



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

ЕЛЕКТРИЧНІ СТАНЦІЇ І ПІДСТАНЦІЇ

**Методичні вказівки
до виконання розрахунково-графічного завдання
«Вибір та перевірка обладнання районної трансформаторної
підстанції»
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
денної форми навчання
зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»**

**Харків
2024**

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

ЕЛЕКТРИЧНІ СТАНЦІЇ І ПІДСТАНЦІЇ

Методичні вказівки
до виконання розрахунково-графічного завдання
«Вибір та перевірка обладнання районної трансформаторної
підстанції»
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної
форми навчання зі спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

Затверджено рішенням
науково-методичної ради
факультету енергетики,
робототехніки та комп'ютерних
технологій
Протокол № 5
від 29 лютого 2024 року

Харків
2024

УДК 621.31

С 31

Схвалено на засіданні кафедри
електропостачання та енергетичного менеджменту
Протокол №8 від 20.02.2024 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 станції і підстанції: метод. вказівки до виконання розрахунково-графічного завдання «Вибір та перевірка обладнання районної трансформаторної підстанції» 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 – Харків: [б. в.], 2024. – 38 с.

Методичні вказівки розроблено відповідно до програми навчальної дисципліни. Видання включає теоретичні відомості, методику розрахунку, вихідні дані 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., 2024

© ДБТУ, 2024

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	4
1 ЗАВДАННЯ	5
2 ЗМІСТ РГЗ ТА ВИМОГИ ЩОДО ЙОГО ОФОРМЛЕННЯ	5
3 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ РГЗ	6
3.1 Рекомендації щодо написання вступу	6
3.2 Оформлення вихідних даних	6
3.3 Розробка принципової схеми головних з'єднань підстанції	7
3.4 Розрахунок струмів короткого замикання	7
3.5 Вибір високовольтної комутаційної апаратури	12
3.6 Вибір вимірювальних приладів та засобів контролю	15
3.7 Вибір трансформаторів струму	15
3.8 Вибір трансформаторів напруги	19
3.9 Вибір трансформаторів власних потреб	20
3.10 Вибір запобіжників	20
3.11 Вибір та перевірка шин	22
3.12 Вибір та перевірка ізоляторів	24
3.13 Вибір апаратури високочастотного зв'язку	26
3.14 Розрахунок захисту від перенапруг	26
ДОДАТОК А ЗРАЗОК ОФОРМЛЕННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ	28
ДОДАТОК Б ВИХІДНІ ДАНІ ЗА ВАРІАНТАМИ	29
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	32

ПЕРЕДМОВА

Електрична підстанція – це електроустановка, що призначена для приймання, перетворення та розподілення електричної енергії до споживачів.

Електропостачання сільськогосподарських районів є пріоритетним напрямком в енергетиці, так як розвиток сільського господарства, на сьогоднішній день стоїть на одному з головних місць розвитку економіки.

Так, практично, в усіх районах країни, існують системи розподілу електроенергії для електропостачання сільськогосподарських споживачів.

Основна особливість електропостачання сільського господарства в порівнянні з електропостачанням промисловості і міст - це підведення електроенергії до великої кількості порівняно малопотужних розосереджених об'єктів.

Навіть тваринницькі комплекси, які є споживачами другої категорії по надійності електропостачання, не всі забезпечені резервуванням електропостачання. Частина повітряних ліній (ПЛ) в сільських районах знаходиться в незадовільному технічному стані, так як багато хто з них були раніше побудовані на опорах з непросочені або погано просоченої деревини.

Доцільність подальшого розвитку електричних мереж в сільських районах країни обумовлена:

- необхідністю усунення вищевказаних недоліків існуючого електропостачання споживачів;
- необхідністю забезпечення електропостачання нових споживачів, що плануються до будівництва в зонах, вже охоплених електропостачанням.

У даних методичних вказівках розглянуті питання обґрунтування схем первинних з'єднань підстанцій, розрахунку робочих струмів та струмів к.з., вибору основного обладнання підстанцій.

1 ЗАВДАННЯ

Суть завдання викладено в зразку «Вихідні дані», що наведений в додатку А. Вихідні дані для розрахунку приймаються за даними табл. Б.1-Б.2 додатку Б. Вихідні дані беруться для номера варіанта, який відповідає порядковому номеру студента у журналі академічної групи.

2 ЗМІСТ РГЗ ТА ВИМОГИ ЩОДО ЙОГО ОФОРМЛЕННЯ

РГЗ є самостійною працею студента і оформляється у вигляді розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини.

Розрахунково-пояснювальна записка виконується на аркушах формату А4 з полями: ліворуч – 20 мм, праворуч, знизу та зверху – 10 мм, бажано з використанням текстового редактора комп'ютера (шрифт Times New Roman, 14 пт) з обов'язковою нумерацією сторінок. Перша сторінка – титульна (за формою, не нумерується), друга – завдання (за формою, не нумерується), третя – зміст пояснювальної записки, далі – структурні частини записки у відповідності до змісту. Зміст розрахунково-пояснювальної записки має такий вигляд:

Вступ

Вихідні дані

- 1 Розробка принципової схеми головних з'єднань підстанції
- 2 Розрахунок струмів короткого замикання
- 3 Вибір високовольної комутаційної апаратури
- 4 Вибір вимірювальних приладів та засобів контролю
- 5 Вибір трансформаторів струму

- 6 Вибір трансформаторів напруги
 - 7 Вибір трансформаторів власних потреб
 - 8 Вибір запобіжників
 - 9 Вибір та перевірка шин
 - 10 Вибір та перевірка ізоляторів
 - 11 Вибір апаратури високочастотного зв'язку
 - 12 Розрахунок захисту від перенапруг
- Перелік використаних джерел

Графічна частина включає креслення схеми первинних з'єднань підстанції, що виконується на одному креслярському ватмані формату А3 і має назву «Однолінійна схема первинних з'єднань підстанції». Креслення повинно бути виконане за допомогою графічного редактора комп'ютера.

Виконання текстової та графічної частин проводиться у відповідності до норм діючих стандартів на оформлення конструкторської документації.

3 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ РГЗ

3.1 Рекомендації щодо написання вступу

У вступній частині викладаються передумови проектування електричних підстанцій, описується послідовність виконання проекту, основні нормативні документи, які при цьому використовуються.

3.2 Оформлення вихідних даних

Вихідні дані оформлюються за зразком, що показаний у додатку А.

3.3 Розробка принципової схеми головних з'єднань підстанції

Розробку схеми первинних з'єднань районної трансформаторної підстанції (РТП) проводять з урахуванням вимог [1, 2]. Розподільний пристрій (РП) 35 або 110 кВ виконується як правило відкритим. На стороні нижчої напруги 10 кВ як правило використовуються комплектні РП зовнішнього встановлення.

Підстанції виконуються комплектними, з блоків заводського виготовлення, наприклад типу КТПБ [9, 20]. На стороні вищої напруги у КТПБ застосовуються транспортабельні металеві блоки заводського виготовлення з обладнанням РП 35 кВ або 110 кВ. На стороні нижчої напруги як правило встановлюються комплектні РП зовнішнього встановлення (див. наприклад [9]), які допускають комплектацію сучасними вакуумними вимикачами.

Схему первинних кіл комутації відкритого РП 35-110 кВ КТПБ виконують за типовими проектами, що розроблені інститутом „Енергомережпроект” [2].

Лінії 10 кВ розподіляють між секціями збірних шин таким чином, щоб на кожну з них приходилось близько половини навантаження РТП. Секціонуючий вимикач забезпечує АВР при аварійному вимиканні одного з трансформаторів або лінії 35(110) кВ, яка його живить. У цьому випадку обидві секції шин отримують живлення від іншого трансформатора. Після розроблення схеми первинних з'єднань виконують її креслення (див. приклад на рис. 1).

Розрахунок струмів короткого замикання (к.з.) в мережі проводять за методом іменованих або відносних одиниць [6].

В якості розрахункової схеми при визначенні струмів к.з. приймають схему нормального тривалого режиму без врахування можливих короткочасних видозмін цієї схеми при оперативних перемиканнях. Приклад розрахункової схеми для визначення струмів к.з. наведений на рис. 2 (а).

Для вибору та перевірки електричних апаратів необхідно знати найбільше значення струму к.з. (трифазне к.з. у місці встановлення апарату). Для перевірки чутливості захистів, що проектується, необхідно знати мінімальні значення струмів к.з. (у системі з ізольованою нейтраллю це двофазний струм к.з. в найвіддаленішій точці). Таким чином, для схеми розрахунковими точками к.з. є шини вищої напруги РТП, шини 10 кВ, а також найвіддаленіші точки мережі 10 кВ (див. рис. 2).

Для розрахункової схеми виконують однолінійну еквівалентну схему заміщення, в якій всі пасивні елементи вихідної схеми замінюють опорами, а джерела живлення – генераторами напруги, рис. 2 (б).

Згідно методу іменованих одиниць приймають базисний ступінь напруги, наприклад $U_{\delta}=10,5$ кВ. Далі приводять опори елементів схеми заміщення до базисного ступеня напруги. Приведений опір трансформаторів знаходять за формулою

$$x_T = \frac{u_{\kappa} \% \cdot U_{\delta}^2}{100 \cdot S_n}, \text{ Ом}, \quad (1)$$

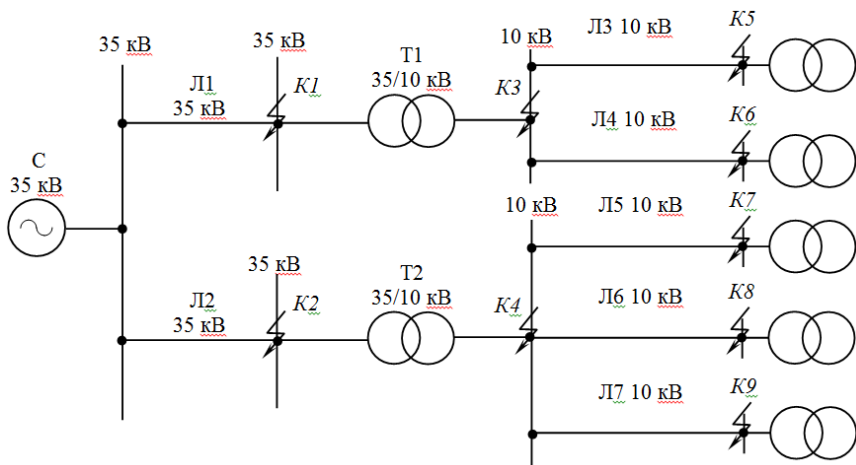
де u_{κ} – напруга к.з. трансформатора, %;

S_n – номінальна потужність трансформатора, МВА.

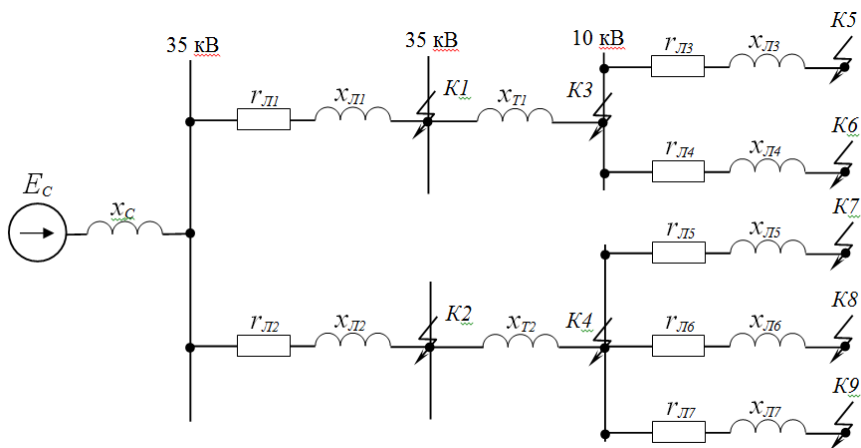
Приведені опори повітряних ліній знаходять за формулами

$$x_{Li} = x_{0i} \cdot l_i \cdot \left(\frac{U_{\delta}}{U_{c.n.}} \right)^2, \text{ Ом}, \quad (2)$$

$$r_{Li} = r_{0i} \cdot l_i \cdot \left(\frac{U_{\delta}}{U_{c.n.}} \right)^2, \text{ Ом}, \quad (3)$$



а) розрахункова схема;



б) еквівалентна схема заміщення.

Рисунок 2 – Розрахункова схема та еквівалентна схема заміщення електричної мережі

де x_{0i} – індуктивний опір одного кілометра проводу, що використаний на i -ій лінії, Ом/км;

r_{0i} – активний опір одного кілометра проводу, що використаний на i -ій лінії, Ом/км;

l_i – довжина i -ої лінії, км;

$U_{с.н.}$ – середня номінальна напруга лінії, кВ.

За схемою заміщення (див. рис. 2) визначають результуючий опір до кожної з точок к.з. При цьому приймають, що опір системи $x_c=0$ (система з необмеженою потужністю). Наприклад, результуючі опори для точки К1

$$x_{\Sigma K1} = x_{Л1},$$

$$r_{\Sigma K1} = r_{Л1},$$

$$Z_{\Sigma K1} = \sqrt{x_{\Sigma K1}^2 + r_{\Sigma K1}^2}.$$

Періодичну складову струму трифазного к.з., приведеного до базисної напруги, знаходять з допущенням незмінності напруги на шинах системи. При цьому струм к.з. є незмінним в часі і розраховується за формулою [6]

$$I_{\delta K}^{(3)} = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K}}, \text{ кА.} \quad (4)$$

Дійсний струм к.з. в точці (приведений до напруги даного ступеня) знаходять за виразом

$$I_K^{(3)} = I_{\delta K}^{(3)} \frac{U_{\delta}}{U_{с.н.}}, \text{ кА.} \quad (5)$$

Струм двофазного к.з.

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_K^{(3)}, \text{ кА.} \quad (6)$$

Ударний струм к.з.

$$i_{yK} = k_y \sqrt{2} I_K^{(3)}, \text{ кА,} \quad (7)$$

де k_y – ударний коефіцієнт, який для сільських мереж при замиканні на шинах 35 та 10 кВ підстанцій з вищою напругою 35 кВ приймається рівним $k_y = 1,5$, а для випадку замикання на шинах підстанцій з вищою напругою 110 кВ – $k_y = 1,8$. При замиканні в мережах 10 кВ – $k_y = 1$.

Найбільше діюче значення повного струму к.з.

$$I_{yK} = I_K^{(3)} \sqrt{1 + 2(k_y - 1)^2}, \text{ кА.} \quad (8)$$

Повна потужність трифазного к.з.

$$S_K^{(3)} = \sqrt{3} \cdot U_{с.н.} \cdot I_K^{(3)}, \text{ кВА.} \quad (9)$$

Таким чином розраховуються параметри режиму к.з. у всіх точках мережі. Результати розрахунків заносяться до таблиці (за формою табл. 1).

Таблиця 1 – Результати розрахунку параметрів режиму к.з.

Точка к.з.	Параметри режиму к.з.							
	$x_{\Sigma K}$	$r_{\Sigma K}$	$z_{\Sigma K}$	$I_K^{(3)},$ кА	$I_K^{(2)},$ кА	$i_{yK},$ кА	$I_{yK},$ кА	$S_K^{(3)},$ МВА

3.5 Вибір високовольної комутаційної апаратури

Відповідно до вибраної схеми первинних кіл РТП, необхідно здійснити вибір та перевірку комутаційної апаратури, до якої можуть відноситись:

1) зі сторони високої напруги (35 або 110 кВ):, масляні або інші вимикачі;

2) з низької сторони 10 кВ: високовольні вимикачі у шафах відхідних ліній, вводу до збірних шин та секційного вимикача, роз'єднувачі.

Згідно [1], вимикачі та роз'єднувачі вибирають за такими критеріями:

- за конструкцією та родом встановлення;
- за номінальною напругою $U_n \geq U_m$ (U_n – номінальна напруга апарата; U_m – номінальна напруга мережі);
- за номінальним струмом $I_n \geq I_{p.\max}$ (I_n – номінальний струм апарата; $I_{p.\max}$ – максимальний робочий струм);
- за електродинамічною стійкістю $i_{\max} \geq i_y$ та (або) $I_{\max} \geq I_y$ ($i_{\max}$, $I_{\max}$ – відповідно максимальний допустимий амплітудний та діючий струм апарата; i_y , I_y – відповідно миттєве та діюче значення ударного струму к.з. в точці встановлення);
- за термічною стійкістю $I_t^2 t \geq I_K^2 t_\phi$ (I_t – струм термічної стійкості апарата, вказаний в його паспорті для часу проходження t ; I_K – діюче розрахункове значення усталеного струму к.з. в точці встановлення; t_ϕ – фіктивний час к.з., який для сільських мереж приймається рівним дійсному часу к.з.).

Окрім цього, високовольні вимикачі перевіряються за вимикаючою здатністю – $I_{\text{вим}} \geq I_K^{(3)}$ або $S_{\text{вим}} \geq S_K^{(3)}$, де $I_{\text{вим}}$, $S_{\text{вим}}$ – відповідно максимальний струм або потужність, яка може вимикатись вимикачем.

Максимальний робочий струм кожного з вимикачів та роз'єднувачів на стороні 35 або 110 кВ визначають для найжорсткішого експлуатаційного режиму, в якому з роботи виведені одна з живлячих ПЛ 35 або 110 кВ та один

трансформатор, за виразом

$$I_{p.\max 35} = \frac{k_{nep} \cdot n_m \cdot S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \text{ А}, \quad (10)$$

де k_{nep} – коефіцієнт допустимого перевантаження трансформаторів РТП в післяаварійному режимі, $k_{nep} = 1,4$ [7];

S_n – номінальна потужність трансформаторів, кВА;

U_n – номінальна напруга трансформаторів, кВ.

Фіктивний час к.з.

$$t_{\phi} = t_{зах} + t_{вим}, \text{ с}, \quad (11)$$

де $t_{зах}$ – час дії релейного захисту, с;

$t_{вим}$ – час вимикання вимикача, с.

Величину фіктивного часу к.з. допустимо прийняти орієнтовно – для сторони 35 або 110 кВ $t_{\phi 35(110)} = 3$ с, для сторони 10 кВ $t_{\phi 10} = 2$ с.

Розрахункові дані мережі та номінальні параметри апаратів заносять у табл. 2.

Для двотрансформаторних підстанцій максимальний робочий струм для вимикачів РП 10 кВ відповідає струму вимикачів ввідних шаф при роботі РТП з одним трансформатором. Величина цього струму визначається за формулою (10). Для однострансформаторних підстанцій максимальний робочий струм для вимикачів РП 10 кВ відповідає найбільшому робочому струмові ліній 10 кВ.

Умови вибору, розрахункові дані та параметри вибраних вимикачів заносять до таблиці (за прикладом табл. 2).

Таблиця 2 – Вибір та перевірка роз'єднувачів (вимикачів) на стороні 35(110) кВ

Умова вибору	Паспортні дані роз'єднувача (вимикача) типу	Розрахункові дані мережі
$U_H \geq U_M$ $I_H \geq I_{p.\max 35(110)}$ $I_{\max} \geq I_{yK}$ $I_t^2 t \geq I_K^{(3)2} t_{\phi 35(110)}$	$U_H =$ $I_H =$ $I_{\max} =$ $I_t^2 t =$	$U_M =$ $I_{p.\max 35(110)} =$ $I_{yK} =$ $I_K^{(3)2} t_{\phi 35(110)} =$

3.6 Вибір вимірювальних приладів та засобів контролю

На підставі необхідної системи вимірювань, контролю та обліку згідно вимог ПУЕ [1] для розроблюваної схеми підстанції (див. рис. 1) визначають номенклатуру приладів. На низькій стороні 10 кВ необхідно встановити такі прилади [13]:

- у шафах вводу до секцій збірних шин – амперметри, лічильник активної та реактивної енергії;
- у шафах відхідних ліній 10 кВ – амперметр та лічильник активної енергії;
- у шафах трансформаторів власних потреб – лічильник активної енергії;
- у шафі секційного вимикача – амперметр;
- у шафах вимірювальних трансформаторів – вольтметр.

Вмикання усіх вимірювальних приладів здійснюється через перетворюючі пристрої, як за струмом, так і за напругою. За родом струму усі прилади призначені для використання в колах змінного струму частотою 50 Гц. Параметри вибраних приладів заносять до таблиці (за прикладом табл. 3).

3.7 Вибір трансформаторів струму

Трансформатори струму вибираємо за такими критеріями [6]:

- конструктивним виконанням та родом встановлення;
- номінальною напругою $U_n \geq U_m$;
- номінальним струмом первинної обмотки $I_{1n} \geq I_{1p. max}$;
- вторинним навантаженням (класом точності) $S_{2n} \geq S_2$ (S_{2n} – номінальна потужність трансформатора струму; S_2 – дійсне навантаження);
- електродинамічною стійкістю $i_{max} \geq i_y$ або $\sqrt{2} k_{дин} \cdot I_{1n} \leq i_y$ ($k_{дин}$ – номінальна кратність електродинамічної стійкості);
- термічною стійкістю $I_t^2 t \geq I_K^2 t_\phi$ або $(k_{терм} \cdot I_{1n})^2 \cdot t \geq I_K^2 t_\phi$ ($k_{терм}$ – номінальна кратність термічної стійкості).
- Для живлення кіл вимірювальних приладів згідно [1] необхідно використовувати трансформатори струму з класом точності 0,5, а для живлення кіл релейного захисту та автоматики допускається використовувати трансформатори струму з класом точності до 10.

Таблиця 3 – Технічні характеристики вимірювальних приладів

Прилад	Тип прила- ду	Клас точності	Потужність, що споживається катушками приладу			
			послідовною		паралельною	
			активна, Вт	реактивна, ВАр	активна, Вт	реактивна, ВАр
Амперметр						
Вольтметр						
Лічильник активної енергії						
Лічильник реактивної енергії						

Максимальний струм первинної обмотки трансформаторів струму ввідних шаф РП 10 кВ відповідає випадку роботи РТП з одним трансформатором, коли все навантаження приєднане до однієї з секцій шин (див. підрозділ 3.6). В одному з таких режимів буде спостерігатись також максимальне значення струму первинної обмотки трансформаторів струму шафи секційного вимикача РП 10 кВ. Максимальний струм первинної обмотки трансформаторів струму шаф відхідних ПЛ 10 кВ відповідає розрахунковому струму на головних ділянках кожної з ліній (див. вихідні дані).

Максимальне навантаження вторинної обмотки, створене вимірювальними приладами, мають трансформатори струму ввідних шаф. Навантаження цих трансформаторів, створене вимірювальними приладами

$$S_{\text{прил.}} = S_a + S_{\text{л.а.}} + \frac{3}{2} S_{\text{л.р.}}, \text{ ВА}, \quad (12)$$

де S_a – навантаження, що створюється амперметром, ВА (див. табл. 3);

$S_{\text{л. а.}}$ – навантаження, що створюється послідовною котушкою лічильника активної енергії, ВА (див. табл. 3);

$S_{\text{л. р.}}$ – навантаження, що створюється послідовною котушкою лічильника реактивної енергії, ВА (див. табл. 3).

Навантаження, що створюється контактами

$$S_k = I_{2н}^2 R_k, \text{ ВА}, \quad (13)$$

де $I_{2н}$ – номінальний струм вторинної обмотки трансформатора струму, $I_{2н}=5 \text{ А}$;

R_k – активний опір контактів, приймається для всього кола рівним 0,1 Ом.

Допустимий опір з'єднувальних проводів

$$R_{\text{доп. пров}} = \frac{S_{2н} - (S_{\text{прил.}} + S_{\kappa})}{I_{2н}^2}, \text{ Ом.} \quad (14)$$

де $S_{2н}$ – номінальна вторинна потужність вибраного трансформатора струму.

Мінімально допустимий переріз з'єднувальних проводів

$$F_{\text{доп. пров.}} = \frac{\rho \cdot l \cdot k_{\text{сх}}}{R_{\text{доп. пров.}}}, \text{ мм}^2, \quad (15)$$

де ρ – питомий опір матеріалу проводів, для міді $\rho = 18,9 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$;

l – довжина з'єднувальних проводів в один кінець (від трансформатора струму до вимірювального приладу), $l = 5 \text{ м}$;

$k_{\text{сх}}$ – коефіцієнт, що залежить від схеми вмикання вимірювальних приладів, для неповної зірки $k_{\text{сх}} = \sqrt{3}$.

Далі приймається стандартне значення перерізу проводів вторинної проводки $F_{\text{пров.}}$ з урахуванням того, що згідно ПУЕ [1] мінімальний переріз мідних проводів складає $2,5 \text{ мм}^2$.

Навантаження, що створюється з'єднувальними проводами

$$S_{\text{пров.}} = I_{2н}^2 \cdot \rho \frac{k_{\text{сх}} \cdot l}{F_{\text{пров.}}}, \text{ ВА.}$$

Дійсне навантаження трансформаторів струму ввідних шаф

$$S_2 = S_{\text{прил.}} + S_{\kappa} + S_{\text{пров.}}, \text{ ВА.}$$

Далі перевіряється робота трансформаторів струму у необхідному класі точності за умовою

$$S_2 \leq S_{2н}.$$

Якщо дана умова виконується, то трансформатори будуть працювати в необхідному класі точності. В іншому випадку необхідно збільшити кількість трансформаторів струму.

Розрахункові дані та параметри вибраних трансформаторів струму у шафах РП 10 кВ заносять до таблиці (табл. 4).

На стороні 35(110) кВ використовуються як правило маслонаповнені трансформатори струму зовнішнього встановлення з фарфоровою ізоляцією [13] або трансформатори струму, вмонтовані у вводи вимикачів. Умови вибору, розрахункові дані та параметри вибраних трансформаторів також заносять до таблиці (за зразком табл. 4).

Таблиця 4 – Вибір та перевірка трансформаторів струму на стороні 10 (35, 110) кВ

Умова вибору	Паспортні дані трансформаторів струму	Розрахункові дані мережі
Шафи відхідних ліній: _____ (_____)		
	тип трансформаторів струму	кількість
$U_n \geq U_m$ $I_{In} \geq I_{Ip. \max}$ $i_{\max} \geq i_{yK}$ $I_t^2 t \geq I_{\kappa}^{(3) 2} t_{\phi 10}$ $S_{2н} \geq S_2$	$U_n =$ $I_{In} =$ $i_{\max} =$ $I_t^2 t =$ $S_{2н} =$	$U_m =$ $I_{Ip. \max} =$ $i_{yK} =$ $I_{\kappa}^{(3) 2} t_{\phi 10} =$ $S_2 =$

3.8 Вибір трансформаторів напруги

Трансформатори напруги для живлення вимірювальних приладів і реле вибирають за такими критеріями [6]:

- конструктивним виконанням та родом встановлення;

- номіальною напругою $U_{Ih} = U_m$ (U_{Ih} – номіальна напруга первинної обмотки трансформатора);
- схемою з'єднання обмоток;
- вторинним навантаженням (класом точності) $S_{2h} \geq S_2$ (S_{2h} – номіальна потужність трансформатора напруги у прийнятому класі точності; S_2 – дійсне навантаження).

Перерізи проводів і кабелів, які живлять кола напруги лічильників, повинні обиратися так, щоб втрати напруги у цих колах складали не більш 0,5% номіальної напруги, а для щитових вимірювальних приладів – не більше 1,5% при номіальному навантаженні. Так як до трансформаторів напруги приєднуються лічильники активної та реактивної енергії, то вони повинні працювати в класі точності 0,5. На кожній секції збірних шин приймають до встановлення як мінімум по одному трансформатору напруги.

Рорахунок навантаження проводять для найбільш навантаженого трансформатора напруги за даними паралельних котушок вимірювальних приладів, які вмикаються на вторинну обмотку трансформатора (див. табл. 3). Допустимо розраховувати приблизне навантаження трансформатора як суму навантажень на всі фази без врахування схем вмикання приладів та їх розділення за фазами [10]

$$S_2 = \sqrt{\left(\sum n_i m_i P_{i \text{ прил}}\right)^2 + \left(\sum n_i m_i Q_{i \text{ прил}}\right)^2}, \text{ ВА}, \quad (16)$$

де n_i – кількість вимірювальних приладів i -го типу;

m_i – кількість паралельних котушок вимірювального приладу i -го типу;

$P_{i \text{ прил}}, Q_{i \text{ прил}}$ – відповідно активна та реактивна потужність паралельної котушки вимірювального приладу i -го типу, Вт (ВАр).

Якщо умова роботи трансформатора напруги в необхідному класі точності $S_2 < S_{2n}$ не виконується, то необхідно збільшити кількість трансформаторів напруги.

3.9 Вибір трансформаторів власних потреб

В якості трансформатора власних потреб на кожній секції шин як правило приймають до встановлення трансформатор типу ТМ-25/10.

3.10 Вибір запобіжників

Для захисту трансформаторів власних потреб від коротких замикань застосовуються запобіжники типу ПК, а для захисту вимірювальних трансформаторів напруги – типу ПКТ [7]. Запобіжники вибираються за такими умовами:

- конструктивному виконанню та роду встановлення;
- за номінальною напругою $U_n = U_m$;
- за номінальним струмом запобіжника $I_n \geq I_{p. \max}$;
- за номінальним струмом вимикання $I_{\text{вим.}} \geq I_K^{(3)}$;
- за номінальним струмом плавкої вставки, яка вибирається за умовою селективності дії запобіжників та автоматичних вимикачів миттєвої дії, встановлених з нижчої сторони, а також з урахуванням пускових струмів двигунів і кидків струму намагнічування трансформаторів

$$I_{n. \text{вст.}} \approx 2I_{n. \text{тр.}}, \text{ А}, \quad (17)$$

де $I_{n. \text{тр.}}$ – номінальний струм трансформатора, А.

Умови вибору, розрахункові дані та параметри запобіжників заносять до таблиці (табл. 5).

Номінальні струми для захисту вимірювальних трансформаторів напруги на стороні 10 кВ не вибираються [10].

В якості цих запобіжників використовують запобіжники типу ПКТ-10 – запобіжники з кварцевим наповненням струмообмежуючий на номінальну напругу $U_n = 10$ кВ.

Таблиця 5 – Вибір та перевірка запобіжників на стороні 10 кВ

Умова вибору	Паспортні дані запобіжників	Розрахункові дані мережі
$U_n = U_m$ $I_n \geq I_{p.\max}$ $I_{\text{вим.}} \geq I_K^{(3)}$ $I_{n.\text{вст.}} \approx 2I_{n.\text{тр.}}$	$U_n =$ $I_n =$ $I_{\text{вим.}} =$ $I_{n.\text{вст.}} =$	$U_m =$ $I_{p.\max} =$ $I_K^{(3)} =$ $2I_{n.\text{тр.}} =$

3.11 Вибір та перевірка шин

У розподільних пристроях напругою 6-10 кВ головним чином застосовуються жорсткі алюмінієві одно- та двоштабові шини прямокутного перерізу, які закріплюються на опорних ізоляторах.

Шини відкритих РП напругою 35 кВ і вище підстанцій, з метою уникнення коронування, конструктивно виконуються гнучким проводом круглого перерізу, таким як і проводи живлячої лінії. Кріплення даних шин здійснюється на порталах за допомогою гірлянд підвісних ізоляторів.

Шини вибирають за такими критеріями:

- жорсткі та гнучкі шини – за нагріванням максимальним робочим струмом $I_{\text{доп.}} \geq I_{p.\max}$ ($I_{\text{доп.}}$, $I_{p.\max}$ – відповідно допустиме для відповідного перерізу і матеріалу шин значення струму [1] та розрахункова величина струму);
- жорсткі та гнучкі шини – за термічною стійкістю $\vartheta_{k.\text{доп.}} \geq \vartheta_{k.p}$ ($\vartheta_{k.\text{доп.}}$ – допустима температура нагрівання шин в

режимі к. з.; $\vartheta_{\kappa p}$ – розрахункова температура нагрівання шин в режимі к. з.);

- жорсткі шини – за електродинамічною стійкістю $\sigma_{\text{доп.}} \geq \sigma_p$ ($\sigma_{\text{доп.}}$, σ_p – відповідно допустиме та розрахункове напруження для матеріалу шин).

Температура нагрівання шин при навантаженні максимальним робочим струмом [14]

$$\vartheta_{p, \max} = \vartheta_0 + (\vartheta_{\text{доп.}} - \vartheta_0) \left(\frac{I_{p, \max}}{I_{\text{доп.}}} \right)^2, \quad ^\circ\text{C}, \quad (18)$$

де ϑ_0 – розрахункова температура навколишнього середовища, для шин, які прокладені на повітрі $\vartheta_0 = 25^\circ\text{C}$ [1];

$\vartheta_{\text{доп.}}$ – допустима температура нагрівання шин в нормальному режимі, $\vartheta_{\text{доп.}} = +70^\circ\text{C}$ [1].

За даними [14] визначають коефіцієнт, що характеризує тепловий стан шин до проходження струмів к.з. A_n . Коефіцієнт, що характеризує тепловий стан шин після проходження струмів к.з.

$$A_k = A_n + \left(\frac{I_{K\infty}^{(3)}}{b \cdot h} \right)^2 \cdot t_{\phi 10}, \quad (\text{A}^2 \cdot \text{с}) / \text{мм}^2, \quad (19)$$

де b, h – відповідно ширина та висота шини, мм.

За даними [14] по величині коефіцієнта A_k визначають розрахункову температуру нагрівання шин в режимі к. з. $\vartheta_{\kappa p}$. Допустима температура нагрівання алюмінієвих шин в режимі к. з. складає $\vartheta_{\kappa \text{ доп.}} = 200^\circ\text{C}$ [14]. Після цього перевіряють умову термічної стійкості шин в режимі к. з. $\vartheta_{\kappa \text{ доп.}} > \vartheta_{\kappa p}$. Якщо умова

не виконується, то необхідно збільшити переріз шин та повторити розрахунок.

Найбільша статична сила F_p , яка діє на середню фазу (що знаходиться у найбільш важких умовах) трьох паралельних шин при протіканні в них ударного струму трифазного к.з. [15]

$$F_p = 1,76 \cdot k_\phi \cdot i_y^{(3)2} \cdot \frac{l}{a} \cdot 10^{-7}, \text{ Н}, \quad (20)$$

де k_ϕ – коефіцієнт форми шин, який визначається за [15];

$i_y^{(3)}$ – ударний струм трифазного к.з., А;

l – довжина прогону шин, $l=1$ м;

a – відстань між вісями шин сусідніх фаз, $a=0,2$ м.

Якщо $\frac{a-b}{b+h} > 2$, то згідно [15] коефіцієнт $k_\phi = 1$. Для інших відношень даний коефіцієнт наведений в [15].

Момент опору шин відносно вісі, перпендикулярної до напрямку дії сили

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}, \text{ м}^3. \quad (21)$$

Розрахункове напруження в шинах від згину [15]

$$\sigma_p = \frac{F_p \cdot l}{10 \cdot W} 10^{-6}, \text{ МПа}, \quad (22)$$

Допустиме напруження від згину для алюмінієвих шин $\sigma_{\text{дон}}=65$ МПа [15]. Після цього перевіряють умову електродинамічної стійкості шин в режимі к. з. $\sigma_{\text{дон}} > \sigma_p$.

Якщо умова не виконується, то необхідно збільшити переріз шин та повторити розрахунок.

Шини відкритого РП 35 кВ виконують проводом тієї ж марки, яка використовується на живлячих ПЛ. Вибраний провід перевіряють за допустимим струмом нагрівання [1] за умовою

$$I_{\text{доп.}} \geq I_{\text{р.тах.}}$$

3.12 Вибір та перевірка ізоляторів

Ізолятори вибирають за такими критеріями [14]:

- за виконанням та категорією розміщення;

- за номінальною напругою $U_n \geq U_m$;

- за допустимим механічним навантаженням $F_{\text{доп}} \geq F_p$

($F_{\text{доп.}}$, F_p – відповідно допустима та розрахункова сили, що діють на головку ізолятора).

Прохідні ізолятори перевіряють також за номінальним струмом $I_n > I_{\text{р.тах.}}$.

Жорсткі шини РП 10 кВ кріпляться за допомогою опорних та прохідних ізоляторів. При перевірці ізоляторів за допустимим механічним навантаженням приймають [14]

$$F_{\text{доп}} = 0,6 F_{\text{руйн}}, \text{ Н}, \quad (23)$$

де $F_{\text{руйн}}$ – руйнівне навантаження для ізолятора, Н.

Найбільше розрахункове навантаження на ізолятори визначаємо за виразами [14]:

- для опорних ізоляторів

$$F_{\text{р.оп.}} = 1,76 \cdot i_y^{(3)2} \frac{l}{a} \cdot k_h \cdot 10^{-7}, \text{ Н}, \quad (24)$$

де $i_y^{(3)2}$ – ударний струм трифазного к.з., А;

l, a – відповідно, довжина прогону шин і відстань між вісями шин суміжних фаз, м;

k_h – коефіцієнт поправки на висоту шини при розташуванні шини на ізоляторі „на ребро” [14]. При розташуванні шини горизонтально $k_h = 1$.

- для прохідних ізоляторів

$$F_{p.прох} = 0,5 \cdot F_{p.оп.}, \text{ Н.} \quad (25)$$

Окрім цього, прохідні ізолятори перевіряють за тривалим допустимим струмом за умовою $I_n > I_{p.\max 10}$.

Гнучкі шини на стороні 35(110) кВ кріплять за допомогою гірлянд підвісних ізоляторів [9].

3.13 Вибір апаратури височастотного зв'язку

Для організації височастотного зв'язку по ПЛ 35(110) кВ на підстанції встановлюють конденсатор зв'язку та височастотний загороджувач [13]. Умови вибору загороджувача, його параметри та параметри мережі заносять до таблиці (табл. 6).

3.14 Розрахунок захисту від перенапруг

Захист обладнання РТП від перенапруг включає в себе комплекс заходів, що обмежують перенапругу при грозі, комутаціях та пошкодженнях до рівня, безпечного для ізоляції. До цього комплексу входить встановлення блискавковідводів для захисту обладнання від прямих ударів блискавки та апаратів

захисту від хвиль перенапруги, що набігають по повітряних лініях 35 та 110 кВ.

Захист підходів до РТП живлячих повітряних ліній 35 кВ та 110 кВ від прямих ударів блискавки здійснюють шляхом підвищування грозозахисного сталюого тросу [1].

Повітряні лінії 10 кВ не потребують встановлення грозозахисних тросів на підходах до підстанції [1].

Таблиця 6 – Вибір високочастотного загороджувача

Умова вибору	Параметри загороджувача	Розрахункові дані мережі
$U_n = U_m$	$U_n =$	$U_m =$
$I_n \geq I_{p, \max 35(110)}$	$I_n =$	$I_{p, \max 35(110)} =$
$i_{\text{дин}} \geq i_{yK}^{(3)}$	$i_{\text{дин}} =$	$i_{yK}^{(3)} =$
$I_t^2 t \geq I_K^{(3)2} t_{\phi 35(110)}$	$I_t^2 t =$	$I_K^{(3)2} t_{\phi 35(110)} =$

Захист обладнання від хвиль перенапруги, що набігають по повітряних лініях 35(110) кВ, здійснюють вентильними розрядниками [13].

Захист обладнання зі сторони 10 кВ здійснюють шляхом використання вентильних розрядників [13] або більш сучасних апаратів – обмежувачів перенапруг (ОПН) [16].

Вибір обмежувачів перенапруг виконують за такими критеріями:

- за родом встановлення;
- за номінальною напругою $U_n = U_m$;
- за номінальним розрядним струмом, для сільських мереж 10 кВ $I_{\text{розр.}} = 10 \text{ кА}$;
- за вибухобезпечним струмом $I_{K3} \geq 1,1 I_K^{(3)}$;
- за найбільшою допустимою напругою

$$U_{\text{дон}} \geq \frac{U_{p.\text{max}}}{T(t)}, \quad (26)$$

де $U_{p.\text{max}}$ – найбільша робоча напруга мережі, для мережі 10 кВ $U_{p.\text{max}}=12$ кВ;

$T(t)$ – коефіцієнт, що визначається за допустимою тривалістю t однофазного замикання на землю в мережі 10 кВ. Допустимо прийняти $t = 2$ год [9], тому $T(t)=1,3$ [16].

Здатність обмежувача ОПН/TEL поглинати енергію грозових перенапруг, які найчастіше зустрічаються в сільських мережах, не обмежується.

Захист обладнання РТП від прямих ударів блискавки здійснюють стрижневими блискавковідводами однакової висоти, які встановлюємо на лінійних та трансформаторних порталах.

ДОДАТОК А

ЗРАЗОК ОФОРМЛЕННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ

ВИХІДНІ ДАНІ

За наведеними нижче вихідними даними, здійснити розробку принципової схеми головних з'єднань районної трансформаторної підстанції (РТП), що забезпечує електричною енергією сільськогосподарських споживачів. Розрахувати струми короткого замикання в мережі. На основі параметрів нормального, післяаварійного та аварійного режимів роботи мережі, вибрати електричну апаратуру РТП, розрахувати захист від перенапруг.

Кількість ПЛ 110 або 35 кВ прийняти рівною кількості силових трансформаторів на РТП. Параметри ПЛ 110 кВ (або 35 кВ) та 10 кВ прийняти за номером варіанту (за порядком подання ПЛ у таблиці вихідних даних). Виконати однолінійну схему головних з'єднань РТП (на аркуші формату А3 або А4).

Номер варіанту	Клас напруги РТП, кВ		Кількість силових трансформаторів на РТП	Тип силових трансформаторів	Кількість ліній 10 кВ, що відходять від секцій шин 10 кВ РТП	Максимальний робочий струм, А, для лінії 10 кВ номер					
	ВН	НН									

Параметри ПЛ

Клас напруги ПЛ	Номер ПЛ	Довжина магістралей ПЛ, км	Марка проводу
35 (110) кВ			
10 кВ			

ДОДАТОК Б

ВИХІДНІ ДАНІ ЗА ВАРІАНТАМИ

Таблиця Б.1 – Вихідні дані для вибору електричної апаратури РТП

Номер варіан- ту	Клас напруги РТП, кВ		Кількість силових трансфор- маторів на РТП	Тип силових трансфор- маторів	Кількість ліній 10 кВ, що відходять від секцій шин 10 кВ РТП	Максимальний робочий струм ліній 10 кВ, що відходять від РТП, А					
	ВН	НН				Л3	Л4	Л5	Л6	Л7	Л8
1	35	10	1	ТМН-1000/35	2	22	44	-	-	-	-
2	35	10	1	ТМН-1600/35	3	25	28	40	-	-	-
3	35	10	2	ТМН-2500/35	4	43	25	28	49	-	-
4	35	10	2	ТМН-4000/35	5	46	33	89	53	51	-
5	35	10	2	ТМН-6300/35	6	35	50	43	92	35	74
6	35	10	1	ТМН-1000/35	2	32	34	-	-	-	-
7	35	10	1	ТМН-1600/35	3	55	18	21	-	-	-
8	35	10	2	ТМН-2500/35	4	35	35	45	41	-	-
9	35	10	2	ТМН-4000/35	5	56	51	63	78	46	-
10	35	10	2	ТМН-6300/35	6	81	64	59	78	29	83
11	35	10	1	ТМН-1000/35	2	56	14	-	-	-	-
12	35	10	1	ТМН-1600/35	3	25	19	29	-	-	-
13	35	10	2	ТМН-2500/35	4	45	38	40	56	-	-
14	35	10	2	ТМН-4000/35	5	42	83	53	88	56	-
15	35	10	2	ТМН-6300/35	6	92	34	41	42	39	73

Продовження табл. Б.1

Номер варіанту	Клас напруги РТП, кВ		Кількість силових трансформаторів на РТП	Тип силових трансформаторів	Кількість ліній 10 кВ, що відходять від секцій шин 10 кВ РТП	Максимальний робочий струм ліній 10 кВ, що відходять від РТП, А					
	ВН	НН				Л3	Л4	Л5	Л6	Л7	Л8
16	110	10	1	ТМН-2500/110	2	57	144	-	-	-	-
17	110	10	1	ТМН-6300/110	3	125	108	140	-	-	-
18	110	10	2	ТДН-10000/110	4	143	125	128	149	-	-
19	110	10	2	ТДН-16000/110	5	186	133	269	153	211	-
20	110	10	1	ТМН-2500/110	2	157	44	-	-	-	-
21	110	10	1	ТМН-6300/110	3	225	118	80	-	-	-
22	110	10	2	ТДН-10000/110	4	129	149	173	131	-	-
23	110	10	2	ТДН-16000/110	5	286	63	159	142	311	-
24	110	10	1	ТМН-2500/110	2	57	129	-	-	-	-
25	110	10	1	ТМН-6300/110	3	167	156	50	-	-	-
26	110	10	2	ТДН-10000/110	4	109	93	273	146	-	-
27	110	10	2	ТДН-16000/110	5	301	133	98	269	219	-
28	110	10	1	ТМН-2500/110	2	87	124	-	-	-	-
29	110	10	1	ТМН-6300/110	3	132	76	232	-	-	-
30	110	10	2	ТДН-10000/110	4	221	88	165	172	-	-

Таблиця Б.2 – Параметри ПЛ

Клас напруги ПЛ	Номер ПЛ	Довжина магістралей ПЛ, км	Марка проводу
110 кВ	<i>Л1</i>	номер варіанту + 50 км	АС-120/19
	<i>Л2</i>	номер варіанту + 80 км	АС-120/19
35 кВ	<i>Л1</i>	номер варіанту + 20 км	АС-70/11
	<i>Л2</i>	номер варіанту + 30 км	АС-70/11
10 кВ	<i>Л3</i>	номер варіанту + 2 км	АС-35/6,2
	<i>Л4</i>	номер варіанту + 3 км	АС-50/8
	<i>Л5</i>	номер варіанту + 4 км	АС-70/11
	<i>Л6</i>	номер варіанту + 5 км	АС-35/6,2
	<i>Л7</i>	номер варіанту + 6 км	АС-50/8
	<i>Л8</i>	номер варіанту + 7 км	АС-70/11

Перелік використаних джерел

1. ГКД 341.004.001-94 Норми технологічного проектування підстанцій змінного струму з вищою напругою 6-750 кВ
2. Правила улаштування електроустановок. – Х.: Вид-во «Форт», 2017. – 736 с.
3. ГОСТ 151510-69 Климатическое исполнение и категории размещения электрооборудования
4. Нормы технологического проектирования электрических сетей сельскохозяйственного назначения – М.: ВГПИИИ «Сельэнергопроект», 1988. – 27 с.
5. Проектування електричних мереж напругою 0,4–110 кВ. Рекомендації : ГІД 34.20.178:2005. – К.: ОЕП «ГРІФРЕ», 2005. – 43 с.
6. Практикум по электроснабжению сельского хозяйства / Под. ред. И.А. Будзко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1982. – 319 с., ил.
7. Справочник по проектированию электросетей в сельской местности / Э.Я. Гричевский, П.А. Катков, А.М. Карпенко и др.; Под ред. П.А. Каткова, В.И. Франгуляна – М.: Энергия, 1980. – 352 с., ил.
8. Методичні вказівки до виконання курсового проекту на тему «Розробка (реконструкція) системи електропостачання споживачів АПК сільськогосподарського адміністративного району (частини району)» / М.І. Гончар – Харків: ХНТУСГ ім. Петра Василенка, 2005. – 114 с.
9. Будзко И.А. Электроснабжение сельского хозяйства: / И.А. Будзко, Н.М. Зуль – Агропромиздат, 1990. – 496 с.: ил. – (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).
10. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электроэнергетических специальностей вузов: Учеб. пособие для студентов электроэнерг. спец. вузов, 2-е изд., перераб. и доп. / В.М. Блок, Г.К. Обушев, Л.Б. Паперно и др.; Под ред. В.М. Блок – М.: Высш. шк., 1990. – 383 с.: ил.

11. Методические указания по обеспечению при проектировании нормативных уровней надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей – М.: «Сельэнергопроект», 1988

12. АРТА 674152.001 РЭ Выключатели вакуумные серии ВВ/TEL

13. Неклепаев Б. П., Крючков И. П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов.— 4-е изд, перераб. и доп. — М.: Энергоатом-издат, 1989. — 608 с: ил.

14. Гук Ю. Б. Проектирование электрической части станций и подстанций: Учеб. пособие для вузов / Ю. Б. Гук, В. В. Кантан, С. С. Петрова. — Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1985 —312 с.

15. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий / Под общ. ред. А.А. Федорова и Г.В. Сербиновского. В 2-х кн. – М.: Энергия, 1973.

16. АРТА 674361.103 ТО Ограничители перенапряжений серии TEL.
Техническое описание и руководство по применению.

17. Васильев А. А. Электрическая часть станций и подстанций: Учеб. Для вузов / А. А. Васильев, И. П. Крючков, Е. Ф. Наяшков и др.; Под ред. А. А. Васильева. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 189 с.

18. Рожкова Л. Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций / Рожкова Л. Д., Карнеева Л. К., Чиркова Т.В. – М.: ИЦ «Академия», 2007. – 214 с.

19. Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Понижуюча підстанція 110/10 кВ» /Воропай В. Г., Гаража В. М., Перепечений О.Т. 2002. – 46 с.

20. НКАИ.670049.028ТИ Комплектные трансформаторные подстанции блочные напряжением 35-220 кВ. Техническая информация.

21. Комплектные распределительные устройства наружной установки типа КРН-IV-10. Техническое описание.

Навчальне видання

ЕЛЕКТРИЧНІ СТАНЦІЇ І ПІДСТАНЦІЇ

Методичні вказівки
до виконання розрахунково-графічного завдання
«Вибір та перевірка обладнання районної трансформаторної
підстанції»

Автори-укладачі:
САВЧЕНКО Олександр Анатолійович

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

