

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ»  
Кафедра електричної інженерії

Методичні вказівки для виконання  
індивідуальної та самостійної роботи  
з дисципліни  
«Основи проектування електричних станцій і систем»  
для студентів денної та заочної форм навчання  
технічних спеціальностей

Покровськ-2021

УДК  
М

Методичні вказівки для виконання індивідуальної та самостійної роботи з дисципліни «Основи проектування електричних станцій і систем» для студентів денної та заочної форм навчання технічних спеціальностей. / укл. О.М. Любименко. – Покровськ : ДонНТУ, 2021 . – 31с.

У “Методичних вказівках” надано рекомендації до самостійної роботи студентів при вивченні дисципліни «Основи проектування електричних станцій і систем», а також до виконання індивідуальних домашніх завдань; перелік рекомендованої літератури; вихідні дані.

Наведені приклади розв’язування основних типів задач і завдань, які розраховуються при виконанні індивідуальної роботи.

Методичні вказівки можуть бути використані студентами денної та заочної форми навчання інженерних спеціальностей спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Укладачі  
Любименко О.М., доц., к.ф.-м.н., доц.  
кафедри електричної інженерії

Рецензент  
Штепа О.А. доц., к.т.н., доц. кафедри  
електронної техніки

Відповідальний за випуск  
завідувач кафедри  
Колларов О.Ю., доц., к.т.н., доц.  
кафедри електричної інженерії

Затверджено навчально-методичним відділом ДонНТУ,  
протокол №3 від 23 .09. 2021 року

Розглянуто на засіданні кафедри електричної інженерії,  
протокол №3 від 30.09. 2021 року

© Донецький національний  
технічний університет, 2021

## **ЗМІСТ**

**Добавлено примечание ([A1]):** Нумерація сторінок знизу по центру.

### **ВСТУП**

<b>1. ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ</b>	<b>7</b>
<b>2. ВКАЗІВКИ ДЛЯ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ</b>	<b>10</b>
2.1. Вихідні данні для розрахункової роботи	10
2.2 Рекомендований порядок виконання розрахункової роботи	13
<b>3 ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ</b>	<b>15</b>
<b>4. ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ</b>	<b>27</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	<b>30</b>

## ВСТУП

Дисципліна «Основи проектування електричних станцій і систем» відноситься до варіативної частини професійного циклу основний освітньої програми підготовки бакалаврів для спеціальності «141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» .

Для більш детального вивчення окремих розділів слід звернутися до рекомендованої літератури.

В процесі освоєння даної дисципліни студент формує і демонструє такі компетенції:

- здатність до узагальнення, аналізу, сприйняття інформації, постановці мети і вибору шляху її досягнення ;
- здатність і готовність до практичного аналізу логіки різного роду міркувань, до публічних виступів, аргументації, ведення дискусії і полеміки;
- здатність і готовність використовувати інформаційні технології, в тому числі сучасні засоби комп'ютерної графіки у своїй предметній області;
- здатність демонструвати базові знання в області природничих дисциплін і готовність використовувати основні закони в професійній діяльності, застосовувати методи математичного аналізу і моделювання, теоретичного і експериментального дослідження ;
- готовність виявити природничо сутність проблем, що виникають в ході професійної діяльності, і здатність залучити для їх рішення відповідний фізико-математичний апарат ;
- здатність і готовність використовувати нормативні правові документи у своїй професійній діяльності ;
- здатність і готовність аналізувати науково-технічну інформацію, вивчати вітчизняний та зарубіжний досвід з тематики дослідження ;
- готовність працювати над проектами електроенергетичних і електротехнічних систем і їх компонентів ;

- здатність розробляти прості конструкції електроенергетичних і електротехнічних об'єктів ;
- готовність використовувати інформаційні технології у своїй предметній області;
- здатність розраховувати схеми і елементи основного обладнання, вторинних ланцюгів, пристроїв захисту і автоматики електроенергетичних об'єктів ;
- здатність складати розрахункові схеми електричної мережі, розраховувати її режими і струми короткого замикання ;
- здатність розраховувати техніко-економічні показники електричних мереж ;
- готовність здійснювати розрахунок і проектування електричних мереж з використанням програмно-обчислювальних комплексів .

В результаті освоєння дисципліни «**Основи проектування електроенергетичних систем і мереж**» студент повинен демонструвати наступні результати:

- 1) знати:
  - категорії надійності електропостачання;
  - магістральні, радіальні, кільцеві, змішані схеми побудови електричної мережі;
  - типи і види трансформаторів і автотрансформаторів;
  - області застосування трансформаторів з пристроями РПН і пристроями ПБЗ;
  - види комутаційних апаратів і області їх застосування;
  - переваги і недоліки вакуумних і елегазових вимикачів;
  - схеми виконання промислових підстанцій;
  - режими заземлення нейтралі в мережах різних номінальних напруг;
  - резонансне і резистивне заземлення нейтралі, гідності та недоліки, області застосування;
  - умови вибору низькоомних і високоомних резисторів для

Добавлено примечание ([A2]): ??????

заземлення нейтралі;

- умови вибору комутаційних апаратів;
- умови вибору силових і вимірювальних трансформаторів;
- склад вимірювальних приладів на підстанціях;
- схеми виконання міських розподільчих підстанцій;
- схеми виконання ОРУ 35-220 кВ;
- особливості виконання комплектних розподільних пристроїв (КРУ і

КСО) напругою 6-10-35 кВ;

- основні осередки КРУ і КСО;
- компонування КРУ і КСО;
- компонування ОРУ 35-220 кВ з блочними, мостіковими схемами і

схемами з обхідними системами збірних шин;

- виконання і компоновку низьковольтних розподільчих пристроїв;
- види оперативного струму на підстанціях і його джерела;
- вимоги до організації харчування власних потреб на підстанції.

вміти:

- компонувати осередки КРУ і КСО в однорядном і багаторядному виконанні;

- вільно читати креслення планів і розрізів відкритих розподільних пристроїв напругою 35-220 кВ;

- виконувати імітаційні оперативні перемикання в РУ 35- 220 кВ;
- вибирати силові і вимірювальні трансформатори;
- вибирати високовольтні і низьковольтні комутаційні апарати;
- складати схеми заміщення електричної мережі та підстанцій і

розраховувати їх режими;

- розраховувати струми короткого замикання;
- здатністю формувати закінчене уявлення про прийнятих технічних

рішеннях і отриманих результату

## 1. ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ

Індивідуальні домашні завдання (ДЗ) охоплюють усі розділи дисципліни. Номер варіанта завдання задає викладач або студент обирає по списку у журналі обліку, попередньо узгодивши з викладачем. При виконанні ДЗ студент повинен знати відповідний теоретичний матеріал. Для виконання ДЗ необхідне користуватися відповідними довідниками, посилання на які надані у рекомендаціях до індивідуального завдання або в додатках .

Текстова частина ДЗ виконується на листах одностороннього білого паперу формату А4. Першою сторінкою текстової частини є титульний лист. Другою та третьою сторінками є лист завдання, на якому повинні бути написані постановки задач з вихідними даними варіанта студента. Усі сторінки ДЗ, окрім першої, повинні бути пронумеровані та скріплені степлером (включаючи графічну частину). Перша сторінка (титульний лист) не нумерується, але враховується.

Вихідні дані для виконання завдання надані у таблиці 1

Індивідуальне домашнє завдання складається з декількох частин, тому варто кожну частину починати з нової сторінки і нумерувати.

Кожна частина закінчується окремою сторінкою, на яку виписуються результати розрахунку. Робота, оформлена не відповідно належним вимогам, на перевірку не приймається. Якщо робота виконана не вірно, або в роботі є помилки вона повертається на доопрацювання.

Максимальна кількість балів отриманих за розрахунково- графічну роботу (домашні завдання), визначається з робочої програми дисципліни. За вірно виконану розрахункову роботу студент має можливість отримати 20 балів, а саме:

За теоретичну частину – максимум 5 балів при своєчасному та

правильному виконанні, та мінімум 3 бала при правильному, але несвоєчасному виконанні;

За практичну частину – максимум 10 балів при своєчасному та правильному виконанні, та мінімум 6 балів при правильному, але несвоєчасному виконанні;

захист розрахункової роботи – максимум 5 балів при своєчасному та правильному виконанні, та мінімум 3 бала при правильному, але несвоєчасному виконанні;

«18 - 20 балів» «відмінно» - одержують роботи, в яких містяться самостійні висновки, дається самостійний аналіз фактичного матеріалу на основі глибоких знань літератури з даного предмету.

«14 – 17» «добре» - ставиться в тому випадку, коли в роботі допущені незначні розрахункові неточності.

«12 – 13» – «задовільно» - заслуговують роботи, в яких містяться окремі помилкові положення та не чітко висвітлені відповіді на запитання.

«0 – 11» – «не задовільно» - студент одержує у випадку, коли не може відповісти на запитання викладача, в розрахунках допущені грубі помилки, не володіє матеріалом роботи, не в змозі дати пояснення висновкам і теоретичним положенням даної проблеми. У цьому випадку студенту має бути надана можливість повторного захисту.

Захист і оцінка розрахункової роботи – це підведення підсумків самостійної роботи студента й одержання права допуску до екзамену (~~заліку~~) з дисципліни.

Залік виставляється автоматично (тобто студент може не з'являтися на залік), якщо виконані та захищені на позитивні оцінки всі індивідуальні домашні завдання практичні або лабораторні роботи, відпрацьовані всі пропущені заняття (лекції, лабораторні, практичні) та отримані позитивні оцінки на практичних заняттях.

Відпрацьовування пропущених лекцій та практичних занять здійснюється під час консультацій та передбачає наявність теоретичного

Добавлено примечание (A3): Передбачено складання екзамену.

матеріалу у конспекті та позитивних усних відповідей на запитання викладача по даній темі. Тобто студент повинен самостійно вивчити тему та вміти розв'язувати задачі. Для відпрацювання пропущених практичних або лабораторних занять викладач назначає додатковий час консультацій.

Оцінки, отримані при виконанні індивідуального завдання та лабораторних (практичних) робіт, або під час проведення практичних занять, враховуються при виставленні ~~заніку~~ (екзамену). При отриманні незадовільної оцінки з будь-якого виду занять студенту назначається додаткова консультація (не більше двох на одне заняття) для перездачі [1].

## 2. ВКАЗІВКИ ДЛЯ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ

Додано примечание ([A4]): Рекомендації до виконання розрахункової роботи

### 2.1. Вихідні данні для розрахункової роботи

Розрахункову роботу навчальними планом передбачено на тему «Проектування електричної підстанції».

У розрахунковій самостійній роботі «Проектування електричної підстанції» необхідно скласти однолінійну електричну схему підстанції, яка розраховується з трьома номінальними напругами (рис. 2.1).

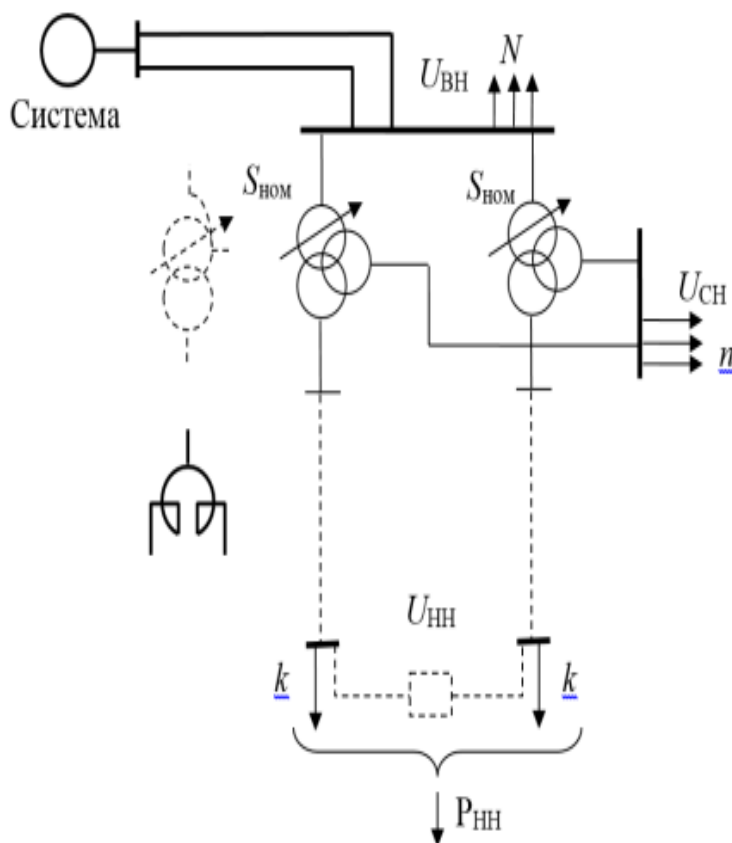


Рисунок 2.1. - Принципиальная схема подстанции

Далі треба розрахувати робочі струми і струми короткого замикання

на стороні вищої, середньої і нижчої напруги і вибрати за результатами розрахунків комутаційні апарати та вимірювальні трансформатори струму і напруги. Якщо струм короткого замикання на стороні нижчої напруги більше 20 кА, то встановити в ланцюгах трьох обмоточних трансформаторів (автотрансформаторів) сухі здвоєні ступеневі реактори. Опір реакторів вибрати мінімально можливим. Для нормального режиму навантаження розрахувати регульовальні відгалуження на трансформаторах (автотрансформаторах) виходячи з умови: на шинах НН підстанції напруга дорівнює 11 кВ (6,6 кВ). Для навантаження на стороні нижчої і середньої напруги підстанції прийняти тангенс кута навантаження рівним 0,4. для однієї секції розподільного пристрою нижчої напруги намалювати план КРУ при його двухрядном виконанні і схему заповнення КРУ [2].

При розрахунку струмів короткого замикання врахувати, що підстанція пов'язана з енергосистемою по дволанцюговий лінії електропередачі довжиною  $L$  погонних індуктивним опором 0,4 Ом / км.

Внутрішній опір енергосистеми знаходиться по заданому току короткого замикання  $I_{кз.с.}$

При виборі номінального струму реакторів враховувати можливість аварійного відключення одного з трансформаторів.

Вихідні дані за варіантами наведені в таблиця 2.1, де використані такі позначення:

$N$  - кількість ліній, підключених до розподільного пристрою вищої напруги;

$n$  - кількість ліній, підключених до розподільного пристрою середньої напруги;

$k$  - кількість ліній, що підключаються до розподільного пристрою нижчої напруги на кожну його секцію при відсутності здвоєних реакторів;

$S_{ном}$  - номінальна потужність трансформатора (автотрансформатора);

$U_{ВН}$  - номінальна напруга на стороні вищої напруги підстанції;

$U_{CH}$  - номінальна напруга на стороні середньої напруги підстанції;

$U_{HH}$  - номінальна напруга на стороні нижчої напруги підстанції;

$P_{HH}$  - активна потужність в режимі максимальних навантажень на стороні нижчої напруги підстанції;

$I_{кз.с}$  - струм короткого замикання на шинах енергосистеми;

$U_{Вмакс}$  - напруга на стороні вищої напруги підстанції в режимі максимальних навантажень;

Таблиця 2.1 – Вихідні данні для розрахункової роботи

№ варіанту	кІЛ-СТЬ ліній $N/n/k$	$U_{ВH}$ , кВ	$U_{CH}$ , кВ	$U_{HH}$ , кВ	$S_{ном}$ , МВА	$P_{HH}$ , МВт	$I_{кз.с}$ , кА	$L$ , км
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2/6/14	220	35	10	40	48	38	45
2	0/6/24	220	110	10	125	57	34	40
3	0/4/12	110	35	6	40	54	30	23
4	6/8/16	220	35	6	40	35	32	42
5	0/4/10	110	35	6	25	32	29	25
6	4/6/16	220	110	10	63	49	29	28
7	2/4/10	220	35	6	25	28	31	39
8	4/6/10	220	110	6	63	34	21	37
9	4/4/18	110	35	10	80	64	35	36
10	0/8/14	220	110	10	63	60	28	40
11	4/4/16	110	35	10	63	60	27	27
12	4/8/10	220	110	6	63	30	37	38
13	4/6/12	110	35	10	80	56	35	24
14	2/8/10	220	110	6	63	48	39	31
15	0/4/12	220	110	10	63	59	35	39
16	6/6/14	220	110	10	125	68	33	44
17	0/4/16	220	35	6	40	34	36	48
18	6/10/14	220	110	10	125	61	34	52
19	2/4/18	110	35	10	80	68	31	23
20	6/10/16	220	110	10	125	60	37	39

При виборі електрообладнання по номінальному струму вважати, що все що відходить від розподільного пристрою лінії навантажено однаково.

При виконанні розрахунків струмів КЗ прийняти, згідно з даними табл. 2.2 [2], що:

$T_a$ - постійна часу загасання аперіодичної складової струму КЗ;

$k_{уд}$  ударний коефіцієнт.

При розрахунку регульовального відгалуження трансформаторів прийняти, що на стороні вищої напруги підстанції в режимі максимальних навантажень напруги дорівнює 98% від номінального, а трансформатори завантажені на 65% повної потужності.

Таблиця 2.1 – Параметри енергосистеми

Елемент або частина енергосистеми	$T_a, c$	$k_{уд}$
Система, пов'язана зі збірними шинами, де розглядають КЗ, повітряними лініями напругою (кВ):		
35	0,02	1,608
110-150	0,02–0,03	1,608–1,717
220-330	0,03–0,04	1,717–1,78
500-750	0,06–0,08	1,85–1,895
Система, пов'язана зі збірними шинами, де розглядають КЗ, через трансформатори одиничної потужності і, МВА:		
80 і вище	0,06–0,15	1,85–1,935
32-80	0,05–0,1	1,82–1,904
5,6-32	0,02–0,05	1,6–1,82
Гілки, захищені реактором з номінальним струмом, А:		
1000 і вище	0,23	1,956
630 і нижче	0,1	1,904
Розподільні мережі напругою 6-10 кВ	0,01	1,369

## 2.2 Рекомендований порядок виконання розрахункової роботи

Спочатку за довідником [3-5] вибирається стандартний трансформатор (автотрансформатор) і виписуються його паспортні дані.

Потім складаються розрахункова схема і схема заміщення підстанції.

Далі розраховуються всі опори схеми заміщення і визначаються струми КЗ на всіх рівнях номінальної напруги підстанції. При необхідності, вибираються здвоєні струмообмежуючі реактори. За знайденими максимальними і аварійними струмами вибирається комутаційне обладнання та вимірювальні трансформатори.

Для визначення регульовального відгалуження трансформатора виконується розрахунок втрат напруги в трансформаторі і на реакторі, після чого знаходиться шукане відгалуження.

Далі вибираються схеми розподільних пристроїв на кожній номінальній напрузі підстанції, та наводяться на листі А4.

Порядок розташування осередків КРУ повинен відповідати їх схемі заповнення, яка виконується на форматі А4 спільно з планом КРУ.

Також на форматі А4 виконується креслення однолінійної схеми підстанції з усіма необхідними специфікаціями електрообладнання. В кінці наведено приклад виконання однолінійної схеми.

### 3. ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ

Вихідні дані для розрахунку: на підстанції 330/110/10 кВ (рис. 3.1)

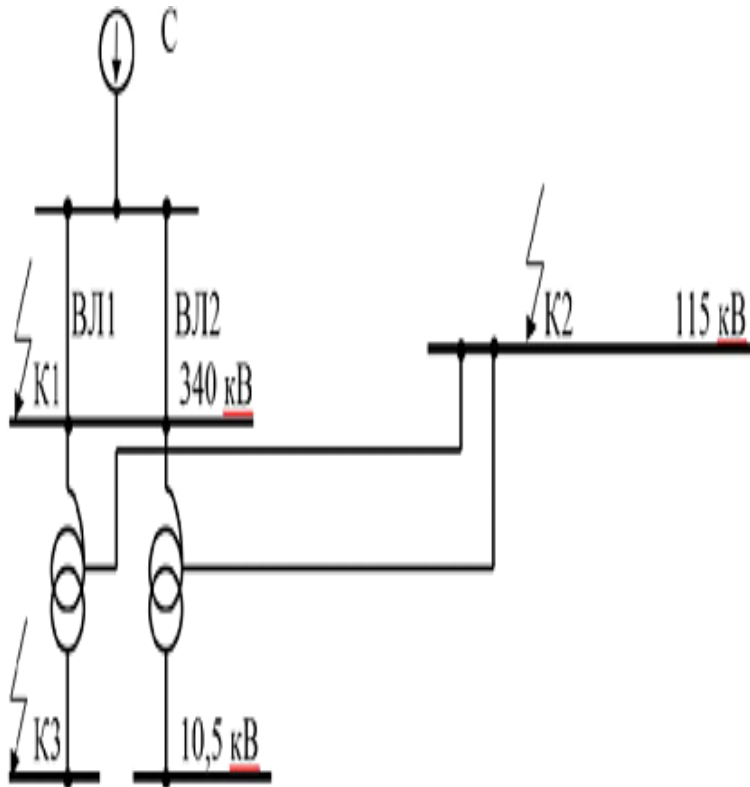


Рисунок 3.1 - Розрахункова схема підстанції

Встановлені два автотрансформатора потужністю 200 МВА, що живляться від енергосистеми «С» двома лініями електропередачі довжиною 76,6 км з погонними індуктивними опорами 0,32 Ом / км; ток КЗ на шинах енергосистеми дорівнює 35 кА.

Схема заміщення, розрахунок параметрів якої наведено нижче, представлена на рис. 3.2.

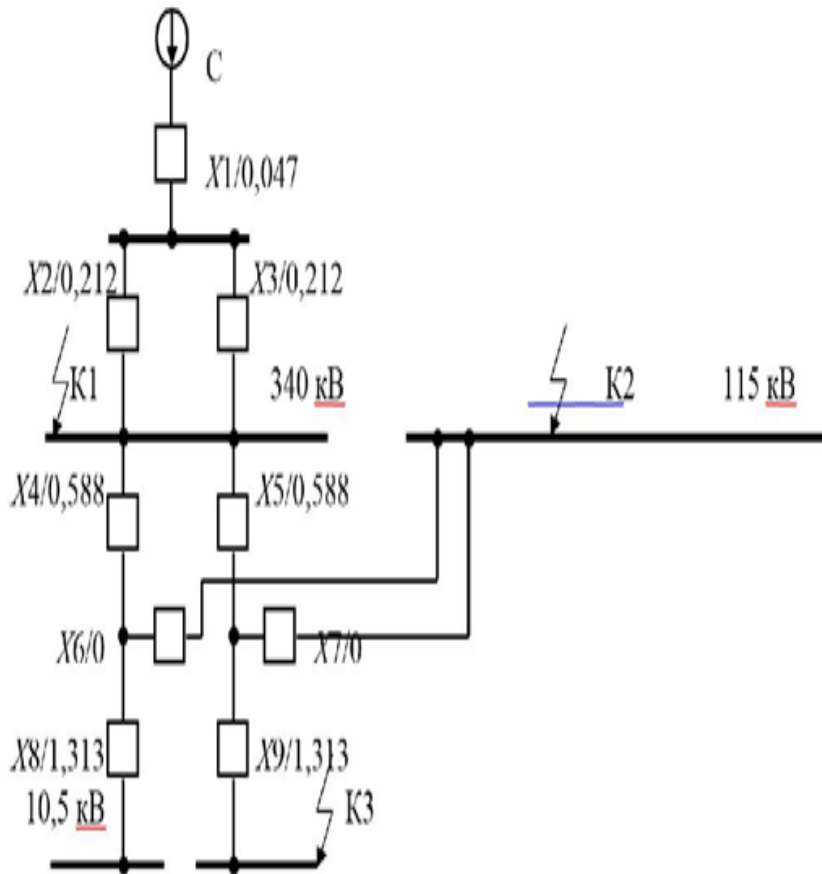


Рисунок 3.2 - Схема заміщення підстанції

Знаходимо  $X_c$  - опір енергосистеми в іменованих одиницях:

$$X_c = U_n / \sqrt{3} I_K = 330 / (\sqrt{3} \cdot 35) = 5,44 \text{ Ом.}$$

Розрахунок струмів короткого замикання виробляється в відносних базисних одиницях. Приймаємо базисну потужність  $S_b = 1000 \text{ МВА}$ , базисну напругу приймаємо рівною середньою робочій напрузі енергосистеми, а саме 340 кВ.

Розрахунок опорів схеми заміщення (рис. 2.3) зведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахунок опорів схеми заміщення

Опір	Формула для розрахунку	Розрахункові значення	Величина
$X1$	$X_c \cdot S_6 / U^2_{cp}$	$5,44 \cdot 1000 / 340^2$	0,047
$X2=X3$	$X_0 \cdot S_6 / U^2_{cp}$	$0,32 \cdot 76,6 \cdot 1000 / 340^2$	0,212
$X4=X5$	$0,5/100(U_{квс}+U_{квн} - U_{кчн}) \cdot S_6/S_H$	$0,5/100(10,5+38-25) \times 1000/200$	0,588
$X6=X7$	$0,5/100(U_{квс}+U_{кчн} - U_{квн}) \cdot S_6/S_H$	$0,5/100(10,5+25-38) \times 1000/200$	0
$X8=X9$	$0,5/100(U_{квн}+U_{кчн} - U_{квс}) \cdot S_6/S_H$	$0,5/100(38+25-10,5) \times 1000/200$	1,313

Перетворення схеми заміщення щодо точки короткого замикання К1 представлено на рис. 3.2.

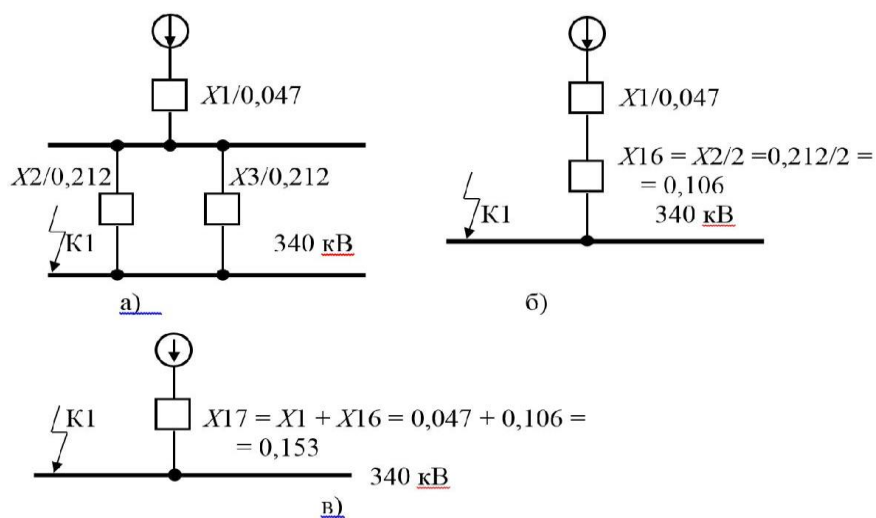


Рисунок 3.2 - Етапи перетворення вихідної схеми заміщення:

- а - вихідна схема заміщення;
- б - паралельне складання опорів ліній;
- в - складання послідовних опорів

На рис. 3.3 представлена розрахункова схема заміщення для розрахунку струмів КЗ в точці К2. Опір  $X_{17}$  визначено вище.

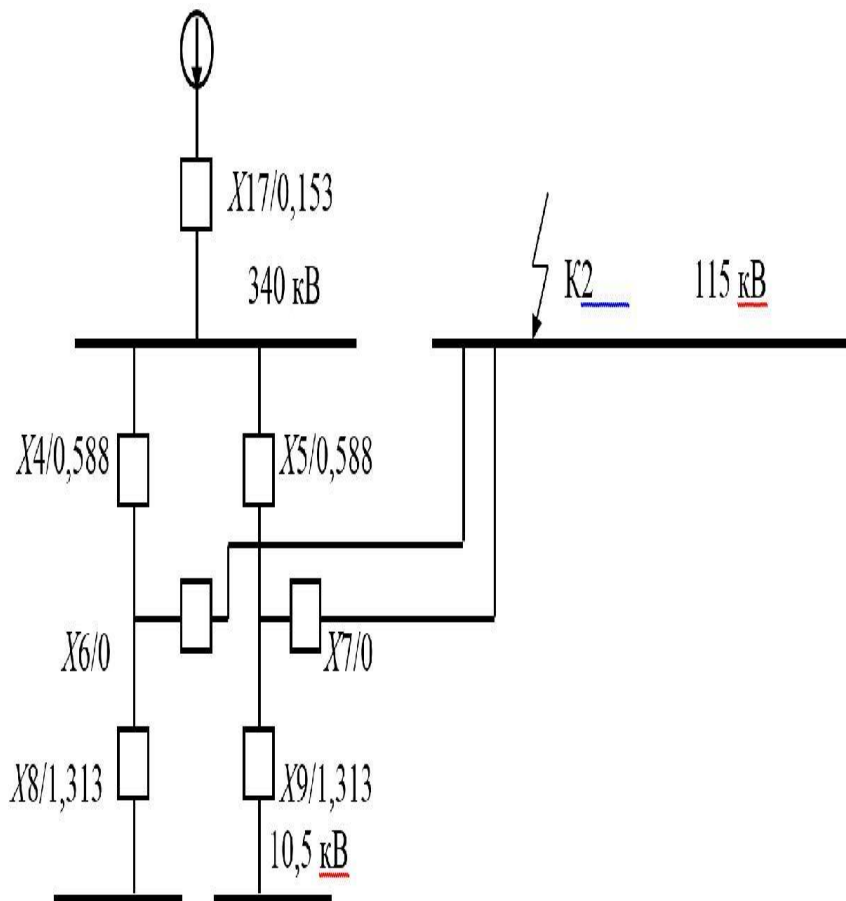


Рисунок 3.3 - Розрахункова схема заміщення при КЗ в точці К2

На рис. 3.4 наведені етапи перетворення вихідної схеми заміщення. Враховано, що опори обмоток середньої напруги автотрансформаторів дорівнюють нулю, і що в обмотках низької напруги автотрансформаторів струм КЗ не протікає.

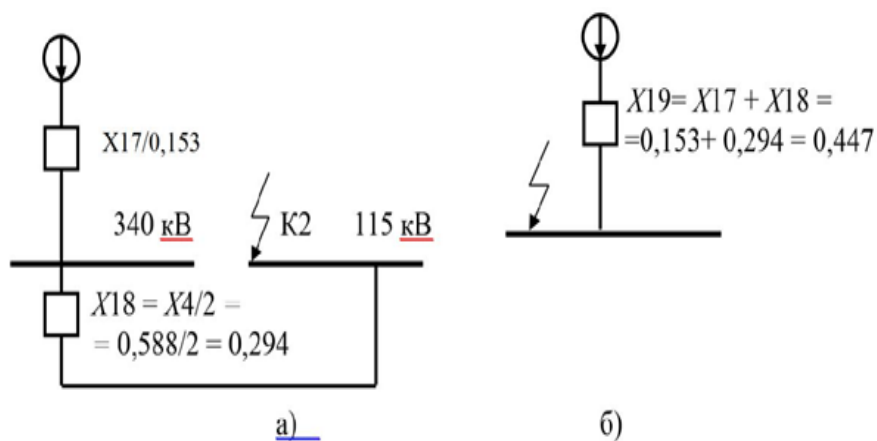


Рисунок 3.4 - Етапи перетворення вихідної схеми заміщення:

а - паралельне з'єднання опорів обмоток вищої напруги автотрансформатора; б - складання послідовних опорів

Етапи перетворення схеми заміщення щодо крапки короткого замикання K3 представлені на рис. 3.5.

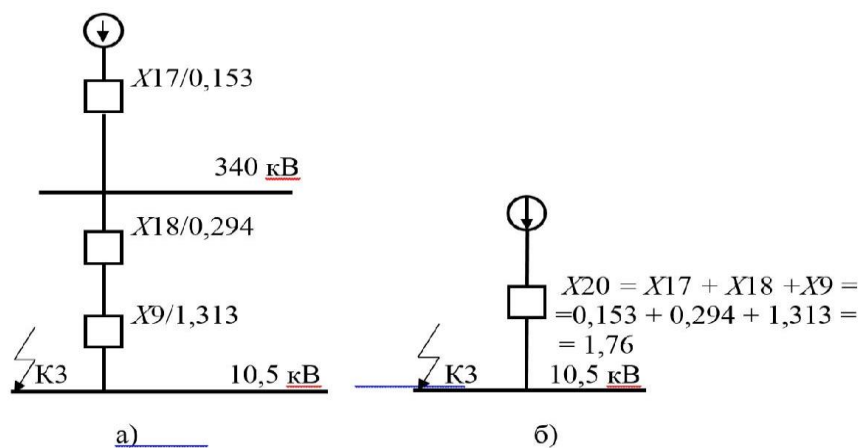


Рисунок 3.5 - Етапи перетворення схеми заміщення:

а - вихідна схема; б - складання послідовних опорів

При виконанні перетворень враховано, що на стороні нижчої напруги підстанції секційний вимикач розімкнений, в зв'язку з чим в схему заміщення входить тільки один опір обмотки нижчої напруги автотрансформатора - Х9.

Також враховано, що через шини середньої напруги, де секційний вимикач включений, опори обмоток вищої напруги автотрансформаторів з'єднуються паралельно.

У табл. 2.2 наведені результати розрахунку струмів КЗ.

Таблиця 2.2 – Розрахунок струмів короткого замикання

Формула для розрахунку	Розрахункові крапки КЗ		
	К1	К2	К3
$U_{cp}$ , кВ	340	115	37
Джерело	С	С	С
$X_{рез}$ , о.е.	0,153	0,447	1,76
$I_6 = S_6 / (\sqrt{3} \cdot U_{cp})$ , кА	1,698	5,02	55
$E$ , о.е.	1	1	1
$I_{п0} = E / X_{рез} \cdot I_6$ , кА	11,1	11,23	31,25
$k_v$	1,78	1,608	1,608
$I_v = \sqrt{2} \cdot k_v \cdot I_{п0}$ , кА	27,9	25,5	71,0
$I_{нт}$ , кА = $I_{п0}$	11,1	11,23	31,25
$\tau = 0,01 + t_{с.в.}$ , с	0,035	0,035	0,07
$T_a$ , с	0,04	0,02	0,02
$e^{-\tau/T_a}$ , о.е.	0,42	0,25	0,18
$i_a \tau = \sqrt{2} \cdot I_{п0} \cdot e^{-\tau/T_a}$ , кА	6,59	3,97	7,95

За даними табл. 2.2 зробимо вибір вимикачів для розподільних пристроїв вищої та середньої напруги підстанції. У розрахунково-графічної роботі може бути прийнята будь-яка марка елегазових вимикачів.

Намічаємо до установки вимикач ВГБ-330Б-40У1 (табл. 3.3).

Таблиця 2.3 – Перевірка вимикача 330 кВ

Розрахункові дані	ВГБ-330Б-40У1
$U_{\text{уст}} = 220 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 330 \text{ кВ}$
$I_{\text{max}} = 349,9 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 3150 \text{ А}$
$I_n \tau = 3,64 \text{ кА}$	$I_{\text{отк.ном}} = 40 \text{ кА}$
$i_a \tau = 2,16 \text{ кА}$	$I_{\text{а.ном}} = \sqrt{2} \cdot \beta_n \cdot I_{\text{отк.ном}} = 25,6 \text{ кА}$
$I_{\text{по}} = 3,64 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} = 40 \text{ кА}$
$i_y = 9,16 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 102 \text{ кА}$
$B_k = 0,944 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{тер}}^2 t_{\text{тер}} = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Враховано що

$$I_{\text{max}} = S_{\text{ном}} \tau \text{ АТ} / \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} = 349,9 \text{ А};$$

$$B_k = I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{отк}} + T_{\text{а}}) = 3,64^2 (0,035 + 0,04) = 0,994 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$t_{\text{отк}} = t_{3.\text{min}} + t_{\text{с.в}} = 0,01 + 0,025 = 0,035 \text{ с}.$$

Зробимо вибір вимикача в ланцюзі автотрансформатора на напругу 110 кВ. Намічаємо до установки вимикач ВДУ-110-40У1 (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Перевірка вимикача 110 кВ

розрахункові дані	ВГУ-110-40У1
$U_{\text{уст}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$
$I_{\text{max}} = 1049,9 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 2000 \text{ А}$
$I_n \tau = 6,6 \text{ кА}$	$I_{\text{отк.ном}} = 40 \text{ кА}$
$i_a \tau = 2,33 \text{ кА}$	$I_{\text{а.ном}} = \sqrt{2} \cdot \beta_n \cdot I_{\text{отк.ном}} = 25,6 \text{ кА}$
$I_{\text{по}} = 6,6 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} = 40 \text{ кА}$
$i_y = 15 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 102 \text{ кА}$
$B_k = 2,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{тер}}^2 t_{\text{тер}} = 50^2 \cdot 2 = 5000 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Враховано що

$$I_{\max} = S_{\text{ном}} \text{AT} / \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} = 1049,9 \text{ A};$$

$$B_{\text{к}} = I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{отк}} + T_{\text{а}}) = 6,6^2 (0,035 + 0,02) = 2,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$t_{\text{отк}} = t_{\text{з.мін}} + t_{\text{с.в}} = 0,01 + 0,025 = 0,035 \text{ с.}$$

Оскільки струм КЗ на стороні 10 кВ перевищує 20 кА, встановлюємо струм обмежуючі здвоєні реактори.

Максимальний струм на стороні НН автотрансформатора з урахуванням 50% потужності обмоток НН дорівнює

$$I_{\text{н}} = 0,5 \frac{S_{\text{н}}}{\sqrt{3} U_{\text{н}}} k_{\text{пер}} = 0,5 \frac{200}{\sqrt{3} \cdot 10} 1,3 = 7,5 \text{ кА.}$$

За максимальний струм автотрансформатора приймаємо до установки сухі здвоєні реактори типу РТОСС10-2  $\times$  4000-0,14 на номінальний струм  $2 \times 4000 \text{ А}$  індуктивним опором  $x_{\text{р}} = 0,14 \text{ Ом}$ .

У відносних одиницях

$$X_{21} = X_{\text{р}} = \frac{x_{\text{р}} \cdot S_{\text{б}}}{U_{\text{б}}^2} = \frac{0,14 \cdot 1000}{10,5^2} = 1,27.$$

Результуючий опір складе

$$X_{22} = X_{20} + X_{21} = 1,76 + 1,27 = 3,03.$$

Струм КЗ в точці КЗ дорівнює

$$I_{\text{по}} = (1/3,03) \cdot 55 = 18,2 \text{ кА} < 20 \text{ кА.}$$

Таким чином, умову обмеження струму КЗ виконано. В якості вступних приймаємо до установки вакуумні вимикачі з номінальним струмом не нижче номінального струму кожної гілки зведеного реактора, тобто становити не менше 3000 А. Серед таких використовуємо вимикачі ВБЕ-10-31,5 на 3150 ампер номінального струму. Звернемо увагу, що номінальний струм відключення КЗ у даних вимикачів становить 31,5 кА, що більше 20 кА. Однак слід мати на увазі, що на великі номінальні струми вимикачі випускаються з підвищеним струмом КЗ. Таких вимикачів на підстанцій на стороні 10 кВ буде встановлено 5: чотири вступних і один секційний. Всі лінійні вимикачі, яких більшість, будуть встановлені на менші номінальні струми з номінальним струмом відключення КЗ рівним 20 кА, тобто реактори дозволяють встановлювати більш дешеві вимикачі.

Виконаємо розрахунок регулювальних відгалужень у автотрансформаторів. Згідно з вихідними даними, на стороні нижчої напруги споживається активна потужність  $P_{HH} = 70$  МВт. Реактивна потужність складе

$$Q_{HH} = P_{HH} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 70 \cdot 0,4 = 28 \text{ МВАр.}$$

Повна потужність

$$S_{HH} = \sqrt{(P_{HH})^2 + (Q_{HH})^2} = \sqrt{70^2 + 28^2} = 74,4 \text{ МВА.}$$

Відповідно до завдання, кожен автотрансформатор завантажений на 65%, отже, через обмотки вищої напруги автотрансформаторів (для обох разом) передається потужність

$$S_{BH} = 0,65 \cdot 2 \cdot S_{\text{ном}} = 0,65 \cdot 2 \cdot 200 = 260 \text{ МВА.}$$

Оскільки для середньої напруги коефіцієнт реактивної потужності також дорівнює  $\operatorname{tg}\varphi = 0,4$ , як і для нижчого напруги, то цей же коефіцієнт буде і для потужності на стороні вищої напруги. Тоді

$$P_{\text{ВН}} = \frac{S_{\text{ВН}}}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}} = \frac{260}{\sqrt{1 + 0,16}} = 241 \text{ МВт},$$

$$Q_{\text{ВН}} = \operatorname{tg}\varphi \cdot P_{\text{ВН}} = 0,4 \cdot 241 = 96,4 \text{ МВАр}.$$

На опорі обмоток вищої напруги відбувається падіння напруги, викликане протіканням потужності  $S_{\text{ВН}}$ . На опорі обмоток нижчої напруги також відбувається падіння напруги, викликаний протіканням потужності  $S_{\text{НН}}$ . При цьому слід врахувати, що в робочому режимі потужність навантаження розподіляється однаково по обмоткам нижчої напруги автотрансформаторів, в зв'язку з чим їх результуючий опір слід зменшити вдвічі:

$$X_{21} = X_9 / 2 = 1,313 / 2 = 0,656.$$

Попередньо опори автотрансформатора необхідно перевести в іменовані одиниці  $S$ :

$$x_{18} = X_{18} \frac{U_6^2}{S_6} = 0,294 \frac{340^2}{1000} = 34 \text{ Ом};$$

$$x_{21} = X_{21} \frac{U_6^2}{S_6} = 0,656 \frac{340^2}{1000} = 75,8 \text{ Ом}.$$

Знайдемо падіння напруги на обмотках автотрансформатора. З початку визначимо падіння напруги на обмотці ВН:

$$\Delta \dot{U}_{\text{BH}} = \frac{Q_{\text{BH}}}{U_{\text{BH}}} x_{18} + j \frac{P_{\text{BH}}}{U_{\text{BH}}} x_{18} = \frac{96,4}{0,98 \cdot 330} 34 - j \frac{241}{0,98 \cdot 330} 34 = 10,1 + j 25,3 \text{ кВ.}$$

Знайдемо наведене значення напруги на стороні СН:

$$U_{\text{CH}} = \sqrt{(U_{\text{BH}} - \Delta U_{\text{BHа}})^2 + (\Delta U_{\text{BHр}})^2} = \sqrt{(0,98 \cdot 330 - 10,1)^2 + 25,3^2} = 314,3 \text{ кВ.}$$

Визначимо падіння напруги на обмотці НН автотрансформатора:

$$\Delta \dot{U}_{\text{HH}} = \frac{Q_{\text{HH}}}{U_{\text{CH}}} x_{21} + j \frac{P_{\text{HH}}}{U_{\text{CH}}} x_{21} = \frac{28}{314,3} 75,8 + j \frac{70}{314,3} 75,8 = 6,8 + j 16,9 \text{ кВ.}$$

Знайдемо наведене значення напруги на стороні НН:

$$U_{\text{HH}} = \sqrt{(U_{\text{CH}} - \Delta U_{\text{HHа}})^2 + (\Delta U_{\text{HHр}})^2} = \sqrt{(314,3 - 6,8)^2 + 16,9^2} = 308 \text{ кВ.}$$

Таким чином, на ідеальному автотрансформаторі на його обмотці вищої напруги значення напруги становить 308 кВ. За умовою завдання на шинах КРУ повинно бути напруга 10,5 кВ. Оскільки на шляху між автотрансформатором і шинами КРУ встановлено реактор, необхідно визначити на ньому падіння напруги. Опір реактора при однаковому навантаженні обох гілок дорівнює 0,07 Ом. Тоді

$$\Delta \dot{U}_{\text{р}} = \frac{Q_{\text{HH}}}{U_{\text{КРУ}}} x_{\text{р}} + j \frac{P_{\text{HH}}}{U_{\text{КРУ}}} x_{\text{р}} = \frac{28}{10,5} 0,07 + j \frac{70}{10,5} 0,07 = 0,19 + j 0,47 \text{ кВ.}$$

Необхідну напругу на висновках обмотки нижчої напруги авто-

трансформатора складе

$$U_{H.тр} = \sqrt{(10,5 + 0,19)^2 + 0,47^2} = 10,7 \text{ кВ.}$$

Розрахунковий коефіцієнт трансформації дорівнює:

$$k_T = \frac{U_{HH}}{U_{H.тр}} = \frac{308}{10,7} = 28,8.$$

Номінальний коефіцієнт трансформації дорівнює

$$k_{Tном} = \frac{U_{B.ном}}{U_{H.ном}} = \frac{330}{11} = 30.$$

Визначимо, на скільки відсотків має зменшитися номінальний коефіцієнт трансформації:

$$\delta k_T = \frac{k_T - k_{Tном}}{k_{Tном}} 100 = \frac{28,8 - 30}{30} 100 = -4 \%.$$

З огляду на, що у прийнятих до установки автотрансформаторів діапазон регулювання коефіцієнта трансформації становить  $\pm 2 \%$ , можемо зробити висновок, що автотрансформатори працюватимуть на відгалуженні -4 і забезпечувати необхідний рівень напруги на навантаженні.

#### 4. ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Питання обираються по формулі

$$N = (n + K),$$

де n- варіант студента по журналу обліку;

K- коефіцієнт, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.

Тобто кожен студент повинен відповісти на 8 питань.

- 1 Скільки джерел живлення необхідно для кожної категорії споживачів за умовами надійності?
- 2 Перерва живлення якої тривалості допустима для кожної категорії споживачів?
- 3 Які переваги і недоліки у радіальних, магістральних і кільцевих схем електричних мереж?
- 4 На яких номінальних напругах переважно застосовуються розглянуті схеми мережі?
- 5 В яких випадках на підстанції встановлюються автотрансформатори, а в яких випадках трьохобмоточні трансформатори?
- 6 На які номінальні потужності розраховані обмотки автотрансформаторів і трьохобмоточних трансформаторів?
- 7 Які перевантаження допустимі у трансформаторів?
- 8 Намалюйте принципові схеми розподільних пристроїв 10-220 кВ для тупикових (відгалужувальних) підстанцій; підстанцій в кільцевих схемах і схемах транзиту потужності; для вузлових підстанцій з декількома лініями, що живляться від шин високої напруги даної підстанції; для кожного розподільника; для кожного розподільного пристрою підстанції з трьома рівнями номінальної напруги.
- 9 У чому переваги компактних осередків розподільних пристроїв 110-220 кВ і коли доцільно їх застосування?
- 10 Які системи охолодження мають трансформатори напругою 10 / 0,4 кВ?

- 11 Порівняйте області переважного застосування вакуумних і елегазових вимикачів.
- 12 Яка область застосування вимикачів навантаження, автоматичних вимикачів?
- 13 Для чого служать роз'єднувачі на підстанціях різних номінальних напруг?
- 14 Опишіть порядок виведення в ремонт лінійного вимикача з його заміною на обхідний вимикач.
- 15 Для чого служать вимірювальні трансформатори струму і напруги і які пристрої до них підключаються?
- 16 Які вимоги до класу точності вимірювальних трансформаторів струму і напруги при підключенні до них приладів обліку електроенергії для комерційних і технічних цілей?
- 17 Які умови вибору комутаційних апаратів напругою вище 1000 В?
- 18 За яких умов встановлюються дугогасительні реактори в мережах напругою 6-10-20-35 кВ?
- 19 У чому призначення високоомного і низкоомного заземлення нейтралі?
- 20 Як виділяється абонентська частина на міських підстанціях?
- 21 Як виконується резервування на промислових підстанціях?
- 22 Як виконується резервування на міських підстанціях?
- 23 Які особливості компонування щоглових підстанцій?
- 24 Як і чим регулюється напруга в електричних мережах?
- 25 Які значення нормативних коефіцієнтів реактивної потужності на різних рівнях номінальної напруги електричної мережі?
- 26 Для чого встановлюють пристрої компенсації реактивної потужності?
- 27 Який режим роботи нейтралей в електричних мережах різних номінальних напруг?
- 28 Намалюйте і порівняйте схеми промислової і міської підстанцій напругою 10 / 0,4 кВ.
- 29 Намалюйте самостійно схему заповнення КРУ-10 кВ з кабельними

- вводами і 10 відходять кабелями при дворядному розташуванні осередків, використовуючи схеми осередків К63.
- 30 Намалуйте самостійно схему заповнення КРУ-10 кВ з шинними уведеннями і 10 відходять кабелями при дворядному розташуванні осередків, використовуючи схеми осередків К63.
- 31 Поясніть, коли в прохідних підстанціях, ВРУ які виконано за схемою «містка», вимикачі встановлюються з боку трансформаторів, а коли з боку ліній?
- 32 Використовуючи рекомендовані навчально-методичні посібники, назвіть елементи відкритих розподільних пристроїв на плані і розрізі осередків лінійних вимикачів в схемах "одна система збірних шин з обхідний системою шин" і «дві секціоновані системи збірних шин з обхідний системою шин».
- 33 Намалуйте схему електричних з'єднань ОРУ-110 кВ блокової трансформаторної підстанції без ремонтної перемички, виконаної на компактних осередках PASS.
- 34 Намалуйте схему електричних з'єднань ОРУ-110 кВ блокової трансформаторної підстанції з ремонтної перемичкою, виконаної на компактних осередках PASS.
- 35 Намалуйте схему електричних з'єднань ОРУ-110 кВ прохідний трансформаторної підстанції з вимикачами з боку ліній, виконаної на компактних осередках PASS.
- 36 Намалуйте схему електричних з'єднань ОРУ-110 кВ прохідний трансформаторної підстанції з вимикачами з боку трансформаторів, виконаної на компактних осередках PASS.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Методичні вказівки для виконання індивідуальної та самостійної роботи з дисципліни «Процеси та установки холодильної та теплової техніки» для студентів денної та заочної форм навчання технічних спеціальностей [Електронний ресурс] . — Покровськ, 2021 . — 34 с.

<http://89.185.3.253:9080/search.php>

2. Основы проектирования электроэнергетических систем и сетей: программа, методические указания по изучению дисциплины / сост.: Н.В. Чернова, А.И. Федотов, О.В. Наумов, Г.В. Вагапов. — Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2014. — 31 с.

3. ГОСТ 11677–85. Трансформаторы силовые. Общие технические условия.

4. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. — М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2005. — 320 с. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: справочник. -М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2006. — 480 с.

5. Макаров Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4–35 кВ и 110–1150 кВ / под ред. И.Т. Горюнова и А.А. Любимова. — М.: Папирус ПРО, 2003.

6. Балаков Ю.Н. Проектирование схем электроустановок: учеб. Пособие для вузов / Ю.Н. Балаков, М.Ш. Мисриханов, А.В. Шунтов. — 2-е изд., стереотип. — М.: Издательский дом МЭИ, 2006. — 288 с.

7. Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И.П. Крючков, Б.Н. Неклепаев, В.А. Старшинов и др.; под ред. И.П. Крюčkова и В.А. Старшинова. — М.: Издательский центр «Академия», 2005.

Методичні вказівки для виконання індивідуальної та самостійної роботи

з дисципліни «Основи проектування електричних станцій і систем»  
для студентів денної та заочної форм навчання технічних спеціальностей.

Комп'ютерний набір і верстка: Любименко Олена Миколаївна

Укладачі: Любименко О.М., доц., к.ф.-м.н., доц

Донецький національний технічний університет  
83502, м. Покровськ, вул. Шибанкова, 2.

Покровськ  
2021