

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Український державний університет науки і технологій

Кафедра «Інтелектуальні системи енергопостачання»

ТЯГОВІ ТА ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ

Методичні рекомендації до практичних занять

Електронний аналог
друкованого видання

Дніпро 2023

УДК 621.331

Т 99

Укладач:

Друбецька Тетяна Ігорівна

Рецензенти:

д.т.н., проф. О. В. Остапчук (КП)

к.т.н., доц. Д. О. Босий (УДУНТ)

Рекомендовано МКФ УЕП (протокол № 3 від 15.11.2022)

Зареєстровано НМВ УДУНТ (№ 586 від 19.12.2022)

Тягові та трансформаторні підстанції : методичні рекомендації до практичних занять / уклад. Т. І. Друбецька ; Український державний університет науки і технологій. – Дніпро : УДУНТ, 2023. – 40 с.

Методичні рекомендації призначені для використання студентами всіх форм навчання спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка під час проведення практичних занять з дисципліни «Тягові та трансформаторні підстанції» та їх самостійної роботи, можуть бути використані слухачами інституту післядипломної освіти.

Методичні рекомендації містять теоретичні відомості, приклади розрахунку та завдання для самостійної роботи студентів.

© Друбецька Т. І, укладання, 2023

© Укр. держ. ун-т науки і технологій,
оригінал-макет, 2023

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.....	4
2 ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКУ.....	12
2.1 Трьохобмоточні трансформатори.....	12
2.2 Двохобмоточні трансформатори	15
2.3 Трансформатори власних потреб	18
2.4 Система зовнішнього електропостачання	21
3 ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....	35
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	38

ВСТУП

Дисципліна «Тягові та трансформаторні підстанції» відноситься до обов'язкової компоненти освітньої програми «Електротехнічні системи електроспоживання».

Методичні рекомендації до практичних занять сприяють досягненню наступних очікуваних результатів навчання – обчислювати струми короткого замикання та максимальні робочі струми приєднань.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ. СИСТЕМА ВІДНОСНИХ ОДИНИЦЬ. ВІДНОСНІ ОПОРИ

Відносним значенням деякої розмірної або відносної величини називають виражене в долях або відсотках від деякого наперед заданого параметру (базисного параметру).

За основу (базу) розрахунку може бути прийнятий будь-який режим, наприклад номінальний, тоді параметри будь-якого іншого режиму можна виразити в долях відповідних номінальних величин [1-4]:

$$U_{*ном} = \frac{U}{U_{ном}}, \quad (1.1)$$

$$I_{*ном} = \frac{I}{I_{ном}}, \quad (1.2)$$

$$S_{*ном} = \frac{S}{S_{ном}}, \quad (1.3)$$

$$x_{*ном} = \frac{x}{x_{ном}}. \quad (1.4)$$

Отримані таким чином параметри являються відносними (індекс «зірочка» показує, що параметр виражений у відносних одиницях, а індекс ном. – що він віднесений до номінального параметру даного елемента).

При розрахунку струму к.з. у відносних одиницях виражають опори елементів кола короткого замикання. Приведений вище вираз (1.4) можна перетворити замінивши в ньому [1-4]:

$$x_{ном} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3}I_{ном}},$$

тоді отримаємо:

$$x_{*ном} = \frac{\sqrt{3} \Psi_{ном} \Psi_k}{U_{ном}}, \quad (1.5)$$

де $\Psi_{ном} \Psi_k$ – спад напруги в опорі x ,

$\frac{U_{ном}}{\sqrt{3}}$ – номінальна напруга фази електричної мережі.

Звідси випливає, що **відносний номінальний опір** дорівнює відношенню спаду напруги на опір даного елементу мережі при протіканні через нього номінального струму до номінальної напруги фази.

Помноживши в виразі (1.5) на $U_{ном}$ чисельник і знаменник, отримаємо:

$$x_{*ном} = x \frac{S_{ном}}{U_{ном}^2}. \quad (1.6)$$

Відносні параметри можна визначити по відношенню до будь-якої іншої системи величин, що покладена в основу розрахунку і названа базисною. За **базисну потужність** приймають суму номінальних потужностей генераторів в тисячах кіловат ампер, тобто:

$$S_6 = S_{нг\epsilon},$$

якщо відомі їх потужності; зручне для обчислень ціле число (найчастіше 100 тис. кВА, якщо точка к. з. живиться від джерела необмеженої потужності, або потужність джерел живлення (генераторів) невідома).

В якості **розрахункової напруги** приймають середню лінійну напругу U_{cp} тієї ступені, де розраховується струм к. з. (напруга на початку та в кінці лінії різна за величиною).

Розрахункові напруги вище номінальних приблизно на 5%.

Значення розрахункових напруг U_{cp} : 0,133; 0,23; 0,4; 0,525; 3,15; 6,3; 10,5; 15,75; 26,2; 37; 115; 162; 230; 420; 525 кВ.

Базисну потужність для всіх елементів к. з. приймають одну і ту ж; а базисний струм I_6 для елементів кола з різними розрахунковими напругами при цій потужності визначають наступним чином [1-4]:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} U_{cp}}, \quad (1.7)$$

Відносний базисний опір визначають за формулами, аналогічними до (1.5), (1.6) [1-4]:

$$x_{*6} = \frac{\sqrt{3} \Psi_6 \Psi_k}{U_6}, \quad (1.8)$$

$$x_{*6} = x \frac{S_6}{U_6^2}. \quad (1.9)$$

В довідкових каталогах та заводських матеріалах наводять відносні номінальні параметри обладнання.

Відносний базисний опір можна визначити за відомим відносним номінальним опором, який в свою чергу можна знайти в довіднику. Для цього перетворимо вираз (1.6) та отримаємо [1-4]:

$$x = x_{*ном} \frac{U_{ном}^2}{S_{ном}}. \quad (1.10)$$

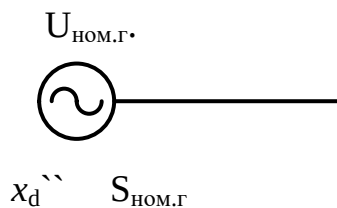
Підставивши у вираз (1.9) отримані значення x отримаємо формулу [1-4]:

$$x_{*6} = x_{*ном} \frac{U_{ном}^2}{S_{ном}} \frac{S_6}{U_6^2}. \quad (1.11)$$

Розрахунок відносних базисних опорів елементів кола к. з. легко проводити на основі формул (1.10) та (1.11).

Генератори в каталогах характеризуються відносним над перехідним опором x_d'' , потужністю $S_{ном.Г}$ і напругою $U_{ном.Г}$ (рис. 1.1).

а)



б)

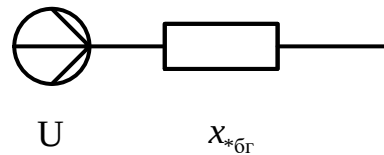


Рис. 1.1. Розрахункова (а) та схема заміщення (б) для генератора

Враховуючі, що $x_d'' = x_{*ном}$ і $U_{ном.Г} = U_{ср}$, отримаємо із виразу (1.11) [1-4]:

$$x_{*6Г} = x_d'' \frac{S_{ном.Г}}{S_{ном.Г}}. \quad (1.12)$$

Двообмоткові трансформатори в каталогах характеризуються напругою короткого замикання $u_{k\%}$, потужністю $S_{ном.Т}$ і напругою $U_{ном.Т}$, яка дорівнює $U_{ср}$ (рис. 1.2). Як відомо, $u_{k\%}$ – це відносна напруга двох обмоток трансформатора (відносне падіння напруги на них при досліді к.з.), виражена у відсотках [1-4]:

$$x_{*ном.Т} = \frac{u_{k\%}}{100}.$$

Якщо використати формулу (6.11), то отримаємо вираз відносно опору двообмоткового трансформатора в наступному вигляді [1-4]:

$$x_{*6.T} = \frac{u_{k\%}}{100} \frac{S_6}{S_{\text{НОМ.Т}}} \quad (1.13)$$

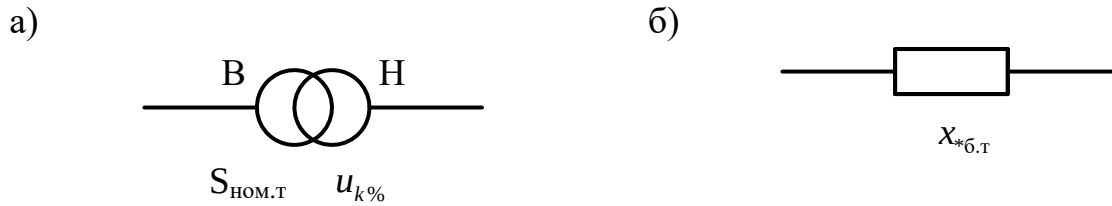


Рис. 1.2. Розрахункова (а) та схема заміщення (б) для двообмоткового трансформатора

Триобмоткові трансформатори характеризуються в каталогах трьома напругами к.з. для кожної пари обмоток (рис. 1.3) $u_{k.B-C}$, $u_{k.B-H}$, $u_{k.C-H}$.

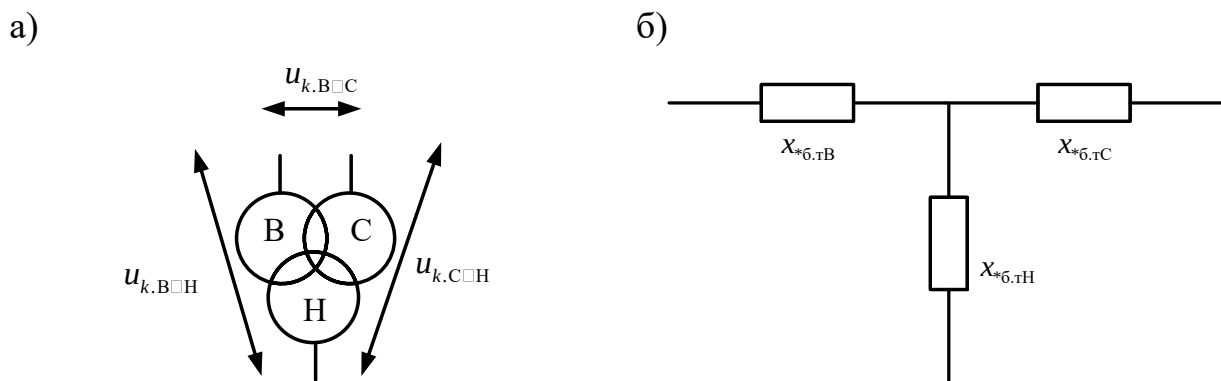


Рис. 1.3. Розрахункова (а) та схема заміщення (б) для триобмоткового трансформатора

Індекси показують до якої пари обмоток відносяться u_k (В – високої напруги, Н – низької, С – середньої). При розрахунку кожна обмотка трансформатора представляється як окремий елемент кола к.з. зі своїм опором (рис. 1.3,б). Вирішивши систему рівнянь [1-4]:

$$\begin{aligned} u_{k.B-C} &= u_{k.B} + u_{k.C} \\ u_{k.B-H} &= u_{k.B} + u_{k.H} \\ u_{k.C-H} &= u_{k.C} + u_{k.H} \end{aligned}$$

можна знайти для кожної обмотки [1-4]:

$$\begin{aligned} u_{k.B} &= 0,5(u_{k.B-C} + u_{k.B-H} - u_{k.C-H}) \\ u_{k.C} &= 0,5(u_{k.B-C} + u_{k.C-H} - u_{k.B-H}), \\ u_{k.H} &= 0,5(u_{k.B-H} + u_{k.C-H} - u_{k.B-C}) \end{aligned} \quad (1.14)$$

Використовуючи отримані $u_{k.B}$, $u_{k.C}$, $u_{k.H}$ можна отримати відносний базисний опір кожної обмотки трансформатора [1-4]:

$$\begin{aligned}
x_{*6.тВ} &= \frac{u_{кВ\%}}{100} \frac{S_6}{S_{ном.т}} \\
x_{*6.тС} &= \frac{u_{кС\%}}{100} \frac{S_6}{S_{ном.т}} \cdot \\
x_{*6.тН} &= \frac{u_{кН\%}}{100} \frac{S_6}{S_{ном.т}}
\end{aligned}
\tag{1.15}$$

Формули використовуються в розрахунках відносних опорів трансформаторів тоді, коли при к.з. струм протікає до точки к. з. по всім трьом обмотках. Однак часто при к.з. на стороні низької напруги струм протікає по обмоткам високої та низької напруги і відсутній в обмотці середньої напруги, а при к. з. на стороні середньої напруги – відсутній в обмотці низької напруги. В такому випадку трансформатор можна розглядати як двохобмотковий і розраховувати відносну базисну напругу двох обмоток по їх напрузі к. з., використовуючи вираз (1.4) [1-4].

$$\begin{aligned}
x_{*6.тВ-С} &= \frac{u_{кВ-С}}{100} \frac{S_6}{S_{ном.т}} \\
x_{*6.тВ-Н} &= \frac{u_{кВ-Н}}{100} \frac{S_6}{S_{ном.т}} \cdot
\end{aligned}
\tag{1.16}$$

Лінія електропередачі характеризується напругою, опором 1 км лінії (x_0 Ом/км) на фазу і довжиною l , км (рис. 1.4). Для визначення відносного базисного опору лінії можна використовувати вираз (1.9), в якому прийняти $x = x_0$ Ч [1-4]:

$$x_{*6} = x_0 \text{ Ч } \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2}, \tag{1.17}$$

де $x_0 = 0,4$ Ом/км – опір повітряної лінії напругою 6 – 220 кВ.

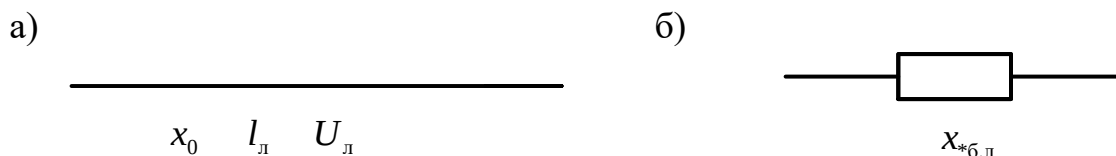


Рис.1.4. Розрахункова (а) та схема заміщення (б) для лінії електропередачі

За необхідності врахування активного опору його величину для даного перерізу проводу беруть із довідкових таблиць або обчислюють за формулою:

$$r_0 = \frac{l}{g \Psi q} = \frac{1000}{g \Psi q} \text{ Ом/км}, \quad (1.18)$$

де g – питома провідність матеріалу (для міді $g=53 \text{ м/ Ом}\cdot\text{мм}^2$, для алюмінію $g=32 \text{ м/ Ом}\cdot\text{мм}^2$);

q – переріз проводу, мм^2 .

Відносний активний опір визначають за формулою, аналогічною (1.17):

$$r_{*6} = r_0 \Psi \frac{S_6}{U_6^2}. \quad (1.19)$$

Реактори в каталогах характеризуються номінальною напругою $U_{\text{ном.р}}$, номінальним струмом $I_{\text{ном.р}}$ і відносним значенням індуктивного опору $x_{\text{р}\%}$ (рис. 1.5).

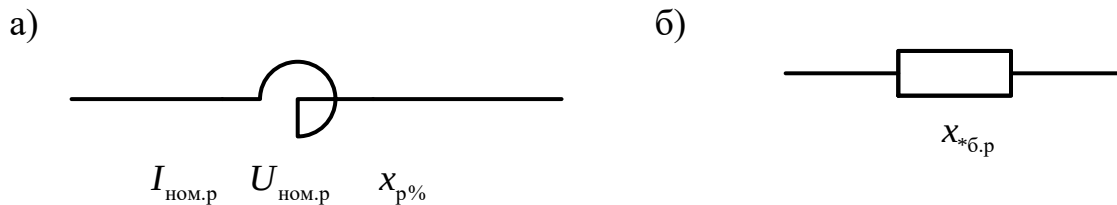


Рис. 1.5. Розрахункова (а) та схема заміщення (б) для реактора

По аналогії з виразом (1.13) для двохмоткового трансформатора базисний опір реактора можна записати в вигляді [1-4]:

$$x_{*6.т} = \frac{x_{\text{р}\%}}{100} \frac{S_6}{\sqrt{3} U_{\text{ном.р}} I_{\text{ном.р}}}, \quad (1.20)$$

де $\sqrt{3} U_{\text{ном.р}} I_{\text{ном.р}}$ – номінальна прохідна потужність трифазної групи реакторів, тобто потужність при якій визначено $x_{\text{р}\%}$.

Система, що характеризується потужністю короткого замикання $S_{\text{кс}}$ на шинах розподільного пристрою електроустановки. Для отримання розрахункової формули відносного опору системи використаємо вираз [1-4]:

$$I_k^{(3)} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} x_{\epsilon}},$$

помноживши його ліву та праву частини $\sqrt{3} U_{\text{ср}}$ і замінивши x_{ϵ} виразом отриманим із (1.9) [1-4]:

$$\sqrt{3}U_{\text{cp}}I_k = \frac{U_{\text{cp}}S_{\text{б}}\sqrt{3}U_{\text{cp}}}{\sqrt{3}x_{\text{б}}U_{\text{cp}}^2}, \quad (1.21)$$

$$S_k = \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{кк}}}.$$

Вираз (1.21) можна використовувати для визначення відносного базисного опору системи [1-4]:

$$x_{\text{бк}} = \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{кк}}}.$$

Аналогічний вираз для визначення $x_{\text{бк}}$ використовується, якщо задається номінальна потужність відключення вимикача на ввіді електроустановки $S_{\text{ном.откл}}$ [1-4]:

$$x_{\text{бк}} = \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{ном.откл}}}. \quad (1.22)$$

Розрахункові формули для визначення базисних опорів окремих елементів кола к.з. приведені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1

**Основні співвідношення для визначення базисних опорів окремих елементів
кола К.З.**

Елементи схеми	Вихідні параметри	Розрахункові формули
Система	$S_{\text{КС}}, S_{\text{НОМ.ОТКЛ}}$	$x_{*6\text{с}} = \frac{S_6}{S_{\text{КС}}},$ $x_{*6\text{с}} = \frac{S_6}{S_{\text{НОМ.ОТКЛ}}}$
Трансформатор	$u_{\text{к}\%}, S_{\text{НОМ.Т}}$	$x_{*6\text{.Т}} = \frac{u_{\text{к}\%}}{100} \frac{S_6}{S_{\text{НОМ.Т}}}$
Лінія електропередачі	$x_0, l, U_{\text{ср}}$	$x_{*6} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2}$
Реактор	$U_{\text{НОМ.р}}, x_{\text{р}\%}, I_{\text{НОМ.р}}$	$x_{*6\text{.Т}} = \frac{x_{\text{р}\%}}{100} \frac{S_6}{\sqrt{3} U_{\text{НОМ.р}} I_{\text{НОМ.р}}}$

2 ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКУ

2.1 Трьохобмоточні трансформатори

Задача №1

Методом відносних одиниць визначити струм к.з. для максимального режиму

Дано:

$S_{кз}=2500$ МВА;

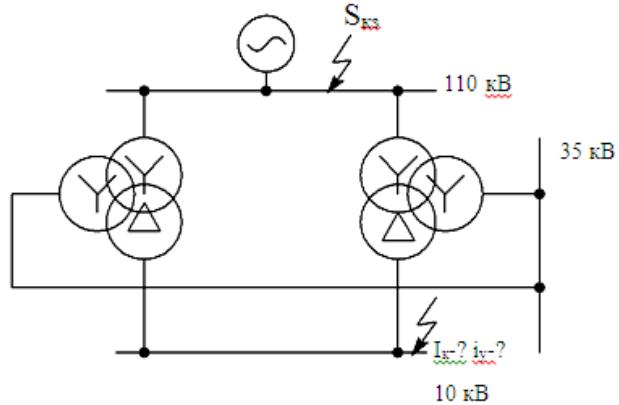
ТДТН – 1000/110 У1;

$u_{квс}=16\%$;

$u_{квн}=26\%$;

$u_{кчн}=7,5\%$.

Знайти: $I_{к-?}$; $i_{у-?}$



Розрахунок

Приймаємо базисну потужність $S_б=100$ МВА.

Знаходимо опір системи:

$$x_{*бс} = \frac{S_б}{S_{кз}} = \frac{100}{2500} = 0,04$$

Визначаємо напругу високої та низької сторін трансформатора:

$$u_{кв} = 0,5 \cdot (u_{квс} + u_{квн} - u_{кчн}) = 0,5 \cdot (16 + 26 - 7,5) = 17,25\%$$

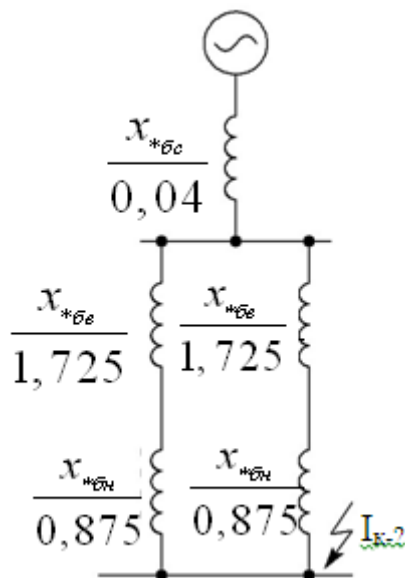
$$u_{кн} = 0,5 \cdot (u_{квн} + u_{кчн} - u_{квс}) = 0,5 \cdot (26 + 7,5 - 16) = 8,75\%$$

Знаходимо опір високої та низької сторін трансформатора:

$$x_{бв} = \frac{u_{кв}}{100} \cdot \frac{S_б}{S_{номтр}} = \frac{17,25}{100} \cdot \frac{100}{10} = 1,725$$

$$x_{бн} = \frac{u_{кн}}{100} \cdot \frac{S_б}{S_{номтр}} = \frac{8,75}{100} \cdot \frac{100}{10} = 0,875$$

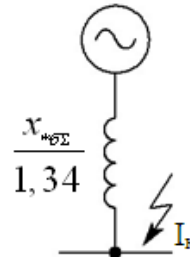
Складаємо схему заміщення відповідно до даної з урахуванням знайдених опорів системи:



Знаходимо сумарний опір системи:

$$x_{*6\Sigma} = x_{*6c} + \frac{x_{*6B} + x_{*6H}}{2} = 0,04 + \frac{1,725 + 0,875}{2} = 1,34$$

Згортаємо попередню схему заміщення:



Знаходимо струм короткого замикання:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА}$$

$$I_k = \frac{I_6}{x_{*6\Sigma}} = \frac{5,5}{1,34} = 4,1 \text{ кА}$$

Знаходимо i_y

$$i_y = 2,55 \cdot I_k = 2,55 \cdot 4,1 = 10,46 \text{ кА}$$

Відповідь: $I_k = 4,1 \text{ кА}$; $i_y = 10,46 \text{ кА}$.

Задача №2

Методом відносних одиниць визначити струм к.з.

Дано:

$I_{k3} = 8 \text{ кА}$;

ТДТНЖ-25000/110 У1;

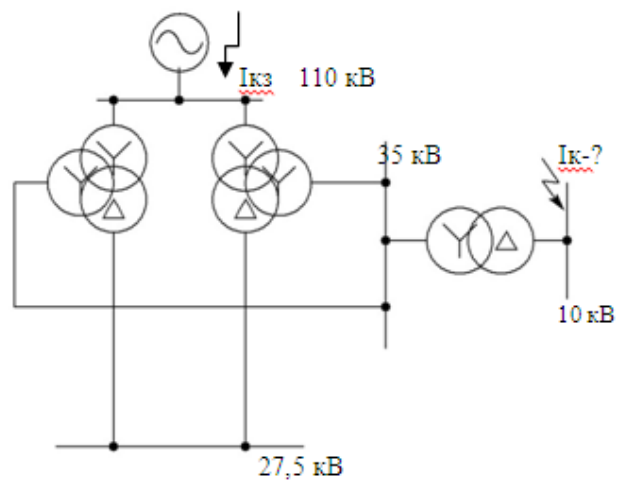
$u_{KBC} = 18\%$;

$u_{KBH} = 10,5\%$;

$u_{KCH} = 6,8\%$;

ТМ-2500/10 У1; $u_k = 6,5 \%$

Знайти: I_k -?



Розрахунок

Приймаємо базисну потужність $S_b = 100 \text{ МВА}$.

Знаходимо базисний струм системи:

$$I_{\bar{6}} = \frac{S_{\bar{6}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{cp}}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,502 \text{ кА}$$

Знаходимо опір системи

$$x_{*6c} = \frac{I_{\bar{6}}}{I_{\text{кз}}} = \frac{0,502}{8} = 0,063$$

Розраховуємо напругу високої, середньої та низької сторін трьохобмоточного трансформатора:

$$u_{\text{кв}} = 0,5 \cdot (u_{\text{квн}} + u_{\text{квс}} - u_{\text{кнс}}) = 0,5 \cdot (10,5 + 18 - 6,8) = 10,85$$

$$u_{\text{кс}} = 0,5 \cdot (u_{\text{квс}} + u_{\text{кнс}} - u_{\text{квн}}) = 0,5 \cdot (18 + 6,8 - 10,5) = 7,15$$

$$u_{\text{кн}} = 0,5 \cdot (u_{\text{кнс}} + u_{\text{квн}} - u_{\text{квс}}) = 0,5 \cdot (6,8 + 10,5 - 18) = -0,35$$

Знаходимо опір високої, середньої та низької сторін трьохобмоточного трансформатора:

$$x_{*6B} = \frac{u_{\text{кв}}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{S_{\text{ном}}} = \frac{10,85}{100} \cdot \frac{100}{25} = 0,434$$

$$x_{*6c} = \frac{u_{\text{кс}}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{S_{\text{ном}}} = \frac{7,15}{100} \cdot \frac{100}{25} = 0,286$$

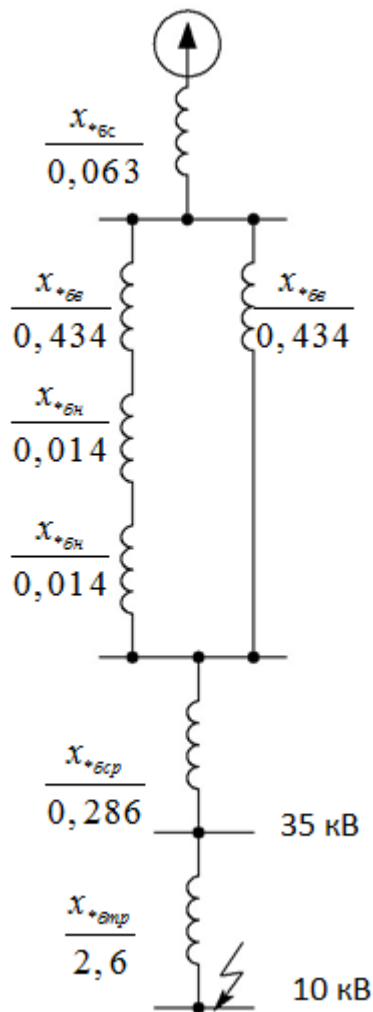
$$x_{*6H} = \frac{u_{\text{кн}}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{S_{\text{ном}}} = \frac{0,35}{100} \cdot \frac{100}{25} = 0,014$$

Так як $x_{*6H} < x_{*6c}$, то буде підживлення точки к.з. зі сторони низької напруги (зобразимо це на схемі заміщення).

Знаходимо базисний опір двохобмоточного трансформатора:

$$x_{*6\text{тр}} = \frac{u_{\text{к}}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{S_{\text{ном}}} = \frac{6,5}{100} \cdot \frac{100}{2,5} = 2,6$$

Складемо схему заміщення з урахуванням усіх опорів системи та умови підживлення точки к.з.:

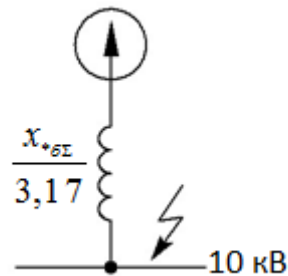


Знаходимо сумарний опір до точки к.з.:

$$X_{*б\Sigma} = \frac{X_{*бв} \cdot (X_{*бв} + X_{*бн} + X_{*бн})}{X_{*бв} + X_{*бв} + X_{*бн} + X_{*бн}} + X_{*бс} + X_{*бсп} + X_{*бнр} =$$

$$= \frac{0,434 \cdot (0,434 + 0,014 + 0,014)}{0,434 + 0,434 + 0,014 + 0,014} + 0,063 + 0,286 + 2,6 = 3,17$$

Згортаємо схему заміщення до еквівалентного опору системи:



Розраховуємо струм короткого замикання:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА}$$

$$I_k = \frac{I_6}{X_{*б\Sigma}} = \frac{5,5}{3,17} = 1,735 \text{ кА}$$

Відповідь: $I_k = 1,735 \text{ кА}$

2.2 Двохобмоточні трансформатори

Задача №3

Методом відносних одиниць визначити струм к.з. для максимального режиму.

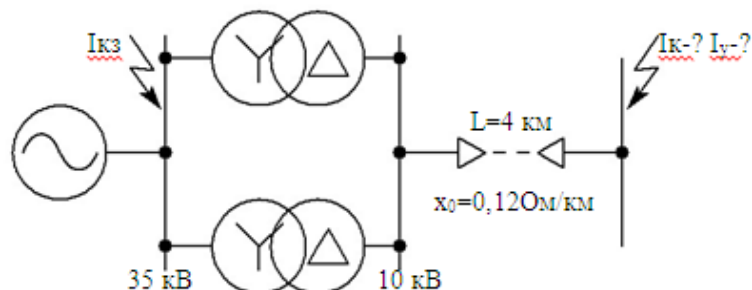
Дано:

$I_{кз} = 3 \text{ кА}$;

ТМ-2500/10 У1;

$u_k = 6,5\%$

Знайти: I_k -?; i_y -?



Розрахунок

Приймаємо базисну потужність $S_b = 100 \text{ МВА}$.

Знаходимо базисний опір системи:

$$x_{*6c} = \frac{S_6}{S_{кз}} = \frac{I_6}{I_{кз}} = \frac{1,56}{3} = 0,52$$

Знаходимо базисний струм системи:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37} = 1,56 \text{ кА}$$

Знаходимо опори системи:

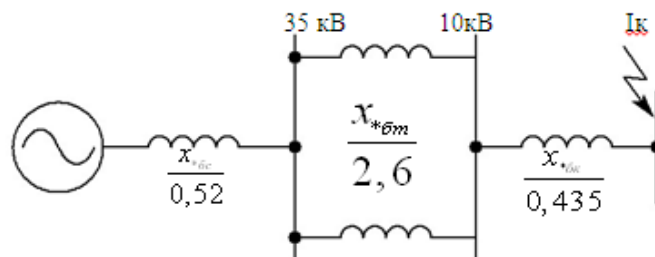
- базисний опір трансформатора:

$$x_{*6т} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{ном}} = \frac{6,5}{100} \cdot \frac{100}{2,5} = 2,6$$

- базисний опір кабельної лінії:

$$x_{*6к} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,12 \cdot 4 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,435$$

Складаємо схему заміщення з урахуванням всіх опорів системи:

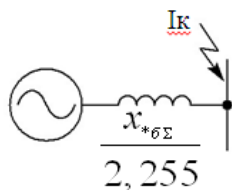


Знаходимо сумарний опір системи:

$$x_{*6\Sigma} = x_{*6c} + \frac{x_{*6т}}{2} + x_{*6к} = 0,52 + \frac{2,6}{2} + 0,435 = 2,255$$

Згортаємо схему заміщення:

Знаходимо I_k ; i_y :



$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА}$$

$$I_k = \frac{I_6}{x_{*6\Sigma}} = \frac{5,5}{2,255} = 2,44 \text{ кА}$$

$$i_y = 2,55 \cdot I_k = 2,55 \cdot 2,44 = 6,22 \text{ кА}$$

Відповідь: $I_k=2,44 \text{ кА}$; $i_y=6,22 \text{ кА}$

Задача №4

Методом відносних одиниць визначити струм к.з. для мінімального режиму.

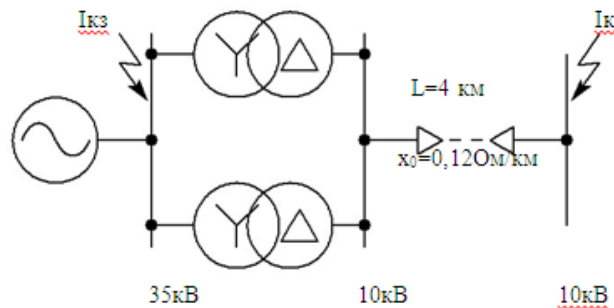
Дано:

$I_{k3} = 3 \text{ кА}$;

ТМ-2500/10 У1;

$u_k=6,5\%$;

Знайти: I_k -?



Розрахунок

Приймаємо базисну потужність $S_b=100 \text{ МВА}$.

Знаходимо базисний опір системи:

$$x_{*бс} = \frac{S_b}{S_{k3}} = \frac{I_b}{I_{k3}} = \frac{1,56}{3} = 0,52$$

Знаходимо базисний струм системи:

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37} = 1,56 \text{ кА}$$

Знаходимо опори системи:

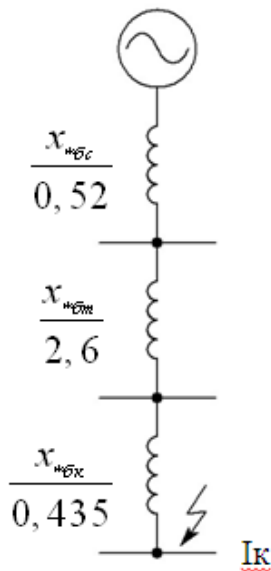
- базисний опір трансформатора:

$$x_{*бт} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{S_b}{S_{ном}} = \frac{6,5}{100} \cdot \frac{100}{2,5} = 2,6$$

- базисний опір кабельної лінії:

$$x_{*бк} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_b}{U_{cp}^2} = 0,12 \cdot 4 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,435$$

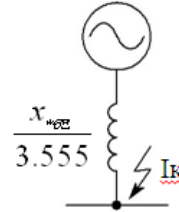
Зображаємо схему заміщення з урахуванням всіх опорів системи:



Знаходимо сумарний опір системи:

$$x_{*\Sigma} = x_{*bc} + x_{*cm} + x_{*ck} = 0,52 + 2,6 + 0,435 = 3,555$$

Згортаємо схему заміщення до еквівалентного опору:



Знаходимо струм короткого замикання:

$$I_{\phi} = \frac{S_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА}$$

$$I_k = \frac{I_{\phi}}{x_{*\Sigma}} = \frac{5,5}{3,555} = 1,55 \text{ кА}$$

Відповідь: $I_k = 1,55 \text{ кА}$

2.3 Трансформатори власних потреб

Задача №5

Методом відносних одиниць визначити струм к.з

Дано:

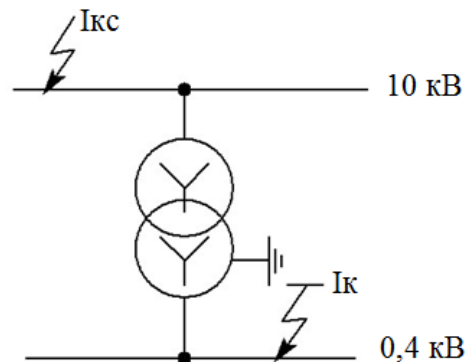
$I_{kc} = 10 \text{ кА}$

ТМ-400/10 У1

$u_k = 4,5 \%$

$P_{k3} = 5,5 \text{ кВт}$

Знайти: I_k - ?



Розрахунок

Приймаємо базисну потужність $S_b = 100 \text{ МВА}$.

Знаходимо базисний струм:

$$I_{\phi} = \frac{S_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}} = \frac{100}{10,5 \cdot \sqrt{3}} = 5,5$$

Знаходимо базисний опір системи:

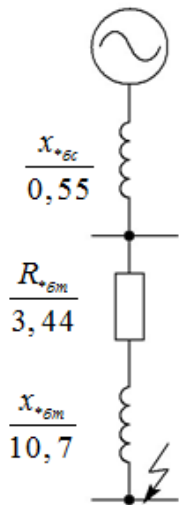
$$x_{*бс} = \frac{I_6}{I_{км}} = \frac{5,5}{10} = 0,55$$

Знаходимо опір трансформатора:

$$x_{*бтр} = \sqrt{Z_{*бт}^2 - R_{*бт}^2}, \quad Z_{*бтр} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{ном}} = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{100}{0,4} = 11,25$$

$$R_{*бтр} = \frac{\Delta P_{кз}}{S_{ном.тр}} \cdot \frac{S_6}{S_{номтр}} = \frac{5,5}{400} \cdot \frac{100}{0,4} = 3,44, \quad x_{*бтр} = \sqrt{11,25^2 - 3,44^2} = 10,7$$

Зображаємо схему заміщення:



Знаходимо еквівалентний опір:

$$Z_{*\Sigma} = \sqrt{(x_{*бтр} + x_{*бс})^2 + R_{*бт}^2} = \sqrt{(10,7 + 0,55)^2 + 3,44^2} = 11,76$$

Знаходимо шукані величини:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{ср}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 144,34;$$

$$I_k = \frac{I_6}{Z} = \frac{144,34}{11,76} = 12,27 \text{ кА}$$

$$i_y = 1,84 \cdot I_k = 1,84 \cdot 12,27 = 22,577 \text{ кА}$$

Відповідь: $I_k=12,27 \text{ кА}$; $i_y=22,577 \text{ кА}$

Задача №6

Методом іменованих одиниць визначити струм к.з

Дано:

ТМ-160/10 У1

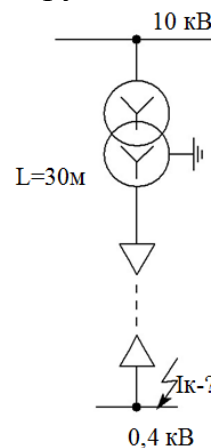
$u_k=4,5\%$

$R_{кз}=2,65 \text{ кВ}$

$r_{ок}=0,114 \text{ Ом/км}$

$x_{ок}=0,075 \text{ Ом/км}$

Знайти: I_k -?



Розрахунок

Визначаємо повний опір трансформатора:

$$Z_n = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_c^2}{S_{ном}} = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{(0,4 \cdot 10^3)^2}{160 \cdot 10^3} = 0,045 \text{ Ом}$$

Визначаємо активний опір трансформатора:

- з виразу втрат к.з. $\Delta P_k = 3 \cdot I_{2ном}^2 \cdot R_T$ виражаємо активний опір;
- попередньо визначаємо струм

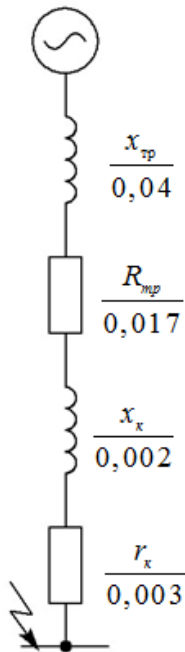
$$I_{2ном} = \frac{S_{трном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 231 \text{ А}$$

тоді:

$$R_T = \frac{\Delta P_k}{3 \cdot I_{2ном}^2} = \frac{2,65 \cdot 10^3}{3 \cdot 231^2} = 0,017 \text{ Ом}$$

Визначаємо індуктивний опір трансформатора:

$$x_T = \sqrt{0,045^2 - 0,017^2} = 0,04 \text{ Ом}$$



Визначаємо опір кабельної лінії:

$$r_k = r_0 \cdot l = 0,114 \cdot 0,03 = 0,003 \text{ Ом}$$

$$x_k = x_0 \cdot l = 0,075 \cdot 0,03 = 0,002 \text{ Ом}$$

Визначаємо сумарні опори:

$$x_\Sigma = x_k + x_T = 0,002 + 0,04 = 0,042 \text{ Ом}$$

$$R_\Sigma = r_k + r_T = 0,003 + 0,017 = 0,02 \text{ Ом}$$

$$Z_\Sigma = \sqrt{x_\Sigma^2 + R_\Sigma^2} = \sqrt{0,042^2 + 0,02^2} = 0,05 \text{ Ом}$$

Визначаємо струм к.з.:

$$I_k = \frac{U_c}{Z_\Sigma} = \frac{0,4}{0,05} = 8 \text{ кА}$$

Відповідь: $I_k = 8$ кА

2.4 Система зовнішнього електропостачання

Задача №7

Методом відносних одиниць визначити струм к.з. для максимального режиму.

Дано:

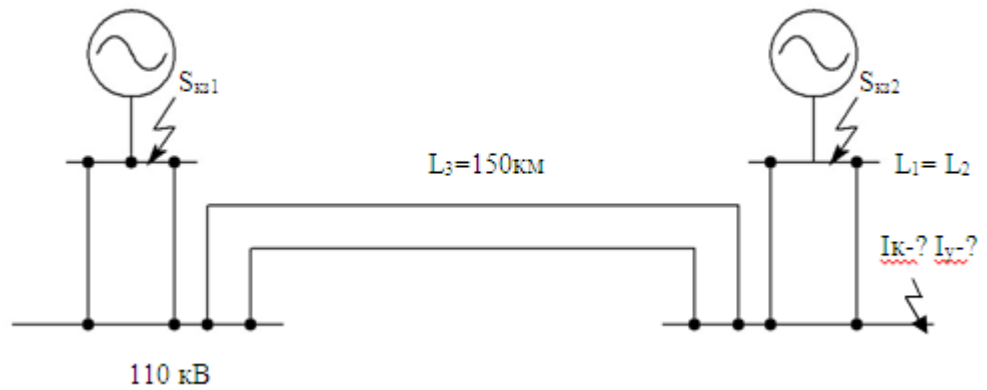
$$S_{кз1} = S_{кз2} =$$

$$= 5000 \text{ МВА};$$

$$x_0 = 0,4 \text{ Ом/км}$$

$$L_1 = L_2 = 50 \text{ км}$$

Знайти: I_k -?; i_y -?



Розрахунок

Приймаємо базисну потужність $S_б = 100$ МВА.

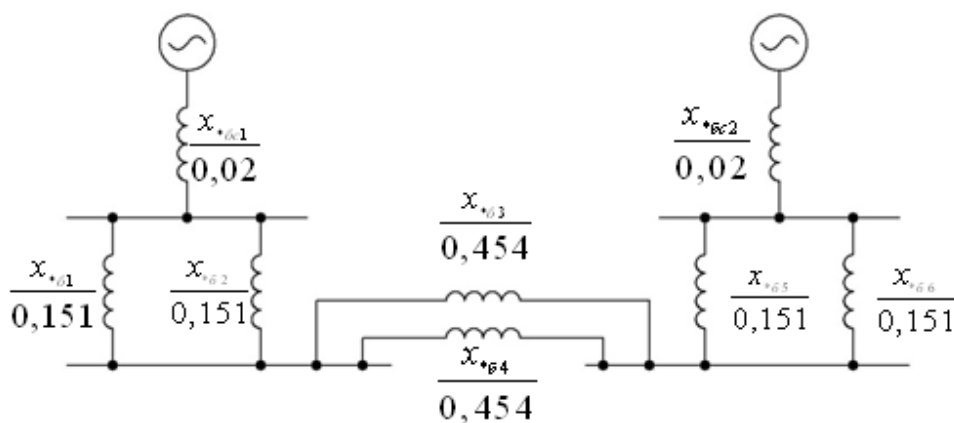
Знаходимо опори системи:

$$x_{*6c1} = x_{*6c2} = \frac{S_6}{S_{кз}} = \frac{100}{5000} = 0,02;$$

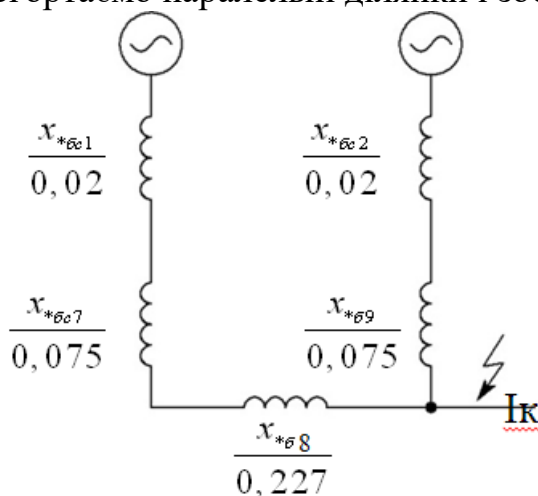
$$x_{*61} = x_{*62} = x_{*65} = x_{*66} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot 50 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,151;$$

$$x_{*63} = x_{*64} = x_0 \cdot L_3 \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot 150 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,454;$$

Складаємо схему заміщення з урахуванням опорів системи:



Згортаємо паралельні ділянки і зображаємо схему заміщення:



$$x_{*67} = x_{*69} = \frac{x_{*61}}{2} = \frac{0,151}{2} = 0,075;$$

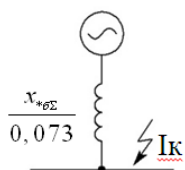
$$x_{*68} = \frac{x_{*63}}{2} = \frac{0,454}{2} = 0,227;$$

Згортаємо послідовні ділянки і зображаємо схему заміщення:

$$x_{*610} = x_{*61} + x_{*67} + x_{*68} = 0,02 + 0,075 + 0,227 = 0,322;$$

$$x_{*611} = x_{*6c2} + x_{*69} = 0,02 + 0,075 = 0,095;$$

Знаходимо еквівалентний опір системи:



$$x_{*6Σ} = \frac{x_{*610} \cdot x_{*611}}{x_{*610} + x_{*611}} = \frac{0,322 \cdot 0,095}{0,322 + 0,095} = 0,073;$$

Знаходимо базисний струм системи:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,502;$$

Знаходимо шукані величини I_K ; i_y :

$$I_k = \frac{I_6}{x_{*6\Sigma}} = \frac{0,502}{0,073} = 6,88 \text{ кА}$$

$$i_y = 2,55 \cdot I_k = 2,55 \cdot 6,88 = 17,544 \text{ кА}$$

Відповідь: $I_k=6,88\text{кА}$; $i_y=17,544\text{кА}$

Задача №8

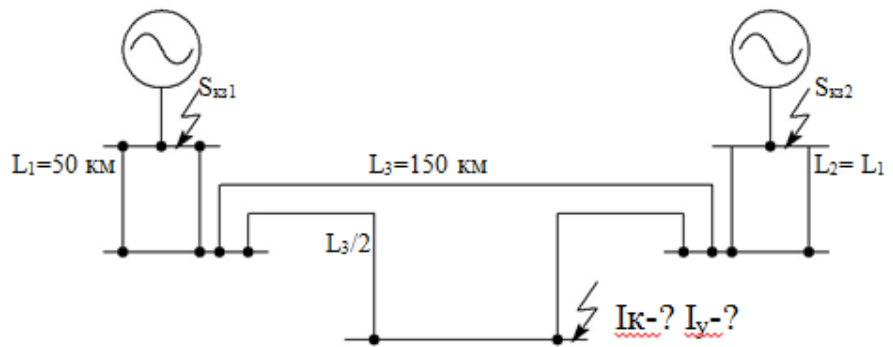
Методом відносних одиниць визначити стум к.з. для максимального режиму

Дано:

$$S_{кз1}=S_{кз2}=5000 \text{ МВА}$$

$$x_0=0,4 \text{ Ом/км}$$

Знайти: I_k -?; i_y -?



Розрахунок

Приймаємо базисну потужність $S_6=100 \text{ МВА}$.

Знаходимо базисний опір системи:

$$x_{*6с1} = x_{*6с2} = \frac{S_6}{S_{кз}} = \frac{100}{5000} = 0,02;$$

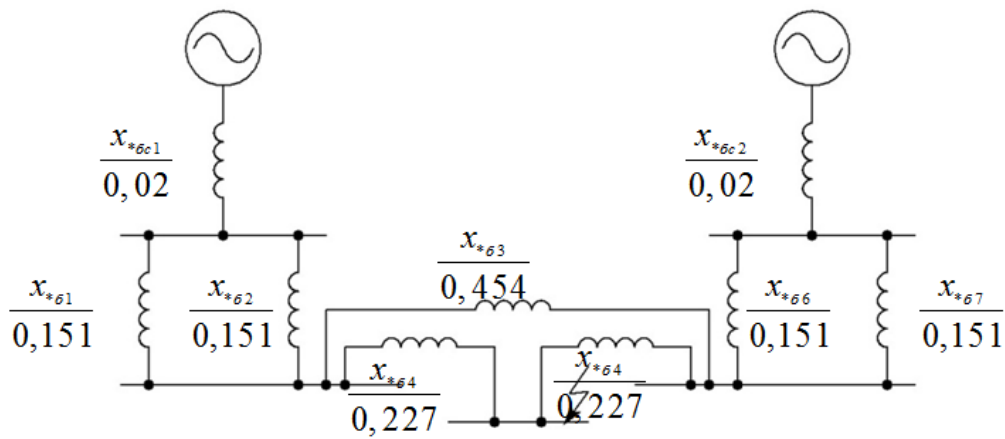
Знаходимо опори ліній:

$$x_{*61} = x_{*62} = x_{*66} = x_{*67} = x_0 \cdot L_1 \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot 50 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,151;$$

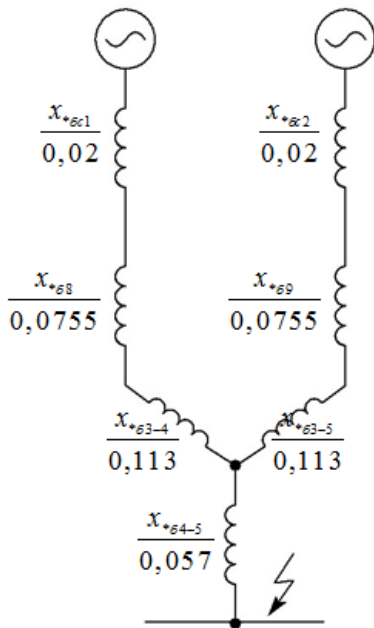
$$x_{*63} = x_0 \cdot L_3 \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot 150 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,454;$$

$$x_{*64} = x_{*65} = x_0 \cdot \frac{L_3}{2} \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot 75 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,227;$$

Зобразимо схему заміщення



Перетворимо трикутник в середині схеми у зірку і зобразимо схему заміщення:



$$x_{*68} = x_{*69} = \frac{x_{*61}}{2} = \frac{0,151}{2} = 0,0755;$$

$$x_{*63-4} = \frac{x_{*63} \cdot x_{*64}}{x_{*63} + x_{*64} + x_{*65}} = \frac{0,454 \cdot 0,227}{0,454 + 0,227 + 0,227} = 0,113;$$

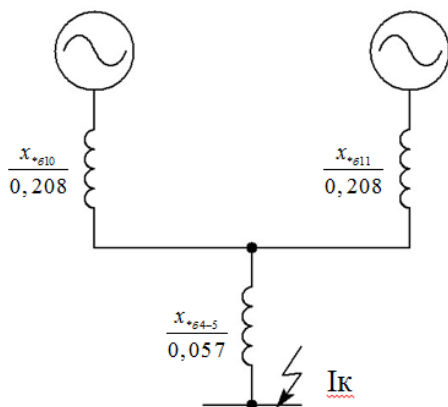
$$x_{*63-5} = \frac{x_{*63} \cdot x_{*65}}{x_{*63} + x_{*64} + x_{*65}} = \frac{0,454 \cdot 0,227}{0,454 + 0,227 + 0,227} = 0,113;$$

$$x_{*64-5} = \frac{x_{*64} \cdot x_{*65}}{x_{*63} + x_{*64} + x_{*65}} = \frac{0,227 \cdot 0,227}{0,454 + 0,227 + 0,227} = 0,057;$$

Згорнемо послідовно ділянки і зобразимо схему заміщення з урахуванням перетворень:

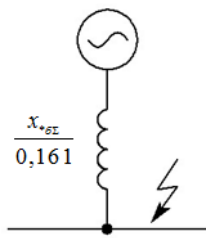
$$x_{*610} = x_{*6c1} + x_{*68} + x_{*63-4} = 0,02 + 0,0755 + 0,113 = 0,208;$$

$$x_{*611} = x_{*610} = 0,208$$



Знайдемо еквівалентний опір та зобразимо схему заміщення:

$$x_{*6\Sigma} = \frac{x_{*610}}{2} + x_{*64-5} = \frac{0,208}{2} + 0,057 = 0,161$$



Знайдемо базисний струм:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,502;$$

Знайдемо шукані величини I_k ; i_y .

$$I_k = \frac{I_6}{x_{*6\Sigma}} = \frac{0,502}{0,161} = 3,12 \text{ кА}$$

$$i_y = 2,55 \cdot I_k = 2,55 \cdot 3,12 = 7,956 \text{ кА}$$

Відповідь: $I_k=3,12 \text{ кА}$; $i_y=7,956 \text{ кА}$

Задача №9

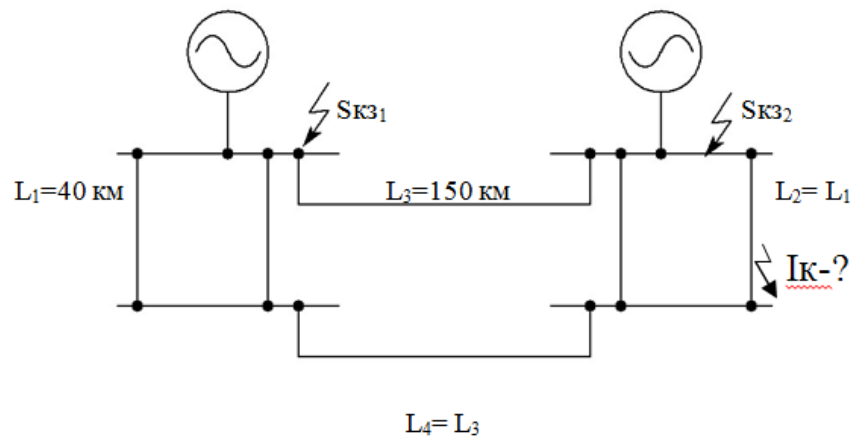
Дано:

$S_{кз1}=5000 \text{ МВА}$

$S_{кз2}=3000 \text{ МВА}$

$x_0=0,4 \text{ Ом/км}$

Знайти: I_k -?



Розрахунок

Приймемо базисну потужність $S_6=100 \text{ МВА}$.

Знайдемо базисні опори системи:

$$x_{*6c1} = \frac{S_6}{S_{кз}} = \frac{100}{5000} = 0,02;$$

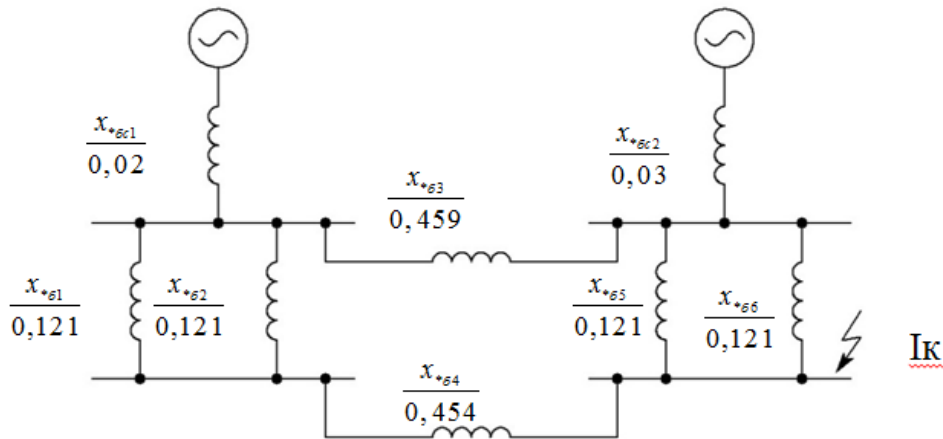
$$x_{*6c2} = \frac{S_6}{S_{кз}} = \frac{100}{3000} = 0,03;$$

Знайдемо опори ліній:

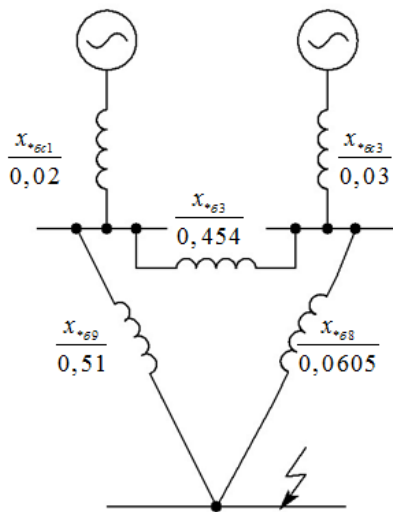
$$x_{*61} = x_{*62} = x_{*65} = x_{*66} = x_0 \cdot L_1 \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot 40 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,121;$$

$$x_{*63} = x_{*64} = x_0 \cdot L_3 \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot 150 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,454;$$

Зобразимо схему заміщення:



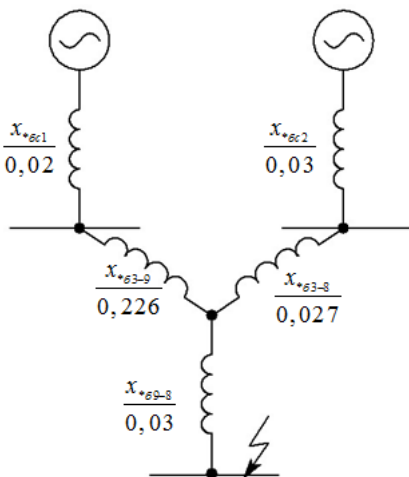
Згорнемо паралельні та послідовні ділянки на схемі:



$$x_{*67} = x_{*68} = \frac{0,121}{2} = 0,0605;$$

$$x_{*69} = x_{*67} + x_{*64} = 0,0605 + 0,454 = 0,51$$

Зробимо перетворення із трикутника в зірку:



$$x_{*63-9} = \frac{x_{*63} \cdot x_{*69}}{x_{*63} + x_{*69} + x_{*68}} = \frac{0,454 \cdot 0,51}{0,454 + 0,51 + 0,0605} = 0,226;$$

$$x_{*63-8} = \frac{x_{*63} \cdot x_{*68}}{x_{*63} + x_{*68} + x_{*69}} = \frac{0,454 \cdot 0,0605}{0,454 + 0,065 + 0,51} = 0,027;$$

$$x_{*69-8} = \frac{x_{*69} \cdot x_{*68}}{x_{*69} + x_{*68} + x_{*63}} = \frac{0,51 \cdot 0,0605}{0,454 + 0,0605 + 0,51} = 0,03;$$

$$x_{*610} = x_{*6c1} + x_{*63-9} = 0,02 + 0,226 = 0,246;$$

$$x_{*611} = x_{*6c2} + x_{*63-8} = 0,03 + 0,027 = 0,057$$

Знайдемо еквівалентний опір:

$$x_{*6\Sigma} = \frac{x_{*610} \cdot x_{*611}}{x_{*610} + x_{*611}} + x_{*69-8} = \frac{0,246 \cdot 0,057}{0,246 + 0,057} + 0,03 = 0,076;$$

Знайдемо базисний струм:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,502;$$

Знайдемо струм короткого замикання:

$$I_k = \frac{I_6}{x_{*6\Sigma}} = \frac{0,502}{0,076} = 6,6 \text{ кА}$$

Відповідь: $I_k = 6,6 \text{ кА}$

Задача №10

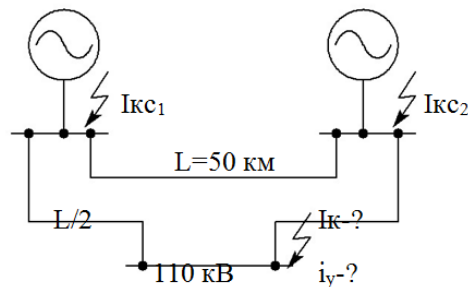
Методом відносних одиниць визначити струм к.з.

Дано:

$$I_{kc1} = I_{kc2} = 8 \text{ кА}$$

$$x_0 = 0,4 \text{ Ом/км}$$

Знайти: I_k - ? i_y - ?



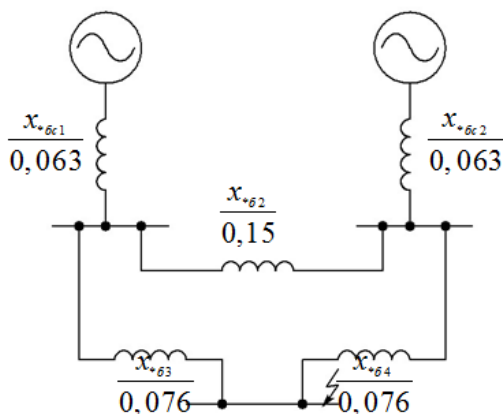
Розрахунок

Прийнемо базисну потужність $S_6 = 100 \text{ МВА}$.

Знайдемо базисний струм:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}} = \frac{100}{115 \cdot \sqrt{3}} = 0,502$$

Зобразимо схему заміщення:



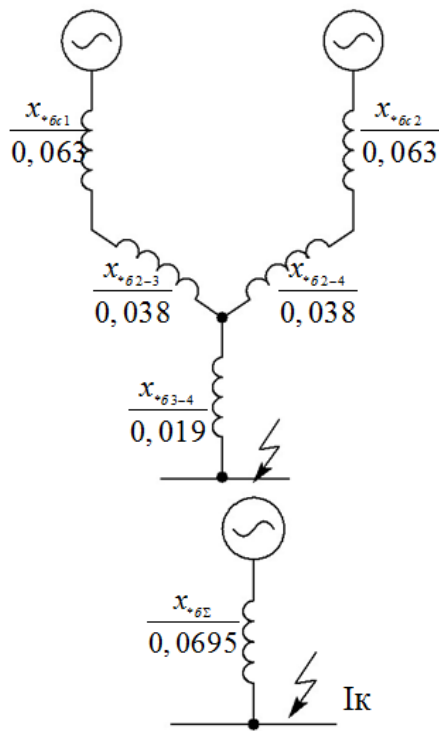
Знайдемо базисні опори системи:

$$x_{*6c1} = x_{*6c2} = \frac{0,502}{8} = 0,063$$

Знайдемо опори в лініях

$$x_{*62} = x_0 \cdot L \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot 50 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,15;$$

$$x_{*63} = x_{*64} = x_0 \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot 25 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,076;$$



Перетворюємо трикутник в зірку:

$$x_{*62-3} = \frac{x_{*62} \cdot x_{*63}}{x_{*63} + x_{*62} + x_{*64}} = \frac{0,15 \cdot 0,076}{0,15 + 0,076 + 0,076} = 0,038;$$

$$x_{*62-4} = \frac{x_{*62} \cdot x_{*64}}{x_{*63} + x_{*62} + x_{*64}} = \frac{0,15 \cdot 0,076}{0,15 + 0,076 + 0,076} = 0,038;$$

$$x_{*63-4} = \frac{x_{*63} \cdot x_{*64}}{x_{*63} + x_{*62} + x_{*64}} = \frac{0,076 \cdot 0,076}{0,15 + 0,076 + 0,076} = 0,019;$$

Зобразимо схему заміщення згідно з перетвореннями.

Знайдемо еквівалентний опір системи:

$$x_{*6\Sigma} = \frac{x_{*62-1} + x_{*62-3}}{2} + x_{*63-4} = \frac{0,063 + 0,038}{2} + 0,019 = 0,0695;$$

Знайдемо шукані величини I_k ; i_y .

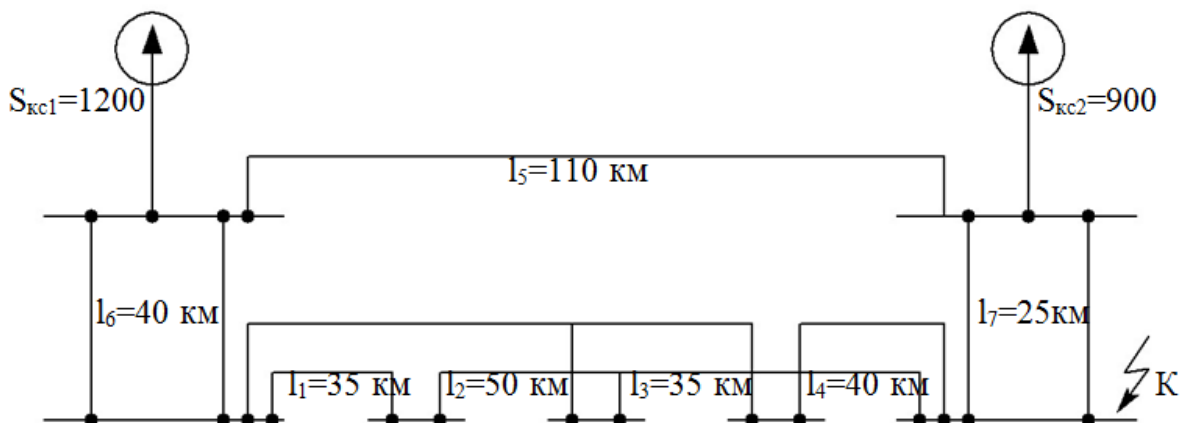
$$I_k = \frac{I_6}{x_{*6\Sigma}} = \frac{0,502}{0,0695} = 7,223 \text{ кА}$$

$$i_y = 2,55 \cdot I_k = 2,55 \cdot 7,223 = 18,42 \text{ кА}$$

Відповідь: $I_k=7,223 \text{ кА}$; $i_y=18,42 \text{ кА}$

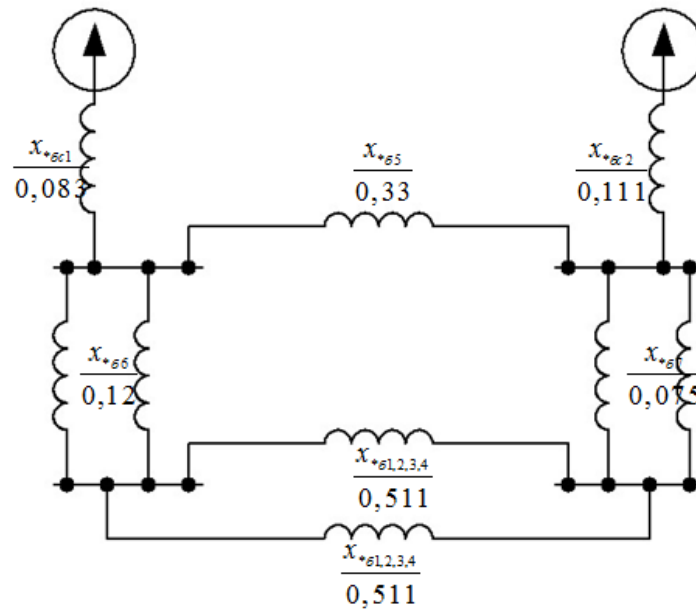
Задача №11

Методом відносних одиниць визначити струм к.з. та ударний струм в заданій точці. $x_0=0,4 \text{ Ом/км}$, всі інші вихідні дані представлені на схемі (розрахункова підстанція – опорна).



Розрахунок

Зобразимо схему заміщення:



Знайдемо базисні опори системи:

$$x_{*6c1} = \frac{S_6}{S_{kc1}} = \frac{100}{1200} = 0,083$$

$$x_{*6c2} = \frac{S_6}{S_{kc2}} = \frac{100}{900} = 0,111$$

Знайдемо опори ліній:

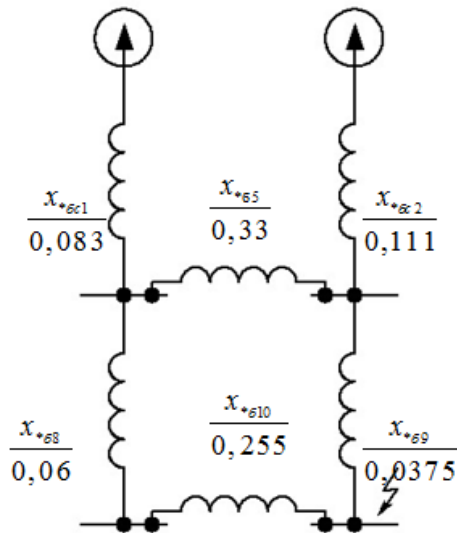
$$x_{*61,2,3,4} = x_0 \cdot (l_1 + l_2 + l_3 + l_4) \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot (35 + 50 + 45 + 40) \cdot \frac{100}{115^2} = 0,511$$

$$x_{*65} = x_0 \cdot l_5 \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot 110 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,33$$

$$x_{*66} = x_0 \cdot l_6 \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot 40 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,12$$

$$x_{*67} = x_0 \cdot l_7 \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot 25 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,075$$

Згорнемо схему заміщення:

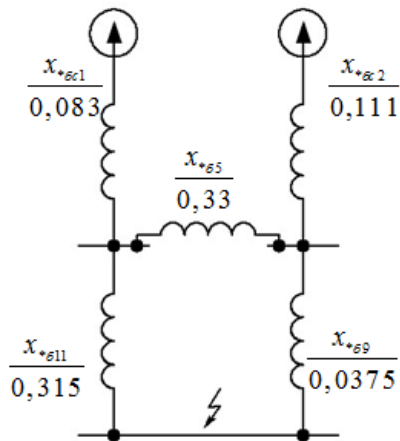


$$X_{*68} = \frac{X_{*66}}{2} = \frac{0,12}{2} = 0,06$$

$$X_{*69} = \frac{X_{*67}}{2} = \frac{0,075}{2} = 0,0375$$

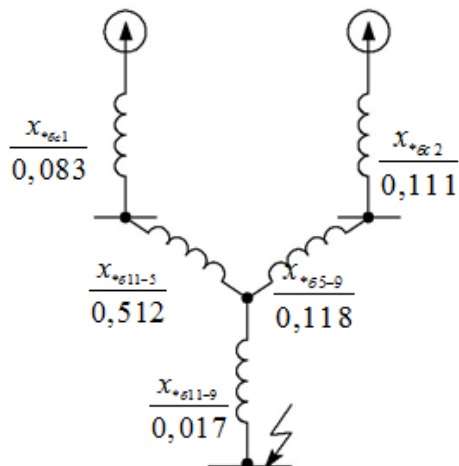
$$X_{*610} = \frac{X_{*61}}{2} = \frac{0,511}{2} = 0,255$$

Проведемо наступні перетворення схеми та згорнемо опори 8 та 10



$$X_{*611} = X_{*68} + X_{*610} = 0,06 + 0,255 = 0,315$$

Зробимо перетворення із «трикутника» в «зірку»:

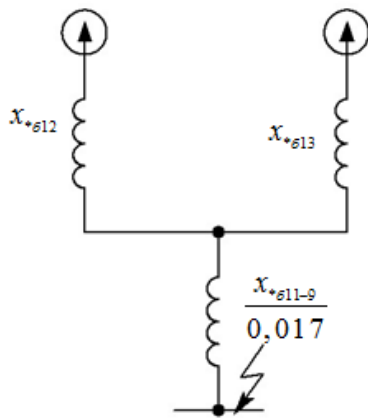


$$X_{*611-5} = \frac{X_{*611} \cdot X_{*65}}{X_{*611} + X_{*65} + X_{*69}} = 0,512$$

$$X_{*65-9} = \frac{X_{*69} \cdot X_{*65}}{X_{*611} + X_{*65} + X_{*69}} = 0,118$$

$$X_{*611-9} = \frac{X_{*611} \cdot X_{*69}}{X_{*611} + X_{*65} + X_{*69}} = 0,017$$

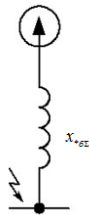
Згорнемо схему заміщення:



$$X_{*612} = X_{*6c1} + X_{*611-5} = 0,235$$

$$X_{*613} = X_{*6c2} + X_{*65-9} = 0,129$$

Знайдемо еквівалентний опір системи:



$$X_{*6\Sigma} = \frac{X_{*613} \cdot X_{*612}}{X_{*613} + X_{*612}} + X_{*611-9} = 0,133$$

Знайдемо шукані величини I_k , i_y :

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,502 \text{ кА}$$

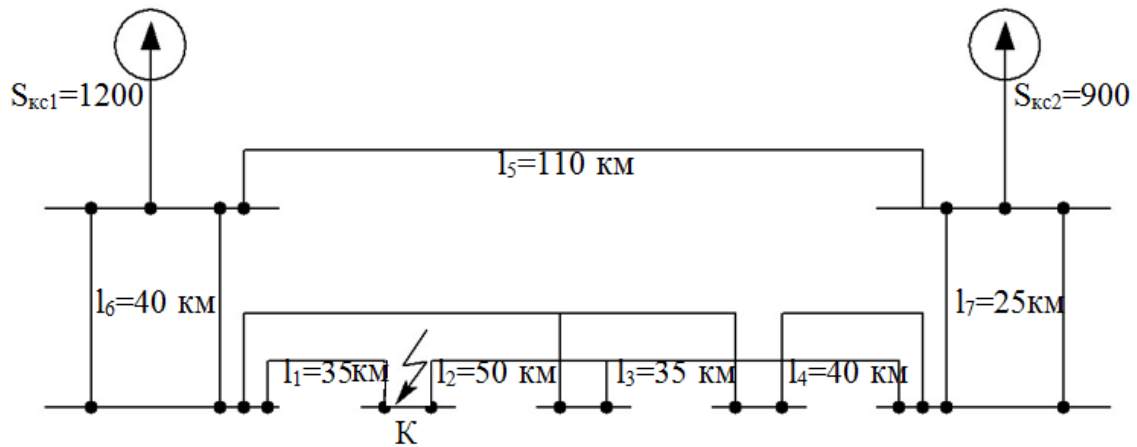
$$I_k = \frac{I_6}{X_{*6\Sigma}} = \frac{0,502}{0,133} = 3,77 \text{ кА}$$

$$i_y = 2,55 \cdot I_k = 2,55 \cdot 3,77 = 9,6 \text{ кА}$$

Відповідь: $I_k=3,77 \text{ кА}$, $i_y=9,6 \text{ кА}$

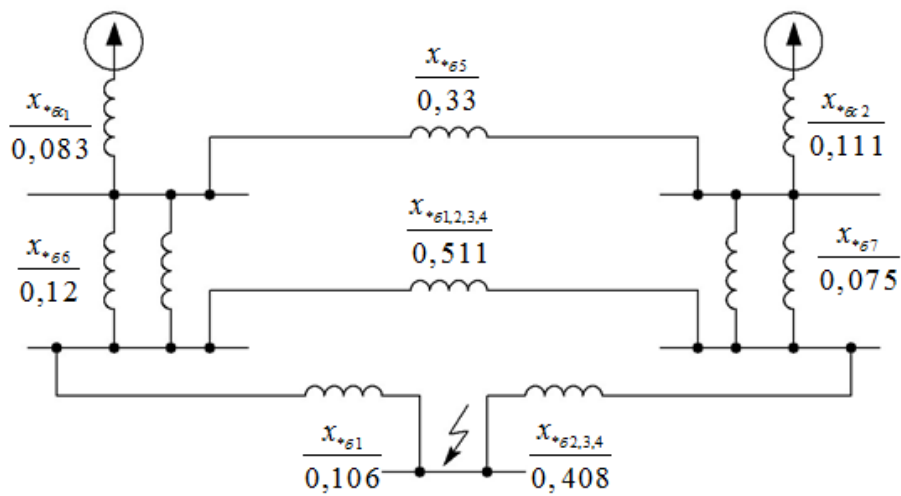
Задача № 12

Методом відносних одиниць визначити струм к.з. та ударний струм в заданій точці. Всі вихідні дані представлені на схемі (схема та вихідні дані з задачі 11, але інша розрахункова підстанція, транзитна).



Розрахунок

Зобразимо схему заміщення:



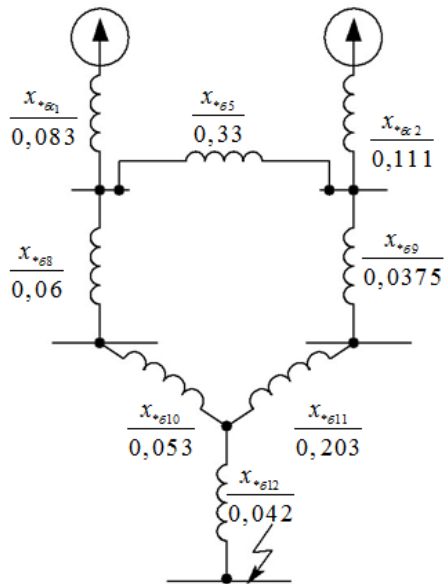
Частина опорів вже була розрахована в задачі 11.

Розрахуємо недостаючі опори ділянок:

$$x_{*G1} = x_0 \cdot l_1 \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot 35 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,106$$

$$x_{*G2,3,4} = x_0 \cdot (l_2 + l_3 + l_4) \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot (50 + 35 + 40) \cdot \frac{100}{115^2} = 0,408$$

Згорнемо схему заміщення:

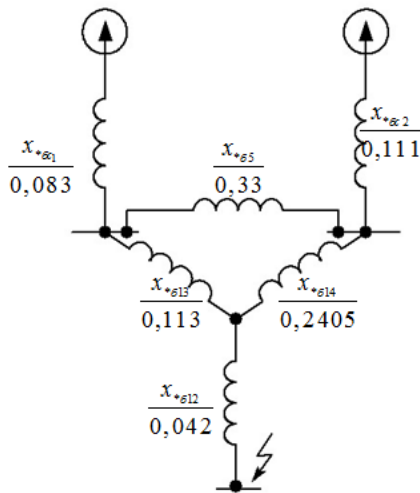


$$X_{*610} = \frac{X_{*61} \cdot X_{*61,2,3,4}}{X_{*61} + X_{*61,2,3,4} + X_{*62,3,4}} = 0,053$$

$$X_{*611} = \frac{X_{*61,2,3,4} \cdot X_{*62,3,4}}{X_{*61} + X_{*61,2,3,4} + X_{*62,3,4}} = 0,203$$

$$X_{*612} = \frac{X_{*61} \cdot X_{*62,3,4}}{X_{*61} + X_{*61,2,3,4} + X_{*62,3,4}} = 0,042$$

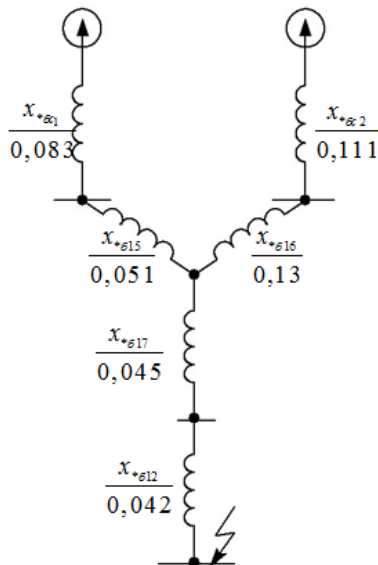
Проведемо наступні перетворення схеми:



$$X_{*613} = X_{*6c8} + X_{*610} = 0,113$$

$$X_{*614} = X_{*6c9} + X_{*611} = 0,2405$$

Згорнемо схему заміщення:

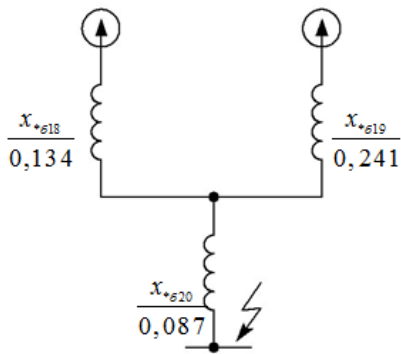


$$X_{*615} = \frac{X_{*613} \cdot X_{*65}}{X_{*613} + X_{*65} + X_{*614}} = 0,051$$

$$X_{*616} = \frac{X_{*65} \cdot X_{*614}}{X_{*613} + X_{*65} + X_{*614}} = 0,13$$

$$X_{*617} = \frac{X_{*613} \cdot X_{*614}}{X_{*613} + X_{*65} + X_{*614}} = 0,045$$

Проведемо наступні перетворення схеми:

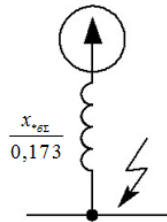


$$X_{*618} = X_{*6c1} + X_{*615} = 0,134$$

$$X_{*619} = X_{*6c2} + X_{*616} = 0,241$$

$$X_{*620} = X_{*6c17} + X_{*612} = 0,087$$

Знайдемо еквівалентний опір:



$$X_{*6Σ} = \frac{X_{*618} \cdot X_{*619}}{X_{*618} + X_{*619}} + X_{*620} = 0,173$$

Знайдемо шукані величини I_k , i_y :

$$I_k = \frac{I_6}{X_{*6Σ}} = \frac{0,502}{0,173} = 2,9 \text{ кА}$$

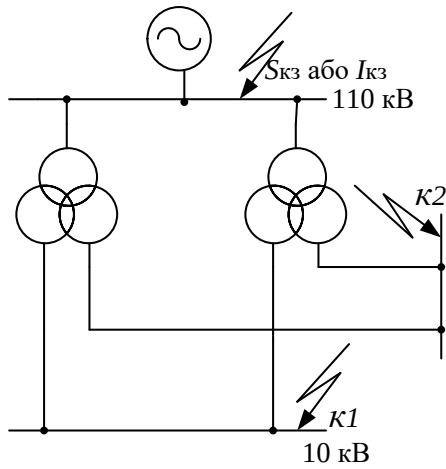
$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,502 \text{ кА}$$

$$i_y = 2,55 \cdot I_k = 2,55 \cdot 2,9 = 7,4 \text{ кА}$$

Відповідь: $I_k=2,9 \text{ кА}$, $i_y=7,4 \text{ кА}$

3 ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

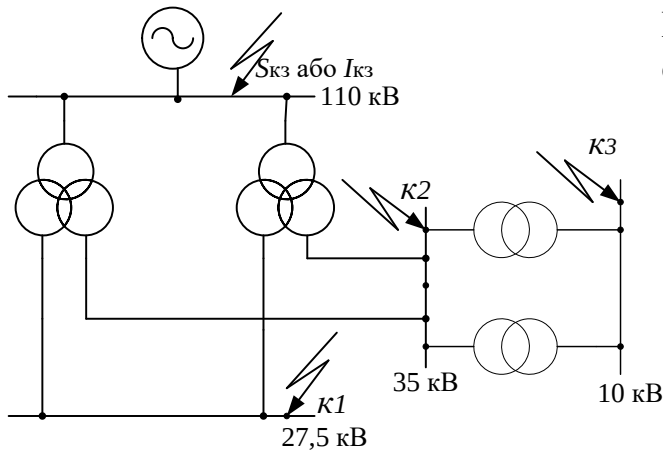
Задача 1



Методом відносних одиниць визначити струм к.з. та ударний струм

Варіант	$S_{кз}$, МВА	$I_{кз}$, кА	Тип трансформатора	$u_{кВС}$, %	$u_{кВН}$, %	$u_{кСН}$, %	Знайти
1	1800	-	ТДТН-6000/110У1	10,5	17,5	6,5	$I_{к1}-?$; $i_{y1}-?$
2	-	7					$I_{к2}-?$; $i_{y2}-?$
3	2300	-	ТДТН-25000/110У1	10,5	18	6,5	$I_{к1}-?$; $i_{y1}-?$
4	-	9					$I_{к2}-?$; $i_{y2}-?$

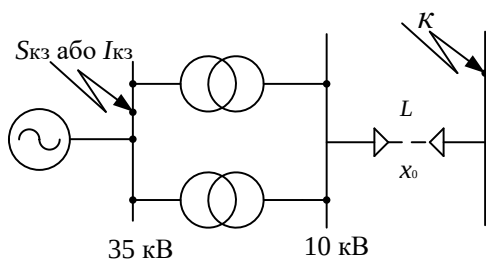
Задача 2



Методом відносних одиниць визначити струм к.з. та ударний струм

Варіант	$S_{кз}$, МВА	$I_{кз}$, кА	Тип трансформатора	$u_{кВС}$, %	$u_{кВН}$, %	$u_{кСН}$, %	Тип трансформатора	$u_{к}$, %	Знайти
1	-	10	ТДТНЖ-25000/110У1	18	10,5	6,8	ТМ-1000/35У1	6,5	$I_{к2}-?$; $i_{y2}-?$
2	2400	-					ТМ-4000/35У1	7,5	$I_{к3}-?$; $i_{y3}-?$
3	-	12	ТДТНЖ-40000/110У1	18	10,5	6,8	ТМ-1000/35У1	6,5	$I_{к2}-?$; $i_{y2}-?$
4	2700	-					ТМ-4000/35У1	7,5	$I_{к3}-?$; $i_{y3}-?$

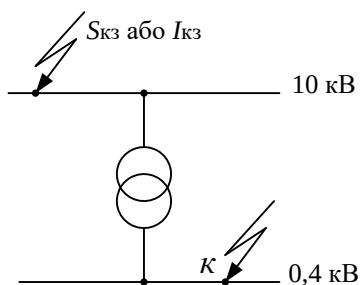
Задача 3



Методом відносних одиниць визначити струм к.з. та ударний струм

Варіант	$S_{кз}$, МВА	$I_{кз}$, кА	Тип трансформатора	u_k , %	Знайти
1	-	4	ТМ-1600/35У1	6,5	$I_{к-?}; i_{у-?}$
2	1200	-	ТМ-6300/35У1	7,5	$I_{к-?}; i_{у-?}$
3	-	6	ТМ-1600/35У1	6,5	$I_{к-?}; i_{у-?}$
4	1500	-	ТМ-6300/35У1	7,5	$I_{к-?}; i_{у-?}$

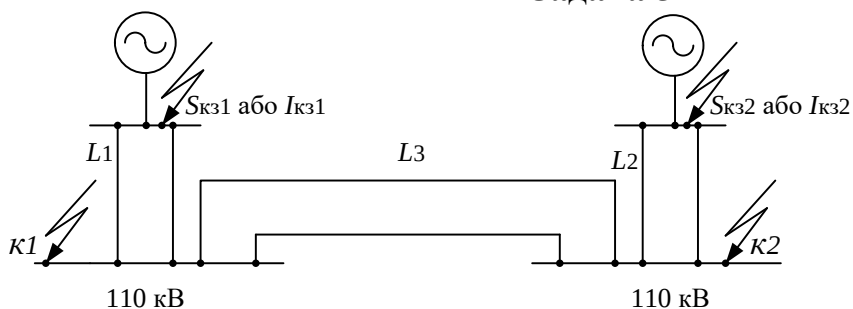
Задача 4



Методом відносних одиниць визначити струм к.з. та ударний струм

Варіант	$S_{кз}$, МВА	$I_{кз}$, кА	Тип трансформатора	u_k , %	Знайти
1	-	9	ТМ-250/10У1	4,5	$I_{к-?}; i_{у-?}$
2	1900	-	ТМ-630/10У1	5,5	$I_{к-?}; i_{у-?}$
3	-	11	ТМ-250/10У1	4,5	$I_{к-?}; i_{у-?}$
4	2100	-	ТМ-630/10У1	5,5	$I_{к-?}; i_{у-?}$

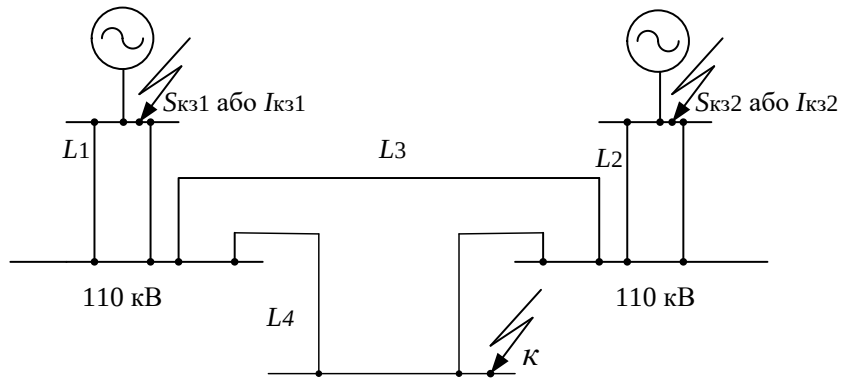
Задача 5



Методом відносних одиниць визначити струм к.з. та ударний струм

Варіант	$S_{кз1}$, МВА	$S_{кз2}$, МВА	$I_{кз1}$, кА	$I_{кз2}$, кА	$L1$, км	$L2$, км	$L3$, км	X_0 , Ом/км	Знайти
1	-	-	12	14	50	47	140	0,4	$I_{к1-?}; i_{у1-?}$
2	2200	1700	-	-	48	49	130	0,5	$I_{к2-?}; i_{у2-?}$
3	-	-	11	10	51	52	120	0,3	$I_{к1-?}; i_{у1-?}$
4	1900	2400	-	-	50	48	135	0,6	$I_{к2-?}; i_{у2-?}$

Задача 6

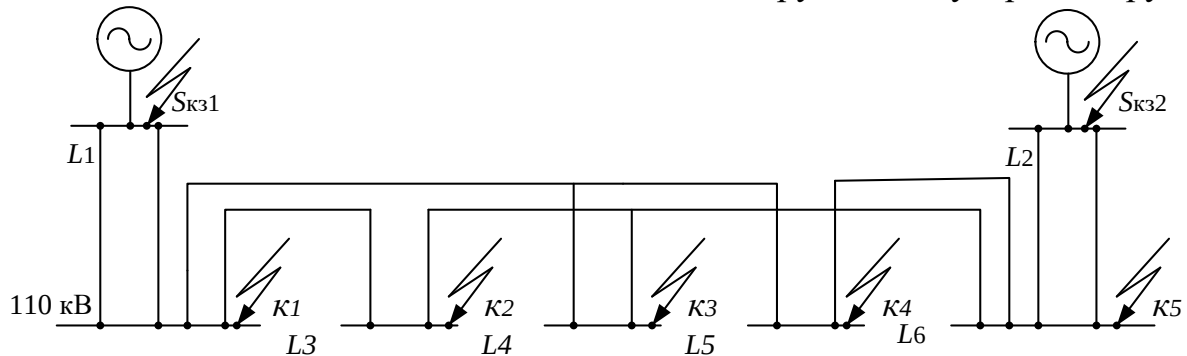


Методом відносних одиниць визначити струм к.з. та ударний струм

Варіант	S_{K31} , MBA	S_{K32} , MBA	I_{K31} , кА	I_{K32} , кА	$L1=L2$, км	$L4$, км	$L3$, км	X_0 , Ом/км	Знайти
1	-	-	14	15	50	47	140	0,4	$I_{K-?}; i_{y-?}$
2	2100	1800	-	-	48	49	130	0,5	$I_{K-?}; i_{y-?}$
3	-	-	16	17	51	52	120	0,3	$I_{K-?}; i_{y-?}$
4	1000	2300	-	-	50	48	135	0,6	$I_{K-?}; i_{y-?}$

Задача 7

Методом відносних одиниць визначити струм к.з. та ударний струм



Варіант	S_{K31} , MBA	S_{K32} , MBA	$L1$, км	$L2$, км	$L3$, км	$L4$, км	$L5$, км	$L6$, км	X_0 , Ом/км	Знайти
1	1900	1800	30	35	50	47	50	48	0,4	$I_{K1-?}; i_{y1-?}$
2	2100	2000	40	42	48	49	47	50	0,5	$I_{K2-?}; i_{y2-?}$
3	2300	2350	45	47	47	46	50	44	0,3	$I_{K3-?}; i_{y3-?}$
4	2100	2200	46	48	50	48	46	50	0,6	$I_{K4-?}; i_{y4-?}$
5	2400	2300	44	43	50	47	46	49	0,4	$I_{K5-?}; i_{y5-?}$

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Тягові підстанції електрифікованих залізниць : навч. посіб. / Т. І. Друбецька, А. М. Бойко. – Київ : видавець ФОП Піча Ю.В., 2022. – 338 с. – ISBN 978-966-96914-5-3.
2. Електрична частина станцій і підстанцій : навч. посібник/ Є. І. Бардик, М. П. Лукаш – К. : НТТУ «КПІ», 2011 – 220 с.
3. Камишинський О. М., Овчинников В. Є. Електричні станції та підстанції залізниць. – Харків : Корпорація «Техностандарт», 2008. – 304 с.

Навчально-методичне видання

ТЯГОВІ ТА ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ

Методичні рекомендації до практичних занять

Редактор В. С. Пасічна
Комп'ютерна верстка В. С. Пасічна

Формат 60x84 _{1/16}. Ум. друк. арк. 2,26. Обл.-вид. арк. 0,44.
Замовлення № 9

Український державний університет науки і технологій
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:
вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010