



Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет енергетики, робототехніки та
комп'ютерних технологій
Кафедра електропостачання та
енергетичного менеджменту

ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

Методичні вказівки
до виконання лабораторної роботи «Дослідження лінії електропе-
редавання з поперечною ємнісною компенсацією»
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
денної форми навчання
зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та елек-
тромеханіка»

Харків
2023

Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
**Факультет енергетики, робототехніки та
комп'ютерних технологій**
**Кафедра електропостачання та
енергетичного менеджменту**

ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

Методичні вказівки
до виконання лабораторної роботи «Дослідження лінії
електропередавання з поперечною ємнісною компенсацією» для
здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної
форми навчання
зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електро-
механіка»

Затверджено рішенням
науково-методичної ради
факультету енергетики,
робототехніки та комп'ютерних
технологій
Протокол № 3
від 22 лютого 2023 року

Харків
2023

УДК 621.31
С 31

Схвалено на засіданні кафедри
електропостачання та енергетичного
менеджменту Протокол №7 від 8.02.2023

р.

Рецензенти:

С. О. Тимчук, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ДБТУ;

Ю. М. Хандола, канд. техн. наук, зав. кафедри електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та електротехніки ДБТУ.

С 31 Електричні мережі та системи: метод. вказівки до виконання лабораторної роботи «Дослідження лінії електропередавання з поперечною ємнісною компенсацією» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навч. зі спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Держ. біотехнол. ун-т; авт.-уклад.: О. А. Савченко, С. А. Попадченко – Харків: [б. в.], 2023. – 19 с.

Методичні вказівки розроблено відповідно до програми навчальної дисципліни. Видання включає теоретичну частину, алгоритм виконання лабораторної роботи, контрольні запитання та перелік рекомендованої літератури.

Видання призначена для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

УДК 621.31

Відповідальний за випуск: О. О. Мірошник, д-р техн. наук

© Савченко О. А., Попадченко С. А.,
2023 © ДБТУ, 2023

Лабораторна робота

«Дослідження лінії електропередавання з поперечною ємнісною компенсацією»

Мета роботи.

Дослідити на моделі електричної мережі вплив ємнісної компенсації реактивної потужності споживачів на величини втрат: напруги, електричної потужності, енергії.

Програма виконання роботи.

1. Ознайомитись з методичними вказівками та з лабораторною установкою.
2. Заміряти напругу, струм, коефіцієнт потужності в контрольних точках мережі в режимі без компенсації.
3. Визначити розрахунковим шляхом величину ємності конденсаторів для компенсації реактивної потужності до заданого значення коефіцієнта потужності.
4. Вибрати, шляхом підбору, величину ємності повної компенсації, $\cos\varphi = 1$.
5. Виконати дослідження впливу компенсації на величину втрат напруги і втрат потужності в лінії електропередавання.

Вимоги до звіту.

Звіт повинен мати:

1. Мету і програму роботи.
2. Принципові електричні схеми мережі і моделі, паспортні дані приладів і обладнання.

3. Таблиці з даними вимірювань та розрахунки для моделі і оригіналу.

4. Залежності зміни втрат напруги, потужності і коефіцієнта потужності від величини ємності.

5. Векторну діаграму струмів та напруг, побудовану в масштабі для однієї з величин ємності, (по завданню керівника робіт).

6. Висновки по роботі.

Пояснення до роботи.

Значна частина електроприймачів, які приєднані до електричної мережі, споживають активну і реактивну енергію.

Основними споживачами реактивної енергії являються асинхронні двигуни. При передачі по мережі електричної енергії частина її витрачається в проводах лінії електропередавання і в обмотках трансформаторів. Для зменшення потоків реактивної енергії в електричних мережах, розвантаження мережі від реактивної енергії доцільно цю енергію, або її частину, генерувати в місці споживання. Такими джерелами реактивної енергії є синхронні компенсатори, синхронні двигуни і статичні конденсатори, що встановлюються поблизу або на місці споживання електричної енергії.

Синхронний компенсатор представляє собою синхронну машину, яка працює в режимі перезбудження двигуна без навантаження. В лінії електропередавання протікає випереджаючий фазну напругу струм, подібний струму конденсаторної батареї.

В режимі недозбудження синхронний двигун споживає відстаючий струм і є додатковим реактивним навантаженням.

Зазначені властивості синхронного компенсатора дозволяють в різних режимах навантаження регулювати напругу в лінії електропередавання: в режимі максимального навантаження зменшувати реактивний струм навантаження, за рахунок чого зменшуються втрати напруги; в режимі мінімального навантаження синхронного компенсатора збільшувати реактивний струм в електропередачі, за рахунок чого втрата напруги в лінії збільшується.

Конденсатори, які підключаються паралельно активно-індуктивному навантаженню, є найбільш простим, доступним технічним засобом регулювання реактивної потужності в мережах. Втрати напруги в лінії електропередавання із конденсаторами, включеними паралельно навантаженню, визначаються за формулою:

$$\Delta U = \sqrt{3} I_a \cdot R + (I_L - I_c) \cdot X, B; \quad (1)$$

або

$$\Delta U = \frac{P \cdot R + (Q_L - Q_C) \cdot X}{U_H}, B. \quad (2)$$

Зменшення втрати напруги при компенсації реактивної потужності визначаються за формулою:

$$\Delta U_p = \sqrt{3} \cdot I_c \cdot X, B. \quad (3)$$

де I_a , I_L , I_c - струми активної, індуктивної і ємнісної складової загального струму, який протікає в лінії, A ;

ΔU – втрата напруги, B ;

U_H – лінійна напруга мережі, B ;

P , Q_L , Q_C - активна, індуктивна і ємнісна потужність, яка протікає в мережі, Bm , BAp ;

R , X - активний і індуктивний опір лінії електропередавання, Om .

Паралельне вмикання конденсаторів ефективно використовується в лініях з метою підвищення коефіцієнта потужності в межах до 0,95. Необхідну потужність компенсуючого

устаткування (Q_{KB}) для установки в мережі визначають за формулою:

$$Q_{KB} = Q_1 - Q_2 = P(\operatorname{tg}\phi_1 - \operatorname{tg}\phi_K), \text{Var}; \quad (4)$$

де $Q_1 = P \cdot \operatorname{tg}\phi_1$ - розрахункова реактивна потужність навантаження до компенсації, BAp ;

$\operatorname{tg}\phi_1$ - коефіцієнт реактивної потужності до застосування конденсаторів;

$Q_2 = P \cdot \operatorname{tg}\phi_K$ - розрахункова реактивна потужність, відповідно умовам компенсації реактивної потужності, BAp ;

$\operatorname{tg}\phi_K$ - коефіцієнт реактивної потужності після підключення конденсаторів паралельно навантаженню.

Конденсатори, які підключаються на кожну фазу трифазної лінії можуть з'єднуватись в батарею по схемі "трикутник" або "зірка", або їх комбінації.

Реактивна потужність трифазної конденсаторної батареї, з'єднаної трикутником, визначається за формулою:

$$Q_{\Delta} = \omega \cdot C \cdot U^2 \cdot 10^{-3}, \text{кВАр}. \quad (5)$$

Якщо конденсатори трифазної конденсаторної батареї з'єднати по схемі "зірка", реактивна потужність її визначається за формулою:

$$Q_y = \frac{I}{3} \cdot \omega \cdot C \cdot U^2 \cdot 10^{-3}, \text{ кВАр.} \quad (6)$$

де $\omega = 2\pi f = 314$ – колова частота, c^{-1} ;

C – сумарна ємність всіх трьох фаз установки,

мкФ ; U – лінійна номінальна напруга мережі, кВ .

В мережах, напругою $380/220 \text{ В}$ з силовим і змішаним навантаженням застосовують, основним чином, трифазні конденсатори з паралельним з'єднанням конденсаторів у фазі, які потім з'єднують по схемі "трикутник".

Із формул (4), (5) випливає, що з'єднання конденсаторів в "трикутник" дозволяє одержати від конденсаторів однієї і тієї ж ємності в три рази більшу потужність, ніж при з'єднанні в "зірку". Це випливає з того, що з переходом до з'єднання трикутником напруга на кожній фазі конденсатора збільшується до лінійної в $1,73$ рази.

Потужність конденсатора пропорційна квадрату напруги. Схеми підключення конденсаторної батареї з'єднаної в трикутник наведено на рис. 1.

Ємність на фазу визначається за формулою:

$$C_{\phi} = \frac{Q}{\omega} \cdot 10^3 \quad (7)$$

В процесі управління конденсаторною установкою, її відключенні від мережі в ній залишається заряд, природний розряд якого відбувається повільно. З метою забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу для швидкого зниження напруги на затискачах передбачаються паралельно підключати до конденсаторів активні або індуктивні опори. Тривалість

розряду конденсаторів не повинна перебільшувати одну хвилину.

Розрядний опір конденсаторної установки визначається за формулою:

$$R_P = 15 \cdot 10^6 \frac{U^2}{Q_{КБ}}, \text{ Ом.} \quad (8)$$

Загальна ємність на фазу при паралельному з'єднанні конденсаторів визначається за формулою:

$$C_{\parallel} = C_{\Sigma} = C_1 + C_2 + \dots + C_n, \Phi; \quad (9)$$

Конденсатори, напругою понад 1 к при послідовному:

$$\frac{1}{C_{\text{посл.}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}, \Phi; \quad (10)$$

В до 10,5 кВ виготовляються тільки в однофазному виконанні.

Слід звернути увагу на те, що зниження навантаження може призвести в мережі, з встановленими конденсаторами, до збільшення напруги. Регулюючий ефект напруги визначають за формулою:

$$\Delta U = \frac{Q_{КБ} \cdot X_L}{10 \cdot U^2}, \%, \quad (11)$$

де $Q_{КБ}$ - потужність конденсаторної установки (батареї);

X_L - реактивний опір елементів мережі до місця установки конденсаторної батареї, Ом.

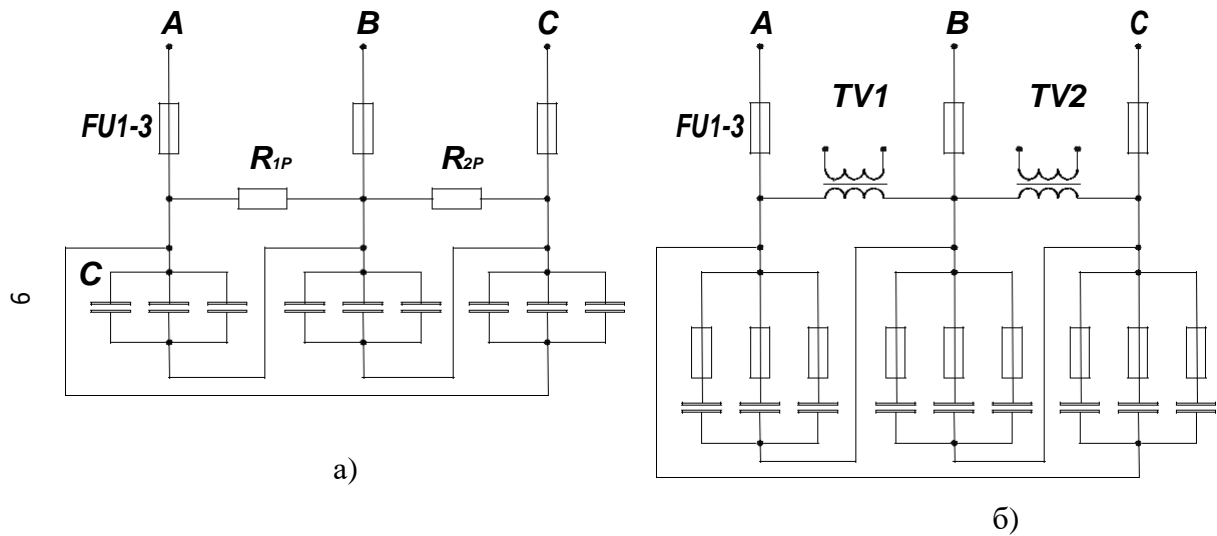


Рисунок. 1 - Схеми підключення конденсаторів на напругу:

а – до 1000 В; б – вище 1000 В;

FU - запобіжник; *TV* – трансформатор напруги.

В умовах зниження навантаження до деякої мінімальної величини та збільшення напруги понад допустимого рівня - батарею конденсаторів слід вимкнути.

Послідовність виконання роботи.

1. Ознайомтесь з лабораторною установкою, визначте, які вольтметри вимірюють напругу U_1 та U_2 . Запишіть паспортні дані приладів. Отримайте у керівника робіт дозвіл на проведення дослідів.

2. Після отримання дозволу на проведення дослідів ввімкніть схему під напругу. Автотрансформатором встановіть в кінці лінії напругу $U_2=200В$. Дані вимірів занесіть в таблицю 1.

Таблиця 1 - Виміряні і обчислені дані дослідів по п. 2

U_1	U_2	I	$\cos\varphi_1$	$\cos\varphi_2$	P	Q	S	$\Delta U=U_1-U_2$	Z_L
B	B	A			Bm	BAp	BA	B	Om

– $\cos\varphi_1$ – коефіцієнт потужності в кінці лінії, який вимірюється шляхом встановлення перемикача S_2 в положення 1.

– $\cos\varphi_2$ – коефіцієнт потужності в кінці лінії, який вимірюється шляхом встановлення перемикача S_2 в положення 2.

3. Визначте ємність конденсаторів на фазу моделі за формулою:

$$C_{мф} = \frac{P \cdot (tg\phi_1 - tg\phi_2) \cdot 10^6}{\omega \cdot U_M^2}, \text{ мкФ}; \quad (12)$$

де P - потужність навантаження моделі; див. табл. 1;

U_M - напруга моделі, 200 В;

$tg\phi_1, tg\phi_2$ – коефіцієнти реактивної потужності. Вибираються по таблиці 2.

Таблиця 2 - значення кута $tg\varphi$ та $cos\varphi$.

$cos\varphi=1$	0,98	0,96	0,95	0,91	0,9	0,88	0,86	0,84	0,82	0,8	0,7	0,6
$tg\varphi = 0$	0,2	0,29	0,38	0,455	0,484	0,54	0,59	0,646	0,698	0,75	1,02	1,33

4. Підключіть розраховану ємність в схему моделі рис.2 мережі, заміряйте струм, напругу, коефіцієнт потужності і запишіть дані вимірів.

5. Якщо коефіцієнт потужності менше одиниці, то вмийкайте додаткову ємність шляхом збільшення її з кроком 0,5 мкФ до величини коефіцієнту потужності, який дорівнює одиниці. Напругу в кінці лінії підтримуйте постійною - 200 В. Величина ємності, при якій коефіцієнт потужності ($cos\varphi=1$) рівний одиниці, називається ємністю повної компенсації, рис.5.

6. Проведіть дослідження змін величин струму, втрат напруги, втрат потужності в мережі моделі, які відбуваються із зміною величини ємності (ступеня компенсації), встановлюючи: $C_1 = C_{нк}$; $C_2 = 0,8C_{нк}$; $C_3 = 0,6C_{нк}$; $C_4 = 0,4C_{нк}$; $C_5 = 0,2C_{нк}$; $C_6 = 0$. Під час досліду слідкуйте за тим, щоб напруга в кінці лінії була постійною - 200 В. Виміряні величини запишіть в таблицю 2.

Таблиця 3 - Виміряні і обчислені дані досліду

		Виміряні					Обчислені для		
		моделі		оригіналу					
Ступінь ком-пенсації	Ємність компенсації, мкФ	U_1 , В	U_2 , В	I , А	$\cos\varphi$	$\Delta U_m = U_1 - U_2$	ΔP_m , Вт	ΔU_{op} , кВ	ΔP_{op} , кВт
1									
0,8									
0,6									
0,4									
0,2									
0									

7. Визначте масштаби вимірюваних величин моделі і реальної (оригіналу) рис.2 мережі. Значення напруги моделі 200 В. Лінійна напруга мережі оригіналу - 35 кВ, потужність – 5000 кВА, довжина лінії - 15 км, провід А-95.

Масштаби величин визначають за формулами:

$$\text{масштаб напруги } M_U = \frac{U_{op, \text{ фази}}}{U_m} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3} \cdot U_m} ; \quad (13)$$

$$\text{масштаб струму } M_I = \frac{I_{op}}{I_m} ; \quad (14)$$

$$\text{масштаб опору } M_R = \frac{R_{op}}{R_m} ; \quad (15)$$

$$\text{масштаб потужні } M_P = M_U \cdot M_I^2. \quad (16)$$

8. За формулою (4) по заданій керівником величині коефіцієнта потужності визначте потужність конденсаторної батареї для оригіналу. Створіть принципову схему з'єднання конденсаторної батареї, приклад, див. рис. 1. б.

Примітка: При обчисленні втрат потужності моделі прийняти величину активного опору лінії, рівною повному опору, визначеному за формулою:

$$R_m \cong Z_m = \frac{\Delta U_m}{I_m}, \text{ Ом}; \quad (17)$$

де Z_m - повний опір лінії моделі, Ом.

Втрати активної потужності в опорах моделі визначають за формулою:

$$\Delta P_{i.m} = I_{i.m}^2 \cdot R_m, \text{ Вт}. \quad (18)$$

Втрати напруги в лінії оригіналу

$$\Delta U_{op} = \sqrt{3} \cdot \Delta U_m \cdot M_U, \text{ кВ}. \quad (19)$$

Втрати потужності в лінії оригіналу визначають за формулами:

$$\Delta P_{i.op} = 3 \cdot I_{i.op}^2 \cdot R_{op}, \text{ кВт}; \quad (20)$$

та

$$\Delta P_{op} = 3 \Delta P_m \cdot M_i^2 \cdot M_R, \text{ кВт}. \quad (21)$$

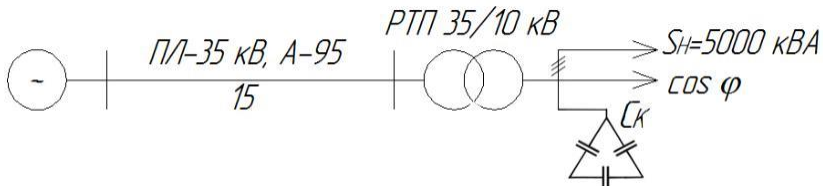


Рисунок 2– Схема мережі електропередавання 35 кВ.

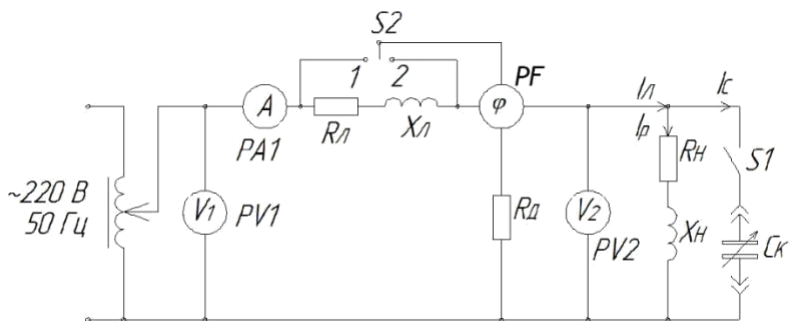


Рисунок 3 – Схема заміщення лінії електропередавання 35 кВ.

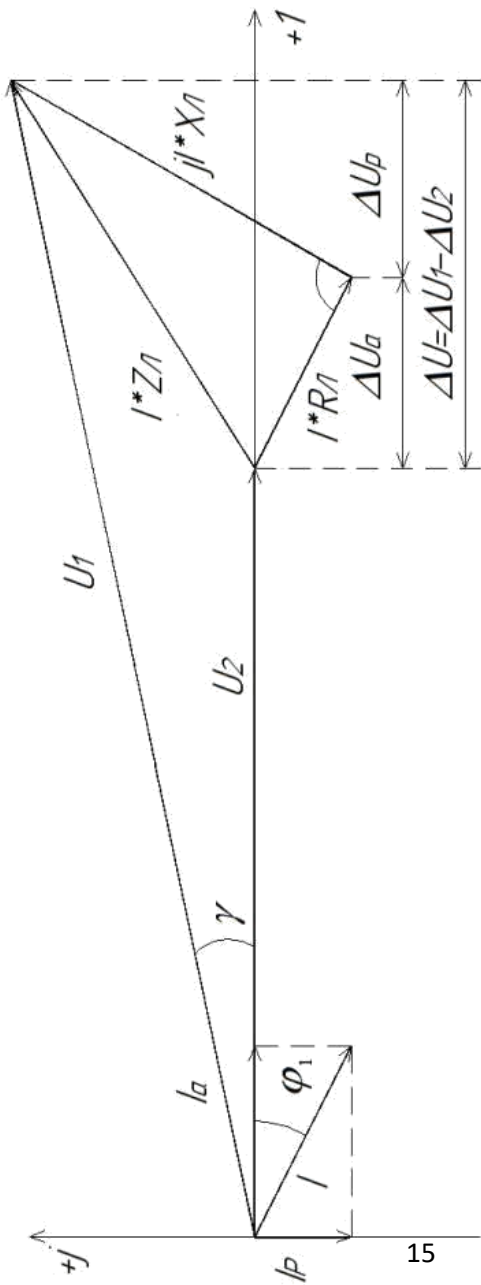


Рисунок 4 – Векторна діаграма струмів та напруг лінії з навантаженням у кінці.

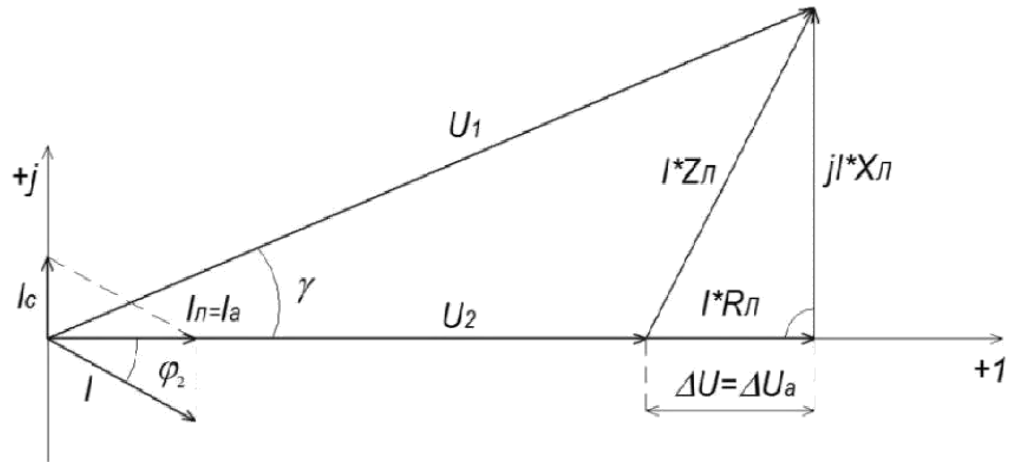


Рисунок 5 – Векторна діаграма струмів та напруг при повній компенсації реактивної потужності навантаження.

Контрольні запитання

1. Визначення потужності і ємності на фазу для батареї конденсаторів при трифазному підключенні.

2. Чому батарею конденсаторів для ємнісної компенсації реактивної потужності в трифазній мережі доцільно з'єднувати трикутником?

3. Чому при максимальному навантаженні в мережі з поперечною ємнісною компенсацією коефіцієнт активної потужності повинен бути в межах 0,95?

4. Які фактори слід мати на увазі для безпеки обслуговування мережі з встановленими в ній паралельно навантаженню конденсаторами?

5. Назвіть джерела (генератори) реактивної потужності і які з них знайшли практичне застосування в мережах?

6. Чому включення конденсаторної батареї паралельно навантаженню відноситься до технічних заходів енергозбереження?

7. Чому, при зменшенні навантаження, потрібно зменшувати потужність конденсаторної батареї?

Використана література

1. . Правила улаштування електроустановок. – Х.: "Форт", 2011, - 732с.
2. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕС) – Мінпаливенерго України. 2007–271с.
3. Блажко Ю.М. Електропостачання міст. –К.: НМК ВО. 1992.-255. (с.145-149).
4. Боровиков В. А. Электрические сети энергетических систем. Л., "Энергия", 1977, 392.
5. Будзко И. А., Зуль Н. М. Электроснабжение сельского хозяйства. – М.: Агропромиздат, 1990. – 406с.
6. Практикум по электроснабжению сельского хозяйства / Под ред. И. А. Будзко / - М.: Колос, 1982. - 319с.
7. Справочник по проектированию электросетей в сельской местности / Э. М. Гричевский, П. А. Катков и др. Под ред. П. А. Каткова, В. Н. Франгуляна/. М.: "Энергия", 1980. – 352с.
8. Козирський В. В. Електропостачання агропромислового комплексу: підруч. / Козирський В. В., Каплун В. В., Волошин С. М. – К.: Аграрна освіта , 2011. – 448 с.
9. Поспелов Г. Е., Федин В. К. Проектирование электрических сетей и систем. Минск, "Высшая школа", 1978, - 304 с.
10. Притака І. П. Електропостачання сільського господарства. – К.: Вища школа. 1983. – 343с.

Навчальне видання

ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

Методичні вказівки
до виконання лабораторної роботи «Дослідження лінії
електропередавання з поперечною ємнісною компенсацією»

Автори-укладачі:
САВЧЕНКО Олександр Анатолійович
ПОПАДЧЕНКО Світлана Анатоліївна

Формат 60×84/16. Гарнітура Times New Roman Папір для цифрового
друку. Друк ризографічний. Ум. друк. арк. 0,6. Наклад 100 пр.
Державний біотехнологічний університет
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44

