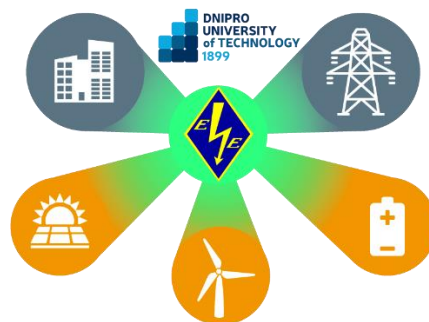


Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ
з дисципліни "Електроустаткування станцій та підстанцій"
для студентів *спеціальності*:
141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

Дніпро
НТУ «ДП»
2022

Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни „Електроустаткування станцій та підстанцій для студентів будь-якої форми навчання за спеціальністю 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Упорядн.: Ю.А. Папаїка, Рогоза М.В., О.Г. Лисенко. – Дніпро: НТУ «ДП», 2022.– 33 с.

Упорядники:

Ю.А. Папаїка, професор

М.В. Рогоза, професор

О.Г. Лисенко, доцент

Погоджено рішенням науково-методичної комісії спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (протокол № 21/22-07 від 14.07.2022 р.).

Відповідальний за випуск завідувач кафедри електроенергетики
Ю.А. Папаїка, д-р техн. наук, проф.

Вступ

Одним з найважливіших елементів системи електропостачання є електричні станції та підстанції. Нормальне функціонування генераторів, трансформаторів, синхронних компенсаторів та комутаційної апаратури забезпечує надійність генерування, передачі, розподілу електричної енергії.

Курсовий проект з курсу Ф13 «Електроустаткування станцій та підстанцій» сприяє засвоєнню студентами теоретичного матеріалу, набуттю навичок самостійної роботи з розрахунку і з проектування основних елементів електричної частини підстанцій. Навчально-методичні вказівки до курсового проектування складені відповідно програми дисципліни «Електроустаткування станцій та підстанцій» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Навчально-методичні вказівки значно скорочують затрати часу студента, активізують і конкретизують його роботу, особливо в початковій стадії виконання проекту. Разом з тим використання даних вказівок не може замінити самостійну роботу студента під керівництвом консультанта над рекомендованою навчальною і довідковою літературою. В посібнику не повторюються відомості, які приведені в підручниках, довідниках, каталогах, а лише даються посилання на відповідну літературу, список якої наводиться в кінці методичних вказівок. Крім того у методичних вказівках існують додатки, у яких приведено перелік основного електрообладнання (вимикачів, роз'єднувачі, трансформаторів струму та напруги) вітчизняного та імпорного виробництва. Однак ці матеріали мають рекомендований характер і не звільняють студента від самостійного прийняття рішення по вибору типу комплектного розподільчого пристрою (КРП), типів вимикачів та інших електричних апаратів.

Навчальне проектування необхідно виконувати відповідно з [1], [2], [3], схеми і креслення повинні відповідати чинним стандартам і нормам ЄСКД. При виконанні креслень обов'язково використовувати типові схеми підстанцій. Креслення допускається виконувати за допомогою сучасних програм комп'ютерної графіки. Пояснювальна записка об'ємом 25-30 аркушів оформляється у **Microsoft Office Word** (формули з повним поясненням набираються у **Equation** або **Math Type**) або рукописно.

Курсовий проект виконується студентами самостійно, пошук необхідної технічної інформації у довідниковій літературі і електронних джерелах є невід'ємною частиною курсового проектування. При виникненні ускладнень при проектуванні студент приймає інженерне рішення даної проблеми, яке особисто відстоює при захисті курсового проекту.

Разом з тим в курсовому проекті неможлива комплексна розробка всіх частин підстанції, що має місце в практиці проектних організацій. Тому в завданні зменшений об'єм і визначені деякі умовності і допуски, які спрощують проектування. Завдання на курсовий студент отримує на 1-2 тижні навчального семестру. Контроль виконання проекту проводиться щотижнево. Кінцевий строк виконання проекту 15 тижнів семестру. Після перевірки викладачем і усуненні зауважень студент особисто захищає проект екзаменаційній комісії.

Завдання з проектування

Тема курсового проекту: «Розробка проекту трансформаторної підстанції промислового підприємства». Завдання з курсового проекту, індивідуальне для кожного студента, видається викладачем. Вихідні дані для проекту наведені в таблиці Д.1.1, принципові схеми на рис.1 (додаток 1), (схеми 1, 2, 3, 4). Курсовий проект складається з двох листів креслень (формату А1) і розрахунково-пояснювальної записки до 30 сторінок. На кресленнях показують повну однолінійну схему підстанції (лист №1) і конструкцію підстанції (плани і розрізи – Лист№2).

Розрахунково-пояснювальна записка, як правило, повинна мати такі розділи:

1. Вибір схеми підстанції.
2. Визначення сумарної розрахункової потужності підстанції і вибір типу та потужності трансформаторів.
3. Визначення величин розрахункових робочих струмів.
4. Розрахунок величин струмів короткого замикання і теплового імпульсу.
5. Розробка конструктивного виконання підстанції.
6. Вибір апаратів відкритої і закритої частин розподільної підстанції.
7. Розрахунок і вибір струмопроводів і ізоляторів.
8. Вибір джерел оперативного струму.

Вибір схеми підстанції проводиться відповідно з завданням по принциповій схемі і виконується відповідно з ГКД 341.004.001-94 [7].

Проектована підстанція може бути головною (ГПП) або підстанцією глибокого вводу (ПГВ) з споживачами в основному першої і другої категорії, які працюють в довготривалому режимі. В цьому випадку доцільно застосування в РП 6-10 кВ комплектних розподільчих пристроїв з вимикачами на вкатних візках.

При розробці однолінійної схеми і визначенні числа шаф РП 6-10 кВ підстанції, крім підключень вводу і споживачів, які вказані в завданні, необхідно запланувати до встановлення шафи міжсекційних вимикачів, шафи трансформаторів напруги і трансформаторів власних потреб, шафи з розрядниками, а також резервні шафи. Питання застосування струмообмежуючих реакторів студент вирішує самостійно.

На підстанціях промислових підприємств, як правило, застосовують спрощені схеми розподільчих пристроїв 35-220 кВ без збірних шин зі зменшеною кількістю вимикачів.

2. Визначення сумарної розрахункової потужності підстанції і вибір типу та потужності трансформаторів

В курсовому проекті при визначенні розрахункових навантажень для споживачів з тривалим режимом роботи доцільно застосовувати найбільш простий метод розрахунку максимальних значень навантажень – метод коефіцієнта попиту.

Порядок визначення максимальних значень розрахункових величин.

1. Навантаження трансформаторів $P_{м.т}$ і $Q_{м.т}$ з урахуванням коефіцієнта завантаження в нормальному режимі:

$$P_{м.т} = K_з \cdot n_m \cdot S_m \cdot \cos \varphi_m; \quad (2.1)$$

$$Q_{м.т} = P_{м.т} \cdot \operatorname{tg} \varphi_m, \quad (2.2)$$

де $K_з$ – коефіцієнт завантаження трансформаторів;

n_m – кількість трансформаторів, підключених до однієї секції шин;

S_m – номінальна потужність трансформаторів з первинною напругою 6 або 10 кВ;

$\cos \varphi_m$ – коефіцієнт потужності трансформаторних навантажень.

2. Активна $P_{м.сд}$ та реактивна $Q_{м.сд}$ потужності, які споживаються синхронними електродвигунами СД, визначаються за формулами (2.3) і (2.4):

$$P_{м.сд} = K_n \cdot n_{сд} \cdot P_{сд}; \quad (2.3)$$

$$Q_{м.сд} = P_{м.сд} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{сд}, \quad (2.4)$$

де K_n – коефіцієнт попиту;

$\cos \varphi_{сд}$ – коефіцієнт потужності. Для СД прийняти випереджуючий $\cos \varphi$.

Аналогічно визначаються $P_{м.ад}$ і $Q_{м.ад}$ для асинхронних двигунів.

3. Навантаження споживачів:

$$P_{м.сп} = n_{сп} \cdot S_{сп} \cdot \cos \varphi_{сп} \quad (2.5)$$

$$Q_{м.сп} = P_{м.сп} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{сп} \quad (2.6)$$

4. Сумарна розрахункова потужність підстанції:

$$S_{\Sigma} = n_c \sqrt{(P_{м.т} + P_{м.сп} + P_{м.ад} + P_{м.сд})^2 + (Q_{м.т} + Q_{м.сп} + Q_{м.ад} - Q_{м.сд})^2} \quad (3.7)$$

де n_c – число секцій РП 6-10 кВ.

Вибір потужності трансформаторів виконується, виходячи з повної розрахункової потужності об'єкта добового графіка навантажень і показників, які характеризують сезонні зміни навантажень, а також в залежності від кліматичних умов. Трансформатори ГПП і ПГВ, як правило, вибирають так, щоб при виході з роботи одного, інший забезпечив би роботу підприємства на час заміни трансформатора з урахуванням можливого зменшення навантажень і з використанням допустимого перевантаження трансформатора. Вибір потужності трансформаторів необхідно виконувати відповідно до ГОСТ 14209-85 [13]. На двотрансформаторних ГПП і ПГВ при відсутності резервування по мережам вторинної напруги потужність кожного трансформатора вибирають рівною 0,65-0,7 сумарного розрахункового навантаження.

Вибір потужності трансформаторів виконується за умовою:

$$S_{нт} \geq \frac{S_{м.авар}}{K_{2ав.}}, \quad (2.8)$$

де $S_{м.авар}$ – максимальне навантаження в аварійному режимі, яке визначається за розрахунковим навантаженням S_m з урахуванням допустимого зменшення (відключення частини споживачів III категорії);

$K_{2ав.}$ – найбільший коефіцієнт перевантаження в аварійному режимі.

У курсовому проекті при відсутності відповідного добового графіка навантажень підприємства і значення еквівалентної температури охолоджуючого повітря допустиме аварійне перевантаження трансформатора слід прийняти $K_{2ав.} = 1,4$.

3. Визначення величини розрахункових робочих струмів

Для вибору електричних апаратів ВРП і ЗРП, а також вибору перетину шин і кабелів необхідне визначення відповідних розрахункових струмів нормального і форсованого режимів роботи електроустановок.

1. Розрахунковий робочий струм $I_{р.н.}$ ліній вводу в нормальному режимі

$$I_{р.н.(1,2)} = \frac{0,7 S_{нт}}{n_6 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{н(1,2)}}, \quad (3.1)$$

де n_6 – число вводів;

$U_{н(1,2)}$ – відповідне значення напруги на високій стороні і збірних шинах ЗРП.

2. Розрахунковий робочий струм вводу в післяаварійному (форсованому) режимі (при вимкненні одного з вводів)

$$I_{р.ф.(1,2)} = 2 \cdot I_{р.н.(1,2)} \leq \frac{1,4 S_{нт}}{n_6 \sqrt{3} U_{н(1,2)}} \quad (3.2)$$

3. Розрахунковий робочий струм секційного вимикача дорівнює робочому струму секції $I_{р.н.}$.

4. Розрахункові струми споживачів, приєднаних до шин ЗРП:

а) приєднання цехового трансформатора:

$$I_{р.н.т} = \frac{K_3 \cdot S_{нт}}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (3.3)$$

$$I_{р.ф.т} = \frac{1,4 S_{нт}}{\sqrt{3} U_n} \quad (3.4)$$

б) приєднання синхронного (асинхронного) електродвигуна:

$$I_{р.н.} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} \quad (3.5)$$

$$I_{р.ф.} = 1,05 I_{р.н.} \quad (3.6)$$

в) приєднання стороннього споживача

$$I_{p.\phi.cn} = \frac{S_{cn}}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (3.7)$$

4. Розрахунок струмів короткого замикання

В курсовому проекті розрахунок струмів КЗ виконують в об'ємі, необхідному для вибору апаратів і провідників. Розрахункові умови визначають відповідно раніше вивченої дисципліни «Перехідні процеси в системах електропостачання», методики [2, 4], а також розділу 3 [8].

При виборі розрахункової схеми для визначення струмів короткого замикання слід виходити з умов довготривалої роботи електроустановки. Так, при розрахунку струмів КЗ на підстанціях з двома секціями шин необхідно брати до уваги режим роботи обох секцій від однієї лінії або трансформатора з урахуванням струмів КЗ від усіх двигунів, підключених до обох секцій шин.

Розрахункова схема для визначення струмів КЗ наведена на рис. 2. Розрахункові точки КЗ визначенні з умови розрахунку максимальних струмів КЗ, що протікають через відповідні провідники та електричні апарати.

Розрахунок струмів КЗ на стороні 35-220 кВ

Базовий струм на ступені КЗ, кА

$$I_{\delta 1} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} U_{\delta 1}}, \quad (4.1)$$

де S_{δ} – базова потужність, МВА;

$U_{\delta 1}$ – середня номінальна напруга.

Опір системи

$$X_{*(\delta)c} = \frac{S_{\delta}}{S_k}, \quad (4.2)$$

де S_k – потужність КЗ на шинах підстанції, МВА.

Струм КЗ від системи (періодична складова)

$$I_{n,t=0,as} = I_{n,t_{i,as}} = \frac{I_{\delta.\phi n}}{X_{*(\delta)c}}. \quad (4.3)$$

Ударний струм КЗ (найбільший пік)

$$i_{y.1} = k_y \sqrt{2} I_{n,t=0,as} \quad (4.4)$$

де k_y – ударний коефіцієнт.

Значення k_y і T_a в залежності від місця короткого замикання наведені в таблиці 3.8 [8].

Аперіодична складова струму КЗ у момент часу τ

$$i_{a\tau} = \sqrt{2} I_{n,t=0,01} \exp(-\tau/T_a), \quad (4.5)$$

де τ – найменший час від початку КЗ до моменту розходження контактів вимикача, с.

$$\tau = t_{\text{в.в}} + t_{\text{рз.мін}},$$

де $t_{\text{рз.мін}}$ – мінімальний час дії релейного захисту. $t_{\text{рз.мін}} = 0,01$ с;

$t_{\text{в.в}}$ – власний час вимикання вимикача, який залежить від його типу, с.

Розрахунок струмів КЗ від системи на стороні 6-10 кВ

Опір трансформатора:

а) двообмоткового

$$X_{*(\delta)m} = \frac{u_{\kappa}}{100} \frac{S_{\delta}}{S_{\text{нт}}}, \quad (4.6)$$

де u_{κ} – напруга короткого замикання трансформатора, %;

$S_{\text{нт}}$ – номінальна потужність трансформатора, МВА.

б) з обмоткою НН, розщепленою на дві частини

$$X_{*(\delta)1} = 0,125 \frac{u_{\kappa,B-H}}{100} \frac{S_{\delta}}{S_{\text{нт}}}; \quad (4.7)$$

$$X_{*(\delta)2} = 1,75 \frac{u_{\kappa,B-H}}{100} \frac{S_{\delta}}{S_{\text{нт}}}; \quad (4.8)$$

$$X_{*(\delta)m} = X_{*(\delta)1} + X_{*(\delta)2}. \quad (4.9)$$

в) при паралельному з'єднанні розщеплених обмоток (рис.1, схема 3)

$$X_{*(\delta)m} = \frac{u_{\kappa,B-H}}{100} \frac{S_{\delta}}{S_{\text{нт}}}. \quad (4.10)$$

Сумарний опір до точки КЗ

$$X_{*(\delta)\text{рез}} = X_{*(\delta)c} + X_{*(\delta)m} \quad (4.11)$$

Періодична складова струму КЗ від системи

$$I_{n,t=0,as}^{(3)} = \frac{E_{*(\delta)} I_{\delta 2}}{X_{*(\delta)\text{рез}}} \quad (4.12)$$

де $I_{\delta 2}$ – базовий струм КЗ, визначений за формулою

$$I_{\delta 2} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} U_{\delta 2}} \quad (4.13)$$

Аперіодична складова струму КЗ у момент часу τ

$$i_{a\tau} = \sqrt{2} I_{n,t=0,as} \exp(-\tau/T_a).$$

Розрахункові струми КЗ від електродвигунів

Початкове діюче значення періодичної складової струму КЗ від двигунів без розрахунку зовнішнього опору (якщо двигуни підключені до місця КЗ кабельними лініями довжиною не більше 300 м та перерізом не менше 50-70 мм²:

а) для асинхронних двигунів

$$I_{n,t=0,AD}^{(3)} = n_{AD} I_{*(ном)пуск} I_{\text{р.н.АД}}, \quad (4.14)$$

де $I_{*(ном)пуск}$ – струм у відносних одиницях за каталожними даними [4] (допускається приймати для асинхронних двигунів $I_{*(ном)пуск} = (4,5 \div 5,5)$;

б) для синхронних електродвигунів

$$I_{n,t=0,CD}^{(3)} = n_{CD} E_{*(ном)CD} I_{p.n.CD} / x_{*(ном)CD}'' , \quad (4.15)$$

де $E_{*(ном)CD}$ – надперехідна ЕРС двигуна; за відсутності первинних даних наближено приймають $E_{*(ном)CD} = 1,1$;

$x_{*(ном)CD}''$ – надперехідний опір двигуна, який знаходиться за каталожними даними [5] або наближено приймають $x_{*(ном)CD}'' = 0,165 \div 0,2$.

Початкове значення періодичної складової струму, створюваного всіма джерелами у місці КЗ

$$I_{n,t=0,\Sigma}^{(3)} = I_{n,t=0,as}^{(3)} + I_{n,t=0,AD}^{(3)} + I_{n,t=0,CD}^{(3)} . \quad (4.16)$$

Складові струму КЗ, створювані асинхронними електродвигунами у момент часу t

$$I_{n,t,AD}^{(3)} = \gamma_{t,AD} I_{n,t=0,AD}^{(3)} , \quad (4.17)$$

де $\gamma_{t,AD} = I_{n,t,AD}^{(3)} / I_{n,t=0,AD}^{(3)}$ – відносні значення періодичної складової струму КЗ, знаходяться за рис. 5.11 [4] (так для $t=0,07$ с $\gamma_{t=0,07,AD} = 0,29 - 0,4$).

Складові струму КЗ, створювані

синхронними електродвигунами у момент часу t

$$I_{n,t,CD}^{(3)} = \gamma_{t,CD} I_{n,t=0,CD}^{(3)} . \quad (4.18)$$

Значення $\gamma_{t,CD}$ знаходяться за рис. 5.12 [4] ($\gamma_{t=0,07,CD} = 0,67 - 0,78$).

Значення періодичної складової струму КЗ від усіх джерел у місці КЗ

$$I_{n,t,\Sigma}^{(3)} = I_{n,t,as}^{(3)} + I_{n,t,AD}^{(3)} + I_{n,t,CD}^{(3)} . \quad (4.19)$$

Значення аперіодичної складової струму у місці КЗ для довільного моменту часу t

$$i_{a,t,\Sigma} = \sqrt{2} [I_{n,t=0,as} \exp(-t/T_a) + I_{n,t=0,AD} \exp(-t/T_{a,AD}) + I_{n,t=0,CD} \exp(-t/T_{a,CD})] , \quad (4.20)$$

де $T_{a,as}$ – стала часу затухання аперіодичної складової струму КЗ електродвигуна, наведена в табл. 5.1 [4] (асинхронні електродвигуни), або визначається за типовими кривими рис. 5.13 [4] (синхронні електродвигуни).

Ударний струм у місці КЗ

$$i_{y,\Sigma} = \sqrt{2} [k_{y,as} I_{n,t=0,as} + k_{y,AD} I_{n,t=0,AD} + k_{y,CD} I_{n,t=0,CD}] \quad (4.21)$$

де $k_{y,as}$ – ударний коефіцієнт; коли зовнішній опір не враховують, то значення $k_{y,AD}$ визначають за табл. 5.1 [4], $k_{y,CD}$ – за типовими кривими рис. 5.13 [4].

Після виконання розрахунків струмів КЗ рекомендується занести їх в таблицю (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Значення струмів КЗ	Розрахункові точки КЗ			
	К1	К2	...	К7
Початкове діюче значення періодичної складової: $I_{n,t=0,\Sigma}^{(3)}$, кА				
Ударний струм $i_{y,\Sigma}$, кА				
Періодична складова в момент часу t $I_{n,t,\Sigma}^{(3)}$, кА				
Аперіодична складова в момент t $i_{a,t,\Sigma}$, кА				

Розрахунок теплового імпульсу струму КЗ

Перевірка апаратів, шин і кабелів на термічну стійкість оцінюється за найбільшим тепловим імпульсом струму B_{κ} при три - або двофазному КЗ.

При віддаленому КЗ він може бути визначеним за формулою

$$B_{\kappa} = I_{n0}^2 (t_{\epsilon} + T_a) \quad (4.22)$$

Час дії (час вимикання) струму КЗ t_{ϵ} складається з повного часу вимикання вимикача і часу дії основного релейного захисту

$$t_{\epsilon} = t_{n,\epsilon} + t_{pz} \quad (4.23)$$

Час дії релейного захисту може бути прийнятим: для вимикачів тупикових приєднань $t_{pz} = 0,01$ с; для ввідних вимикачів ліній підстанцій $t_{pz} = 1,2$ с; для ввідних вимикачів РП 6-10 кВ $t_{pz} = 0,6$ с.

При КЗ біля групи двигунів і з урахуванням системи тепловий імпульс визначається як сумарний від періодичної складової струму КЗ $B_{\kappa,n}$ і аперіодичної складової $B_{\kappa,a}$

$$B_{\kappa} = B_{\kappa,n} + B_{\kappa,a} \quad (4.24)$$

Тепловий імпульс періодичної складової струму КЗ визначається за формулою

$$B_{\kappa,n} = I_{n0,c}^2 t_{\epsilon} + 2I_{n0,c} I_{n0,d} T'_d + 0,5 I_{n0,d}^2 T'_d, \quad (4.25)$$

де $I_{n0,d}$ – струм КЗ від синхронних і асинхронних двигунів;

$I_{n0,c}$ – струм КЗ від системи;

T'_d – постійна часу еквівалентного двигуна.

Якщо типи двигунів невідомі, то можна прийняти $T'_d = 0,07$ с. Аперіодична складова струму двигунів і від системи загасають по експонентам з постійними часу $T_{a,d}$ і $T_{a,c}$. Тому аперіодичну складову струму в місці КЗ можна показати у вигляді однієї експоненціальної функції з постійною часу

$$T_{a.c*} = \frac{T_{a.c} I_{n0.c} + T_{a.d} I_{n0.d}}{I_{n0.c} + I_{n0.d}}. \quad (4.26)$$

Тепловий імпульс від аперіодичної складової струму КЗ

$$B_{к.а} = (I_{n0} + I_{n0.d})^2 T_{a.c*}. \quad (4.27)$$

5. Розробка конструктивного виконання підстанції

Компоновка обладнання електричних підстанцій (ПС) залежить від типу ПС, кількості встановленого обладнання, умов площадки, на якій споруджується підстанція та інших факторів. При розробці конструкції підстанції потрібно керуватися ПУЕ [1], нормами технологічного проектування підстанцій напругою 35-750 кВ [7], інструкцією з проектування електропостачання промислових підприємств [3] та іншими нормативними матеріалами.

Підстанції промислових підприємств, як правило, складаються з розподільного пристрою, розташованого на відкритому повітрі (ВРП) і закритого розподільного пристрою (ЗРП) напругою 6-10 кВ.

Як правило, розподільчі пристрої 35 кВ і вище споруджуються відкритими. Всі апарати ВРП переважно розташовані на невисоких основах (металевих або залізобетонних). Апаратура комутації та керування зовнішньої установки здатна протистояти дії вітру, дощу, снігу, забрудненням, конденсації, льоду та інше.

Конструктивне виконання підстанції в значній мірі залежить від апаратури комутації, особливо від типу вимикача.

Основні вимоги, що пред'являються до вимикачів для КРП полягають в наступному

- 1) надійність в роботі і безпека для обслуговуючого персоналу;
- 2) можливо малий час вимикання;
- 3) по можливості малі габарити і маса;
- 4) простота монтажу;
- 5) безшумність роботи;
- 6) порівняно невисока вартість;
- 7) малі витрати на обслуговування і експлуатацію;
- 8) ремонтопридатність.

Вимога надійності є однією з найважливіших вимог, оскільки від надійності вимикачів, їх готовності до роботи в будь-яких (у тому числі і в аварійних) режимах роботи безпосередньо залежать надійність електроживлення, безперебійність електропостачання споживачів, а також збереження всього застосованого в КРП електрообладнання. Термін служби вимикача повинен бути не менше 20 років.

Вказані вище основні вимоги до вимикачів для КРП, а також вимоги до їх конструкції, механічної стійкості і працездатності, електричної міцності ізоляції, нагріву при тривалій роботі і струмах КЗ, стійкості при крізних струмах КЗ, комутаційної здатності, надійності і безпеки і ін. конкретизовані в ГОСТ 687-78Е "Вимикачі змінного струму на напругу понад 1000 В. Загальні технічні

умови". У об'єм загальних вимог до вимикачів для КРП входять також вимоги за кліматичними умовами експлуатації: вимикачі повинні бути розраховані на кліматичне виконання У і наступну категорію розміщення: для КРП зовнішньої установки – категорію 2 і для КРП внутрішньої установки – категорію 3. Крім того, на вимикачі для КРП розповсюджуються вимоги безпеки, викладені в ГОСТ 12.2.007.0 75 "Вироби електротехнічні. Загальні вимоги безпеки" і ГОСТ 12.2.007.3 7:1 "Електротехнічні пристрої на напругу понад 1000 В. Вимоги безпеки".

Застосовані в даний час сучасні вимикачі для КРП в основному відповідають переліченим вище вимогам, включаючи і вимоги вищезгаданих Гостів, чого не можна сказати про застарілі конструкції вимикачів. Особливу складність в експлуатації застарілих конструкцій вимикачів викликають їх приводи, які раніше поставлялися окремо від вимикачів. У КРП останніх конструкцій ця трудність усунена: всі застосовані вимикачі мають вбудовані в них приводи, що невід'ємною, конструктивно не виділеною частиною вимикача.

Слід зупинитися ще на одній вимозі до вимикачів і до КРП в цілому, яку пред'являють особливо відповідальні споживачі: скорочення витрат на обслуговування і експлуатацію як вимикачів, так і КРП в цілому.

Із усього різноманіття конструкцій високовольтих вимикачів в КРП, КТП, КСО [14] і інших аналогічних електроустановках в даний час застосовуються наступні типи вимикачів 6 – 10 кВ: малооб'ємні масляні (їх часто називають також маломасляними), електромагнітні з щільними камерами, вакуумні і елегазові.

6. Вибір апаратів відкритої і закритої частин розподільної підстанції

6.1. Вибір вимикачів

Вимикач, що вибирається повинен працювати без пошкодження в найбільш важкому за умовами експлуатації режимі роботи мережі. Тому вибір вимикача, здатного безвідмовно працювати протягом всього терміну експлуатації мережі, рекомендується проводити в 2 етапи.

На першому етапі, виходячи з умов найбільш важкого режиму роботи мережі і інших умов експлуатації (вимикаючої здатності вимикача, необхідної частоти вмикань та вимикань, комутаційних перенапруг, необхідності забезпечення повної вибухо- та пожежебезпеки і т. п.) слід вибрати тип вимикача для КРП.

При виборі типу вимикача для КРП в першу чергу повинно враховуватися наступне:

- При номінальній напрузі 6 – 10 кВ і нормальних комутаціях доцільно застосовувати маломасляні вимикачі, а при частих комутаціях вакуумні і елегазові, які мають великий термін служби.
- При великих номінальних струмах вимикання (так само, як і при великих номінальних напругах) рекомендується застосовувати повітряні і елегазові вимикачі. При цьому, проводячи економічну оцінку доцільності установки ви-

бираного типу вимикача, слід враховувати, що, хоча вакуумні вимикачі мають велику вартість, застосування їх виправдане зважаючи на малі витрати на технічне обслуговування і великий термін служби дугогасячих пристроїв (25 років і більше).

На другому етапі, скориставшись каталогами фірм-виробників вимикачів для КРП, слід провести порівняння номінальних параметрів вибраного типу вимикача з параметрами електричної мережі в місці його установки: номінальна напруга вимикача повинна бути рівна або більше номінальної напруги мережі, що захищається; його номінальний тривалий струм повинен перевищувати номінальний струм електроустановки; номінальний струм вимикання вимикача повинен бути більше максимального розрахункового струму $KЗ I_k$ у момент контактів.

При визначенні струму I_k повинні розглядатися всі можливі варіанти КЗ і з них повинен бути вибраний найбільш важкий, яким звичайно є режим відключення трьох- і однофазного КЗ на землю. Розрахунок аперіодичної складової повинен проводитися з урахуванням того, що КЗ відбулося в мить, коли напруга в одній з фаз рівна нулю. Номінальний струм вимикання вимикача повинен бути не меншим, ніж протікаючий через вимикач ударний струм КЗ.

Крім того, при виборі вимикача слід мати на увазі, що у момент розмикання контактів вимикача аперіодична складова струму КЗ не повинна перевищувати аперіодичний струм, гарантований заводом-виробником. Зазвичай цей струм виражається у відсотках номінального струму вимикання. Розрахунковий час розмикання контактів вибирається мінімально можливим.

Разом з номінальним струмом вимикання повинні враховуватися цикли (послідовність вмикань (В) і вимикань (О) – В), при яких вимикач працює. Номінальний струм вимикання вимикачів без АПВ гарантується при циклі О -180-ВО-180-ВО.

Термічна стійкість перевіряється з умови протікання через вимикач струму КЗ протягом максимального часу, обумовленого спрацюванням захисту. Номінальний струм електродинамічної стійкості вимикача повинен перевищувати максимально можливе значення ударного струму КЗ, яке може бути в електроустановці.

Вимикачі, що випускаються промисловістю, випробовуються при типових швидкостях відновлення напруги. Тому звичайно немає необхідності проводити розрахунок швидкості відновлення напруги в проєктованих мережах і порівнювати з умовами, які мали місце при випробуваннях апарату.

В пояснювальній записці студент наводить приклад вибору вимикача напругою U_1 відповідно з попередньо наведеними умовами.

Приводить з належним обґрунтуванням вибір типу вимикача для ЗРП, вибирає відповідний тип КРП напругою 6 – 10 кВ [14].

Вибір вимикачів КРП рекомендується проводити в табличній формі (табл. 6.1) за основними параметрами.

Таблиця 6.1

Тип вимикача приєднання	вводу		секційного		споживача	
Умови вибору	катал. дані	розрах. дані	катал. дані	розрах. дані	катал. дані	розрах. дані
1. $U_n \geq U_{уст}$ (кВ)						
2. $I_n \geq I_{р.ф.}$ (А)						
3. $I_{вим} \geq I_{н.т}$ (кА)						
4. $\sqrt{2} \cdot I_{вим} (1 + \beta_n) \geq \sqrt{2} \cdot i_{н.т} + i_{а.т}$ (кА)						
5. $i_{дин} \geq i_y$ (кА)						
6. $I_{т.с}^2 \cdot t_{т.с} \geq B_k$ (кА ² ·с)						

6.2 Вибір роз'єднувачів, віддільників, короткозамикачів і вимикачів навантаження

Роз'єднувачі і віддільники вибирають за номінальною напругою і номінальним струмом і перевіряють їх на динамічну і термічну стійкість в режимі КЗ.

Умови вибору роз'єднувачів і віддільників наведені у табл. 6.2.

Таблиця 6.2

Параметри роз'єднувача	Умови вибору
1. Номінальна напруга	$U_n \geq U_{уст}$
2. Номінальний струм	$I_n \geq I_{р.ф.}$
3. Номінальний струм динамічної стійкості	$i_{дин} \geq i_y$
4. Номінальний тепловий імпульс	$I_{т.с}^2 \cdot t_{т.с.} \geq B_k$

Короткозамикачі вибирають за умовами, які наведені в табл. 6.2, за виключенням вибору за номінальним струмом.

Роз'єднувачі, вбудовані в комплектні розподільчі пристрої, вибирати не треба, оскільки їх параметри відповідають параметрам вимикача, встановленого в шафі КРП.

Вимикачі навантаження вибирають за умовами, наведеними в табл. 6.2, а також за струмом вимикання

$$I_{вим.н} \geq I_{р.ф.} \quad (6.1)$$

6.3 Вибір запобіжників

Запобіжники напругою понад 1000 В обирають за номінальною напругою U_n , номінальним струмом I_n , номінальним струмом вимикання $I_{вим.н}$, за конструкцією і за родом установки (внутрішня, зовнішня). Вибір виконується за умовами:

$$U_n \geq U_{уст}; \quad (6.2)$$

$$I_n \geq I_{р.ф.}; \quad (6.3)$$

$$I_{в.м.н} \geq I_{по}. \quad (6.4)$$

Номінальний струм плавкої вставки запобіжника обирається за умовами захисту обладнання та умовами селективності. Якщо запобіжник призначений для захисту силових трансформаторів, то плавка вставка обирається з урахуванням стрибка струму намагнічування відповідно до табл. 6.3.

Таблиця 6.3

Номінальний струм трансформатора, А	1	3	5	8	10	20	30	70	100	145	210
Номінальний струм плавкої вставки, А	3	7,5	10	15	30	40	50	100	150	200	300

Запобіжники серії ПКТН (ПКН) для захисту трансформаторів напруги обирають тільки за номінальною напругою.

6.4 Вибір трансформаторів струму

Вибір типу трансформаторів струму, як і трансформаторів напруги, проводять в залежності від типу КРП.

Трансформатори струму для живлення вимірювальних приладів обирають за номінальною напругою, за номінальними струмами $I_{1н}$, $I_{2н}$, за класом точності і вторинним навантаженням. У режимі КЗ трансформатор струму необхідно перевірити на динамічну і термічну стійкість. Вибір трансформаторів струму за класом точності виконують відповідно з ПУЕ. Трансформатори струму для ввімкнення лічильників, за якими ведуться грошові розрахунки, повинні мати клас точності 0,5. Для технічного обліку допускається застосування трансформаторів струму класу точності 1,0. Для включення щитових електровимірювальних приладів трансформатори струму повинні мати клас точності не нижче 3,0. Для релейного захисту – клас 10 (Р).

Умови вибору трансформаторів струму наведені в табл. 6.4.

Таблиця 6.4

Параметри трансформатора струму	Умови вибору
1. Номінальна напруга	$U_n \geq U_{уст}$
2. Номінальний первинний струм	$I_{1н} \geq I_{р.ф.}$
3. Номінальний вторинний струм	5 або 1 А
4. Клас точності	В залежності від призначення
5. Номінальне вторинне навантаження	$Z_n \geq Z_2$
6. Електродинамічна стійкість	$i_{дин} \geq i_y$ або $\sqrt{2}K_\delta I_{1н} \geq i_y$
7. Термічна стійкість	$I_{м.с.}^2 t_{м.с.} \geq B_\kappa ; (K_m I_{1н})^2 t_{м.н.} \geq B_\kappa$

Умови вибору трансформаторів струму за класом точності більш повно наведені в табл. 2.67 [10] і табл. 4.13 [8], а їх параметри в табл. 5.9 [5].

Завищення коефіцієнта трансформації n_{TC} трансформаторів струму, які живлять розрахункові лічильники, не допустимо, оскільки робота трансформаторів струму при малих навантаженнях може не відповідати розрахунковому класу точності. Перелік вимірювальних приладів на електростанціях і підстанціях дано в табл. 4.11 [8], а їх характеристики в табл. 6.26 [5].

6.5 Вибір трансформаторів напруги

Трансформатори напруги (ТН) для живлення вимірювальних приладів і реле обирають за номінальною напругою первинної обмотки, класом точності, схемами з'єднань обмоток і конструктивним виконанням (табл. 2.68 [10]).

При розрахунку навантажень вимірювальних приладів і реле їх можна не розподіляти по фазам. Тоді

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{(\Sigma S_{прил} \cos \varphi_{прил})^2 + (\Sigma S_{прил} \sin \varphi_{прил})^2} = \sqrt{P_\Sigma^2 + Q_\Sigma^2}. \quad (6.5)$$

Розрахунок вторинних навантажень ТН бажано вести в табличній формі. Приклад такого розрахунку наведений в табл. 4.14 [8].

Умови вибору трансформаторів напруги наведені в табл. 6.5.

Таблиця 6.5

Параметри трансформатора напруги	Умови вибору
Номінальна первинна напруга	$U_n = U_{уст}$
Тип і схема з'єднань обмоток	В залежності від призначення
Клас точності	В залежності від призначення
Номінальна потужність	$S_{ном} \geq S_2$

Схема ввімкнення і тип ТН повинні відповідати його призначенню, а також типу розподільчого пристрою (РП), де планується встановлення трансформаторів напруги. Параметри ТН наведені в табл. 5.12 [5].

6.6 Вибір реакторів

Обмеження струмів КЗ необхідно, якщо їх величина більша значень, які допустимі для апаратури чи струмопроводів, наприклад для легких типів викивачів КРП.

Установку струмообмежуючих реакторів передбачають, якщо недостатні інші способи струмообмеження: роздільна робота трансформаторів і ліній, застосування трансформаторів з розщепленими обмотками. На електростанціях і підстанціях застосовують струмообмежуючі реактори на 6-10 кВ з алюмінієвими обмотками одинарні серій РБ (РБУ, РБГ, РБР), а також здвоєні реактори серій РБС (РБСГ, РБСР). Здвоєні реактори мають перевагу, якщо можливий розподіл навантажень за реактором на дві приблизно рівні частини, так як втрати напруги і потужності в них при нормальному режимі роботи будуть менші, ніж у реактора звичайної конструкції (обмеження струмів КЗ практично однакове). Номінальні дані реакторів наведені в [5, табл. 5.14], а також в [6], [8], [9].

Реактор обирають за номінальною напругою U_n , номінальним струмом I_n і номінальним індуктивним опором X_p . Вибір і перевірка струмообмежуючих реакторів наведені в табл. 2.66 [10]. Приклад вибору наведений в [8, приклад 3.9].

Вибраний реактор перевіряють на електродинамічну і термічну стійкість струмам КЗ. Електродинамічна стійкість реактора забезпечується при виконанні умови

$$i_{дин} \geq i_y, \quad (6.6)$$

де $i_{дин}$ – номінальний струм динамічної стійкості за каталогом.

Термічна стійкість реактора характеризується заводом-виготовлювачем або величиною $\sqrt{B_{кн}}$, кА·с^{1/2} [6], [8], [9], або величинами $I_{т.н.}$, кА; $t_{т.н.}$, с [5], за якими розраховується номінальний тепловий імпульс

$$B_{кн} = I_{т.н.}^2 t_{т.н.}. \quad (6.7)$$

Термічна стійкість реактора перевіряється за умовою

$$B_{кн} \geq B_k, \quad (6.8)$$

де B_k – тепловий імпульс за розрахунковим струмом КЗ за реактором.

Втрати напруги в нормальному режимі для одинарного реактора

$$\Delta U_{p\%} = X_{p\%} \frac{I_{pn}}{I_n} \sin \varphi. \quad (6.9)$$

Для здвоєного реактора

$$\Delta U_{p\%} = X_{B\%} \frac{I_{pn}}{I_n} (1 - K) \sin \varphi, \quad (6.10)$$

де $X_{B\%}$ – індуктивний опір обмотки (половини) реактора;

I_n – номінальний струм обмотки реактора;

I_{pn} – розрахунковий струм обмотки в нормальному режимі;

K – коефіцієнт зв'язку ($K \cong 0,5$).

7. Розрахунок і вибір струмоведучих частин і ізоляторів

7.1 Вибір шин і кабелів

Шинні конструкції розподільчих пристроїв поділяють на струмопроводи, які виконуються жорсткими (ЗРП і вводи в них) або гнучкими (ВРП) шинами, закріпленими на ізоляторах. Шини і кабелі застосовують, як правило, алюмінієві.

Перетин шин і кабелів вибирають за економічною щільністю струму, за нагрівом струмом форсованого режиму і перевіряють на термічну стійкість при КЗ. Шини перевіряють також на електродинамічну стійкість при КЗ. Номінальна напруга кабелю повинна відповідати напрузі установки.

1. Вибір перетину шин і кабелів за економічною щільністю струму виконують за розрахунковим струмом нормального робочого режиму

$$q_{ек} = \frac{I_{р.н.}}{j_{ек}}, \quad (7.1)$$

де $q_{ек}$ – економічний перетин, мм²;

$I_{р.н.}$ – максимальний струм нормального режиму, А;

$j_{ек}$ – економічна щільність струму, А/мм².

За економічною щільністю струму вибирають збірні шини всіх напруг, шини і кабелі резервних ліній і трансформаторів, а також шини і кабелі в установках до 1000 В, якщо $T_m = 4500$ годин.

2. Вибір перетину шин і кабелів за нагрівом виконують за робочим струмом форсованого режиму $I_{р.ф.}$

$$I_{доп} \geq I_{р.ф.} \quad (7.2)$$

Для шин

$$I_{доп} = K_1 \cdot K_2 \cdot I_{н.доп},$$

де $I_{доп}$ – допустимий струм за нагрівом, А;

$I_{н.доп}$ – номінальний струм (довгочасно допустимий струм при температурі навколишнього середовища $\theta_{нн} = 25^0 C$ і установці шин прямокутного перетину більшою стороною h у вертикальній площині), А; номінальні струми для шин і кабелів наведені в [1], [6], а також [5];

K_1 – коефіцієнт поправки на спосіб установки шин. При установці шин прямокутного перетину більшою стороною в горизонтальній площині

$$K_1 = 0,95 \text{ при } h \leq 60 \text{ мм};$$

$$K_1 = 0,92 \text{ при } h > 60 \text{ мм}.$$

K_2 – коефіцієнт поправки на температуру навколишнього середовища, якщо вона відрізняється від номінальної.

$$K_2 = \sqrt{\frac{\theta_{доп} - \theta_o}{\theta_{доп} - \theta_{нн}}}, \quad (7.3)$$

де $\theta_{\text{доп}}$ – довгочасно допустима температура (для алюмінієвих шин $\theta_{\text{доп}} = 70^{\circ}\text{C}$);
 θ_o – температура навколишнього середовища;
 $\theta_{\text{нн}} = 25^{\circ}\text{C}$ – номінальна напруга навколишнього середовища для шин і кабелів, які прокладені в повітрі.

Для кабелів довгочасно допустимий струм визначають за співвідношенням

$$I_{\text{доп}} = K_1' \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot I_{\text{н.доп}}, \quad (7.4)$$

де K_1' – коефіцієнт поправки на число кабелів [5, табл. 7.16];

K_2 – коефіцієнт поправки на температуру навколишнього середовища (визначається таким же чином, як і для шин);

K_3 – коефіцієнт допустимого перевантаження кабеля в форсованому режимі, визначається відповідно з [5, табл. 7.9].

3. Перевірка перетину шин (кабелів) на термічну стійкість при КЗ виконується методом зіставлення кінцевої температури $\theta_{\text{к}}$ при КЗ з максимально допустимою при короткочасному нагріві $\theta_{\text{к.доп}}$ (для алюмінієвих шин і кабелів $\theta_{\text{к.доп}} = 200^{\circ}\text{C}$). Умова термічної стійкості

$$\theta_{\text{к}} < \theta_{\text{к.доп}}. \quad (7.5)$$

Мінімальний перетин за умовами термічної стійкості можна знайти за спрощеним виразом

$$q_{\text{мін}} = \frac{\sqrt{B_{\text{к}}}}{C}, \quad (7.6)$$

де значення коефіцієнта $C = \sqrt{A_{\text{к.макс}} - A_{\text{н}}}$ беруть з [5, табл. 1.7] або [6, табл. 34.11].

4. Перевірка шинних конструкцій на електродинамічну стійкість при КЗ виконується методом порівняння розрахункової механічної напруги в матеріалі шини σ_p з допустимою напругою $\sigma_{\text{доп}}$.

Умова електродинамічної стійкості шин

$$\sigma_p \leq \sigma_{\text{доп}}. \quad (7.7)$$

Умова електродинамічної стійкості ізоляторів

$$F_p \leq F_{\text{доп}}; \quad (7.8)$$

$$F_{\text{доп}} = 0,6F_{\text{руйн}}, \quad (7.9)$$

де F_p – розрахункове навантаження на головку ізолятора;

$F_{\text{доп}}$ – допустиме навантаження на головку ізолятора;

$F_{\text{руйн}}$ – руйнівне навантаження на згиб.

Для комплектних струмопроводів [5, табл. 9.12] і збірних шин КРП електродинамічна стійкість перевіряється спрощено за умовою

$$i_{\text{доп}} \geq i_y. \quad (7.10)$$

Значення допустимих механічних напруг в матеріалі шини наведені в табл. 1.16 [5].

Розрахункові напруги в матеріалі шини визначаються за методиками, наведеними в табл. 2.69 [10], а також [8, розділ 4.2].

7.2 Вибір ізоляторів шинних конструкцій

Технічні дані ізоляторів наведені в [5, табл. 5.7].

Опорні ізолятори вибирають:

- за номінальною напругою $U_n > U_{уст}$;
- за допустимим механічним навантаженням (формули (7.8), (7.9)).

Розрахункове навантаження на головку ізолятора

$$F_p = f l \frac{H}{H_{із}}, \quad (7.11)$$

де f – розрахункова сила на одиницю довжини від взаємодії фаз, Н/м;

l – проліт між ізоляторами по довжині шини, м;

$H_{із}$ – висота опорного ізолятора, мм;

H – відстань від основи ізолятора до горизонтальної осі симетрії перетину шини, мм.

При розташуванні шин прямокутного перетину на ребро цю відстань належить прийняти рівною

$$H = H_{із} + b + \frac{h}{2}, \quad (7.12)$$

де $(b \times h)$ – розміри шини.

При закріпленні шин пліском можна прийняти $\frac{H}{H_{із}} = 1$.

В курсовому проекті рекомендується визначити допустиму довжину прольоту $l_{дон}$ за умовами механічної міцності ізолятора, м

$$l_{дон.із} = \frac{0,6}{f} \frac{H}{H_{із}}. \quad (7.13)$$

Прохідні ізолятори вибирають за умовами (7.8) і (7.9), а також перевіряють за номінальним струмом

$$I_n > I_{р.ф.}. \quad (7.14)$$

Для прохідних ізоляторів розрахункове навантаження дорівнює

$$F_p = 0,5 f l. \quad (7.15)$$

8. Вибір джерел оперативного струму

Джерела живлення власних потреб підстанції, як правило, мають зв'язок з джерелами оперативного струму, які живлять кола керування, автоматики, сигналізації і релейного захисту. Для живлення цих кіл, застосовують постійний або змінний (випрямленими) оперативний струм.

Постійний оперативний струм з акумуляторними батареями, розрахованими на повну потужність оперативних кіл застосовують на електростанціях і на підстанціях з первинною напругою 330 - 750 кВ, а також на підстанціях 110 - 220 кВ з кількістю трьох або більше масляних вимикачів. Змінний (випрямленими) оперативний струм застосовують на підстанціях 6-10 кВ, підстанціях 35 - 220 кВ без вимикачів на ці напруги, підстанціях 35 кВ з масляними вимикачами і підстанціях 110 кВ з одним - двома вимикачами на стороні високої напруги [7].

Підстанції промислових підприємств виконуються, як правило, без збірних шин на стороні 35 - 220 кВ і без вимикачів на ці напруги або зі зменшеною їх кількістю (не більше трьох).

Для живлення оперативних кіл на таких підстанціях доцільно застосування комплектних блоків живлення. Комплектні вимірювальні пристрої для живлення електромагнітів включення вимикачів складаються з блока УКП 1 і накопичувача енергії УКП 2 для довмикання вимикача при зниженій напрузі. Блоки УКП 1 і УКП 2 одержують живлення від трансформаторів власних потреб потужністю 63 кВА і більше, які ввімкнені перед вимикачами напругою 6-10 кВ. Живлення кіл керування, релейного захисту, сигналізації виконується від випрямляючих і конденсаторних блоків, які вмикаються до трансформаторів напруги і трансформаторів власних потреб [10]. Для живлення цих кіл доцільно застосовувати також комплектні шафи типу ШУОС (ШУОТ), в яких встановлюють акумуляторну батарею невеликої потужності (максимальний струм розряду - 20 А) на 110 В підзарядний випрямляч, який одержує живлення від трансформатора власних потреб. Для одержання напруги постійного струму 220 В встановлюють дві шафи ШУОС, їх акумуляторні батареї з'єднують послідовно. Шафи ШУОС і УКП ставлять в ЗРП 6 - 10 кВ. Місце їх установлення повинно бути показано на плані підстанції.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила улаштування електроустановок. – Київ, 2017. -617 с.
2. ДСТУ ІЕС 60909-0:2008. Національний стандарт України. Струми короткого замикання в трифазних системах змінного струму.
3. Перехідні процеси в системах електропостачання: підручник / Г.Г. Півняк, І.В. Жежеленко, Ю.А. Папаїка, Л.І. Несен; за ред. Г.Г. Півняка; М-во освіти і науки України, Нац. Гірни. Ун-т. – 5-те вид., доопрац. і допов. –Дніпро: НГУ, 2016. – 600 с.
4. Перехідні процеси в системах електропостачання. Підручник для вузів. Вид. 2-е, доправ. та доп. /Г.Г. Півняк, В.М. Винославський, А.Я. Рибалко, Л.І. Несен / За ред. Академіка НАН України Г.Г. Півняка. – Дніпропетровськ: Видавництво НГА України, 2000. – 597 с.

5. Електромагнітна сумісність у системах електропостачання: Підручник / І.В. Жежеленко, А.К. Шидловський, Г.Г. Півняк, Ю.Л. Сасенко. – Д.: Нац. гірнич. ун-т, 2009. – 319 с.: іл.
6. ГКД 341.004.001-94 Норми технологічного проектування підстанцій змінного струму з вищою напругою 6-750 кВ.
7. Півняк Г.Г., Волотковська Н.С., Кігель Г.А. Розрахунки електричних мереж систем електропостачання. – НГУ, 2011.
8. Рожкова В.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 648 с.
9. Експлуатація електроустановок: Навч. посібник / Г.Г. Півняк, А.В. Журахівський, Г.А. Кігель, Б.М. Кінаш, А.Я. Рибалко, Ф.П. Шкрабець, З.М. Бахор; За ред. академіка НАН України Г.Г. Півняка. – Дніпропетровськ, НГУ, 2005.
10. Г.Г. Півняк, М.М. Білий, Г.М. Бажін. Електропостачання гірничих підприємств: Довідковий посібник. – Д.: Національний гірничий університет, 2008, - 550 с.

Додаток 1

ВИХІДНІ ДАНІ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Таблиця Д.1.1

<i>N вар</i>	<i>N сх</i>	<i>S_{кз}, МВА</i>	<i>U₁, кВ</i>	<i>U₂, кВ</i>	<i>S_{тр}, МВА</i>	<i>n_{тр}, шт</i>	<i>P_{Ад}, МВт</i>	<i>n_{Ад}, шт</i>	<i>P_{сд}, МВт</i>	<i>n_{сд}, шт</i>	<i>S_і, МВА</i>	<i>n, шт</i>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
01	1	1300	35	10	1,0	2	0,25	4	0,4	3	1,0	2
02	2	1700	35	10	1,0	2	0,3	3	0,5	3	1,5	2
03	3	1400	110	10	1,0	2	1,6	3	1,6	3	3,0	1
04	4	2500	110	6	1,0	2	1,0	3	1,0	2	2,0	2
05	1	1500	110	10	1,0	3	0,25	3	0,4	3	1,0	2
06	3	1500	150	6	1,0	3	0,4	3	1,0	4	3,5	1
07	4	2600	110	6	1,0	2	0,63	2	1,25	3	2,5	1
08	1	1000	150	10	1,0	4	0,25	3	0,4	3	1,0	3
09	3	2600	220	6	1,0	4	0,5	2	1,0	4	3,5	2
10	4	2800	150	10	1,0	2	0,63	3	1,6	3	3,0	2
11	3	1800	220	10	1,0	5	0,25	3	1,0	3	2,0	4
12	2	1700	110	6	1,0	3	0,4	2	1,0	4	3,5	1
13	4	2000	220	6	1,0	3	0,63	3	2,0	2	3,5	2
14	1	1400	35	6	1,0	3	0,25	3	0,4	3	0,7	2
15	3	1800	150	10	1,6	3	0,4	2	0,63	3	3,5	2
16	4	2500	110	6	1,6	3	0,5	3	2,0	2	1,0	2
17	1	1200	110	6	1,6	2	0,3	3	1,0	3	1,5	2
18	3	1900	220	10	1,6	2	0,4	3	0,63	3	3,0	3

Продовження табл. Д.1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
19	4	1400	150	10	1,6	3	0,3	2	1,6	3	1,5	2
20	1	1250	150	6	1,6	3	0,3	3	1,0	3	1,5	2
21	3	1800	110	10	1,6	2	0,4	2	1,0	4	2,0	1
22	4	2500	150	10	1,0	4	0,63	3	1,25	2	3,0	2
23	1	1360	110	6	1,6	2	0,3	4	1,6	2	0,6	2
24	3	1200	150	6	1,6	3	0,63	3	1,0	3	2,0	4
25	4	1500	150	6	1,0	4	0,4	3	1,0	4	2,5	2
26	1	1800	35	10	0,63	3	0,3	3	0,5	2	1,5	1
27	3	1210	220	6	1,6	4	0,63	3	1,0	2	4,5	2
28	4	1450	110	6	1,0	4	0,32	2	1,6	3	1,7	2
29	1	1380	110	10	0,63	3	0,5	4	0,63	3	1,5	2
30	3	1220	110	10	1,6	2	0,63	3	1,6	2	1,5	1
31	4	1460	110	6	0,63	3	0,5	2	2,0	2	2,5	1
32	1	1200	150	10	1,6	2	0,3	3	1,6	2	1,5	2
33	3	1230	150	10	1,0	3	0,63	3	2,0	3	2,0	1
34	4	1480	110	10	1,6	3	0,63	2	1,25	2	1,8	2
35	1	1000	220	10	1,6	4	0,3	3	1,6	4	3,5	3
36	2	1240	110	6	1,0	4	0,63	2	1,6	3	0,5	2
37	4	1500	150	10	1,6	3	0,63	2	1,6	2	1,5	2
38	2	1800	35	6	1,0	4	0,63	2	1,0	3	0,6	2
39	3	1250	110	6	2,5	4	0,25	3	1,6	3	1,9	2
40	4	2000	150	10	1,0	2	0,4	3	1,6	3	3,0	2
41	2	1200	110	10	1,0	3	0,3	4	1,0	3	1,5	2
42	2	1260	150	10	0,63	3	0,5	3	2,0	2	0,5	3
43	4	1250	150	6	1,0	2	0,63	3	1,25	3	4,0	1
44	2	1300	150	10	1,6	4	0,5	3	0,63	3	2,0	1
45	3	1270	220	10	0,63	3	0,5	3	2,0	3	3,5	2
46	4	1300	220	6	1,0	2	0,5	3	1,25	3	3,5	2
47	2	1400	110	6	0,63	3	0,63	2	1,6	2	0,6	1
48	3	1280	110	6	1,0	4	0,32	2	1,25	3	0,9	2
49	4	1350	220	6	1,0	4	0,32	3	1,0	4	3,0	2
50	2	1500	110	10	0,63	6	0,8	4	1,6	2	0,8	2
51	3	1290	150	6	1,0	3	0,4	3	1,25	3	0,8	2
52	4	2000	150	10	1,6	3	0,5	2	1,25	4	1,5	2
53	2	1600	150	6	1,0	2	0,4	3	1,0	3	0,5	2
54	3	1300	220	10	1,0	4	0,5	3	2,0	2	3,0	3
55	4	1450	150	10	1,6	3	0,32	3	1,6	3	4,0	1
56	2	1470	220	6	1,0	3	1,25	4	1,0	6	2,5	2
57	2	1310	110	10	1,0	4	0,32	3	2,0	3	1,0	1
58	4	1500	150	10	1,6	3	0,5	3	1,6	2	3,5	2
59	2	1480	110	10	1,6	4	0,63	4	1,6	3	0,5	2

Продовження табл. Д.1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
60	3	1320	150	10	1,6	3	0,32	4	1,6	3	3,0	2
61	4	2000	220	6	1,6	3	0,4	2	1,25	3	3,0	2
62	2	1490	150	10	1,6	3	0,5	3	1,6	2	2,5	1
63	3	1330	110	6	1,6	2	0,4	4	1,6	2	0,9	1
64	4	2500	220	6	1,6	3	0,63	3	1,25	2	2,5	2
65	2	1210	110	10	1,0	2	0,63	3	1,0	2	3,0	1
66	3	1340	150	10	1,6	4	0,4	3	1,6	2	3,0	1
67	4	1300	110	6	1,0	4	0,5	3	1,25	2	3,0	1
68	2	1220	150	6	0,63	3	1,6	4	1,6	3	3,0	3
69	3	1350	110	6	1,6	3	0,5	4	1,25	3	0,8	2
70	4	1350	110	10	1,0	4	0,32	2	1,6	3	3,5	3
71	2	1230	150	10	0,6	3	0,63	4	1,6	3	3,0	1
72	3	1200	220	6	1,6	3	0,32	2	1,0	2	2,5	3
73	2	2000	110	10	1,0	4	0,4	2	2,0	3	4,0	2
74	3	1250	150	10	1,6	3	0,63	2	2,0	2	2,6	1
75	1	1450	110	10	1,6	2	0,63	4	2,0	2	0,8	2
76	2	1500	150	10	1,6	2	0,5	3	1,25	2	3,5	2
77	3	1200	150	6	1,0	3	0,32	3	1,6	3	3,0	2
78	4	2500	150	6	1,0	3	0,4	2	1,6	3	4,0	2
79	3	1420	220	10	1,6	4	0,63	4	2,0	3	4,0	1
80	2	1250	110	10	1,0	3	0,63	2	1,6	3	0,5	2
81	3	1370	150	6	1,6	4	0,4	2	1,6	3	2,5	3
82	4	1250	220	6	1,0	4	0,32	3	1,6	2	3,5	2
83	1	1440	110	10	1,6	3	0,3	3	1,25	3	2,0	1
84	2	1270	150	10	1,6	3	0,63	3	1,0	4	0,8	2
85	3	1390	110	10	1,0	3	0,32	3	2,0	2	4,0	3
86	4	1470	150	6	1,6	3	0,5	3	1,0	4	4,0	2
87	1	1460	150	6	1,0	2	0,3	3	1,25	3	0,6	2
88	2	1900	110	6	1,0	4	0,63	2	1,6	3	2,5	1
89	3	1410	150	6	1,6	3	0,25	3	1,25	3	3,5	3
90	4	1890	220	6	1,6	4	0,5	4	1,6	2	3,5	2
91	1	1800	110	6	1,0	3	0,25	5	0,4	4	1,7	3
92	2	1310	150	10	1,0	2	0,5	3	1,0	3	3,0	3
93	3	1430	110	6	1,0	3	0,4	4	1,6	3	4,0	2
94	4	1510	110	10	1,6	2	0,63	3	1,0	3	4,0	2
95	1	1310	150	10	1,6	3	0,5	3	1,0	3	1,5	1
96	2	1590	110	6	1,0	4	0,4	2	0,63	4	0,8	1
97	3	1320	220	6	1,0	3	0,32	3	1,0	3	3,0	2
98	4	1520	150	10	1,6	4	0,5	4	1,6	3	1,25	1
99	1	1430	110	6	0,63	3	0,8	2	1,25	2	1,0	1
100	2	1340	110	10	1,6	3	0,63	2	1,25	3	0,8	2

Технічні дані основних електричних апаратів високої напруги

Таблиця Д.2.1 - Технічні дані вимикачів високої напруги

Тип вимикача	Номинальна напру- га, кВ	Найбільша робоча напруга, кВ	Номинальний струм, А	Номинальний струм вимикання, кА	Струм електроди- намічної стійкості, кА	Струм термічної стійкості (за час 3 секунди), кА	Повний час вими- кання не більше, с	Нормоване значен- ня аперіодичної складової струму КЗ $\beta_{ном}$, %	Власний час вими- кання не більше, с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
вакуумні									
ВРС-6-40/1250У2	6	7,2	1250	40	128	40	0,065	35	0,035-0,05
ВРС-6-40/1600У2	6	7,2	1600	40	128	40	0,065	35	0,035-0,05
ВРС-6-40/2000У2	6	7,2	2000	40	128	40	0,065	35	0,035-0,05
ВРС-6-40/2500У2	6	7,2	2500	40	128	40	0,065	40	0,035-0,05
ВРС-6-40/3150У2	6	7,2	3150	40	128	40	0,065	40	0,035-0,05
ВРС-6-40/1250У2	6	7,2	1250	40	102	40	0,065	35	0,035-0,05
ВРС-6-40/1600У2	6	7,2	1600	40	102	40	0,065	35	0,035-0,05
ВРС-6-40/2000У2	6	7,2	2000	40	102	40	0,065	35	0,035-0,05
ВРС-6-40/2500У2	6	7,2	2500	40	102	40	0,065	40	0,035-0,05
ВРС-6-40/3150У2	6	7,2	3150	40	102	40	0,065	40	0,035-0,05
ВР6-40/1600У2	6	7,2	1600	40	128	40	0,065	35	0,035-0,05
ВР6-40/2000У2	6	7,2	2000	40	128	40	0,065	35	0,035-0,05
ВРС-10-20/630У2	10	12	630	20	52	20	0,065	40	0,035-0,05
ВРС-10-20/1000У2	10	12	1000	20	52	20	0,065	40	0,035-0,05
ВРС-10-20/1250У2	10	12	1250	20	52	20	0,065	40	0,035-0,05
ВРС-10-20/1600У2	10	12	1600	20	52	20	0,065	40	0,035-0,05
ВРС-10-31,5/630У2	10	12	630	31,5	80	31,5	0,065	35	0,035-0,05
ВРС-10-31,5/1000У2	10	12	1000	31,5	80	31,5	0,065	35	0,035-0,05
ВРС-10-31,5/1250У2	10	12	1250	31,5	80	31,5	0,065	35	0,035-0,05
ВРС-10-31,5/1600У2	10	12	1600	31,5	80	31,5	0,065	35	0,035-0,05
ВРС-10-31,5/2000У2	10	12	2000	31,5	80	31,5	0,065	35	0,035-0,05
ВРС-10-31,5/2500У2	10	12	2500	31,5	80	31,5	0,065	35	0,035-0,05
ВРС-10-31,5/3150У2	10	12	3150	31,5	80	31,5	0,065	35	0,035-0,05
ВР0-10-12,5/630У2	10	12	630	12,5	32	12,5	0,057	40	0,028-0,042
ВР0-10-12,5/1000У2	10	12	1000	12,5	32	12,5	0,057	40	0,028-0,042
ВР1-10-20/630У2	10	12	630	20	52	20	0,057	40	0,028-0,042
ВР1-10-20/1000У2	10	12	1000	20	52	20	0,057	40	0,028-0,042
ВР2-10-31,5/630У2	10	12	630	31,5	80	31,5	0,065	35	0,035-0,05
ВР2-10-31,5/1000У2	10	12	1000	31,5	80	31,5	0,065	35	0,035-0,05
ВР2-10-31,5/1600У2	10	12	1600	31,5	80	31,5	0,065	35	0,035-0,05
ВР2-10-20/1600У2	10	12	1600	20	52	20	0,065	35	0,035-0,05
ВР2-10-31,5/2000У2	10	12	2000	31,5	80	31,5	0,065	35	0,035-0,05
ВР3-10-40/2000У2	10	12	2000	40	102	40	0,065	40	0,035-0,05
ВР3-10-40/3150У2	10	12	3150	40	102	40	0,065	40	0,035-0,05
ВР3-10-40/2500Т3	11	12	2500	40	102	40	0,065	40	0,035-0,05
3АН5	12	12	800	20	52	20	0,05	40	0,035-0,05
	12	12	1250	20	52	20	0,05	40	0,035-0,05
ВВ/TEL-10-12,5/630У2	10	12	630	12,5	32	12,5	0,025	40	0,015
ВВ/TEL-10-12,5/1000У2	10	12	1000	12,5	32	12,5	0,025	40	0,015
ВВ/TEL-10-20/630У2	10	12	630	20	52	20	0,025	40	0,015
ВВ/TEL-10-20/1000У2	10	12	1000	20	52	20	0,025	40	0,015
ВВ/TEL-10-20/1600У2	10	12	1600	20	52	20	0,025	40	0,015
ВВ/TEL-10-25/1600У2	10	12	1600	25	63	25	0,025	40	0,015
ВВ/TEL-10-31,5/1600У2	10	12	1600	31,5	80	31,5	0,025	40	0,015
ВР35HC-35-20/1600У1	35	40,5	1600	20	52	20	0,065	40	0,035-0,05

Продовження табл. Д.2.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ВР35-35-20/1000У2	35	40,5	1000	20	52	20	0,065	40	0,035-0,05
ВР35-35-20/1250У2	35	40,5	1250	20	52	20	0,065	40	0,035-0,05
ВБНК-35-20/1600У1Тур	35	40,5	1600	20	52	20	0,07	40	0,05
ВБЭ-110-25/1600У2	110	126	1600	25	52	25	0,07	40	0,05
ВБЭ-110-31,5/1600У2	110	126	1600	31,5	80	31,5	0,07	40	0,05
елегазові									
LTB-72,5D1/B	72,5		3150	40	100	40	0,04	40	0,022
LTB-145D1/B	110	126	3150	40	104	40	0,04	40	0,022
LTB-170D1/B	150	172	3150	40	104	40	0,04	40	0,022
LTB-72,5E1	72,5		4000	50	125	50	0,04	40	0,017
LTB-170E1	170		4000	50	125	50	0,04	40	0,017
LTB-245E1	245		4000	50	125	50	0,04	40	0,017
ВГБЕ-35-12,5/630УХЛ1	35	40,5	630	12,5	32	12,5	0,065	40	0,04

Д.2.2 - Технічні дані трансформаторів струму

Тип трансформатора струму	Номинальна напруга, кВ	Найбільша робоча напруга, кВ	Номинальний струм, А		Клас точності	Номинальне навантаження, Ом у класі точності 0,5	Струм електродинамічної стійкості, кА	Струм термічної стійкості, кА/допустимий час, с
			первинний	вторинний				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Внутрішньої установки								
ТЛК-10-1 ТЛК-10-3	10	12	30	5	0,5/10P	0,4	8	1,6/3
	10	12	50	5	0,5/10P	0,4	25	4/3
	10	12	75	5	0,5/10P	0,4	52	10/3
	10	12	100, 150, 200	5	0,5/10P	0,4	52	10/3
	10	12	300	5	0,5/10P	0,4	52	16/3
	10	12	400	5	0,5/10P	0,4	52	16/3
	10	12	600	5	0,5/10P	0,4	81	31,5/3
	10	12	800	5	0,5/10P	0,4	81	31,5/3
ТЛК-10-2 ТЛК-10-4	10	12	50	5	0,5/10P	0,4	52	10/3
	10	12	75, 100, 150	5	0,5/10P	0,4	81	16/3
	10	12	200	5	0,5/10P	0,4	81	31,5/3
	10	12	300	5	0,5/10P	0,4	81	31,5/3
	10	12	400	5	0,5/10P	0,4	81	31,5/3
ТОЛ-10 У2	10	12	50	5	0,5/10P	0,4	17,6	2,45/3
	10	12	100	5	0,5/10P	0,4	52	4,85/3
	10	12	150	5	0,5/10P	0,4	52	6,25/3
	10	12	200	5	0,5/10P	0,4	52	8,75/3
	10	12	300, 400	5	0,5/10P	0,4	100	16/3
	10	12	600, 800	5	0,5/10P	0,4	100	20/3
	10	12	1000, 1500	5	0,5/10P	0,4	100	31,5/3
ТШЛ-10 У3	10	12	2000, 3000	5	0,5/10P, 10P/10P	0,8		(кратность35/3)
	10	12	4000, 5000	5	0,5/10P, 10P/10P	1,2		(кратность35/3)

Продовження табл. Д.2.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТШЛК-10 УЗ	10	12	2000, 3000	5	0,5/10P, 10P/10P	0,8		(кратность35/3)
	10	12	4000, 5000	5	0,5/10P, 10P/10P	1,2		(кратность35/3)
Зовнішньої установки								
ТФЗМ-35А У1	35	40,5	15	5	0,5/10P	2,0	3	0,6/3
	35	40,5	20	5	0,5/10P	2,0	4	0,7/3
	35	40,5	30	5	0,5/10P	2,0	6	1,1/3
	35	40,5	40	5	0,5/10P	2,0	8	1,5/3
	35	40,5	50	5	0,5/10P	2,0	10	1,9/3
	35	40,5	75	5	0,5/10P	2,0	15	2,3/3
	35	40,5	100	5	0,5/10P	2,0	21	3,5/3
	35	40,5	150	5	0,5/10P	2,0	31	5,8/3
	35	40,5	200	5	0,5/10P	2,0	42	7,0/3
	35	40,5	300	5	0,5/10P	2,0	63	11,6/3
	35	40,5	400	5	0,5/10P	2,0	84	15/3
	35	40,5	600	5	0,5/10P	2,0	127	22/3
	35	40,5	800	5	0,5/10P	2,0	107	30/3
	35	40,5	1000	5	0,5/10P	2,0	134	37/3
ТФЗМ-110Б-I У1	110	126	50-100	5	0,5/10P/10P	1,2	10-20	(2-4)/3
	110	126	75-150	5	0,5/10P/10P	1,2	15-30	(3-6)/3
	110	126	100-200	5	0,5/10P/10P	1,2	41-82	(4-8)/3
	110	126	150-300	5	0,5/10P/10P	1,2	31-62	(6-12)/3
	110	126	200-400	5	0,5/10P/10P	1,2	42-84	(8-16)/3
	110	126	300-600	5	0,5/10P/10P	1,2	63-126	(13-26)/3
	110	126	400-800	5	0,5/10P/10P	1,2	62-124	(14-28)/3
ТФЗМ-150А-I У1	150	172	600-1200	5	0,5/10P/10P/ 10P	1,6	52-104	(14-28)/3
ТФЗМ-150Б-I У1	150	172	600-1200	1	0,5/10P/10P/ 10P	40	52-104	(14-28)/3
ТФЗМ-150Б- ПУ1	150	172	1000- 2000	5	0,5/10P/10P/ 10P	1,2	113-226	(41,6-83,2)/3
ТФЗМ-150Б- ПУ1	150	172	1000- 2000	1	0,5/10P/10P/ 10P	30	113-226	(41,6-83,2)/3
ТФЗМ-220Б-III У1	220	252	300	5	0,5/10P/10P/ 10P	1,2	25	9,8/3
	220	252	600	5	0,5/10P/10P/ 10P	1,2	50	19,6/3
	220	252	1200	5	0,5/10P/10P/ 10P	1,2	100	39,2/3

Таблиця Д.2.3 - Технічні дані трансформаторів напруги

Тип трансформато- ра напруги	Клас напруга, кВ	Номінальна напруга обмоток, В			Номінальне навантажен- ня, Ом у класі			
		первинної	основної вторинної	додаткової вторинної	0,2	0,5	1,0	3,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9
НОМ-6-77У4	6	1385	100			50	75	200
	6	3000	100			30	50	150
	6	3150	100			30	50	150
	6	3300	100			30	50	150
	6	6000	100			50	75	200
	6	6300	100			50	75	200

Продовження табл. Д.2.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
НОМ-10-66У2	10	10000	100			75	150	300
НОМ-10-66У3	10	6300	100			75	150	300
	10	6600	100			75	150	300
	10	10000	100			75	150	300
	10	11000	100			75	150	300
НОЛ.08-6УХЛЗ	6	6300	100		30	50	75	200
НОЛ.08-10УТ2	10	10000	100		50	75	150	300
НОЛ.08-10УХЛЗ	10	10000	100		50	75	150	300
ЗНОЛ.06-6УЗ	3	$3000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100/3 або 100	15	30	50	150
	3	$3300/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100/3 або 100	15	30	50	150
	6	$6000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100/3 або 100	30	50	75	200
	6	$6300/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100/3 або 100	30	50	75	200
	6	$6600/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100/3 або 100	30	50	75	200
	6	$6900/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100/3 або 100	30	50	75	200
ЗНОЛ.06-10УЗ	10	$10000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100/3 або 100	50	75	150	300
	10	$11000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100/3 або 100	50	75	150	300
НТМК-6-71УЗ	6	3000	100			50	75	200
	6	6000	100			75	150	300
НТМК-10-71УЗ	10	10000	100			120	200	500
НТМИ-6-66УЗ,ТЗ	6	3000	100			50	75	200
	6	6000	100			75	150	300
НТМИ-10-66УЗ,ТЗ	10	10000	100			120	200	500
НКФ-110-83У1	110	$110000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100		400	600	1200
НКФ-220-58У1	220	$150000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100		400	600	1200
НКФ-220-58У1	220	$154000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100		400	600	1200
НКФ-220-58У1	220	$220000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100		400	600	1200

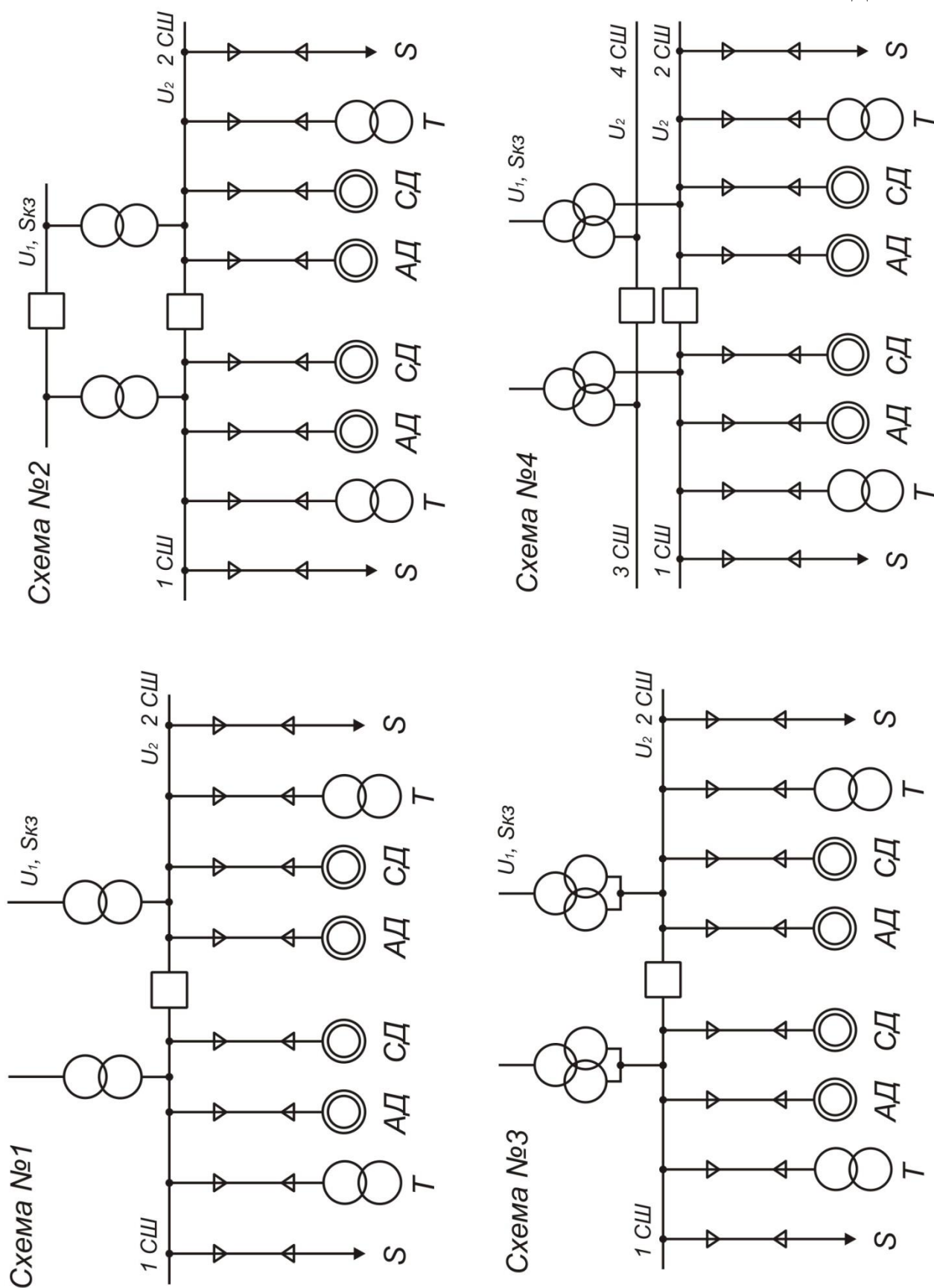


Рисунок Д.3.1. Принципові схеми підстанцій

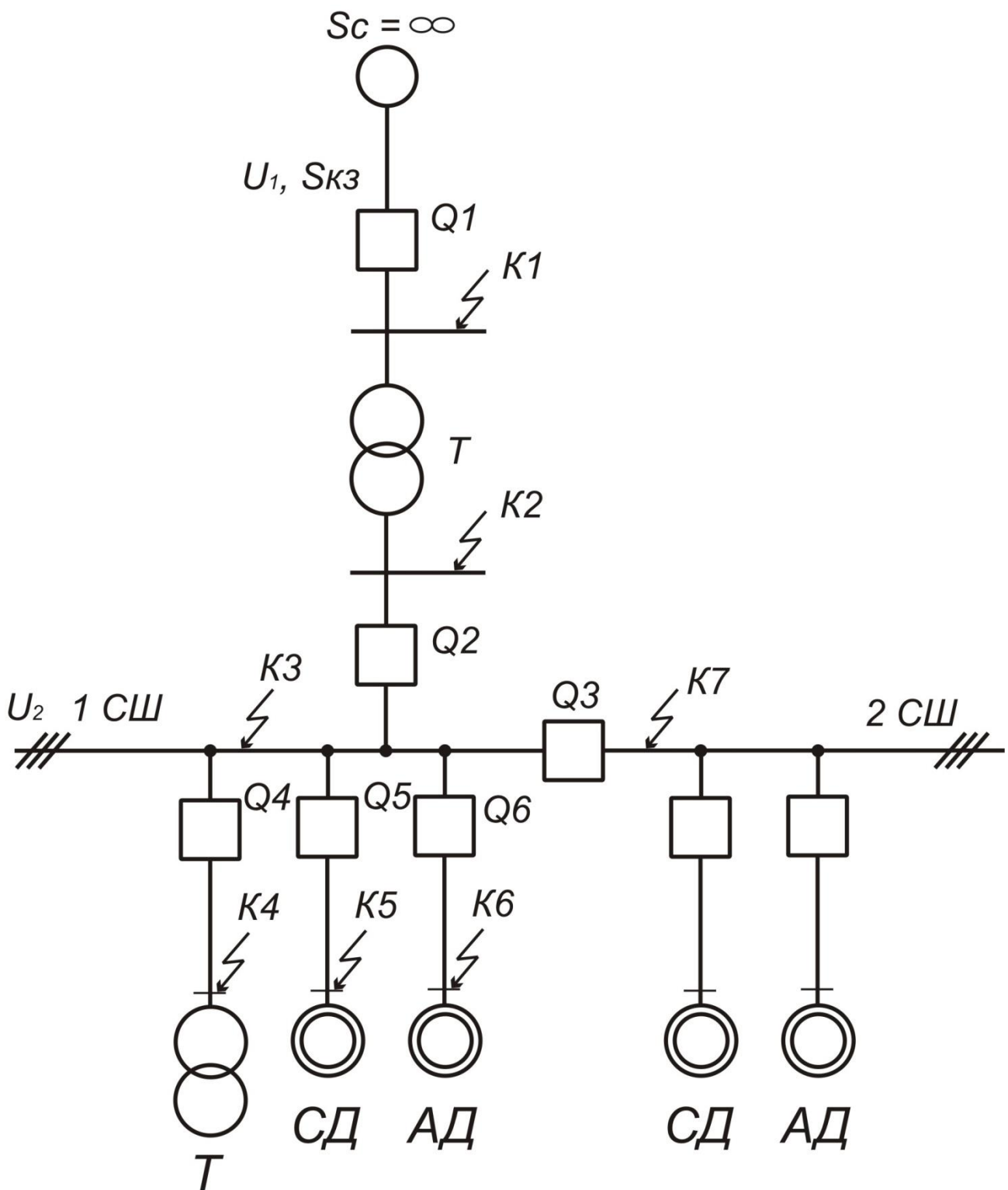


Рисунок Д.3.2. Розрахункова схема для визначення струмів КЗ

Упорядники:
Папаїка Юрій Анатолійович
Рогоза Михайло Валентинович
Лисенко Олександра Геннадіївна

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ
З ДИСЦИПЛІНИ "ЕЛЕКТРОУСТАТКУВАННЯ СТАНЦІЙ
ТА ПІДСТАНЦІЙ"**

для студентів будь-якої форми навчання
за спеціальністю 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

Видано на кафедрі електроенергетики

Підготовлено до виходу в світ
у Національному технічному університеті
«Дніпровська політехніка».
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19