



**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 режимів роботи
повітряної лінії електропередавання з повздовжньою 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 режимів роботи
повітряної лінії електропередавання з повздовжньою 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 режимів роботи повітряної лінії електропередавання з повздовжньою 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. – 20 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 режимів роботи повітряної лінії
електропередавання з повздовжньою ємнісною
компенсацією»

Мета роботи.

Вивчити та проаналізувати регулювання напруги в лінії електропередавання шляхом компенсації індуктивного опору лінії при послідовному включенні конденсаторів.

Дослідити вплив повздовжньої ємнісної компенсації реактивної потужності на рівень напруг для різних режимів навантаження з різними значеннями коефіцієнтів потужності.

Звіт по роботі повинен мати:

1. Мету роботи.
2. Розрахунки ємності повної компенсації лінії як оригіналу так і моделі.
3. Принципові електричні схеми дослідів та паспортні дані приладів.
4. Дані досліджень, векторну діаграму для одного із режимів та залежності $\Delta U = f(C_k)$.
5. Висновки по роботі.

Пояснення до роботи.

Нормальні умови експлуатації електроприймачів забезпечуються, якщо значення напруги на їх затискачах буде знаходитися у межах, обумовлених стандартом на якість електричної енергії.

Зміни напруги бувають тривалими і короткочасними. Під час пуску електродвигунів з короткозамкненим ротором, при роботі зварювальних пристроїв або при нестійких коротких замикань у мережі відбувається швидка короткочасна зміна напруги (коливання). При зміні навантаження в мережах з джерелами, потужність яких значно перевищує потужність окремого споживача, відбувається повільна і тривала зміна напруги (відхилення). Відхилення напруги в різних точках мережі різні.

Щоб відхилення напруги у споживачів було у межах стандарту на початку лінії напругу підвищують і тоді у споживачів, які підключені на початку лінії буде додатне відхилення, а в кінці лінії від'ємне.

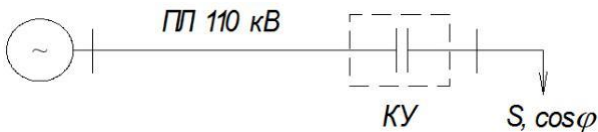


Рисунок 1 - Повітряна лінія напругою 110 кВ з поздовжньою ємнісною компенсацією з навантаженням у кінці.

Алгебраїчна різниця між напругою на початку і в кінці лінії називається втратою напруги, яка для трифазної лінії з навантаженням у кінці (рис. 1) визначається за формулами:

$$\Delta U = U_1 - U_2 = \frac{(P \cdot r_0 + Q \cdot x_0)l}{U_H}, \quad (1.38)$$

або

$$\Delta U = \sqrt{3} I_p (r_0 \cos \phi + x_0 \sin \phi)l, \quad (1.39)$$

де U_1, U_2 – напруга на початку лінії та в кінці, κB ; P ,
 Q – активна та реактивна потужність, κBm , κBAP ;
 r_0, x_{0L} – питомі активний і індуктивний електричні опори
лінії, $Om/\kappa m$;

l – довжина лінії електропередавання,
 κm ; U_n – номінальна лінійна напруга, κB ;

I_p – робочий максимальний струм, A ;

$\cos\phi$ - коефіцієнт потужності активного навантаження.

Як слідує із (1.38) і (1.39) та векторних діаграм (рис.2-3), втрати напруги залежать від величини навантаження та електричних опорів активного і індуктивного лінії. Якщо зменшити індуктивний опір в лінії, то зменшаться загальні втрати напруги. Одним із технічних рішень, за допомогою якого зменшується індуктивний опір лінії електропередавання, є вмикання в розтин проводу фази лінії конденсаторів (конденсаторної установки – KY).

Якщо ввімкнути в лінію ємність, то її реактивний опір визначиться за формулою:

$$x_l = x_L - x_C = \omega L - \frac{1}{\omega C}, \quad (1.40)$$

де $\omega = 2\pi f$ - колова частота напруги, rad/c ; f

= 50 Гц – частота зміни напруги та струму;

L – індуктивність лінії, $Гн$.

За умови повної компенсації реактивний опір дорівнює нулю:

$$x_l = \omega L - \frac{1}{\omega C} = 0, \quad (1.41)$$

а ємність

$$C = \frac{1}{\omega^2 L} = \frac{1}{\omega x_L}, \Phi \quad (1.42)$$

де $x_L = x_{0L} \cdot l$ - індуктивний опір лінії, Ом;

l - довжина лінії електропередавання, км.

Ємнісний опір фази конденсатора визначається за формулою:

$$x_c = \frac{Q_c}{3I^2}, \text{ Ом}; \quad (1.43)$$

де $I = \frac{S}{\sqrt{3}U}$ - струм лінії електропередавання, А;

S - максимальна повна прохідна потужність лінії в точці установки конденсаторів, кВА;

$Q_c = \omega C U^2 = \frac{U^2}{x_c}$ - потужність конденсаторної установки,

кВАр;

U_c - напруга конденсаторів.

Послідовне ввімкнення конденсаторів доцільно в умовах низьких значень (менше 0,9) коефіцієнтів потужності. Якщо значення коефіцієнту потужності близьке до одиниці, то ефективність компенсації може бути від'ємною. Поздовжня компенсація особливо ефективна для мереж із значними коливаннями напруги, так як діє автоматично, в залежності від величини струму. Конденсатор доцільно включати в кінці лінії, біля споживача. За таких умов конденсатори менше попадають під вплив перенапруги, яка виникає в режимі проті-

кання струмів коротких замикань. Більшість коротких замикань буде до точки встановлення конденсаторів. Якщо лінія розподільна, наприклад 10 кВ, то місце встановлення конденсаторів вибирають за умови допустимого відхилення напруги.

Розглянемо приклад вибору конденсаторів (KU) для сільської лінії живлення двигуна системи зрошення.

Визначити кількість та загальну потужність KU для зменшення втрат напруги в лінії 6 кВ на 40%. Активний опір лінії – 3 Ом, реактивний – 4 Ом, активна потужність 600 кВт, коефіцієнт потужності – 0,8.

Розв’язання. Втрати напруги в лінії до компенсації

$$\Delta U = \frac{PR+QX}{10U^2} = \frac{600 \cdot 3 + 450 \cdot 4}{10 \cdot 6^2} = 10\%.$$

Втрати напруги після компенсації за умови зменшення її на 40%:

$$0,6 \cdot 10 = \frac{600 \cdot 3 + 450 \left(\frac{4-x}{6} \right)}{10 \cdot 6^2},$$

ємнісний опір конденсатора: $x_c = 7,52 \text{ } \hat{I} \text{ } \Omega$.

Ємність конденсатора на фазу, мкФ:

$$C = \frac{10^6}{2\pi \cdot f \cdot x} = \frac{10^6}{314 \cdot 7,52} = 423,5 \text{ } \hat{I} \text{ } \mu\text{F}.$$

По каталогу вибираємо конденсатори типу КПМ-0,6-25-1 потужністю 25 кВАр, ємність 221 мкФ, напруга 600 В.

Визначаємо необхідну кількість конденсаторів

$$n = \frac{C}{C_0} = \frac{423,5}{221} = 2 \text{ шт. на фазу.}$$

Загальна кількість конденсаторів

$$N = 3n = 3 \cdot 2 = 6 \text{ шт.}$$

Робочий струм лінії

$$I_p = \frac{P}{\sqrt{3}U\cos\phi} = \frac{600}{1,73 \cdot 6 \cdot 0,8} = 72 \text{ A.}$$

Опір одного конденсатора

$$x_{co} = \frac{10^6}{2\pi f C_0} = \frac{10^6}{314 \cdot 221} = 14,4 \text{ Ом.}$$

Опір конденсаторної батареї на фазу (паралельно з'єднаних конденсаторів)

$$x_{ca} = x_{co} / 2 = \frac{14,4}{2} = 7,2 \text{ Ом.}$$

Напруга на конденсаторах в робочому режимі

$$U_c = I_p \cdot x_{co} = 72 \cdot 7,2 = 518,4 \text{ В,}$$

що менше 600 В.

Загальна потужність батареї конденсаторів трьох фаз:

$$Q_c = 3I^2 x_{co} 10^{-3} = 3 \cdot 72^2 \cdot 7,2 \cdot 10^{-3} = 112, \text{ кВАр.}$$

Підготовка до виконання роботи.

Ознайомитися з методичними вказівки (пояснення до роботи) та лабораторною установкою (рис.1).

Розрахувати ємність для поздовжньої компенсації моделі та оригіналу лінії 110 кВ , виконаної проводом $АС -150/24$. Провід має питомий активний опір лінії $r_0 = 0,21 \text{ Ом/км}$, індуктивний опір лінії $x_0 = 0,4 \text{ Ом/км}$, довжина лінії $l = 200 \text{ км}$.

Потужність навантаження $S = 38000 \text{ кВА}$.

Прийняти масштаби для лабораторної установки моделі лінії електропередавання:

масштаб напруги $m_U = 500$;

струму $m_I = 200$;

опору $m_Z = 2,5$.

Розв'язання. Ємність повної компенсації визначається за формулою:

$$C_{\Pi} = \frac{10^6}{\omega x_l}, \text{ мкФ}; \quad (1.44)$$

де x_l - індуктивний опір лінії 110 кВ , Ом .

Індуктивний опір моделі:

$$x_M = \frac{x_l}{m_z} = \frac{x_l}{2,5} . \quad (1.45)$$

За формулою (1.44) визначаємо ємність для повної компенсації індуктивного опору моделі

$$C_{ПМ} = \frac{10^6}{\omega x_M}, \text{ мкФ.} \quad (1.46)$$

Використовуючи масштаби напруги та струму (див. п.2), визначте напругу та струм моделі за формулами:

$$\text{напруга моделі } U_i = \frac{U}{\sqrt{3m_U}}, \quad (1.47)$$

$$\text{струм моделі } I_i = \frac{S}{\sqrt{3U_i m_i}}. \quad (1.48)$$

За формулою (1.46) $C_M = \frac{10^6}{n\omega x_{дМ}}$, де $n = 1; 0,9; 0,8; 0,7$,

розрахувати значення ємності для різних рівнів компенсації в відношеннях: $\frac{x_{Ci}}{x_{Li}} = 1; 0,9; 0,8; 0,7$.

де x_{Ci} , x_{Li} - відповідно ємнісний та індуктивний опір моделі.

Дані розрахунків величин опорів та ємності запишіть в таблицю 1.

Послідовність проведення дослідів.

1. Отримайте дозвіл на проведення досліджень після перевірки викладачем вашої готовності до виконання роботи.
2. Після отримання дозволу на проведення лабораторної роботи на стенді перевірте, щоб регулятор напруги в був у нульовому положенні. Визначте місце розташування приладів на стенді згідно електричної схеми, рис.1.10.

3. Ввімкніть живлення лабораторного стенду та встановіть ключ "KI" в положення "вкл." чи "відкл." (без компенсації $C_e = 0$). Регулятором напруги установіть напругу в кінці лінії моделі 127 В, яку підтримуйте незмінною на протязі проведення всіх дослідів. Проведіть дослід для трьох навантажень з різним коефіцієнтом навантаження. Дані показу приладів запишіть в рядок таблиці 1 "без конденсаторів".

Покажіть дані дослідів керівникові.

4. За допомогою кнопки або ізольованого провідника з оголеними кінцями розрядіть батарею конденсаторів. Приєднайте провідники до клем батареї конденсаторів, установіть ємність повної компенсації. Підключіть батарею конденсаторів до стенду, згідно схеми рис.1.10 включіть ключ "K" на стенді та зафіксуйте покази приладів в таблиці. Слідкуйте, щоб напруга у кінці лінії моделі була 127 В.

5. По закінченні проведення дослідів вимкніть живлення лабораторної установки, регулятор напруги поставте в нульове положення, розрядіть конденсаторну батарею. Покажіть дані таблиці 1 керівникові робіт і, якщо не буде зауважень, приберіть робоче місце, здайте його керівникові робіт.

6. Після проведення дослідів визначте втрати напруги в лінії моделі за формулою:

$$\Delta U = \frac{U_{1m} - U_{2m}}{U_{2m}} \cdot 100, \%; \quad (1.49)$$

де $U_{2i} = 127 \text{ В}$ - показник вольтметра PV2, та запишіть розрахунки в таблицю 1.

7. По даним таблиці 1 побудуйте залежності $\Delta U = f(C_k)$ для трьох варіантів навантаження моделі і оригіналу. З'ясуйте, змінилась чи ні величина потужності, що передавалась по лінії. Установіть відповідність розрахункових величин оригіналу і виміряних на моделі.

8. Для одного із дослідів з компенсацією згідно номера бригади побудуйте векторну діаграму, подібну рис. 3 - 6.

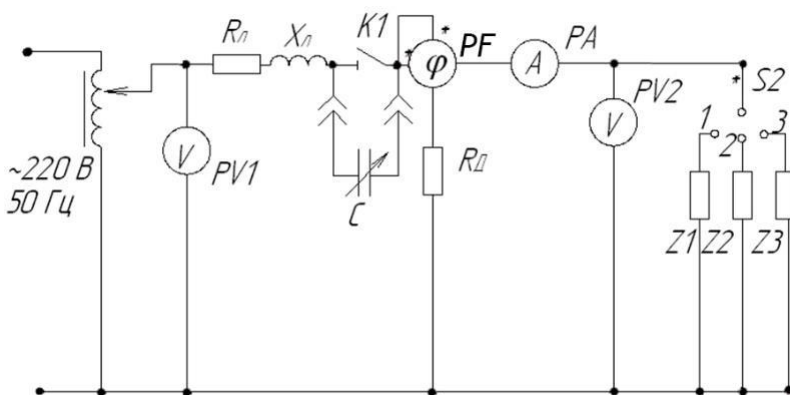


Рисунок 2 - Принципова електрична схема лабораторної установки (Схема заміщення лінії електропередавання з поздовжньою ємнісною компенсацією).

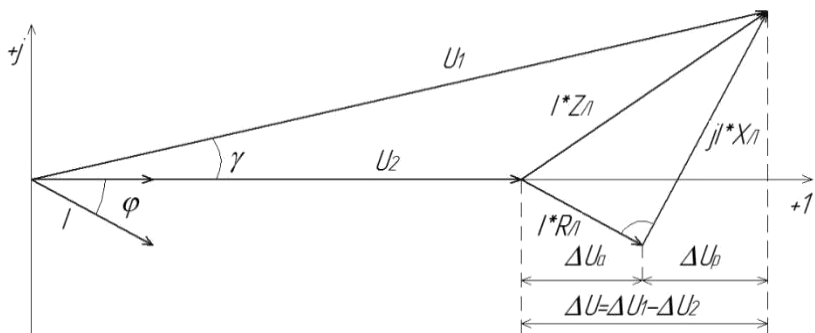


Рисунок 3 - Векторна діаграма напруг лінії з навантаженням без компенсації.

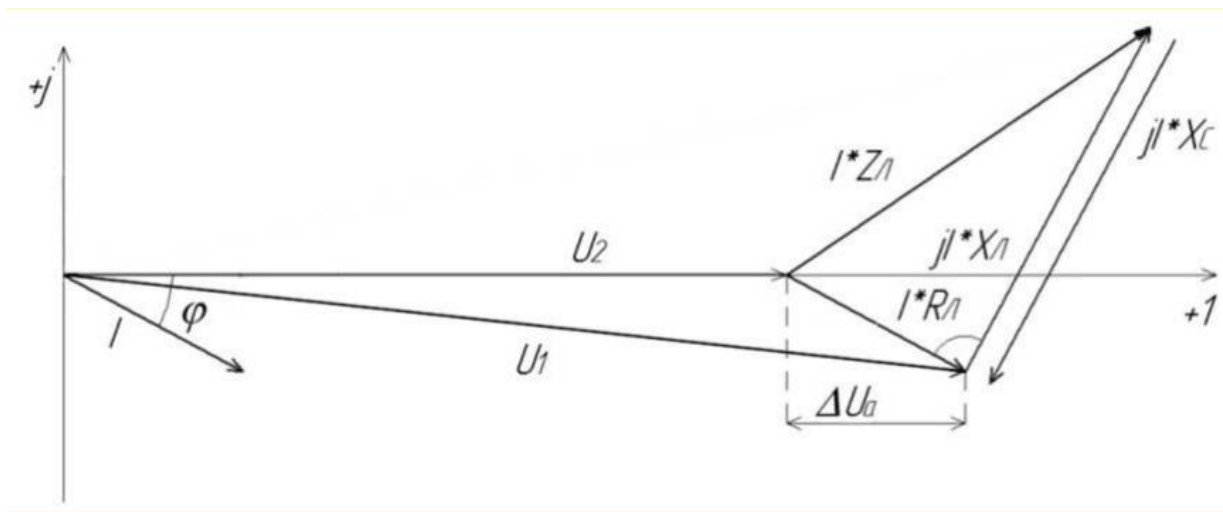


Рисунок 4 - Векторна діаграма напруг лінії в режимі повної компенсації.

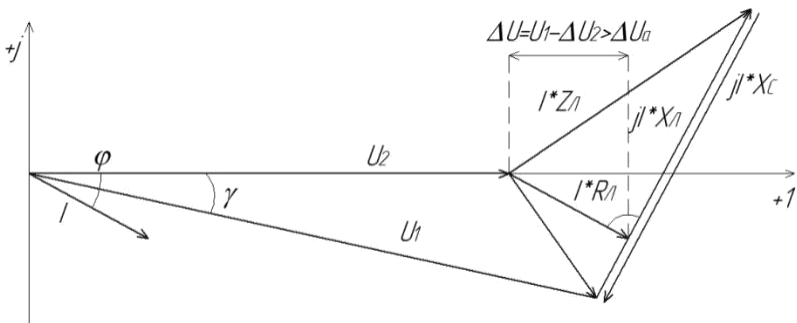


Рисунок 5 - Векторна діаграма напруги лінії в режимі перекомпенсації.

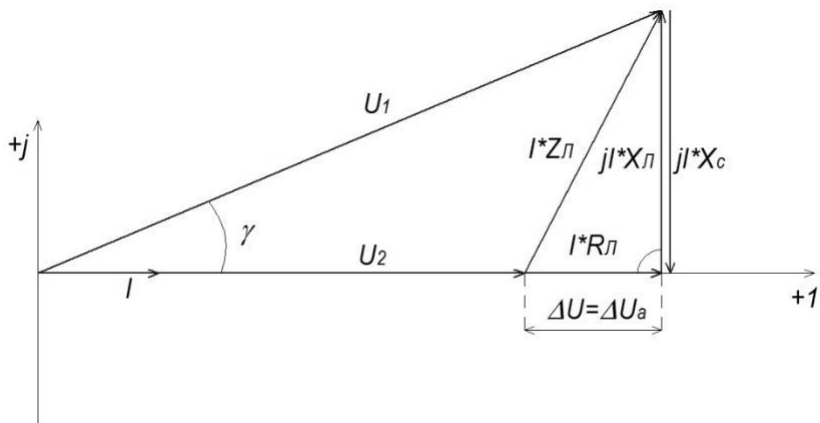


Рисунок 6 - Векторна діаграма напруги в режимі передачі активної потужності.

Контрольні запитання.

1. Від яких факторів залежить пропускна здатність лінії електропередавання?
2. Що таке відхилення, спад і втрати напруги?
3. Від чого залежить величина втрат напруги?
4. Визначення втрат напруги в іменованих одиницях, у відсотках номінального: навантаження задане потужностями, струмом.
5. Яким чином досягається компенсація індуктивної складової втрати напруги?
6. Що таке поздовжня ємнісна компенсація (ПЕК)? Для чого вона використовується?
7. Чому ПЕК ефективна тільки при низьких значеннях коефіцієнта потужності?
8. В якій точці мережі – на початку, в середині чи в кінці – найбільш доцільна установка пристроїв ПЕК в лініях електропередавання різних видів і призначення? Якими факторами підтверджується?
9. На яку робочу напругу вибираються конденсатори для ПЕК в лінії?
10. Як впливає ПЕК на величини втрат потужності і втрат енергії у лінії електропередачі?
11. Чи можливо використати ПЕК для кабельних ліній електропередачі?
12. Чому виникає необхідність використання спеціальних засобів для шунтування конденсаторів при протікнні по ним струмів короткого замикання?

Література

1. Правила улаштування електроустановок. – Х.: "Форт", 2011, - 732с.
2. Визначення економічної ефективності капітальних вкладень в енергетику. Методика. Загально методичні положення. ГКД 340.000.001.95. Міненерго України. Київ, 1995.
3. Методика расчета нормативных (технологических) потерь электроэнергии в электрических сетях (утверждена минпромэнерго России от 3 февраля 2005 г. № 21).
4. Наказ №19 від 17.01.2002р. Про затвердження методики обчислення плати за перетікання реактивної енергії. Київ. Міністерство палива та енергетика України. Реєстр. №03/6381 від 1.02.02.
5. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕС) – Мінпаливенерго України. 2007–271с.
6. Блажко Ю.М. Електропостачання міст. –К.: НМК ВО. 1992.-255. (с.145-149).
7. Боровиков В. А. Электрические сети энергетических систем. Л., "Энергия", 1977, 392.
8. Будзко И. А., Зуль Н. М. Электроснабжение сельского хозяйства. – М.: Агропромиздат, 1990. – 406с.
9. Будзко И. А., Левин М. С. Электроснабжение сельскохозяйственных предприятий и населенных пунктов. – М.: Агропромиздат, 1985. -320с.
10. Практикум по электроснабжению сельского хозяйства / Под ред. И. А. Будзко / - М.: Колос, 1982. - 319с.
11. Глазунов А. А., Электрические сети и системы. – М.: Госэнергоиздат, 1954.- 574 с.

12. Гончар М. І. Методичні вказівки до виконання курсового проекту "Розробка системи електропостачання споживачів АПК сільськогосподарського адміністративного району". Харків. ХНТУСГ, 2005. – 114с.

13. 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.

14. Козирський В. В. Електропостачання агропромислового комплексу: підруч. / Козирський В. В., Каплун В. В., Волошин С. М. – К.: Аграрна освіта, 2011. – 448 с.

15. Притака І. П. Електропостачання сільського господарства. – К.: Вища школа. 1983. – 343с.

Навчальне видання

ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

Методичні вказівки
до виконання лабораторної роботи «Дослідження режимів
роботи повітряної лінії електропередавання з повздовжньою
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