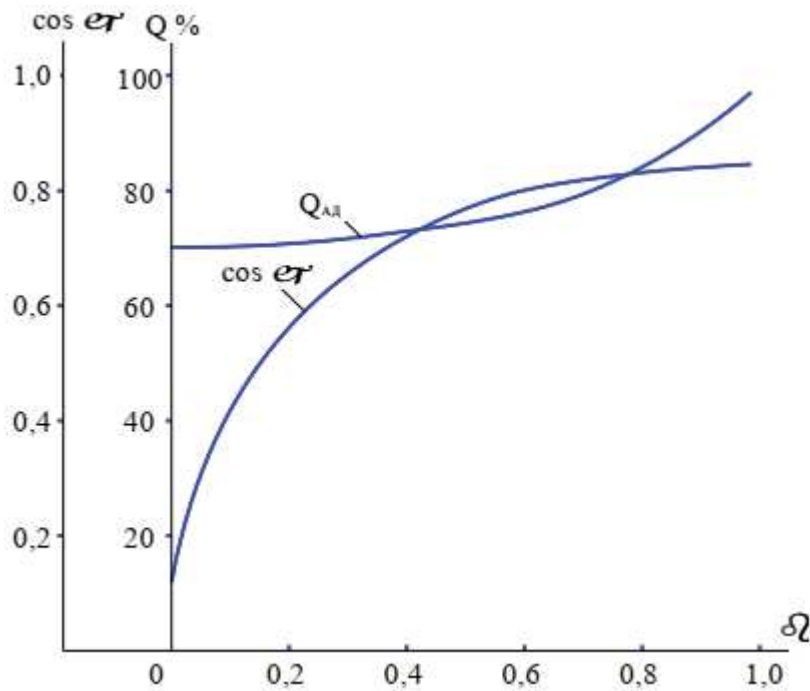


Рисунок 14– Типові графіки зміни реактивної потужності  $Q_{ад}$  і коефіцієнта потужності  $\cos \varphi$  асинхронного двигуна залежно від коефіцієнта навантаження  $\beta$

Ураховуючи те, що насиченість магнітної системи в такому разі буде меншою ніж за напруги, вищої за номінальне значення, зменшення реактивної потужності буде менш істотним [1]. Необхідно також враховувати те, що за умови незмінного значення навантаження на валу асинхронного двигуна й зниження напруги збільшується сила стуму в обмотках, а відповідно і їх нагрівання. Асинхронні двигуни розраховують так, щоб допустимі коливання напруги в межах  $\pm 5\%$  за номінального навантаження не призводили до перегрівання обмоток.

На рисунку 15 зображені типові графіки залежності коефіцієнтів потужності  $\cos \varphi$  від коливання напруги для трьох умов навантаження;

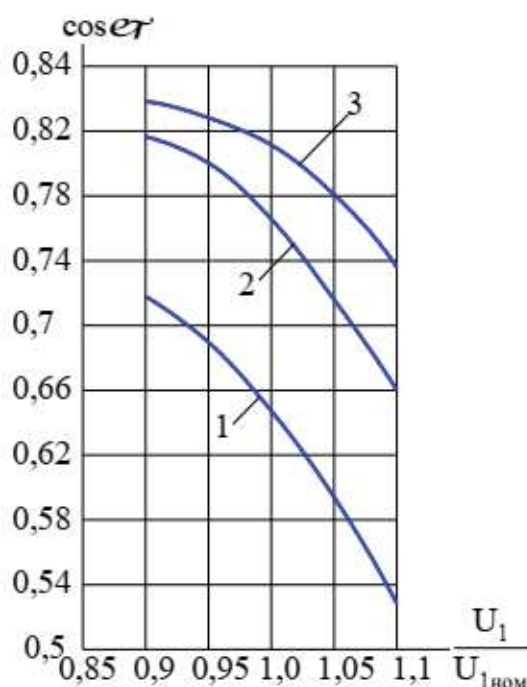


Рисунок 15 – Типові графіки зміни коефіцієнта потужності  $\cos \varphi$  асинхронного двигуна залежно [1] від коливання напруги живлення при коефіцієнті навантаження  $\beta$ : 1 –  $\beta = 0,5$ ; 2 –  $\beta = 0,75$ ; 3 –  $\beta = 1,0$

### 1.5.2 Силові трансформатори

Силовий трансформатор – це приймач реактивної енергії. Його принцип дії так як і асинхронного двигуна, пов'язаний з законом електромагнітної індукції. При подачі змінної напруги  $u_1$  на первинну обмотку (1) трансформатора з кількістю витків  $w_1$  у ній буде протікати змінний струм  $i_1$ . В результаті цього у первинній обмотці електрична енергія перетворюється в енергію змінного магнітного поля, як зазначали цей процес, можливий за наявності реактивної індуктивної потужності [1]. Магнітне поле первинної обмотки зумовлює появу двох магнітних потоків – основного  $\Phi_1$  і розсіювання  $\Phi_{1p}$ .

Аналізуючи сказане робимо висновок, що силові трансформатори є споживачами РП на їх споживання припадає 20-25 % від усієї вироблюваної

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

БРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.

28

реактивної потужності [7]. Щоб визначити повну РП, що спожив трансформатор при будь-якому навантаженні, скористаємося формулою :

$$Q_T = Q_0 + Q_p = \frac{I_{\%} S_H}{100} + \frac{u_{K\%} S_H}{100} K_3^2 = \frac{S_H}{100} (I_{\%} + K_3^2 u_{K\%}), \quad (12)$$

де  $Q_0 = \frac{I_{\%} S_H}{100}$  – РП холостого ходу трансформатора;

$Q_p = \frac{u_{K\%} S_H}{100}$  – РП що, витрачається на створення потоків розсіювання;

$I_{\%}, u_{K\%}$  Відповідно струм холостого ходу і напруга короткого замикання трансформатора;

$S_H$  - номінальна потужність трансформатора;

$K_3 = \frac{I_2}{I_{2H}}$  коефіцієнт завантаження трансформатора;  $I_H, I_{2H}$  - струм вторинної обмотки [3].

Приріст споживання реактивної потужності з достатнім для практичних розрахунків наближенням виражається за формулою[1], кВАр:

$$\Delta Q_T = I_{1\text{НОМ}} \cdot U_{1\text{НОМ}} \cdot \beta_T^2 \approx \frac{u_{K\%} \cdot S_{\text{НОМ}}}{100\%} \cdot \beta_T^2 = \Delta Q_{\text{ТНОМ}} \cdot \beta_T^2, \quad (13)$$

де  $\beta_T = I/I_{\text{НОМ}}$  – коефіцієнт навантаження трансформатора;

$u_K$  – напруга дослідного короткого замикання, кВ;

$u_K \%$  – напруга короткого замикання у відсотках до номінального значення, %;

$$\Delta Q_{\text{НОМТ}} \approx \frac{u_K \% S_{\text{НОМ}}}{100\%} \quad (14)$$

– приріст споживання реактивної потужності трансформатором за його номінального навантаження, кВАр [1] .

З урахуванням наведеного вище формулу можна записати так:

$$Q_T = Q_0 + \Delta Q_{\text{НОМТ}} \beta_T^2 \quad (15)$$

На рисунку 16 приведено зміни реактивної потужності  $Q_T$  та коефіцієнта потужності  $\cos \varphi$  силового трансформатора.

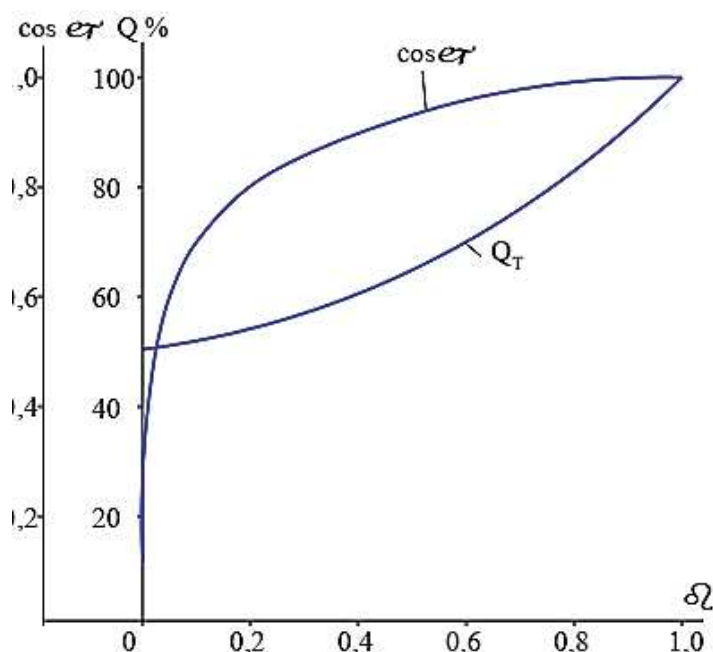


Рисунок 16 – Ілюстрація зміни реактивної потужності  $Q_T$  та коефіцієнта потужності  $\cos \varphi$  силового трансформатора відповідно до значення коефіцієнта навантаження [1].

Аналіз цих графіків дозволяє дійти висновків:

- значення реактивної потужності трансформатора без навантаження становить близько половини реактивної потужності при його номінальному навантаженні;
- зі збільшенням навантаження трансформатора відбувається зростання його реактивної потужності [1];
- робота трансформатора з малим навантаженням (10 % і менше) зумовлює істотне зниження коефіцієнта потужності, а тому економічно недоцільна й небажана.

### 1.5.3 Зварювальні трансформатори

Зварювальні трансформатори використовують для дугового й контактного зварювань. Принцип роботи та характер споживання реактивної енергії зварювальних трансформаторів ідентичний силовим

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

БРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.

30

трансформаторам. Відмінність полягає у функціонуванні зварювальних трансформаторів від силових в тому, що нормальний режим роботи зварювальних трансформаторів супроводжується постійними різкими переходами від не робочого режиму до режиму короткого замикання (в разі контактного зварювання) або до режиму, наближеного до режиму короткого замикання, відповідно коли вторинна обмотка замикається на відносно малі опори при дуговому зварюванні) [1]. Щоб обмежити струми в обмотках зварювальних трансформаторів, а також для забезпечення належних умов стійкого горіння електричної дуги обмотки мають великі індукційні опори, а при таких умовах значення коефіцієнта потужності  $\cos \phi$  будуть низькими. На рисунку 17 представлено конструкцію зварювального трансформатора[1].

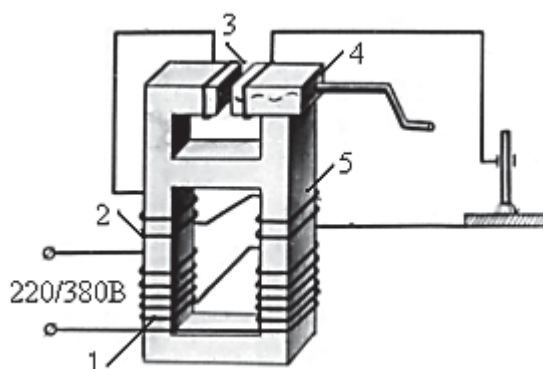


Рисунок 17 – Складові зварювального трансформатора: 1 – первинна обмотка; 2 – вторинна обмотка; 3 – повітряний зазор; 4 – дросель; 5 – магнітопровід.

У зварювальних трансформаторах індуктивний опір збільшують різними способами:

- розміщенням обмоток трансформатора на різних стрижнях магнітопроводу або в різних місцях за висотою стрижня магнітопроводу, що зумовлює зростання потоків розсіювання;
- включенням магнітних шунтів до складу магнітопроводу;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.

31

використанням дроселя (4) (рис.17), обмотка якого з'єднана послідовно з вторинною обмоткою (2) трансформатора, а конструкція магнітопроводу дозволяє змінювати величину повітряного зазору (3).

Способи для збільшення величини реактивного опору зварювальних трансформаторів зумовлюють тим самим збільшення реактивної потужності на що суттєво впливає значення величини зварювального струму [12]. Для зварювальних трансформаторів дугового зварювання номінальні значення коефіцієнта потужності становлять

$\cos\varphi_{\text{ном}}=0,3-0,5$ , а для зварювальних трансформаторів контактного зварювання –  $\cos\varphi_{\text{ном}}= 0,25-0,7$ .

#### 1.5.4 Дугові електричні печі

Принцип роботи електропечей полягає в тому, що електрична енергія перетворюється в теплову завдяки горінню електричної дуги, виникає самостійний електричний розряд у газовому середовищі й супроводжується інтенсивним виділенням тепла [1]. Ці установки бувають постійного та змінного струму. Споживачами реактивної потужності є тільки дугові установки, що працюють при змінному струмі. В електричній схемі дугової печі застосовується індуктор, який забезпечує протікання змінного струму, що подається з мережі. Магнітний потік, який утворюється цим струмом проникає у метал, що завантажений у піч, та наводить у ньому струм. Кількість тепла, що виділяється у металі, пропорційна дуговому степеню індукованого струму, опору металу та часу протікання струму. Для підсилення [1] параметрів магнітного поля застосовують магнітопровід з феромагнітного матеріалу. Індукційні установки не викликають особливих проблем для системи електропостачання, важливим недоліком є споживання реактивної потужності, на рівні з активною (корисною) потужністю [12].

Реактивну потужність дугових електропечей  $Q_{\text{EDU}}$  визначають за формулою приведеною нижче, кВАр [1]:

$$Q_{\text{ЕДУ}} = Q_{\text{ТР}} + Q_{\text{Р}} + Q_{\text{КМ}}, \quad (16)$$

де  $Q_{\text{ТР}}$  – реактивна потужність пічного трансформатора, кВАр;

$Q_{\text{Р}}$  – реактивна потужність реактора, кВАр;

$Q_{\text{КМ}}$  – реактивна потужність короткої мережі, кВАр [1].

Частка споживання реактивної енергії дуговими електропічними установками може становити до 60 % повної потужності [1].

Номінальне значення коефіцієнта потужності дугових електропічних установок становить  $\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,4-0,8$ . 13

### 1.5.5 Люмінесцентні лампи

Для штучного освітлення приміщень і територій як на виробництві, так і в побуті широко використовують світильники з люмінесцентними лампами. Незважаючи на те, що одинична потужність ламп відносно невелика (від одиниць до сотень ват), на освітлювальній мережі припадає близько 10 % виробленої електроенергії [1]. Це можна пояснити великою кількістю використання цих споживачів. В освітлювальних приладах використовують такі люмінесцентні лампи:

- люмінесцентні лінійні лампи низького тиску. Ці лампи забезпечують м'яке й рівномірне освітлення й уже впродовж кількох десятиліть їх широко використовують для забезпечення електроосвітлення як на виробництві, так і в побуті [1]. Переваги таких ламп порівняно іншими типами: довший період експлуатації, низьке споживання активної потужності, висока енергоефективність;

- компактні (економічні) люмінесцентні лампи. На сьогодні виготовляють широку гаму різних за формою та потужністю (від одиниць до сотень ват) видів компактних електричних ламп. Компактність та ефективність таких ламп досягають

завдяки правильно підібраним габаритам використанню люмінофорів на основі рідкоземельних елементів та застосуванню сучасних елементів у їх електричних схемах

- люмінесцентні лампи високого тиску (ДРЛ, ДРІ, ДНаТ). Ці застосовують для вуличного освітлення, та великих промислових підприємствах[1].

- перевагами цих ламп є: велика лінійка вибору потрібної потужності.

Проте водночас із зазначеними перевагами люмінесцентних ламп, порівнюючи з лампами розжарювання, є й низка недоліків, зокрема низький коефіцієнт потужності ( $\cos \phi_{ном} = 0,55-0,6$ ).

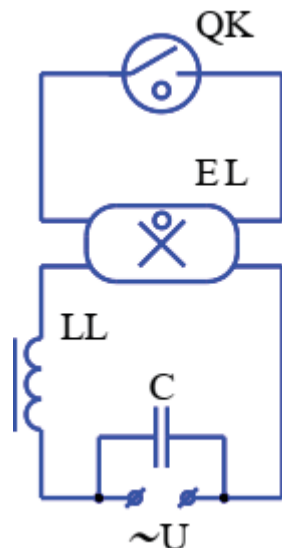


Рисунок18–Електрична схема освітлювального приладу з люмінесцентною лампою низького тиску [1].

Електрична схема освітлювального приладу з люмінесцентною лампою низького тиску

Великі значення реактивної потужності більшості освітлювальних приладів із люмінесцентними лампами зумовлено тим [1], що в електричних схемах керування використовують дросель LL (рис.18).

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.

34

## 2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

Згідно завдання на дипломне проектування необхідно розробити стенд для компенсації реактивної потужності. В якості навантаження стенда використовуємо трифазний АД з наступними параметрами:

- тип двигуна для дослідження: ТМ 42/8-4-2, який має наступні параметри:
- тришвидкісний (700; 1400; 2800об/хв.);
- при швидкості 700 об/хв. має такі параметри  $P_{\text{ном}} = 0,8$  кВт;  $\cos\varphi = 0,62$ ; ККД = 60 %;  $I_{\text{ном}} = 3,2$  А;
- при швидкості 1400 об/хв. має такі параметри  $P_{\text{ном}} = 1,8$  кВт;  $\cos\varphi = 0,86$ ; ККД = 78 %;  $I_{\text{ном}} = 4,1$  А;
- при швидкості 2800 об/хв. має такі параметри  $P_{\text{ном}} = 2,5$  кВт;  $\cos\varphi = 0,82$ ; ККД = 70 %;  $I_{\text{ном}} = 4,7$  А.

Після ознайомлення з технічними характеристиками асинхронного двигуна типу: ТМ 42/8-4-2 , консультацій з керівником практики , необхідно провести розрахунки конденсаторної установки, вибрати комутаційну , ємнісну та захисну апаратуру стенда для забезпечення параметрів пристрою компенсації:

- кількість одночасно підключених двигунів - 1;
- напруга живлення 380 В; максимальний номінальний струм до -15 А;
- потужність споживання – до 4 кВт;
- коефіцієнт потужності. –  $\cos\varphi = 0,90-0,95$ .

Відповідно вибрати комутаційну апаратуру (контактори), розраховані на даний струм та напругу . а також захисні пристрої такі як автоматичний вимикач та теплове реле.

При підключені компенсуючого пристрою (конденсаторної батареї), відповідно до проведених розрахунків , необхідно використати контактори та пакетні вимикачі номінальним струмом до 10 А. Конденсаторна батарея повинна містити до п'яти ступеней ємностей на кожен фаза, що забезпечить

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		35

більш ефективну компенсацію реактивної потужності при зміні навантаження на валу двигуна. Для комутації ступеней конденсаторів необхідно передбачити блок пакетних вимикачів.

## 2.1 Розробка схеми електричної принципової

Враховуючи попередні вимоги до стенда розроблена принципова електрична схема стенда для компенсації реактивної потужності асинхронного двигуна, яку показано на рисунку 19.

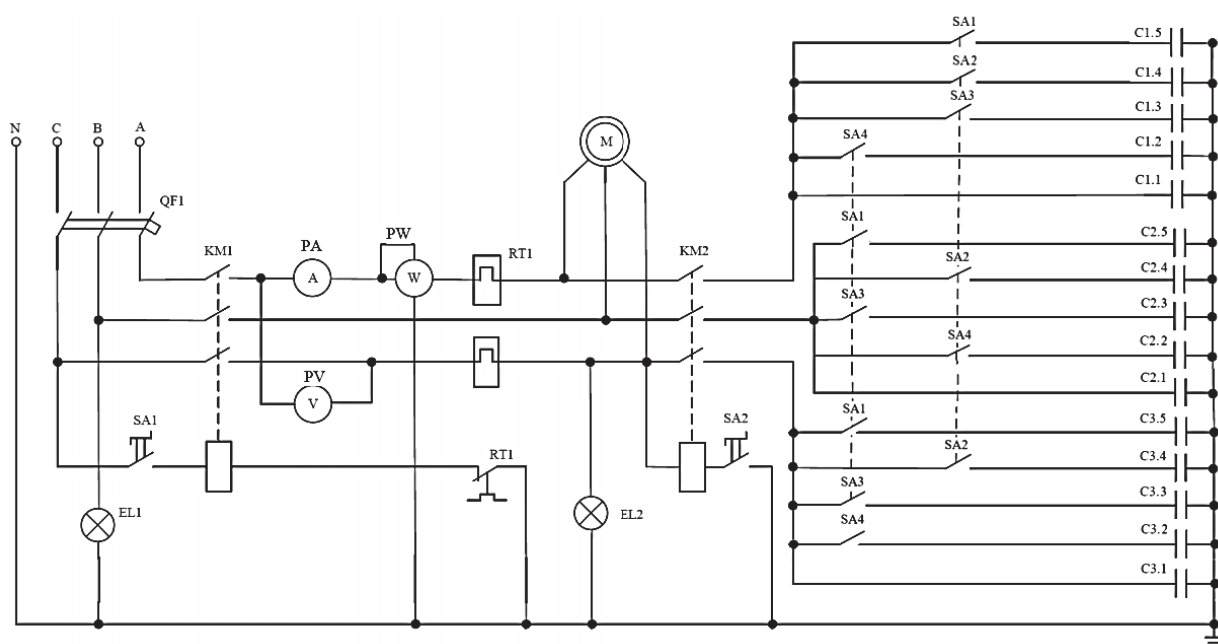


Рисунок 19– Схема електрична принципова стенда для компенсації реактивної потужності.

Електричне живлення стенда будемо забезпечувати від трифазної електромережі напругою 380 В змінного струму автоматичним вимикачем QF1. Запуск досліджуваного двигуна відбувається увімкненням контактора KM1, кнопкою SA-1 .

Для увімкнення в схему конденсаторних батарей служить контактор KM2, який вмикається кнопкою SA-2.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.

36

Для підключення ,батарей конденсаторів встановлено блок автоматичних вимикачів SA3 , SA4, SA5, SA6, SA7 закріплених на панелі керування.

Трифазна конденсаторна батарея складається з 15 конденсаторів.

На кожен фазу припадає по 5 конденсаторів, , дозволяє забезпечити необхідне значення ємностей батареї конденсаторів.

Вимірювання потужності, струму, та напруги виконується за допомогою вольтметра PV1 амперметра, PA1 та ватметра W1, підключення яких здійснюється через клема, що розташовані на передній панелі компенсаційної установки. Роботу стенда сигналізують контрольні лампи HL-1 та HL-2.

## 2.2 Вибір елементної бази схеми та їх призначення.

Комутаційні пристрої схеми забезпечують пуск, зупинку двигуна М а також включення конденсаторних батарей на паралельну роботу.

Вибираємо наступні комутаційні пристрої:

- автоматичний вимикач SA1 типу ВА 47-29  $I_{ном} = 6A$ ,  $U_{ном} = 220V$ , вмикає магнітний пускач KM1 типу: е.pro.ukc.2.25.230.1NC три полюси, струм 25A напруга 230V , що забезпечує пуск, та зупинку, асинхронного електродвигуна типу: ТМ 42/8-4-2.
- автоматичний вимикач SA2 типу ВА 47-29 з  $I_{ном} = 6A$  та  $U_{ном} = 220V$ , вмикає магнітний пускач KM2 типу: е.pro.ukc.2.25.230.1NC три полюси струм 25A напруга 230V ,служить для увімкнення та вимкнення першої ступені конденсаторної батареї.

Конденсатори батареї типу СВВ60, загальна кількість 15шт. по 5 конденсаторів на кожен фазу номіналом:

- 20 мкФ 450V (3шт);
- 10 мкФ 450V (1шт.);
- 5мкФ 450V (1шт.).

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		37

- SA3 – пакетний вимикач типу ВА 47-29  $I_{\text{ном}} 20\text{A}$   $U_{\text{ном}} 380\text{В}$ . “ Пуск, Стоп ” другої ступені конденсаторної батареї;
- SA4 – пакетний вимикач типу ВА 47-29  $I_{\text{ном}} 20\text{A}$   $U_{\text{ном}} 380\text{В}$ . “ Пуск, Стоп ” третьої ступені конденсаторної батареї;
- SA5–пакетний вимикач типу ВА 47-29  $I_{\text{ном}} 20\text{A}$   $U_{\text{ном}} 380\text{В}$ . “ Пуск, Стоп ” четвертої ступені конденсаторної батареї;
- SA6– пакетний вимикач типу ВА 47-29  $I_{\text{ном}} 20\text{A}$   $U_{\text{ном}} 380\text{В}$ . “ Пуск, Стоп ” п’ятої ступені конденсаторної батареї;
- SA7– пакетний вимикач типу ВА 47-29  $I_{\text{ном}} 20\text{A}$   $U_{\text{ном}} 380\text{В}$ . “ Пуск, Стоп ” шостої ступені конденсаторної батареї.

Лампи HL 1 та HL 2 типу AD16-16DS 220V. Червона подача трифазної напруги з мережі зелена- підключення двигуна.

Силовий роз’єм типу УТОС РШ/ВШ-32 380В 32А чотирьох полюсний служить підключення стенда до мережі 380В та підключення електричного двигуна до стенда.

### 2.3 Принцип дії схеми електричної принципової стенда.

Для проведення дослідження необхідно підключити до силового роз’єму типу УТОС РШ/ВШ-32 380В 32А електричний двигун М за допомогою трифазної штепсельної вилки.

Для увімкнення стенда встановлюємо автоматичний вимикач QF1 в положення включено , при цьому при наявності напруги в мережі електропостачання засвічується сигнальна лампа HL1.

Пуск електродвигуна М здійснюється автоматичним вимикачем SA1. При цьому створюється коло живлення котушки лінійного контактора КМ1. Контактор КМ1 спрацьовує і замикає свої нормально розімкнуті контакти і розмикає нормально замкнуті. При цьому: в силовому колі відбувається підключення статорної обмотки електродвигуна М1 до електромережі.

					<b>БРМА25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		38

## 2.4 Вмикання компенсуючого пристрою

Для включення конденсаторної батареї перемикаємо тумблер SA2 в положення “ Вкл.” .

При цьому створюється коло живлення котушки лінійного контактора KM2. Контактор KM2 спрацьовує і замикає свої нормально розімкнуті контакти і розмикає нормально замкнуті. При цьому: в силовому колі відбувається підключення першої ступені конденсаторних батареї до електромережі. Для регулювання ступенів конденсаторної батареї вмикаємо блок пакетних вимикачів SA3 , SA4, SA5, SA6, SA7, які підключають ступені ємності.

Після виконання необхідних досліджень з компенсації реактивної потужності здійснюємо наступні відключення.

Автоматичний вимикач SA2 переводять в положення “ Викл.” Секції конденсаторні батареї вмикаємо за допомогою автоматичних вимикачів: SA3,SA4.SA5,SA6,SA7

Автоматичний вимикач SA1 переводимо в положення “Викл” що призводить до розмикання контактора KM1 і зупинки двигуна М.

Для відключення стенда від мережі необхідно вимкнути автоматичний вимикач QF1.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		39

### 3 РОЗРАХУНКОВО- ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Розрахунок ємності та потужності конденсаторної батареї.

При проведенні розрахунку потужності конденсаторів для пристрою компенсації реактивної потужності до 1 кв звертається увага на два основні критерії [10].:

- підбір кількості трансформаторів ,яка буде найбільш економічно вигідна для цехових розподільчих мереж (ТП) ;
- розрахунок додаткової потужності батареї конденсаторів що дасть можливість знизити втрати у трансформаторах і в розподільчих мережах 10 кВ підприємства, до яких підключені ці трансформатори .

При розрахунку засобів КРП слід врахувати те, що компенсувати реактивну потужність повністю економічно не доцільно до ( $\cos \varphi = 1$ ), а до обґрунтованих значень, згідно нормативних документів для характерних вузлів електропостачальної системи[1].

Асинхронний двигун є одним із основних споживачів реактивної потужності в системах електропостачання. Оскільки існує велика кількість АД з різними номінальними характеристиками, то досить важко дати чіткі рекомендації по вибору потужності конденсаторів.

Відповідно до схеми підключення засобів КРП розрізняють три основні види компенсації РП: індивідуальну, групову та централізовану. Для кожного виду компенсації властивий свій метод розрахунку необхідної потужності компенсуючого пристрою[1].

Індивідуальна компенсація забезпечується за допомогою засобів КРП, що підключаються до однієї лінії і живлять тільки відповідних споживачів РП. Прикладами такої компенсації можуть бути схеми дугової електропідної установки та освітлювального приладу з люмінесцентною лампою низького тиску [1]. Широке застосування при індивідуальній компенсації отримав



установки, як пристрої КРП. Для визначення необхідної потужності конденсаторної установки на практиці застосовують різні методи розрахунку [1].

При застосуванні табличного методу формула визначення необхідної потужності конденсаторної установки матиме вигляд, кВАр:

$$Q_{\text{КБ}} = k \cdot P, \quad (17)$$

де  $P$  – найбільша активна потужність у вузлі підключення конденсаторної установки, кВт;

$k$  – коефіцієнт, що визначають за таблицею 5.13.

Таблиця 5.13 – Значення коефіцієнта  $k$

Діючі значення		Потрібний $\cos \varphi_{\text{п}}$									
		0.80	0.82	0.85	0.88	0.90	0.92	0.94	0.96	0.98	1.00
tg $\varphi_{\text{д}}$	cos $\varphi_{\text{д}}$	Значення коефіцієнта $k$									
3,18	0,30	2,43	2,48	2,56	2,64	2,70	2,75	2,82	2,89	2,98	3,18
2,96	0,32	2,21	2,26	2,34	2,42	2,48	2,53	2,60	2,67	2,76	2,96
2,77	0,34	2,02	2,07	2,15	2,23	2,28	2,34	2,41	2,48	2,56	2,77
2,59	0,36	1,84	1,89	1,97	2,05	2,10	2,17	2,23	2,30	2,39	2,59
2,43	0,38	1,68	1,73	1,81	1,89	1,95	2,01	2,07	2,14	2,23	2,43
2,29	0,40	1,54	1,59	1,67	1,75	1,81	1,87	1,93	2,00	2,09	2,29
2,16	0,42	1,41	1,46	1,54	1,62	1,68	1,73	1,80	1,87	1,96	2,16
2,04	0,44	1,29	1,34	1,42	1,50	1,56	1,61	1,68	1,75	1,84	2,04
1,93	0,46	1,18	1,23	1,31	1,39	1,45	1,50	1,57	1,64	1,73	1,93
1,83	0,48	1,08	1,13	1,21	1,29	1,34	1,40	1,47	1,54	1,62	1,83
1,73	0,50	0,98	1,03	1,11	1,19	1,25	1,31	1,37	1,45	1,63	1,73
1,64	0,52	0,89	0,94	1,02	1,10	1,16	1,22	1,28	1,35	1,44	1,64
1,56	0,54	0,81	0,86	0,94	1,02	1,07	1,13	1,20	1,27	1,36	1,56
1,48	0,56	0,73	0,78	0,86	0,94	1,00	1,05	1,12	1,19	1,28	1,48
1,40	0,58	0,65	0,70	0,78	0,86	0,92	0,98	1,04	1,11	1,20	1,40
1,33	0,60	0,58	0,63	0,71	0,79	0,85	0,91	0,97	1,04	1,13	1,33
1,30	0,61	0,55	0,60	0,68	0,76	0,81	0,87	0,94	1,01	1,10	1,30
1,27	0,62	0,52	0,57	0,65	0,73	0,78	0,84	0,91	0,99	1,06	1,27

Продовження таблиці 5.13

tgφ <sub>Д</sub>	cosφ <sub>Д</sub>	0.80	0.82	0.85	0.88	0.90	0.92	0.94	0.96	0.98	1.00
		Значення коефіцієнта k									
1,23	0,63	0,48	0,53	0,61	0,69	0,75	0,81	0,87	0,94	1,3	1,23
1,20	0,64	0,45	0,50	0,58	0,66	0,72	0,77	0,84	0,91	1,00	1,20
1,17	0,65	0,42	0,47	0,55	0,63	0,68	0,74	0,81	0,88	0,97	1,17
1,14	0,66	0,39	0,44	0,52	0,60	0,65	0,71	0,78	0,85	0,94	1,14
1,11	0,67	0,36	0,41	0,49	0,57	0,63	0,68	0,75	0,82	0,90	1,11
1,08	0,68	0,33	0,38	0,46	0,54	0,59	0,65	0,72	0,79	0,88	1,08
1,05	0,69	0,30	0,35	0,43	0,51	0,56	0,62	0,69	0,76	0,85	1,05
1,02	0,70	0,27	0,32	0,40	0,48	0,54	0,59	0,66	0,73	0,82	1,02
0,99	0,71	0,24	0,29	0,37	0,45	0,51	0,57	0,63	0,70	0,79	0,99
0,96	0,72	0,21	0,26	0,34	0,42	0,48	0,54	0,60	0,67	0,76	0,96
0,94	0,73	0,19	0,24	0,32	0,40	0,45	0,51	0,58	0,65	0,73	0,94
0,91	0,74	0,16	0,21	0,29	0,37	0,42	0,48	0,55	0,62	0,71	0,91
0,88	0,75	0,13	0,18	0,26	0,34	0,40	0,46	0,52	0,59	0,68	0,88
0,86	0,76	0,11	0,16	0,24	0,32	0,37	0,43	0,50	0,57	0,65	0,86
0,83	0,77	0,08	0,13	0,21	0,29	0,34	0,40	0,47	0,54	0,63	0,83
0,80	0,78	0,05	0,10	0,18	0,26	0,32	0,38	0,44	0,51	0,60	0,80
0,78	0,79	0,03	0,08	0,16	0,24	0,29	0,35	0,42	0,49	0,57	0,78
0,75	0,80		0,05	0,13	0,21	0,27	0,32	0,39	0,46	0,55	0,75
0,72	0,81		0,03	0,10	0,18	0,24	0,30	0,36	0,43	0,52	0,72
0,70	0,82			0,08	0,16	0,21	0,27	0,34	0,41	0,49	0,70
0,67	0,83			0,05	0,13	0,19	0,25	0,31	0,38	0,47	0,67
0,65	0,84			0,03	0,11	0,16	0,22	0,29	0,36	0,44	0,65
0,62	0,85				0,08	0,14	0,19	0,26	0,33	0,42	0,62
0,59	0,86				0,05	0,11	0,17	0,23	0,30	0,39	0,59
0,57	0,87					0,09	0,14	0,21	0,28	0,36	0,57
0,54	0,88					0,06	0,11	0,18	0,25	0,34	0,54
0,51	0,89					0,03	0,09	0,15	0,22	0,31	0,51
0,48	0,90						0,06	0,12	0,19	0,28	0,48
0,46	0,91						0,03	0,10	0,17	0,25	0,46
0,43	0,92							0,07	0,14	0,22	0,43
0,40	0,93							0,04	0,11	0,19	0,40
0,36	0,94								0,0	0,16	0,36
0,30	0,95									0,13	0,33

Сумарну розрахункову потужність батарей конденсаторів визначають так:

$$Q_{н.к} = Q_{н.к(1)} + Q_{н.к(2)} \quad (18)$$

де  $Q_{н.к.(1)}$  і  $Q_{н.к.(2)}$  – значення загальної потужності конденсаторних батарей, що відповідають вище сказаним двом етапам розрахунку.

Сумарна  $Q_{н.к.}$  потужність батарей конденсаторів розподіляється між окремими трансформаторами пропорційно їх реактивним навантаженням [10].

Для кожної групи цехових трансформаторів, що мають однакову потужність їх найменша кількість, необхідна для живлення найбільш активного навантаження, виражається формулою:

$$N_{Tmin} = P_{мТ} / (\beta_T S_T + \Delta N), \quad (19)$$

де  $P_{м.Т}$  – значення, що виражає найбільше сумарне розрахункове, активне навантаження відповідної групи трансформаторів;

$\beta_T$  – коефіцієнт завантаження трансформаторів;

$S_T$  – прийнята номінальна потужність одного трансформатора;

$\Delta N$  – добавка до найближчого, більшого цілого числа [10].

Економічно оптимальне число трансформаторів визначають за формулою:

$$N_{Т.Е} = N_{Tmin} + m. \quad (20)$$

При кількості трансформаторів три і менше їх потужність вибирають посилаючись на значення найбільшого активного навантаження, що відповідає умові:

$$S_T \geq P_{мТ} / (\beta_T N). \quad (21)$$

Сумарна потужність батареї конденсаторів для даної групи трансформаторів на першому етапі розрахунків складає:

$$Q_{н.к(1)} = Q_{м.Т} - Q_T, \quad (22)$$

де  $Q_{м.Т}$  – сумарне розрахункове реактивне навантаження.

Якщо виявиться, що  $Q_{н.к(1)} < 0$ , то на першому етапі розрахунків установка батареї конденсаторів не потрібна, тоді  $Q_{н.к(1)} = 0$ .

Додаткову сумарну потужність батарей конденсаторів для даної групи трансформаторів  $Q_{н.к(2)}$  визначають так:

$$Q_{н.к(2)} = Q_{м.Т} - Q_{н.к(1)} - \gamma N_{Т.Е} S_T, \quad (23)$$

де  $\gamma$  – коефіцієнт, що залежить від значення  $K_1$  та  $K_2$  та типу схеми за якою живиться цехова підстанція [10], якщо схема живлення радіальна, то визначення коефіцієнту приведено на рисунку 20.

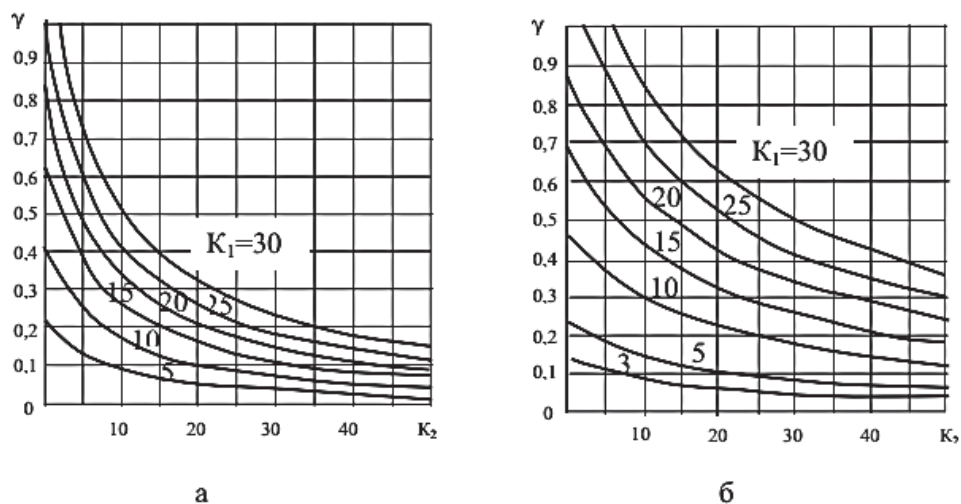


Рисунок 20 – Криві що показують визначення коефіцієнта радіальному типі схеми живлення трансформатора напругою 6 кВ а і 10 кВ б

### 3.2 Проведення та обробка результатів досліджень компенсації реактивної потужності асинхронного двигуна

Таблиця 1 Результати досліджень.

Режими роботи АД	Наявність КУ мкФ	U <sub>л</sub> , В	I, А	cosφ	φ <sup>0</sup>	n	P <sub>a</sub>	Генератор	
								U <sub>B</sub>	I <sub>A</sub>
1	-	380	1,9	0,309	72	1470	120	124	0
2	20	380	0,75	0,809	36	1470	130	124	0
3	-	380	2,05	0,5	60	1460	230	118	2,1
4	25	380	1,05	0,996	5	1460	230	118	2,1
5	-	380	2,15	0,530	58	1450	270	116	3
6	30	380	1,15	0,999	2	1455	280	116	3
7	-	380	2,25	0,615	52	1453	330	115	4
8	30	380	1,35	0,998	3	1453	330	115	4
9	-	380	2,4	0,669	48	1449	370	112	5
10	25	380	1,55	0,997	4	1449	350	112	5
11	-	380	2,5	0,694	46	1445	400	98	6
12	25	380	1,8	1	0	1445	410	98	6
13	-	380	2,65	0,754	41	1442	465	104	7
14	25	380	1,95	0,999	2	1440	450	104	7
15	-	380	2,95	0,766	40	1433	510	99	8,7
16	25	380	2,25	0,997	4	1433	520	99	8,7

В таблиці 1 приведено:

наявність КУ- вказує на увімкнення, або вимкнення конденсаторної установки, U<sub>л</sub>, В- наруга мережі, I, А -струм ,що споживає асинхронний двигун, cosφ- коефіцієнт потужності, φ<sup>0</sup> -кут визначення коефіцієнта потужності cosφ, n-оберти асинхронного двигуна, P<sub>a</sub>- активна потужність, що споживається асинхронним двигуном.

Генератор в даному випадку виконує роль навантажувальної машини для асинхронного двигуна.

Таблиця 2 Результати розрахунків

№ Дослідду	Наявність КУ	Результати розрахунку		
		$S_p = \sqrt[3]{U_{л} I}$ , ВА	$P_p = S_p \cdot \cos\varphi$ , Вт	$Q_p = \sqrt{(S_p^2 - P_p^2)}$ , ВАр
1	-	1250,5	386,4	1189,30
2	20	494	399,2	290,71
3	-	1349,2	674,6	1168,44
4	25	691	688,2	62,14
5	-	1415	750	441,13
6	30	757	725,2	85,11
7	-	1481	910,8	1167,82
8	30	889	887,2	56,55
9	-	1580	1057	1174,37
10	25	1020,1	1018	63,84
11	-	1645,5	1141,2	1185,32
12	25	1185	1185	0
13	-	1744	1314	1146,70
14	25	1283,4	1282,1	57,74
15	-	1941,5	1487,1	1248,18
16	25	1480,8	1476,3	115,35

Висновки з проведених досліджень:

З результатів дослідження (таблиці 1) та (таблиці 2) видно, що значення повної, та реактивної потужностей, що споживається з мережі при застосуванні компенсуючого пристрою значно менші ніж без засобів компенсації. Зокрема, відбувся незначний приріст активної потужності споживання. Зменшення споживання повної потужності з мережі, суттєво впливає на зменшення оплати за спожиту електричну енергію.

Таким чином застосування компенсації реактивної потужності є ефективним заходом з питань економії та збереження електричної енергії.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.

47

## Висновки

Дипломний проект виконано згідно індивідуального завдання на дипломне проектування складається з пояснювальної записки і графічної частини, та виготовленого стенда для дослідження компенсації реактивної потужності при споживанні електричної енергії з мережі.

В пояснювальній записці здійснено аналітичний огляд літературних джерел. Розглянуто такі питання:

- основні відомості про реактивну потужність та її компенсацію;
- методи та засоби компенсації реактивної потужності;
- класифікацію джерел та споживачів реактивної потужності.
- проведено розрахунки по оптимальному вибору елементної бази стенда для дослідження компенсації реактивної потужності.

У графічній частині представлено:

- схему електричну принципову розробленого стенда компенсації РП, креслення виконано у microsoft visio 2010;
- класифікація компенсуючих пристроїв, структурна схема;
- оглядовий документ на якому зображено різні типи компенсації РП;
- таблиці досліджень та розрахунки на їх основі.

Компенсацію реактивної потужності досягають шляхом розміщення пристроїв компенсації ,безпосередньо близько до споживачів РП. Тим самим знижують втрати активної потужності , що виникають при передачі реактивної, відбувається часткове розвантаження енергосистеми. На підприємствах де присутня велика кількість асинхронних двигунів, як основних споживачів РП компенсація реактивної потужності це важливий процес, оскільки дозволить заощадити кошти при сплаті за споживання реактивної потужності.

Розроблено та виготовлено стенд для дослідження процесів компенсації реактивної потужності асинхронних двигунів. Застосування цього пристрою дасть змогу:

					<b>БРМА25.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		48

-зменшити втрати електричної енергії, яка споживається електричними машинами і забезпечує економію спожитої електричної енергії.

Розроблений та виготовлений стенд впроваджений в навчальний процес. Зокрема буде використовуватися при виконанні лабораторних робіт з курсу «Електричні системи та мережі». Розроблена інструкція по виконанню лабораторної роботи на тему « Дослідження способів компенсації реактивної потужності асинхронних двигунів» , що підвищить якість підготовки фахівців з даної спеціальності.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		49

## Список використаної літератури

1. Василега П. О. Електропостачання : підручник. Суми : Сум. держ. ун-т, 2019. 521 с.
2. Добровольський Ю. П., Лобода Ю. В. Дослідження сучасних засобів компенсації реактивної потужності. *КОНФЕРЕНЦІЇ ВНТУ електронні наукові видання*. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2019/paper/viewFile/7467/60910>
3. Дослідження роботи конденсаторної установки на моделі тп. *StudFiles*. URL: <https://studfile.net/preview/7105572/page:4/>.
4. Компенсація реактивної потужності електроустановок промислових підприємств. URL: <https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/6/30/6-30-kl12.pdf>.
5. Компенсація реактивної потужності: конденсаторні установки. Ефективність пристроїв повздовжньої компенсації. *Інститут докторантури та аспірантури – ВНТУ*. URL: <https://inmad.vntu.edu.ua/portal/static/3F7B7E04-B7CE-43FB-BEB7-BC9F7BA09916.pdf>
6. Компенсація реактивної потужності, «Схемні рішення на базі контролера DCRK/DCRJ» - Статті \ публікації - Прес-Центр - СВ АЛЬТЕРА. *Електродвигун, редуктор, витратомір, пускач, датчик.* URL: <https://www.svaltera.ua/press-center/articles/4351.php>.
7. Реактивна потужність в електричних мережах : монографія / І. В. Жежеленко та ін. Дніпро : НТУ «ДП», 2020. 72 с.
8. Регулювання реактивної потужності й напруги в електричних мережах як допоміжна послуга. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/321/319>.
9. Статичні тиристорні компенсатори СТК (SVC), напруга 6, 10, 35, 110кВ, потужність - до 50 МВАр. *Головна сторінка сайту ООО "Техноелектро"*.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		50

URL: [http://www.tekhar.com/Production/Compensation/index\\_filter\\_comp\\_vv\\_SVC\\_u.htm](http://www.tekhar.com/Production/Compensation/index_filter_comp_vv_SVC_u.htm).

10. Харченко В. Ф., Якунін О. А., Воропай В. Г. «Електропостачання міст та промислових підприємств»: конспект лекцій. ХАРКІВ : ХНУМГ., 2019.

URL: [https://eprints.kname.edu.ua/52143/1/2017%20печ.%20152Л%20Конспект%20лекцій\(окончател%20вариант1\)%20на%2024.12.18.pdf](https://eprints.kname.edu.ua/52143/1/2017%20печ.%20152Л%20Конспект%20лекцій(окончател%20вариант1)%20на%2024.12.18.pdf).

11. «Що таке повна, активна та реактивна потужність».

URL: [https://www.powersol.com.ua/uk/novosti/shho-take-povna-aktyvna-ta-reaktyvna-potuzhnist/?srsltid=AfmBOoqR\\_z3aM0hbOW1TK-sBuhGaZ5yKZ8r0o8332xZgi8ygJaKnET5n](https://www.powersol.com.ua/uk/novosti/shho-take-povna-aktyvna-ta-reaktyvna-potuzhnist/?srsltid=AfmBOoqR_z3aM0hbOW1TK-sBuhGaZ5yKZ8r0o8332xZgi8ygJaKnET5n).

12. Електроустановки індукційного нагрівання. принцип дії. *StudFiles*.

URL: <https://studfile.net/preview/9221610/page:20/>.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		51