

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Ректор НУХТ,

проф. _____ А.І.Українець

(Підпис)

«_____» _____ 2017 р.

**ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ
В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до практичних занять

для студентів

освітнього ступеня «бакалавр»

**спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
денної та заочної форм навчання**

Всі цитати, цифровий та фактичний матеріал, бібліографічні відомості перевірені. Написання одиниць відповідає стандартам

Підпис(и) автора(ів) _____

“ _____ ” _____ 20__ р.

Реєстраційний номер
електронних методичних
рекомендацій в НМУ

34.29 - 03.07.2017

СХВАЛЕНО

на засіданні кафедри
електропостачання та
енергоменеджменту
Протокол №15
від 16.06.2017р.

Перехідні процеси в системах електропостачання:[Електронний ресурс] Методичні рекомендації до практичних занять для студентів освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» ден. та заоч. форм навч./ уклад.: С.М.Балюта, Л.О.Копилова, І.Ю. Литвин. – К.:НУХТ, 2017. – 92с.

Рецензент: **Д.М. Семко**, канд.техн.наук

Укладачі: **Балюта С.М.**, д-р техн.наук
Копилова Л.О.
Литвин І.Ю.

Відповідальний за випуск **С.М. Балюта**, д-р техн. наук, проф.

Подається в авторській редакції

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП | 4 |
| ЗАГАЛЬНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ | 4 |
| ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 1. Складання еквівалентної схеми заміщення і розрахунок параметрів її елементів | 6 |
| ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 2. Перетворення еквівалентної схеми заміщення | 9 |
| ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 3. Розрахунок діючих значень періодичної складової струму і потужності в точці КЗ для початкового моменту часу | 14 |
| ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 4. Розрахунок діючого значення періодичної складової струму для довільного моменту часу за методом розрахункових кривих | 19 |
| ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 5. Розрахунок діючого значення періодичної складової струму для довільного моменту часу за методом типових кривих | 25 |
| ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 6. Розрахунок діючого значення періодичної складової струму КЗ для сталого режиму (I _н □)..... | 32 |
| ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 7. Розрахунок миттєвого значення аперіодичної складової струму в точці КЗ для заданого моменту часу | 36 |
| ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 8. Визначення миттєвого і діючого значень ударного струму КЗ..... | 39 |
| ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 9. Визначення діючого значення періодичної складової струму в місці несиметричного КЗ для моменту часу t , методом спрямлених характеристик | 42 |
| ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 10. Визначення діючого значення періодичної складової струму при короткому замиканні в мережі до 1000 В..... | 53 |
| ЗАДАЧІ ДЛЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ..... | 63 |
| СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ | 92 |

ВСТУП

Ці методичні рекомендації призначені для використання викладачами і студентами при проведенні практичних занять з курсу “Перехідні процеси в системах електропостачання”.

Методичні рекомендації містять у собі практичні методи і порядок розрахунку струмів симетричних і несиметричних коротких замикань (КЗ), а також табличні й графічні залежності, необхідні при інженерних розрахунках електромагнітних перехідних процесів, та завдання для студентів.

При розрахунках струмів короткого замикання допускається:

- 1) не враховувати зсув за фазою ЕРС різних синхронних машин і зміну їхньої частоти обертання, якщо тривалість КЗ не перевищує 0,5с;
- 2) не враховувати міжсистемні зв'язки, виконані за допомогою електропередачі постійного струму;
- 3) не враховувати поперечну ємність повітряних ліній електропередачі напругою 110-220 кВ, якщо їх довжина не перевищує 200 км, та напругою 330-500кВ, якщо їх довжина не перевищує 150 км;
- 4) не враховувати насичення магнітних систем електричних машин;
- 5) не враховувати струми намагнічування трансформаторів і автотрансформаторів;
- 6) не враховувати вплив активних опорів різних елементів вихідної розрахункової схеми на амплітуду періодичної складової струму КЗ, якщо активна складова результуючого еквівалентного опору розрахункової схеми відносно точки КЗ не перевищує 30 % від індуктивної складової результуючого еквівалентного опору;
- 7) наближено враховувати загасання аперіодичної складової струму КЗ, якщо вихідна розрахункова схема містить кілька незалежних контурів.

ЗАГАЛЬНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

Відповідно до навчальної програми з курсу “Перехідні процеси в системах електропостачання” заплановано 16 годин аудиторних практичних занять для студентів денної форми навчання і 4 години – для заочної форми навчання.

Перелік цих занять наведений нижче.

Заняття 1. Складання еквівалентної схеми заміщення і розрахунок параметрів її елементів.

Заняття 2. Перетворення еквівалентної схеми заміщення.

Заняття 3. Розрахунок діючих значень періодичної складової струму в точці КЗ для початкового моменту часу.

Заняття 4. Розрахунок діючого значення періодичної складової струму для довільного моменту часу за методом розрахункових кривих.

Заняття 5. Розрахунок діючого значення періодичної складової струму для довільного моменту часу за методом типових кривих.

Заняття 6. Розрахунок діючого значення періодичної складової струму КЗ для сталого режиму.

Заняття 7. Визначення миттєвого й діючого значень ударного струму КЗ.

Заняття 8. Визначення діючого значення періодичної складової струму в місці несиметричного КЗ для моменту часу t , методом спрямлених характеристик.

Заняття 9. Визначення діючого значення періодичної складової струму в заданому перерізі й напруги в заданому вузлі для моменту часу t , побудова векторних діаграм.

Заняття 10. Визначення діючого значення періодичної складової струму при короткому замиканні в мережі до 1000 В.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 1.

Тема: Складання еквівалентної схеми заміщення і розрахунок параметрів її елементів

Мета: навчити студентів, маючи розрахункову схему, скласти еквівалентну схему заміщення та визначити параметри її елементів

Теоретичні положення

Схему заміщення складають на основі розрахункової схеми електричної системи. Приклад розрахункової схеми наведено на рис. 1.1.

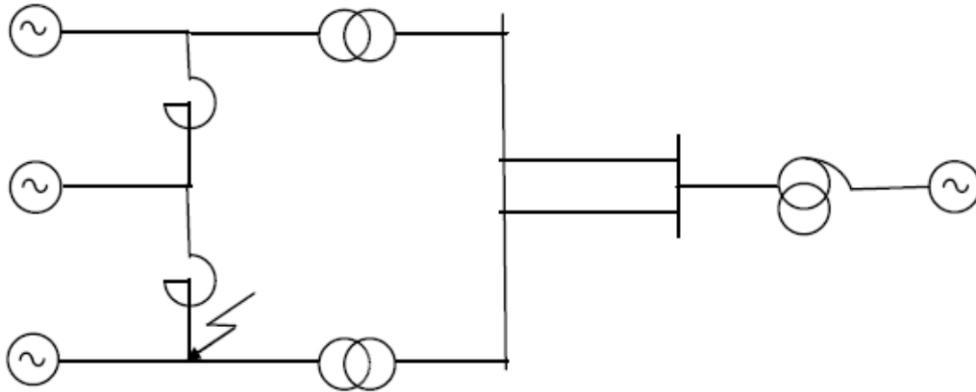


Рис. 1.1 – Розрахункова схема електричної системи

Кожен опір елемента схеми заміщення позначається у вигляді дроби – у чисельнику вказують порядковий номер опору, у знаменнику – величина опору (рис.1.2).

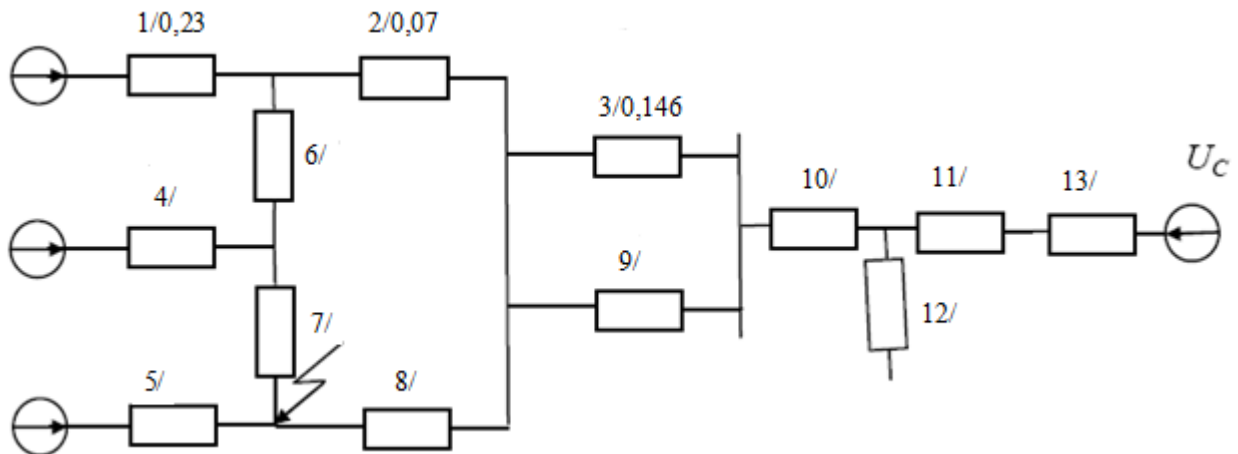


Рис. 1.2 – Схема заміщення електричної системи

Розрахунок параметрів елементів еквівалентної схеми заміщення в мережах вище 1кВ рекомендують здійснювати у відносних одиницях (в.о.) за формулами наближеного приведення. Довільно задають базисну потужність S_6 (МВА) і базисну напругу U_6 (кВ). Рекомендується приймати $S_6 = 100$ МВА, $U_6 = U_{ср}$ – рівним середній напрузі ступені.

Середню напругу для ступені визначають відповідно до наступної шкали: 1115; 770; 515; 340; 230; 154; 115; 37; 27; 24; 20; 18; 15,75; 13,8; 10,5; 6,3; 3,15 (кВ) [1].

Розрахунок опорів елементів схеми заміщення, приведених до ступені КЗ, обчислюють за формулами:

опір генератора:

$$x_{Г\delta}^{\circ*} = x_{ГН}^{\bullet*} \frac{S_{\delta}}{S_{ГНОМ}} \quad (1.1)$$

опір двохобмоткового трансформатора:

$$x_{Т\delta}^{\circ*} = \frac{u_k(\%) S_{\delta}}{100 S_{ТНО}} \quad (1.2)$$

опір триобмоткового трансформатора або автотрансформатора

$$x_{ТВ\delta}^{\circ*} = \frac{u_{kВ}(\%) S_{\delta}}{100 S_{ТНО}}; x_{ТС\delta}^{\circ*} = \frac{u_{kС}(\%) S_{\delta}}{100 S_{ТНО}}; x_{ТН\delta}^{\circ*} = \frac{u_{kН}(\%) S_{\delta}}{100 S_{ТНО}}, \quad (1.3)$$

де

$$u_{kВ}(\%) = 0,5 \cdot (u_{kBC} + u_{kВН} - u_{kСН})\%$$

$$u_{kС}(\%) = 0,5 \cdot (u_{kBC} + u_{kСН} - u_{kВН})\%$$

$$u_{kН}(\%) = 0,5 \cdot (u_{kВН} + u_{kСН} - u_{kBC})\%$$

Якщо напруга КЗ будь-якої з обмоток виходить рівною нулю чи менше нуля, то опір відповідної обмотки трансформатора приймають рівним нулю.

Опір реактора

$$x_{*p}^{\circ} = \frac{x_p(\%) U_{ном} I_{\delta V}}{100 I_{ном} U_{сер}}, \quad (1.4)$$

де $U_{сер}$ – середня напруга ступіні, на якій встановлений реактор.

Опір лінії

$$x_{*л\delta}^{\circ} = \frac{1}{n} x_{yo} l \frac{S_{\delta}}{U_{срі}^2}; \quad (1.5)$$

Опір навантаження

$$x_{нНAB\delta}^{\circ*} = x_{нав}^{\bullet*} \frac{S_{\delta}}{S_{НАВНОМ}} \quad (1.6)$$

Опір системи:

при відомій потужності короткого замикання

$$x_{C\delta}^{\circ*} = \frac{S_{\delta}}{S_{КЗ}} \quad (1.7)$$

при відомій номінальній потужності й відносному опорі

$$x_{C\delta}^{\circ*} = x_{*c}^{\bullet*} \frac{S_{\delta}}{S_{СНО}} \quad (1.8)$$

при відомій номінальній напрузі й опорі в іменованих одиницях

$$x_{C\delta}^{\circ*} = x_c^{\bullet*} \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2} \quad (1.9)$$

для системи нескінченної потужності

$$x_{C\delta}^{\circ*} = 0 \quad (1.10)$$

Примітки:

Індекси, використані в попередніх формулах, означають:

“о ” – значення, приведені до основної ступені напруги (ступені КЗ) і до базисних умов;

“*” – відносне значення;

“.” – значення, приведені до номінальних умов.

Розрахунки виконувати з точністю до другого десяткового знака для значень >1 або до третього знака для значень <1 .

Завдання.

Для схеми, наведеної в додатку, виконати розрахунок параметрів еквівалентної схеми заміщення.

Номер схеми та вихідні дані відповідають варіанту і наведені в додатку. Номер варіанту задасться викладачем.

Питання для самоперевірки

1. Охарактеризуйте основні види коротких замикань в електричних мережах, ймовірність їх виникнення.

2. Поясніть необхідність застосування припущень при розрахунках електромагнітних перехідних процесів.

4. Що таке замикання і коротке замикання в електричній мережі?

6. Наведіть порядок розрахунку параметрів схеми заміщення у іменованих одиницях.

7. Наведіть порядок розрахунку параметрів схеми заміщення у відносних одиницях.

8. Як зробити розрахунок параметрів схеми заміщення у відносній системі одиниць з використанням точних формул приведення?

9. Які основні параметри трансформатора? Як силові трансформатори вводяться в схему заміщення для розрахунку перехідного процесу?

10. Особливості врахування системи необмеженої потужності при розрахунку електромагнітних перехідних процесів в електричних мережах.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 2.

Тема: Перетворення еквівалентної схеми заміщення

Мета: навчити студентів перетворювати еквівалентну схему заміщення шляхом спрощення опорів її елементів.

Теоретичні положення

Для обчислення струму в місці короткого замикання складену схему заміщення необхідно згорнути (спростити) щодо точки КЗ до вигляду

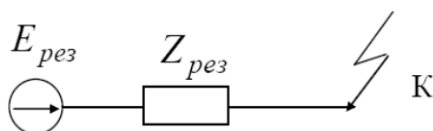


Рис. 2.1 – Спрощена схема заміщення електричної системи

В окремому випадку, коли схема заміщення не містить замкнутих контурів і в ній є одне чи кілька джерел з однаковими ЕРС, її можна привести до найпростішого вигляду шляхом послідовного і рівнобіжного додавання елементів. У загальному випадку для такого спрощення використовують ряд додаткових перетворень. До них відносяться перетворення трикутника в зірку чи навпаки, заміна гілок, що генерують, з різними ЕРС, приєднаних до загального вузла, однієї еквівалентної. Формули таких перетворень наведені в табл. 2.1.

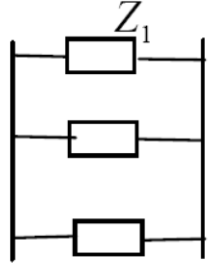
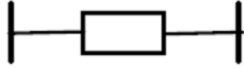
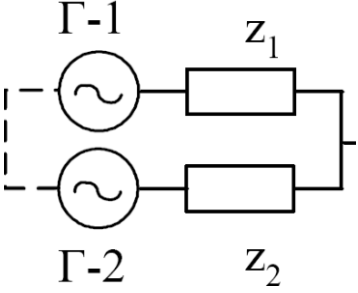
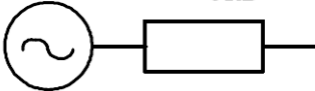
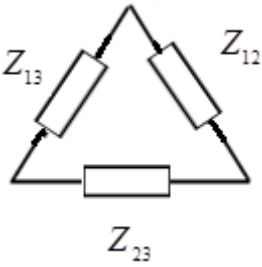
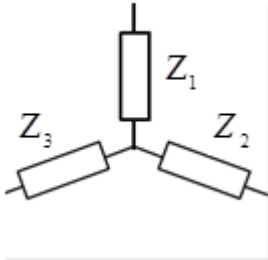
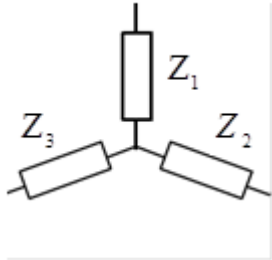
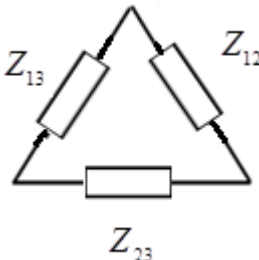
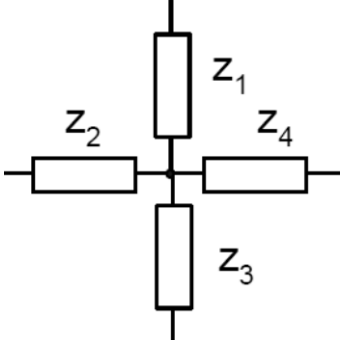
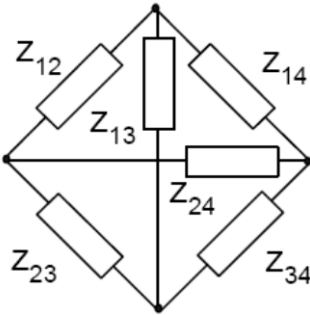
Рекомендації, якими слід керуватися при перетворенні схем заміщення:

1. Аварійну гілку слід зберегти до кінця перетворення, тому що завданням розрахунку струму КЗ є визначення струму безпосередньо в цій аварійній гілці чи в місці КЗ.

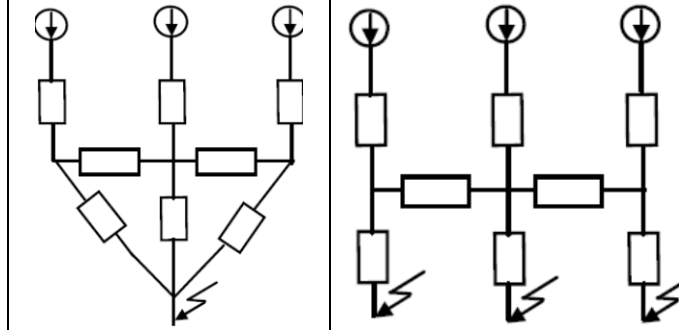
2. Якщо трифазне КЗ відбувається у вузлі, в якому сходяться кілька гілок, тоді схему можна розрізати по цьому вузлу, зберігши умову КЗ на кінці кожної з гілок. Далі отриману схему необхідно перетворити щодо кожної з точок КЗ, з огляду на інші гілки з КЗ як звичайні навантажувальні гілки з ЕРС, рівними нулю. Струм КЗ знаходять як суму струмів аварійних гілок.

Таблиця 2.1 – Основні формули перетворення схем заміщення

| Перетворення | Схема до перетворення | Схема після перетворення | Опори елементів схеми після перетворення |
|--------------|-----------------------|--------------------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Послідовне | | | $Z_{рез} = Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n$ |

| | | | |
|-----------------------------------|---|--|---|
| Паралельне |  | $Z_{рез}$  | $Z_{рез} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{Z_i}};$ <p>Для двох гілок</p> $Z_{рез} = \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2}$ |
| Заміна декількох джерел одним |  | $E_{ЭКВ}$  | $E_{рез} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{Z_i}}$ $Z_{рез} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{Z_i}}$ |
| Перетворення трикутника в зірку |  |  | $Z_1 = \frac{Z_{12} \cdot Z_{13}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}};$ $Z_2 = \frac{Z_{12} \cdot Z_{23}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}};$ $Z_3 = \frac{Z_{12} \cdot Z_{23}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}}.$ |
| Перетворення зірки в трикутник |  |  | $Z_{12} = Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_3};$ $Z_{13} = Z_1 + Z_3 + \frac{Z_1 Z_3}{Z_2};$ $Z_{23} = Z_2 + Z_3 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_1}.$ |
| Перетворення зірки в багатокутник |  |  | $Z_{12} = Z_1 \cdot Z_2 \cdot \sum_{i=1}^4 \frac{1}{Y_i}$ $Z_{13} = Z_1 \cdot Z_3 \cdot \sum_{i=1}^4 \frac{1}{Y_i}$ $Z_{14} = Z_1 \cdot Z_4 \cdot \sum_{i=1}^4 \frac{1}{Y_i}$ |

Розріз схеми
мережі в точці КЗ



3. Використовувати симетрію схеми відносно точки КЗ або іншої точки.

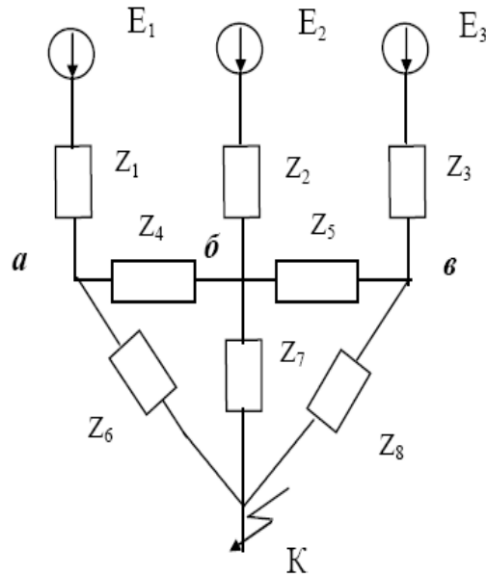


Рис. 2.2 – Схема заміщення електричної системи

Нехай $E_1 = E_3$, $Z_1 = Z_3$, $Z_4 = Z_5$, $Z_6 = Z_8$, тоді схема має часткову симетрію щодо елементів. Потенціали вузлів а і в будуть однаковими і їх можна закоротити і рівнобіжні гілки, що утворилися Z_1 та Z_3 , Z_4 та Z_5 , Z_6 та Z_8 , замінити еквівалентними.

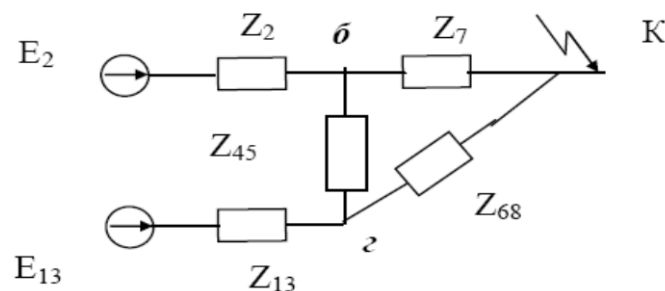


Рис. 2.3 – Спрощена схема заміщення електричної системи

Замість двох контурів схема тепер містить один контур, перетворивши який в еквівалентну зірку схема легко приводиться до елементарного вигляду. Якщо генеруючі гілки E_1 , E_2 і E_3 однакові, а також однакові елементи Z_6, Z_7 і Z_8 , то

наявність елементів Z_3 і Z_4 не впливає на величину струму КЗ. Схема в цьому випадку матиме наступний вигляд:

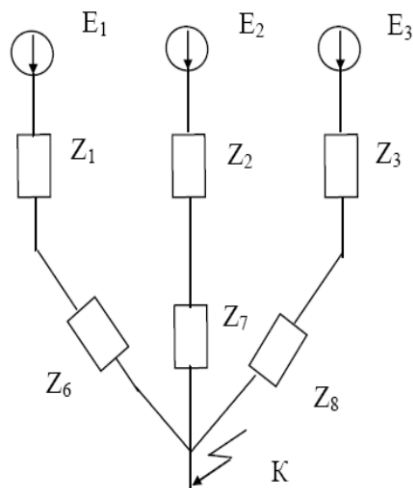


Рис. 2.4 – Спрощена схема заміщення електричної системи

У загальному випадку, коли елементи схеми різні, для її спрощення можна одну з трипроменевих зірок з елементами 1, 4, 6 чи 3, 5, 8 замінити еквівалентним трикутником, потім розрізати його вершину, де прикладена ЕРС, і рівнобіжні гілки, що утворилися (2 і 10, 7 і 9), замінити еквівалентними (рис.2.5).

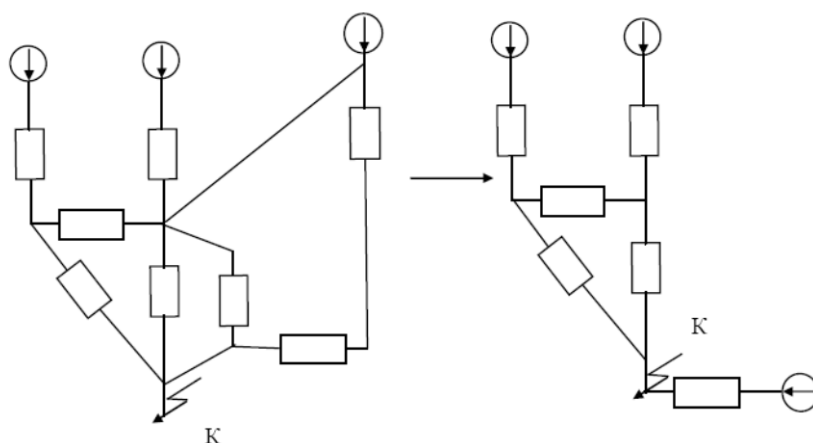


Рис. 2.5 – Спрощення схеми заміщення електричної системи

Ще одне перетворення трикутника, що залишився, у зірку з наступним рівнобіжним і послідовним додаванням гілок швидко приведе до досягнення мети. При згортанні схеми заміщення в розрахунках варто приводити всі проміжні схеми перетворення, позначаючи нові опори зростаючими порядковими номерами.

Завдання.

Для задач, наведених в додатку, виконати згортання схеми заміщення.

Номер схеми та вихідні дані відповідають варіанту і наведені в додатку. Номер варіанту задається викладачем.

Питання для самоперевірки

1. Поясніть порядок складання схеми заміщення електричної мережі для розрахунку перехідних процесів.

2. Дайте визначення коефіцієнтам струморозподілу, їх призначення та порядок розрахунку.
3. Порядок заміни декількох джерел живлення одним еквівалентним.
4. Охарактеризуйте порядок перетворення трикутника опорів в еквіваленту зірку.
5. . Відносні реактивності двох генераторів однакові. Визначити в якому співвідношенні знаходяться їх реактивності, виражені в іменованій системі одиниць, якщо їх номінальні напруги однакові, а номінальні потужності відповідно дорівнюють S_n і $n \times S_n$.
6. Обґрунтуйте, чому точку КЗ не рекомендується об'єднувати с навантажувальними гілками? Які існують рекомендації по перетворенню складних схем?
7. Що собою представляють коефіцієнти участі? Приведіть формулу для їхнього обчислення.
8. Привести наближені формули приведення у відносній системі одиниць.
9. Написати формули перетворення "трикутника" у "зірку" для опорів і струморозподілів.
10. Якими розуміннями варто користатися при виборі базисних умов?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 3.

Тема: Розрахунок діючих значень періодичної складової струму і потужності в точці КЗ для початкового моменту часу

Мета: навчити студентів визначати діючі значення періодичної складової струму і потужності в точці КЗ для початкового моменту часу

Теоретичні положення

При розрахунку початкового діючого значення періодичної складової струму трифазного КЗ в електроустановках напругою понад 1кВ у вихідній розрахунковій схемі повинні бути задані всі синхронні генератори і компенсатори, а також потужне навантаження, якщо між ним і точкою КЗ відсутні струмообмежуючі реактори чи силові трансформатори.

Порядок розрахунку:

1) Для заданої розрахункової схеми електричної системи скласти схему заміщення, в якій синхронні генератори і електродвигуни враховуються своїми понадперехідними параметрами, тобто ЕРС – E''_q і опором x''_d .

За відсутності необхідних даних можна скористатися середніми відносними значеннями E''_q , x''_d , наведеними в табл. 3.1 [2].

Значення опорів і навантажень генераторів необхідно привести до базисних умов і до основної ступені напруги за формулами (1.1 та 1.6), замінивши в них $x \cdot *_{г}$ на x''_d , $x^*_{нагр}$ на $x''_{нагр}$ відповідно. Значення опорів решти елементів схеми заміщення розраховують за відповідними формулами практичного заняття 1.

Таблиця 3.1. – Параметри елементів електричної мережі

| Найменування елемента | E' | x' |
|---------------------------------------|------|-------|
| Гідрогенератор з демпферною обмоткою | 1,13 | 0,2 |
| Гідрогенератор без демпферної обмотки | 1,18 | 0,27 |
| Турбогенератор потужністю до 100 МВт | 1,08 | 0,125 |
| Турбогенератор потужністю 100-500 МВт | 1,13 | 0,2 |
| Синхронний компенсатор | 1,2 | 0,2 |
| Синхронний двигун | 1,1 | 0,2 |
| Асинхронний двигун | 0,9 | 0,2 |
| Узагальнене навантаження | 0,85 | 0,35 |

2) Згорнути схему заміщення до найпростішому вигляду (рис.3.1). Знайти результуючий опір $x_{рез}$ і результуючу еквівалентну ЕРС $E_{рез}$

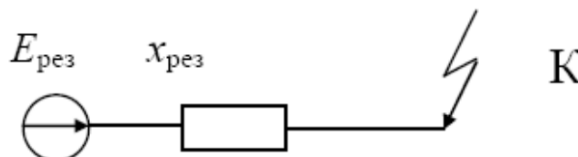


Рис. 3.1 – Згорнута схема заміщення

3) Визначити початкове діюче значення періодичної складової струму в точці КЗ у іменованій системі одиниць (кА) за формулою

$$I_n^* = \frac{E_{рез}}{x_{рез}} I_6 \quad (3.1)$$

де

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_6} \quad \text{– базисний струм на ступені КЗ в кА.}$$

Приклад 3.1. Для розрахункової схеми, представленої на рис.3.2, знайти діюче значення періодичної складової струму КЗ в точці “К” для початкового моменту часу.

Параметри розрахункової схеми:

- параметри генератора G: $S_{ном} = 235,3$ МВА; $U_{ном} = 15,75$ кВ; $x''_d = 0,190$;
- параметри системи С: $x_c = 15$ Ом; $U_c = 230$ кВ;
- параметри автотрансформатора АТ: $S_{ном} = 125$ МВА; $U_{номВ} = 230$ кВ; $U_{номС} = 121$ кВ; $U_{номН} = 38,5$ кВ; $u_{кВС} = 11\%$; $u_{кВН} = 31\%$; $u_{кС-Н} = 19\%$;
- параметри трансформатора Т1: $S_{ном} = 250$ МВА; $U_{Вном} = 121$ кВ; $U_{Н ном} = 15,75$ кВ; $u_{кВН} = 10,5\%$;
- параметри трансформатора Т2: $S_{ном} = 16$ МВА; $U_{В ном} = 38,5$ кВ.; $U_{Нном} = 6,3$ кВ; $u_{кВН} = 8\%$;
- параметри реактора Р: $U_{ном} = 10$ кВ; $I_{ном} = 0,3$ кА; $x_p = 4\%$;
- параметри лінії W1: $l_1 = 15$ км; $x_{уд} = 0,4$ Ом/км $n_1 = 2$;
- параметри лінії W2: $l_2 = 10$ км; $x_{уд} = 0,4$ Ом/км; $n_2 = 1$, де n_1, n_2 – кількість ланцюгів ЛЕП.

Розрахунок:

Задачу вирішуємо у відносних одиницях за формулами наближеного приведення.

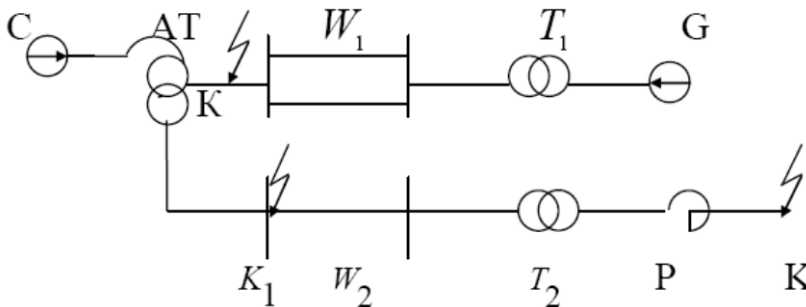


Рис. 3.2 – Розрахункова схема

Приймаємо, що $S_6 = 100$ МВА; $U_{6I} = 230$ кВ; $U_{6II} = 115$ кВ; $U_{6III} = 10,5$ кВ; $U_{6IV} = 37$ кВ; $U_{6V} = 6,3$ кВ,

де $U_{6I} \dots U_{6IV}$ - базисні напруги на відповідних ступенях трансформації.

Схему заміщення наведено на рис. 3.3

$$E_1 = \frac{U_c}{U_{6I}} = \frac{230}{230} = 1;$$

$$x_1 = x_c \frac{S_6}{U_{6I}^2} = 15 \frac{100}{230^2} = 0,028.$$

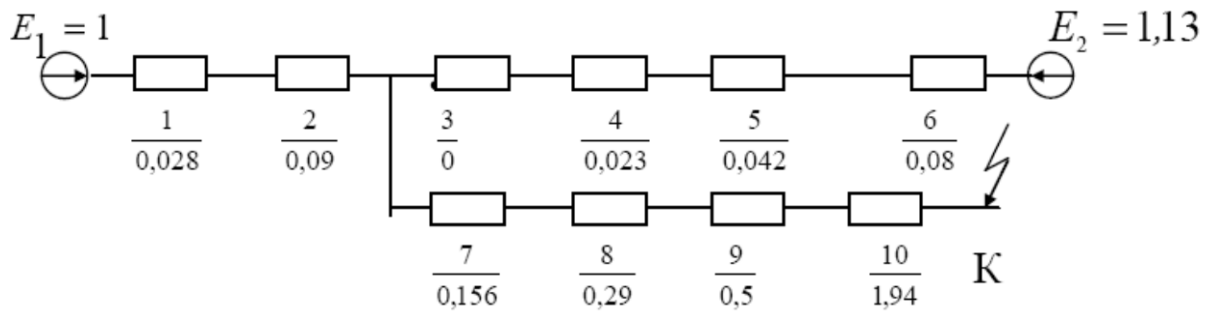


Рис. 3.3 – Схема заміщення

$E_2 = 1,13$ за табл. 3.1

$$x_6 = x_d^* \frac{S_6}{S_{ном}} = 0,19 \frac{100}{235,3} = 0,08;$$

$$u_{кВ} (\%) = 0,5 \cdot (u_{кВС} + u_{кВН} - u_{кСН}) \% = 0,5 \cdot (11 + 31 - 19) = 11,5\%;$$

$$u_{кС} (\%) = 0,5 \cdot (u_{кВС} + u_{кСН} - u_{кВН}) \% = 0,5 \cdot (11 + 19 - 31) = -0,5\%;$$

$$u_{кН} (\%) = 0,5 \cdot (u_{кВН} + u_{кСН} - u_{кВС}) \% = 0,5 \cdot (31 + 19 - 11) = 19,5\%;$$

$$x_2 = \frac{u_{кВ} (\%) S_6}{100 \cdot S_{ном}} = \frac{11,5 \cdot 100}{100 \cdot 125} = 0,09;$$

$$x_3 = 0;$$

$$x_7 = \frac{u_{кВ} (\%) S_6}{100} \frac{S_6}{S_{ном}} = \frac{19,5 \cdot 100}{100 \cdot 125} = 0,156;$$

$$x_4 = \frac{1}{n_1} x_{y0} l_1 \frac{S_6}{U_{6V}^2} = \frac{1}{2} 0,4 \cdot 15 \frac{100}{115^2} = 0,023;$$

$$x_5 = \frac{u_{кВ-Н} (\%) S_6}{100} \frac{S_6}{S_{ном}} = \frac{10,5 \cdot 100}{100 \cdot 250} = 0,042;$$

$$x_8 = \frac{1}{n_2} x_{y0} l_2 \frac{S_6}{U_{6V}^2} = \frac{1}{2} 0,4 \cdot 10 \frac{100}{37^2} = 0,29;$$

$$x_9 = \frac{u_{кВ-Н} (\%) S_6}{100} \frac{S_6}{S_{ном}} = \frac{8 \cdot 100}{100 \cdot 16} = 0,5;$$

$$I_{6V} = \frac{S_6}{\sqrt{3} U_{6V}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 9,17 \text{ кА};$$

$$x_{10} = \frac{x_p (\%) U_{ном} I_{6V}}{100 I_{ном} U_{6V}} = \frac{4}{100} \frac{10}{0,3} \frac{9,17}{6,3} = 1,94.$$

Згортаємо схему заміщення щодо точки короткого замикання (рис. 3.4):

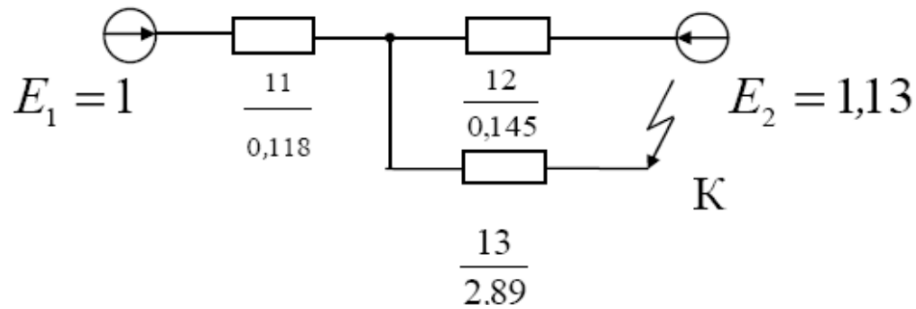


Рис. 3.4 – Спрощена схема заміщення

$$x_{11} = x_1 + x_2 = 0,028 + 0,09 = 0,118;$$

$$x_{12} = x_3 + x_4 + x_5 + x_6 = 0 + 0,023 + 0,042 + 0,08 = 0,145;$$

$$x_{13} = x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} = 0,156 + 0,29 + 0,5 + 1,94 = 2,89.$$

Обчислюємо результуючий опір і результуючу ЕРС (рис. 3.5):

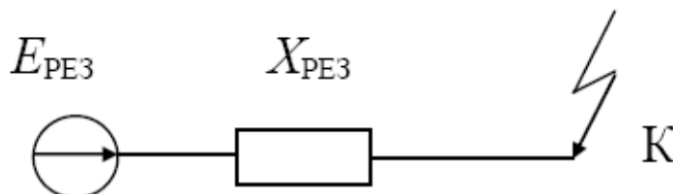


Рис. 3.5 – Заключна спрощена схема заміщення

$$E_{\Sigma} = \frac{E_1 \cdot x_{12} + E_2 \cdot x_{11}}{x_{11} + x_{12}} = \frac{1 \cdot 0,145 + 1,13 \cdot 0,118}{0,118 + 0,145} = 1,06;$$

$$x_{\Sigma} = \frac{x_{11} \cdot x_{12}}{x_{11} + x_{12}} + x_{13} = \frac{0,118 \cdot 0,145}{0,118 + 0,145} + 2,89 = 2,955.$$

Знаходимо початкове значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання в точці “К”:

$$I_n^* = \frac{E_{\Sigma}}{x_{\Sigma}} I_{\text{бв}} = \frac{1,06}{2,955} \cdot 9,17 = 3,29 \text{ kA}$$

Завдання.

Для задачі, наведеної в додатку, знайти діюче значення періодичної складової струму КЗ в точці “К” для початкового моменту часу.

Номер схеми та вихідні дані відповідають варіанту і наведені в додатку. Номер варіанту задається викладачем.

Питання для самоперевірки

1. Виразити потужність, струми, опори та напруги в ОСЕ при базисних умовах.
2. Причини коротких замикань.
3. Чому при виборі базисних умов існує лише два ступені свободи ?
4. Які параметри навантаження в усталеному режимі?
5. Яким чином здійснюється перехід від розрахункової схеми до схеми заміщення?

6. Сформулюйте порядок розрахунку струму КЗ для початкового моменту часу.
7. Якими параметрами задаються в схемі заміщення генератори при розрахунку початкового струму КЗ?
8. Наслідки коротких замикань.
9. Обґрунтуйте, чому точку КЗ не рекомендується об'єднувати з навантажувальними гілками? Які існують рекомендації по перетворенню складних схем?
10. Напишіть формули для S_{*6} , I_{*6} , Z_{*6} , X_{*6} , E_{*6} , U_{*6} . Які величини прийнято приймати в якості базисних при розрахунку у відносній системі одиниць?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 4.

Тема: Розрахунок діючого значення періодичної складової струму для довільного моменту часу за методом розрахункових кривих

Мета: навчити студентів визначати діюче значення періодичної складової струму для довільного моменту часу за методом розрахункових кривих

Теоретичні положення

У наближених розрахунках періодичну складову струму в точці КЗ для довільного моменту часу визначають методом розрахункових кривих або методом типових кривих. Вибір методу розрахунку і відповідних кривих залежить від поставленого завдання, потужності генератора, системи збудження і постійної часу короткозамкненого кола.

Розрахункові криві використовують для турбогенераторів потужністю до 300 МВт з АРЗ. На рис.4.1 і 4.2 наведені розрахункові криві струмів короткого замикання турбогенераторів середньої потужності до 100 МВт [2] і 200 – 300 МВт [3] відповідно.

Цей метод використовують, коли завдання обмежене перебуванням струму в місці короткого замикання чи залишкової напруги безпосередньо за аварійною гілкою. У даному занятті рекомендується розглянути розрахункову схему, в якій генератори знаходяться в різних умовах щодо місця КЗ. Розрахунок у цьому випадку необхідно проводити за індивідуальною зміною.

Порядок розрахунку:

1) Для заданої розрахункової електричної системи скласти схему заміщення, в якій генератори враховуються своїми понадпереходними опорами x_d'' , ЕРС не вказують. Навантаження в схемі заміщення не враховують за винятком потужного навантаження, підключеного до шин, де відбулося КЗ.

2) Перетворити схему заміщення до багатопроменевої зірки.

Розрахунок здійснюють за індивідуальною зміною, тому що вихідна розрахункова схема містить генератори, що знаходяться в різних умовах щодо місця КЗ, чи систему нескінченної потужності. При цьому в системі будь-якої складності досить виділити дві-три групи джерел живлення, об'єднавши в кожену з них генератори, що знаходяться приблизно в однакових умовах щодо місця КЗ.

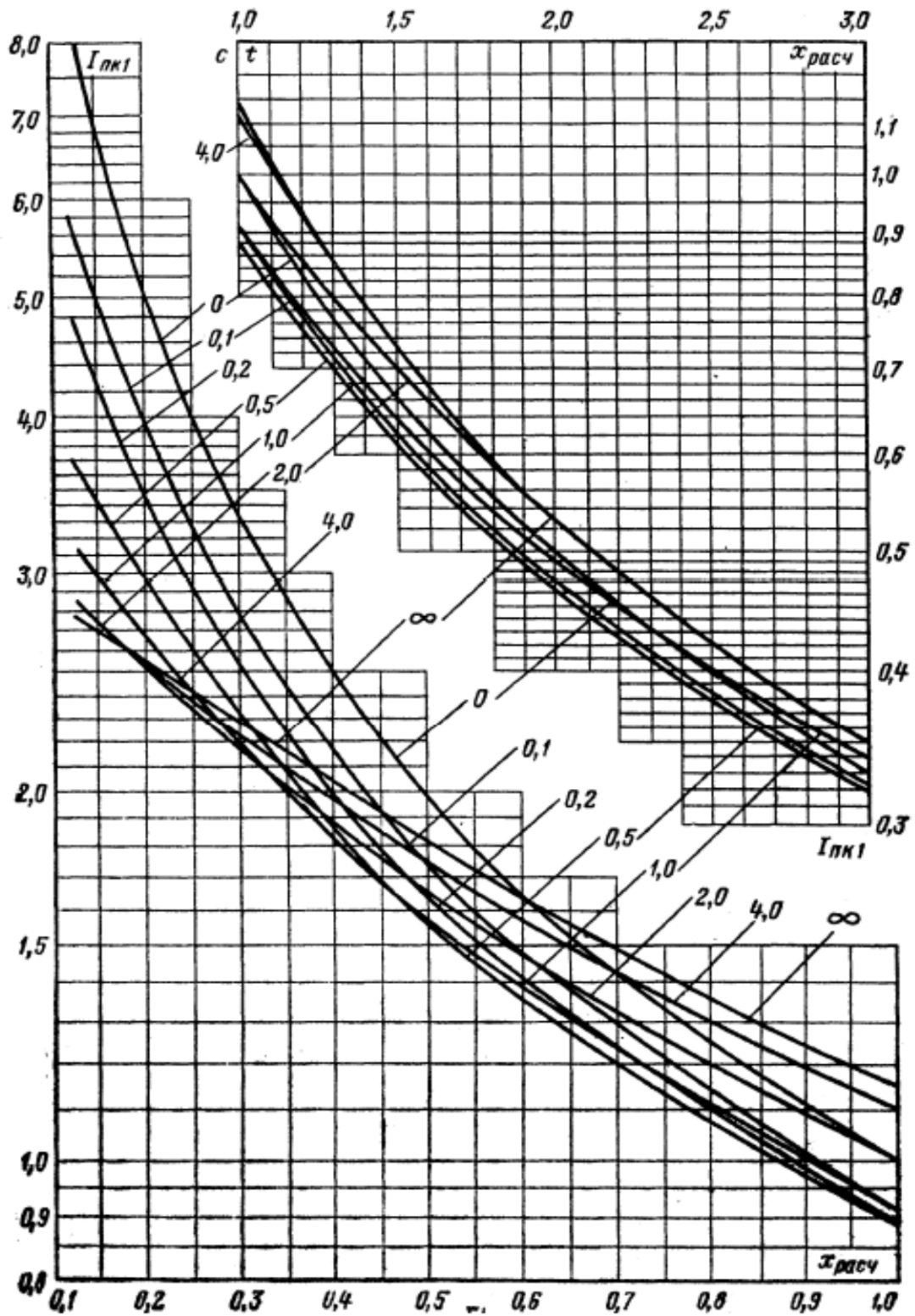


Рис. 4.1 – Розрахункові криві струмів КЗ турбогенератора середньої потужності до 100 МВт з АРЗ, $T_c = 0,57с$

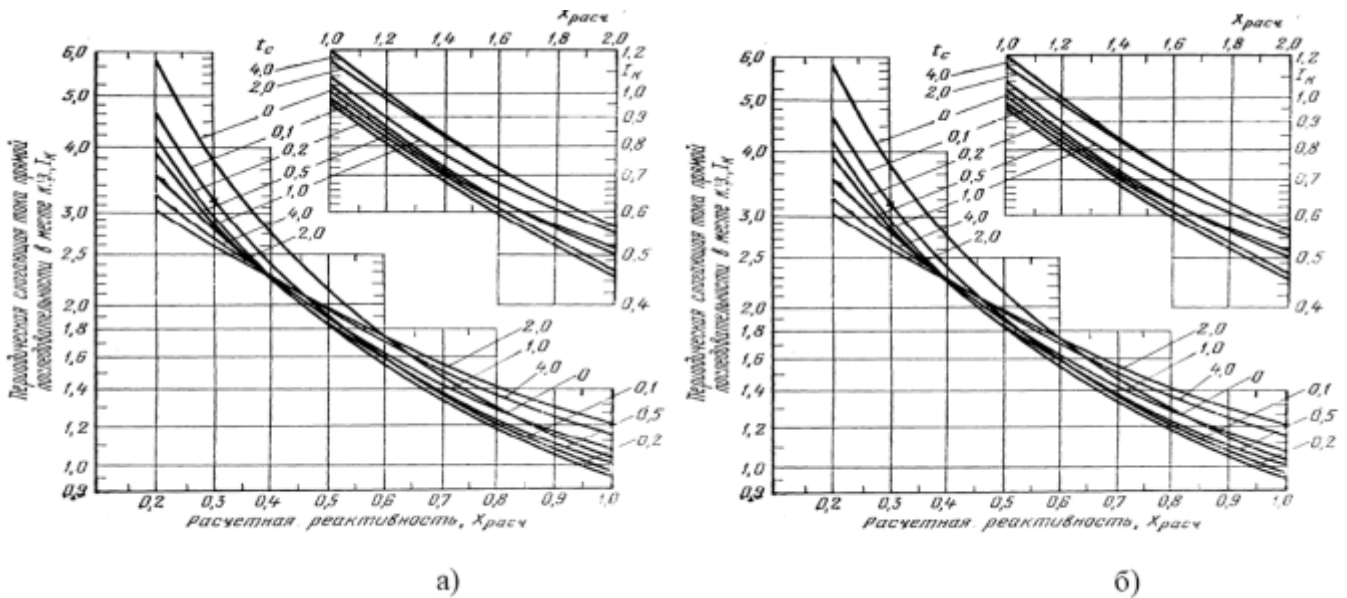


Рис. 4.2 – Розрахункові криві струмів КЗ типового турбогенератора 200 – 300 МВт з АРЗ:

- а) з постійною часу збудника $T_e = 0,15\text{с}$;
- б) з постійною часу збуджувача $T_e = 0,25\text{с}$.

Перетворення схеми заміщення проводиться таким чином, щоб визначити результуючий опір до точки КЗ від кожного джерела (рис.4.3).

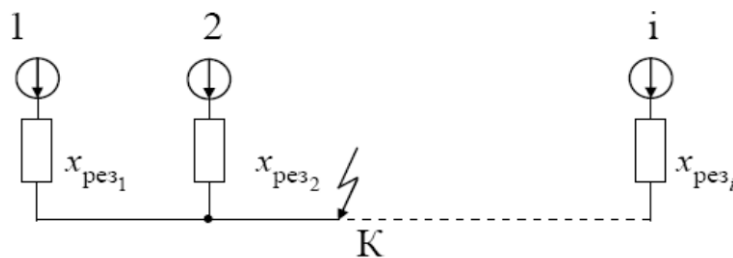


Рис. 4.3 – Схема заміщення з радіально підключеними джерелами

У процесі перетворення схеми заміщення часто виникає завдання розподілу зв'язаних ланцюгів. Цей випадок показаний на рис 4.4.

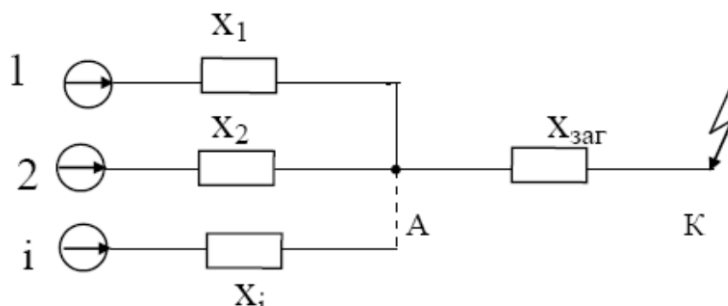


Рис. 4.4 – Схема заміщення з джерелами, підключеними через спільний опір

Струми від джерел $1, 2, \dots, i$ проходять через загальний опір $X_{заг}$. Щоб перетворити схему до променевого вигляду, наданому на рис 4.3, необхідно скористатися коефіцієнтами струморозподілу i .

Результуючі опори променів у цьому випадку визначають за формулою:

$$X_{резі} = \frac{X_{рез}}{C_i} \quad (4.1)$$

де $X_{рез} = X_{екв} + X_{заг}$ – результуючий опір схеми відносно точки КЗ,

$$C_i = \frac{X_{екв}}{X_i} - \text{коефіцієнт струморозподілу } i\text{-ї гілки.}$$

Причому $X_{екв} = X_1 // X_2 \dots // X_n$ еквівалентний опір всіх джерел живлення відносно точки “А”.

3) Привести отримані результуючі значення опорів гілок до номінальних умов, тобто визначити розрахункові опори:

$$X_{розі} = X_{рез} \frac{S_{ном\Sigma i}}{S_{\bar{o}}} \quad (4.2)$$

де $S_{ном\Sigma i}$ – сумарна номінальна потужність i -ї групи джерел живлення в МВА.

4) За відповідними розрахунками кривих (рис.4.1, 4.2.) для заданого моменту часу t і за знайденими $X_{розі}$ визначити відносні значення періодичної складової струму КЗ від кожного джерела ($I_{n_i}^*$).

5) Обчислити значення періодичної складової струму КЗ від кожного джерела в кА:

$$I_{n_i,t} = I_{n_i,t}^* \frac{S_{ном\Sigma i}}{\sqrt{3}U_{\bar{o}}} \quad (4.3)$$

6) Визначити періодичну складову струму в точці КЗ в заданий момент часу в кА:

$$I_{n_i,t} = \sum_{i=1}^n I_{n_i,t} \quad (4.4)$$

де n – кількість променів.

Примітка:

При $X_{розі} > 3$ періодична складова струму КЗ вважається незмінною і визначається за формулою

$$I_{n_i,t} = \frac{1}{x_{розі}} \frac{S_{ном\Sigma i}}{\sqrt{3}U_{\bar{o}}} \quad (4.5)$$

або

$$I_{n_i,t} = \frac{I_{\bar{o}}}{x_{резі}} \quad (4.6)$$

Періодична складова струму КЗ в кА від системи нескінченної потужності для будь-якого моменту часу ($I_{nC,t}$) визначається як:

$$I_{nC,t} = \frac{I_{\bar{o}}}{x_{резC}} \quad (4.7)$$

де $x_{резC}$ – результуючий опір від системи до точки КЗ.

Приклад 4.1. Для розрахункової схеми, представленної на рис.3.2, знайти діюче значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання в точці “К1” для моменту часу $t = 0,1с$.

Розрахунок:

Опори елементів схеми заміщення розраховані в прикладі, наведеному вище у **Прикладі 3.1**. Навантажувальну гілку не враховуємо. Після перетворення одержуємо схему, представлену на рис. 4.5.

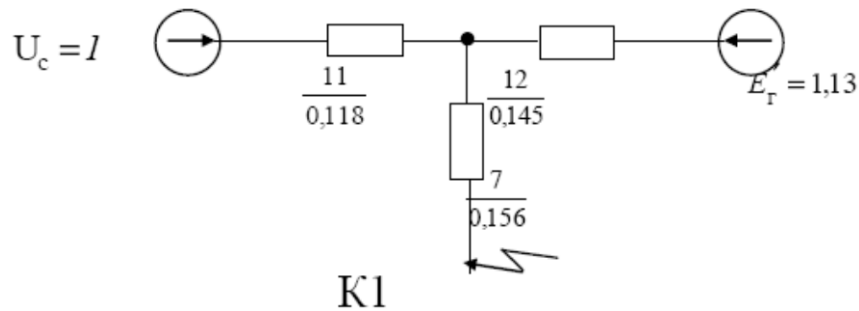


Рис. 4.5 – Схема заміщення без гілки навантаження

За допомогою коефіцієнтів струморозподілу перетворимо схему до двопроменевого вигляду (рис.4.6).

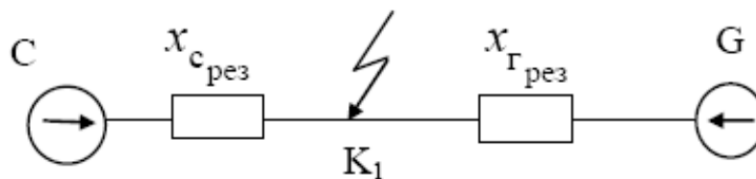


Рис. 4.6 – Спрощена схема заміщення

$$x_{екв} = \frac{x_{11} \cdot x_{12}}{x_{11} + x_{12}} = \frac{0,118 \cdot 0,145}{0,118 + 0,145} = 0,065;$$

$$C_c = \frac{X_{екв}}{X_{11}} = \frac{0,065}{0,118} = 0,551;$$

$$C_r = \frac{X_{екв}}{X_{12}} = \frac{0,065}{0,145} = 0,449;$$

$$x_{рез} = x_{екв} + x_7 = 0,065 + 0,156 = 0,221;$$

$$X_{резC} = \frac{X_{рез}}{C_c} = \frac{0,221}{0,551} = 0,401;$$

$$X_{резr} = \frac{X_{рез}}{C_r} = \frac{0,221}{0,449} = 0,493.$$

Оскільки напруга на шинах системи під час короткого замикання в точці “К1” не змінюється, тому діюче значення періодичної складової струму КЗ від си

стеми для будь-якого моменту часу буде постійно і дорівнюватиме

$$I_{nC} = \frac{E}{x_{Cppe}} I_{\delta IV} = \frac{1}{0,401} \cdot 1,56 = 3,89 \text{ кА}$$

де

$$I_{\delta IV} = \frac{S_{\delta i}}{\sqrt{3}U_{\delta IV}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37} = 1,56 \text{ кА};$$

$$X_{Гроз} = X_{Грез} \frac{S_{ном}}{S_6} = 0,493 \frac{235,3}{100} = 1,16.$$

Діюче значення періодичної складової струму КЗ від генератора для моменту часу $t=0,1$ с знаходимо за розрахунковими кривими рис. 4.1.

В іменованих одиницях:

$$I_{nГ} = I_{nГ}^* \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{\delta IV}} = 0,88 \frac{235,3}{\sqrt{3} \cdot 37} = 3,23 \text{ кА}.$$

Струм в точці “К1” через 0,1с після КЗ буде дорівнювати:

$$I_{n,t} = I_{nC} + I_{nГ} = 3,89 + 3,23 = 7,12 \text{ кА}.$$

Завдання.

Для задачі, наведеної в додатку, виконати розрахунок діючого значення періодичної складової струму для довільного моменту часу за методом розрахункових кривих.

Номер схеми та вихідні дані відповідають варіанту і наведені в додатку. Номер варіанту задається викладачем.

Питання для самоперевірки

1. Охарактеризуйте умови використання методу розрахункових кривих.
2. Порядок розрахунку струмів КЗ за допомогою розрахункових кривих за загальною зміною
3. Порядок розрахунку струмів КЗ за допомогою розрахункових кривих за індивідуальною зміною.
4. Що називається критичним опором? Від чого він залежить?
5. Особливості застосування методу розрахункових кривих для визначення струму трифазного короткого замикання в електричній мережі.
6. Особливості врахування АРЗ при розрахунку струмів КЗ за методом розрахункових кривих.
7. Особливості врахування впливу синхронних двигунів при розрахунку струмів КЗ за методом розрахункових кривих.
8. Визначення потужності КЗ при розрахунку струмів КЗ за методом розрахункових кривих.
9. Особливості застосування методу розрахункових кривих для визначення струму трифазного короткого замикання в електричній мережі при наявності декількох генераторів різної номінальної потужності.
10. Особливості застосування методу розрахункових кривих для визначення струму трифазного короткого замикання в електричній мережі при наявності декількох генераторів різної номінальної потужності та системи необмеженої потужності.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 5.

Тема: Розрахунок діючого значення періодичної складової струму для довільного моменту часу за методом типових кривих

Мета: навчити студентів визначати діюче значення періодичної складової струму для довільного моменту часу за методом типових кривих

Теоретичні положення

Типові криві використовують для турбогенераторів потужністю до 1200 МВт із системами збудження різного типу.

На рис. 5.1-5.4 наведені типові криві для різних груп турбогенераторів з урахуванням сучасної тенденції оснащення генераторів різних типів певними системами збудження [4].

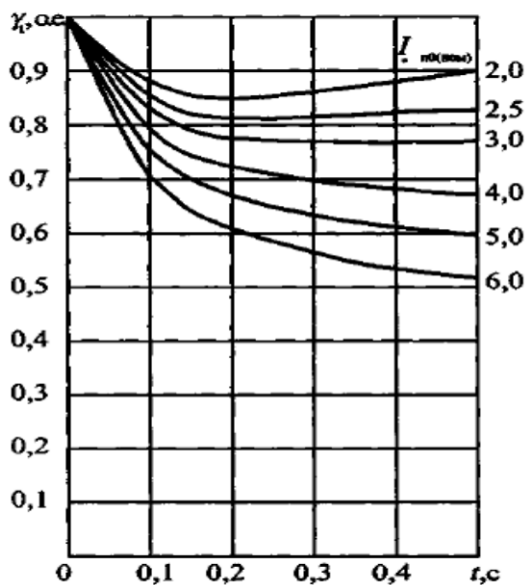


Рис. 5.1 – Типові криві зміни періодичної складової струму КЗ від турбогенераторів з тиристорною незалежною системою збудження

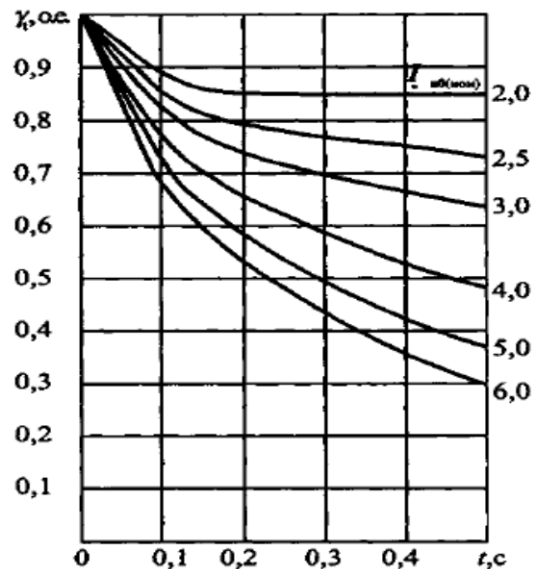


Рис. 5.2 – Типові криві зміни періодичної складової струму КЗ від турбогенераторів з тиристорною системою самозбудження

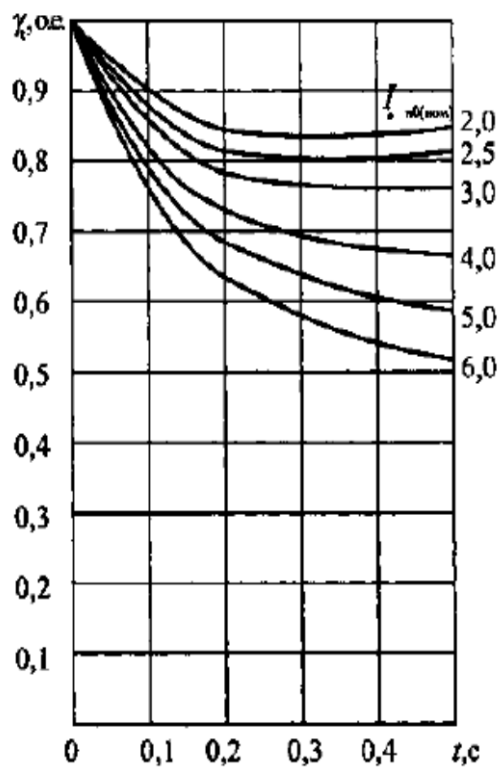


Рис. 5.3 – Типові криві зміни періодичної складової струму КЗ від турбогенераторів з діодною незалежною (високоякісною) системою збудження

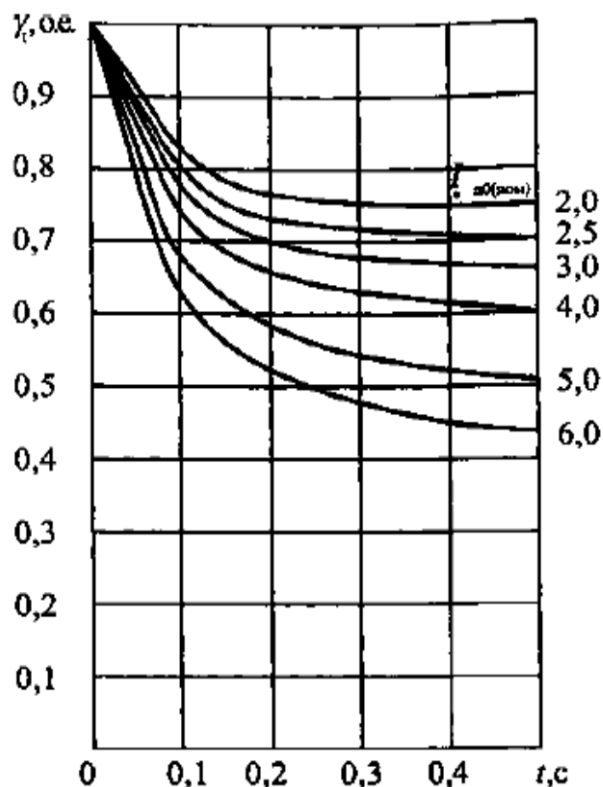


Рис. 5.4 – Типові криві зміни періодичної складової струму КЗ від турбогенераторів типів ТВВ-1000-2УЗ і ТВВ-1200-2УЗ з діодною безщітковою системою збудження

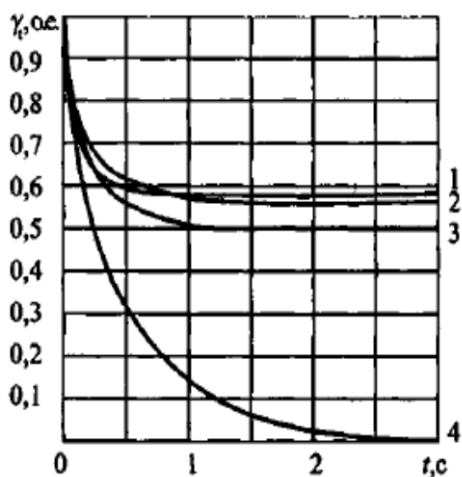


Рис. 5.5 – Типові криві зміни періодичного струму КЗ від турбогенераторів з рівними системами збудження при трифазних КЗ на виводах генераторів

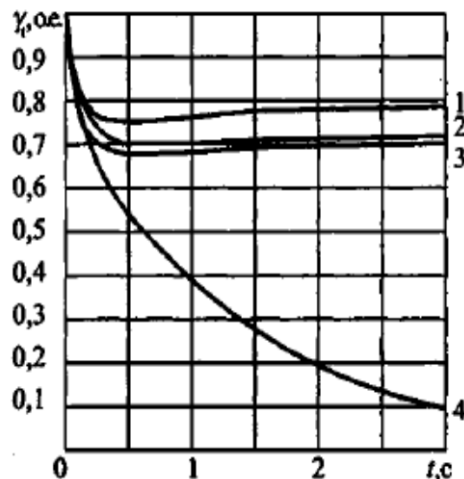


Рис. 5.6 – Типові криві зміни періодичного струму КЗ від турбогенераторів з рівними системами збудження при трифазних КЗ на стороні високої напруги блочних трансформаторів

У тих випадках, коли розрахункова тривалість КЗ перевищує 0,5с для розрахунку періодичної складової струму в довільний момент часу при КЗ на виводах турбогенераторів допустимо використовувати криві, наведені на рис. 5.5, а при КЗ на стороні високої напруги блочних трансформаторів – криві, наведені на рис.5.6. Як на рис. 5.5, так і на рис. 5.6 крива 1 належить до турбогенераторів з діодною безрахунковою системою порушення, крива 2 – з тиристорною незалежною системою збудження, крива 3 – з діодною незалежною (високоякісною) системою збудження і крива 4 – з тиристорною системою самозбудження.

Типові криві враховують зміну діючого значення періодичної складової струму короткого замикання, якщо відношення діючого значення періодичної складової струму генератора в початковий момент КЗ до його номінального струму дорівнює чи більше двох. При менших значеннях цього співвідношення слід вважати, що діюче значення періодичної складової струму КЗ не змінюється в часі, тобто $I_{n,t} = I_n'' = const$.

Метод типових кривих використовують, у випадках, коли завдання обмежене перебуванням струму в місці короткого замикання чи залишкової напруги безпосередньо за аварійною гілкою. В даному занятті рекомендується розглянути розрахункову схему, в якій генератори знаходяться в різних умовах відносно місця КЗ. Розрахунок у цьому випадку необхідно проводити за індивідуальною зміною.

Порядок розрахунку:

Розрахунок діючого значення періодичної складової струму КЗ від синхронного генератора (СГ) чи декількох однотипних СГ, що знаходяться в однакових умовах щодо точки КЗ варто вести в наступному порядку:

1) За вихідною розрахунковою схемою скласти еквівалентну схему заміщення для визначення початкового значення періодичної складової струму КЗ I_n'' від генератора або групи генераторів. Синхронні машини слід врахувати понадпереходними опорами і ЕРС вираженими у відносних одиницях при вибраних базисних умовах. Навантаження в схемі заміщення не враховують за винятком тих, які підключені до шин, де відбулося КЗ.

2) Знайти відношення $I_{номГ*} = \frac{I_n''}{I_{ном}}$, що характеризує дальність точки КЗ від генератора (групи генераторів), де $I_{ном} = \frac{S_{Гном}}{\sqrt{3} \cdot U_{срКЗ}}$ – номінальний струм СГ (групи генераторів), приведений до такого ступеню напруги, де розглядається КЗ, в кА; $S_{Гном}$ – номінальна потужність СГ або сумарна потужність генераторів, МВА, $U_{срКЗ}$ – середня напруга того ступеню, де відбулося КЗ.

3) За кривою $\gamma = f_t(t)$ (рис. 5.1-5.6) відповідною знайденому значенню $I_{номГ*}$, для заданого моменту часу знайти відношення струмів $\gamma_t = \frac{I_t}{I_n''}$

4) Визначити діюче значення періодичної складової струму КЗ від генератора (групи генераторів) в момент часу t в кА:

$$I_{T,t} = \gamma_t \cdot I_T'' \cdot I_6 \quad (5.1)$$

Якщо джерела електричної енергії різнотипні чи з різною віддаленістю щодо точки КЗ, то дійсну схему заміщення потрібно привести до радіального (якщо це можливо). Кожен промінь у такій схемі відповідає виділеному джерелу чи групі однотипних джерел і пов'язаний із точкою КЗ. Досить виділити три промені. Джерела, безпосередньо пов'язані з точкою КЗ, а також джерела нескінченної потужності варто розглядати окремо від інших джерел.

Розрахунок діючого значення періодичної складової струму КЗ кожного променя здійснюється в порядку викладеному вище. Діюче значення періодичної складової струму в точці КЗ у заданий момент часу t визначається як сума відповідних струмів усіх променів.

На рис. 5.7 наведено типові криві для розрахунку періодичної складової струму в точці КЗ для довільного моменту часу при зв'язку генератора й електричної системи з точкою КЗ через загальний опір [5].

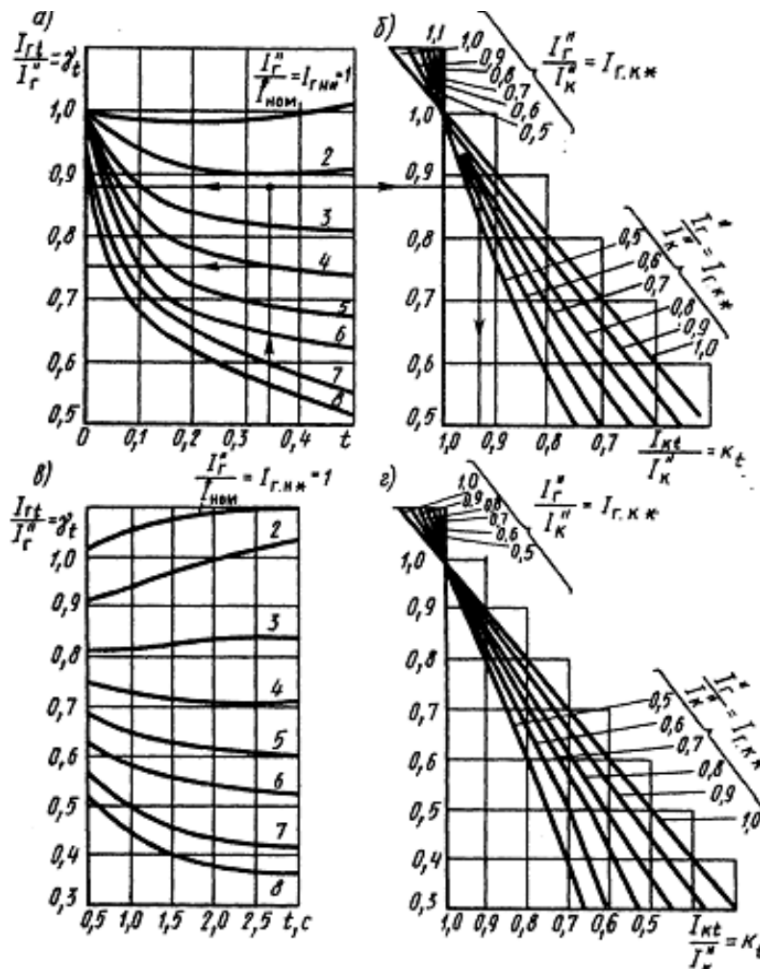


Рис. 5.7 – Типові криві для визначення періодичної складової струму КЗ синхронних машин з тиристорною або високочастотною системою збудження й синхронних компенсаторів

Якщо група генераторів і система пов'язані з точкою КЗ через загальний опір заг x (рис. 5.8), то розрахунок періодичної складовий необхідно вести в наступному порядку:

1. Знайти результуючий опір $x_{рез}$ і результуючу ЕРС $E_{\phiрез}$ та визначити початкове значення періодичної складової струму в точці КЗ

$$I_K'' = \frac{E''_{рез}}{x_{рез}} \cdot I_6$$

2. Обчислити початкове значення періодичної складової струму в гілці генератора

$$I_{\Gamma}'' = (E_{\Gamma}'' I_6 - I_K'' x_{заг}) / x_{\Gamma} \quad (5.2)$$

3. Визначити співвідношення $\frac{I_{\Gamma}''}{I_{ном\Gamma}}$ і $\frac{I_{\Gamma}''}{I_K''}$.

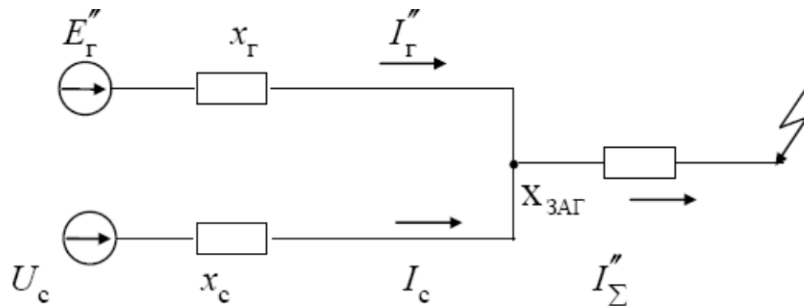


Рис. 5.8 – Схема заміщення мережі з джерелами, пов'язаними з точкою КЗ через загальний опір

Якщо $\frac{I_{\Gamma}''}{I_K''} < 0,5$, що відповідає великій електричній віддаленості генератора від точки КЗ або малій його потужності, то генератор доцільно об'єднати з системою.

4. За кривою $\gamma_t = f_t(t)$ (рис. 5.7), відповідною знайденому значенню $\frac{I_{\Gamma}''}{I_{ном\Gamma}}$ для

розрахункового моменту часу t , знайти співвідношення струмів і $\frac{I_{n,t}}{I_{\Gamma}''} = \gamma_t$ за ним і

кривою, що відповідає значенню $\frac{I_{\Gamma}''}{I_{\Sigma}''}$, визначити співвідношення $\frac{I_{n,t_{\Sigma}}}{I_{\Sigma}''} = K_t$.

5. Обчислити діюче значення періодичної складової від системи і групи генераторів у момент часу t в кА.

$$I_{n,t_{\Sigma}} = K_t \cdot I_{\Sigma}'' \quad (5.3)$$

6. Знайти діюче значення періодичної складової струму в точці КЗ в заданий момент часу t , як суму струму $I_{n,t_{\Sigma}}$ і відповідних струмів незалежних генеруючих гілок.

Приклад 5.1. Для розрахункової схеми, наведеній на рис 3.2, визначити діюче значення періодичної складової струму КЗ в точці “К1” для моменту часу $t=0,1с$.

Розрахунок:

Опори елементів схеми заміщення розраховані в **Прикладі 3.1**. Після перетворення одержуємо схему, представлену на рис. 5.9.

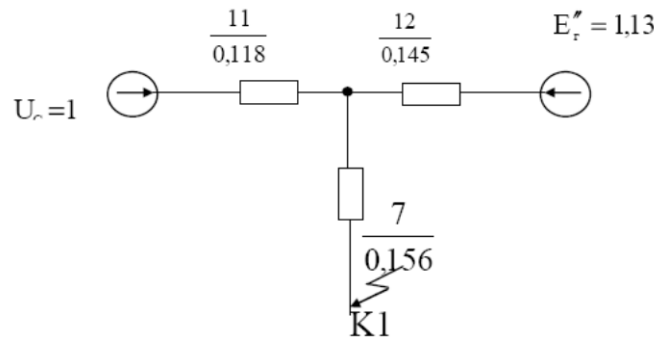


Рис. 5.9 – Схема заміщення електричної мережі

Визначаємо початкове значення періодичної складової струму КЗ в точці “К1”

$$x_{рез} = \frac{x_{11} \cdot x_{12}}{x_{11} + x_{12}} + x_7 = \frac{0,118 \cdot 0,145}{0,118 + 0,145} + 0,156 = 0,221;$$

$$E_{рез}^* = \frac{E'_r x_{11} + U_c \cdot x_{12}}{x_{11} + x_{12}} + x_7 = \frac{1,13 \cdot 0,118 + 1 \cdot 0,145}{0,118 + 0,145} = 1,06;$$

$$I_K^* = \frac{E_{рез}^*}{x_{рез}} I_{блв} = \frac{1,06}{0,221} \cdot 1,56 = 7,47 \text{ кА}.$$

Обчислюємо початкове значення періодичної складової струму в гілці генератора

$$I_\Gamma^* = \frac{E'_r \cdot I_K^* - x_7 \cdot I_K^*}{x_{12}} = \frac{1,13 \cdot 1,56 - 0,156 \cdot 7,47}{0,145} = 4,12 \text{ кА}.$$

Визначаємо співвідношення

$$I_{ном}^* = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{срКЗ}} = \frac{235,3}{\sqrt{3} \cdot 37} = 3,74 \text{ кА};$$

$$\frac{I_\Gamma^*}{I_K^*} = \frac{4,12}{7,47} = 0,55;$$

$$\frac{I_\Gamma^*}{I_{ном}^*} = \frac{4,12}{3,74} = 1,11.$$

4. За типовими кривими (рис 5.7) для $t = 0,1\text{с}$ знаходимо:

$$\gamma_t = \frac{I_{\Gamma,t}}{I_\Gamma^*} = 0,98; \quad K_t = \frac{I_{\Gamma,t}}{I_\Gamma^*} = 0,98$$

5. Обчислюємо діюче значення періодичної складової струму КЗ у точці "К1" для моменту часу $t=0,1\text{с}$.

$$I_{K,t} = K_t \cdot I_K^* = 0,98 \cdot 7,47 = 7,32 \text{ кА}$$

Завдання.

Для задачі, наведеної в додатку, визначити діюче значення періодичної складової струму КЗ в точці “К” для моменту часу t .

Номер схеми та вихідні дані відповідають варіанту і наведені в додатку. Номер варіанту задається викладачем.

Питання для самоперевірки

1. Охарактеризуйте умови використання методу типових кривих.
2. Порядок розрахунку струмів КЗ за допомогою типових кривих за загальною зміною
3. Порядок розрахунку струмів КЗ за допомогою типових кривих за індивідуальною зміною.
4. Що називається критичним опором? Від чого він залежить?
5. Особливості застосування методу типових кривих для визначення струму трифазного короткого замикання в електричній мережі.
6. Особливості врахування АРЗ при розрахунку струмів КЗ за методом типових кривих.
7. Особливості врахування впливу синхронних двигунів при розрахунку струмів КЗ за методом типових кривих.
8. Визначення потужності КЗ при розрахунку струмів КЗ за методом типових кривих.
9. Особливості застосування методу типових кривих для визначення струму трифазного короткого замикання в електричній мережі при наявності декількох генераторів різної номінальної потужності.
10. Особливості застосування методу типових кривих для визначення струму трифазного короткого замикання в електричній мережі при наявності декількох генераторів різної номінальної потужності та системи необмеженої потужності.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 6.

Тема: Розрахунок діючого значення періодичної складової струму КЗ для сталого режиму ($I_{\text{п}\infty}$)

Мета: навчити студентів визначати діюче значення періодичної складової струму КЗ для сталого режиму ($I_{\text{п}\infty}$)

Теоретичні положення

При сталому КЗ генератор, що має регулятор порушення, залежно від його віддаленості від точки КЗ може працювати в режимі граничного порушення чи в режимі нормальної напруги.

У табл. 6.1 наведено співвідношення, якими характеризуються режими роботи генератора з АРЗ.

Таблиця 6.1. – Співвідношення для параметрів роботи генератора з АРЗ

| Режим граничного збудження | Режим номінальної напруги |
|---|---|
| $x_{\text{зовн}} \leq x_{\text{кр}}$ | $x_{\text{зовн}} \geq x_{\text{кр}}$ |
| $I_f = I_{\text{fnp}}$ | $I_f \leq I_{\text{fnp}}$ |
| $U \leq U_{\text{ном}}$ | $U = U_{\text{ном}}$ |
| $I_K = \frac{E_{\text{qnp}}}{x_d + x_{\text{зовн}}} \geq I_{\text{кр}}$ | $I_K = \frac{U_{\text{ном}}}{x_{\text{зовн}}} \leq I_{\text{кр}}$ |

Примітка.

$x_{\text{кр}}$, $I_{\text{кр}}$ – критичний опір і критичний струм;

I_f , I_{fnp} – струм збудження і граничний струм збудження;

E_{qnp} – гранична ЕРС,

I_K – струм КЗ;

$x_{\text{вн}}$ – опір зовнішнього ланцюга КЗ.

Порядок розрахунку:

1. Проаналізувавши участь кожного СГ у підживленні точки КЗ, задати режими їх роботи.

2. Скласти схему заміщення, в якій генератори враховуються параметрами у відповідності з заданими режимами роботи:

для режиму граничного збудження: $E_r = E_{\text{qnp}}$, $x_r = x_d$

для режиму нормального збудження: $U_{\text{ном}}$, $x_r = 0$.

Відносне значення граничної ЕРС пр E_q приймається рівною граничному струму збудження I_{fnp} .

Узагальнене навантаження задається опором навант $x = 1, 2$ і ЕРС навантаження $E = 0$.

Опори генераторів і навантаження приводяться до базисних умов і основного ступеня за формулами (1.1 та 1.6).

3. Згорнути схему заміщення до найпростішого вигляду і визначити $E_{\text{рез}}$, $x_{\text{рез}}$.

4. Обчислити сталі значення періодичної складової струму КЗ у відносних одиницях

$$I_{*с\infty} = \frac{E_{рез}}{x_{рез}} \quad (6.1)$$

5. Розгортаючи схему заміщення, визначити струми в генераторних гілках схеми.

6. Обчислити критичні струми від кожного генератора:

$$I_{пр} = \frac{U_{ном}}{x_{пр}}, \quad (6.2)$$

$$\text{де } x_{пр} = x_z \frac{U_{ном}}{E_{гпр} - U_{ном}}.$$

7. Порівнюючи критичні струми з обчисленими струмами в генераторних гілках, перевірити обрані режими роботи генераторів. Якщо режим роботи деяких генераторів обрано неправильно, то перезадати режим їхньої роботи і розрахунок необхідно повторити.

8. Якщо режими роботи всіх генераторів обрані правильно, то визначити сталий струм КЗ у кА:

$$I_{\infty} = I_{*с\infty} \cdot I_{б}. \quad (6.3)$$

Приклад 6.1. Для розрахункової схеми, приведеної на рис. 3.2 визначити діюче значення періодичної складової сталого струму трифазного КЗ в точці “К 1”, $I_{фгп} = 4$.

Розрахунок:

З огляду на те, що генератор знаходиться за двома ступінями трансформації від точки КЗ приймемо номінальний режим його роботи. Відповідно до обраного режиму роботи, генератор у схему заміщення вводять $x_r = 0$; $U_r = U_{ном} = 1$. Значення опорів інших елементів схеми заміщення взяті з **Прикладу 3.1**. Схему заміщення з розрахунковими параметрами наведено на рис. 6.1.

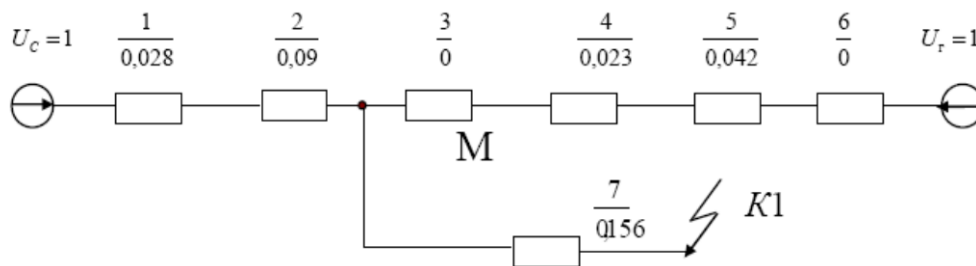


Рис. 6.1. – Схема заміщення електричної мережі

Після перетворення схеми заміщення отримуємо схему, показану на рис. 6.2.

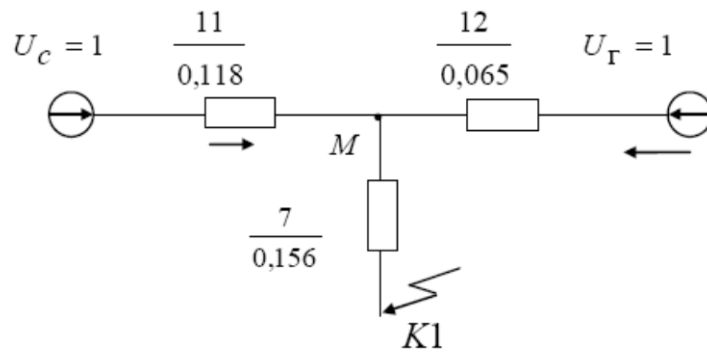


Рис. 6.2. – Схема заміщення після перетворення

$$x_{11} = x_1 + x_2 = 0,028 + 0,09 = 0,118;$$

$$x_{12} = x_3 + x_4 + x_5 + x_6 = 0 + 0,023 + 0,042 + 0 = 0,065$$

Перетворимо схему до найпростішого вигляду (рис. 6.3.)

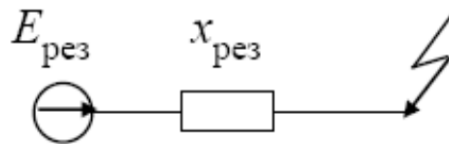


Рис. 6.3. – Згорнута схема заміщення

$$E_{рез} = 1;$$

$$x_{рез} = \frac{x_{11} \cdot x_{12}}{x_{11} + x_{12}} + x_7 = \frac{0,118 \cdot 0,065}{0,118 + 0,065} + 0,156 = 0,198;$$

$$I_{*\infty} = \frac{E_{рез}}{x_{рез}} = \frac{1}{0,198} = 5,05.$$

За схемою заміщення рис. 6.2 знаходимо струм КЗ у ланцюзі генератора:

$$U_M = I_{*\infty} \cdot x_7 = 5,05 \cdot 0,156 = 0,788;$$

$$I_K = \frac{U_r - U_M}{x_{12}} = \frac{1 - 0,788}{0,065} = 3,26.$$

Визначаємо критичний струм генератора:

$$E_{фпр} = I_{фпр} = 4;$$

$$x_{пр} = x_{*2} \frac{U_{ном}}{E_{фпр} - U_{ном}} = 0,08 \frac{1}{4 - 1} = 0,027;$$

$$I_{пр} = \frac{U_{ном}}{x_{пр}} = \frac{1}{0,027} = 3,7.$$

Враховуючи, що $I_K < I_{кр}$, тому генератор працює в режимі номінальної напруги, що відповідає обраному режиму.

Сталий струм КЗ в точці “К1” дорівнює

$$I_{\infty} = I_{*\infty} \cdot I_6 = 5,05 \cdot 1,56 = 7,88 \text{ кА}$$

Завдання.

Для задачі, наведеної в додатку, визначити діюче значення періодичної складової сталого струму трифазного КЗ в точці “К”.

Номер схеми та вихідні дані відповідають варіанту і наведені в додатку. Номер варіанту задається викладачем.

Питання для самоперевірки

1. Дайте визначення періодичної складової струму КЗ для довільного моенту часу.
2. Порядок розрахунку періодичної складової струму КЗ для довільного моенту часу.
3. Проаналізуйте, якими міркуваннями слід керуватися при виборі базисних умов?
4. Обґрунтуйте, чому точку КЗ не рекомендується об'єднувати с навантажувальними гілками? Які існують рекомендації по перетворенню складних схем?
5. . Що розуміється під коротким замиканням?
6. Як обчислюється струм в точці КЗ за допомогою. коефіцієнтів участі?
7. Написати точні формули приведення в іменованій системі одиниць.
8. Написати точні формули приведення в іменованій системі одиниць.
9. Чим відрізняються точні формули приведення від наближених у відносних одиницях.
10. В чому заключається допущення, які застосовуються при практичних розрахунках електромагнітних перехідних процесах.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 7.

Тема: Розрахунок миттєвого значення аперіодичної складової струму в точці КЗ для заданого моменту часу

Мета: навчити студентів визначати миттєве значення аперіодичної складової струму в точці КЗ для заданого моменту часу

Теоретичні положення

Найбільше початкове значення аперіодичної складової струму КЗ у загальному випадку варто приймати рівним амплітуді періодичної складової струму в початковий момент КЗ.

Це є дійсним при наступних умовах:

1) активна складова результуючого еквівалентного опору розрахункової схеми щодо розрахункової точки КЗ значно менше індуктивної складової, унаслідок чого активною складовою можна знехтувати;

2) до моменту КЗ гілка розрахункової схеми, в якій знаходиться розрахункова точка КЗ, не навантажена;

3) напруга мережі до моменту виникнення КЗ проходить через нуль.

Якщо всі джерела електричної енергії знаходяться приблизно в однакових умовах щодо точки короткого замикання, то величину миттєвого значення аперіодичної складової струму КЗ можна визначити за формулою

$$i_a = \sqrt{2} I_n'' \cdot e^{-\frac{1}{T_a}} \quad (7.1)$$

де I_n'' - початковий (надперехідний) струм;

$T_a = \frac{x_{рез}}{\omega \cdot r_{рез}}$ - еквівалентна постійна часу загасання аперіодичної складової

струму КЗ;

$x_{рез}$ – результуючий індуктивний опір схеми щодо точки КЗ при відсутності активних опорів;

$r_{рез}$ – результуючий активний опір схеми щодо точки КЗ при відсутності реактивних опорів,

ω – кругова частота, що дорівнює 314 1/с.

Якщо генератори знаходяться в різних умовах щодо місця КЗ, то необхідно перетворити схему заміщення до багатопроменевого вигляду. При цьому в системі будь-якої складності досить виділити дві-три групи джерел живлення, об'єднавши в кожену з них генератори, що знаходяться приблизно в однакових умовах щодо місця КЗ.

Порядок розрахунку:

1. Скласти схему заміщення, щоб у ній всі елементи вихідної розрахункової схеми враховувалися індуктивними опорами. При цьому генератори повинні бути враховані надперехідними параметрами.

2. Перетворити схему заміщення до трипроменевого вигляду (рис. 7.1):

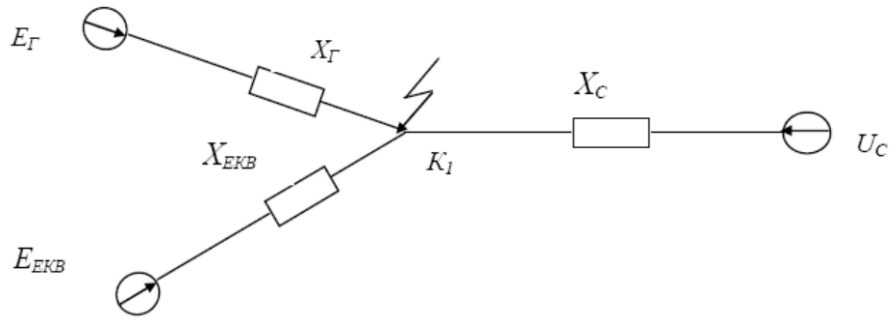


Рис. 7.1 – Схема заміщення електричної мережі трипроменевого вигляду

3. Знайти початкові значення періодичних складових струмів КЗ у кожному промені:

$$\begin{aligned}
 I_{екв}^* &= \frac{E_{екв}}{x_{екв}}; \\
 I_Г^* &= \frac{E_Г}{x_Г}; \\
 I_C^* &= \frac{E_C}{x_C}
 \end{aligned}
 \tag{7.2}$$

4. Скласти схему заміщення, в яку всі елементи вводяться своїми активними опорами. Величини цих опорів знаходять за відомим індуктивним опором елемента і відношенню x/r , взятому з табл. 7.1.

Таблиця 7.1. – Співвідношення x/r , для елементів електричних мереж

| Найменування елемента | Співвідношення r/x |
|-----------------------------|----------------------|
| Турбогенератори до 100 МВт | 15-85 |
| Турбогенератори 100-500 МВт | 100-140 |
| Трансформатори 5-30 МВА | 7-17 |
| Трансформатори 60-500 МВА | 20-50 |
| Реактори до 1000 А | 15-70 |
| Реактори от 1500 А | 40-80 |
| ЛЕП | 2-8 |
| Узагальнене навантаження | 2,5 |

5. Згорнути схему заміщення до трипроменевого вигляду й визначити активні опори променів $r_Г$, $r_{екв}$, r_C .

6. Визначити постійні часу загасання $T_{акв}$, $T_{ас}$, $T_{аГ}$ аперіодичних складових струмів КЗ за формулою

$$\begin{aligned}
 T_{акв} &= \frac{x_{екв}}{\omega \cdot r_{екв}}; \\
 T_{ас} &= \frac{x_C}{\omega \cdot r_{св}};
 \end{aligned}
 \tag{7.3}$$

$$T_{aГ} = \frac{x_{Г}}{\omega \cdot r_{Г}}$$

7. Розрахувати миттєве значення аперіодичної складової струму в точці КЗ для заданого моменту часу

$$i_{at} = \sqrt{2} \left[I_{екв}'' e^{-\frac{t}{T_{екв}}} + I_C'' e^{-\frac{t}{T_{ac}}} + I_{Г}'' e^{-\frac{t}{T_{aГ}}} \right]. \quad (7.4)$$

Завдання.

Для задачі, наведеної в додатку, визначити миттєве значення аперіодичної складової струму в точці КЗ для заданого моменту часу.

Номер схеми та вихідні дані відповідають варіанту і наведені в додатку. Номер варіанту задається викладачем.

Питання для самоперевірки

1. Дайте визначення аперіодичної складової струму КЗ для довільного моменту часу.
2. Порядок розрахунку аперіодичної складової струму КЗ для довільного моменту часу.
3. Врахування навантаження при розрахунку аперіодичної складової струму КЗ в електричній мережі
4. Чим відрізняються точні формули приведення від наближених у відносних одиницях.
5. Наслідки коротких замикань.
6. На чому ґрунтується складання наближених схем заміщення?
7. У якому порядку вибираються коефіцієнти трансформації при виконанні операцій приведення до основної ступіні?
8. Обґрунтуйте, чому точку КЗ не рекомендується об'єднувати з навантажувальними гілками? Які існують рекомендації по перетворенню складних схем?
9. Основні параметри трансформаторів? Як обчислюється омичний опір трансформаторів?
10. Точні формули приведення при розрахунку в іменованій системі одиниць.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 8.

Тема: Визначення миттєвого і діючого значень ударного струму КЗ

Мета: навчити студентів визначати миттєве і діюче значень ударного струму КЗ

Теоретичні положення

Якщо всі джерела електричної енергії знаходяться приблизно в однакових умовах щодо точки короткого замикання, то величину миттєвого і діючого значень ударного струму КЗ можна визначити за формулами

$$i_y = \sqrt{2} I_n'' k_y; I_y = I_n'' \sqrt{1 + 2(k_y - 1)^2}, \quad (8.1)$$

де $k_y = 1 + e^{-\frac{0.01}{T_a}}$ – ударний коефіцієнт.

Якщо точка КЗ знаходиться на шинах генератора чи на високій стороні блокового трансформатора, чи на шинах навантаження, то миттєве значення ударного струму в місці КЗ варто визначати як суму миттєвих ударних струмів від джерела, на шинах якого відбулося КЗ і від еквівалентного джерела, що заміняє всю іншу частину системи.

Порядок розрахунку:

1. Скласти схему заміщення, щоб у ній всі елементи вихідної розрахункової схеми враховувалися індуктивними опорами. При цьому генератори повинні бути враховані надпереходними параметрами.

2. Перетворити схему заміщення до трипроменевого вигляду (рис. 7.1)

3. Визначити ударні коефіцієнти у всіх променях:

$$k_{y_{екв}} = 1 + e^{-\frac{0.01}{T_{екв}}}; \quad k_{y_C} = 1 + e^{-\frac{0.01}{T_{ac}}}; \quad k_{y_\Gamma} = 1 + e^{-\frac{0.01}{T_{a\Gamma}}}. \quad (8.2)$$

4. Знайти миттєве значення ударного струму в місці КЗ, як суму відповідних струмів променів:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot I_{екв}'' \cdot k_{y_{екв}} + \sqrt{2} \cdot I_C'' \cdot k_{y_C} + \sqrt{2} \cdot I_\Gamma'' \cdot k_{y_\Gamma} \quad (8.3)$$

5. Визначити діюче значення ударного струму КЗ:

$$I_y = \sqrt{[I_{\Pi 1}'' + \dots + I_{\Pi i}']^2 + [I_{a1} + \dots + I_{ai}]^2}; \quad (8.4)$$

$$I_{ai} = \sqrt{2} I_{\Pi i}'' \cdot (k_{y_i} - 1), \quad (8.5)$$

де k_y – ударний коефіцієнт i -ї гілки,

$I''_{\Pi i}$, I_{ai} – діючі значення відповідно періодичної і аперіодичної складових струму КЗ i -ої гілки.

Приклад 8.1. Для розрахункової схеми, приведеної на рис. 3.2, розрахувати миттєве і діюче значення ударного струму трифазного КЗ в точці “К1”.

Розрахунок:

Так як система і генератор знаходяться приблизно в однакових умовах щодо точки КЗ, то ударний струм розраховуємо за початковим діючим значенням періодичної складової струму КЗ (I''_{Π}) знайденим в **Прикладі 3.1.**

1. Складаємо схему заміщення (рис. 8.1), в яку всі елементи вводимо своїми активними опорами відповідно до таблиці 7.1.

2. Згортаємо схему заміщення (рис. 8.1) і розраховуємо результуючий активний опір $r_{рез}$.

$$r_1 = \frac{x_1}{140} = \frac{0,028}{140} = 2 \cdot 10^{-4};$$

$$r_2 = \frac{x_2}{30} = \frac{0,09}{30} = 30 \cdot 10^{-4}$$

$$r_3 = 0;$$

$$r_4 = \frac{x_4}{4} = \frac{0,023}{4} = 57 \cdot 10^{-4};$$

$$r_5 = \frac{x_5}{30} = \frac{0,042}{30} = 14 \cdot 10^{-4};$$

$$r_6 = \frac{x_6}{120} = \frac{0,08}{120} = 6 \cdot 10^{-4};$$

$$r_7 = \frac{x_7}{120} = \frac{0,08}{120} = 6 \cdot 10^{-4};$$

$$r_8 = \frac{x_8}{4} = \frac{0,29}{4} = 725 \cdot 10^{-4}$$

$$r_9 = \frac{x_9}{10} = \frac{0,5}{10} = 500 \cdot 10^{-4};$$

$$r_{10} = \frac{x_{10}}{30} = \frac{1,94}{30} = 647 \cdot 10^{-4};$$

$$r_{11} = r_1 + r_2 = 2 \cdot 10^{-4} + 30 \cdot 10^{-4} = 32 \cdot 10^{-4};$$

$$r_{12} = r_3 + r_4 + r_5 + r_6 = (0 + 57 + 14 + 6) \cdot 10^{-4} = 77 \cdot 10^{-4};$$

$$r_{13} = r_7 + r_8 + r_9 + r_{10} = (6 + 725 + 500 + 647) \cdot 10^{-4} = 1924 \cdot 10^{-4};$$

$$r_{\text{рез}} = \frac{r_{11} \cdot r_{12}}{r_{11} + r_{12}} + r_{13} = \frac{32 \cdot 10^{-4} \cdot 77 \cdot 10^{-4}}{32 \cdot 10^{-4} + 77 \cdot 10^{-4}} + 1924 \cdot 10^{-4} = 1947 \cdot 10^{-4}.$$

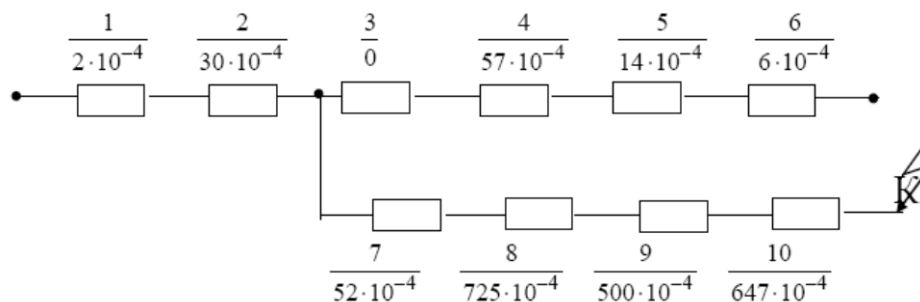


Рис. 8.1 – Схема заміщення активними опорами

3. Розраховуємо постійну часу загасання аперіодичної складової струму короткого замикання й ударний коефіцієнт.

$$T_a = \frac{x_{\text{рез}}}{\omega \cdot T_{\text{рез}}} = \frac{2,955}{314 \cdot 1947 \cdot 10^{-4}} = 0,048 \text{ c};$$

$$k_y = 1 + e^{\frac{0,01}{T_a}} = 1 + e^{\frac{0,01}{0,048}} = 1.812$$

4. Розраховуємо миттєве i_y і діюче I_y значення ударного струму:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot I_n'' \cdot k_y = \sqrt{2} \cdot 3,29 \cdot 1,812 = 8,4 \text{ kA};$$

$$I_y = I_n'' \sqrt{1 + 2(k_y - 1)^2} = 3,29 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,812 - 1)^2} = 5,01 \text{ kA}$$

Завдання.

Для задачі, наведеної в додатку, розрахувати миттєве і діюче значення ударного струму трифазного КЗ в точці “К”.

Номер схеми та вихідні дані відповідають варіанту і наведені в додатку. Номер варіанту задається викладачем.

Питання для самоперевірки

1. Дайте визначення ударного струму КЗ.
2. Дайте визначення ударного коефіцієнта.
3. Від яких параметрів залежить ударний коефіцієнт?
4. Порівняйте значення ударного коефіцієнта для різних точок електричної мережі.
5. Порядок розрахунку ударного струму для системи з декількома джерелами живлення.
6. Дайте визначення діючого значення ударного струму КЗ.
7. Особливості складання схеми заміщення для активного опору.
8. Порівняйте ударні струми при КЗ на шинах СГ та у мережі 0,4 кВ.
9. Порядок визначення сталої часу затухання аперіодичної складової струму КЗ.
10. Обґрунтуйте, чому точку КЗ не рекомендується об'єднувати з навантажувальними гілками? Які існують рекомендації по перетворенню складних схем?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 9.

Тема: *Визначення діючого значення періодичної складової струму в місці несиметричного КЗ для моменту часу t методом спрямлених характеристик*

Мета: *навчити студентів визначати діюче значення періодичної складової струму в місці несиметричного КЗ для моменту часу t методом спрямлених характеристик*

Теоретичні положення

При розрахунку несиметричного КЗ застосовують метод симетричних складових. Виходячи з правила еквівалентності прямої послідовності, при розрахунку несиметричного КЗ, можна застосовувати всі методи розрахунку трифазного КЗ.

Якщо необхідно визначити струми і напруги для довільних моментів часу не тільки в місці КЗ, а й знайти розподіл струмів по гілках і напруг у вузлах, то застосовують метод спрямлених характеристик.

При розрахунку за цим методом генератор, що має регулятор збудження, залежно від його віддалення від точки КЗ і часу від моменту виникнення КЗ, може працювати в двох режимах:

- режим підйому збудження,
- режим нормальної напруги.

Якщо $t \leq 0,5$ с, то можна вважати, що всі генератори працюють у режимі підйому збудження. В схемі заміщення прямої послідовності генератори задаються ЕРС E_t і опором x_t . Ці параметри визначають за спрямленими характеристиками (рис. 9.1) залежно від заданого моменту часу t і величини заданого попереднього струму збудження I_{f0} . Значення дані у відносних одиницях відносно номінальної потужності генераторів, тому їх необхідно привести до базисних умов.

Якщо $t > 0,5$ с і генератори розташовані далеко від місця КЗ, то можна вважати, що вони працюють у режимі нормальної напруги і вводяться в схему заміщення $U_{ном}=1$ та $x_{Г}=0$.

Порядок розрахунку:

1. Проаналізувавши участь кожного генератора в підживленні точки КЗ, задатися режимом його роботи.

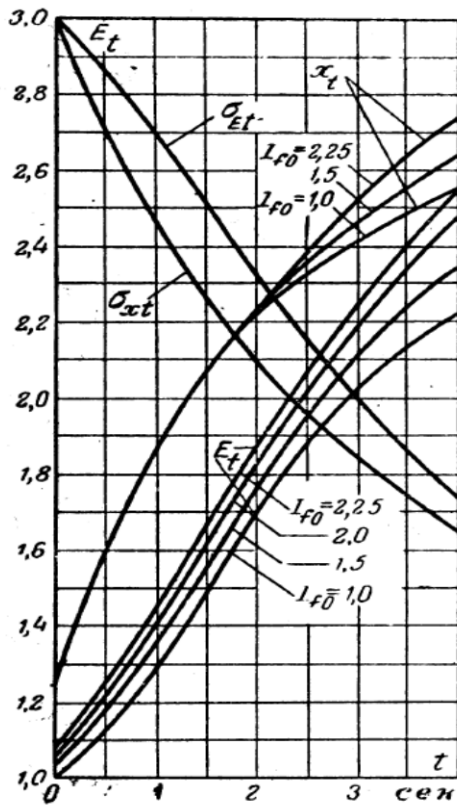
2. Скласти схему заміщення прямої послідовності, що по конфігурації й опорам елементів за винятком генераторів цілком відповідає схемі при трифазному КЗ.

Генератори враховуються параметрами відповідно до заданого режимом їхньої роботи. Навантаження в схемі заміщення враховуються опором $x_{нав} = 1,2$ і ЕРС = 0.

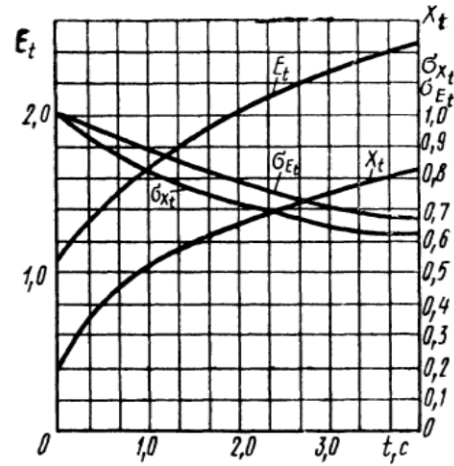
3. Згорнути схему заміщення прямої послідовності до найпростішого вигляду і визначити еквівалентну ЕРС $E_{1екв}$ і результуючий опір прямої послідовності $x_{рез}$.

4. Скласти схеми заміщення зворотної та нульової послідовностей, перетворити їх та знайти результуючі опори $x_{2рез}$ і $x_{0рез}$.

Значення опорів деяких елементів, виражені через опори прямої послідовності наведені в табл. 9.1.



а)



б)

Рис. 9.1 – Криві для визначення E_t і X_t (спрямлені характеристики):

а) для турбогенераторів до 100 МВт з АРЗ, $T_e = 0,57с$;

б) для турбогенераторів 200 – 300 МВт з АРЗ, $T_e = 0...0,3с$.

Таблиця 9.1. – Значення опору нульової послідовності для елементів електричних мереж

| Елементи схеми | Опір x_0 |
|--|------------------------|
| Одноланцюгова повітряна лінія: | |
| без тросів | $3,5 x_1$ |
| із сталевими тросами | $3,0 x_1$ |
| з добре провідними тросами | $2,0 x_1$ |
| Дволанцюгова повітряна лінія | |
| без тросів (із сталевими тросами) | $5,5 x_1 (4,7 x_1)$ |
| з добре провідними тросами | $3,0 x_1$ |
| Трижильні кабелі | $(3,5 - 4,6) x_1$ |
| Генератори | $(0,15-0,6)x''_d$ |
| Трансформатори: | |
| двообмотковий із з'єднанням обмоток Y_0 / Δ | x_1 |
| тристержневий з з'єднанням обмоток Y_0 / Y | $0,5 x_1 + x_{\mu 0}$ |
| тристержневий із з'єднанням обмоток Y_0 / Y_0 | $0,25 x_1 + x_{\mu 0}$ |
| Чотири – або п'ятистержневий із з'єднанням обмоток Y_0 / Y_0 | x_1 |

При складанні схеми необхідно керуватися наступним: у схему заміщення не вводиться трансформатор і наступні за ним елементи, якщо обмотка трансформатора з боку точки короткого замикання з'єднана в трикутник чи у зірку з незаземленою нейтраллю. Схема заміщення закінчується трансформатором, якщо його обмотка з'єднана за схемою Y_0/Δ , причому обмотка, з'єднана в зірку з заземленою нейтраллю, звернена в бік точки КЗ.

5. Розрахувати струм прямої послідовності особливої фази $I_{k,A1}^{(n)}$

$$I_{k,A1}^{(n)} = \frac{E_{1\Sigma}}{x_{1pez} + \Delta x^{(1)}}; \quad (9.1)$$

де $\Delta x^{(n)}$ – додатковий індуктивний опір. Значення $\Delta x^{(n)}$ для різних видів КЗ приведені в табл. 9.2.

Таблиця 9.2. – Значення додаткового опору та коефіцієнти для несиметричних КЗ

| Вид КЗ | Додатковий опір $\Delta x^{(n)}$ | Значення коефіцієнта $m^{(n)}$ |
|-------------------|---|---|
| Двофазне | x_{2pez} | $\sqrt{3}$ |
| Однофазне | $x_{2pez} + x_{0pez}$ | 3 |
| Двофазне на землю | $\frac{x_{2pez} \cdot x_{0pez}}{x_{2pez} + x_{0pez}}$ | $\sqrt{3} \sqrt{1 - \frac{x_{2pez} \cdot x_{0pez}}{(x_{2pez} + x_{0pez})^2}}$ |

6. Знайти критичний опір та критичний струм кожного генератора для заданого моменту часу:

$$x_{кр,t} = x_t \frac{U_{ном}}{E_t - U_{ном}}; \quad (9.2)$$

$$I_{кр,t} = \frac{U_{ном}}{x_{кр}}, \quad (9.3)$$

де

$$x_t = x_t \frac{S_{\sigma}}{S_{ном}}$$

7. Розгорнувши схему заміщення прямої послідовності знайти розподіл струму прямої послідовності по гілках схеми і визначити струм від кожного генератора. Перевірити правильність вибору режиму, порівнюючи обчислений для даного генератора струм прямої послідовності з його критичним струмом.

У режимі підйому збудження $I_1 > I_{кр,t}$, в режимі нормальної напруги $I_1 < I_{кр,t}$. Якщо режим роботи хоча б одного генератора обраний неправильно, то необхідно перезадати режим його роботи і розрахунок повторити.

8. Якщо режими роботи всіх генераторів обрані правильно, розрахувати фазну величину періодичної складової струму пошкодженої фази в місці несиметричного КЗ.

$$I_k^{(n)} = m^{(n)} \cdot I_{k,A1}^{(n)} \cdot I_{\sigma}, \quad (9.4)$$

де $m^{(n)}$ – коефіцієнт, показує в скількох разів струм пошкодженої фази в місці КЗ більше струму прямої послідовності.

Значення коефіцієнтів $m^{(n)}$ для різних видів КЗ приведені в табл. 9.2.

9. Знаючи струм прямої послідовності, розрахувати напруги всіх послідовностей і струми зворотної та нульової послідовностей. Розрахункові вирази для визначення симетричних складових струмів і напруг приведені в табл. 9.3 – 9.5.

10. Задавши масштаб побудувати векторні діаграми струмів і напруг в точці КЗ.

11. Використовуючи табл. 9.3 – 9.5, розрахувати комплексні значення фазних струмів і напруг при заданому несиметричному КЗ. Порівняти розраховані величини зі значеннями на векторних діаграмах.

Таблиця 9.3. – Розрахункові вирази для визначення симетричних складових для двофазного КЗ

| Розрахункові величини та їх позначення | Вид короткого замикання | |
|--|-------------------------|---------------------------------|
| | Двофазне | |
| Струм зворотної послідовності | $I_{k,A2}$ | $-I_{k,A1}$ |
| Струм нульової послідовності | $I_{k,A0}$ | 0 |
| Струм фази А | $\dot{I}_{k,A}$ | 0 |
| Струм фази В | $\dot{I}_{k,B}$ | $jx_{2pez}^* I_{k,A1}$ |
| Струм фази С | $\dot{I}_{k,C}$ | $a^2 I_{k,A1}^* - a I_{k,A1}^*$ |
| Напруга прямої послідовності | $U_{k,A1}^*$ | $jx_{2pez}^* I_{k,A1}^*$ |
| Напруга зворотної послідовності | $U_{k,A2}^*$ | $jx_{2pez}^* I_{k,A1}^*$ |
| Напруга нульової послідовності | $U_{k,A0}^*$ | 0 |
| Напруга фази А | $U_{k,A}^*$ | $2jx_{2pez}^* I_{k,A1}^*$ |
| Напруга фази В | $U_{k,B}^*$ | $-jx_{2pez}^* I_{k,A1}^*$ |
| Напруга фази С | $U_{k,C}^*$ | $-jx_{0pez}^* I_{k,A1}^*$ |

Таблиця 9.4. – Розрахункові вирази для визначення симетричних складових для однофазного КЗ

| Розрахункові величини і їх позначення | | Вид короткого замикання |
|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | Однофазне |
| Струм зворотної послідовності | $I_{k,A2}$ | $I_{k,A1}^*$ |
| Струм нульової послідовності | $I_{k,A0}^*$ | $I_{k,A1}^*$ |
| Струм фази А | $I_{k,A}^*$ | $3I_{k,A1}^*$ |
| Струм фаз В і С | $I_{k,B}^* = I_{k,C}^*$ | 0 |

Продовження таблиці 9.4

| | | |
|--------------------------------|--------------|---|
| Напруга прямої послідовності | $U_{k,A1}^*$ | $I_{k,A1}^* j(x_{0pez} + x_{2pez})$ |
| Напруга прямої послідовності | $U_{k,A2}^*$ | $-I_{k,A1}^* jx_{2pez}$ |
| Напруга нульової послідовності | $U_{k,A0}^*$ | $-I_{k,A1}^* jx_{0pez}$ |
| Напруга фази А | $U_{k,A}^*$ | 0 |
| Напруга фази В | $U_{k,B}^*$ | $I_{k,A1}^* j[x_{2pez}(a^2 - a) + x_{0pez}(a^2 - 1)]$ |
| Напруга фази С | $U_{k,C}^*$ | $I_{k,A1}^* j[x_{2pez}(a - a^2) + x_{0pez}(a - 1)]$ |

Таблиця 9.5 – Розрахункові вирази для визначення симетричних складових для двофазного КЗ на землю

| Розрахункові величини і їх позначення | Вид короткого замикання | |
|---------------------------------------|-------------------------|---|
| | Двофазне на землю | |
| Струм зворотної послідовності | $I_{k,A2}^*$ | $I_{k,A1}^* \frac{x_{0pez}}{x_{2pez} + x_{0pez}}$ |
| Струм нульової послідовності | $I_{k,A0}^*$ | $I_{k,A1}^* \frac{x_{2pez}}{x_{2pez} + x_{0pez}}$ |
| Струм фази А | $I_{k,A}^*$ | 0 |
| Струм фази В | $I_{k,B}^*$ | $I_{k,A1}^* (a^2 - \frac{ax_{0pez} + x_{2pez}}{x_{2pez} + x_{0pez}})$ |
| Струм фази С | $I_{k,C}^*$ | $I_{k,A1}^* (a - \frac{a^2x_{0pez} + x_{2pez}}{x_{2pez} + x_{0pez}})$ |
| Напруга прямої послідовності | $U_{k,A1}^*$ | $I_{k,A1}^* j \frac{x_{0pez} \cdot x_{2pez}}{x_{2pez} + x_{0pez}}$ |
| Напруга прямої послідовності | $U_{k,A2}^*$ | $I_{k,A1}^* j \frac{x_{0pez} \cdot x_{2pez}}{x_{2pez} + x_{0pez}}$ |
| Напруга нульової послідовності | $U_{k,A0}^*$ | $I_{k,A1}^* j \frac{x_{0pez} \cdot x_{2pez}}{x_{2pez} + x_{0pez}}$ |
| Напруга фази А | $U_{k,A}^*$ | $3I_{k,A1}^* j \frac{x_{0pez} \cdot x_{2pez}}{x_{2pez} + x_{0pez}}$ |
| Напруга фази В | $U_{k,B}^*$ | 0 |
| Напруга фази С | $U_{k,C}^*$ | 0 |

Приклад 9.1 . Визначити для початкового моменту часу періодичну складову струмів двофазного і однофазного к.з. у точці K (рис.9.2).

Вихідні дані:

система C — джерело необмеженої потужності з незмінною напругою 230 кВ;

генератор Γ_1 і Γ_2 : $S_H = 30$ МВА, $U_H = 10,5$ кВ, $x_d'' = 0,27$;

трансформатори T_1 і T_2 : $S_H = 40$ МВА, 10,5/121 кВ, $u_K = 10,5\%$;

трансформатор T_3 : $S_H = 63$ МВА, 230/115/10,5 кВ, $u_{КВН} = 18\%$; $u_{КБС} = 11\%$; $u_{КСН} = 7\%$;

трансформатор T_4 : $S_H = 40$ МВА, 115/38,5 кВ, $u_K = 10,5\%$;

трансформатор T_5 : $S_H = 25$ МВА, 110/10,5 кВ, $u_K = 10,5\%$;

лінія L_1 повітряна дволанцюгова зі сталевими тросами, $l = 50$ км, $x_\gamma = 0,4$ Ом/км;

лінія L_2 повітряна одноланцюгова зі сталевими тросами, $l = 30$ км, $x_\gamma = 0,4$ Ом/км;

лінія L_3 те саме, $l = 70$ км, $x_\gamma = 0,4$ Ом/км.

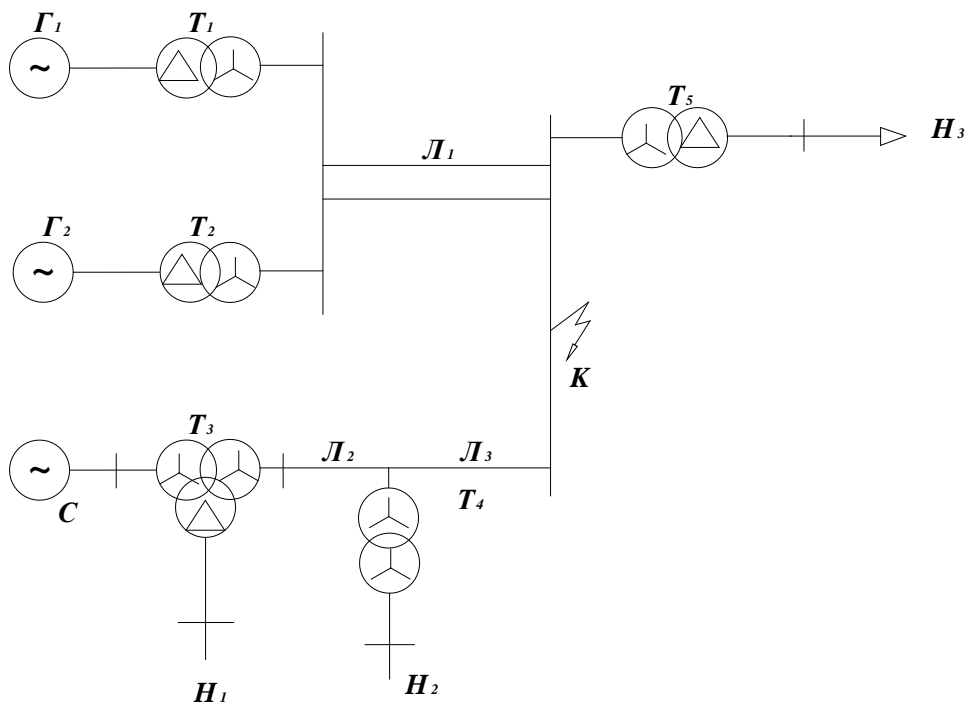


Рис. 9.2 - Розрахункова схема задачі

Розрахунок:

а) Розрахунок струму при двофазному к.з.

Схеми заміщення для прямої і зворотної послідовності подано на рис. 9.3. Оскільки навантаження віддалені від точки к.з., то вони не враховані при складанні схем.

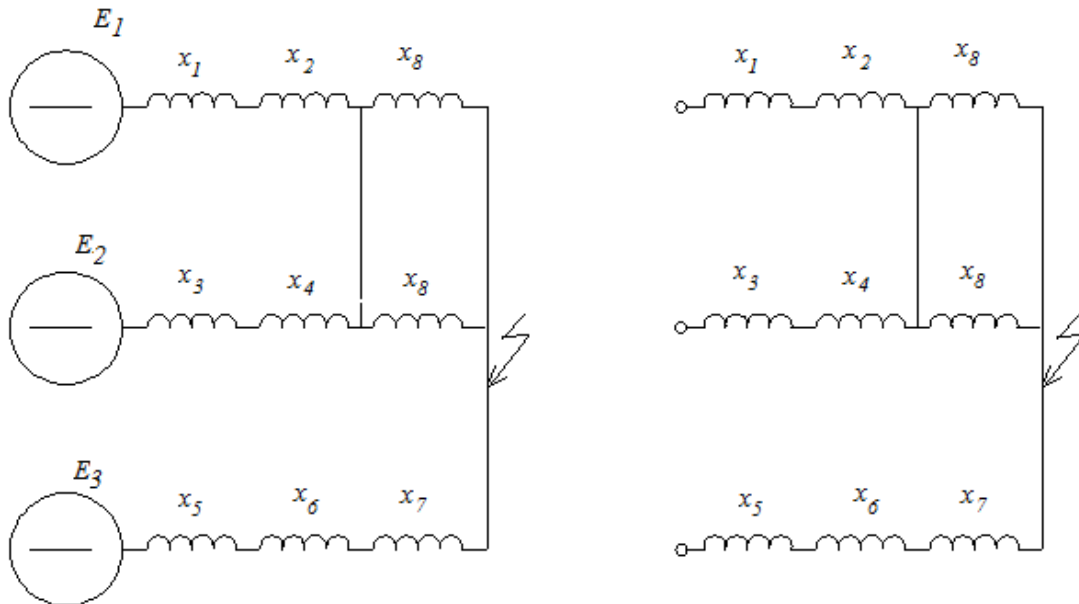


Рис. 9.3 - Схеми заміщення для прямої і зворотної послідовності

Аналитичне розв'язання у відносних базисних одиницях. Базисні одиниці: $S_0 = 100$ МВА, $U_{0I} = 10,5$ кВ, $U_{0II} = 115$ кВ, $I_{0I} = 5,5$ кА, $I_{0II} = 0,5$ кА.

Параметри елементів схеми заміщення прямої послідовності:

$$x_1 = x_3 = x_d'' \cdot \frac{S_\delta}{S_n} = 0,27 \cdot \frac{100}{30} = 0,9;$$

$$x_2 = x_4 = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{S_\delta}{S_n} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{100}{40} = 0,26;$$

$$x_5 = \frac{u_{квс} + u_{квн} - u_{кчн}}{200} \cdot \frac{S_\delta}{S_n} = \frac{18 + 11 - 7}{200} \cdot \frac{100}{63} = 0,175;$$

$$x_6 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_\delta}{U_{\delta I}^2} = 0,4 \cdot 30 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,09;$$

$$x_7 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_\delta}{U_{\delta II}^2} = 0,4 \cdot 70 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,21;$$

$$x_8 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_\delta}{U_{\delta I}^2} = 0,4 \cdot 50 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,15;$$

$$E_{*1}'' = E_{*2}'' = U_{*0} + I_{*0} \cdot \sin \varphi_0 = 1 + 1 \cdot 0,27 \cdot 0,6 = 1,16;$$

$$E_{*3}'' = 1.$$

Опір зворотної послідовності елементів схеми (крім генераторів) дорівнює опорам прямої послідовності.

Для генераторів маємо:

$$x_{1(2)} = x_{2(2)} = 1,45 \cdot x_d = 1,89$$

Перетворимо схеми і визначимо результуючу е.р.с. і результуючий опір

$$x_{2\Sigma} = 0,39$$

Після перетворення схеми зворотної послідовності одержимо струм прямої

послідовності в місці к.з.:

$$I_{\kappa 1}^{(2)} = \frac{E_{1\Sigma}}{x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma}} = \frac{1,163}{0,31 + 0,39} = 1,66.$$

Повний струм у пошкоджених фазах у місці к.з. в іменованих одиницях:

$$I_{\kappa}^{(2)} = \sqrt{3} \cdot I_{\kappa 1}^{(2)} \cdot I_{\delta II} = 1,73 \cdot 1,66 \cdot 0,5 = 1,44 \text{ кА}$$

Розв'язання з використанням розрахункових кривих.

У цьому випадку обов'язково слід виділити дві генеруючі гілки: 1-ша — система; 2-га — станція з генераторами Г1 і Г2.

Опори прямої і зворотної послідовності генеруючої гілки з попереднього розрахунку:

$$x_{I(1)} = 0,586;$$

$$x_{I(2)} = 0,58;$$

$$x_{II(1)} = 0,65;$$

$$x_{II(2)} = 1,15.$$

Тоді розрахункові опори генеруючих гілок:

$$x_{\text{розрI}} = x_{I(1)} + x_{II(2)} = 0,586 + 0,586 = 1,17;$$

$$x_{\text{розрII}} = (x_{II(1)} + x_{II(2)}) \cdot \frac{S_{\Sigma II}}{S_{\delta}} = (0,65 + 1,15) \cdot \frac{60}{100} = 1,08.$$

За розрахунковими кривими для генераторів з АРЗ визначимо періодичну складову струму прямої послідовності від станції:

$$I_{n\kappa 1}^{N(2)} = 0,95.$$

Повний струм у пошкоджених фазах у місці к.з.:

$$I_{\kappa}^{(2)} = \sqrt{3} \cdot I_{n\kappa 1}^{N(2)} \cdot I_{\Sigma II} + \sqrt{3} \cdot \frac{I_{\delta II}}{x_{\text{розр}}} = 1,73 \cdot 0,95 \cdot 0,3 + 1,73 \cdot \frac{0,5}{1,17} = 1,23 \text{ кА};$$

$$\text{де } I_{\Sigma II} = \frac{S_{\Sigma II}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.н}}} = \frac{60}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,3 \text{ кА}.$$

б) Розрахунок струму при однофазному к.з.

Для розрахунку однофазного струму к.з. необхідно скласти схеми заміщення прямої, зворотної і нульової послідовностей. Схему нульової послідовності наведено на рис. 9.4.

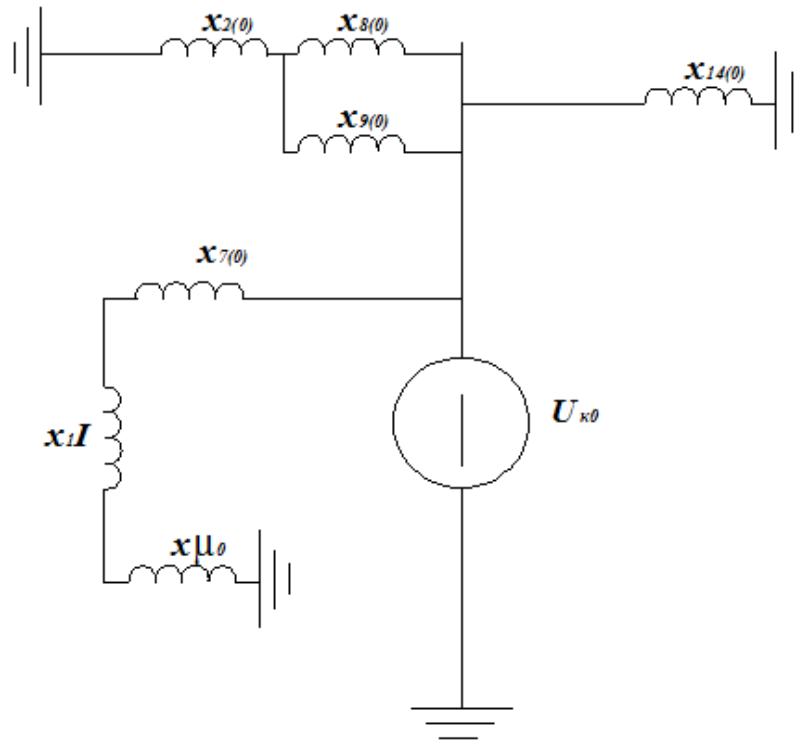


Рис. 9.4 - Схема нульової послідовності

$$x_{10} = \frac{x_1 + x_2}{2} = \frac{0,9 + 0,26}{2} = 0,58;$$

$$x_{11} = \frac{x_8}{2} = \frac{0,15}{2} = 0,075;$$

$$x_{12} = x_{10} + x_{11} = 0,58 + 0,075 = 0,655;$$

$$x_{13} = x_5 + x_6 + x_7 = 0,286 + 0,09 + 0,21 = 0,586;$$

$$x_{1\Sigma} = \frac{x_{12} \cdot x_{13}}{x_{12} + x_{13}} = \frac{0,655 \cdot 0,586}{0,655 + 0,586} = 0,31;$$

$$E_{1\Sigma} = \frac{E_{12}'' \cdot x_{13} + E_3'' \cdot x_{12}}{x_{13} + x_{12}} = \frac{1,16 \cdot 0,586 + 1 \cdot 0,655}{0,586 + 0,655} = 1,163.$$

Опір елементів схеми у відносних базисних одиницях:

$$x_{2(0)} = x_{2(1)} = 0,26;$$

$$x_{14(0)} = x_{14(1)} = \frac{u_{\kappa} \%}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_n} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{100}{25} = 0,42;$$

$$x_{8(0)} = x_{9(0)} = 4,7 \cdot x_{8(1)} = 4,7 \cdot 0,15 = 0,705;$$

$$x_{1I} = \frac{u_{\kappa} \%}{200} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_n} = \frac{10,5}{200} \cdot \frac{100}{40} = 0,13;$$

$$x_{7(0)} = 3 \cdot x_{7(1)} = 3 \cdot 0,21 = 0,63;$$

$$x_{\mu 0} = (0,3 + 1,0) \cdot \frac{S_{\delta}}{S_n} = 0,5 \cdot \frac{100}{40} = 1,25.$$

Результат розрахунку:

$$x_{0\Sigma} = x_{14(0)} // (x_{2(0)} + \frac{x_{8(0)}}{2}) // (x_{7(0)} + x_{1I} + x_{\mu(0)}) = 0,42 // 0,71 // 2,01 = 0,23$$

$$I_{\kappa 1}^{(1)} = \frac{E_{1\Sigma}}{x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}} = \frac{1,163}{0,31 + 0,39 + 0,23} = 1,25$$

Повний струм у місці к.з.

$$I_{\kappa}^{(1)} = 3 \cdot I_{\kappa 1}^{(1)} \cdot I_{\delta II} = 3 \cdot 1,25 \cdot 0,5 = 1,875 \text{ А}$$

Якщо розрахунок ведеться з використанням розрахункових кривих і з врахуванням індивідуальної зміни струмів окремих генеруючих гілок, то вважається необхідним результуючий опір нульової послідовності розподілити за генеруючими гілками. Для цього знаходять коефіцієнти розподілу генеруючих гілок, які характеризують частку їх участі в живленні точки к.з. Коефіцієнти визначають зі схеми заміщення прямої послідовності. У цьому випадку:

$$C_I = \frac{x_{1\Sigma}}{x_{13}} = \frac{0,31}{0,586} = 0,53$$

$$C_{II} = \frac{x_{1\Sigma}}{x_{12}} = \frac{0,31}{0,65} = 0,47$$

Тоді опори нульової послідовності гілок будуть:

$$x_{I(0)} = \frac{x_{0\Sigma}}{C_I} = \frac{0,23}{0,53} = 0,434$$

$$x_{II(0)} = \frac{x_{0\Sigma}}{C_{II}} = \frac{0,23}{0,47} = 0,49$$

Розрахункові опори гілок:

$$x_{\text{розр. I}} = x_{I(1)} + x_{II(2)} + x_{II(0)} = 0,586 + 0,586 + 0,434 = 1,606;$$

$$x_{\text{розр. II}} = (x_{II(1)} + x_{II(2)} + x_{II(0)}) \cdot \frac{S_{\Sigma H}}{S_{\delta}} = (0,655 + 1,15 + 0,49) \cdot \frac{60}{100} = 1,377$$

Струм прямої послідовності від другої генеруючої гілки (за кривою): $I = 0,74$.

Повний струм у місці к.з. у пошкодженій фазі:

$$I_{nk}^{(2)} = 3 \cdot \frac{I_{\delta I}}{x_{\text{розр. I}}} + 3 \cdot I_{nk1}^{(1)} \cdot I_{\Sigma H} = 3 \cdot \frac{0,5}{1,606} + 3 \cdot 0,74 \cdot 0,3 = 1,6 \text{ А}$$

Розрахункові опори можуть бути знайдені також за виразом

$$x_{\text{розр. I}} = \frac{x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}{C_I} = \frac{0,91 + 0,39 + 0,23}{0,53} = 1,755;$$

$$x_{\text{розр. II}} = \frac{x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}{C_{II}} \cdot \frac{S_{\Sigma H}}{S_{\delta}} = \frac{0,31 + 0,39 + 0,23}{0,47} \cdot \frac{60}{100} = 1,277$$

При цьому за кривими $I_{nk}^{(1)} = 0,82$, а повний струм КЗ складе:

$$I_K^{(1)} = 3 \cdot \frac{I_{\Sigma H}}{x_{розрI}} + 3 \cdot I_{нк}^{(1)} \cdot I_{\Sigma H} = 3 \cdot \frac{0,5}{1,755} + 3 \cdot 0,82 \cdot 0,3 = 1,59 \text{ кА}$$

тобто результати розрахунків збіглися.

Завдання.

Для задачі, наведеної в додатку, визначити для початкового моменту часу періодичну складову струмів двофазного і однофазного к.з. у точці *K*.

Номер схеми та вихідні дані відповідають варіанту і наведені в додатку. Номер варіанту задається викладачем.

Питання для самоперевірки

1. Дайте визначення несиметричного КЗ.
2. Призначення та особливості комплексної схеми заміщення для розрахунку струмів несиметричних КЗ.
3. Охарактеризуйте особливості однофазних КЗ на землю в мережах з ізольованою та глухо заземленою нейтраллю
4. Порядок складання схеми заміщення нульової послідовності.
5. Особливості застосування методу симетричних складових до розрахунку несиметричних КЗ.
6. Схема заміщення нульової послідовності три обмоткового трансформатора.
7. Схема заміщення оберненої послідовності елементів електричної мережі.
8. Сформулюйте граничні умови при розрахунку двофазного КЗ.
9. Порядок розрахунку несиметричних КЗ за допомогою методу спрямлених характеристик
10. Як за допомогою струму прямої послідовності розрахувати струм в місці несиметричного КЗ?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 10.

Тема: Визначення діючого значення періодичної складової струму при короткому замиканні в мережі до 1000 В

Мета: навчити студентів визначати діюче значення періодичної складової струму при короткому замиканні в мережі до 1000 В

Теоретичні положення

У мережах до 1000 В, крім названих вище чотирьох особливостей, є ще дві особливості розрахунку струму КЗ

Через те що ланцюг КЗ має тут в основному радіальний характер, який належить тільки одному ступеню напруги, параметри елементів задаються іменованих одиницях (*омах* і навіть *міліомах* – *мОм*), і тому розрахунок доцільно виконувати в цих іменованих одиницях.

За таких дуже малих опорів основних елементів ланцюга – трансформаторів і ліній – починають велику значення відігравати значення опорів вторинних елементів, наприклад рубильників, автоматів і котушок їх РЗ; і навіть просто контактні переходи в приєднаннях апаратів до шин і провідників.

Розглянемо розрахунок у колах до 1000 В докладніше.

Розрахунок струму КЗ в установках до 1000 В

Більше затруднення для розрахунків сили струму КЗ створюють чотиріпровідні установки 380/220 В. Через те що тут розрахунковими видами КЗ є три – та однофазне, необхідно визначити як заключний опір прямої послідовності для розрахунку трифазного опору (для вибору апаратури) $Z_{зак}$, так і комплексний опір однофазного КЗ $Z_n^{(1)}$ (для перевірки РЗ по струмах однофазних КЗ)

$$Z_n^{(1)} = \sqrt{(x_{зак1} + x_{зак2} + x_{зак0})^2 + (r_{зак1} + r_{зак2} + r_{зак0})^2}$$

Тому для кожного елемента треба визначити x_1 і x_0 , r_1 і r_0 , вважаючи опори оберненої послідовності x_2 і r_2 , такими, що дорівнюють прямим. Найкраще такі дані наведено в [1]. В [7; 8] також є такі дані, але для розрахунку однофазних КЗ їх треба використовувати уважно. Розглянемо визначення необхідних параметрів для конкретних елементів.

Трансформатори

Для трансформаторів опори прямої послідовності, Ом,

$$Z_1 = 10u_{\kappa} U_{H2}^2 / S_H; \tag{10.1}$$

$$r_1 = r_2' = P_{\kappa} \cdot U_{H2}^2 / S_H^2; \tag{10.2}$$

$$x_1 = x_2' = \sqrt{Z_1^2 - r_1^2}, \tag{10.3}$$

де u_{κ} виражені у %, U_{H2} – у кВ, S_H – у кВ·А, P_{κ} – у Вт.

У [1; 7; 8] такі опори вже обчислені й наведені у таблицях. Для X_0 і r_0 дані наводяться також, але треба вміти їх знаходити, бо вони залежать від схеми з'єднання обмоток трансформатора.

У чотирипровідних мережах 380/220 В живлячий трансформатор може бути з'єднаний за схемою Y/Y_0 і тоді в ньому струмами нульової послідовності (н.п.) обтікається тільки вторинна обмотка. Тоді $r_0 = 0,5 \dots 12/r_1$ залежно від потужності трансформатора (чим більше значення S_H , тим менший опір), а $x_0 = 10x_1$. Наприклад, для трансформатора з $S_H = 1000 \text{кВ} \cdot \text{А}$ прямий повний опір дорівнює

$$Z_n^{(1)} = \sqrt{(r_1 + r_2 + 0,5r_1)^2 + (x_1 + x_2 + 10x_1)^2} = \sqrt{(2,5r_1)^2 + (12x_1)^2} \approx 12x_1.$$

Коли схема трансформатора Δ/Y_0 , тоді обидві обмотки обтікаються струмами н.п. Отже, $r_0 = r_1$, $x_0 = x_1$ і для таких трансформаторів $Z_n^{(1)} \approx 3z_1$.

Нарешті, коли схеми трансформатора Y/Z_0 (зірка-зигзаг із заземленим нулем) магнітних потоків н.п. у трансформаторі немає,

$r_0 = 0,5r_1$, а $x_0 = 0,1 \dots 0,15/x_1$. У цьому разі $Z_n^{(1)} \approx 2,2z_1$. А в [7; 8] у таблицях наведено $3z_1$, що важко пояснити. Тому ці дані непридатні.

Лінії та шинопроводи

Опори ліній і шинопроводів доцільніше визначати за довідниками або за [1;7;8]. Наближено погонні опори прямої послідовності можна обчислити за формулами, МОм/м :

$$r_{n1} = 10^3 / \gamma s, \tag{10.4}$$

де $\gamma = 30 \dots 32 \text{ м/Ом} \cdot \text{мм}^2$ для алюмінію;

$\gamma = 50 \dots 53 \text{ м/(МОм} \cdot \text{мм}^2)$ для міді;

s - переріз провідника, мм^2 ;

$$x_{n1} = 0,145 \lg(D_{\text{ср}}/r_e), \tag{10.5}$$

де $D_{\text{ср}}$ – середня геометрична відстань між фазами;

r_e – еквівалентний радіус провідника, що дорівнює:

— для круглих шин **0,782** геометричного радіуса,

— для багатожильних мідних провідів **0,72...0,77**,

— для алюмінієвих **0,95**,

— для пакетів плоских шин **0,23(b+h)** (де b - загальна ширина пакета;

h - висота полоси шин).

Опори н.п. r_0 і X_0 залежать від багатьох факторів, в основному від того, що проводить струм н.п. у землі. Так, в ідеальному випадку чотирипровідної лінії з r_1 у трьох фазних провідів і $r_4 = 2r_1$ у четвертому нульовому провіді опір н.п.

$$r_0 = r_1 + 3r_4 = r_1 + 6r_1 = 7r_1 \tag{10.6}$$

Але насправді струм н.п. знаходить паралельні шляхи по заземлюючих полосах, трубах, рейках, залізобетонній арматурі, оболонках кабелів, але, з іншого боку, КЗ може бути не металевим, а через дугу, землю, заземлювач і без четвертої жили. Тому практично

$$r_0 = (5 \dots 15) r_1 \quad (10.7)$$

Аналогічно $r_2 = r_3 = r_4$ та $x_0 = x_2 = x_4$.

$$x_0 = (7,5 \dots 9,5) x_1 \quad (10.8)$$

Апаратура ланцюга

Для апаратів конкретно враховують опори: автоматів, контакторів, рубильників r_{an} (табл.10.1); котушок автоматів r_{or} і x_{or} ; котушкових трансформаторів струму r_{Tc} і x_{Tc} (табл.10.2).

Ці дані беруть за довідниками або в [1; 7; 8].

Опір контактних з'єднань

Практика показала, що розрахунок струму КЗ у мережах до 1000 В з урахуванням опорів усіх перерахованих елементів дає завищене значення струму КЗ порівняно з фактичним. Це пояснюється тим, що КЗ не буває ідеальним металевим, у місцях з'єднання шин і провідників з виводами апаратів і між собою є перехідний опір контактів. Проте точно урахувати їх неможливо, але нехтувати цим неприпустимо. Тому рекомендується при розрахунках у мережах до 1000 В додатково враховувати опір контактних з'єднань $r_k = 15 \dots 30$ мОм залежно від віддаленості місця КЗ від трансформатора. Так, при КЗ на збірних шинах 0,4 кВ підстанції сумарний опір $r_k = 15$ мОм; на шинах цехових РП $r_k = 20$ мОм, тобто $r_k = 5$ мОм; на місцевих розподільчих щитах РЩ $r_k = 25$ мОм, тобто ще додають $\Delta r_k = 5$ мОм, і, нарешті, на щитках Щ біля двигунів та освітлення $r_k = 30$ мОм, тобто $\Delta r_k = 5$ мОм.

Таблиця 10.1. Орієнтовні значення перехідних опорів контактів апаратів, мОм

| Номинальний струм апарату, А | Автомат | Рубильник | Роз'єднувач |
|------------------------------|---------|-----------|-------------|
| 50 | 1,3 | - | - |
| 100 | 0,75 | 0,5 | - |
| 200 | 0,6 | 0,4 | - |
| 400 | 0,4 | 0,2 | 0,2 |
| 600 | 0,25 | 0,15 | 0,15 |
| 1000 | - | 0,08 | 0,08 |
| 3000 | - | - | 0,02 |

Таблиця 10.2. Опори первинних обмоток трансформаторів струму, мОм

| Коефіцієнт трансформації | x | r |
|--------------------------|------|------|
| 20/5 | 67 | 42 |
| 40/5 | 17 | 11 |
| 75/5 | 4,8 | 3 |
| 150/5 | 1,2 | 0,75 |
| 300/5 | 0,3 | 0,2 |
| 500/5 | 0,07 | 0,05 |

Розрахункові формули

Ураховуючи, що розрахунок виконують в іменованих одиницях (мОм), а лінійну напругу беруть у В, наведені далі формули дають струм у кА. Струм трифазного КЗ

$$I^{(3)} = U / (\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{зак1}^2 + x_{зак1}^2}); \quad (10.9)$$

Однофазного

$$I^{(1)} = \sqrt{3} \cdot U / \sqrt{(2r_{зак1} + r_{зак0})^2 + (2x_{зак1} + x_{зак0})^2}; \quad (10.10)$$

У цих формулах $r_{зак1} = \sum r_{1i}$ для всіх урахованих елементів даного радіального ланцюга КЗ, починаючи з трансформатора 10/0,4 кВ. Аналогічно визначають решту заключних опорів.

У деяких виданнях, наприклад [7; 8], наводиться спрощена формула для визначення струму однофазного КЗ:

$$I_{\kappa}^{(1)} = U_{\phi} / (z_{ne} + z_{нГ}^{(1)} / 3) \quad (10.11)$$

Її неточність зумовлена арифметичним додаванням повних опорів Z , що впливатиме, коли буде багато різних послідовних елементів. У цій формулі $Z_{нГ}^{(1)}$ – повний прямий опір окремого трансформатора, дані про який наведено в [7; 8]; Z_{ne} – опір так званої петлі фаза-нуль, дані про яку також наведено в [7;8]. Але виділити з такого параметра окремі опори кожної послідовності дуже важко, розрахунок втрачає наочність, і тому слід вважати методику розрахунку однофазного КЗ за [1] прийнятнішою.

Для вибору апаратури треба ще знати ударний коефіцієнт:

$$k_y = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} \quad (10.12)$$

Для більшості ланцюгів 0,4 кВ він дорівнює одиниці, але при бажанні впевнитися в цьому, легко обчислити сталу часу T_a , маючи $x_{зак1}$ $r_{зак1}$, за формулою:

$$T_a = x_{зак1} / (\omega \cdot r_{зак1}) \quad (10.13)$$

Якщо безпосередньо до розрахункової точки КЗ підключено асинхронні двигуни, підживлення струму КЗ від них ураховують спрощено за формулою:

для ударного струму

$$\Delta i_y = 6,5 I_{н0}; \quad (10.14)$$

для першого струму

$$\Delta I_{0,0} = 4,5 I_{нд}; \quad (10.15)$$

для струму, що відключається,

$$\Delta I_{0,05} = 3 I_{нд}, \quad (10.16)$$

де $I_{нд}$ – сумарний номінальний струм цих двигунів.

Приклад 10.1. Розрахунок струмів КЗ у мережі 330/220 В. Розглянемо радіальний ланцюг 380 В електропостачання двигуна у цеху заводу (рис.10.1).

Від збірних шин 0,4 кВ (ЗБШ) на ТП 10/0,4/0,23 кВ з трансформатором 1000кВ·А він проходить магістральним шинопроводом ШРА на 630 А до шин розподільного пункту РП у цеху, потім кабелем - до розподільного щита РЩ і потім кабелем до щитка Щ біля двигуна Д. Конструктивні параметри елементів ланцюга показано на розрахунковій схемі рис.10.1. Необхідні для розрахунку струму к.з., опори елементів знаходимо за довідниками; обчислюємо і заносимо в табл.10.3.

Джерело до шин 10 кВ ТП вважаємо системою безмежної потужності. Визначимо струми три - та однофазного КЗ на шинах РП та біля двигуна (точки K_1 і K_2). Таким чином, ми виконали етап I.

Етап 2. Обчислюємо опори елементів і приводимо їх до базових умов. Через те, що розрахунок виконують в іменованих одиницях, достатньо вибрати тільки одну базову напругу, де буде середня номінальна напруга у точці КЗ, тобто $U_6=0,4 \text{ кВ}=400 \text{ В}$.

Для трансформатора 1000 кВ·А маємо $u_k=5,5\%$ та $P_k=12,2 \text{ Вт}$. Тоді

$$Z_T = 10 \cdot 5,5 \cdot 0,4^2 / 1000 = 8,8 \cdot 10^{-3} \text{ Ом або } 8,8 \text{ мОм};$$

$$r_T = 12200 \cdot 0,4^2 / 1000^2 = 1,95 \cdot 10^{-3} \text{ Ом або } 1,95 \text{ мОм};$$

$$x_T = \sqrt{8,8^2 - 1,95^2} = 8,6 \text{ мОм}.$$

Через те, що у трансформатора схема Y/Y_0 беремо $r_0=0,5r_1=1 \text{ мОм}$ і $X_0=10x_1=86\text{Ом}$. Заносимо ці дані у табл.10.3.

Шинопровід трансформатора та збірні шини виконані з двополосних шин 2хА/80х8/ з тривалодопустимим струмом 2040 А [5]. Їх погонні опори за [8] $r_{н1}=0,055/2=0,027 \text{ мОм/м}$, а $x_{н1}=0,145 \text{ мОм/м}$ при відстані між фазами 160 мм маємо

$$D_{cp} = \sqrt[3]{160 \cdot 160 \cdot 2 \cdot 160 /} = 160 \sqrt[3]{2} = 160 \cdot 1,26 = 202 \text{ мм}.$$

Обчисливши за (10.5), дістанемо

$$x_{н1} = 0,145 \text{ лг } 202 / 0,23 / 80 + 3,8 / = 0,134 \text{ мОм/м},$$

бо ширина двополосного пакета шин $3 \cdot 8 = 24 \text{ мм}$.

За (10.4) маємо

$$r_{н1} = 10^3 / 30 \cdot / 2 \cdot 80 \cdot 8 / = 0,026 \text{ мОм/м}.$$

Як бачимо, довідкові і розрахункові величини опорів практично збігаються.

Для опорів н.п. беремо середнє значення коефіцієнтів збільшення 10 і 8,5. Заносимо ці дані у табл.10.3 і з урахуванням довжини шин обчислюємо загальний опір.

Для широпроводу ШРА на 630 А за довідником $r_{н1}=0,085$; $x_{н1}=0,075 \text{ мОм/м}$. Через те, що комплектний шинопровід має заземлений алюмінієвий кожух, для опорів н.п. беремо мінімальні коефіцієнти, що дорівнюють 7 і 7,5.

З усієї апаратури кола треба врахувати автомати та трансформатори струму (ТС). Але при струмах понад 1000 А ТС мають конструкцію шинних і їх опір виходить мізерним ($r_{TC}=0$, $X_{TC}=0$). Те саме є характерним для автоматів на 2000 А. А при струмах 1000 А і нижче величину опорів беремо за довідниками.

Крім того, опір контактів беремо $r_k=20$ мОм, тому, що точка Ш знаходиться на шинах РП, тобто на другому ступені ланцюга.

Тепер у табл.10.3 є дані опорів для всіх елементів ланцюга до точки КЗ K_1 . Додавши їх, одержуємо відповідні заключні опори для цієї точки. Отже, за (10.9) струм трифазного КЗ

$$I^{(3)}_{k1} = 400 / \sqrt{3} \cdot \sqrt{26,9^2 + 14,1^2} = 231 / 30,4 = 7,6 \text{ кА.}$$

однофазного за (10.10)

$$I^{(1)}_{k1} = \sqrt{3400} / \sqrt{2 \cdot 26,9 + 54,2^2 + 2 \cdot 14,1 + 127,9^2} = 693 / 189,6 = 3,65 \text{ кА,}$$

тобто струм однофазного КЗ значно менше струму трифазного і треба перевіряти надійність роботи РЗ при однофазних КЗ або застосувати спеціальний захист від них.

Якби ми не врахували опору контактів $r_k=20$ мОм, струми були б

$$I^{(3)}_{k1} = 231 / \sqrt{6,9^2 + 14,1^2} = 14,7 \text{ кА;}$$

$$I^{(1)}_{k1} = 693 / \sqrt{2 \cdot 6,9 + 34,2^2 + 2 \cdot 14,1 + 127,9^2} = 4,24 \text{ кА,}$$

тобто значно більшими і апаратура була б дорожчою.

Таким чином, ми виконали всі п'ять етапів розрахунку струму КЗ для точки K_1 . Враховуючи простоту розрахунку для радіального ланцюга, етап 3 (схема заміщення) не виконувався, а етапи 2 та 4 представлено в таблиці 10.3.

Перейдемо до розрахунку струму КЗ в точці K_2 .

Для точки K_2 на щитку Щ біля двигуна Д крім урахованих раніше опорів додаються опори кабельних ліній і апаратури. Для ліній погонні опори беруть за [1]. Опір контактів доведено до 30 мОм, як для четвертого ступеня ланцюга, тобто додано $\Delta r_{k3}=30-20=10$ мОм.

За представленими у таблиці 10.3 заключними опорами для точки K_2 розраховуємо струми КЗ

$$I^{(3)}_{k2} = 231 / \sqrt{87^2 + 29,1^2} = 231 / 92,4 = 2,5 \text{ кА;}$$

$$I^{(1)}_{k2} = 693 / \sqrt{2 \cdot 87 + 137^2 + 2 \cdot 29,1 + 148^2} = 693 / 373 = 1,86 \text{ кА.}$$

Заклучний етап. Ударний струм обчислюється для трифазного КЗ.

Для точки K_1 визначаємо уточнене значення сталої часу $T_a=14,1/314 \cdot 26,9=1,67 \cdot 10^{-3}$ с і відповідно ударного коефіцієнта

$$K_y = 1 + e^{0,01/1,67 \cdot 10^{-3}} = 1 + e^{-5,99} = 1 + 0,0025 = 1,0$$

Тоді як і без уточнень можна було взяти $K_y=1$. Отже, визначаємо ударний струм КЗ

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 7,6 = 10,7 \text{ кА.}$$

Для точки K_2 тим більше $K_y=1$. Отже, тут $i_y = \sqrt{2} \cdot 2,5 = 3,5$ кА. Слід запам'ятати, що коли навіть $r_{zak}=X_{zak}$, то $T_a=0,0032$ с, а $K_y=1,043$ і, взявши $K_y=1$, робимо похибку не більш як 4,5%.

До точки K_2 безпосередньо приєднаний асинхронний двигун 28 кВт. Його номінальний струм $I_{нд} = 28 / \sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,885 \cdot 0,91 = 52,8$ кА. Якщо врахувати підживлення від нього при КЗ у K_2 , одержимо:

для ударного струму $i_{v\Sigma} = i_v + 6,5I_{нд} = 3,5 + 6,5 \times 0,0528 = 3,5 + 0,34 = 3,84$ кА;

а для першого струму КЗ $I_{0,\Sigma} = I_k + 4,5I_{нд} = 2,5 + 4,5 \cdot 0,0528 = 2,5 + 0,24 = 2,74$ кА.

Отже, підживлення струму КЗ від АД не перевищує 10%. Чим ближче двигун до живлячого трансформатора, тим більшим може бути підживлення КЗ від двигуна. Але практично двигуни прямо до шин не підключаються і тому можна рекомендувати враховувати підживлення струму КЗ від двигунів тільки тоді, коли апарати вибрані „впритул” до величини струмів КЗ.

Завдання.

Для задачі, наведеної в додатку, розрахувати струми КЗ у мережі 380/220 В.

Номер схеми та вихідні дані відповідають варіанту і наведені в додатку. Номер варіанту задається викладачем.

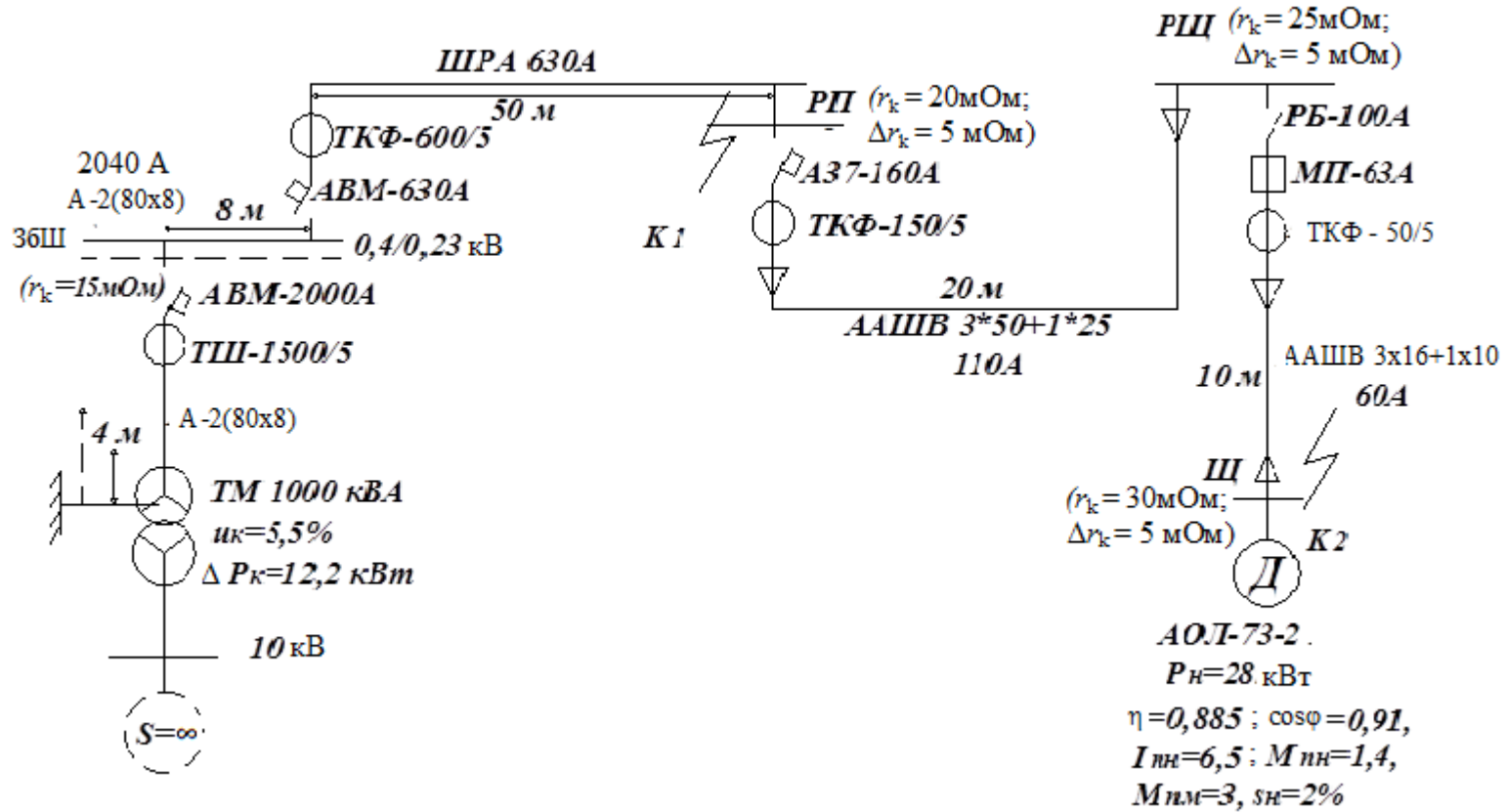


Рис. 10.1. Приклад розрахункової схеми для мережі 0,4 кВ

Таблиця 10.3. Розрахунок заключних опорів у мережі

| Елемент | Параметр | Додаткові дані | Опори, мОм | | | | | | | |
|---------------------------|----------|-------------------------------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|
| | | | r_1 | | x_1 | | r_0 | | x_0 | |
| | | | Питом. | Загал | Питом. | Загал | Форм. | Загал | Форм. | Загал |
| Трансформатор | 1000 кВА | $u_k=5,2\%$ $P_k=12,2$ кВт | 1,95 | 1,95 | 8,6 | 8,6 | $0,5r_k$ | 1,0 | $10x_1$ | 86,0 |
| Шини від трансформатора | 4 м | 2хА/80х8/ | 0,026 | 0,1 | 0,134 | 0,536 | $10r_k$ | 1,0 | $8,5x_1$ | 4,50 |
| ЗБШ до відгал. | 8 м | 2хА/80х8/ | 0,026 | 0,2 | 0,134 | 1,072 | "- | 2,0 | "- | 9,11 |
| Шинопровід | 50 м | ШРА 630 А | 0,065 | 4,25 | 0,075 | 3,45 | $7r_k$ | 29,75 | $7,5x_1$ | 29,1 |
| Автомат | АВМ | 630 А | 0,25 | 0,25 | 0 | 0 | r_k | 0,25 | 0 | 0 |
| Котушка автомата | | | 0,12 | 0,12 | 0,084 | 0,084 | r_k | 0,12 | x_1 | 0,084 |
| Трансформатори струму | ТШ | 1500/5А | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ТКФ | 630/5А | 0,05 | 0,05 | 0,07 | 0,07 | r_k | 0,05 | x_1 | 0,07 |
| Контакти | | 2-й ступінь | 20 | 20 | 0 | 0 | r_k | 20 | 0 | 0 |
| Заклучний опір | | для K_1 | $r_{зак1}$ | 29,9 | $x_{зак1}$ | 14,1 | $r_{зак0}$ | 54,2 | $x_{зак0}$ | 127,9 |
| Додатково для точки K_2 | | | | | | | | | | |
| Кабелі алюмінієві | 20 м | 3х50+1х25 | 0,77 | 15,4 | 0,068 | 1,36 | 1,4 | 28 | 0,19 | 3,8 |
| | 10 м | 3х16+1х10 | 2,4 | 24 | 0,084 | 0,84 | 3,4 | 34 | 0,33 | 3,3 |
| Автомат | А37 | 160 А | 0,65 | 0,65 | 0 | 0 | r_1 | 0,65 | 0 | 0 |
| Котушка автомата | | | 0,74 | 0,74 | 0,55 | 0,55 | r_1 | 0,74 | x_1 | 0,55 |
| Магнітний пускач | МП | 63 А | 1,0 | 1,0 | 0 | 0 | r_1 | 1,0 | 0 | 0 |
| Рубильник | | 100 А | 0,5 | 0,5 | 0 | 0 | r_1 | 0,5 | 0 | 0 |
| Елемент | Параметр | Додаткові дані | Опори, мОм | | | | | | | |
| | | | r_1 | | x_1 | | r_0 | | x_0 | |
| | | | Питом. | Загал | Питом. | Загал | Форм. | Загал | Форм. | Загал |
| Трансформатор струму "-" | ТКФ | 150/5 А | 0,75 | 0,75 | 1,2 | 1,2 | r_1 | 0,75 | x_1 | 1,2 |
| | ТКФ | 50/5 А | 7,0 | 7,0 | 11,0 | 11,0 | r_1 | 7,0 | x_1 | 11,0 |
| Додатковий конт. | | 4-й ступінь | +10 | 10 | 0 | 0 | r_1 | 10 | 0 | 0 |
| Заклучний | | для K_2 | $r_{зак1}$ | 87 | $x_{зак1}$ | 29,1 | $r_{зак0}$ | 137 | $x_{зак0}$ | 148 |

Питання для самоперевірки

1. Поясніть особливості розрахунку струмів КЗ в мережах до 1 кВ..
2. Які елементи коротко-замкненого кола включаються до схеми заміщення розрахунку струмів КЗ в мережах до 1 кВ.
3. Як проводиться приведення параметрів елементів схеми заміщення до базових умов?
4. Порядок складання схеми заміщення нульової послідовності в мережі до 1 кВ.
5. Основні параметри трансформаторів? Як обчислюється омичний опір трансформаторів?
6. Особливості врахування опору контактів та дуги в місці КЗ при розрахунку струмів КЗ в мережах до 1 кВ
7. Порядок розрахунку симетричних струмів КЗ в мережах до 1 кВ.
8. Порядок розрахунку несиметричних струмів КЗ в мережах до 1 кВ..
9. Визначення ударного коефіцієнта розрахунку симетричних струмів КЗ в мережах до 1 кВ.
10. Особливості врахування опору трансформаторів струму і автоматичних вимикачів при розрахунку струмів КЗ в мережах до 1 кВ

ЗАДАЧІ ДЛЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Задача 1

При трифазному КЗ у вузлі 9 знайти початкове значення періодичної складової струму КЗ в лінії W1 (рис. 11.1). Побудувати криві зни струму у часі ($t = 0-0,02$ с) для вузла КЗ.

Вихідні дані:

$G1, G2: S_{\text{ном}} = 40 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_d'' = 0,153.$

$G3, G4: S_{\text{ном}} = 50 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_d'' = 0,16.$

$GS: S_{GS} = 1200 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_{(1)GS1} = 0,23.$

$T1-T4: S_{\text{ном}} = 80 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_k = 11 \%$.

$T5, T6: S_{\text{ном}} = 40 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{k,BC} = 11\%; u_{k,BH} = 22\%; u_{k,CH} = 9,5\%.$

$LR: \text{РБД-10-2500-0,29}.$

$W1: l = 40 \text{ км}; x_{(1)} = 0,420 \text{ Ом/км};$

$W2: l = 90 \text{ км}; x_{(1)} = 0,435 \text{ Ом/км};$

$W3: l = 70 \text{ км}; x_{(1)} = 0,420 \text{ Ом/км};$

$W4: l = 50 \text{ км}; x_{(1)} = 0,420 \text{ Ом/км}.$

Навантаження: $S_{H1} = 30 \text{ МВ} \cdot \text{А}; S_{H2} = 25 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$

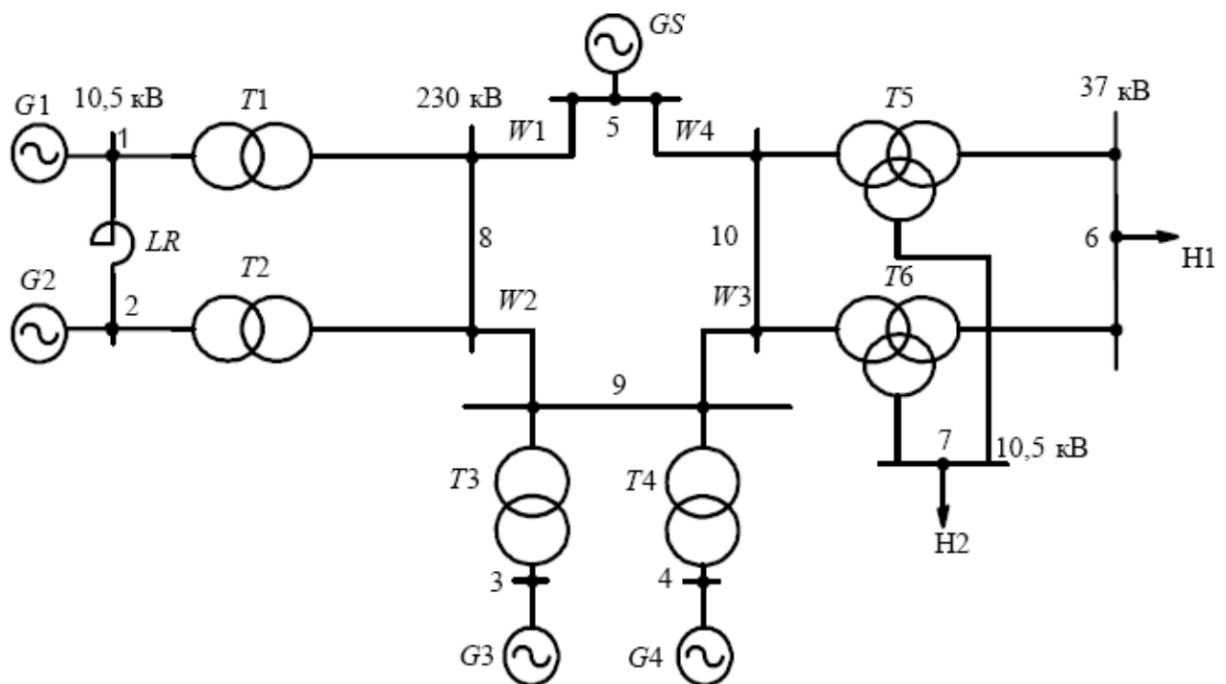


Рис. 11.1

Задача 2

При трифазному КЗ у вузлі 9 обчислити початкове значення періодичної складової струму КЗ через 0,2 с після виникнення КЗ (рис. 11.2).

Вихідні дані

$G1, G2: S_{\text{ном}} = 78,75 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_d'' = 0,153.$

$G3, G4: S_{\text{ном}} = 50 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_d'' = 0,16.$

$GS1: S_{GS1} = 850 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_{(1)GS1} = 0,25.$

$T1-T4: S_{\text{НОМ}} = 80 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{\text{к}} = 11 \text{ \%}.$

$T5, T6: S_{\text{НОМ}} = 40 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{\text{к,BC}} = 11 \text{ \%}; u_{\text{к,ВН}} = 22 \text{ \%}; u_{\text{к,СН}} = 9,5 \text{ \%}.$

$LR: \text{РБДГ-10-4000-0,18}.$

$W1: l = 100 \text{ км}; x_{(1)} = 0,429 \text{ Ом/км};$

$W2: l = 30 \text{ км}; x_{(1)} = 0,420 \text{ Ом/км};$

$W3: l = 70 \text{ км}; x_{(1)} = 0,435 \text{ Ом/км};$

$W4: l = 20 \text{ км}; x_{(1)} = 0,420 \text{ Ом/км}.$

Навантаження: $S_{\text{Н1}} = 40 \text{ МВ} \cdot \text{А}; S_{\text{Н2}} = 20 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$

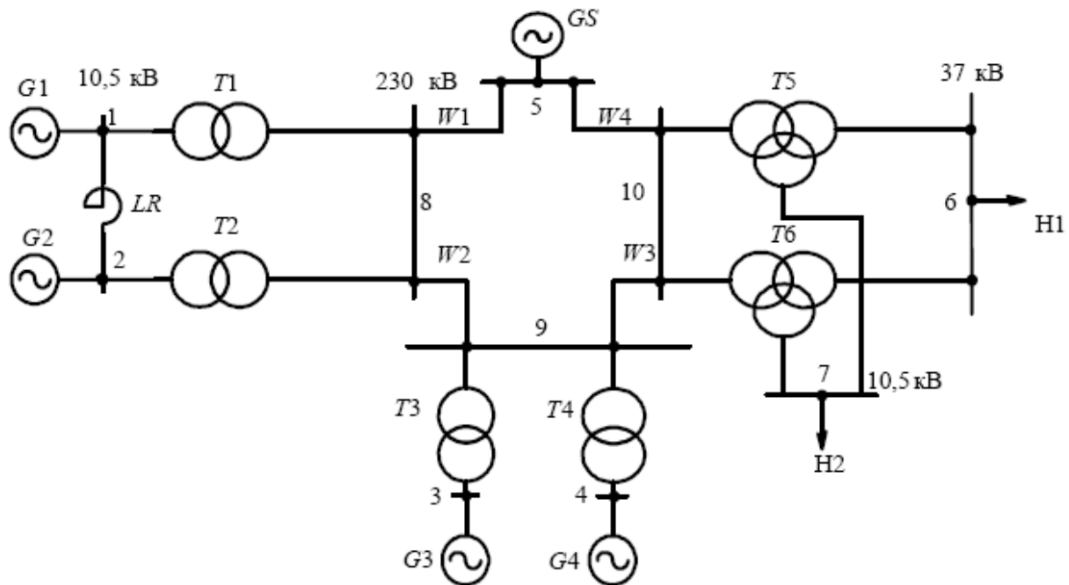


Рис. 11.2

Задача 3

При трифазному КЗ у вузлі 6 електроенергетичної системи, представленої на рис. 11.3, знайти початкове значення періодичної складової струму КЗ в лінії W1.

Вихідні дані

$G1, G2: S_{\text{НОМ}} = 78,75 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_{\text{д}}'' = 0,153.$

$GS: S_{\text{GS}} = 900 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_{(1)GS} = 0,21.$

$T1, T2: S_{\text{НОМ}} = 80 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{\text{к}} = 11 \text{ \%}.$

$T3, T4: S_{\text{НОМ}} = 25 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{\text{к,BC}} = 10,5 \text{ \%}; u_{\text{к,ВН}} = 17,5 \text{ \%}; u_{\text{к,СН}} = 6,5 \text{ \%}.$

$AT1,2: S_{\text{НОМ}} = 200 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{\text{к,BC}} = 11 \text{ \%}; u_{\text{к,ВН}} = 32 \text{ \%}; u_{\text{к,СН}} = 20 \text{ \%}.$

$W1: l = 130 \text{ км}; x_{(1)} = 0,429 \text{ Ом/км};$

$W2: l = 60 \text{ км}; x_{(1)} = 0,435 \text{ Ом/км};$

$W3: l = 85 \text{ км}; x_{(1)} = 0,42 \text{ Ом/км}.$

$LR: \text{РБДГ-10-2500-0,20}.$

Навантаження 1–3: $S_{\text{Н1}} = 100 \text{ МВ} \cdot \text{А}, S_{\text{Н2}} = 30 \text{ МВ} \cdot \text{А}, S_{\text{Н3}} = 20 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$

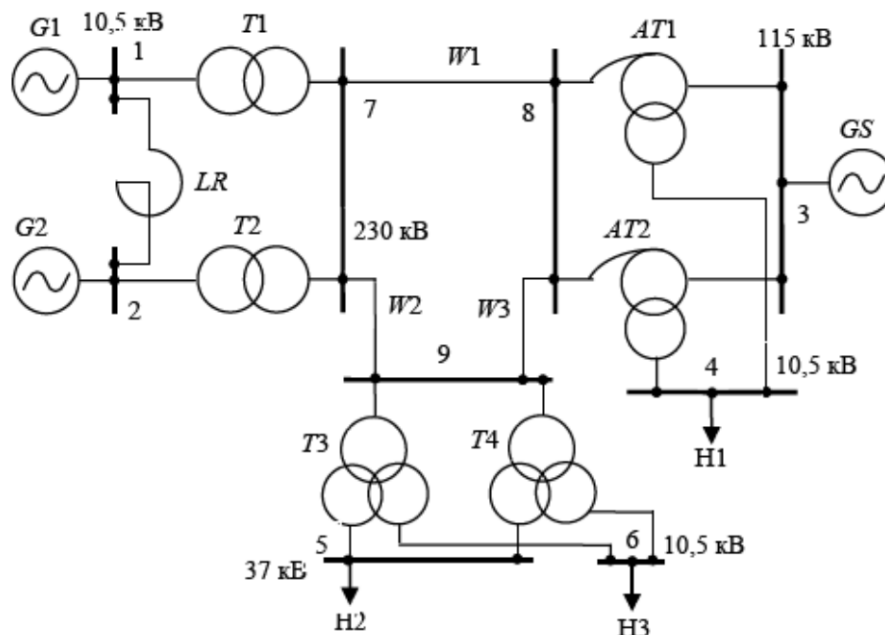


Рис. 11.3

Задача 4

При трифазном КЗ у вузлі 8 електроенергетичної системи, представленої на рис. 11.4, знайти початкове значення періодичної складової струму КЗ через 0,3 с після виникнення КЗ.

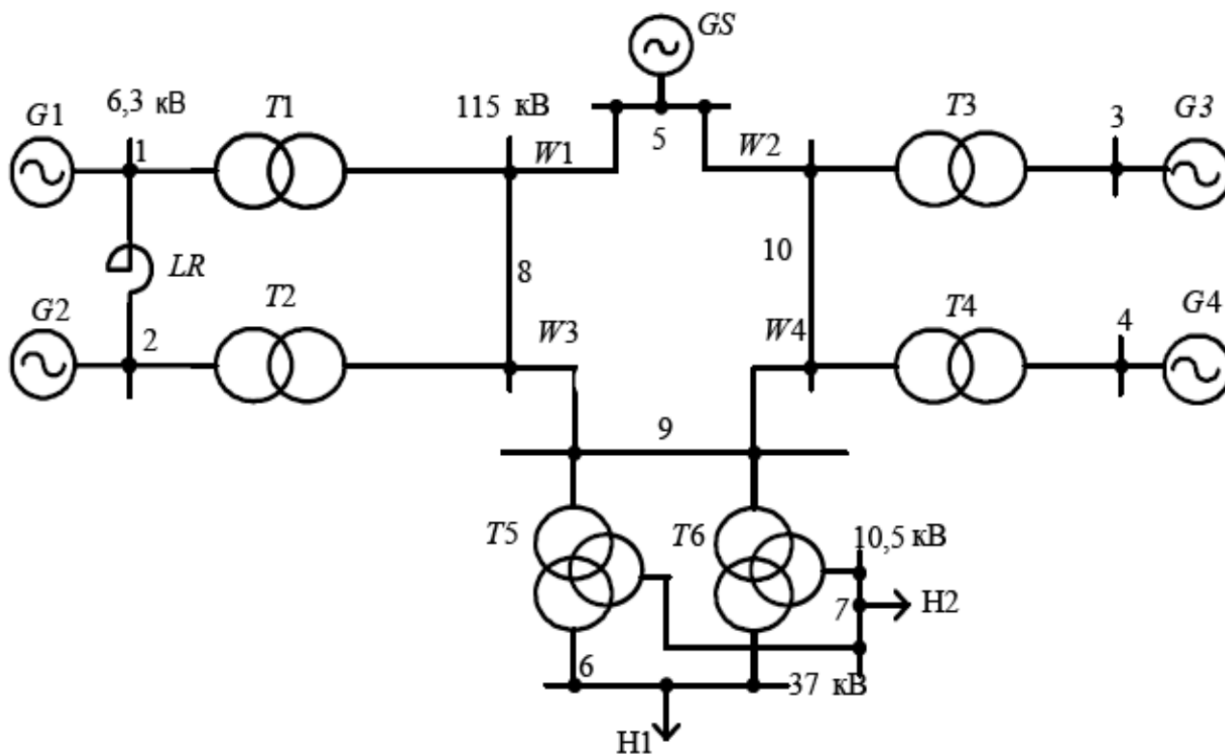


Рис. 11.4

Вихідні дані

$G1, G2: S_{\text{ном}} = 40 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_d'' = 0,143.$

$G3, G4: S_{\text{ном}} = 50 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_d'' = 0,16.$

GS: $S_{GS} = 1100 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $x_{(1)GS} = 0,24$.

T1, T2: $S_{\text{НОМ}} = 40 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $u_k = 10,5 \%$.

T3, T4: $S_{\text{НОМ}} = 80 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $u_k = 11\%$.

T5, T6: $S_{\text{НОМ}} = 80 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $u_{k,BC} = 11\%$; $u_{k,BH} = 18,5 \%$; $u_{k,CH} = 7 \%$.

LR: РБД-10-2500-0,20.

W1: $l = 40 \text{ км}$; $x_{(1)} = 0,405 \text{ Ом/км}$;

W2: $l = 30 \text{ км}$; $x_{(1)} = 0,358 \text{ Ом/км}$;

W3: $l = 15 \text{ км}$; $x_{(1)} = 0,365 \text{ Ом/км}$;

W4: $l = 25 \text{ км}$; $x_{(1)} = 0,377 \text{ Ом/км}$.

Навантаження: $S_{H1} = 60 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $S_{H2} = 50 \text{ МВ} \cdot \text{А}$.

Задача 5

При трифазном КЗ у вузлі 2 електроенергетичної системи (рис.11.5) знайти значення ударного струму КЗ.

Вихідні дані

G1, G2: $S_{\text{НОМ}} = 78,75 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $U_{\text{НОМ}} = 6,3 \text{ кВ}$; $x_d'' = 0,203$.

G3: $S_{\text{НОМ}} = 125 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $U_{\text{НОМ}} = 10,5 \text{ кВ}$; $x_d'' = 0,192$.

GS1: $S_{GS1} = 600 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $x_{(1)GS1} = 0,3$.

GS2: $S_{GS2} = 1100 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $x_{(1)GS1} = 0,23$.

T1, T2: $S_{\text{НОМ}} = 80 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $u_k = 11 \%$.

T3: $S_{\text{НОМ}} = 125 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $u_k = 11 \%$.

AT: $S_{\text{НОМ}} = 125 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $u_{k,BC} = 11 \%$; $u_{k,BH} = 35 \%$; $u_{k,CH} = 22 \%$.

LR: РБДГ-10-4000-0,18.

W1: $l = 35 \text{ км}$; $x_{(1)} = 0,405 \text{ Ом/км}$;

W2: $l = 100 \text{ км}$; $x_{(1)} = 0,435 \text{ Ом/км}$.

Навантаження: $S_H = 50 \text{ МВ} \cdot \text{А}$.

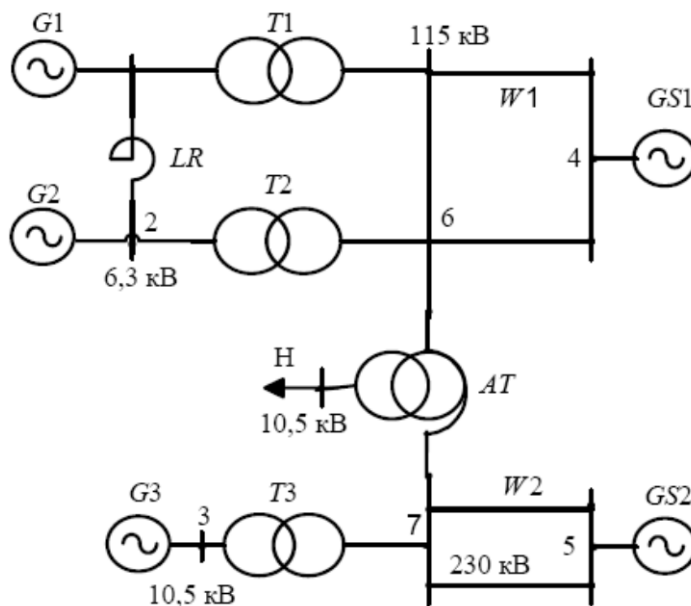


Рис. 11.5

Задача 6

При трифазному КЗ у вузлі 9 електроенергетичної системи, представленої на рис. 11.6, знайти значення періодичної складової струму КЗ через 0,15 с після виникнення КЗ.

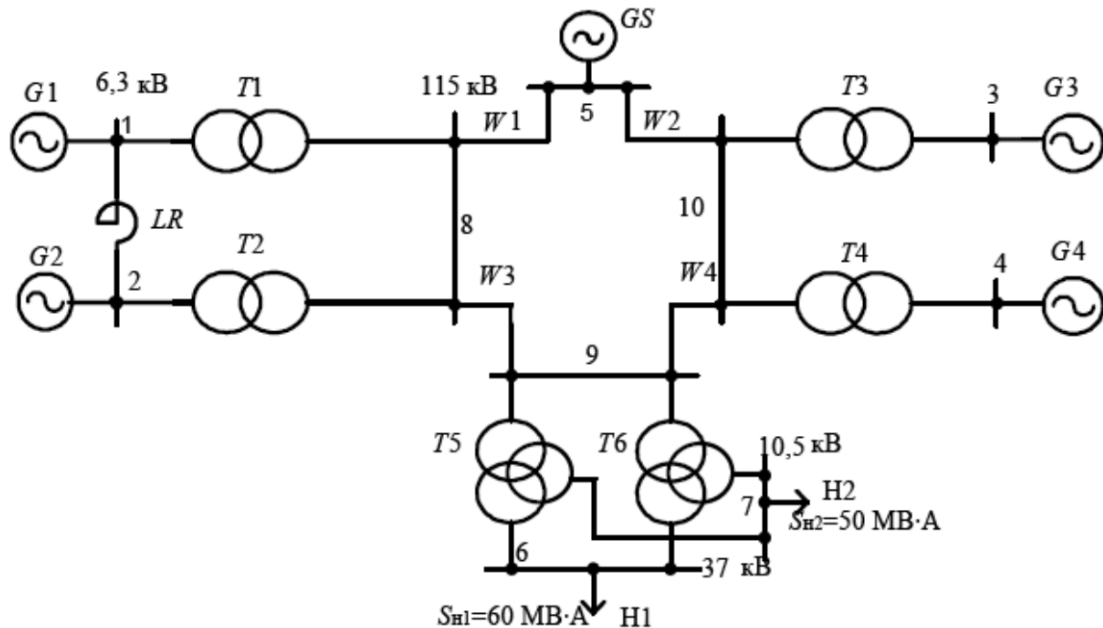


Рис. 11.6

Вихідні дані:

$G1, G2: S_{\text{НОМ}} = 40 \text{ МВ}\cdot\text{А}; U_{\text{НОМ}} = 6,3 \text{ кВ}; x_d'' = 0,143.$

$G3, G4: S_{\text{НОМ}} = 125 \text{ МВ}\cdot\text{А}; U_{\text{НОМ}} = 10,5 \text{ кВ}; x_d'' = 0,192.$

$GS: S_{GS} = 1000 \text{ МВ}\cdot\text{А}; x_{(1)GS} = 0,25.$

$T1, T2: S_{\text{НОМ}} = 40 \text{ МВ}\cdot\text{А}; u_{\text{к}} = 10,5\%.$

$T3, T4: S_{\text{НОМ}} = 125 \text{ МВ}\cdot\text{А}; u_{\text{к}} = 11\%.$

$T5, T6: S_{\text{НОМ}} = 80 \text{ МВ}\cdot\text{А}; u_{\text{к,BC}} = 11\%; u_{\text{к,ВН}} = 18,5\%; u_{\text{к,СН}} = 7\%.$

$LR: \text{РБД-10-2500-0,20}.$

$W1: l = 30 \text{ км}; x_{(1)} = 0,405 \text{ Ом/км};$

$W2: l = 40 \text{ км}; x_{(1)} = 0,358 \text{ Ом/км};$

$W3: l = 20 \text{ км}; x_{(1)} = 0,365 \text{ Ом/км};$

$W4: l = 25 \text{ км}; x_{(1)} = 0,377 \text{ Ом/км}.$

Задача 7

При трифазному КЗ у вузлі 9 електроенергетичної системи (рис.11.7) знайти початкове значення періодичної складової струму КЗ в лінії W1.

Вихідні дані

$G1, G2: S_{\text{НОМ}} = 40 \text{ МВ}\cdot\text{А}; U_{\text{НОМ}} = 6,3 \text{ кВ}; x_d'' = 0,143.$

$G3, G4: S_{\text{НОМ}} = 78,75 \text{ МВ}\cdot\text{А}; U_{\text{НОМ}} = 6,3 \text{ кВ}; x_d'' = 0,203.$

$GS: S_{GS} = 1500 \text{ МВ}\cdot\text{А}; x_{(1)GS} = 0,19.$

$T1, T2: S_{\text{НОМ}} = 40 \text{ МВ}\cdot\text{А}; u_{\text{к}} = 10,5\%.$

$T3, T4: S_{\text{НОМ}} = 80 \text{ МВ}\cdot\text{А}; u_{\text{к}} = 11\%.$

$T5, T6: S_{\text{НОМ}} = 80 \text{ МВ}\cdot\text{А}; u_{\text{к,BC}} = 11\%; u_{\text{к,ВН}} = 18,5\%; u_{\text{к,СН}} = 7\%.$

$LR: \text{РБД-10-2500-0,20}.$

$W1: l = 20 \text{ км}; x_{(1)} = 0,3580 \text{ Ом/км};$

$W2: l = 50 \text{ км}; x_{(1)} = 0,377 \text{ Ом/км};$
 $W3: l = 30 \text{ км}; x_{(1)} = 0,365 \text{ Ом/км};$
 $W4: l = 60 \text{ км}; x_{(1)} = 0,405 \text{ Ом/км}.$

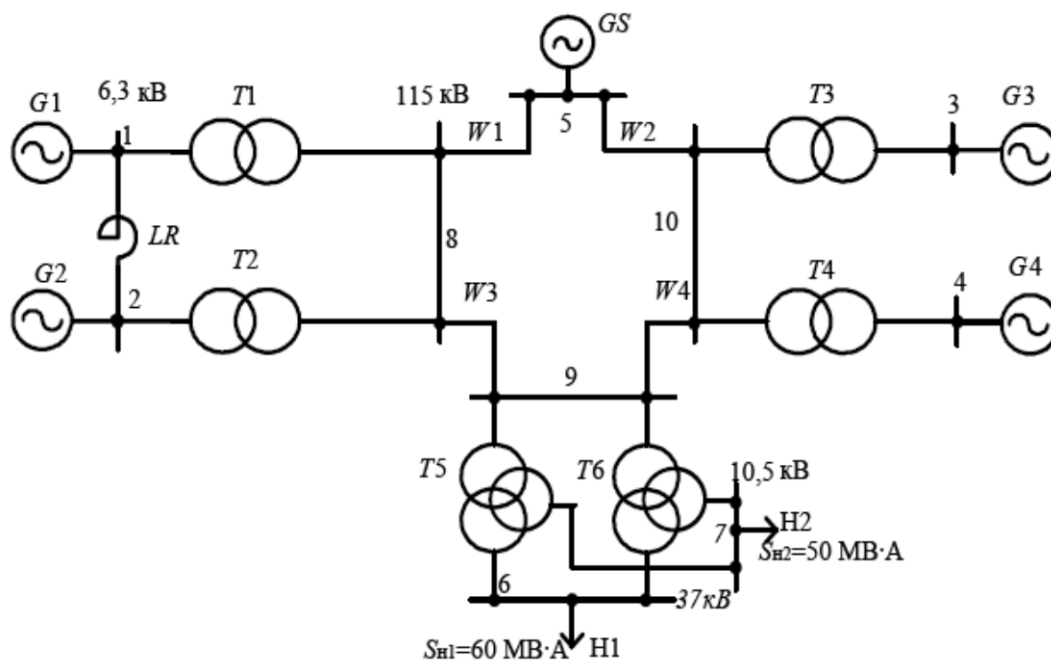


Рис. 11.7

Задача 8

При трифазному КЗ у вузлі 5 обчислити значення ударного струму КЗ, початкове значення періодичної складової струму КЗ в лінії W2 (рис. 11.8).

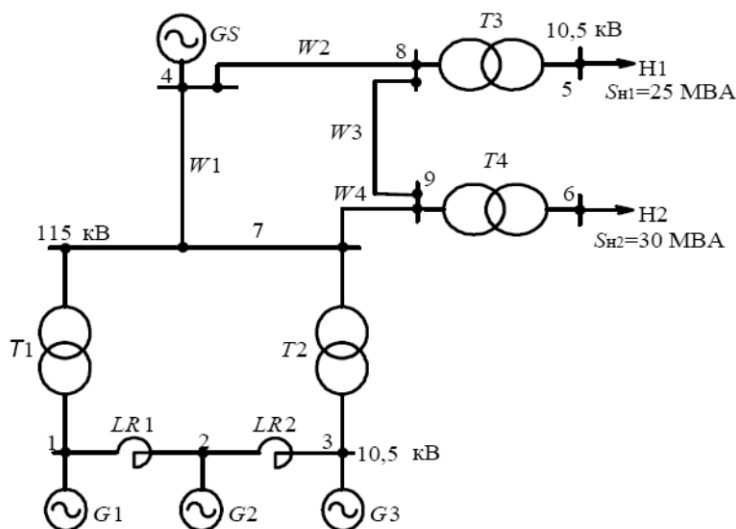


Рис. 11.8

Вихідні дані:

$G1, G3: S_{\text{ном}} = 78,75 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_d'' = 0,153.$

$G2: S_{\text{ном}} = 40 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_d'' = 0,153.$

$GS: S_{GS} = 500 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_{(1)GS} = 0,37.$

$T1, T2: S_{\text{ном}} = 80 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_k = 11 \text{ \%}.$

$T3, T4: S_{\text{НОМ}} = 40 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{\text{к}} = 10,5 \text{ \%}.$

$LR1, LR2: \text{РБДГ-10-2500-0,35}.$

$W1: l = 20 \text{ км}; x_{(1)} = 0,405 \text{ Ом/км};$

$W2: l = 40 \text{ км}; x_{(1)} = 0,358 \text{ Ом/км};$

$W3: l = 10 \text{ км}; x_{(1)} = 0,377 \text{ Ом/км};$

$W4: l = 25 \text{ км}; x_{(1)} = 0,365 \text{ Ом/км}.$

Задача 9

При трифазном КЗ у вузлі 5 обчислити значення ударного струму КЗ, знайти початкове значення періодичної складової струму КЗ в лінії $W3$ (рис. 11.9).

Вихідні дані

$G1, G2, G3: S_{\text{НОМ}} = 40 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_d'' = 0,153.$

$GS: S_{GS} = 900 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_{(1)GS} = 0,27.$

$T1, T2: S_{\text{НОМ}} = 80 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{\text{к}} = 11 \text{ \%}.$

$T3, T4: S_{\text{НОМ}} = 25 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{\text{к}} = 10,5 \text{ \%}.$

$LR1, LR2: \text{РБДГ-10-2500-0,35}.$

$W1: l = 50 \text{ км}; x_{(1)} = 0,358 \text{ Ом/км};$

$W2: l = 35 \text{ км}; x_{(1)} = 0,377 \text{ Ом/км};$

$W3: l = 10 \text{ км}; x_{(1)} = 0,405 \text{ Ом/км};$

$W4: l = 25 \text{ км}; x_{(1)} = 0,365 \text{ Ом/км}.$

Навантаження у вузлах 5–8 по $10 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$

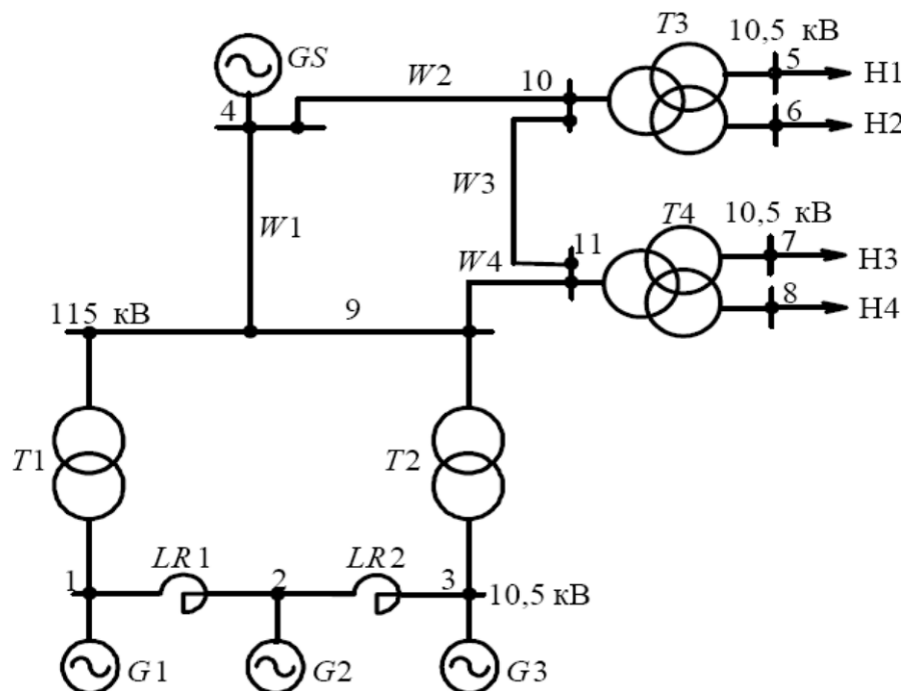


Рис. 11.9

Задача 10

При трифазному КЗ у вузлі 2 обчислити значення ударного струму КЗ, початкове значення періодичної складової струму КЗ в лінії $W3$ (рис. 11.10).

Вихідні дані:

$G1-G3: S_{\text{НОМ}} = 40 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_d'' = 0,153.$

$G4, G5: S_{\text{НОМ}} = 125 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_d'' = 0,192.$

$GS: S_{GS} = 800 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_{(1)GS} = 0,31.$

$T1, T2: S_{\text{НОМ}} = 80 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{\kappa} = 11 \%,$

$T3, T4: S_{\text{НОМ}} = 125 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{\kappa} = 11 \%;$

$LR1, LR2: \text{РБДГ-10-2500-0,35.}$

$W1: l = 25 \text{ км}; x_{(1)} = 0,358 \text{ Ом/км};$

$W2: l = 40 \text{ км}; x_{(1)} = 0,377 \text{ Ом/км},$

$W3: l = 50 \text{ км}; x_{(1)} = 0,365 \text{ Ом/км.}$

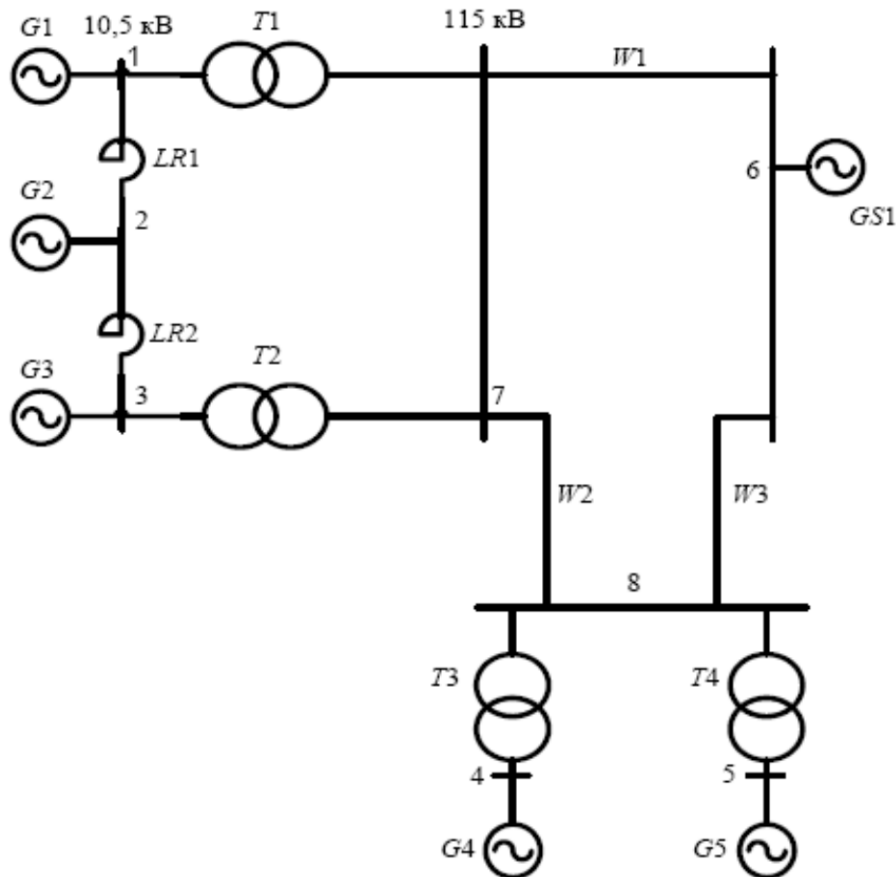


Рис. 11.10

Задача 11

При трифазному КЗ у вузлі електроенергетичної системи (рис.11.11) знайти початкове значення періодичної складової струму КЗ в лінії W1.

Вихідні дані:

$G1, G2: S_{\text{НОМ}} = 78,75 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_d'' = 0,203.$

$G3, G4: S_{\text{НОМ}} = 100 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_d'' = 0,22.$

$GS: S_{GS} = 1200 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_{(1)GS} = 0,21.$

$T1, T2: S_{\text{НОМ}} = 80 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{\kappa} = 11 \%.$

$T3, T4: S_{\text{НОМ}} = 125 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{\kappa} = 11 \%;$

$AT: S_{\text{НОМ}} = 200 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{\kappa, \text{BC}} = 11 \%; u_{\kappa, \text{BH}} = 32 \%; u_{\kappa, \text{CH}} = 20 \%.$

$LR: \text{РБД-10-2500-0,20.}$

$W1: l = 50 \text{ км}; x_{(1)} = 0,420 \text{ Ом/км};$

$W2: l = 70 \text{ км}; x_{(1)} = 0,420 \text{ Ом/км.}$

Навантаження: $S_{H1} = 120 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $S_{H2} = 70 \text{ МВ} \cdot \text{А}$.

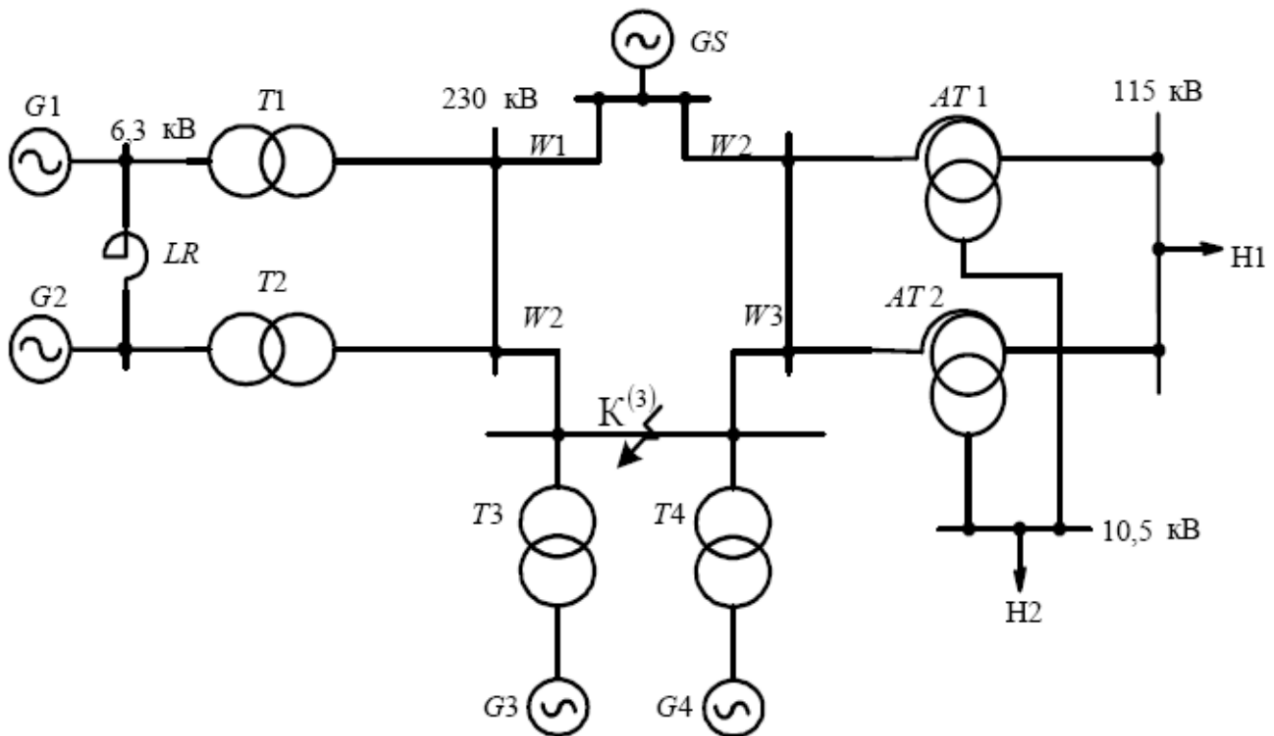


Рис. 11.11

Задача 12

При трифазному КЗ у вузлі К знайти початкове значення періодичної складової струму КЗ в реакторі $LR1$ (рис. 11.12).

Вихідні дані

$G1-G3$: $S_{\text{ном}} = 40 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $x_d'' = 0,143$.

$G4$: $S_{\text{ном}} = 125 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $x_d'' = 0,192$.

$GS1$: $S_{GS1} = 500 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $x_{(1)GS1} = 0,35$.

$GS2$: $S_{GS2} = 1000 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $x_{(1)GS1} = 0,23$.

$T1, T2$: $S_{\text{ном}} = 80 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $u_k = 11 \%$.

$T3$: $S_{\text{ном}} = 125 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $u_k = 11 \%$.

AT : $S_{\text{ном}} = 63 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $u_{k,BC} = 11 \%$; $u_{k,BH} = 35 \%$; $u_{k,CH} = 22 \%$.

$LR1, LR2$: РБДГ-10-2500-0,20.

$W1$: дволянцюгова $l = 35 \text{ км}$; $x_{(1)} = 0,377 \text{ Ом/км}$;

$W2$: дволянцюгова $l = 70 \text{ км}$; $x_{(1)} = 0,42 \text{ Ом/км}$.

Навантаження1: $S_H = 30 \text{ МВ} \cdot \text{А}$.

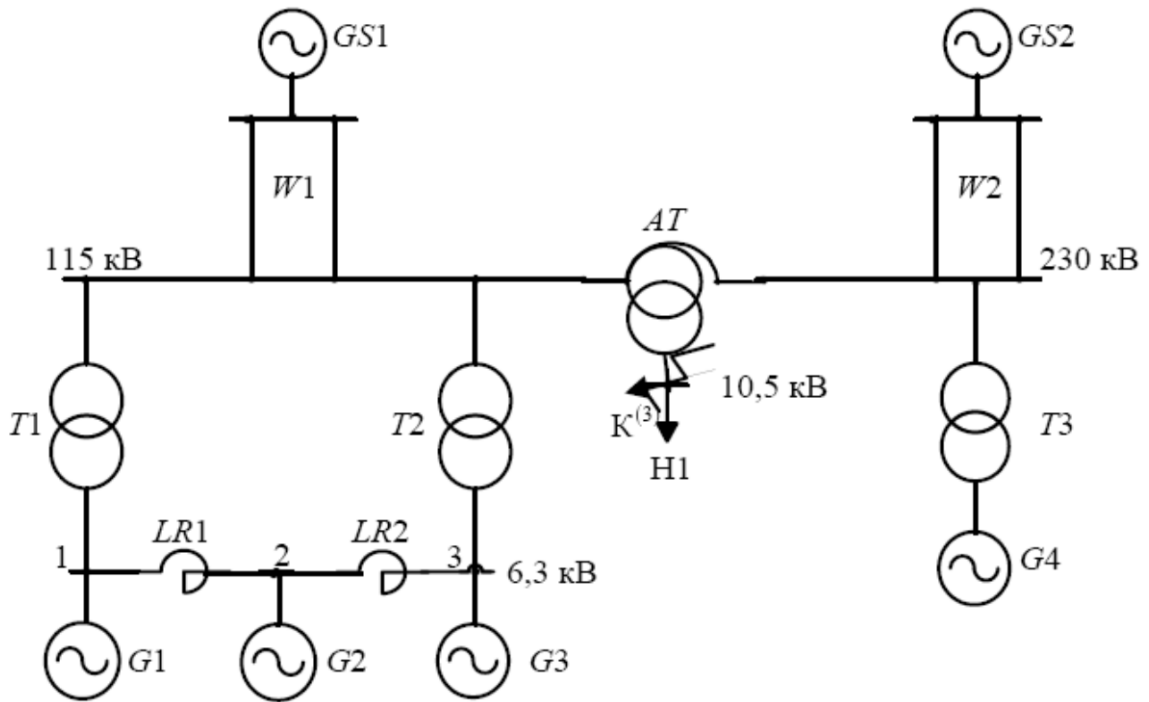


Рис. 11.12

Задача 13

При трифазном КЗ у вузлі 4 електроенергетичної системи, представленій схемою електричних з'єднань на рис.11.13, обчислити початкове значення періодичної складової струму КЗ в лінії W1.

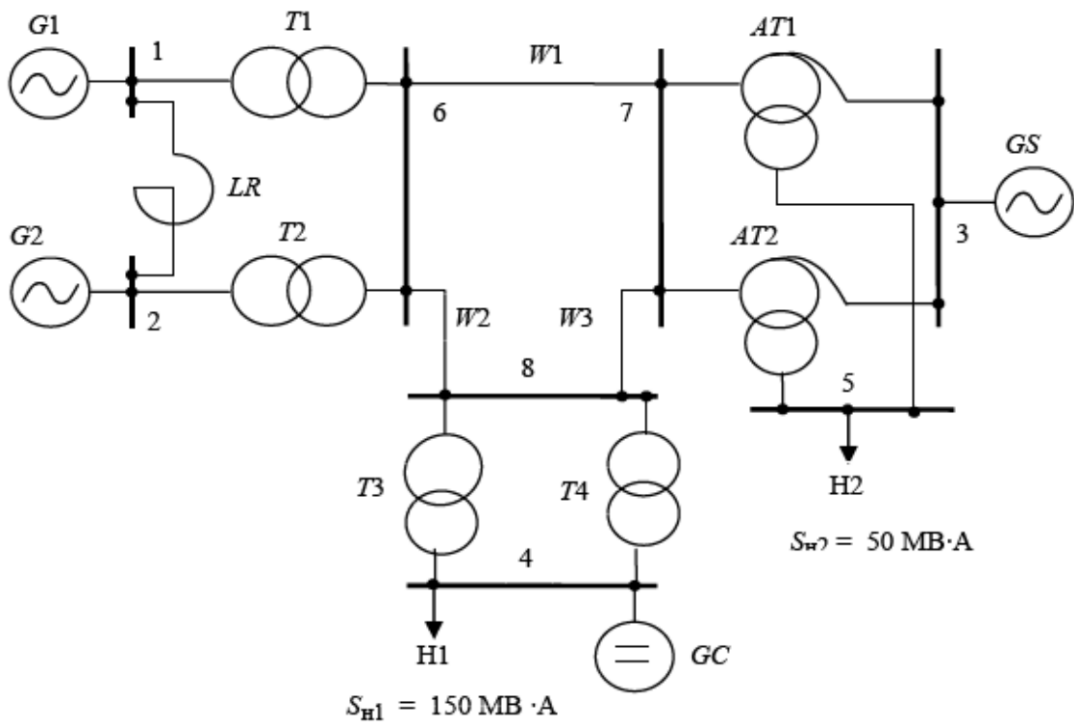


Рис. 11.13

Вихідні дані:

$G1, G2: S_{\text{НОМ}} = 78,75 \text{ МВ} \cdot \text{А}; U_{\text{НОМ}} = 10,5 \text{ кВ}; x_d'' = 0,1361.$

$GS: S_{GS} = 1500 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_{(1)GS} = 0,25.$

GC: $S_{\text{НОМ}} = 75 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $x_d'' = 0,23$.

T1, T2: $S_{\text{НОМ}} = 80 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $u_k = 11 \%$; $\kappa_{T1,2} = 10,5/121$.

T3, T4: $S_{\text{НОМ}} = 125 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $u_k = 10,5 \%$; $\kappa_{T3,4} = 110/11$.

AT1,2: $S_{\text{НОМ}} = 125 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $\kappa_{AT1,2} = 230/121/11$; $u_{k,BC} = 11 \%$; $u_{k,BH} = 45 \%$; $u_{k,CH} = 28 \%$.

LR: РБДГ-10-2500-0,35.

W1: $l = 30 \text{ км}$; $x_{(1)} = 0,42 \text{ Ом/км}$;

W2: $l = 20 \text{ км}$; $x_{(1)} = 0,405 \text{ Ом/км}$;

W3: $l = 40 \text{ км}$; $x_{(1)} = 0,413 \text{ Ом/км}$.

Задача 14

При трифазном КЗ у точці К обчислити початкове значення періодичної складової струму КЗ в лінії W3 (рис. 11.14).

Вихідні дані

G1, G2: $S_{\text{НОМ}} = 190 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $x_d'' = 0,27$.

G3, G4: $S_{\text{НОМ}} = 125 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $x_d'' = 0,192$.

GS: $S_{GS} = 900 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $x_{(1)GS} = 0,28$;

GC: $S_{\text{НОМ}} = 16 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $x_d'' = 0,2$.

T1, T2: $S_{\text{НОМ}} = 200 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $u_k = 10,5 \%$.

T3, T4: $S_{\text{НОМ}} = 125 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $u_k = 10,5 \%$.

T5, T6: $S_{\text{НОМ}} = 16,0 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $u_k = 10,5 \%$.

W1: $l = 20 \text{ км}$; $x_{(1)} = 0,358 \text{ Ом/км}$;

W2: $l = 15 \text{ км}$; $x_{(1)} = 0,369 \text{ Ом/км}$,

W3: $l = 45 \text{ км}$; $x_{(1)} = 0,377 \text{ Ом/км}$;

W4: $l = 20 \text{ км}$; $x_{(1)} = 0,365 \text{ Ом/км}$.

Навантаження $S_H = 20 \text{ МВ} \cdot \text{А}$.

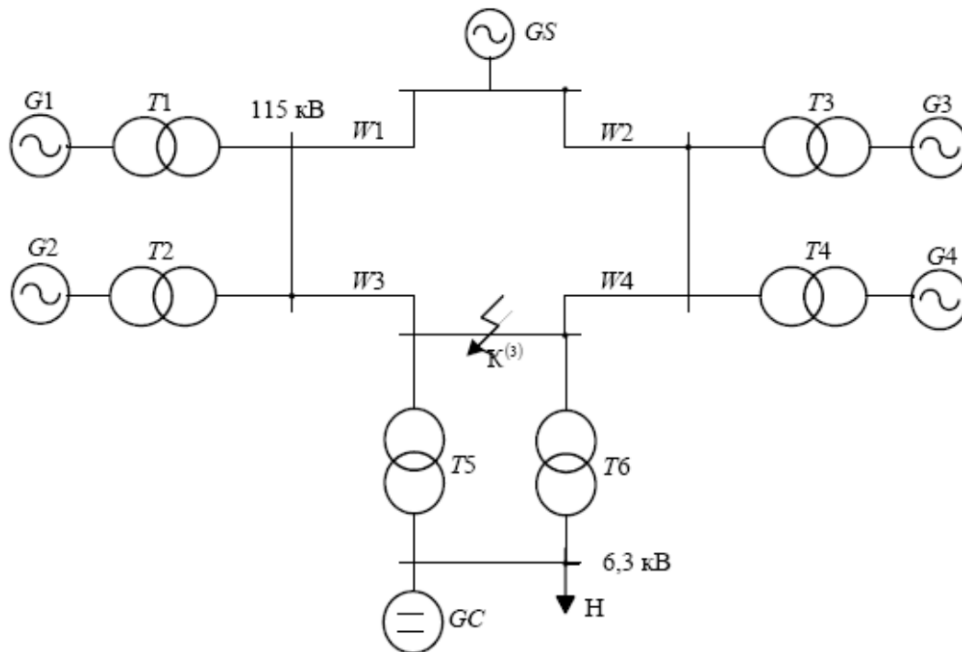


Рис. 11.14

Задача 15

При трифазному КЗ в точці К знайти початкове значення періодичної складової струму КЗ в лінії W1 (рис. 11.15).

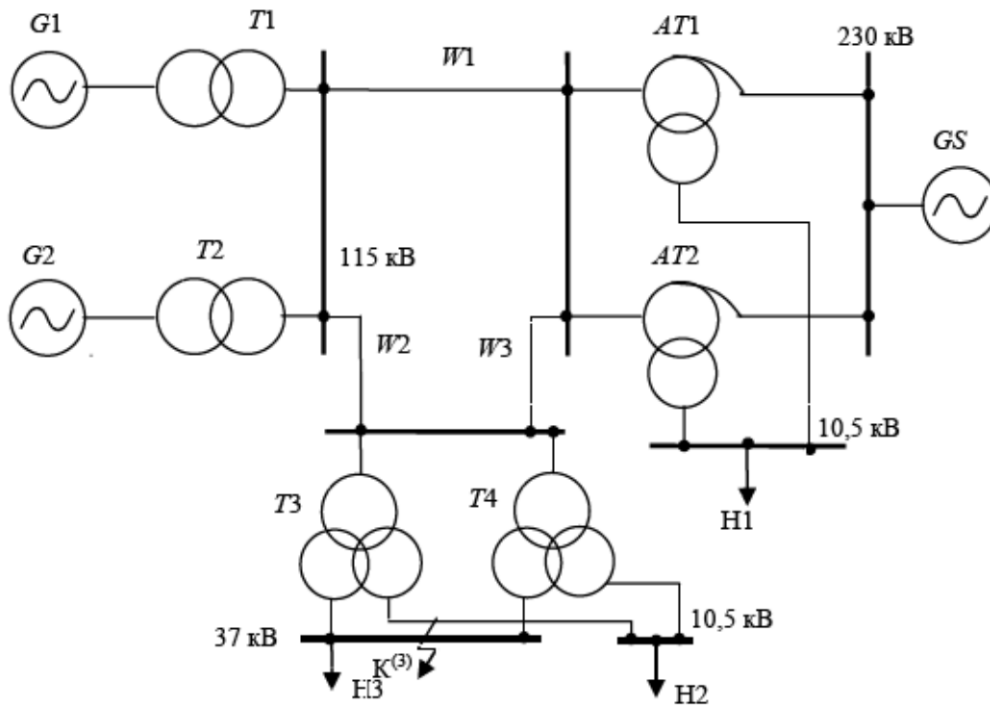


Рис. 11.15

Вихідні дані :

$G1, G2: S_{\text{НОМ}} = 230 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_d'' = 0,23.$

$GS: S_{GS} = 1200 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_{(1)GS} = 0,22;$

$AT1, AT2: S_{\text{НОМ}} = 250 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{\text{к,вс}} = 11 \% ; u_{\text{к,вн}} = 45 \% ; u_{\text{к,чн}} = 28 \% . u_{\text{к}} = 10,5 \% .$

$T1, T2: S_{\text{НОМ}} = 230 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{\text{к}} = 10,5 \% .$

$T3, T4: S_{\text{НОМ}} = 16,0 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{\text{к}} = 10,5 \% .$

$W1: l = 27 \text{ км}; x_{(1)} = 0,348 \text{ Ом/км};$

$W2: l = 35 \text{ км}; x_{(1)} = 0,369 \text{ Ом/км},$

$W3: l = 45 \text{ км}; x_{(1)} = 0,377 \text{ Ом/км};$

Навантаження $S_{\text{н1}} = S_{\text{н2}} = S_{\text{н3}} = 20 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$

Задача 16

При трифазному КЗ в точці К знайти початкове значення періодичної складової струму КЗ в лінії W1 (рис.11.16).

Вихідні дані

$G1, G2: S_{\text{НОМ}} = 100 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_d'' = 0,22.$

$GS: S_{GS} = 500 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_{(1)GS} = 0,35.$

$T1, T2: S_{\text{НОМ}} = 125 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{\text{к}} = 11 \% .$

$T3, T4: S_{\text{НОМ}} = 40 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{\text{к,вс}} = 11 \% ; u_{\text{к,вн}} = 22 \% ; u_{\text{к,чн}} = 9,5 \% .$

$AT1,2: S_{\text{НОМ}} = 125 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{\text{к,вс}} = 11 \% ; u_{\text{к,вн}} = 45 \% ; u_{\text{к,чн}} = 28 \% .$

$W1: l = 90 \text{ км}; x_{(1)} = 0,42 \text{ Ом/км};$

$W2: l = 70 \text{ км}; x_{(1)} = 0,435 \text{ Ом/км};$

$W3: l = 50 \text{ км}; x_{(1)} = 0,429 \text{ Ом/км}.$

Навантаження 1–3: $S_{H1} = 60 \text{ МВ} \cdot \text{А}; S_{H2} = 25 \text{ МВ} \cdot \text{А}; S_{H3} = 30 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$

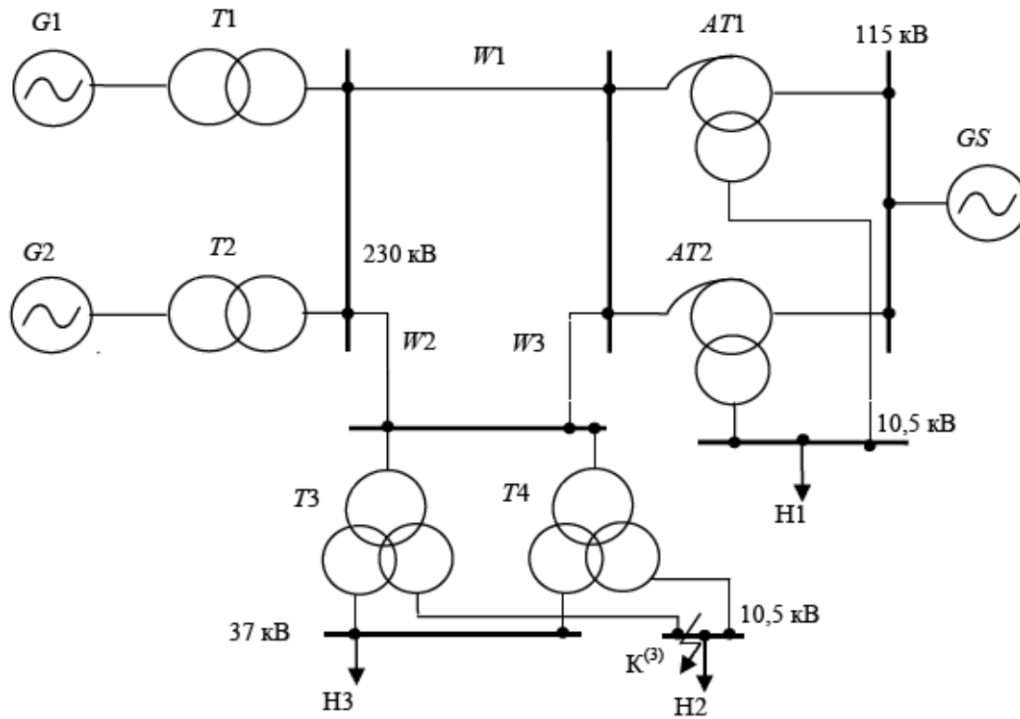


Рис. 11.16

Задача 17

При трифазном КЗ у вузлі 5 електроенергетичної системи, представленої схемою електричних з'єднань на рис.11.17, знайти початкове значення періодичної складової струму КЗ в лінії W1.

Вихідні дані

$G1, G2: S_{\text{НОМ}} = 78,75 \text{ МВ} \cdot \text{А}; U_{\text{НОМ}} = 10,5 \text{ кВ}; x_d'' = 0,1361.$

$GS: S_{GS} = 1500 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_{(1)GS} = 0,25.$

$GC: S_{\text{НОМ}} = 75 \text{ МВ} \cdot \text{А}; U_{\text{НОМ}} = 11 \text{ кВ}; x_d'' = 0,23.$

$T1, T2: S_{\text{НОМ}} = 80 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_k = 11 \% ; \kappa_{T1,2} = 10,5/121.$

$T3, T4: S_{\text{НОМ}} = 125 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_k = 11 \% ; \kappa_{T3,4} = 115/10,5-10,5.$

$AT1,2: S_{\text{НОМ}} = 125 \text{ МВ} \cdot \text{А}; \kappa_{AT1,2} = 230/121/11; u_{k,BC} = 11 \% ; u_{k,BH} = 45 \% ; u_{k,CH} = 28$

%.

$LR: \text{РБДГ-10-2500-0,35}.$

$W1: l = 30 \text{ км}; x_{(1)} = 0,42 \text{ Ом/км};$

$W2: l = 20 \text{ км}; x_{(1)} = 0,405 \text{ Ом/км};$

$W3: l = 40 \text{ км}; x_{(1)} = 0,413 \text{ Ом/км}.$

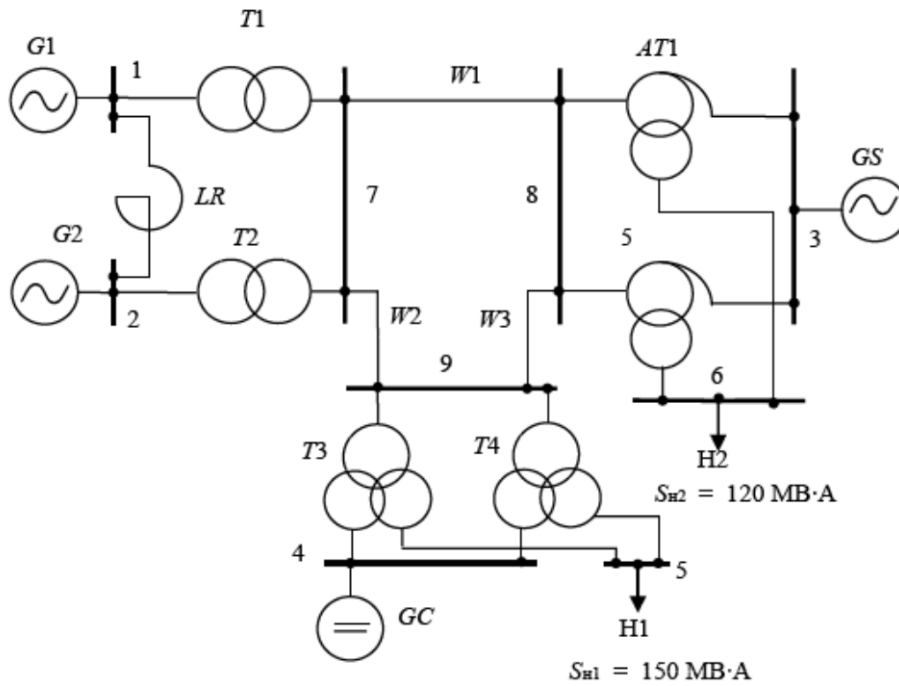


Рис. 11.17

Задача 18

При трифазному КЗ у вузлі 1 електроенергетичної системи, представленої на рис. 11.18, визначити значення періодичної складової струму КЗ через 0,35с від початку КЗ.

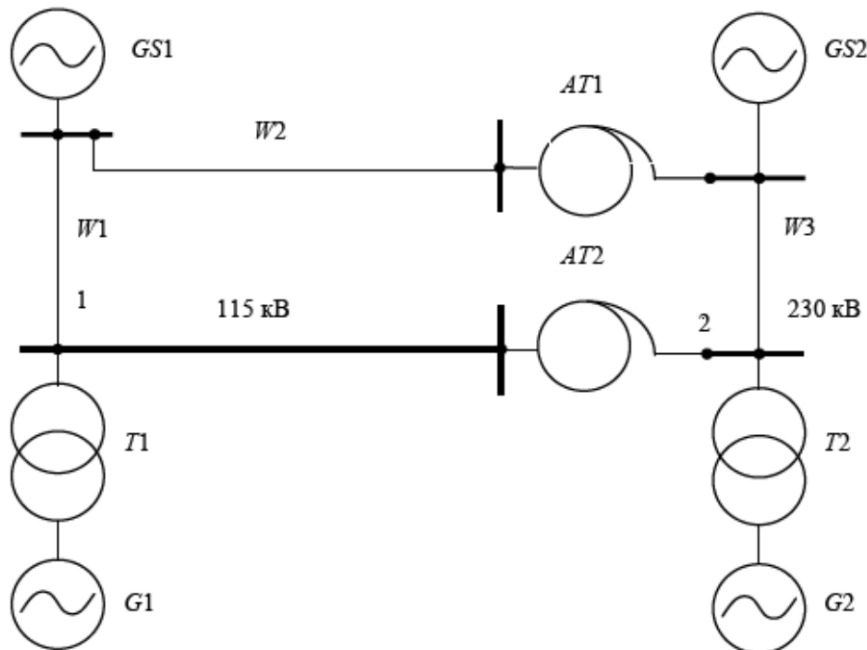


Рис. 11.18

Вихідні дані

$G1: S_{\text{НОМ}} = 100 \text{ МВ} \cdot \text{А}; U_{\text{НОМ}} = 13,8 \text{ кВ}; x_d'' = 0,22.$

$G2: S_{\text{НОМ}} = 188 \text{ МВ} \cdot \text{А}; U_{\text{НОМ}} = 18 \text{ кВ}; x_d'' = 0,213.$

$GS1: S_{GS} = 1200 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_{(1)} = 0,27.$

$GS2: S_{GS} = 2100 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_{(1)} = 0,19.$

$T1: S_{\text{НОМ}} = 125 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{\text{к}} = 10,5 \text{ \%}.$

$T2: S_{\text{НОМ}} = 200 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{\text{к}} = 11 \text{ \%}.$

$AT1,2: S_{\text{НОМ}} = 250 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{\text{к,BC}} = 11 \text{ \%}; u_{\text{к,ВН}} = 32 \text{ \%}; u_{\text{к,СН}} = 20 \text{ \%}.$

$W1: l = 35 \text{ км}; x_{(1)} = 0,413 \text{ Ом/км};$

$W2: l = 25 \text{ км}; x_{(1)} = 0,42 \text{ Ом/км};$

$W3: l = 100 \text{ км}; x_{(1)} = 0,429 \text{ Ом/км}.$

Задача 19

При трифазному КЗ у вузлі 2 електроенергетичної системи (рис. 11.19) визначити значення періодичної складової струму КЗ через 0,35с від початку КЗ.

Вихідні дані

$G1: S_{\text{НОМ}} = 100 \text{ МВ} \cdot \text{А}; U_{\text{НОМ}} = 13,8 \text{ кВ}; x_d'' = 0,22.$

$G2: S_{\text{НОМ}} = 188 \text{ МВ} \cdot \text{А}; U_{\text{НОМ}} = 18 \text{ кВ}; x_d'' = 0,213.$

$GS1: S_{GS} = 1200 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_{(1)} = 0,27.$

$GS2: S_{GS} = 2100 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_{(1)} = 0,19.$

$T1: S_{\text{НОМ}} = 125 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{\text{к}} = 10,5 \text{ \%}.$

$T2: S_{\text{НОМ}} = 200 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{\text{к}} = 11 \text{ \%}.$

$AT1,2: S_{\text{НОМ}} = 250 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{\text{к,BC}} = 11 \text{ \%}; u_{\text{к,ВН}} = 32 \text{ \%}; u_{\text{к,СН}} = 20 \text{ \%}.$

$W1: l = 35 \text{ км}; x_{(1)} = 0,413 \text{ Ом/км};$

$W2: l = 25 \text{ км}; x_{(1)} = 0,42 \text{ Ом/км};$

$W3: l = 100 \text{ км}; x_{(1)} = 0,429 \text{ Ом/км}.$

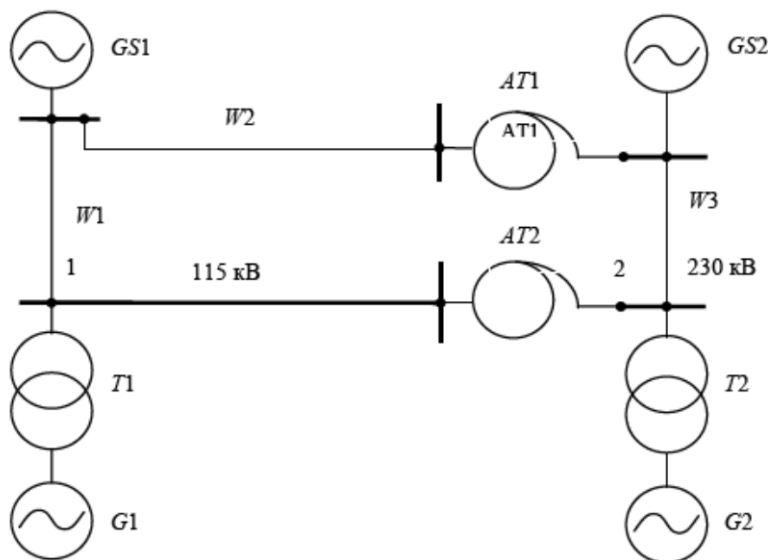


Рис. 11.19

Задача 20

При трифазному КЗ у вузлі 1 електроенергетичної системи (рис.11.20) обчислити ударний струм КЗ.

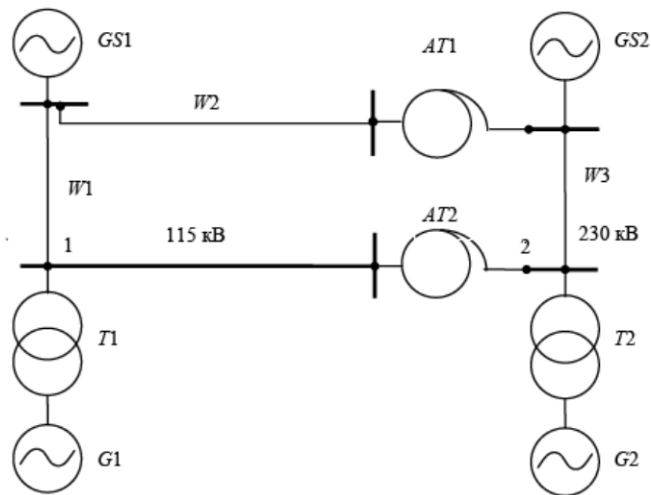


Рис. 11.20

Вихідні дані

$G1: S_{\text{НОМ}} = 111 \text{ МВ} \cdot \text{А}; U_{\text{НОМ}} = 13,8 \text{ кВ}; x_d'' = 0,22.$

$G2: S_{\text{НОМ}} = 235,3 \text{ МВ} \cdot \text{А}; U_{\text{НОМ}} = 15,75 \text{ кВ}; x_d'' = 0,19.$

$GS1: S_{GS} = 1300 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_{(1)} = 0,25.$

$GS2: S_{GS} = 2300 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_{(1)} = 0,15.$

$T1: S_{\text{НОМ}} = 125 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{\text{к}} = 10,5 \text{ \%}.$

$T2: S_{\text{НОМ}} = 250 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{\text{к}} = 11 \text{ \%}.$

$AT1,2: S_{\text{НОМ}} = 200 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{\text{к,BC}} = 11 \text{ \%}; u_{\text{к,ВН}} = 32 \text{ \%}; u_{\text{к,СН}} = 20 \text{ \%}.$

$W1: l = 25 \text{ км}; x_{(1)} = 0,405 \text{ Ом/км};$

$W2: l = 45 \text{ км}; x_{(1)} = 0,413 \text{ Ом/км};$

$W3: l = 90 \text{ км}; x_{(1)} = 0,429 \text{ Ом/км}.$

Задача 21

При трифазному КЗ у вузлі 2 електроенергетичної системи, представленої на рис.11.21, знайти величину початкового значення періодичної складової струму КЗ в лінії W1.

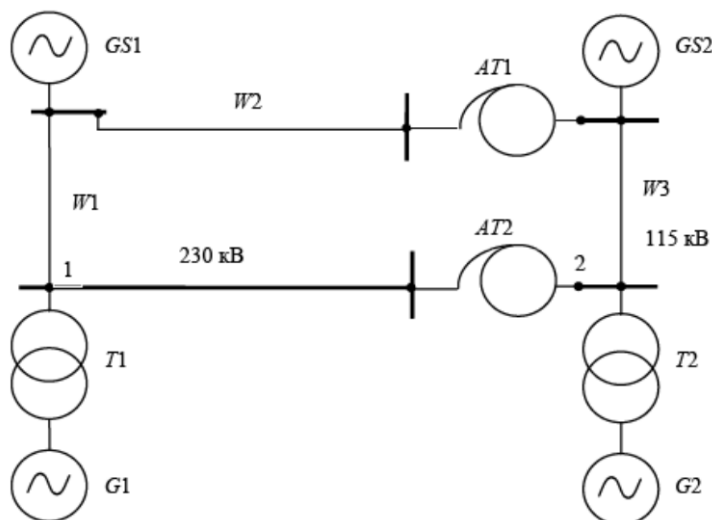


Рис. 11.21

Вихідні дані

$G1: S_{\text{НОМ}} = 235,3 \text{ МВ}\cdot\text{А}; U_{\text{НОМ}} = 15,75 \text{ кВ}; x_d'' = 0,19.$

$G2: S_{\text{НОМ}} = 111 \text{ МВ}\cdot\text{А};$

$U_{\text{НОМ}} = 13,8 \text{ кВ}; x_d'' = 0,22.$

$GS1: S_{GS} = 2300 \text{ МВ}\cdot\text{А}; x_{(1)} = 0,15.$

$GS2: S_{GS} = 1300 \text{ МВ}\cdot\text{А}; x_{(1)} = 0,25.$

$T1: S_{\text{НОМ}} = 250 \text{ МВ}\cdot\text{А}; u_k = 11 \text{ \%}.$

$T2: S_{\text{НОМ}} = 125 \text{ МВ}\cdot\text{А}; u_k = 10,5 \text{ \%}.$

$AT1,2: S_{\text{НОМ}} = 200 \text{ МВ}\cdot\text{А}; u_{\text{КВС}} = 11 \text{ \%}; u_{\text{КВН}} = 32 \text{ \%}; u_{\text{КСН}} = 20 \text{ \%};$

$W1: l = 70 \text{ км}; x_{(1)} = 0,435 \text{ Ом/км};$

$W2: l = 110 \text{ км}; x_{(1)} = 0,42 \text{ Ом/км};$

$W3: l = 30 \text{ км}; x_{(1)} = 0,413 \text{ Ом/км}.$

Задача 22

При двохфазному КЗ у вузлі 4 електроенергетичної системи, представленої на рис. 11.22, побудувати векторні діаграми напруг у вузлах 4 та 6. Схему та групу з'єднань обмоток трансформатора $T4$ прийняти виду Y_n / Δ -11.

Вихідні дані

$G1, G2: S_{\text{НОМ}} = 78,75 \text{ МВ}\cdot\text{А}; x_d'' = 0,153; x_2 = 0,186.$

$GS: S_{GS} = 900 \text{ МВ}\cdot\text{А}; x_{(1)} = 0,27.$

$T1, T2: S_{\text{НОМ}} = 80 \text{ МВ}\cdot\text{А}; u_k = 10,5 \text{ \%}.$

$T3: S_{\text{НОМ}} = 63 \text{ МВ}\cdot\text{А}; u_k = 10,5 \text{ \%}.$

$T4: S_{\text{НОМ}} = 16 \text{ МВ}\cdot\text{А}; u_k = 10,5 \text{ \%}.$

$LR: \text{РБДГ-10-2500-0,35}.$

$W1: l = 10 \text{ км}; x_{(1)} = 0,365 \text{ Ом/км};$

$W2: l = 35 \text{ км}; x_{(1)} = 0,377 \text{ Ом/км};$

$W3: l = 20 \text{ км}; x_{(1)} = 0,369 \text{ Ом/км};$

$W4: l = 15 \text{ км}; x_{(1)} = 0,358 \text{ Ом/км}.$

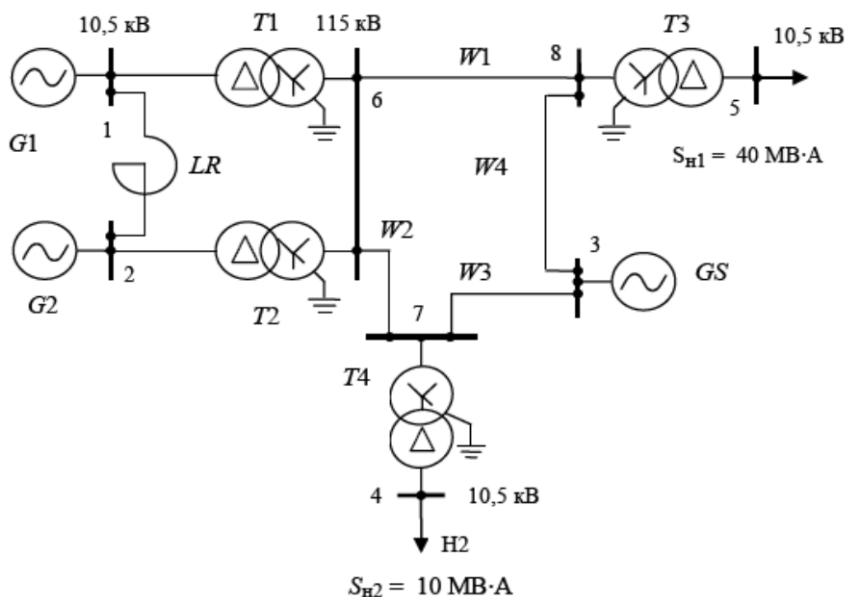


Рис. 11.22

Задача 23

При двофазному КЗ у вузлі 5 електроенергетичної системи, представленої на рис. 11.23, побудувати векторні діаграми напруг у вузлах 5 і 6. Схему і групу з'єднань обмоток трансформатора $T3$ прийняти виду $Y_n/\Delta-11$.

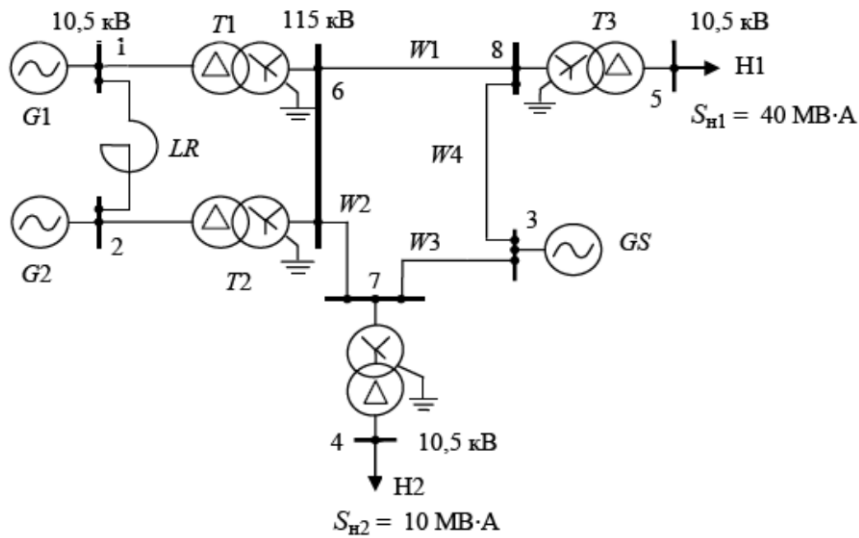


Рис. 11.23

Вихідні дані

$G1, G2: S_{\text{НОМ}} = 78,75 \text{ МВ}\cdot\text{А}; x_d'' = 0,153; x_2 = 0,186.$

$GS: S_{GS} = 900 \text{ МВ}\cdot\text{А}; x_{(1)} = 0,27.$

$T1, T2: S_{\text{НОМ}} = 80 \text{ МВ}\cdot\text{А}; u_k = 10,5 \text{ \%}.$

$T3: S_{\text{НОМ}} = 63 \text{ МВ}\cdot\text{А}; u_k = 10,5 \text{ \%}.$

$T4: S_{\text{НОМ}} = 16 \text{ МВ}\cdot\text{А}; u_k = 10,5 \text{ \%}.$

$LR: \text{РБДГ-10-2500-0,35}.$

$W1: l = 10 \text{ км}; x_{(1)} = 0,365 \text{ Ом/км};$

$W2: l = 35 \text{ км}; x_{(1)} = 0,377 \text{ Ом/км};$

$W3: l = 20 \text{ км}; x_{(1)} = 0,369 \text{ Ом/км};$

$W4: l = 15 \text{ км}; x_{(1)} = 0,358 \text{ Ом/км}.$

Задача 24

При двофазному КЗ на землю у вузлі 10 електроенергетичної системи, схема якої представлена на рис.11.24, побудувати векторну діаграму струмів у аварійному вузлі.

Вихідні дані

$G1, G2: S_{\text{НОМ}} = 78,75 \text{ МВ}\cdot\text{А}; U_{\text{НОМ}} = 10,5 \text{ кВ}; x_d'' = 0,1361; x_2 = 0,166.$

$GS: S_{GS} = 500 \text{ МВ}\cdot\text{А}; x_{(1)} = 0,25; x_{(0)} = 1,4 \cdot x_{(1)GS}.$

$GC: S_{\text{НОМ}} = 75 \text{ МВ}\cdot\text{А}; U_{\text{НОМ}} = 11 \text{ кВ}.$

$T1, T2: S_{\text{НОМ}} = 80 \text{ МВ}\cdot\text{А}; u_k = 11 \text{ \%}; k_{T1,2} = 10,5/121.$

$T3, T4: S_{\text{НОМ}} = 125 \text{ МВ}\cdot\text{А}; u_k = 11 \text{ \%}; k_{T3,4} = 115/10,5-10,5.$

$AT1, 2: S_{\text{НОМ}} = 125 \text{ МВ}\cdot\text{А}; u_{k,BC} = 11 \text{ \%}; u_{k,BH} = 45 \text{ \%}; u_{k,CH} = 28 \text{ \%}; k_{AT1,2} = 230/121/10,5.$

$LR: \text{РБДГ-10-2500-0,35};$

$W1: l = 30 \text{ км}; x_{(1)} = 0,42 \text{ Ом/км}; x_{(0)}/x_{(1)} = 3,0;$

W2: $l = 20$ км; $x_{(1)} = 0,405$ Ом/км; $x_{(0)}/x_{(1)} = 2,9$.

W3: $l = 40$ км; $x_{(1)} = 0,413$ Ом/км; $x_{(0)}/x_{(1)} = 2,7$.

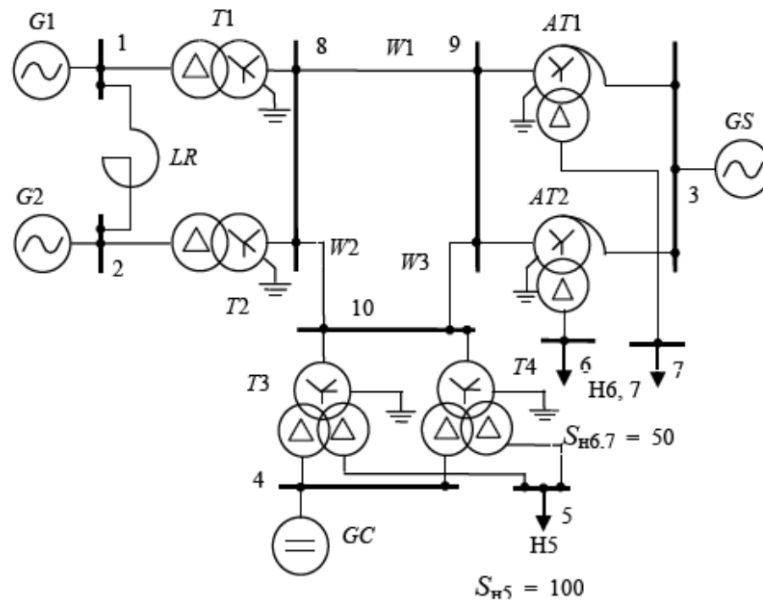


Рис.11.24

Задача 25

При однофазному КЗ у вузлі К електроенергетичної системи, представленої на рис. 11.25, побудувати векторну діаграму напруг на стороні обмотки нижчої напруги трансформаторів $T3$ та $T4$, схема і група обмоток яких $Y_n / Y/\Delta-0-11$. Розрахунок виконати у відносних одиницях при $S_6 = 100$ МВ·А та $U_6 = U_{ср.ном}$.

Вихідні дані

$G1, G2: x = 0,1536$.

$GS: x = 0,014(0,0266)$ – в дужках вказані опори струмів нульової послідовності.

$T1, T2: x = 0,088$.

$T3, T4: x_B = 0,294; x_C = 0; x_H = 0,256$.

$AT1,2: x_B = 0,0575; x_C = 0; x_H = 0,1025$.

$W1: x = 0,0576(0,184)$;

$W2: x = 0,0794(0,23)$;

$W3: x = 0,0394(0,119)$.

$E_\Sigma = j1,032$;

$x_{1\Sigma} = x_{2\Sigma} = 0,0487; x_{0\Sigma} = 0,034$;

$\underline{U}_{KA1}^{(1)} = j0,649$;

$\underline{U}_{KA2}^{(1)} = -j0,382$;

$\underline{U}_{KA0}^{(1)} = -j0,267$;

$\underline{I}_{KA1}^{(1)} = \underline{I}_{KA2}^{(1)} = \underline{I}_{KA0}^{(1)} = 7,854$

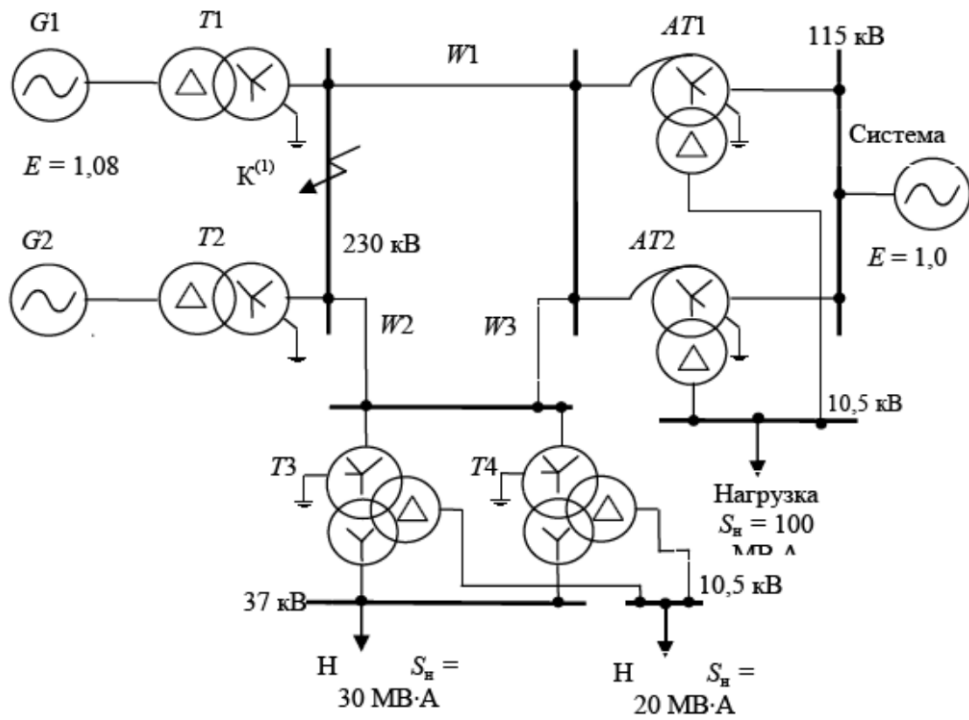


Рис. 11.25

Задача 26

При однофазному КЗ у вузлі К електроенергетичної системи, представленої на рис. 11.26, побудувати векторну діаграму напруг на шинах генератора $G1$. Схема та група з'єднань обмоток трансформатора $T1$ виду Y_n / Δ -11. Розрахунок виконати у відносних одиницях при базисних умовах $S_6 = 100 \text{ МВ}\cdot\text{А}$ та $U_6 = U_{\text{ср.ном}}$.

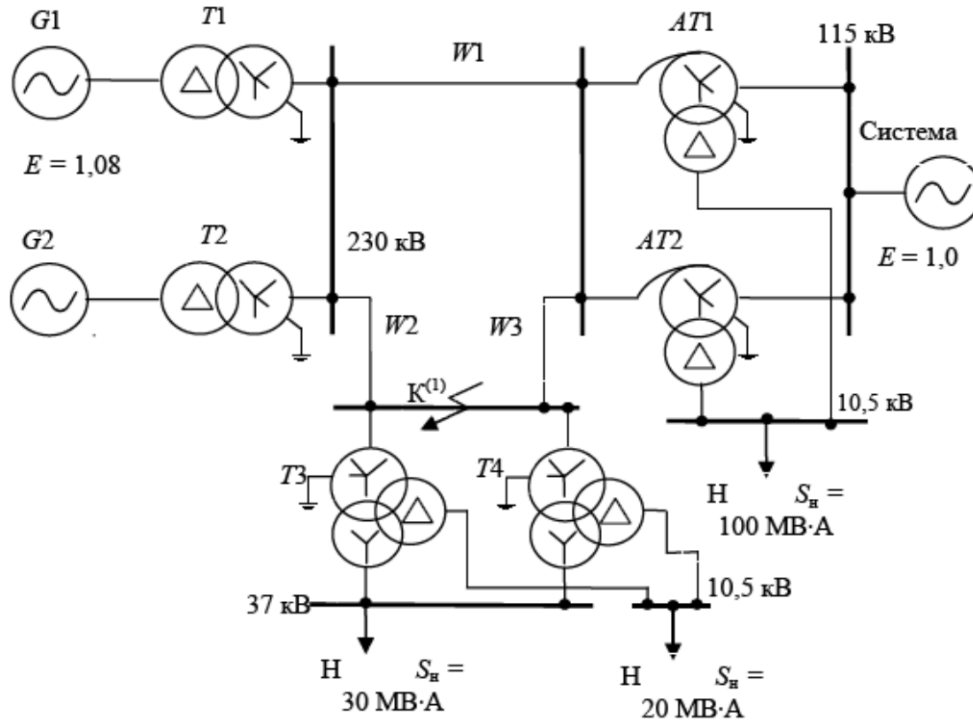


Рис. 11.26

Вихідні дані

$G1, G2: x = 0,1536.$

$GS: x = 0,014(0,0266)$ – в дужках вказані опори струмам нульової послідовності.

$T1, T2: x = 0,088.$

$T3, T4: x_B = 0,294; x_C = 0; x_H = 0,256.$

$AT1,2: x_B = 0,0575; x_C = 0; x_H = 0,1025.$

$W1: x = 0,0576(0,184);$

$W2: x = 0,0794(0,23);$

$W3: x = 0,0394(0,119).$

$E_\Sigma = j1,022;$

$x_{1\Sigma} = x_{2\Sigma} = 0,0582; x_{0\Sigma} = 0,0863;$

$\underline{U}_{KA1}^{(1)} = j0,728; \underline{U}_{KA2}^{(1)} = -j0,293; \underline{U}_{KA0}^{(1)} = -j0,435;$

$\underline{I}_{KA1}^{(1)} = \underline{I}_{KA2}^{(1)} = \underline{I}_{KA0}^{(1)} = 5,042$

Задача 27

При однофазному КЗ у вузлі К електроенергетичної системи, представленої на рис. 11.27, побудувати векторну діаграму струмів в лінії W3. Розрахунок провести у відносних одиницях при базисних умовах $S_B = 100 \text{ МВ}\cdot\text{А}$ та $U_B = U_{\text{ср.ном}}$.

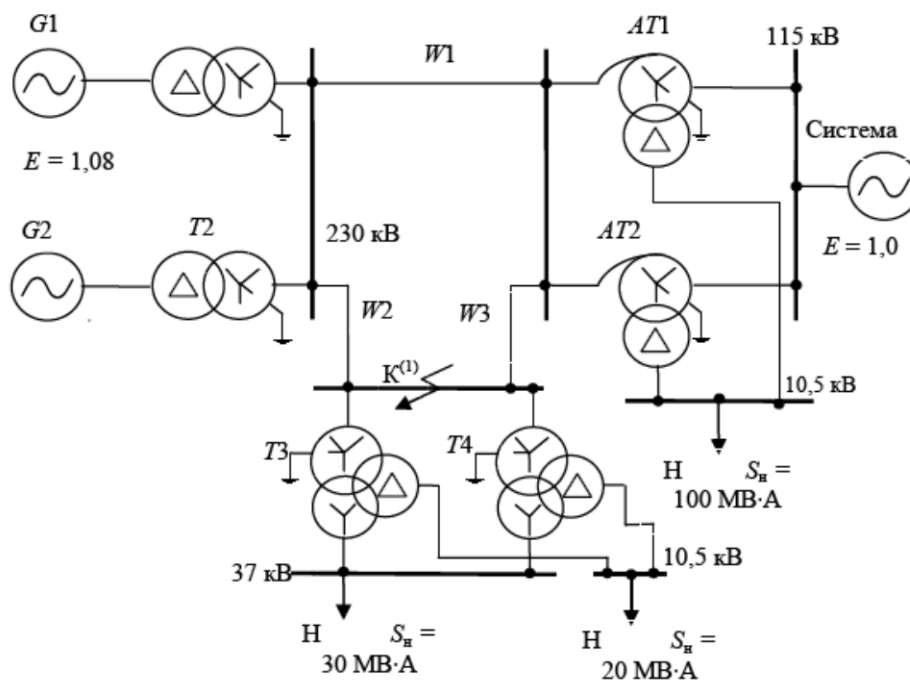


Рис. 11.27

Вихідні дані

$G1, G2: x = 0,1536.$

$GS: x = 0,014(0,0266)$ – в дужках вказані опори струмам нульової послідовності.

$T1, T2: x = 0,088.$

$T3, T4: x_B = 0,294; x_C = 0; x_H = 0,256.$

$AT1,2: x_B = 0,0575; x_C = 0; x_H = 0,1025.$

$W1: x = 0,0576(0,184);$

$$W2: x = 0,0794(0,23);$$

$$W3: x = 0,0394(0,119)$$

$$E_{\Sigma} = j1,022;$$

$$x_{1\Sigma} = x_{2\Sigma} = 0,0582; x_{0\Sigma} = 0,0863;$$

$$\underline{U}_{KA1}^{(1)} = j0,728; \underline{U}_{KA2}^{(1)} = -j0,293; \underline{U}_{KA0}^{(1)} = -j0,435;$$

$$\underline{I}_{KA1}^{(1)} = \underline{I}_{KA2}^{(1)} = \underline{I}_{KA0}^{(1)} = 5,042$$

Задача 28

При однофазному КЗ у вузлі $K^{(1)}$ електроенергетичної системи, представленої на рис. 11.28, побудувати векторну діаграму напруг у вузлі 2. Схема та група з'єднань обмоток трансформаторів $T1,2$ виду $Y_n / \Delta-11$. Розрахунок виконати у відносних одиницях при базисних умовах $S_{\text{б}} = 100 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ та $U_{\text{б}} = U_{\text{ср.ном}}$.

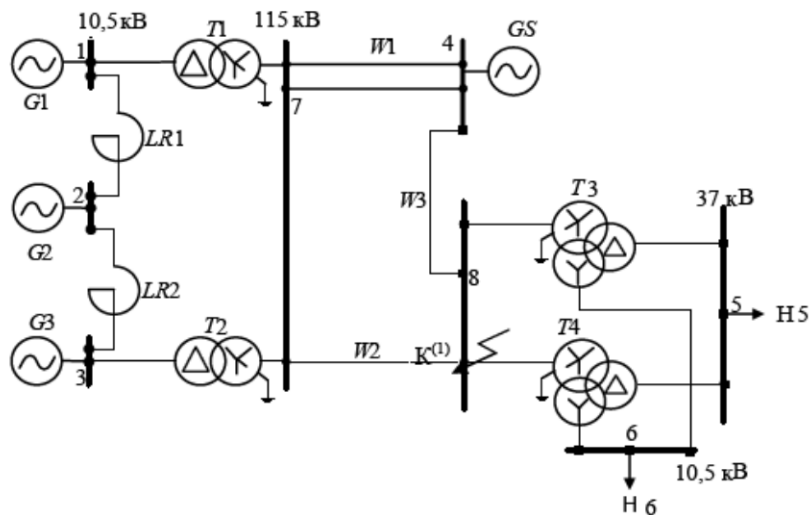


Рис. 11.28

Вихідні дані

$$G1,2,3: x = 3,825.$$

$GS: x = 0,208(0,312)$ – в дужках вказані опори струмам нульової послідовності.

$$T1, T2: x = 2,625.$$

$$T3, T4: x_B = 2,688; x_C = 0; x_H = 1,682.$$

$$W1: (\text{кожного ланцюга}) x = 1,531(6,89);$$

$$W2: x = 0,635(1,905);$$

$$W3: x = 1,249(3,497).$$

$$LR: x = 1,814.$$

$$E_{\Sigma} = j1,013;$$

$$x_{1\Sigma} = x_{2\Sigma} = 0,774; x_{0\Sigma} = 1,211;$$

$$\underline{I}_{KA1}^{(1)} = \underline{I}_{KA2}^{(1)} = \underline{I}_{KA0}^{(1)} = 0,367;$$

$$\underline{U}_{KA1}^{(1)} = j0,728; \underline{U}_{KA2}^{(1)} = -j0,284; \underline{U}_{KA0}^{(1)} = -j0,444;$$

Задача 29

При двофазному КЗ на землю у вузлі 7 електроенергетичної системи, представленої на рис. 11.29, побудувати векторну діаграму струмів у вузлі КЗ.

Вихідні дані

$G1-G3: S_{НОМ} = 40 \text{ МВ} \cdot \text{А}; U_{НОМ} = 10,5 \text{ кВ}; x_d'' = 0,153; x_2 = 0,166.$

$GS: S_{GS} = 1200 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_{(1)GS} = 0,25; x_{(0)} = 1,5 \cdot x_{(1)GS}.$

$T1, T2: S_{НОМ} = 40 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{к} = 10,5 \% ; k_{T1,2} = 10,5/121.$

$T3, T4: S_{НОМ} = 40 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{к,BC} = 10,5 \% ; u_{к,ВН} = 17,5 \% ; u_{к,СН} = 6,5 \% ; k_{T3,4} = 115/38,5/11.$

$LR1,2: \text{РБГ-10-2500-0,2};$

$W1: l = 50 \text{ км}; x_{(1)} = 0,405 \text{ Ом/км}; x_{(0)}/x_{(1)} = 4,5;$

$W2: l = 40 \text{ км}; x_{(1)} = 0,42 \text{ Ом/км}; x_{(0)}/x_{(1)} = 3,0.$

$W3: l = 20 \text{ км}; x_{(1)} = 0,413 \text{ Ом/км}; x_{(0)}/x_{(1)} = 2,8.$

Навантаження: $S_{H5} = 30 \text{ МВ} \cdot \text{А}; S_{H6} = 25 \text{ МВ} \cdot \text{А}$

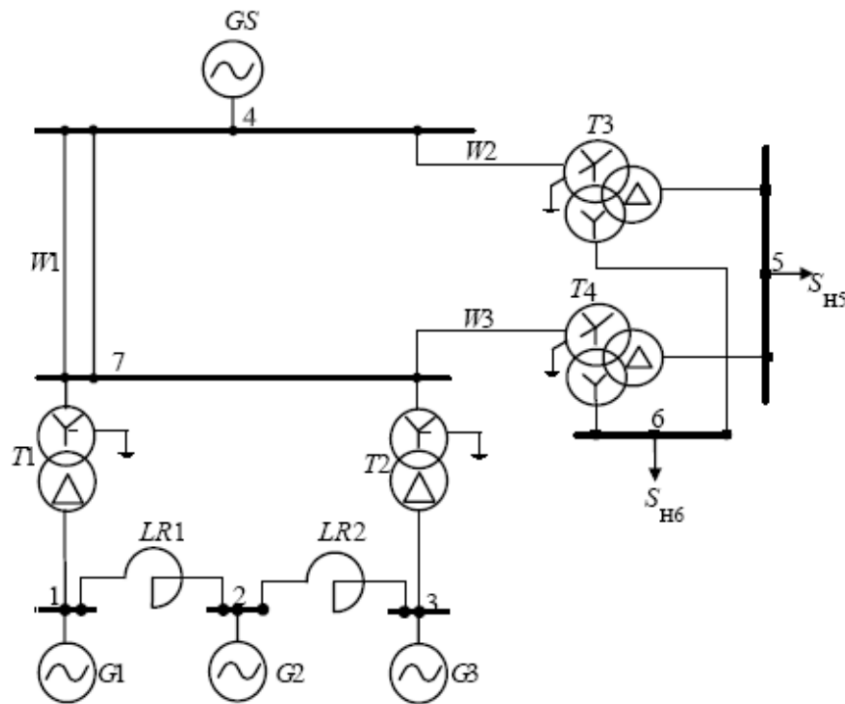


Рис. 11.29

Задача 30

При двофазному КЗ на землю у вузлі 5 електроенергетичної системи, схема якої представлена на рис. 11.30, побудувати векторну діаграму струмів у вузлі КЗ.

Вихідні дані

$G1, G2: S_{НОМ} = 78,75 \text{ МВ} \cdot \text{А}; U_{НОМ} = 10,5 \text{ кВ}; x_d'' = 0,1361; x_2 = 0,166.$

$GS: S_{GS} = 1500 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_{(1)GS} = 0,25; x_{(0)} = 1,4 x_{(1)} .$

$GC: S_{НОМ} = 75 \text{ МВ} \cdot \text{А}; U_{НОМ} = 11 \text{ кВ}.$

$T1, T2: S_{НОМ} = 80 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{к} = 11 \% ; k_{T1,2} = 10,5/121.$

$T3, T4: S_{НОМ} = 125 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{к} = 11 \% ; k_{T3,4} = 115/10,5-10,5.$

$AT1, AT2: S_{НОМ} = 125 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{к,BC} = 11 \% ; u_{к,ВН} = 45 \% ; u_{к,СН} = 28 \% ; k_{AT1,2} = 230/121/10,5.$

LR: РБДГ-10-2500-0,35.

W1: $l = 30$ км; $x(1) = 0,42$ Ом/км; $x(0)/x(1) = 3,0$;

W2: $l = 20$ км; $x(1) = 0,405$ Ом/км; $x(0)/x(1) = 2,9$;

W3: $l = 40$ км; $x(1) = 0,413$ Ом/км; $x(0)/x(1) = 2,7$.

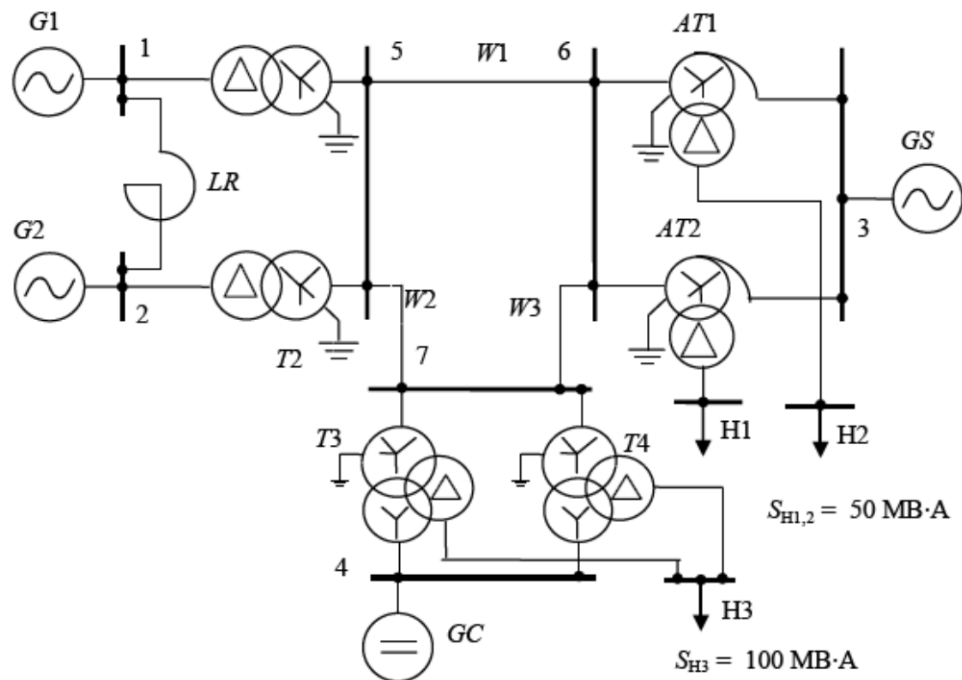


Рис. 11.30

Задача 31

При двохфазному КЗ на землю у вузлі 9 електроенергетичної системи (рис. 11.31) побудувати векторну діаграму струмів у вузлі КЗ.

Вихідні дані

G1, G2: $S_{\text{НОМ}} = 78,75$ МВ·А; $U_{\text{НОМ}} = 10,5$ кВ; $x_d'' = 0,1361$; $x_2 = 0,166$.

GS: $S_{GS} = 1500$ МВ·А; $x_{(1)GS} = 0,25$; $x_{(0)} = 1,4 x_{(1)GS}$.

GC: $S_{\text{НОМ}} = 75$ МВ·А; $U_{\text{НОМ}} = 11$ кВ.

T1, 2: $S_{\text{НОМ}} = 80$ МВ·А; $u_k = 11$ %; $k_{T1,2} = 10,5/121$.

T3, 4: $S_{\text{НОМ}} = 125$ МВ·А; $u_k = 11$ %; $k_{T3,4} = 115/10,5-10,5$.

AT1, 2: $S_{\text{НОМ}} = 125$ МВ·А; $u_{k,BC} = 11$ %; $u_{k,BH} = 45$ %; $u_{k,CH} = 28$ %; $k_{AT1,2} = 230/121/10,5$.

LR: РБДГ-10-2500-0,35.

W1: $l = 30$ км; $x(1) = 0,42$ Ом/км; $x(0)/x(1) = 3,0$;

W2: $l = 20$ км; $x(1) = 0,405$ Ом/км; $x(0)/x(1) = 2,9$;

W3: $l = 40$ км; $x(1) = 0,413$ Ом/км; $x(0)/x(1) = 2,7$.

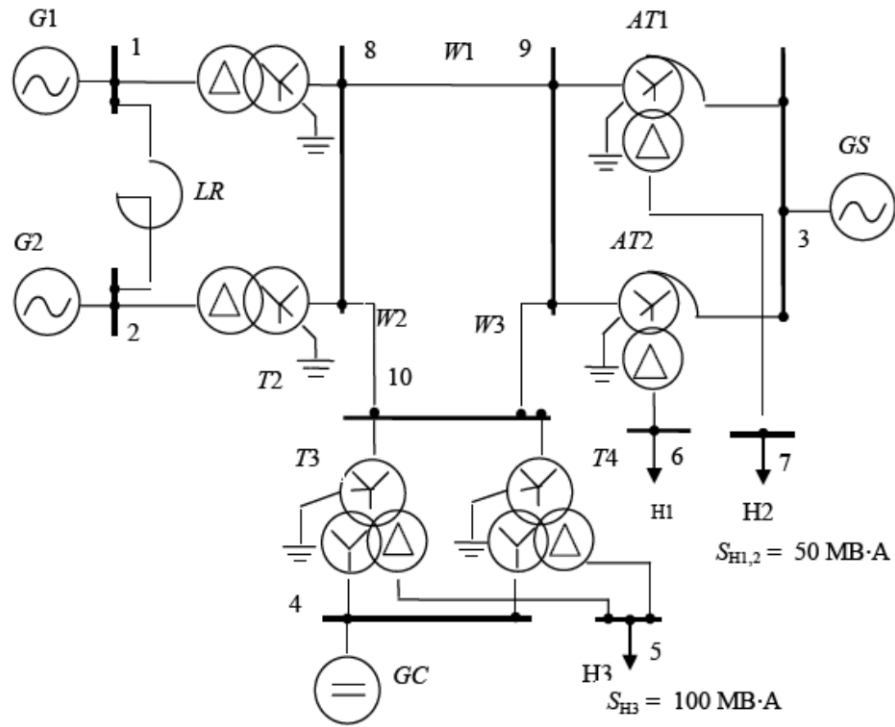


Рис. 11. 31

Задача 32

При однофазному КЗ у вузлі 9 електроенергетичної системи, схема якої представлена на рис. 11.32, побудувати векторну діаграму напруг у вузлі 9.

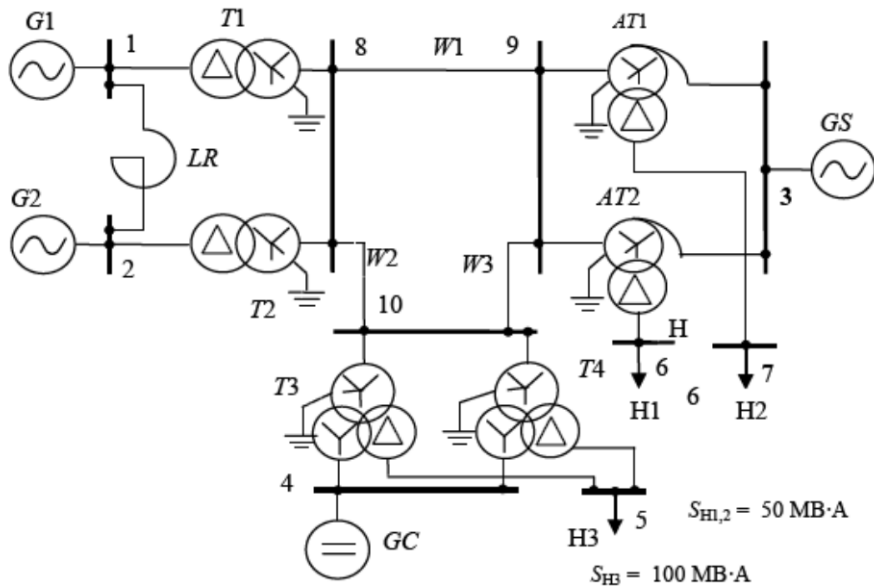


Рис. 11.32

Вихідні дані

$G1, G2: S_{\text{НОМ}} = 78,75 \text{ МВ} \cdot \text{А}; U_{\text{НОМ}} = 10,5 \text{ кВ}; x_d'' = 0,1361; x_2 = 0,166.$

$GS: S_{GS} = 1500 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_{(1)GS} = 0,25; x_{(0)} = 1,4 x_{(1)GS}.$

$GC: S_{\text{НОМ}} = 75 \text{ МВ} \cdot \text{А}; U_{\text{НОМ}} = 11 \text{ кВ}.$

$T1,2: S_{\text{НОМ}} = 80 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{\kappa} = 11 \%; k_{T1,2} = 10,5/121.$

$T3,4: S_{\text{НОМ}} = 125 \text{ МВ} \cdot \text{А}; u_{\kappa} = 11 \%; k_{T3,4} = 115/10,5-10,5.$

$AT_{1,2}: S_{\text{НОМ}} = 125 \text{ МВ}\cdot\text{А}; u_{\text{к,вс}} = 11 \%; u_{\text{к,вн}} = 45 \%; u_{\text{к,сн}} = 28 \%; k_{AT_{1,2}} = 230/121/10,5.$

$LR: \text{РБДГ-10-2500} - 0,35.$

$W1: l = 30 \text{ км}; x_{(1)} = 0,42 \text{ Ом/км}; x_{(0)}/x_{(1)} = 3,0;$

$W2: l = 20 \text{ км}; x_{(1)} = 0,405 \text{ Ом/км}; x_{(0)}/x_{(1)} = 2,9;$

$W3: l = 40 \text{ км}; x_{(1)} = 0,413 \text{ Ом/км}; x_{(0)}/x_{(1)} = 2,7.$

Задача 33

При однофазному КЗ у вузлі 10 електроенергетичної системи (рис.11.33) побудувати векторну діаграму напруг у вузлі 10.

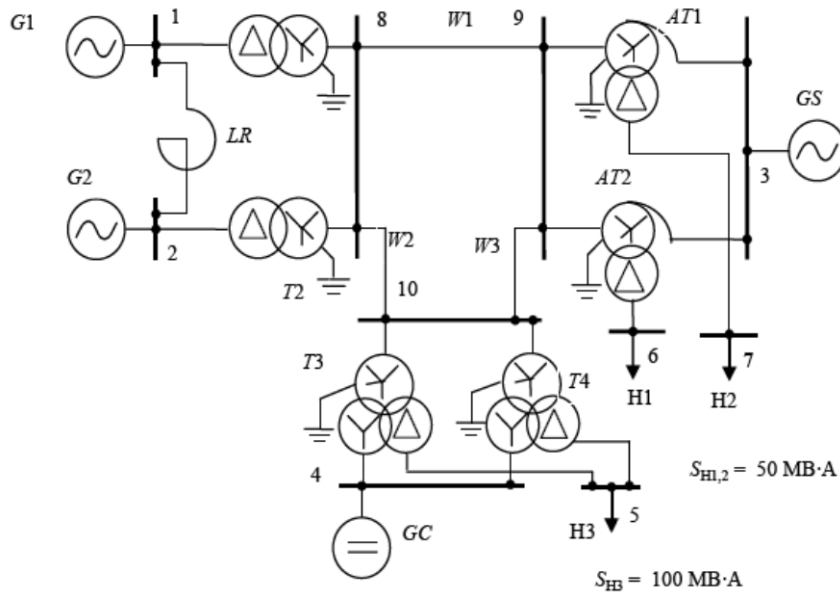


Рис. 11.33

Вихідні дані

$G1, G2: S_{\text{НОМ}} = 78,75 \text{ МВ}\cdot\text{А}; U_{\text{НОМ}} = 10,5 \text{ кВ}; x_d'' = 0,1361; x_2 = 0,166.$

$GS: S_{GS} = 1500 \text{ МВ}\cdot\text{А}; x_{(1)} = 0,25; x_{(0)} = 1,4 x_{(1)} GS.$

$GC: S_{\text{НОМ}} = 75 \text{ МВ}\cdot\text{А}; U_{\text{НОМ}} = 11 \text{ кВ}.$

$T_{1,2}: S_{\text{НОМ}} = 80 \text{ МВ}\cdot\text{А}; u_{\text{к}} = 11 \%; k_{T_{1,2}} = 10,5/121.$

$T_{3,4}: S_{\text{НОМ}} = 125 \text{ МВ}\cdot\text{А}; u_{\text{к}} = 11 \%; k_{T_{3,4}} = 115/10,5-10,5.$

$AT_{1,2}: S_{\text{НОМ}} = 125 \text{ МВ}\cdot\text{А}; u_{\text{к,вс}} = 11 \%; u_{\text{к,вн}} = 45 \%; u_{\text{к,сн}} = 28 \%; k_{AT_{1,2}} = 230/121/10,5.$

$LR: \text{РБДГ-10-2500-0,35}.$

$W1: l = 30 \text{ км}; x_{(1)} = 0,42 \text{ Ом/км}; x_{(0)}/x_{(1)} = 3,0;$

$W2: l = 20 \text{ км}; x_{(1)} = 0,405 \text{ Ом/км}; x_{(0)}/x_{(1)} = 2,9;$

$W3: l = 40 \text{ км}; x_{(1)} = 0,413 \text{ Ом/км}; x_{(0)}/x_{(1)} = 2,7.$

Задача 34

При двофазному КЗ на землю у вузлі 9 електроенергетичної системи, схема якої представлена на рис. 11.34, побудувати векторну діаграму напруг для вузла 6. Схема і група з'єднань обмоток трансформаторів T3, T4 виду $Y_n/Y/\Delta-0-11$.

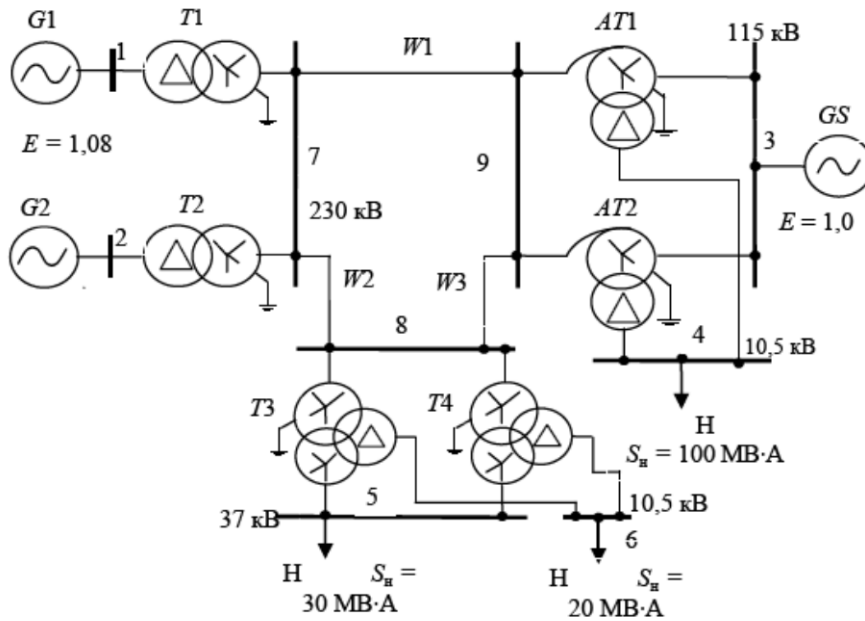


Рис. 11.34

Вихідні дані

$$S_G = 100 \text{ МВ} \cdot \text{А}, U_G = U_{\text{ср.ном}};$$

$$G1, G2: x_d'' = 0,1536;$$

GS: 0,014(0,0266) – в дужках вказані опори струмам нульової послідовності.

$$T1, T2: 0,088.$$

$$T3, T4: x_B = 0,294; x_C = 0; x_H = 0,256.$$

$$AT1,2: x_B = 0,0575, x_C = 0, x_H = 0,1025.$$

$$W1: 0,0576(0,184).$$

$$W2: 0,0794(0,23).$$

$$W3: 0,0394(0,119).$$

$$E_\Sigma = j1,017;$$

$$x_{1\Sigma} = x_{2\Sigma} = 0,0337; x_{0\Sigma} = 0,0349;$$

$$\underline{I}_{KA1} = 20,002; \underline{I}_{KA2} = -10,176; \underline{I}_{KA0} = -9,9826;$$

$$\underline{U}_{KA1} = \underline{U}_{KA2} = \underline{U}_{KA0} = j0,342$$

Задача 35

Первинна обмотка знижувального трансформатора, у якого $S_H = 180 \text{ кВА}$; $U_{ВН}/U_{НН} = 6/0,525 \text{ кВ}$; $U_k = 5,5\%$ і втрати $P_k = 4 \text{ кВт}$ приєднана до джерела необмеженої потужності. Визначити амплітуду періодичної складової струму при КЗ на вторинних виводах трансформатора, вважаючи, що трансформатор до КЗ працював на холостому ході.

Задача 36.

До збірних шин напругою 0,4 кВ за допомогою кабелю довжиною 70 м і перетином $3 \times 120 \text{ мм}^2$ підключений асинхронний двигун типу АО-104-6 (див. рис. 11.35). Визначити початкове значення періодичної складової струму трифазного КЗ, створюваного двигуном при КЗ на збірних шинах (двигун до КЗ мав номінальне навантаження).

Дані:

двигун: АО-104-6

$P_{НОМ}=200$ кВт

$U_H=380$ В;

$n=1000$ об/хв;

$n_{НОМ}=980$ об/хв;

$I_{пуск}=6$;

$M_{пуск}=1,5$

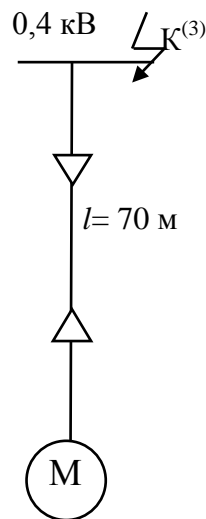


Рис. 11.35

Задача 37.

Визначити струм трифазного КЗ на шинах рзполільчого щита (РЩ). Схема мережі наведена на рис. 11.36. Трансформатор з'єднаний із шинами РУ алюмінієвими шинами перетином $50 \times 5 = 250$ мм², розташованими в одній площині. Відстань між шинами 300 мм. Трансформатори струму мають коефіцієнт трансформації 200/5 А.

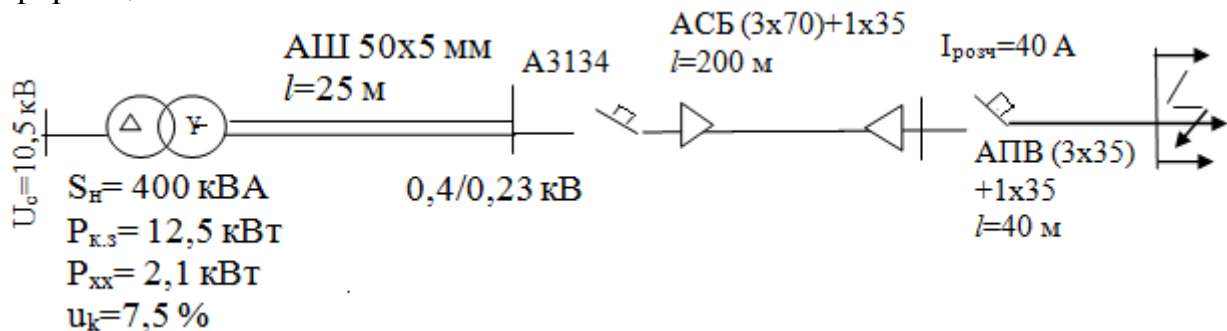


Рис. 11.36

Задача 38.

До трансформатора 560 кВА, 10/0,525 кВ, що живиться від шин з постійної напруги 10 кВ приєднаний кабель довжиною 100 м. Напруга КЗ трансформатора $U_k = 5,5\%$ та його втрати КЗ $P_k = 9,4$ кВт. Активний опір кабеля $r = 0,6$ Ом/км, його реактивним опором можна нехтувати. Визначити діюче значення періодичної складової струму, ударний коефіцієнт і ударний струм, при КЗ на кінці даного кабелю.

Задача 39.

Розрахувати струми трифазного КЗ у точці К системи електропостачання, схема якої наведена на рис. 11.37. Параметри елементів зазначені на рис. 11.37. Електроустановки напругою 0,4 кВ живляться через шинопровід типу ШМА-73.

$$U_c = 10.5 \text{ кВ}$$

$$I_{kc} = 8 \text{ кА}$$

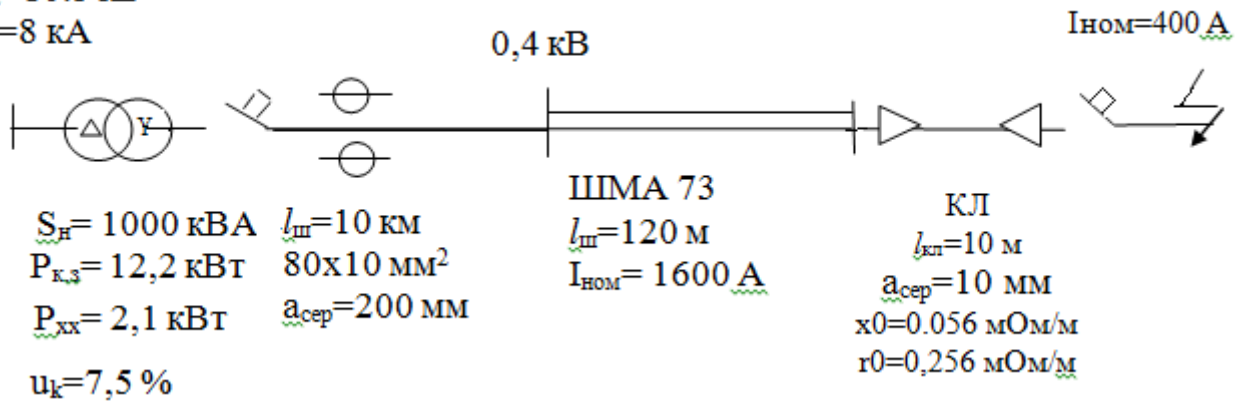


Рис. 11.37

Задача 40

Визначити струм КЗ у точці мережі 0,4 кВ зазначеної на рис. 11.38, за умови, що опори елементів схеми електропостачання вищої напруги до цехового трансформатора складають 447,9 мОм; 0,38 мОм. Довжина шинопровода типу ШМА до точки К₁ = 20 м.

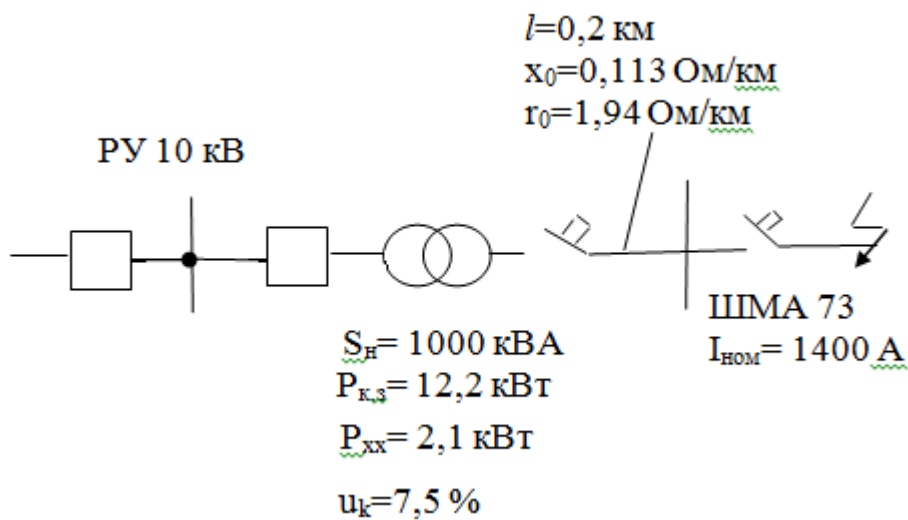


Рис. 11.38

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Рожкова, Л.Д. Электрооборудование станций и подстанций./Л.Д. Рожкова, В.С. Козулин. - М.: Энергоатомиздат., 1987. - 648с.
2. Ульянов, С.А. Электромагнитные переходные процессы./ С.А. Ульянов. - М.: Энергия, 1970. - 520с.
3. Руководящие указания по релейной защите. Расчёты токов короткого замыкания для релейной защиты и системной автоматики в сетях 110-750 кВ. - М.: Энергия, 1979. - 152с.
4. Руководящие указания по расчёту токов короткого замыкания и выбору электрооборудования / Под ред.Б.Н. Неклепаева. - М.: Изд-во НЦЭНАС, 2004. -152с.
5. Переходные процессы в системах электроснабжения./ В.Н. Винославский, Г.Г. Пивняк и др. - М.: Энергоатомиздат., 2003. - 597с.
6. Букович, Н.В. Розрахунок струмів короткого замикання./ Н.В. Букович, Г.Н.Міркевич. - К.: НМК ВО, 1991. - 224с.
7. Государственный стандарт СССР. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчёта в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ. - М.: Изд-во стандартов, 1989. - 40с.
8. Блок, В.М. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электроэнергетических специальностей вузов./ В.М. Блок. - М.: Высш. шк., 1990. - 383с.
9. Черемісін, М.М. Перехідні процеси в системах електропостачання./ М.М. Черемісін. - Харків: Факт, 2005. - 176 с.