

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять та виконання курсової роботи

по курсу "Електромагнітні перехідні процеси"

для студентів денної, заочної та дистанційної форм навчання

за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка,

електромеханіка

Харків
НТУ «ХПІ»
2021

Методичні вказівки до практичних занять та виконання курсової роботи по курсу "Електромагнітні перехідні процеси" для студентів денної, заочної та дистанційної форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка / склад. Рудевіч Н.В. – Х. : НТУ “ХПІ”, 2021. 40с.

Укладачі: Н.В. Рудевіч

Рецензент

Кафедра автоматизації та кібербезпеки енергосистем

ВСТУП

Метою методичних вказівок є визначення вимог до оформлення пояснювальної записки, викладу порядку виконання курсової роботи, уявлення студентам необхідної довідкової інформації та методичної допомоги.

Завдання курсової роботи полягає в закріпленні студентами знань з основних розділів курсу "Електромагнітні перехідні процеси". Набуття практичних навичок в застосуванні теорії до розрахунку струмів короткого замикання (КЗ) в електричній системі.

1. ЗАВДАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

1.1. Початкові дані

Курсова робота виконується відповідно до індивідуального варіанту вихідних даних, який задає кожному студенту викладач. Вихідні дані за варіантами наведені в таблиці 1.1 [1].

В залежності від варіанту на електричній станції (ЕС) можуть бути встановлені турбогенератори (ТГ) однаковою або різної потужності.

Генератори потужністю до 63 МВт включно можуть включатися на паралельну роботу на генераторній напрузі,

тобто за схемою ТЕЦ, при цьому якщо всі генератори одного типу, то вони включаються за схемою рис.1.1, якщо генератори двох типів - за схемою рис.1.2. Генератори потужністю понад 63 МВт - за блочною схемою КЕС (рис.1.3). Якщо на станції встановлені генератори потужністю до 63 МВт і понад 63 МВт, то вони включаються за змішаною схемою рис. 1.4 (через реактор включаються генератори потужністю до 63 МВт).

Таблиця 1.1 – Вихідні дані для розрахунку

Номер варіанту	Кількість та потужність ТГ, МВА	Лінія		Навантаження	Система		З	
		L , км	U_n , кВ	$S_{ном}$, МВА	U_s , кВ	S'' , МВА	Крапка 3 ^x фазного КЗ	Вид н н / к / пе / тран
1.	2· 258,3 1· 78,75	220	220	200	310	3000	$K_1^{(3)}$	$K_5^{(1)}$
2.	1· 137,5 2· 40	110	110	100	220	1000	$K_1^{(3)}$	$K_5^{(1)}$
3.	2· 40 2· 25	130	110	40	220	1200	$K_1^{(3)}$	$K_5^{(1)}$
4.	1· 137,5 2· 235,3	170	220	300	315	2500	$K_2^{(3)}$	$K_5^{(1,1)}$
5.	1· 78,75 1· 125	140	110	100	320	1300	$K_3^{(3)}$	$K_5^{(2)}$
6.	1· 78,75 2· 40	120	110	60	315	1100	$K_2^{(3)}$	$K_5^{(1,1)}$

Продовження табл. 1.1

Номер варіанту	Кількість та потужність ТГ, МВА	Лінія		Навантаження	Система		З	
		L , км	U_n , кВ	$S_{ном}$, МВА	U_s , кВ	S'' , МВА	Крапка 3 ^x фазного КЗ	Вид н н / к / пе / тран
7.	1· 375 1· 588	270	330	200	740	2600	$K_2^{(3)}$	$K_5^{(2)}/$
8.	1· 125 2· 78,75	240	330	50	490	3200	$K_1^{(3)}$	$K_5^{(1)}/$
9.	2· 25 2· 78,75	120	110	100	210	1400	$K_3^{(3)}$	$K_5^{(2)}/$
10.	2· 247 2· 137,5	290	330	150	470	3300	$K_3^{(3)}$	$K_5^{(1)}/$
11.	2· 375 2· 125	280	330	200	500	2800	$K_4^{(3)}$	$K_5^{(1,1)}/$
12.	1· 353 2· 40	200	220	50	310	2000	$K_1^{(3)}$	$K_5^{(1,1)}/$

Продовження табл. 1.1

Номер варіанту	Кількість та потужність ТГ, МВА	Лінія		Наван- таження	Система		З	
		L , км	U_n , кВ	$S_{ном}$, МВА	U_s , кВ	S'' , МВА	Кра- пка 3 ^x фаз- ного КЗ	Вид н н / к / пе / тран
13.	1· 137,5 2· 78,75	210	220	30	300	1800	$K_1^{(3)}$	$K_5^{(2)}/L$
14.	2· 125 1· 588	280	330	85	500	3500	$K_1^{(3)}$	$K_5^{(1)}/L$
15.	2· 40 1· 78,75	120	110	60	220	1700	$K_1^{(3)}$	$K_5^{(1,1)}/L$
16.	1· 247 1· 353	250	220	180	500	3400	$K_2^{(3)}$	$K_5^{(1)}/L$
17.	1· 137,5 2· 40	145	110	110	230	1200	$K_2^{(3)}$	$K_5^{(1)}/L$
18.	2· 258,3 2· 40	230	220	180	330	2200	$K_2^{(3)}$	$K_5^{(1,1)}/L$

Продовження табл. 1.1

Номер варіанту	Кількість та потужність ТГ, МВА	Лінія		Наван- таження	Система		З	
		L , км	U_n , кВ	$S_{ном}$, МВА	U_s , кВ	S'' , МВА	Кра- пка 3^x фаз- ного КЗ	Вид н н / к / пе / тран
19.	2· 247 1· 125	210	220	250	320	2100	$K_3^{(3)}$	$K_5^{(1,1)}$
20.	3· 40 1· 25	140	110	50	230	1400	$K_4^{(3)}$	$K_5^{(1)}/$
21.	2· 137,5 1· 258,3	225	220	100	320	2600	$K_1^{(3)}$	$K_5^{(1,1)}$
22.	2· 78,75 2· 125	210	220	30	320	2500	$K_2^{(3)}$	$K_5^{(2)}/$
23.	2· 78,75 1· 40	140	110	80	310	1000	$K_2^{(3)}$	$K_5^{(2)}/$
24.	1· 588 1· 247	250	330	150	490	4000	$K_1^{(3)}$	$K_5^{(1,1)}$

Продовження табл. 1.1

Номер варіанту	Кількість та потужність ТГ, МВА	Лінія		Навантаження	Система		З	
		L , км	U_n , кВ	$S_{ном}$, МВА	U_s , кВ	S'' , МВА	Крапка 3 ^x фазного КЗ	Вид н н / к / пе / тран
25.	1· 375 1· 588	240	330	200	750	3800	$K_1^{(3)}$	$K_5^{(1)}/$
26.	1· 247 2· 78,75	270	330	40	490	3900	$K_2^{(3)}$	$K_5^{(1)}/$
27.	2· 137,5 2· 78,75	240	220	30	330	2000	$K_2^{(3)}$	$K_5^{(2)}/$
28.	2· 137,5 2· 78,75	240	220	30	330	2000	$K_2^{(3)}$	$K_5^{(1)}/$
29.	1· 247 2· 137,5	270	330	160	490	4100	$K_2^{(3)}$	$K_5^{(1,1)}/$
30.	1· 25 2· 78,75	130	110	150	220	800	$K_3^{(3)}$	$K_5^{(1)}/$

Продовження табл. 1.1

Номер варіанту	Кількість та потужність ТГ, МВА	Лінія		Навантаження	Система		З	
		L , км	U_n , кВ	$S_{ном}$, МВА	U_s , кВ	S'' , МВА	Крапка фазного КЗ	Вид н
31.	1· 247 2· 40	180	220	50	320	2400	$K_3^{(3)}$	$K_5^{(1)}/$
32.	1· 137,5 2· 25	100	110	80	220	1200	$K_3^{(3)}$	$K_5^{(1,1)}/$
33.	1· 125 2· 588	250	330	500	490	3700	$K_2^{(3)}$	$K_5^{(2)}/$
34.	2· 125 2· 258,3	270	330	110	500	3600	$K_3^{(3)}$	$K_5^{(1,1)}/$
35.	1· 588 2· 137,5	200	330	250	510	3300	$K_2^{(3)}$	$K_5^{(1,1)}/$
36.	2· 125 1· 247	170	220	100	340	2100	$K_2^{(3)}$	$K_5^{(1)}/$

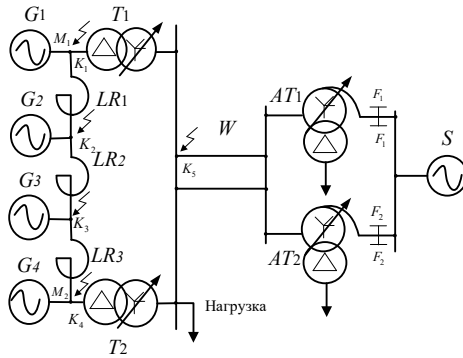


Рис. 1.1. Розрахункова схема ТЕЦ генераторів однакової потужності

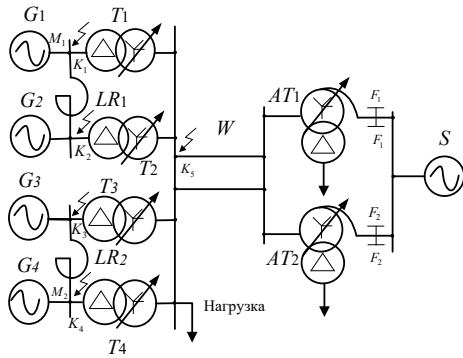


Рис. 1.2. Розрахункова схема ТЕЦ генераторів різної потужності

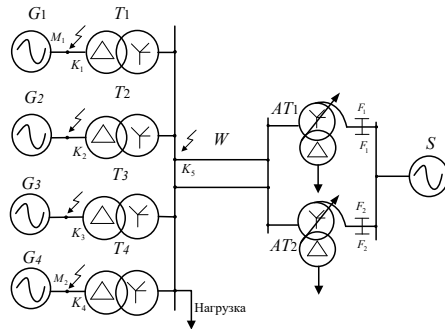


Рис. 1.3. Розрахункова схема КЕС

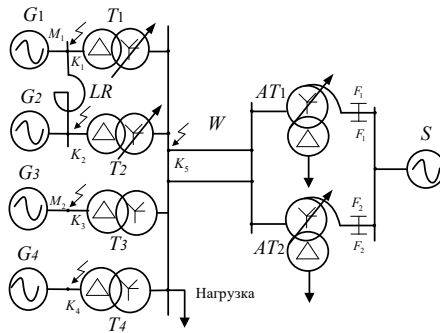


Рис. 1.4. Розрахункова змішана схема

Електрична потужність станції передається в енергосистему по дво-ланцюговій лінії електропередач (ЛЕП). Питомий індуктивний опору ЛЕП до 220 кВ включно приймається рівним 0,4 Ом / км, а понад 220 кВ - 0,33 Ом / км. Тип реактора для всіх варіантів приймається РБ 10-1000-0,28У3 з наступними параметрами: $U_n = 10$ кВ, $X_n = 0,28$ Ом, $I_{трив.доп} = 1$ кА.

Відсутні параметри елементів розрахункової схеми, необхідні для визначення параметрів схеми заміщення, студент вибирає самостійно з відповідних таблиць, наведених в додатку.

По таблиці П1 відповідно до заданої потужності ТГ вибирають його тип і необхідні для розрахунку параметри (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2

Тип генератора	S_H ,	$\cos\phi_H$	U_H ,	X_d ,	X'_d ,	I_{jo}/I_{jnp}
	МВА		кВ	о.е.	о.е.	о.е./о.е.

По таблиці П2 вибирають тип блочного трансформатора для КЕС або трансформатора зв'язку для ТЕЦ та інші параметри, які заносять в таблицю 1.3.

Таблиця 1.3

Тип трансформатора	S_n , МВА	$U_{нн}$, кВ	$U_{нв}$, кВ	u_k , %

Потужність кожного блочного трансформатора повинна бути не менше повної потужності одного генератора. На ТЕЦ встановлюються два однакових трансформатора сумарною потужністю не менше повної потужності всіх генераторів. Напряга нижчої обмотки трансформатора $U_{нн}$ має відповідати номінальній напрузі генератора, а напруга вищої обмотки $U_{нв}$ не повинно перевищувати напругу ЛЕП більш ніж в 1,1 рази.

По таблиці ПЗ вибирають тип автотрансформатора зв'язку та інші його параметри, які заносять в таблицю 1.4.

Таблиця 1.4

Тип автотрансформатора	S_n , МВА	$U_{нс}$, кВ	$U_{нв}$, кВ	$U_{нн}$, кВ	$u_k, \%$		
					В-С	В-Н	С-Н

Зазвичай для надійності встановлюють два трифазних автотрансформатора або групу з трьох однофазних. Сумарна потужність автотрансформаторів повинна бути не менше повної потужності, що видається в систему. При відсутності однофазних трансформаторів відповідної потужності встановлюють групу з шести однофазних трансформаторів. Напруга середньої обмотки автотрансформатора $U_{нс}$ повинна відповідати напрузі ЛЕП, а напруга вищої обмотки $U_{нв}$ не повинно відрізнятися від напруги енергосистеми більш ніж на 20%.

1.2. Текст завдання

Для заданої розрахункової електричної схеми розрахувати:

- Струм симетричного (трифазного) КЗ в заданій точці K_n (n - індекс відповідно до варіанта):

- діюче значення періодичної складової струму для моментів часу: а) початковий $t_1 = 0$ с; б) довільний t_2 (задається), с) сталий $t_3 = \infty$ с;
- миттєве значення аперіодичної складової струму для заданого моменту часу t_2 ;
- миттєве і діюче значення ударного струму.
- Струм несиметричного КЗ в заданій крапці К5:
 - діюче значення періодичної складової струму для довільного моменту часу t_4 (задається), побудувати векторні діаграми струмів і напруг в місці несиметричного КЗ для заданого моменту часу;
 - діюче значення періодичної складової струму в зазначеному перерізі F_n - F_n і напруги в зазначеній крапці М n для моменту часу t_4 , побудувати векторні діаграми струмів і напруг в зазначеному перерізі F_n - F_n і крапці М n.
 - визначити струм, що протікає в нейтралі заданого трансформатора.

2. ВИМОГИ ДО ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

Пояснювальна записка до курсової роботи повинна містити: титульний аркуш; реферат; зміст; перелік умовних позначень; Вступ; основну частину; висновки; список джерел інформації; додатки (якщо вони є). Пояснювальна записка повинна бути виконана і оформлена відповідно до вимог ДСТУ.

Реферат - короткий виклад змісту курсової роботи, що включає основні відомості, необхідні для початкового ознайомлення з роботою. Реферат повинен містити: відомості про обсяг пояснювальної записки, перелік ключових слів, текст реферату. Обсяг реферату не повинен перевищувати однієї сторінки.

Відомості про обсяг пояснювальної записки включають: кількість сторінок, кількість ілюстрацій, таблиць, джерел інформації і додатків.

Зміст включає структурні частини записки в наступній послідовності: вступ, назви розділів і підрозділів основної частини записки, висновки, список джерел інформації, додатки. Слово сторінка або його скорочення не пишуть.

У вступі необхідно сформулювати завдання розрахунку струмів КЗ, а

також охарактеризувати математичний апарат і основні допущення, що приймаються при розрахунках.

В основну частину включають: текст завдання; розрахункову схему електричної системи і параметри її елементів; схему заміщення електричної системи і розрахунок параметрів її елементів; розрахунок струму симетричного КЗ; розрахунок струму несиметричного КЗ.

У висновку повинні бути наведені короткі висновки за результатами виконаної роботи.

Список джерел інформації - це перелік цитованих, розглянутих і згадуваних джерел інформації. Джерела інформації записують в список джерел інформації в міру появи на них посилань в тексті. Посилання на джерела інформації позначають порядковим номером, укладеними в квадратні дужки.

3. РОЗРАХУНОК СТРУМУ СИМЕТРИЧНОГО КЗ

3.1. Основні допущення

При розрахунках струмів КЗ допускається:

- 1) не враховувати зсув по фазі електроорушійної сили різних синхронних машин і зміни їх частоти обертання;
- 2) не враховувати поперечну ємність повітряних ліній електропередачі;
- 3) не враховувати насичення магнітних систем електричних машин;
- 4) не враховувати струми намагнічування трансформаторів і автотрансформаторів;
- 5) не враховувати вплив активних опорів різних елементів вихідної розрахункової схеми на амплітуду періодичної складової струму КЗ, якщо активна складова результуючого еквівалентного опору розрахункової схеми щодо крапки КЗ не перевищує 30% від індуктивної складової результуючого еквівалентного опору;
- 6) наближено враховувати загасання аперіодичної складової струму КЗ, якщо вихідна розрахункова схема містить кілька незалежних контурів;
- 7) наближено враховувати електроприймачі, зосереджені в окремих вузлах вихідної розрахункової схеми.

3.2. Складання схеми заміщення

Розрахунок струмів КЗ починається зі складання схеми заміщення на підставі заданої розрахункової схеми. Схема заміщення - електрична схема, за процесам, що протікають в ній, аналогічна вихідній розрахунковій, але в якій відсутні магнітні зв'язку. Складання такої схеми зводиться до приведення параметрів елементів і електрорушійних сил (ЕРС) джерел живлення, що знаходяться на різних ступенях трансформації заданої розрахункової схеми, до якої-небудь однієї ступені, вибраної за основну (зазвичай це ступінь, де сталося коротке замикання). У схему заміщення необхідно включати тільки ті елементи, які впливають на величину струму КЗ. При цьому необхідно враховувати віддаленість точки КЗ від будь-якого джерела. Для синхронного або асинхронного електродвигуна КЗ-допустимо вважати віддаленим, якщо розрахункова крапка КЗ знаходиться за трансформатором або за реактором, опір якого в два рази перевищує опір електродвигуна. Електродвигуни, для яких розрахункове КЗ є віддаленим, в схему заміщення не вводяться.

Приклад схеми заміщення для розрахункової змішаної схеми при КЗ в крапці К5 (рис.1.4) наведено на рис.3.1

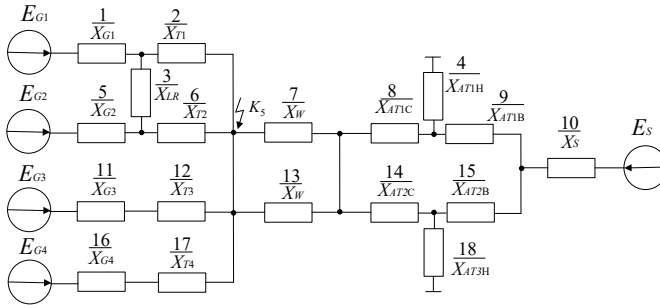


Рис. 3.1. Схема заміщення

3.3. Розрахунок параметрів елементів схеми заміщення

Розрахунок ведеться в відносних одиницях за формулами наближеного наведення. Довільно задається базисна потужність S_6 (МВА) і базисна

напряга U_6 (кВ). Рекомендується прийняти $S_6 = 100\text{MVA}$, U_6 - рівним середній напрузі ступені, де відбулося КЗ [2]. Середня напруга для ступені визначається згідно з наступною шкалою: 1115; 770; 515; 340; 230; 154; 115; 37; 27; 24; 20; 18; 15,75; 13,8; 10,5; 6,3; 3,15 (кВ) [3].

Вирази для розрахунку опорів елементів схеми заміщення наведені нижче. У пояснювальній записці необхідно спочатку окремим рядком записувати формулу в загальному вигляді, а в наступному рядку підставляти чисельні значення з подальшим результатом і розмірністю.

Відносна ЕРС генератора

$$\overset{\circ}{E}_{G*6} = E_{G*H}$$

Відносний опір генератора

$$\overset{\circ}{X}_{G*6} = X_{G*H} \frac{S_6}{S_H},$$

Відносний опір трансформатора

$$\overset{\circ}{X}_{T*6} = \frac{u_k \% S_6}{100 S_H}.$$

Відносний опір триобмоткового трансформатора або автотрансформатора

$$\overset{\circ}{X}_{TB*6} = \frac{u_{kB} \% S_6}{100 S_H}, \quad \overset{\circ}{X}_{TC*6} = \frac{u_{kC} \% S_6}{100 S_H}, \quad \overset{\circ}{X}_{TH*6} = \frac{u_{kH} \% S_6}{100 S_H},$$

$$\text{де } \begin{cases} u_{kB} \% \Theta,5(u_{kB\epsilon} + u_{kBH} - u_{kCH}) \% \\ u_{kC} \% \Theta,5(u_{kB\epsilon} + u_{kCH} - u_{kBH}) \% . \\ u_{kH} \% \Theta,5(u_{kBH} + u_{kCH} - u_{kB\epsilon}) \% \end{cases}$$

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

Відносний опір лінії

$$\overset{\circ}{X}_{W*6} = X_{уд} L \frac{S_6}{U_{cpW}^2},$$

де U_{cpW} – середня напруга лінії.

Відносний опір реактора

$$\overset{\circ}{X}_{LR*б} = \frac{X_p \%}{100} \frac{U_n}{\sqrt{3} I_n} \frac{S_б}{U_{cpLR}^2},$$

де U_{cpLR} – середня напруга ступені, де знаходиться реактор

або

$$\overset{\circ}{X}_{LR*б} = X_{LR} (\text{Ом}) \frac{S_б}{U_{cpLR}^2}.$$

Відносний опір системи

$$\overset{\circ}{X}_{S*б} = \frac{S_б}{S^{//}}$$

або

$$\overset{\circ}{X}_{S*б} = X_{S*н} \frac{S_б}{S_{ном}}$$

Відносна ЕРС системи

$$\overset{\circ}{E}_{S*б} = E_{S*н} = U_{S*н}$$

Відносний опір навантаження

$$\overset{\circ}{X}_{нагр*б} = X_{нагр*н} \frac{S_б}{S_n}$$

Відносна ЕРС навантаження

$$\overset{\circ}{E}_{нагр*б} = E_{нагр*н}$$

Примітка.

Індекси, використані в попередніх формулах, означають:

"*" - відносне значення;

"б" - значення, приведені до базисних умов;

"н" - значення, приведені до номінальних умовам;

"о" - значення, приведені до основного ступеня напруги (ступені КЗ).

У подальших розрахунках індекс "*" б" і "о" при відповідних величинах опустити, так як дії проводяться тільки з відносними величинами.

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

3.4. Розрахунок діюче значення періодичної складової струму КЗ

Розрахунок необхідно провести для початкового моменту часу $t_1 = 0$ с; для заданого довільного моменту часу t_2 , для сталого моменту часу $t_3 = \infty$ с.

3.4.1. Розрахунок діюче значення періодичної складової струму КЗ для початкового моменту часу $t_1 = 0$ з ($I_{п.0}$).

Скласти схему заміщення на підставі розрахункової схеми, в якій синхронні генератори і електродвигуни задаються надперехідними параметрами: ЕРС $E_q^{//}$ і опором $X_d^{//}$. При відсутності необхідних даних можна скористатися середніми відносними значеннями $E^{//}$ і $X^{//}$, наведеними в таблиці 3.1 [3]. Значення опору генераторів і навантажень необхідно привести до базисних умов і до основного ступеня напруги за формулами з п. 3.3. Значення ЕРС системи прийняти $E_{S*н} = 1,1$, значення опорів інших елементів розрахувати за формулами з п. 3.3. Кожне опір елемента схеми заміщення позначається у вигляді дробу - в чисельнику вказується порядковий номер опору, в знаменнику - величина опору. Присвоєння порядкових номерів опорам елементів схеми заміщення здійснюється зліва направо, зверху вниз.

Таблиця 3.1

Найменування елемента	$E_{*н}^{//}$	$X_{*н}^{//}$
Гідрогенератор з демпферного обмоткою	1,13	0,2
Гідрогенератор без демпферної обмотки	1,18	0,27
Турбогенератор потужністю до 100 МВт	1,08	0,125

Турбогенератор потужністю 100-1000 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

Згорнути схему заміщення до найпростішого виду (рис. 3.2). Знайти результуючий опір $x_{рез}$ і результуючу еквівалентну ЕРС $E_{рез}$.

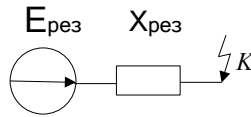


Рис. 3.2. Еквівалентна схема заміщення

При згортанні схеми заміщення в пояснювальній записці слід приводити все проміжні схеми перетворення, позначаючи нові опори зростаючими порядковими номерами.

Визначити діюче значення періодичної складової струму в початковий момент часу в іменованих одиницях (кА) $I_{п.0} = \frac{E_{рез}}{x_{рез}} \cdot I_6$,

де I_6 – базисний струм на ступені КЗ, $I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_6}$, кА.

3.4.2. Розрахунок діючого значення періодичної складової струму для довільного моменту часу t_2 ($I_{п.t}$).

При наближених розрахунках діючого значення періодичної складової струму від синхронних генераторів і навантаження в довільний момент часу слід застосовувати метод типових кривих. Він заснований на використанні кривих зміни в часі відносини дійсних значень періодичної складової струму від генератора (навантаження) в довільний момент часу і початковий момент часу, тобто $\gamma_t = I_{п.t} / I_{п.0} = f(t)$, побудованих для

різної віддаленості крапки КЗ. Існують криві $\gamma_t = f(t)$ для генераторів з урахуванням різних типів систем збудження [4] і для різних типів двигунів. У навчальних цілях для синхронних і асинхронних електродвигунів досить використовувати криві, наведені на рис. 3.3, а для генераторів - типові криві, побудовані для одного якогось типу системи збудження генератора, наприклад, тиристорної системи самозбудження (рис.3.4).

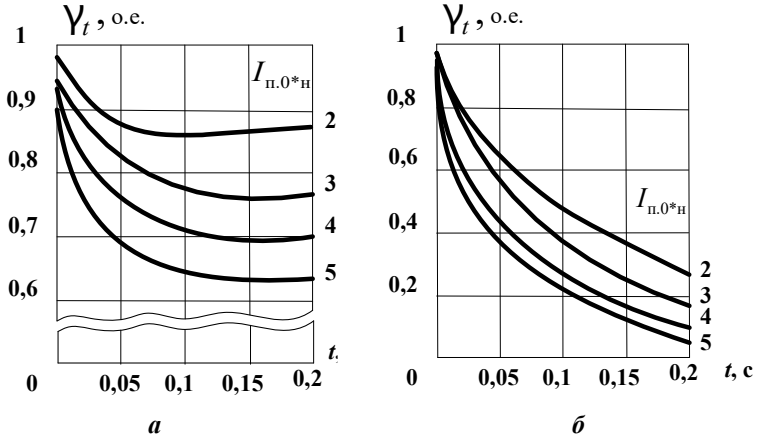


Рис. 3.3. Типові криві: *a* – для синхронного двигуна;
б – для асинхронного двигуна

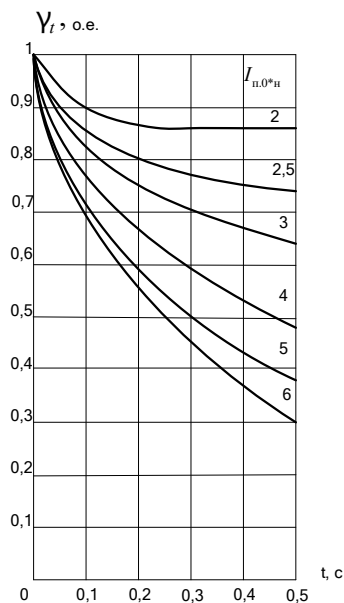


Рис. 3.4. Типові криві зміни періодичної складової струму КЗ від генератора з системою тиристора збудження

Типові криві враховують зміну діючого значення періодичної складової струму короткого замикання, якщо відношення діючого значення періодичної складової струму генератора (навантаження) в початковий момент КЗ до його номінального струму дорівнює або більше двох. При менших значеннях цього відношення слід вважати, що діючого значення періодичної складової струму КЗ не змінюється в часі, тобто $I_{n,t} = I_{n,0} = \text{const}$.

Розрахунок діючого значення періодичної складової струму КЗ від генератора або декількох однотипних генераторів, що знаходяться в однакових умовах щодо крапки КЗ слід вести в наступному порядку:

1) Відповідно до вихідної розрахункової схемою скласти еквівалентну схему заміщення для визначення початкового значення періодичної складової струму КЗ від генератора або групи генераторів. Синхронні машини

слід врахувати над перехідними опорами і ЕРС, що виражені в відносних одиницях при обраних базисних умовах. Навантаження в схемі заміщення не враховуються за винятком тих, які підключено до шин, де відбулося КЗ.

2) Знайти відношення $I_{п.0*н} = \frac{I_{п.0}}{I_{ном.б}}$, що характеризує віддаленість то-

чки КЗ від генератора (групи генераторів), $I_{ном.б} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_б}$ де - номінальний струм генератора (групи генераторів), приведений до того ступеня напруги, де розглядається КЗ, кА, $S_{ном}$ - номінальна потужність генератора або сумарна потужність генераторів, МВА.

3) За кривою (рис. 3.4) відповідно до знайденого значення $I_{п.0*н}$, для заданого моменту часу знайти відношення струмів $\gamma_t = I_{п.t} / I_{п.0}$.

4) Визначити діюче значення періодичної складової струму КЗ від генератора (групи генераторів) в момент часу t_2 в кА

$$I_{п.t} = \gamma_t \cdot I_{п.0} \cdot I_б$$

Якщо джерела електричної енергії різнотипні або з різною віддаленістю щодо крапки КЗ, то дійсну схему заміщення потрібно привести до радіальної (якщо це можливо). Кожен промінь в такій схемі відповідає виділеному джерела або групі однотипних джерел і пов'язаний з крапкою КЗ. Досить виділити три-чотири променя. Джерела, безпосередньо пов'язані з крапкою КЗ, а також джерела нескінченної потужності слід розглядати окремо від інших джерел.

Розрахунок діючого значення періодичної складової струму КЗ кожного променя проводиться в порядку викладеному вище. Діюче значення періодичної складової струму в крапці КЗ в заданий момент часу t визначається як сума відповідних струмів всіх променів

$$I_{\Sigma п.t} = \sum_{i=1}^n I_{п.t_i} = \sum_{i=1}^n \gamma_{t_i} I_{п.0_i} I_б$$

де i – порядковий номер променя;

n – кількість променів.

3.4.3. Розрахунок діюче значення періодичної складової струму для сталого моменту часу $t3 = \infty$ с ($I_{п.\infty}$).

При сталому КЗ генератор, який має регулятор збудження, в залежності від його віддаленості від крапки КЗ може працювати або в режимі граничного збудження або в режимі номінальної напруги. Розрахунок діючого значення періодичної складової струму КЗ для сталого моменту часу слід вести в наступному порядку:

1) Задати режими роботи генераторів, проаналізувавши розрахункову схему.

2) Скласти схему заміщення, в якій генератори враховуються параметрами відповідно до заданих режимами роботи:

- для режиму граничного збудження: $E_r = E_{q.pr}$, $x_r = x_d$,
- для режиму номінальної напруги: $U_{ном}$, $x_r = 0$.

Відносне значення при номінальних умовах граничної ЕРС приймається рівною відносному значенню при номінальних умовах граничного струму збудження.

Навантаження вводиться опором $x_{нав} = 1,2$ і ЕРС $E_{нав} = 0$.

Опори генераторів і навантаження приводяться до базисних умов і основної ступені за формулами із п.3.3.

3) Згорнути схему заміщення до найпростішого виду і визначити $E_{рез}$, $x_{рез}$.

4) Обчислити стале значення періодичної складової струму КЗ в відносних одиницях $I_{п.\infty*б} = \frac{E_{рез}}{x_{рез}}$.

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

6) Обчислити критичні струми від кожного генератора

$$I_{кр} = \frac{U_{ном}}{x_{кр}}, \text{ где } x_{кр} = x_{d*б} \frac{U_{ном*б}}{E_{q.pr*б} - U_{ном*б}}.$$

7) Порівнюючи критичні струми з обчисленими струмами в генераторних гілках, перевірити обрані режими роботи генераторів. Якщо режим

роботи деяких генераторів обраний неправильно, то перезадати режим їх роботи і розрахунок повторити.

8) Якщо режими роботи всіх генераторів обрані правильно, то визначити сталий струм КЗ в кА

$$I_{п.∞} = I_{п.∞*б} \cdot I_б \cdot$$

3.4.4. Розрахунок миттєвого значення аперіодичної складової струму для заданого моменту часу t_2 .

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

Це справедливо при наступних умовах:

- 1) активна складова результуючого еквівалентного опору розрахункової схеми щодо розрахункової крапки КЗ значно менше індуктивної складової, внаслідок чого активної складової можна знехтувати;
- 2) струм в гілці до КЗ був відсутній (гілка КЗ не навантажена);
- 3) напруга мережі до моменту виникнення КЗ проходить через нуль.

Якщо все джерела електричної енергії знаходяться приблизно в однакових умовах щодо крапки КЗ розрахунок миттєвого значення аперіодичної складової струму для заданого моменту часу слід вести в наступному порядку:

- 1) Скласти схему заміщення, в яку всі елементи вводяться своїми активними опорами. Величини цих опорів знаходяться за відомим індуктивним опором елементу і відношенню x/r , взятому з табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Найменування елемента	Відношення x/r
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 від 1500 А	40-80
ЛЕП	2-8
Узагальнене навантаження	2,5
система	50

2) Згорнути схему заміщення до найпростішого виду і визначити результуючий активний опір $r_{\text{рез}}$.

3) Визначити постійну часу загасання T_a аперіодичної складової струму КЗ за формулою

$$T_a = \frac{X_{\text{рез}}}{r_{\text{рез}} \cdot \omega},$$

де ω – кутова частота, що дорівнює 314 1/с.

Значення $X_{\text{рез}}$ взяти із п. 3.4.1.

4) Розрахувати миттєве значення аперіодичної складової струму в точці КЗ для заданого моменту часу t_2

$$i_a = \sqrt{2} I_{\text{н.0}} \cdot e^{-\frac{t_2}{T_a}}.$$

Значення взяти з п. 3.4.1

Якщо джерела електричної енергії різнотипні або з різною віддаленістю щодо крапки КЗ, то дійсну схему заміщення потрібно привести до радіальної. Число променів має відповідати числу променів із п.3.4.2. Розрахунок миттєвого значення аперіодичної складової струму КЗ кожного променя проводиться в порядку викладеному вище. Розрахунок миттєвого значення аперіодичної складової струму в крапці КЗ в заданий момент часу t_2 визначається як сума відповідних струмів всіх променів

$$i_{\Sigma a} = \sum_{i=1}^n i_{a_i} = \sum_{i=1}^n \sqrt{2} I_{\text{н.0}_i} \cdot e^{-\frac{t_2}{T_{a_i}}}.$$

3.4.5. Розрахунок миттєвого і діючого значення ударного струму

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

$$i_{уд} = \sqrt{2} I_{п.0} \cdot k_{уд},$$

$$I_{уд} = I_{п.0} \sqrt{1 + 2(k_{уд} - 1)^2},$$

де $k_{уд} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}}$ – ударний коефіцієнт.

Якщо джерела електричної енергії різнотипні або з різною віддаленістю щодо крапки КЗ, то дійсну схему заміщення потрібно привести до радіальної. Число променів має відповідати числу променів із п. 3.4.2. Розрахунок миттєвого значення ударного струму КЗ визначається як сума відповідних струмів всіх променів

$$i_{\Sigma уд} = \sum_{i=1}^n i_{уд_i} = \sum_{i=1}^n \sqrt{2} I_{п.0_i} \cdot K_{уд_i}.$$

Слід мати на увазі, що чинне значення ударного струму КЗ не є сума відповідних струмів по гілках. Цей струм визначається, як середньоквадратичне значення за формулою

$$I_{\Sigma уд} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n I_{п.0_i} \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n i_{уд_i} \right)^2}.$$

Висновки

Отримані результати з п. 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3 необхідно представити у вигляді таблиці (табл. 3.3) і зробити висновки про характер зміни діючого значення періодичної складової струму КЗ в функції часу.

Таблиця 3.3

Діюче значення періодичної складової струму КЗ $I_{п.t}$, кА	Момент часу, с		
	$t_1=0$	t_2	$t_3=\infty$

Контрольні питання

1. В яких одиницях проводять розрахунок струмів КЗ?
2. Як визначають значення базисної напруги і потужності?

3. Які допущення приймають при розрахунку струмів КЗ?
4. Які причини КЗ?
5. Які наслідки КЗ?
6. На які складові розкладається струм КЗ?
7. Що таке ударний струм і коли він настає?
8. Як впливає момент часу на величину періодичної складової струму короткого замикання?
9. Як впливає момент часу на величину аперіодичної складової струму короткого замикання?
10. Що характеризує постійна часу загасання?
11. Чим відрізняється розрахунок діючого значення періодичної складової струму КЗ в початковий і довільний момент часу?
12. Чим відрізняється розрахунок діючого значення періодичної складової струму КЗ в початковий і момент часу, що встановився?
13. Що таке типові криві, їх призначення?

4. РОЗРАХУНОК СТРУМУ НЕСИМЕТРИЧНИХ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В КРАПЦІ K_5

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

Якщо завдання розрахунку обмежується визначенням струму і напруги в місці КЗ для моменту часу $t_1 = 0$ с, то рекомендується застосовувати аналітичний метод розрахунку з використанням відомих способів перетворення схем, якщо для довільного моменту часу t застосовують метод типових кривих. Якщо необхідно визначити струми і напруги для довільних моментів часу в місцях, віддалених від крапки КЗ, то застосовують метод спрямлених характеристик.

Основні допущення, прийняті при розрахунку симетричного короткого замикання залишаються. Складання схеми заміщення та розрахунок параметрів схеми заміщення здійснюється, як описано в п.3.2 і п.3.3.

4.1. Розрахунок діючого значення періодичної складової струму для довільного моменту часу t_4

Розрахунок проводиться методом спрямлених характеристик. При розрахунку за цим методом генератор, який має регулятор збудження, в залежності від його віддаленості від крапки КЗ і часу від моменту виникнення КЗ, може працювати в двох режимах:

- режим підйому збудження,
- режим номінальної напруги.

Якщо $t \leq 0,5$ с то можна вважати, що всі генератори працюють в режимі підйому збудження і вводяться в схему заміщення ЕРС і опором. Ці параметри визначаються за випрямленими характеристиками (рис. 4.1.) В залежності від заданого моменту часу t_4 . Значення дані в відносних одиницях по відношенню до номінальної потужності генераторів, тому їх необхідно привести до базисних умов за формулами з п.3.3.

Якщо $t > 0,5$ с і генератори електрично віддалені від місця КЗ, то можна вважати, що вони працюють в режимі нормальної напруги і вво-

дяться в схему заміщення $U_{\text{ном}} = 1$ і $x_{\Gamma} = 0$.

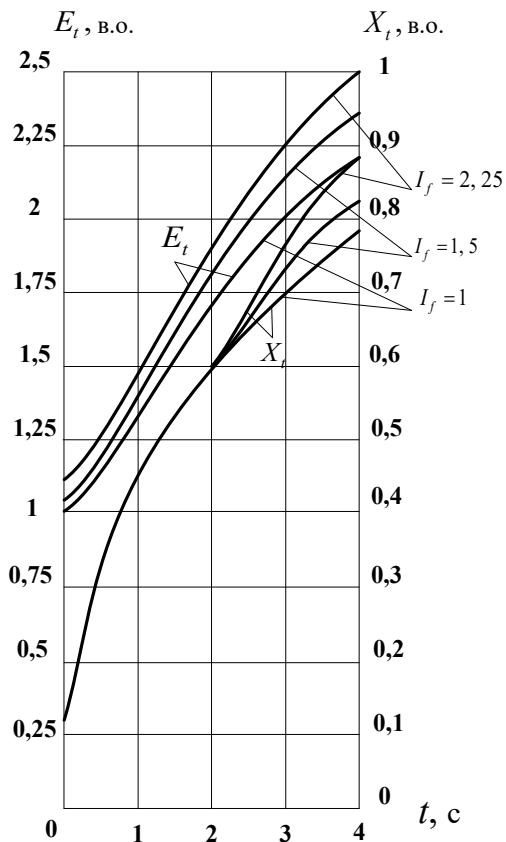


Рис. 4.1. Спрявленні характеристики

Розрахунок діючого значення періодичної складової струму КЗ необхідно вести в наступному порядку:

- 1) задається режим роботи кожного генератора, проаналізувавши участь кожного генератора в підживленні крапки КЗ.
- 2) Скласти схему заміщення прямої послідовності, в якій генерато-

ри враховуються параметрами відповідно до заданих режимами їх роботи. Навантаження в схемі заміщення враховується опором $x_{\text{нагр}} = 1,2$ і ЕРС $E_{\text{нагр}} = 0$. Перерахувати параметри всіх елементів до відповідних базисних умов.

3) Згорнути схему заміщення до найпростішого виду і визначити результуючу ЕРС $E_{\text{рез}}$, і результуючий опір прямої послідовності $x_{1 \text{рез}}$.

4) Скласти схему заміщення зворотній послідовності, розрахувати параметри елементів схеми заміщення, згорнути її до найпростішого виду і знайти результуючий опір зворотній послідовності $x_{2 \text{рез}}$.

Схема заміщення зворотній послідовності за своєю конфігурацією аналогічна схемі заміщення прямої послідовності, але в ній відсутні джерела ЕРС і опір генератора приймається рівним, $2X_d''$, а в наближених розрахунках X_d'' .

5) Скласти схему заміщення нульової послідовності, розрахувати параметри елементів схеми заміщення, згорнути її до найпростішого виду і знайти результуючий опір нульової послідовності $x_{0 \text{рез}}$.

При складанні схеми необхідно керуватися наступним: в схему заміщення не вводиться трансформатор і наступні за ним елементи, якщо обмотка трансформатора з боку точки КЗ з'єднана в трикутник або в зірку з незаземленою нейтраллю.

При составлении схемы необходимо руководствоваться следующим: в схему замещения не вводится трансформатор и следующие за ним элементы, если обмотка трансформатора со стороны точки КЗ соединена в треугольник или в звезду с незаземленной нейтраллю. Схема заміщення закінчується трансформатором, якщо його обмотка з'єднана за схемою $Y \circ / \Delta$, причому обмотка, з'єднана в зірку з заземленою нейтраллю звернена в сторону крапки КЗ.

Значення опорів деяких елементів, виражені через опір прямої послідовності наведені в табл. 4.2 [2].

Таблиця 4.1

Елементи схеми	Сопротивление x_0
<u>Лінія одноланцюгова:</u>	
без тросів	$3,5 x_1$
зі сталевими тросами	$3,0 x_1$
з добре провідними тросами	$2,0 x_1$
<u>Лінія дволанцюгова:</u>	
без тросів (зі сталевими тросами)	$5,5 x_1 (4,7 x_1)$
з добре провідними тросами	$3,0 x_1$
<u>Трижильні кабелі</u>	$(3,5 - 4,6) x_1$
<u>Реактори</u>	x_1
<u>Генератори</u>	$(0,15-0,6) x_d''$
<u>Трансформатори:</u>	
двообмотковий зі з'єднанням обмоток Y/Δ	x_1
тристрєжневий зі з'єднанням обмоток Y/Y	$0,5 x_1 + x_{\infty 0}$
тристрєжневий зі з'єднанням обмоток Y/Y_0	$0,25 x_1 + x_{\infty 0}$
чотири- або п'ятистрєжневий зі з'єднанням обмоток Y/Y_0	x_1

б) Визначити струм прямої послідовності особливої фази в кращі КЗ

$$I_{A1}^{(n)} = \frac{E_{\text{рез}}}{x_{1 \text{ рез}} + x_{\Delta}^{(n)}},$$

де $\Delta x^{(n)}$ – додатковий індуктивний опір. Вираз для обчислення $\Delta x^{(n)}$ для різних видів КЗ наведені в табл. 4.2 [6].

Таблиця 4.2

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

7) Знайти критичний опір і критичний струм кожного генератора для заданого моменту часу:

$$x_{\text{кр. } t} = x_{t*б} \frac{U_{\text{ном*б}}}{E_{t*б} - U_{\text{ном*б}}},$$

$$I_{\text{кр. } t} = \frac{U_{\text{ном}}}{x_{\text{кр. } t}}.$$

8) 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 $I_{A1} > I_{\text{кр. } t}$, в режимі нормальної напруги $I_{A1} \leq I_{\text{кр. } t}$. Якщо режим роботи хоча б одного генератора обраний неправильно, то необхідно перезадати режим його роботи і розрахунок повторити.

9) Визначити симетричні складові струмів і напруг усіх послідовностей особливої фази через струм прямої послідовності (табл 4.3).

Таблиця 4.3

Позначення розрахунко- вих величин	Вид короткого замикання		
	однофазне	двофазне на землю	Двофазное
\underline{I}_{A2}	\underline{I}_{A1}	$-j \frac{x_{2 \text{ рез}}}{x_{0 \text{ рез}} + x_{2 \text{ рез}}} \underline{I}_{A1}$	$-\underline{I}_{A1}$
\underline{I}_{A0}	\underline{I}_{A1}	$-j \frac{x_{2 \text{ рез}}}{x_{0 \text{ рез}} + x_{2 \text{ рез}}} \underline{I}_{A1}$	-
\underline{U}_{A1}	$j(x_{0 \text{ рез}} + x_{2 \text{ рез}}) \underline{I}_{A1}$	$j \frac{x_{0 \text{ рез}} x_{2 \text{ рез}}}{x_{0 \text{ рез}} + x_{2 \text{ рез}}} \underline{I}_{A1}$	$jx_{2 \text{ рез}} \underline{I}_{A1}$
\underline{U}_{A2}	$-jx_{2 \text{ рез}} \underline{I}_{A1}$	\underline{U}_{A1}	$jx_{2 \text{ рез}} \underline{I}_{A1}$
\underline{U}_{A0}	$-jx_{0 \text{ рез}} \underline{I}_{A1}$	\underline{U}_{A1}	-

10) Визначити фазні струми і напруги в кінці КЗ через симетричні складові

$$\begin{cases} \underline{I}_A = \underline{I}_{A1} + \underline{I}_{A2} + \underline{I}_{A0} \\ \underline{I}_B = a^2 \underline{I}_{A1} + a \underline{I}_{A2} + \underline{I}_{A0} \\ \underline{I}_C = a \underline{I}_{A1} + a^2 \underline{I}_{A2} + \underline{I}_{A0} \end{cases} \quad \begin{cases} \underline{U}_A = \underline{U}_{A1} + \underline{U}_{A2} + \underline{U}_{A0} \\ \underline{U}_B = a^2 \underline{U}_{A1} + a \underline{U}_{A2} + \underline{U}_{A0} \\ \underline{U}_C = a \underline{U}_{A1} + a^2 \underline{U}_{A2} + \underline{U}_{A0} \end{cases}$$

11) Визначити модуль струму пошкодженої фази

$$I_K^{(n)} = m^{(n)} \cdot I_{A1}^{(n)} \cdot I_6,$$

де I_6 – базисний струм на ступені КЗ, $I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_6}$, кА;

$m^{(n)}$ – коефіцієнт, що показує у скільки разів струм пошкодженої фази в місці КЗ більше струму прямої послідовності особливої фази. Зна-

чення коефіцієнтів $m^{(n)}$ для різних видів КЗ наведені в табл. 4.2.

4.2. Побудова векторних діаграм струмів і напруг в місці несиметричного КЗ для заданого моменту часу t_4 .

1) Побудова векторних діаграм струмів і напруг в місці несиметричних КЗ для заданого моменту часу необхідно вести в наступному порядку:

2) Задати масштаб за струмом і вибрати напрямок вектора струму прямої послідовності особливої фази за дійсною віссю.

3) Відкласти вектора симетричних складових струмів всіх фаз.

4) Визначити фазні струми геометричним підсумовуванням симетричних складових струмів всіх послідовностей кожної фази.

5) Поставити масштаб по напрузі, враховуючи індуктивний характер опорів.

6) Відкласти вектора симетричних складових напруг всіх фаз.

7) Визначити фазні напруги геометричним підсумовуванням симетричних складових напруг всіх послідовностей кожної фази.

8) Перевірити правильність побудови векторних діаграм струмів і напруг, порівнявши значення довжин векторів фазних напруг (струмів), а також їх кутів по відношенню до дійсної осі з відповідними модулями і аргументами комплексів фазних струмів і напруг, найдених в п. 4.1.

4.3. Розрахунок діючого значення періодичної складової струму в зазначеному перерізі F_n-F_n і напруги в зазначеній крапці M_n для моменту часу t_4

Розрахунок діючого значення періодичної складової струму в перерізі F_n-F_n і напруги в крапці M_n необхідно вести в наступному порядку:

1) Знайти симетричні складові струмів в перерізі F_n-F_n і симетричні складові напруг в крапці M_n , розгортаючи по черзі схеми прямої, зворотної та нульової послідовностей

При розгортанні схем заміщення необхідно враховувати схеми з'єднання обмоток трансформаторів. Якщо трансформатор, за яким розташоване перетин F_n-F_n (крапка M_n) від крапки КЗ, має схему з'єднання обмо-

ток $Y_0/\Delta - 11$, то вектори струму (напруги) прямої послідовності повинні бути повернені на 30^0 проти годинникової стрілки, а вектори струму (напруги) зворотної послідовності - на 30^0 по ходу годинникової стрілки. Струми (напруги) нульової послідовності за схему з'єднання обмотки трансформатора в трикутник не виходять.

2) Знайти фазні струми в перерізі F_n-F_n і фазні напруги в точці M_n, підсумувавши комплекси симетричних складових струмів і напруг.

4.4. Побудова векторних діаграм струмів і напруг у вказаному перетині F_n-F_n і в зазначеній крапці M_n для моменту часу t₄

Побудова векторних діаграм струмів і напруг в перерізі F_n-F_n і точці M_n необхідно вести в наступному порядку:

1) Задати масштаб за струмом і вибрати напрямок вектора струму прямої послідовності особливої фази, відкласти вектора симетричних складових струмів всіх фаз, визначити фазні струми геометричним підсумовуванням симетричних складових струмів однойменних послідовностей.

2) Задати масштаб по напрузі і вибрати напрямок вектора напруги прямої послідовності особливої фази.

3) Відкласти вектора симетричних складових напруг всіх фаз.

4) Визначити фазні напруги геометричним підсумовуванням симетричних складових напруг всіх послідовностей кожної фази.

5) Перевірити правильність побудови векторних діаграм струмів і напруг, порівнявши значення довжин векторів фазних напруг (струмів), а також їх кутів по відношенню до дійсної осі з відповідними модулями і аргументами комплексів фазних струмів і напруг, знайдених в п. 4.3.

4.5. Визначення струму, що протікає в нейтралі заданого трансформатора

Для визначення струму, що протікає в нейтралі заданого трансформатора необхідно розгорнути схему заміщення нульової послідовності і знайти струм, що протікає через трансформатор. Так як в нейтралі протікають струми всіх трьох фаз, знайдений струм необхідно помножити

на три.

Висновки

Зробити висновки про характер зміни симетричних складових струмів і напруг в міру віддалення від крапки КЗ.

Контрольні питання

1. Назвіть основні види несиметричних КЗ.
2. Сформулюйте метод симетричних складових.
3. Сформулюйте правило еквівалентності прямої послідовності.
4. Назвіть особливості схеми заміщення зворотної послідовності.
5. Назвіть особливості схеми заміщення нульової послідовності.
6. Що показує коефіцієнт $m^{(n)}$?
7. Які методи використовують при розрахунку діючого значення періодичної складової струму несиметричного КЗ в довільний момент часу?
8. Як впливають схеми з'єднання обмоток трансформатора при знаходженні розподілу струмів і напруг в схемі заміщення прямої, зворотної та нульової послідовності?

Додаток 1

Таблиця П1 – Параметри генераторів

Тип генератора	$S_{н}$, МВА	$U_{н}$, кВ	X_d , о.е.	X'_d , о.е.	I_{f0}/I_{fnp} о.е./о.е.	$\cos\phi_{н}$
Т-20-2У3	25	6,3	2,07	0,131	2,4/4,8	0,8
ТВС-32У3	40	10,5	2,64	0,153	2,5/5	0,8
ТВС-32У3	40	6,3	2,458	0,143	2,5/5	0,8
ТВФ-63-2У3	78,75	6,3	1,199	0,153	2,7/5,4	0,8
ТВФ-63-2ЕУ3	78,75	10,5	1,5131	0,166	2,3/4,6	0,8
ТВФ-100-2У3	125	10,5	1,907	0,192	2,7/5,4	0,8
ТВФ-110-2ЕУ3	137,5	10,5	2,04	0,189	2,8/5,6	0,8
ТВВ-160-2ЕУ3	188	18	1,713	0,213	2,5/5	0,85
ТГВ-200-2У3	235,3	15,75	1,84	0,19	2,6/5,2	0,85
ТГВ-200-2МУ3	247	15,75	2	0,225	2,7/5,4	0,85
ТВВ-220-2ЕУ3	258,3	15,75	1,88	0,1906	2,6/5,2	0,85
ТГВ-300-2У3	353	20	2,195	0,195	2,9/5,8	0,85
ТВВ-320-2ЕУ3	375	20	1,698	0,173	2,4/4,8	0,85
ТГВ-500-2У3	588	20	2,413	0,243	3,2/6,4	0,85

Таблиця П2 – Параметри трансформаторів

Тип трансформатора	$S_{н}$, МВА	$U_{нн}$, кВ	$U_{нв}$, кВ	U_k , %
ТД-40000/110	40	6,3; 10,5	121	11
ТДЦ-80000/110	80	6,3; 10,5	121	11
ТДЦ-125000/110	125	10,5	121	10,5
ТДЦ-125000/330	125	10,5;13,8	347	11
ТДЦ-200000/220	200	13,8;15,75,18	242	11
ТДЦ-250000/220	250	13,8;15,75	242	11
ТДЦ-250000/330	250	13,8;15,75	347	11
ТДЦ-400000/220	400	13,8; 15,75; 20	242	10,5
ТЦ-400000/330	400	15,75; 20	347	11
ТНЦ-630000/330	630	15,75;20; 24	347	11

Таблиця П3 – Параметри автотрансформаторів

Тип автотрансформатора	$S_{н}$, МВА	$U_{нс}$, кВ	$U_{нв}$, кВ	$U_{нн}$, кВ	U_k ,%		
					$U_{вс}$	$U_{вн}$	$U_{сн}$
АТДЦТН-63000/220/110	63	121	230	10,5	11	35	22
АТДЦТН-125000/330/110	125	115	330	10,5	10	35	24
АТДЦТН-125000/220/110	125	121	230	10,5	11	35	22
АОДЦТН-133000/330/220	133	$\frac{230}{\sqrt{3}}$	$\frac{330}{\sqrt{3}}$	10,5	9	60	48
АОДЦТН-167000/500/330	167	$\frac{330}{\sqrt{3}}$	$\frac{500}{\sqrt{3}}$	10,5	9,5	67	61
АТДЦТН-200000/330/110	200	115	330	10,5	10,5	38	25
АОДЦТН-417000/750/330	417	$\frac{330}{\sqrt{3}}$	$\frac{750}{\sqrt{3}}$	10,5	10	28	17