

Сынчиков Дмитрий Сергеевич,
студент Высшей школы энергетики нефти и газа,
ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) Федеральный университет
имени Ломоносова»

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СХЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Аннотация: В данной статье пойдет речь о расчете параметров схем замещения для расчета токов короткого замыкания в местах установки защит в максимальном и минимальном режимах работы электрической системы при повреждениях в расчетных точках.

Актуальность рассматриваемой темы крайне высока, так как при коротком замыкании резко и многократно возрастает сила тока, протекающего в цепи, что приводит к значительному тепловыделению, и, как следствие, возможно расплавление электрических проводов с последующим возникновением возгорания и распространением пожара.

Ключевые слова: схема замещения, параметры энергосистемы, кабельные линии, сопротивление линии, сопротивление короткого замыкания.

Эквивалентная электрическая схема (схема замещения) – это электрическая схема, в которой все влияющие на расчёт элементы (факторы влияния) заменены на их идеальные эквиваленты, а все не влияющие элементы и факторы исключены. Таким образом, схема замещения упрощает процесс расчетов различных электрических параметров.

Схема замещения, соответствующая конфигурации рассматриваемой электрической сети, показана на рисунке 1.

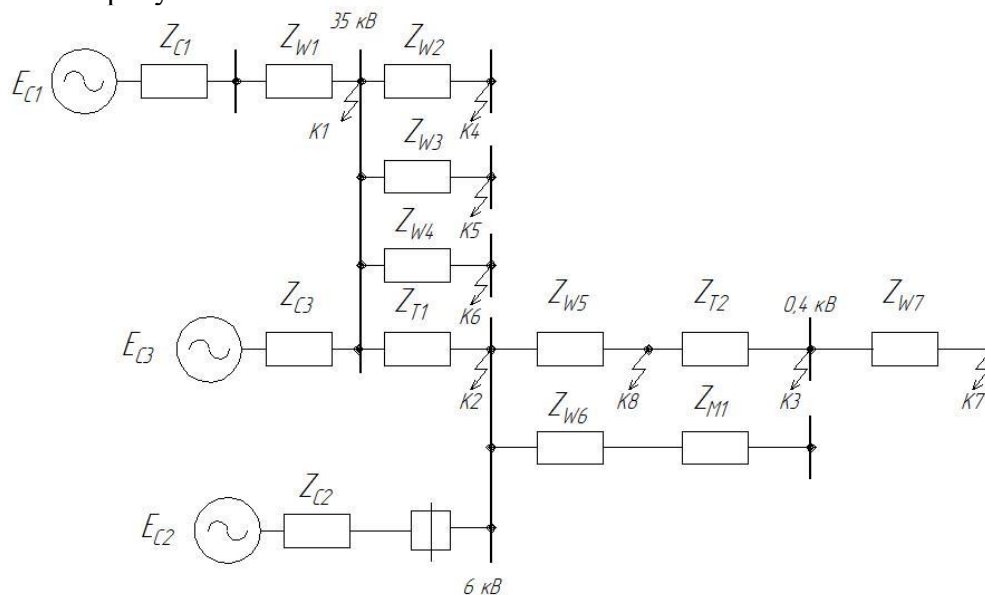


Рисунок 1 – Общая схема замещения

Рассчитаем параметры энергосистемы 1, приведённые к ступени 6 кВ, по формулам:

$$Z_{C1\max} = j \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot I_{k1\max}^{(3)}} \cdot \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}} \right)^2 \quad (2.1.1)$$

$$x_{C1\min} = j \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot I_{k1\min}^{(3)}} \cdot \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}} \right)^2 \quad (2.1.2)$$



$$Z_{C1\max} = j \frac{36,75}{\sqrt{3} \cdot 18,9} \cdot \left(\frac{6,3}{36,75} \right)^2 = 0,033 \text{ Ом};$$

$$Z_{C1\min} = j \frac{36,75}{\sqrt{3} \cdot 17,9} \cdot \left(\frac{6,3}{36,75} \right)^2 = 0,035 \text{ Ом}.$$

Так же рассчитаем сопротивления второй системы и сопротивления систем, приведённых к ступени 35 кВ, результаты расчётов сведём в таблицу 1.

Таблица 1

Параметры систем						
	$Z_{C1\max}$	$Z_{C1\min}$	$Z_{C2\max}$	$Z_{C2\min}$	$Z_{C3\max}$	$Z_{C3\min}$
6 кВ	0,033	0,035	0,409	0,46	0,379	0,543
35 кВ	1,123	1,185	13,907	15,667	12,893	18,473

Определим сопротивление воздушных линий по формуле:

$$Z_{ВЛ} = (r_{уд} + jx_{уд})L_{ВЛ}, \quad (2.1.3)$$

где $r_{уд} = 0,31$ Ом/км, $x_{уд} = 0,43$ Ом/км,

L - длина линии, км;

для линии W1:

$$Z_{ВЛ1} = (0,31 + j0,43) \cdot 5 = 1,709 + j2,37 \text{ Ом},$$

Аналогично найдём сопротивление для всех остальных воздушных линий, результаты занесём в таблицу 1.

Для кабельных линий к прокладке примем кабели с бумажной изоляцией и алюминиевыми жилами.

Приминаем к прокладке кабели АСБ–3×120 ($r_{уд} = 0,258$ Ом/км, $x_{уд} = 0,076$ Ом/км) и АСБ–3×25 ($r_{уд} = 3,1$ Ом/км, $x_{уд} = 0,11$ Ом/км) [1].

Сопротивление линий КЛ5, КЛ6:

$$Z_{КЛ5} = (0,258 + j0,076) \cdot 0,1 = 0,028 + j0,008 \text{ Ом},$$

$$Z_{КЛ6} = (3,1 + j0,11) \cdot 0,05 = 0,171 + j0,006 \text{ Ом}.$$

Для кабельной линии КЛ7 задано сечение $S_{КЛ7} = 95 \text{ мм}^2$ марка ААБ–3×95 ($r_{уд} = 0,326$ Ом/км, $x_{уд} = 0,078$ Ом/км) [1].

Сопротивление линии КЛ7:

$$Z_{КЛ7} = (0,326 + j0,078) \cdot 0,035 = 0,011 + j0,002 \text{ Ом}.$$

Приведём сопротивления к ступени 6 кВ и к ступени 35 кВ, сведём данные в таблицу 2.

Таблица 2

Параметры линий							
Обозначение параметра	Значение параметра линии						
	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7
$U_{н}, \text{ кВ}$	35	35	35	35	6	6	0,4
$S, \text{ мм}^2$	-	-	-	-	120	25	95
$r_{уд}, \text{ Ом/км}$	0,31	0,310	0,310	0,310	0,258	3,1	0,326
$x_{уд}, \text{ Ом/км}$	0,43	0,430	0,430	0,430	0,076	0,11	0,0078
$L, \text{ км}$	5	4	2	8	0,1	0,05	0,035
Приведенные значения к ступени 6 кВ:							
$R_6, \text{ Ом}$	0,05	0,04	0,02	0,08	0,028	0,171	0,453
$X_6, \text{ Ом}$	0,06	0,056	0,028	0,11	0,008	0,006	0,083



Приведенные значения к ступени 35 кВ:							
$R_{35}, \text{ Ом}$	1,70	2,734	0,684	2,734	0,968	5,815	15,41
$X_{35}, \text{ Ом}$	2,37	3,793	0,948	3,793	0,285	0,206	2,836

Из источника [2] выбираем марки трансформаторов: Т1 – ТДН-6300/35, Т2 - ТМ-2500/6.
Сопротивление трансформатора Т1 найдём по следующим формулам:

$$Z_{T1} = \frac{u_{k\%}}{100} \cdot \frac{U_{CP}^2}{S_{T1}}, \quad (2.1.4)$$

$$R_{T1} = \frac{\Delta P_{K3}}{S_{T1}^2} \cdot \frac{U_{CP}^2}{10^3}, \quad (2.1.5)$$

$$X_{T1} = \sqrt{Z_{T1}^2 - R_{T1}^2}, \quad (2.1.6)$$

$$Z_{T1} = R_{T1} + jX_{T1}, \quad (2.1.7)$$

где $u_{k\%}$ - сопротивление короткого замыкания трансформатора, %;

U_{CP} - средний уровень напряжения на стороне трансформатора, к которой приводится сопротивление, кВ;

S_{T1} - мощность трансформатора, МВА;

ΔP_{K3} - потери короткого замыкания трансформатора, кВт;

$$Z_{T1} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{(36,75 \cdot 10^3)^2}{6,3 \cdot 10^6} = 16,078 \text{ Ом};$$
$$R_{T1} = \frac{46,5 \cdot 10^3}{(6,3 \cdot 10^6)^2} \cdot (36,75 \cdot 10^3)^2 = 1,582 \text{ Ом};$$
$$X_{T1} = \sqrt{16,078^2 - 1,582^2} = 16 \text{ Ом};$$
$$Z_{T1} = 1,582 + j16 \text{ Ом}.$$

Список литературы:

1. Кабельная поисковая системы [Электронный ресурс]: общая характеристика. - Режим доступа - <https://k-ps.ru/>, свободный (дата обращения 30.09.2023).
2. ТДНС-6300/35 У1 трансформатор силовой, трехфазный, двухобмоточный/ Мератест [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.meratest.ru/>, свободный (дата обращения 30.09.2023).

