

Лабораторная работа № 2

Исследование влияния нагрузки в начальный момент трехфазного замыкания

1. Цель работы: исследовать влияние двигательной нагрузки, ее мощности и удаленности на начальный сверхпереходный и ударный токи при трехфазном коротком замыкании.

2. Общие положения и расчетные выражения

Теоретический материал изложен в [1, § 6.5-6.6; 2, § 8.1-8.2]

При расчете режимов короткого замыкания (КЗ) в электрических сетях под нагрузкой понимают: синхронные двигатели и компенсаторы, асинхронные двигатели и обобщенную нагрузку. Все указанные виды нагрузки оказывают влияние на ток КЗ, особенно в начальный момент нарушения режима. При этом влияние каждого вида нагрузки индивидуально и зависит от ряда факторов, из которых основными являются: мощность нагрузки, ее режим до КЗ, электрическая удаленность до точки КЗ.

Как известно [1,2], любая из перечисленных нагрузок в переходном режиме характеризуется своими сверхпереходными (переходными) параметрами: E'' – сверхпереходная ЭДС, x'' – сверхпереходное сопротивление. Поскольку в большинстве практических расчетов пренебрегают сдвигом фаз ЭДС источников, то в конечном итоге влияние любой нагрузки (равно как и генератора) на ток КЗ определяется соотношением сверхпереходной ЭДС и остаточным напряжением на ее выводах в переходном режиме.

При $E''_{(0)} > U_{(0)}$ (где индекс (0) указывает на режим КЗ при $t=0$) нагрузка является дополнительным источником, посылая реактивный ток во внешнюю сеть, при $E''_{(0)} < U_{(0)}$ – нагрузка потребляет реактивный ток из сети.

Исследование режимов в настоящей работе ведется на основе простейшей схемы (рис.1), в которой генератор и нагрузка через общую реактивность x_K связаны с местом КЗ.

Начальное значение сверхпереходной ЭДС любой двигательной нагрузки (или генератора) определяется из режима, предшествующего КЗ [1,2]:

$$E''_{(0)} = E''_0 = \sqrt{(U_0 \cos \varphi_0)^2 + (U_0 \sin \varphi_0 \pm I_0 x'')^2}, \quad (1)$$

где U_0 , I_0 , φ_0 – напряжение, ток и угол сдвига между ними в режиме, предшествующем КЗ.

Знак плюс перед падением напряжения в x'' соответствует синхронному генератору, синхронному двигателю или компенсатору в режиме перевозбуждения, знак минус – этим же элементам в режиме недовозбуждения и асинхронному двигателю.

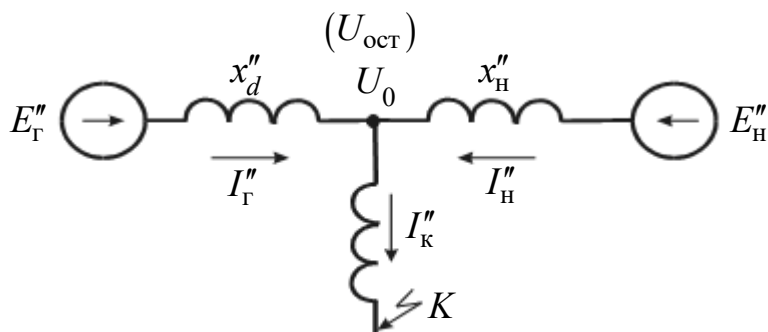


Рис. 1. Принципиальная схема

Для обобщенной нагрузки принимают $E'' = 0,85$, $x'' = 0,35$ в относительных единицах, приведенные к ее рабочей мощности (МВА) и номинальному напряжению (кВ) узла присоединения.

При расчете ударного тока КЗ (i_y) в схемах с нагрузкой есть особенность, обусловленная затуханием тока нагрузки. У синхронных двигателей (компенсаторов) величина ударного коэффициента примерно та же, что и у синхронных генераторов равновеликой мощности. У асинхронных двигателей затухание периодической и аperiodической слагающих происходит примерно с одинаковыми постоянными времени. Поэтому в ударном коэффициенте учитывается затухание обеих слагающих тока. В расчетах можно ориентироваться на следующую связь ударного коэффициента от мощности асинхронного двигателя

K_y	1,6	1,64	1,66	1,7	1,73	1,76	1,78	1,8
P , МВт	0,2	0,3	0,4	0,6	1,0	2,0	3,0	5,0

Для мелких двигателей и обобщенной нагрузки $K_y \approx 1$.

Таким образом, при персональном учете двигательной нагрузки ударный ток в месте КЗ составит

$$i_y = \sqrt{2} \cdot (I''_{\Gamma} \cdot K_{\text{уг}} + I''_{\text{наг.}} \cdot K_{\text{унаг.}}), \quad (2)$$

где I''_{Γ} , $I''_{\text{наг.}}$ – действующие значения начального сверхпереходного тока генератора и нагрузки;

$K_{\text{уг}}$, $K_{\text{унаг.}}$ – значения ударных коэффициентов для генератора и нагрузки.

Наряду с ударным током КЗ важной характеристикой тока КЗ является наибольшее действующее значение (I_y). Наибольшее действующее значение тока КЗ имеет место за первый период переходного процесса и рассчитывается для времени $t = 0,01$ с., т.е. момента возникновения ударного тока и в общем случае для I_y справедливо выражение

$$I_y = \sqrt{I_{\text{пт}}''^2 + I_{\text{ат}}^2}, \quad (3)$$

где $I_{\text{пт}}''$ – действующее значение периодической слагающей тока КЗ при $t = 0,01$ с и в практических расчетах принимается равной для $t=0$;

$I_{\text{ат}}$ – значение апериодической слагаемой тока КЗ при $t = 0,01$ с.

При отсутствии данных о постоянной времени (T_a) затухания апериодической слагаемой тока КЗ ($I_{\text{ат}}$) он может быть косвенно учтен посредством ударного коэффициента, что позволяет выражение (3) представить так:

$$I_y = I_{\text{пт}(0)} \sqrt{1 + 2(K_y - 1)^2}. \quad (4)$$

Применительно к нашим условиям, когда имеются два источника питания, характеризующиеся разными значениями K_y величину I_y , можно рассчитать по выражению:

$$I_y = \sqrt{(I''_{\Gamma} + I''_{\text{наг.}})^2 + 2[I''_{\Gamma}(K_y - 1) + I''_{\text{наг.}}(K_{\text{унаг.}} - 1)]^2}. \quad (5)$$

3. Ввод исходных данных

В табл.1 представлены варианты исходных данных

Таблица 1

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7
$S_{Г} / \cos \varphi$	37,5/	50/	66/	77/	85/	90/	100/
МВА/о.е.	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
$x_{Г}''$, о.е.	0,15	0,145	0,14	0,135	0,13	0,125	0,12
$S_{СК} / \cos \varphi$	37,5/	50/	66/	77/	85/	90/	100/
МВА/о.е.	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
$x_{СК}''$, о.е.	0,22	0,2	0,22	0,23	0,25	0,2	0,2
$U_{Н}$, кВ	6,3	6,3	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
$S_{СК} / S_{Г}$	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,2	0,3
№ вар.	8	9	10	11	12	13	14
$S_{Г} / \cos \varphi$	45/	55/	60/	70/	80/	95/	110/
МВА/о.е.	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
$x_{Г}''$, о.е.	0,13	0,135	0,14	0,16	0,17	0,17	0,15
$S_{СК} / \cos \varphi$	45/	55/	60/	70/	80/	95/	110/
МВА/о.е.	0,85	0,85	0,8	0,8	0,85	0,8	0,8
$x_{СК}''$, о.е.	0,23	0,25	0,27	0,3	0,28	0,29	0,3
$U_{Н}$, кВ	6,0	6,0	6,0	6,3	10,0	10,0	10,0
$S_{СК} / S_{Г}$	0,35	0,45	0,5	0,6	0,2	0,3	0,4

После запуска программы на экране появляется табл.1. В соответствии с принятым вариантом по запросу необходимо последовательно ввести численные значения параметров схемы.

4. Расчет режимов трехфазного короткого замыкания

В соответствии с принятой схемой (рис.1) рассчитываются четыре режима трехфазных замыканий. Результаты расчета представляются в относительных единицах, в качестве базисных условий приняты номинальные параметры генератора. Мощность генератора во всех опытах неизменна, а его режим – перевозбуждение.

В экспериментах осуществляется расчет начального сверхпереходного тока трехфазного КЗ в функции удаленности точки КЗ (x_K) при следующих условиях:

1. в качестве нагрузки принята обобщенная нагрузка, равная мощности генератора;
2. в качестве нагрузки принят синхронный компенсатор (двигатель) в режиме перевозбуждения равный мощности генератора;
3. то же, что и в п.2; двигатель в режиме недовозбуждения;
4. синхронный двигатель (компенсатор) в режиме недовозбуждения при $S_{ск} / S_{Г} = K$.

5. Результаты расчета

На печать выводятся исходные данные по принятому варианту в соответствии со списком:

- $S_{Г}$ – номинальная мощность генератора; МВА
- $\cos \varphi$ – $\cos \varphi$ генератора; о.е.
- $x_{Г}''$ – сверхпереходное сопротивление генератора; о.е.
- $S_{ск}$ – номинальная мощность с.к.; МВА
- $\cos \varphi$ – $\cos \varphi$ синхронного компенсатора; о.е.
- $x_{ск}''$ – сверхпереходное сопротивление с.к.; о.е.
- $U_{н}$ – номинальное напряжение генератора; кВ
- K – отношение $S_{ск} / S_{Г} = K$; о.е.

По первому эксперименту рассчитываются $I_{Г}''$, $I_{наг.}''$ и остаточное напряжение на их шинах ($U_{ост.}$) в функции удаленности точки КЗ (табл.2).

Таблица 2

Источники: генератор – обобщенная нагрузка $S_{Г} = S_{об.н.}$

x_k , о.е.	$I_{Г}''$, о.е.	$I_{наг.}''$, о.е.	$U_{ост.}$, о.е.
0,0			
0,1			
...			
1,8			

По второму и третьему экспериментам рассчитываются результирующий ток в месте КЗ и его составляющая, обусловленная двигательной нагрузкой (табл.3).

Таблица 3

Источники: генератор – синхронный компенсатор $S_{\Gamma} = S_{\text{СК}}$

x_K , о.е.	Режим с.к. - перевозбуждение		Режим с.к. - недовозбуждение	
	I''_K ; о.е.	$I''_{\text{СК}}$; о.е.	I''_K ; о.е.	$I''_{\text{СК}}$; о.е.
0,0				
0,1				
...				
1,8				

В четвертом эксперименте источниками являются генератор и синхронный компенсатор, работающий в режиме недовозбуждения при $S_{\text{СК}}/S_{\Gamma} = K$ (где $K < 1$). Результаты выводятся в табл.4.

Таблица 4

x_K , о.е.	Источники: генератор – синхр. компенсатор в режиме недовозбуждения при $S_{\text{СК}}/S_{\Gamma} = K$	
	I''_K ; о.е.	$I''_{\text{СК}}$; о.е.
0,0		
0,1		
...		
1,8		

6. Задание по обработке экспериментов и оформлению отчета

К отчету приложить распечатку результатов экспериментов, нарисовать на рис.1 принципиальную схему, принятую для исследования.

1. По данным эксперимента 1 (табл.2):

На рис. 2 представить зависимости I''_{Γ} , $I''_{\text{наг.}}$, I''_K в функции x_K .

На рис.3 отразить зависимость $(I''_{\text{наг.}}/I''_K) \cdot 100\% = f(x_K)$.

Определить диапазон x_K , при котором обобщенная нагрузка является дополнительным источником подпитки места КЗ.

Рассчитать по выражению (2) ударный ток КЗ и по (5) наибольшее действующее значение тока КЗ при $x_K = 0,2$.

2. По данным эксперимента 2 (первая часть табл.3):

2.1. На рис. 4 представить зависимости $I''_{\Gamma}, I''_{\text{К}}, I''_{\text{СК}}$ в функции $x_{\text{К}}$.

На рис. 5 отразить зависимость $(I''_{\text{СК}} / I''_{\text{К}}) \cdot 100\% = f(x_{\text{К}})$.

Рассчитать по выражению (2) ударный ток КЗ и по (5) наибольшее действующее значение тока КЗ при $x_{\text{К}}=0,2$.

Объяснить разницу в значениях i_y и характере поведения зависимостей $(I''_{\text{наг.}} / I''_{\text{К}}) = f(x_{\text{К}})$ по экспериментам 1 и 2.

3. По данным эксперимента 3 (вторая часть табл.3):

3.1. На рис.6 построить зависимости $I''_{\Gamma}, I''_{\text{СК}}, I''_{\text{К}}$ в функции $x_{\text{К}}$.

3.2. На рис.7 построить зависимость $U_{\text{ост.}} = f(x_{\text{К}})$ и определить графически $E''_{\text{СК}}$ в о.е. и пересчитать в именованные единицы; объяснить подоплеку в нахождении $E''_{\text{СК}}$.

3.3. Не прибегая к расчету зависимости $(I''_{\text{СК}} / I''_{\text{К}}) = f(x_{\text{К}})$, указать, какой из ранее построенных зависимостей она будет аналогична; объяснить почему?

4. По данным эксперимента 4 (табл. 4) для $x_{\text{К}}=0,3$ найти отношение $K_1 = I''_{\text{СК(экспер.4)}} / I''_{\text{СК(экспер.3)}}$ и объяснить тенденцию изменения K_1 от $S_{\text{СК}} / S_{\Gamma} = K$.

5. Ответить письменно на вопросы

5.1. Построить единую векторную диаграмму U, I, E'' для синхронного компенсатора в режиме перевозбуждения и недовозбуждения для $t=0$ до КЗ. Построение осуществить в масштабе, используя относительные или именованные величины.

5.2. Как изменяются U_{Γ} и E'' в момент КЗ?

5.3. Можно ли утверждать, что результаты эксперимента 3 соответствуют схеме генератор – асинхронный двигатель? Ответ обоснуйте.

5.4. Пользуясь результатами экспериментов, обосновать условия неучета нагрузки при расчете токов КЗ.

Литература

1. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. – М.: Энергия, 1964. – 518 с., 1970. – 518 с.
2. Борисов Р.И., Готман В.И. Основы переходных процессов в электрических системах. – Томск: Изд. ТПИ, 1969. – 388 с.
3. Готман В. И. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах: учеб. пособие – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 240 с.