

1. Лабораторно-практична робота №2.3 Дослідження пристроїв для підвищення коефіцієнту потужності

1.1 Мета роботи

1. Ознайомитися з основними методами збільшення коефіцієнту потужності груп споживачів електричної енергії змінного струму.

2. Дослідити ефективність пристроїв, призначених для збільшення коефіцієнту потужності.

Після виконання роботи студент повинен

знати:

- основні методи збільшення коефіцієнту потужності;
- принципи побудови вузлів та пристроїв, призначених для збільшення коефіцієнту потужності та методику визначення їх ефективності.

вміти:

- вимірювати коефіцієнт потужності груп споживачів змінного струму;
- визначати ефективність пристроїв, призначених для збільшення коефіцієнту потужності.

1.2 Ключові положення

Основним джерелом електричної енергії є промислова мережа змінного струму, параметри якості якої визначаються ГОСТ 13109-97:

- напруга 220/380 В;
- форма напруги – синусоїдальна;
- частота – 50 Гц;
- кількість фаз – 3.

В ідеальному випадку споживачі електричної енергії споживають струм $i(t)$ синусоїдальної форми, фаза якого збігається з фазою напруги $u(t)$. Такий характер споживаного струму спостерігається в випадку, коли споживач не містить реактивних або нелінійних компонентів. До таких пристроїв відносяться пристрої, основним принципом роботи яких є перетворення електричної енергії в теплову (обігрівачі, електроплити, пристрої підігріву води, лампи розжарювання тощо) (Рисунок 1.1, а).

У перетворювачах електричної енергії в механічну (електродвигунах) електричний струм протікає через обмотки (статор, ротор), що мають значну індуктивність. Це призводить до того, що струм $i(t)$, споживаний від мережі, має синусоїдальну форму, але відстає по фазі від напруги $u(t)$. Зсув фази між напругою та струмом призводить до виникнення коливань електричної енергії, та появи інтервалів часу у які мережа працює у режимі рекуперації енергії (Рисунок 1.1, б), що призводить до додаткових страт електричної енергії. Подібну форму споживаного струму мають також газорозрядні лампи високого і низького тиску з дросельним пускорегулювальним пристроєм, де дросель виступає у ролі обмежувача струму газорозрядної лампи.

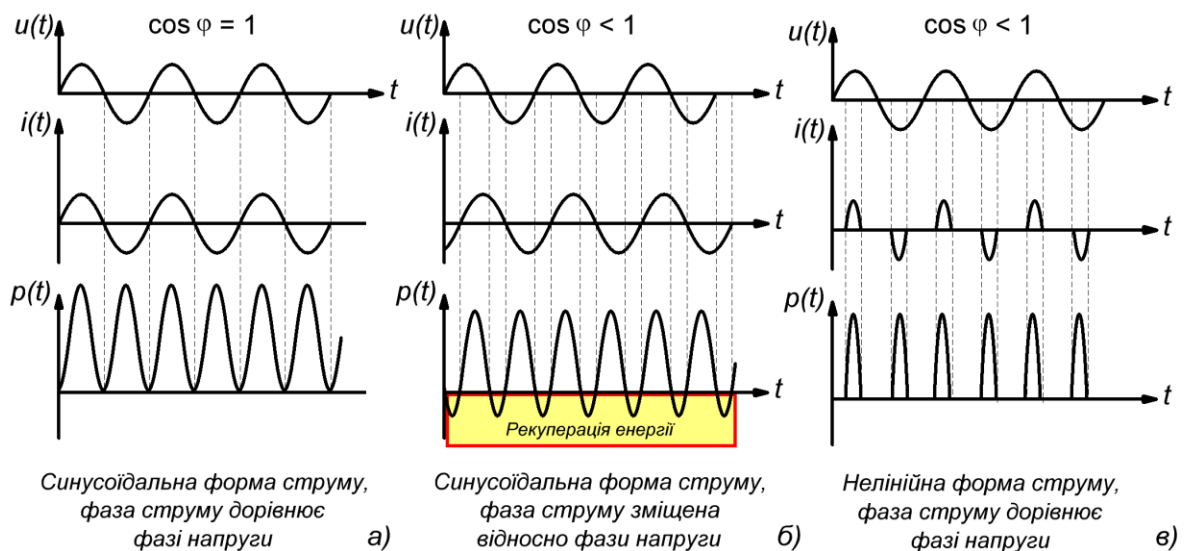


Рисунок 1.1 – Діаграми споживаного струму $i(t)$ і потужності $p(t)$ при активному – а; індуктивному – б; і нелінійному характері навантаження – в

Радіоелектронне обладнання, в тому числі і телекомунікаційне, вимагає для своєї роботи постійної напруги. Для роботи його від мережі змінного струму використовуються випрямні пристрої, які перетворюють змінний струм в постійний. Наявність в складі випрямних пристроїв нелінійних елементів (напівпровідникових діодів) і реактивних елементів призводить до того, що форма струму $i(t)$, споживаного цими пристроями, якщо не вживати ніяких заходів, відрізняється від синусоїдальної (Рисунок 1.1, в). Спотворення форму струму призводить до того, що електрична енергія у трифазній системі електроживлення споживається нерівномірно, що також призводить до додаткових навантажень та втрат енергії при її генеруванні, транспортуванні та розподіленні.

Невідповідність форми струму $i(t)$, що споживає навантаження, формі напруги $u(t)$ призводить до того, що при живленні змінним струмом розрізняють три види потужності.

Активна потужність P зумовлена споживанням електричної енергії. Активна потужність – це корисна потужність, спожита від джерела живлення, та використана на роботу обладнання. Одиницями виміру активної потужності є вати – Вт.

Реактивна потужність Q зумовлена коливаннями електричної енергії між джерелом живлення та навантаженням або наявністю вищих гармонік у споживаному струмі. Реактивна потужність створює додаткове навантаження на джерело живлення і призводить до додаткових втрат енергії. Одиницями виміру реактивної потужності є вольт-ампер реактивні – ВАР.

Повна потужність S – реальна потужність яку створює навантаження з урахуванням активної та реактивної складових. Одиницями виміру повної потужності є вольт-ампери – ВА.

Різні види потужності пов'язані між собою співвідношенням:

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (1.1)$$

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

У випадку, коли навантаження споживає синусоїдальний струм (Рисунок 1.1, а, б), коефіцієнт потужності визначається як:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (1.2)$$

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

Величина $\cos \varphi$ відображає якість споживання електричної енергії та має наступні градації якості:

- 0,95...1 – висока;
- 0,85...0,95 – добра;
- 0,65...0,85 – задовільна;
- 0,5...0,65 – низька;
- 0...0,5 – незадовільна.

Ідеальний споживач електричної енергії повинен мати $\cos \varphi = 1$. У цьому випадку величина коливань електричної енергії $Q = 0$ ВАР, що відповідає мінімальній кількості втрат та максимальним коефіцієнтом використання джерела електричної енергії.

На практиці, зсув фази споживаного струму або спотворення його форми призводить до додаткових навантажень на джерело енергії, які характеризуються реактивною потужністю. В результаті потрібна установка більш потужного джерела енергії, що вимагає додаткових витрат енергоресурсів на його виготовлення, а також збільшуються втрати потужності при транспортуванні. Таким чином, зменшення реактивної потужності споживачів змінного струму призводить до зменшення втрат електричної енергії та збереженню природних ресурсів, тобто є енергозберігаючою технологією.

Низький коефіцієнт потужності споживачів електроенергії, приводить до застосування штрафних санкцій до підприємства з боку енергопостачальної компанії, які виражаються у вигляді:

- більш високих тарифів на електроенергію;
- разових або періодичних штрафів;
- установки на підприємстві лічильників реактивної потужності і оплати її за спеціальними тарифами.

Для виключення цього на підприємствах приймаються спеціальні заходи для зниження рівня реактивної потужності, які призначені для збільшення коефіцієнта потужності підприємств в цілому.

Існують два основні підходи до корекції (збільшення) коефіцієнта потужності: корекція на рівні пристрою і корекція на рівні підприємства (Рисунок 1.2).

При використанні першого підходу (Рисунок 1.2, а) в кожен пристрій вбудовується коректор коефіцієнта потужності (ККП). Необхідність установки в конкретному пристрої ККП визначається виробником обладнання на основі відповідних нормативних документів для даного класу пристроїв. Головною перевагою такого підходу є те, що обладнання завжди має високий коефіцієнт потужності (ККП є його невід'ємною частиною), що істотно спрощує різні зміни (встановлення додаткового обладнання, розширення, переміщення тощо). Однак даний спосіб має ряд істотних недоліків.

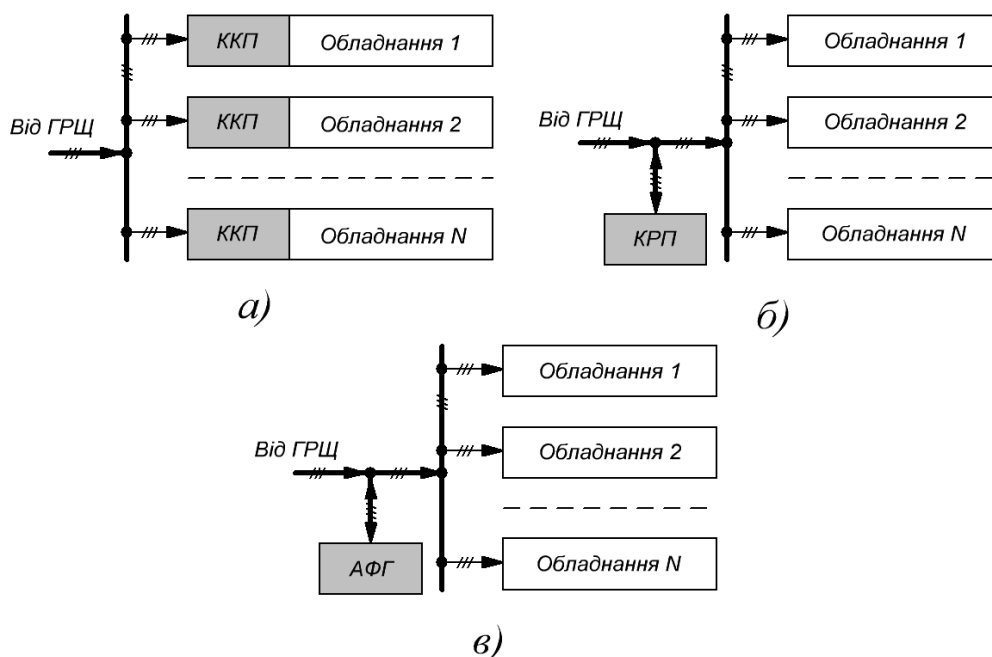


Рисунок 1.2 – Принципи корекції коефіцієнта потужності: за допомогою коректора коефіцієнта потужності (ККП), встановленого в кожному пристрої – а; за допомогою компенсатора реактивної потужності (КРП) – б; за допомогою активного фільтра гармонік (АФГ) – в

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

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

Існує два види вбудованих ККП: пасивні, у яких збільшення коефіцієнту потужності відбувається за рахунок використання додаткових реактивних елементів – дроселів або конденсаторів (Рисунок 1.3) та активні у яких використовується спеціалізовані контролери (Рисунок 1.4).

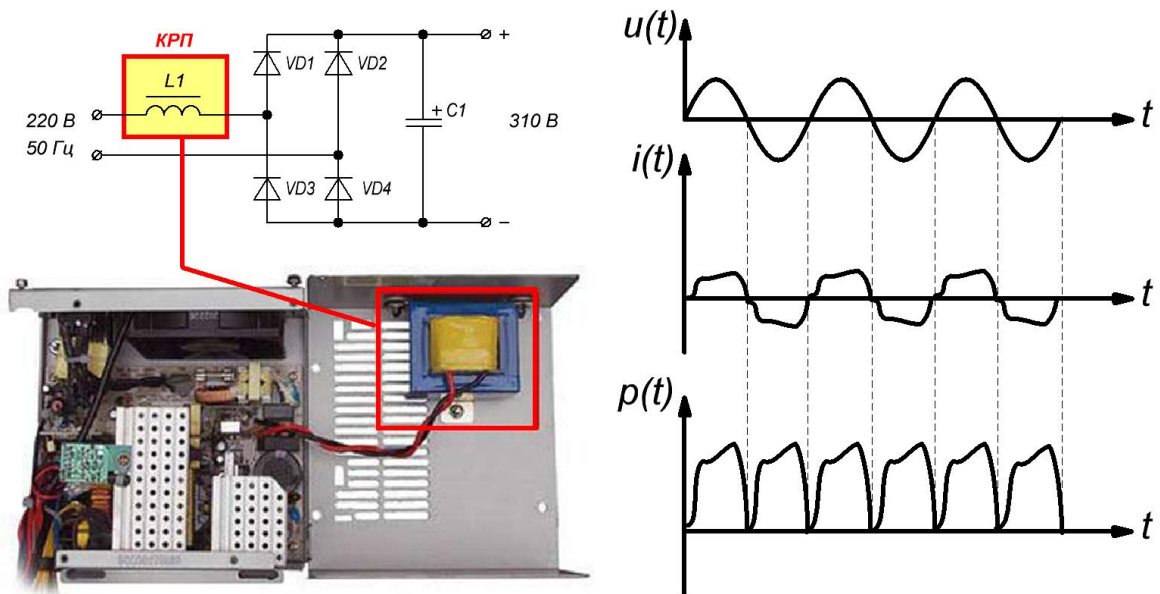


Рисунок 1.3 – Пасивний коректор коефіцієнту потужності у блоці живлення персонального комп'ютера

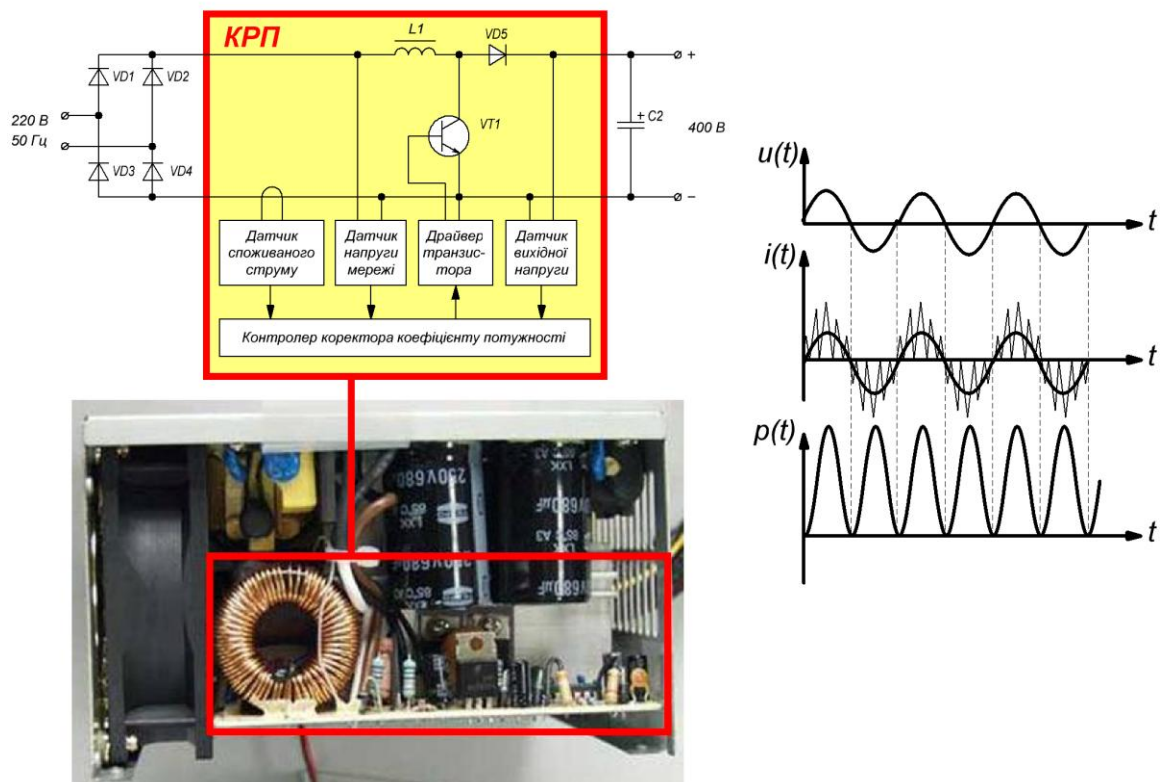


Рисунок 1.4 – Активний коректор коефіцієнту потужності у блоці живлення персонального комп'ютера

Пасивні ККП добре працюють при синусоїдальному характері споживаного струму. При нелінійному характері максимальний коефіцієнт потужності, що може бути досягнутий з використанням пасивного ККП, як правило, не перевищує 0,85. Активні ККП дозволяють досягти значень 0,95...0,99, але мають два суттєвих недоліки – високу вартість та наявність втрат електричної енергії за рахунок додаткового перетворення її параметрів.

Коли використання обладнання з високим значенням коефіцієнту потужності за різних причин неможливе, застосовують корекцію коефіцієнта потужності на рівні підприємства. Існують два типи пристроїв, які здійснюють цю функцію: компенсатори реактивної потужності і активні фільтри гармонік.

Компенсатор реактивної потужності (КРП) (деякі виробники називають ці пристрої коректорами коефіцієнта потужності) являє собою набір конденсаторних батарей, що підключається в точці підключення підприємства (як правило, це головний розподільний щит – ГРЩ) до енергосистеми (Рисунок 1.2, б). Подібні пристрої давно і активно використовуються на промислових підприємствах містять велику кількість споживачів індуктивного характеру. КРП призначені для зменшення зсуву фаз між напругою мережі і споживаним струмом. Перевагами КРП є простота і низька вартість. До недоліків слід віднести те, що дані пристрої не можуть збільшити коефіцієнт потужності підприємстві в разі нелінійних спотворень споживаного струму.

Активні фільтри гармонік (АФГ) виконують аналогічну функцію, але здійснюють корекцію як лінійних (зсув фаз), так і нелінійних (зміна форми) спотворень споживаного струму, що є їхньою перевагою. Недоліком є висока вартість даних пристроїв (Рисунок 1.2, в).

Принцип роботи КРП в АФГ заснований на першому законі Кірхгофа (Рисунок 1.5). Струм, який споживається від мережі $i_{\text{мережі}}(t)$, є сумою струмів, які споживає підприємство $i_{\text{підпр}}(t)$ і КРП $i_{\text{КРП}}(t)$ (АФГ $i_{\text{АФГ}}(t)$). КРП або АФГ мають у своєму складі аналізатор споживаного струму і формують власний струм таким чином, щоб форма струму, споживаного із мережі була максимально наближена до форми навантаження мережі $u_{\text{мережі}}(t)$.

На сьогодні промисловістю випускаються спеціальні конденсаторні батареї, призначені для зменшення рівня реактивної потужності, наприклад, серії КПС (Рисунок 1.6, а). Конденсатори КПС призначені для підвищення коефіцієнта потужності електроустановок змінного струму частотою 50 і 60 Гц, а також для комплектації конденсаторних установок.

Конденсатори, призначені для роботи в однофазних мережах, випускаються в корпусі з двома ізольованими виводами (Рисунок 1.6, б) і містять всередині 1 конденсатор. Конденсатори, призначені для використання в трифазних мережах, випускаються в корпусі з трьома ізольованими виводами і містять три конденсатори, з'єднаних за схемою «зірка» (Рисунок 1.6, в). Усі конденсатори містять вбудовані розрядні резистори.

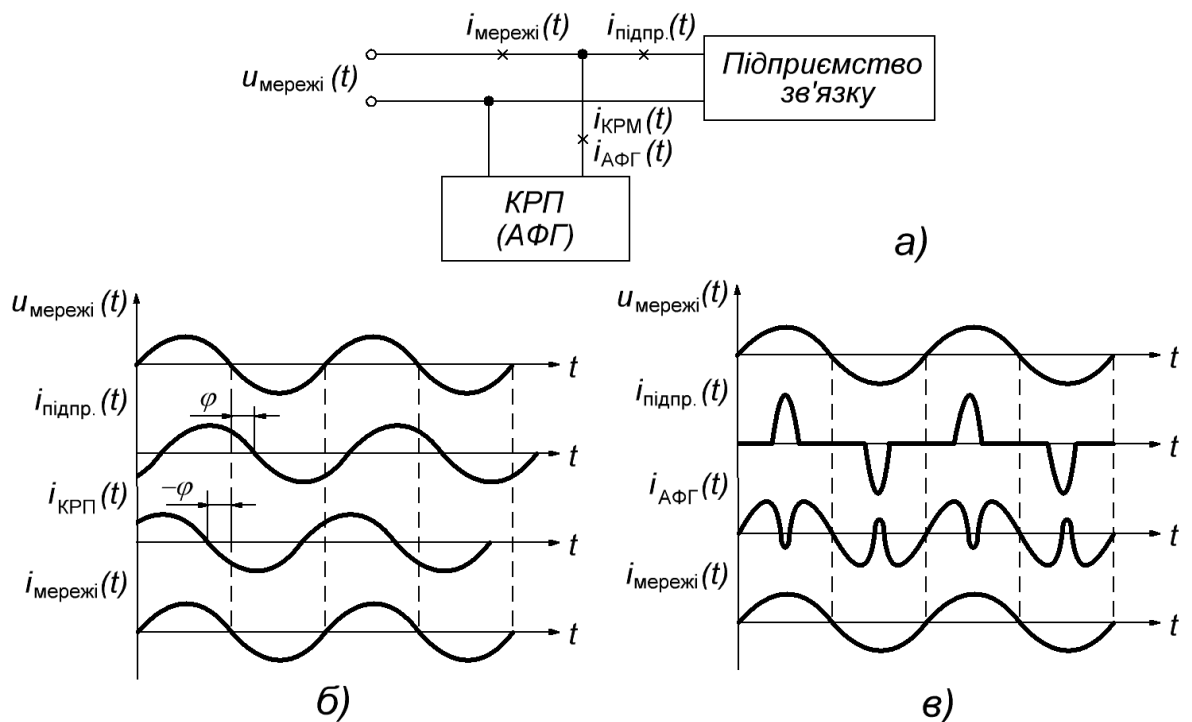


Рисунок 1.5 – Схема підключення однофазного компенсатора реактивної потужності (КРП) або активного фільтра гармонік (АФГ) – а; діаграми роботи КРП – б; і АФГ – в

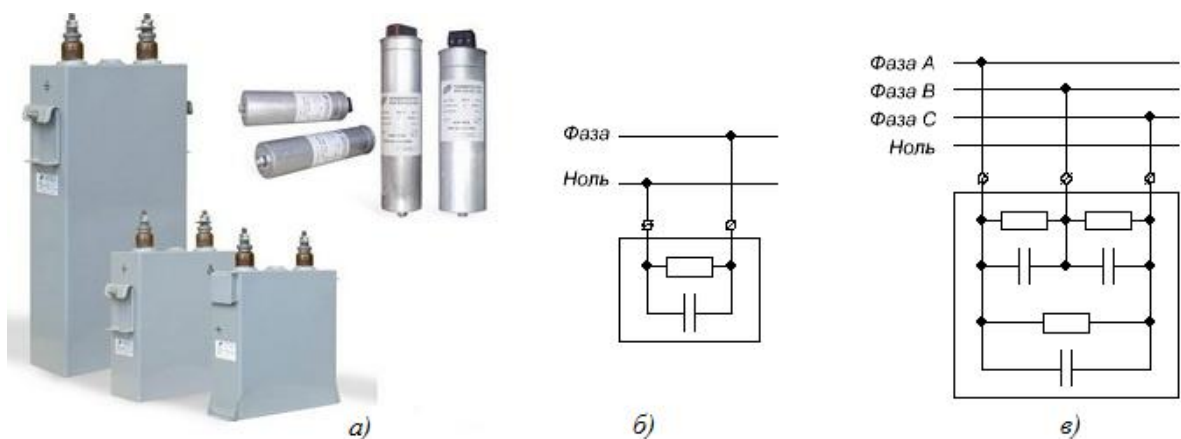


Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд конденсаторів для корекції коефіцієнта потужності серії КПС – а; електрична схема і схема підключення до мережі конденсаторів з двома – б і трьома – в ізольованими виводами

Прикладом такої установки є компенсаторна установка АКУ-0,4-125-12,5-УХЛЗ з напругою 0,4 кВ і потужністю 125 кВАР. Установка містить декілька конденсаторних батарей (Рисунок 1.7), які підключаються до мережі за допомогою потужних контакторів. Необхідна кількість конденсаторів визначається за допомогою блока керування на основі мікроконтролера.

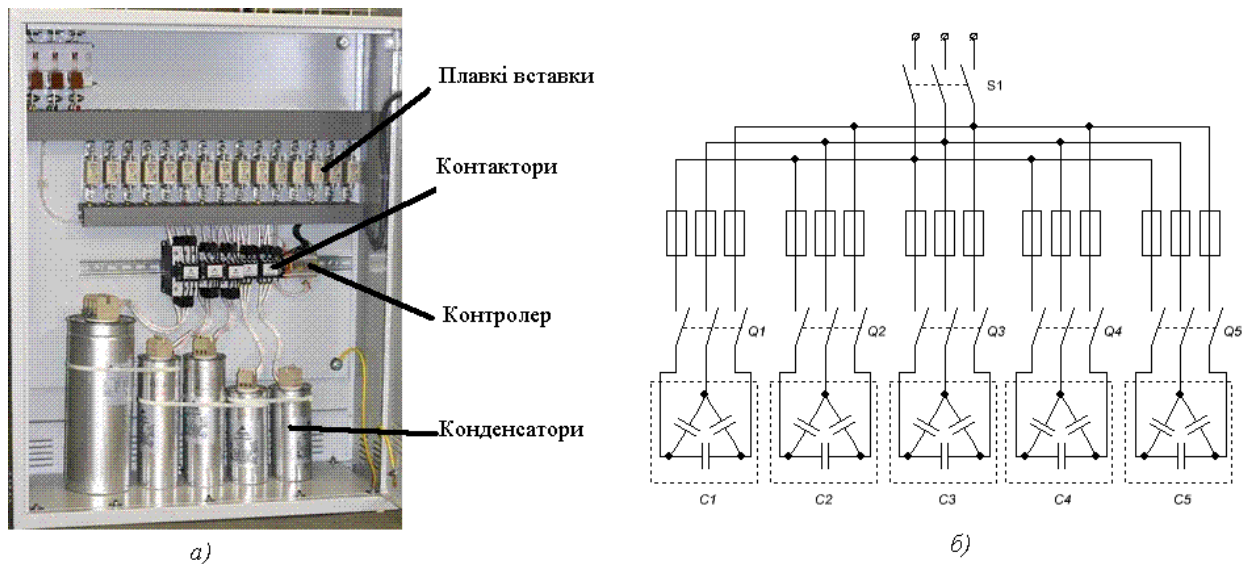


Рисунок 1.7 – Зовнішній вигляд трифазного компенсатора реактивної потужності АКУ-0,4-125-12,5-УХЛЗ напругою 0,4 кВ і потужністю 125 кВАР – а і його спрощена електрична схема – б



Рисунок 1.8 – Активний фільтр гармонік ADF P200 потужністю 70 кВА (100 А)

1.3 Опис лабораторного макета

Лабораторний макет (Рисунок 1.9) призначений для вивчення механізмів коефіцієнта потужності підприємства в цілому. Споживачі електричної енергії підприємства розбиті на дві групи:

- в офісі знаходиться велика кількість оргтехніки (електронного обладнання), що обумовлює нелінійну форму споживаного струму;
- в цеху міститься промислове обладнання (електродвигуни), що обумовлює активно-індуктивний характер навантаження на електромережу.

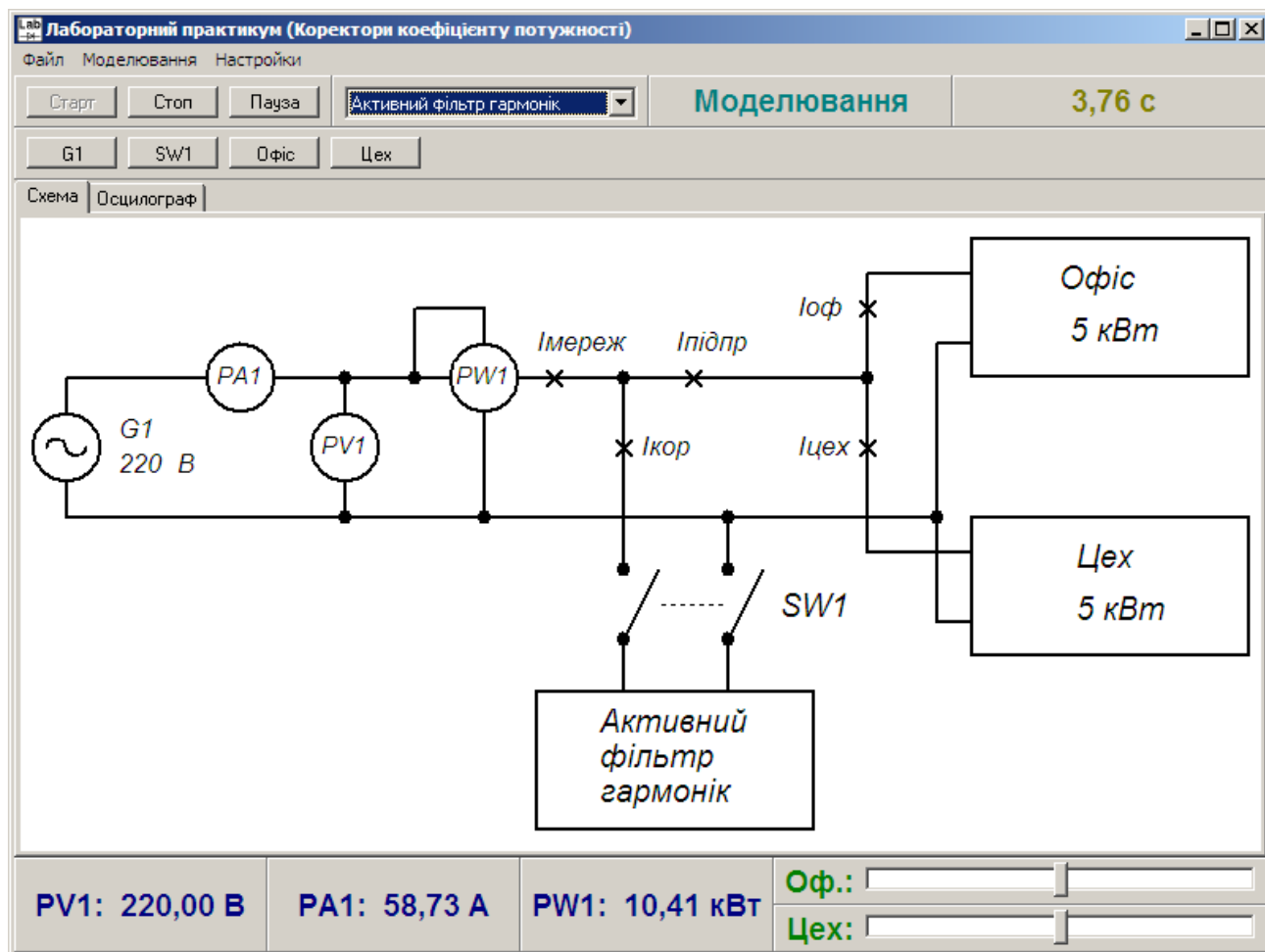


Рисунок 1.9 – Лабораторний макет

Потужність, споживану офісом або цехом можна регулювати у діапазоні 0 ... 10 кВт з кроком 1 кВт. У лабораторному макеті використано однофазне живлення, хоча на практиці обладнання живиться від трифазної мережі змінного струму.

Корекція коефіцієнта потужності виконується за допомогою компенсатора реактивної потужності (КРП) або активного фільтра гармонік (АФГ). Вибір пристрою здійснюється за допомогою перемикача схем. КРП і АФГ можуть бути відключені вимикачем SW1.

Лабораторний макет також містить:

- регульований генератор змінного напруги $G1$, що імітує роботу промислової мережі змінного струму напругою $220\text{ В} \pm 10\%$ і частотою 50 Гц ;

- вольтметр $PV1$ напруги електричної мережі U_m ;
- амперметр $PA1$ струму, споживаного від електричної мережі I_m ;
- ватметр $PW1$, який вимірює величину активної потужності, споживаної від джерела електричної енергії.

На панелі оперативних регулювань макета розташовані регулятори споживаної потужності офісу і цеху.

За допомогою осцилографа можна контролювати форми напруг і струмів:

- $U_{\text{мережі}}$ – напруга мережі;
- $I_{\text{мережі}}$ – струм, споживаний від мережі;
- $I_{\text{кор}}$ – струм споживаний КРМ або АФГ;
- $I_{\text{підпр}}$ – струм, споживаний підприємством;
- $I_{\text{оф}}$ – струм, споживаний офісом;
- $I_{\text{цех}}$ – струм, споживаний цехом.

1.4 Лабораторно-практичне завдання

1. Вивчити за рекомендованою літературою теоретичний матеріал про особливості збільшення коефіцієнту потужності. Ознайомитися з принциповою схемою макета і особливостями його функціонування.

2. Дослідити ефективність роботи компенсатора реактивної потужності та активного фільтру гармонік.

3. За результатами вимірювань визначити якість корекції коефіцієнта потужності і межі застосування даних пристроїв. Результати відобразити у висновку.

1.5 Умови виконання та захисту роботи

Перед виконанням роботи студент отримує у викладача назву номера варіанта для якого необхідно виконати роботу. Під час планового заняття цей номер, як правило, відповідає номеру бригади. У випадку коли робота виконується студентом самотійно (наприклад, коли студент був відсутній на занятті) викладач назначає номер варіанту на власний розсуд. При проведення досліджень студент повинен провести виміри за тим комп'ютером, який відповідає номеру варіанта.

Робота вважається виконаною у випадку були виконані усі необхідні виміри. Викладач має право перевірити та попросити студента пояснити походження того чи іншого значення. У випадку сумнівів у коректності даних робота вважається невиконаною і студент повинен її переробити. Якщо викладач вважає, що робота виконана у повному обсязі він ставить відповідну відмітку у протоколі.

До захисту допускаються студенти з протоколом, оформленим відповідно до вимогам до даної роботи.

Захист роботи відбувається письмово шляхом вирішення тестового білет або за допомогою електронної системи тестування. Під час захисту студент повинен відповісти на 5 питань п.1.6. За кожну правильну повну відповідь на питання студенту нараховується 20 балів. За неповну відповідь – 5...15 балів (залежно від ступеню повноти). За неправильну відповідь або у разі відсутності відповіді бали не нараховуються. Робота вважається захищеною у випадку, коли студент набрав не менше 60 балів.

Під час захисту роботи студент може користуватися лише своїм протоколом, калькулятором та довідковими даними (видається викладачем).

1.6 Контрольні питання

1. У яких одиницях вимірюється активна (повна, реактивна) потужність, коефіцієнт потужності?
2. Яка максимальне (мінімальне) значення має коефіцієнт потужності?
3. Який пристрій призначений для збільшення коефіцієнту потужності групи споживачів?
4. Які спотворення форми струму може компенсувати КРП (АФГ)?
5. Яке значення коефіцієнту потужності відповідає високому (доброму, задовільному, низькому, незадовільному) споживанню електричної енергії?
6. Яку якість споживання електричної енергії має обладнання, якщо його коефіцієнт потужності дорівнює (значення)?
7. Чому дорівнює активна (повна, реактивна) потужність обладнання з коефіцієнтом потужності (значення) якщо його повна (активна, реактивна) потужність дорівнює (значення)?
8. Який коефіцієнт потужності має обладнання якщо має напругу живлення (значення), споживаний струм (значення) та активну потужність (значення)?
9. Чому дорівнює повна потужність (активна, реактивна потужність, коефіцієнт потужності) перетворювача якщо його вихідна напруга становить (значення), вихідний струм (значення), ККД – (значення), а коефіцієнт потужності – (значення)?
10. Яку кількість електричної енергії за певний період часу (значення) буде спожито для живлення обладнання потужністю (значення), якщо ККД випрямного пристрою становить (значення)?
11. Підприємство має споживану потужність (значення) з коефіцієнтом потужності (значення) та працює цілодобово. Яку кількість коштів можна заощадити за рік, якщо встановити на підприємстві АФГ за рахунок якого підняти коефіцієнт потужності до рівня (значення), якщо тариф на реактивну потужність складає (значення)?

1.7 Методика виконання роботи

Коефіцієнт потужності $\cos\varphi$ підприємства потужності визначити по результат вимірювань діючих значень напруги U і струму I , споживаного підприємством, та активної потужності, P . В лабораторному макеті для цього служать відповідно вольтметр $PV1$ (напруга U в вольтах), амперметр $PA1$ (струм I , в амперах) і ватметр $PW1$ (потужність, P в ватах). Після зняття вимірів коефіцієнт потужності визначається за формулою:

$$\eta = P/(UI) \quad (1.3)$$

При проведенні досліджень потужність, споживану цехом та офісом, змінюють у діапазоні 0...10 кВт. Результати дослідження рекомендується оформити у вигляді таблиці аналогічної (Таблиця 1.1). Для проведення дослідження необхідно підготувати 2 таблиці (для дослідження КРП та АФГ). Рекомендується наступна методика проведення досліджень.

1. Вибрати необхідний пристрій (КРП або АФГ) та розпочати моделювання.

2. Встановити потужність, споживану цехом $P_{\text{цех}}$ та офісом $P_{\text{оф}}$.

3. Відключити КРП (АФГ) за допомогою вимикача $SW1$, записати показники вимірювальних приладів.

4. Підключити КРП (АФГ) за допомогою вимикача $SW1$, записати показники вимірювальних приладів, звернути увагу на те, які показники змінилися.

5. Після зняття показників вимірювальних приладів обчислити коефіцієнт потужності підприємства без коректора та з коректором. У висновках зазначити, у яких випадках досягається компенсація реактивної потужності даним приладом.

Після проведення досліджень необхідно також замальовати два комплекти осцилограм для кожного пристрою. Осцилограми слід замальовувати при $P_{\text{цех}} = 0$ кВт, $P_{\text{оф}} = 5$ кВт та $P_{\text{цех}} = 5$ кВт, $P_{\text{оф}} = 0$ кВт. Осцилограми одного комплекту повинні бути розташовані на одній сторінці протоколу, аналогічно рисунку (Рисунок 1.5).

1.8 Зміст протоколу

1. Назва та мета роботи.
2. Досліджувана схема (Рисунок 1.9)
3. Результати дослідження КРП (Таблиця 1.1, осцилограми).
4. Результати дослідження АФГ (Таблиця 1.1, осцилограми).
5. Висновки.
6. Місце для відміток про виконання та захист роботи (дата, фамілія, ініціали викладача, оцінка, підпис).
7. Додаткові матеріали, що можуть стати у пригоді під час захисту роботи (за вибором студента).

Таблиця 1.1 – Результати дослідження

$P_{\text{оф}},$ кВт	$P_{\text{цех}},$ кВт	Без коректора				З коректором			
		$U, \text{В}$	$I, \text{А}$	$P, \text{кВт}$	$\cos\varphi$	$U, \text{В}$	$I, \text{А}$	$P, \text{кВт}$	$\cos\varphi$
0	2								
	4								
	6								
	8								
	10								
5	0								
	2								
	4								
	6								
	8								
	10								
10	0								
	2								
	4								
	6								
	8								
	10								
2	0								
4									
6									
8									
10									
0	5								
2									
4									
6									
8									
10									
0	10								
2									
4									
6									
8									
10									

1.9 Приклад тестового білету

1. Який пристрій призначений для збільшення коефіцієнту потужності групи споживачів?

а) КРМ	б) КРП	в) АФГ
г) АХЗ	д) КПК	е) Немає правильної відповіді

Правильна відповідь: б, в

2. Яку якість споживання електричної енергії має підприємство, якщо його коефіцієнт потужності дорівнює 1,3?

а) високу	б) задовільну	в) незадовільну
г) добру	д) низьку	е) Такого не може бути

Правильна відповідь: е

Пояснення: Коефіцієнт потужності знаходиться у діапазоні $0 \dots 1$.

3. Який коефіцієнт потужності має обладнання якщо при підключенні до джерела змінної напруги величиною 220 В воно споживає струм 10 А та активну потужність 1,8 кВт?

а) 2,2	б) 0,12	в) 0,22
г) 1,22	д) 0,18	е) Немає правильної відповіді

Правильна відповідь: е

Пояснення: Повна потужність обладнання $S = UI = 220 \cdot 10 = 2,2 \text{ кВА}$.

Коефіцієнт потужності $\cos \varphi = P/S = 1,8/2,2 = 0,82$.

4. Чому дорівнює повна потужність випрямляча якщо його вихідна напруга становить 48 В, вихідний струм 10 А, ККД – 90%, а коефіцієнт потужності – 0,85?

а) 480 Вт	б) 533 Вт	в) 627 ВА
г) 453 ВА	д) 0,63 кВА	е) Немає правильної відповіді

Правильна відповідь: в, д

Пояснення: Вхідна активна потужність $P_{\text{вх}} = U_{\text{вих}} I_{\text{вих}} / \eta = 48 \cdot 10 / 0,9 = 533 \text{ Вт}$

Вхідна повна потужність $S_{\text{вх}} = P_{\text{вх}} / \cos \varphi = 533 / 0,85 = 627 \text{ ВА}$.

5. Підприємство має споживану потужність 10 кВт з коефіцієнтом потужності 0,67 та працює цілодобово. Яку максимальну кількість коштів можна заощадити за рік, якщо встановити на підприємстві АФГ, якщо тариф на реактивну потужність складає 3 Грн/кВАР·год?

а) 15 тис. Грн	б) 0 Грн	в) 115 тис. Грн
г) 32 тис. Грн	д) 295 тис. Грн	е) Немає правильної відповіді

Правильна відповідь: д

Пояснення: Час роботи підприємства за рік $t_{\text{роб}} = N_{\text{годин у дні}} N_{\text{днів у році}} = 24 \cdot 365 = 8760 \text{ год}$.

Повна потужність підприємства $S = P / \cos \varphi = 10 / 0,67 = 15 \text{ кВА}$.

Реактивна потужність $Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{15^2 - 10^2} = 11,2 \text{ кВАР}$.

Кількість спожитої реактивної енергії $W_{Q \text{ без АФГ}} = Q t_{\text{роб}} = 11,2 \cdot 8760 = 98 \, 112 \text{ кВАР} \cdot \text{год}$.

Кількість коштів $K_{\text{без АФГ}} = W_{Q \text{ без АФГ}} \cdot \text{Тариф} = 98 \, 112 \cdot 3 \approx 295 \text{ тис. Грн}$.

Максимальна кількість коштів буде заощаджена у випадку, коли АФГ повністю компенсує реактивну потужність. У цьому випадку реактивна потужність відсутня і витрати на реактивну потужність – $K_{\text{з АФГ}} = 0 \text{ Грн}$.

Отже максимальна економія коштів $E = K_{\text{без АФГ}} - K_{\text{з АФГ}} = 295 - 0 = 295 \text{ тис. Грн}$

Відповіді студента

1 – б, д 0 балів (надана неправильна відповідь – д)

2 – а 0 балів (надана неправильна відповідь – а)

3 – е 20 балів (надана правильна відповідь)

4 – в 10 балів (надана неповна відповідь)

5 – д 20 балів (надана повна правильна відповідь)

Оцінка – 50 балів (робота не захищена).