

УДК 621.311

РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ

Бухтик Е.П.

Научный руководитель – м.т.н., старший преподаватель Волков А.А.

Расчет динамической устойчивости электроэнергетической системы выполним с помощью программы Mustang. В общем случае схема замещения системы при любом виде короткого замыкания (КЗ) при расчете динамической устойчивости отличается от схемы нормального режима работы системы лишь тем, что в месте КЗ включается поперечное сопротивление, так называемый аварийный шунт $X_{ш}$. Его значение зависит от вида короткого замыкания [1]:

при однофазных КЗ $X_{ш} = X_2 + X_0$;

при двухфазных КЗ $X_{ш} = X_2$;

при двухфазных КЗ на землю $X_{ш} = X_2 \cdot X_0 / (X_2 + X_0)$;

при трехфазных КЗ $X_{ш} = 0$.

Одним из недостатков программы Mustang является то, что она не позволяет найти значение сопротивления аварийного шунта при несимметричных КЗ. Для определения этих значений воспользуемся программой RastrKZ. Исходные данные для нее представляют собой параметры схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательности по узлам (рисунок 1), ветвям (рисунок 2) и генераторам (рисунок 3).

№	С	s0	Тип	Номер	Название	U_ном	G_ш	B_ш	g0	b0
1			зак	1	бал	110				
2			у	2		330				
3			у	3		330				
4			у	4		11				
5			у	5		330				
6			у	6		16				
7			у	7		330				
8			у	8		20				
9			у	9	ген	24				
10			у	10		17				
11			у	11		330				

Рисунок 1 – Параметры узлов

Узел 1 – балансирующий. Тип узла обозначает, закорочен ли узел на землю в нулевой последовательности (зак – представляет собой землю в нулевой последовательности, у – представляет собой узел в нулевой последовательности). Для сравнения определим значения аварийных шунтов в узле 2 и на линии Л4 вблизи узла 2. Для этого в программе RastrKZ зададим новый узел 11, который и будет моделировать точку вблизи узла 2.

В ветвях активные и реактивные сопротивления линий и трансформаторов переносятся из программы Mustang без изменений. Но следует учесть, что коэффициенты трансформации должны быть меньше единицы (в отличие от Mustang). Для этого коэффициент трансформации может быть найден как:

$$k_T = \frac{U_{ли}}{U_{ви}}$$

Так как мы задаем вспомогательный узел 11, то необходимо задать и новые ветви 2-11 и 11-5. Активные и реактивные сопротивления в ветви 2-11 принимаем равные 0,0001, а в ветви 11-5 они остаются такими же, как и в программе Mustang для ветви 2-5. Активные сопротивления трансформаторов в расчетах не учитываются.

№	S	Тип	s0	tip0	N_нач	N_кон	N_г	Название	R	X	G	B	Кт/л	Кт/г	r0	x0	g0	b0	№мс гр	№мс
1		ЛЭП		ЛЭП5	3		-		7.2	49.2					0.048	0.328				
2		ЛЭП		ЛЭП7	5		-		3.04	25.84					0.038	0.323				
3		ЛЭП		ЛЭП7	3		-		3.75	40					0.03	0.32				
4		ЛЭП		ЛЭП2	11		-		0	0					0	0				
5		ЛЭП		ЛЭП11	5		-		4.8	26.48					0.06	0.331				
6		ЛЭП		ЛЭП3	2		-		4.75	40.38					0.038	0.323				
7		Тр-р		Тр-р5	6		-			16.56				0.048		16.56				
8		Тр-р		Тр-р2	1		-бал			7.01				0.333		7.01				
9		Тр-р		Тр-р3	4		-			63.38				0.033		63.38				
10		Тр-р		Тр-р7	8		-			33.11				0.061		33.11				
11		ЛЭП		Вык.6	10		-			0.14										
12		ЛЭП		Вык.8	9		-ген			0.34										

Рисунок 2 – Параметры ветвей

При задании сопротивления нулевой последовательности генераторов можно воспользоваться формулой:

$$X_0 = (0,15 - 0,6) X_2,$$

$$X_0 = 0,5 \cdot 0,27 = 0,14 \text{ Ом.}$$

S	s0	N гр	Название	N узла	r	x	r2	X2	r0	X0	E	Угол	I1	dI1	I2	dI2	I0	dI0	Ia	dIa	Ib	dIb	Ic	dIc
1		1	ген	9		0.34		0.27	0.14	24			-43.928	68.087	-16.393	-0	-1.497	0.031	-53.258	49.928	-28.832	-44.969	54.169	22.096
2	x	2	эс	1		0.387				110			-164.10	89.965					-164.10	89.965	-164.10	-30.035	164.10	29.965

Рисунок 3 – Параметры генераторов

После того как мы задали все параметры по узлам, ветвям и генераторам, задаем состав несимметрии и запускаем расчет, как показано на рисунках ниже. Для задания несимметрии необходимо в графе «Тип» указать необходимый для нас расчет. Мы выбираем «Шунт» и «1φ».

S	№	№ сост	Тип	П 1	П 2	П 3	I 1	dI 1	r1	x1	I 2	dI 2	r2	x2	I 0	dI 0	r0	x0
1	1	1	Шунт	2					4.1949	247.563			4.1949	228.751			0.0003	6.3697

Рисунок 4– Расчет шунта относительно узла 2

S	№	№ сост	Тип	П 1	П 2	П 3	I 1	dI 1	r1	x1	I 2	dI 2	r2	x2	I 0	dI 0	r0	x0
1	1	1	Шунт	11					4.1949	247.563			4.1949	228.751			0.0004	6.3698

Рисунок 5– Расчет шунта относительно узла 11

S	№	№ сост	Тип	П 1	П 2	П 3	l 1	d l 1	r 1	x 1	l 2	d l 2	r 2	x 2	l 0	d l 0	r 0	x 0
1	1	1	1ф	2			0.4705	-89			0.4705	-89			0.4705	-89		

Рисунок 6– Расчет однофазного КЗ в узле 2

S	№	№ сост	Тип	П 1	П 2	П 3	l 1	d l 1	r 1	x 1	l 2	d l 2	r 2	x 2	l 0	d l 0	r 0	x 0
1	1	1	1ф	11			0.4705	-89			0.4705	-89			0.4705	-89		

Рисунок 7– Расчет однофазного КЗ в узле 11

Таким образом, при КЗ на линии электропередачи вблизи начала или конца данной линии нет необходимости в задании вспомогательного узла – значения аварийного шунта и тока при однофазном КЗ в узле 2 и 11 получились одинаковыми.

Заносим данные по автоматике в программу Mustang с сопротивлением шунта $4,1949 + j 247,56$, рассчитанным в RastrKZ. Значение активного сопротивления шунта заносится в графу «Парам2», а реактивного – в графу «Парам3» (рисунок 8).

Пояснение	N	Логика	Фактор	Ni	Nj	Nn	Уставка	T1	Кв	Zk1	Zk2
			Действие	Ni	Nj	Nn	Парам1	Парам2	Парам3		
			Время								
			Шунт	2				4,149	247,560		
			Отключить связь	2	5						
			Шунт	2				-4,149	-247,56		

Рисунок 8 – Данные по автоматике

Выполняем расчет динамической устойчивости. На рисунке 9 представлены зависимости относительных углов генераторов в рассматриваемой системе. Так как колебания носят затухающий характер, то можно сделать заключение о том, что при однофазном коротком замыкании на линии 2-5 вблизи узла 2 динамическая устойчивость сохраняется если время отключения поврежденной линии составляет 0,43 с.

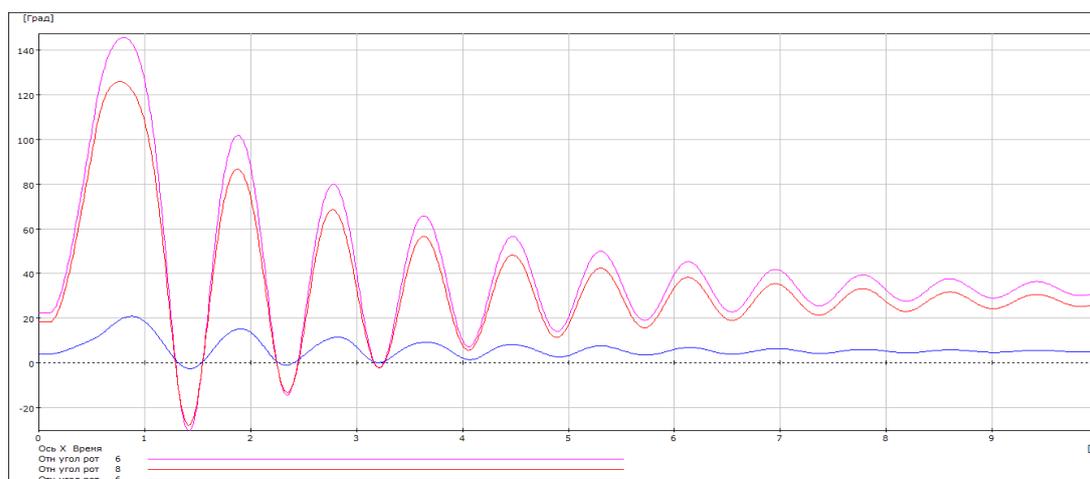


Рисунок 9 – Относительные углы генераторов

Литература

1. Калентионюк Е.В. Устойчивость электроэнергетических систем: учебное пособие / Е.В. Калентионюк. - Минск: Техноперспектива, 2008. – 375 с.