

КУРС ЛЕКЦИЙ

по учебной дисциплине

«Переходные процессы в электроэнергетических системах»

РАЗДЕЛ 3 Переходные процессы при несимметричных КЗ в элементах ЭЭС

ЛЕКЦИЯ № 5 Расчет несимметричных режимов в трехфазных сетях методом симметричных составляющих

Учебные вопросы лекции:

- 1. Метод симметричных составляющих. Оценка степени несимметрии трёхфазной системы**
- 2. Принцип независимости действия симметричных составляющих. Граничные условия**

Вопрос 1. **Метод симметричных составляющих**

Расчеты токов трехфазных КЗ в трехфазных симметричных сетях производятся на одну фазу вследствие подобия явлений, происходящих в каждой из фаз, и равенства значений одноименных величин.

При несимметрии в произвольной точке системы сопротивления в фазах неодинаковы и по этим причинам явления по фазам различны. Неодинаковы в этом случае токи, напряжения и углы сдвига между ними в различных фазах. Для определения токов и напряжений в любой фазе несимметричной системы необходимо составить схему замещения и написать необходимое число уравнений с учетом взаимоиндукции, что усложняет решение задач.

Сравнительно просто расчеты несимметричных режимов в трехфазных сетях осуществляются с помощью метода симметричных составляющих. Вычисление токов и напряжений в этом случае сводятся к определению этих величин при некотором фиктивном трехфазном КЗ, что дает возможность вновь воспользоваться однолинейной схемой замещения и произвести расчет на одну фазу. В этом заключается одно из основных достоинств метода симметричных составляющих.

При несимметричном режиме, наряду с токами прямой последовательности, наводятся токи обратной и нулевой последовательности как первой, так и высших гармоник, но обычно учитываются лишь основные гармоники токов и напряжений.

Это допущение позволяет для расчёта переходного процесса несимметричного КЗ использовать известный в электротехнике метод симметричных составляющих.

Обычно используется следующее правило:
ток прямой последовательности любого
несимметричного КЗ может быть определён,
как ток при трёхфазном КЗ в точке,
удалённой от действительной точки КЗ на
дополнительное сопротивление $X_{\Delta}^{(n)}$,
которое не зависит от параметров схемы
прямой последовательности и для каждого
вида КЗ определяется результирующими
сопротивлениями обратной $X_{2\Sigma}$ и $X_{0\Sigma}$
нулевой последовательностей относительно
рассматриваемой точки.

Аналитическая запись этого правила:

$$I_{\kappa A 1}^{(n)} = \frac{E_{A\Sigma}}{X_{1\Sigma} + X_A^{(n)}}$$

где $I_{\kappa A 1}^{(n)}$ – ток прямой последовательности фазы А, находящейся в условиях отличных от других фаз;

$E_{A\Sigma}$ - результирующая ЭДС относительно точки КЗ;

$X_{1\Sigma}$ - результирующее сопротивление схемы прямой последовательности относительно точки КЗ;

$X_{\Delta}^{(n)}$ - дополнительное сопротивление;

n - вид несимметричного КЗ.

Величину фазного тока в точке несимметричного КЗ рассчитывают по формуле:

$$I_K^{(n)} = m^{(n)} I_{\kappa A}^{(n)}$$

где $m^{(n)}$ коэффициент, зависящий от вида КЗ

Таблица 1 – Характеристики КЗ

Вид КЗ	Характеристики		
	$K^{(n)}$	$X_{\Delta}^{(n)}$	$m^{(n)}$
Трёхфазное	3	0	1
Двухфазное	2	$X_{2\Sigma}$	$\sqrt{3}$
Однофазное	1	$X_{0\Sigma} + X_{2\Sigma}$	3
Двухфазное на землю	1,1	$\frac{X_{0\Sigma} X_{2\Sigma}}{X_{0\Sigma} + X_{2\Sigma}}$	$\sqrt{3} \sqrt{1 - \frac{X_{0\Sigma} X_{2\Sigma}}{(X_{0\Sigma} + X_{2\Sigma})^2}}$

Анализ рассматриваемого выражения и данных таблицы позволяют сделать вывод:

**Для расчёта любого несимметричного КЗ
нужно определить величины
сопротивлений различных
последовательностей, для чего
необходимо составить и привести к
простейшему виду схемы замещения
прямой, обратной и нулевой
последовательностей.**

Учитывая, что при рассматриваемых КЗ ток протекает по одной (при однофазном КЗ) или по двум фазам, имея в обеих фазах одинаковую величину, мощность КЗ можно определить лишь для одной фазы, умножив полученный результат на число повреждённых фаз:

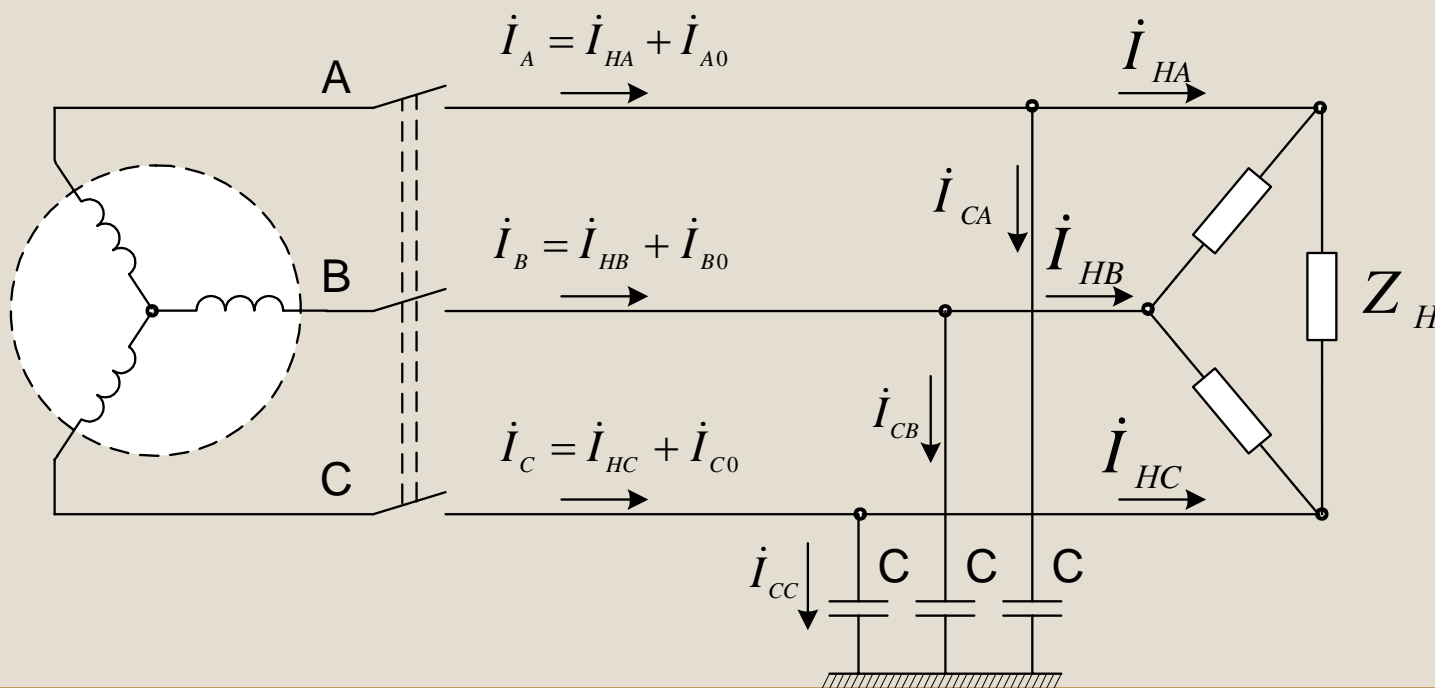


$$S^{(n)} = K \frac{U}{\sqrt{3}} I_K^{(n)}$$

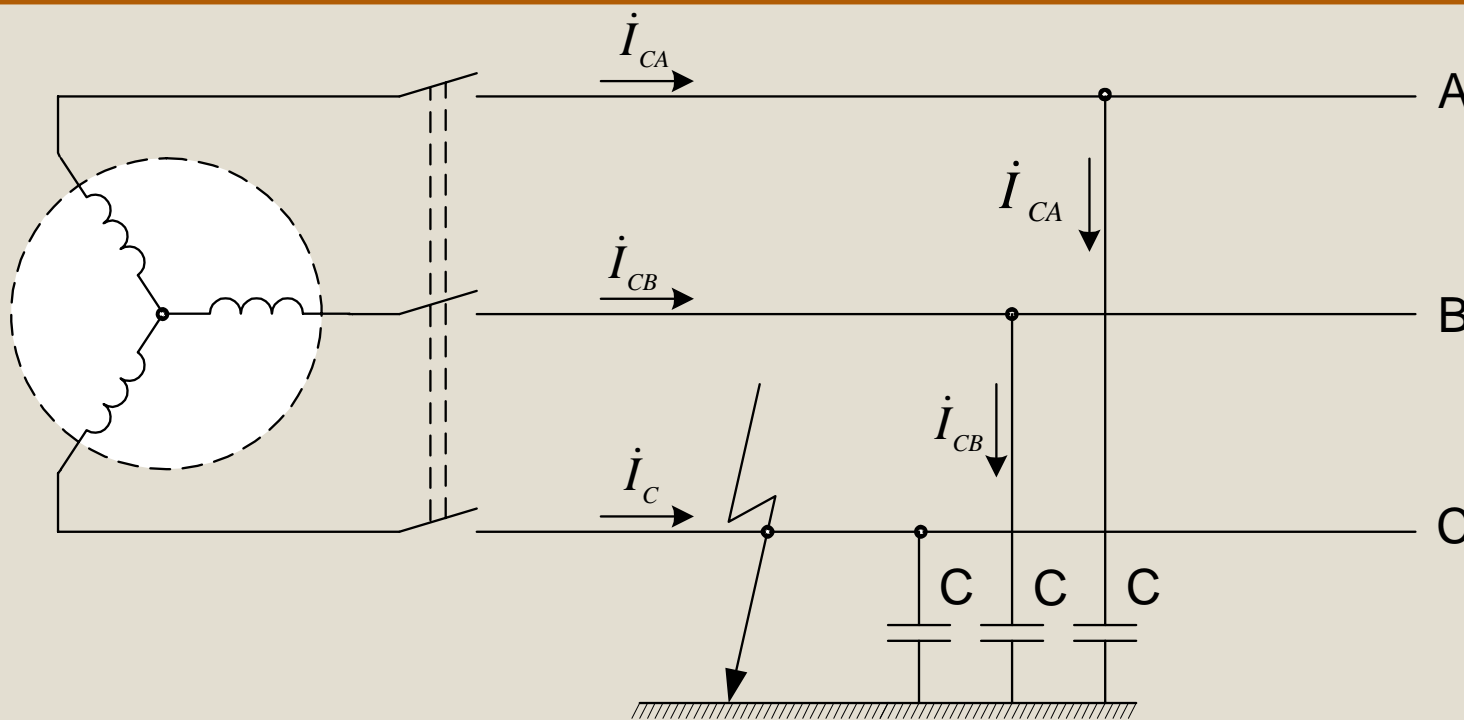
где U - междуфазное напряжение в точках КЗ в нормальном режиме;
 K - число повреждённых фаз ($K=1, K=2$).

Вопрос 2 Замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью.

При простом замыкании на землю в сети с изолированной нейтралью путь для тока и его величина определяются ёмкостной проводимостью каждой фазы относительно земли.



При полном (металлическом) замыкании на землю одной из фаз напряжение этой фазы по отношению к земле станет равным нулю, а напряжение неповреждённых фаз по отношению к земле увеличится в $\sqrt{3}$ раз.



Изменения напряжения фаз относительно земли можно рассматривать как результат наложения на напряжение фаз напряжения нулевой последовательности

$$U_{A0} = U_{B0} = U_{C0} = -U_C$$

при этом «звезда» фазных напряжений в месте повреждения превратится в несимметричную систему напряжений

$$\left. \begin{aligned} U'_A &= U_A + U_{A0} = U_A - U_C \\ U'_B &= U_B + U_{B0} = U_B - U_C \\ U'_C &= U_C + U_{C0} = U_C - U_C = 0 \end{aligned} \right\}$$

При замыкании фазы С ёмкость этой фазы шунтируется, а ёмкость других фаз не изменяется, но напряжения их вырастают в $\sqrt{3}$ раз.

Следовательно ёмкостные токи данных фаз также вырастают в $\sqrt{3}$ раз и суммарный ёмкостной ток

можно вычислить как: $I_{C3} = 3U_{\phi} \omega C l$

где $\omega = 2\pi f$ - угловая частота;

C - ёмкость фазы относительно земли;

l - длина линии.

На практике пользуются эмпирическими формулами:

- для воздушных ЛЭП

$$I_{C3} = \frac{U_{ном} l}{350} [A]$$

- для кабельных ЛЭП

$$I_{C3} = \frac{U_{ном} l}{10} [A]$$

ВНИМАНИЕ !!!

От величины ёмкостного тока зависит характер протекания процесса горения электрической дуги в месте замыкания. В случае превышения этим током некоторого граничного значения в месте замыкания возникает, так называемая перемежающаяся дуга, которая гаснет при прохождении через ноль и зажигается снова. Это вызывает перенапряжения, превышающие фазные в 2,5 ... 3 раза и искажения формы кривой напряжений (токов).

**Величина граничного тока, при котором
возникновение перемежающейся дуги
маловероятно:**

- для кабельных ЛЭП 6 кВ до 50 км - **30 А**
- для кабельных ЛЭП 10 кВ до 20 км - **20 А**
- для воздушных ЛЭП 35 кВ до 100 км - **10 А**

**Анализ системы с изолированной
нейтралью позволяет выделить
положительные и отрицательные свойства
такого режима:**

Сравнение свойств сети с изолированной нейтралью:

Положительные свойства:

- **Однофазные замыкания на землю не отражаются на работе 3-х фазных потребителей;**
- **Для таких СЭС требуются простые заземляющие устройства с сопротивлением контура менее 10 Ом.**

Отрицательные свойства:

- **Изоляция фаз должна быть рассчитана на линейное напряжение;**
- **Возможность появления повторных пробоев изоляции вследствие повышения фазных напряжений;**
- **Отсутствие непосредственных признаков появления замыкания;**
- **Появление перенапряжений;**
- **Невозможность подключения однофазных электроприёмников электроэнергии.**