

УДК 621.3.072.9

## РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ КЗ В СЕТИ 330 КВ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ RUSTAB

Мензелейев А.С.

Научный руководитель – м.т.н., ст. преп. Волков А.А.

Способность сохранять статическую устойчивость в установившемся режиме вовсе не означает, что система будет продолжать устойчиво работать и при больших возмущениях режима. Появление больших возмущений связано чаще всего с короткими замыканиями, отключением и включением мощных генераторов, трансформаторов и линий электропередач. Для больших возмущений характерно резкое уменьшение режима, приводящее к значительным отклонениям его параметров от исходного состояния. Поэтому для оценки поведения системы введено понятие динамической устойчивости.

При расчетах динамической устойчивости при КЗ учитывают влияние прямой, обратной и нулевой последовательностей. Но значения токов, протекающих в отдельных элементах схем обратной и нулевой последовательности, при решении задачи динамической устойчивости несут существенны, то схемы обратной и нулевой последовательностей могут быть преобразованы в виде эквивалентных сопротивлений схем обратной и нулевой последовательностей  $X_2$  и  $X_0$  относительно места КЗ. Таким образом, схемы при КЗ и нормального режима отличаются только аварийным шунтом  $X_{ш}$ . Его значение зависит от вида КЗ:

- при однофазных КЗ -  $X_{ш} = X_2 + X_0$ ;
- при двухфазных КЗ -  $X_{ш} = X_2$ ;
- при двухфазных КЗ на землю -  $X_{ш} = X_2 \cdot X_0 / (X_0 + X_2)$ ;
- при трехфазных КЗ -  $X_{ш} = 0$ .

С учетом  $X_{ш}$  суммарное сопротивление схемы будет различным по величине, что приводит к вариации характеристик мощности системы:

$$P_{ав} = \frac{E'U}{X_{d\Sigma}^{ав}} \sin \delta, \quad (1)$$

где  $X_{d\Sigma}^{ав}$  - взаимное сопротивление схемы в аварийном режиме;  $E'$  - переходная ЭДС;  $U$  – напряжение на шинах системы;  $\delta$  - относительный угол сдвига ЭДС  $E$  относительно напряжения на шинах системы.

Из формулы (1) следует, что чем больше  $X_{d\Sigma}^{ав}$ , тем меньше  $P_{ав}$ , и следовательно тем хуже будет динамическая устойчивость. Если расписать  $X_{d\Sigma}^{ав}$  [1, с. 126], то можно будет сделать вывод, что большое сопротивление  $X_{ш}$  будет оказывать положительное влияние на устойчивость.

Рассмотрим влияние различных КЗ на динамическую устойчивость схемы. Расчетную схему возьмем из курсовой работы по дисциплине «Устойчивость электроэнергетических систем» варианта №23 а. С помощью программы RUSTAB будем производить расчет динамической устойчивости. Для этого в вкладку «Узлы», «Ветви» зададим параметры схемы и выполним расчет установившегося режима (Рисунок 1, Рисунок 2).

Тип	Номер	Название	U_нон	N...	Район	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_эд	Q_min	Q_max	B_ш	V	Delta
База	1	Система	110								307,2	307,2		121,00	
Нагр	2		330			95,0	75,0							356,26	1,96
Нагр	3		330											348,98	3,60
Нагр	4		11			105,0	85,0							10,43	-0,22
Нагр	5		330											349,30	5,85
Ген	6	Станция	16			90,0	70,0	400,0	-3,4	15,8	-2 000,0	2 000,0		15,75	7,48
Нагр	7		330											346,12	6,65
Ген	8	Генератор	20					300,0	-162,7	20,0	-1 000,0	1 000,0		20,00	11,70

Рисунок 1. Вкладка «Узлы».

Тип	N_нач	N_кон	Название	R	X	B	Кт/г	P_нач	Q_нач	I max
ЛЭП	5	2	-	5,32	45,78	-490,0		-177	97	333
ЛЭП	5	3	-	2,40	25,60	-280,0		-186	26	310
ЛЭП	2	3	-	6,00	39,60	-409,2		78	-53	211
ЛЭП	5	7	-	4,80	26,40	-270,4		54	-36	145
ЛЭП	2	7	-	4,56	39,24	-420,0		241	-104	464
Тр-р	5	6	- Станция	0,60	33,12	13,3	0,045	103	-29	177
Тр-р	5	6	- Станция	0,60	33,12	13,3	0,045	103	-29	177
Тр-р	5	6	- Станция	0,60	33,12	13,3	0,045	103	-29	177
Тр-р	2	1	- Система	0,60	33,12	13,3	0,331	-133	94	264
Тр-р	2	1	- Система	0,60	33,12	13,3	0,331	-133	94	264
Тр-р	2	1	- Система	0,60	33,12	13,3	0,331	-133	94	264
Тр-р	3	4	-	11,09	299,48	5,1	0,032	-26	-25	60
Тр-р	3	4	-	11,09	299,48	5,1	0,032	-26	-25	60
Тр-р	3	4	-	11,09	299,48	5,1	0,032	-26	-25	60
Тр-р	3	4	-	11,09	299,48	5,1	0,032	-26	-25	60
Тр-р	7	8	- Генератор	0,61	33,11	13,3	0,061	299	-200	600

Рисунок 2. Вкладка «Ветви».

После данная информация о ветвях и узлах будет учтена при расчете КЗ в вкладках «Узлы/Несим/ИД», «Ветви/Несим/ИД». Сопротивления нулевой последовательностей рассчитываются с помощью макроса «MakeNonSymm». После этого мы можем рассчитать сопротивления шунтов КЗ. Рассчитанные сопротивления шунтов вводим в вкладку «Действия (t)». В качестве контролируемого параметра возьмем относительный угол  $\delta$ .

Сопротивление трехфазного КЗ  $Z=0+j0$  Ом. Изменение относительного угла  $\delta$  показан на рисунок, при времени отключения поврежденной линии 2-7  $t_{откл}=0,255$ . При большем времени отключения Результат расчета характеристики показан на Рисунок 3.

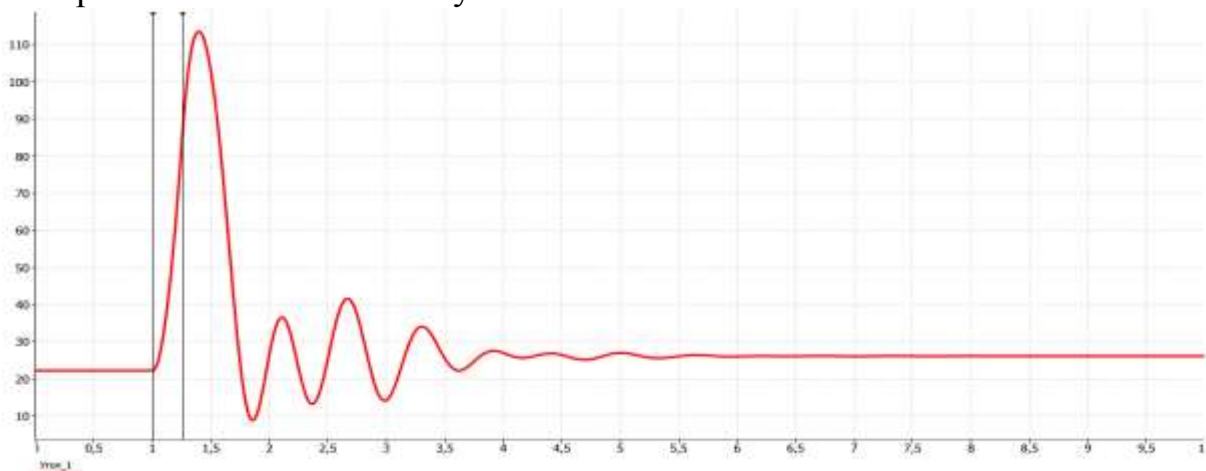


Рисунок 3. Значение относительного угла при 3-х фазном КЗ.

Сопротивление однофазного КЗ  $Z = 0,532 + j21,186$  Ом. Изменение относительного угла  $\delta$  показано на рисунке, при времени отключения поврежденной линии 2-7  $t_{откл} = 0,255$  с. Независимо от времени отключения линии, динамическая устойчивость сохраняется. Результат расчета характеристики показан на Рисунок 4

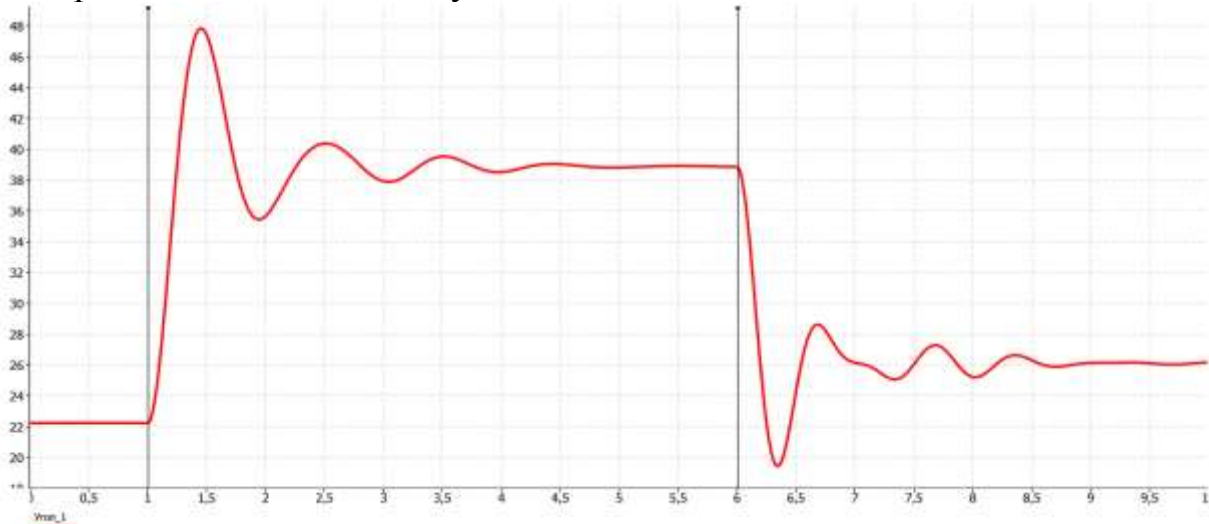


Рисунок 4. Значение относительного угла при однофазном КЗ.

Сопротивление двухфазного КЗ  $Z = 0,216 + j11,982$  Ом. Изменение относительного угла  $\delta$  показано на рисунке, при времени отключения поврежденной линии 2-7  $t_{откл} = 5$  с. Независимо от времени отключения линии, динамическая устойчивость сохраняется. Результат расчета характеристики показан на Рисунок 5.

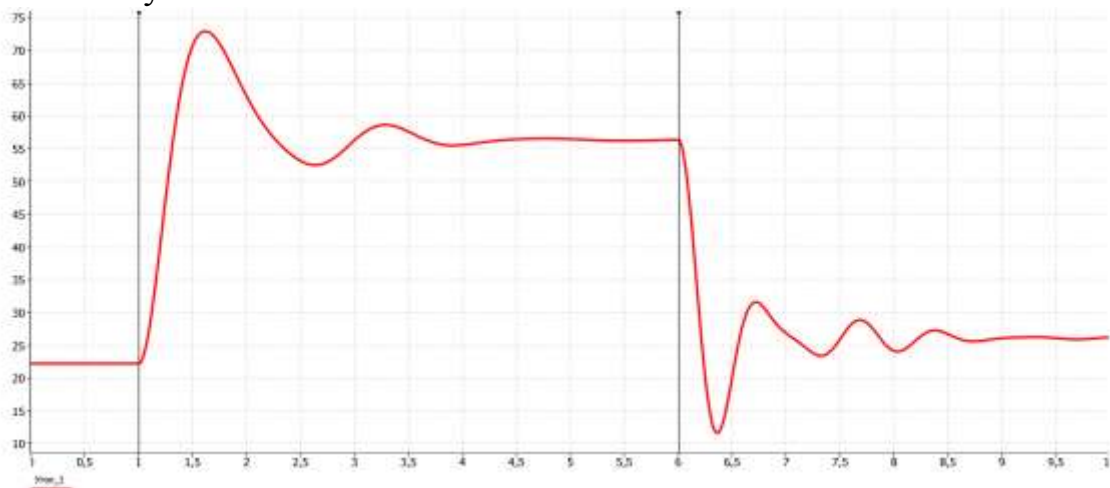


Рисунок 5. Значение относительного угла при двухфазном КЗ.

Сопротивление двухфазного КЗ на землю  $Z = 0,142 + j5,206$  Ом. Изменение относительного угла  $\delta$  показано на рисунке, при времени отключения поврежденной линии 2-7  $t_{откл} = 0,445$  с. При большем времени отключения, динамическая устойчивость нарушается. Результат расчета характеристики показан на Рисунок 6.

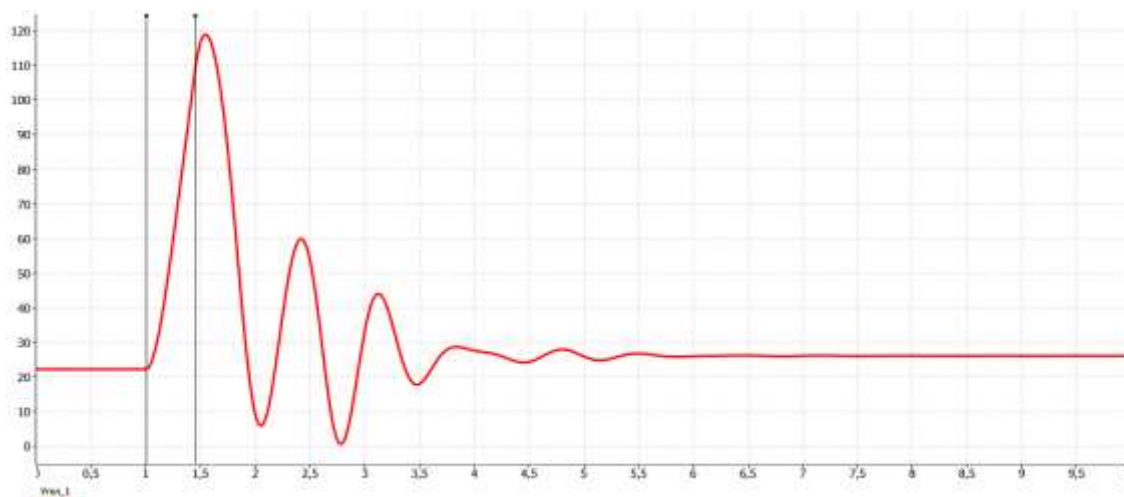


Рисунок 6. Значение относительного угла при двухфазном КЗ на землю.

Как видно по результатам расчетов, динамическая устойчивость сохраняется при однофазном и двухфазном КЗ с включенной поврежденной линией 2-7. При двухфазном КЗ на землю предельное время отключения линии составляет  $t_{откл} = 0,445$  с. При трехфазном -  $t_{откл} = 0,225$  с. Такая зависимость объясняется величиной сопротивления шунта. При трехфазном замыкании  $Z = 0 + j0$  Ом., двухфазном КЗ на землю  $Z = 0,142 0 + j5,206$  Ом. Сопротивления шунтов при одно- и двухфазных КЗ имеют большое значение, что положительно сказывается на сохранение динамической устойчивости.

#### Литература

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