

КУРС ЛЕКЦИЙ
по учебной дисциплине

**«Переходные процессы в
электроэнергетических
системах»**

**ТЕМА №3 Инженерные методы расчёта
переходных процессов в ЭЭС**

**ЛЕКЦИЯ № 8 Расчёт токов КЗ в системах
напряжением выше 1000 В**

Учебные вопросы лекции:

- 1. Расчет токов КЗ аналитическим методом.**
- 2. Алгоритм приближенного метода расчета тока начального режима КЗ**

В зависимости от решаемых инженерных задач в установках напряжением выше 1000 В рассчитывают следующие токи КЗ:

1) $I_{\text{по}}^{(3)}$ – действующее значение периодической составляющей сверхпереходного тока в начальном режиме КЗ;

2) $i_y^{(3)}, I_y^{(3)}$ – ударный ток и его действующее значение;

3) $I_{\text{пт}}^{(3)}$ – действующее значение периодической составляющей тока КЗ для произвольного момента времени;

4) $I_{\infty}^{(3)}$ – действующее значение установившегося тока КЗ.

На предыдущих лекциях было показано, что начальное максимальное значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ I''_{m0} на выводах генератора определяется по начальному максимальному значению сверхпереходной э.д.с. E''_{m0} и сверхпереходному индуктивному сопротивлению генератора x''

$$I''_{m0} = \frac{E''_{m0}}{x''} \quad (1)$$

Пренебрегая затуханием периодической составляющей тока за первый период после возникновения КЗ, можно определить ее действующее значение за этот период.

$$I'' = \frac{I_m''}{\sqrt{2}} \quad \text{или} \quad I'' = \frac{E''}{x''} \quad (2)$$

(индекс (0), указывающий на начальное значение величины, с целью простоты опускаем)

При наличии в расчетной схеме одного генератора выражение (1) можно распространить на случай трехфазного КЗ во внешней цепи этого генератора с реактивностью $x_{вн}$, подставив в знаменатель результирующее сопротивление короткозамкнутой цепи $x_{рез}$:

$$I'' = \frac{E''}{x'' + x_{вн}} = \frac{E''}{x_{рез}}. \quad (3)$$

При наличии нескольких генерирующих источников рассчитывают значение результирующей реактивности $x_{рез}$ по отношению к рассматриваемой точке КЗ.

На практике ограничиваются упрощенным методом расчета начального значения тока $K3$.

Метод основан на допущении, что различия в значениях сверхпереходных э.д.с. источников, входящих в расчетную схему, отсутствуют и что эти э.д.с. могут быть приравнены напряжениям предшествующего режима генераторов, в качестве которых принимают номинальные напряжения.

Так как при составлении эквивалентных схем замещения вместо номинальных напряжений всех элементов принимаются средние номинальные напряжения для данной ступени, то получаем:

$$E'' \approx \frac{U_{cp}}{\sqrt{3}}. \quad (4)$$

Точность получаемых при этом результатов расчета оказывается достаточной для решения большинства практических задач.

Алгоритм приближенного метода расчета тока начального режима КЗ

После того как схема замещения для сверхпереходного режима приведена к результирующему сопротивлению относительно точки КЗ, действующее значение периодической составляющей тока КЗ за первый период или так называемый начальный сверхпереходный ток КЗ определяется по закону Ома:

$$I'' = \frac{\overset{o}{E}''}{x_{рез}} \approx \frac{U_{ср.б.}}{\sqrt{3} x_{рез}}, \quad (5)$$

В выражении (5)

$U_{\text{ср.б}}$ – среднее номинальное напряжение
базисной ступени, то есть ступени, где
находится точка КЗ;

$X_{\text{рез}}$ - результирующее сопротивление схемы
(относительно рассматриваемой точки КЗ),
приведенное к базисной ступени
напряжения и выраженное в Омах.

Если результирующее сопротивление выражено в относительных единицах и отнесено к базисной мощности S_6 , то, используя выражение для x_{*6} и (5), получаем:

$$x_{*6} = \frac{x}{x_6} = x \frac{\sqrt{3}I_6}{U_6} \quad , \quad (6)$$
$$I'' = \frac{I_6}{x_{*6.рез}}$$

где I_6 - базисный ток той ступени, где находится точка КЗ

Поскольку каждая из величин I_6 и $x_{*6 \text{ рез}}$ пропорциональна базисной мощности S_6 , то значение тока КЗ, определяемое отношением:

$$\frac{I_6}{x_{*6 \text{ рез}}} \quad \text{не зависит от произвольно выбранного значения базисной мощности.}$$

В соответствии с этим ток КЗ можно определять также по формуле:

$$I'' = \frac{I_{\Sigma}^o}{x_{*n \text{ рез}}}, \quad (7)$$

При учете активных сопротивлений
отдельных элементов расчетной схемы
величина начального сверхпереходного тока
соответственно определится из выражений:

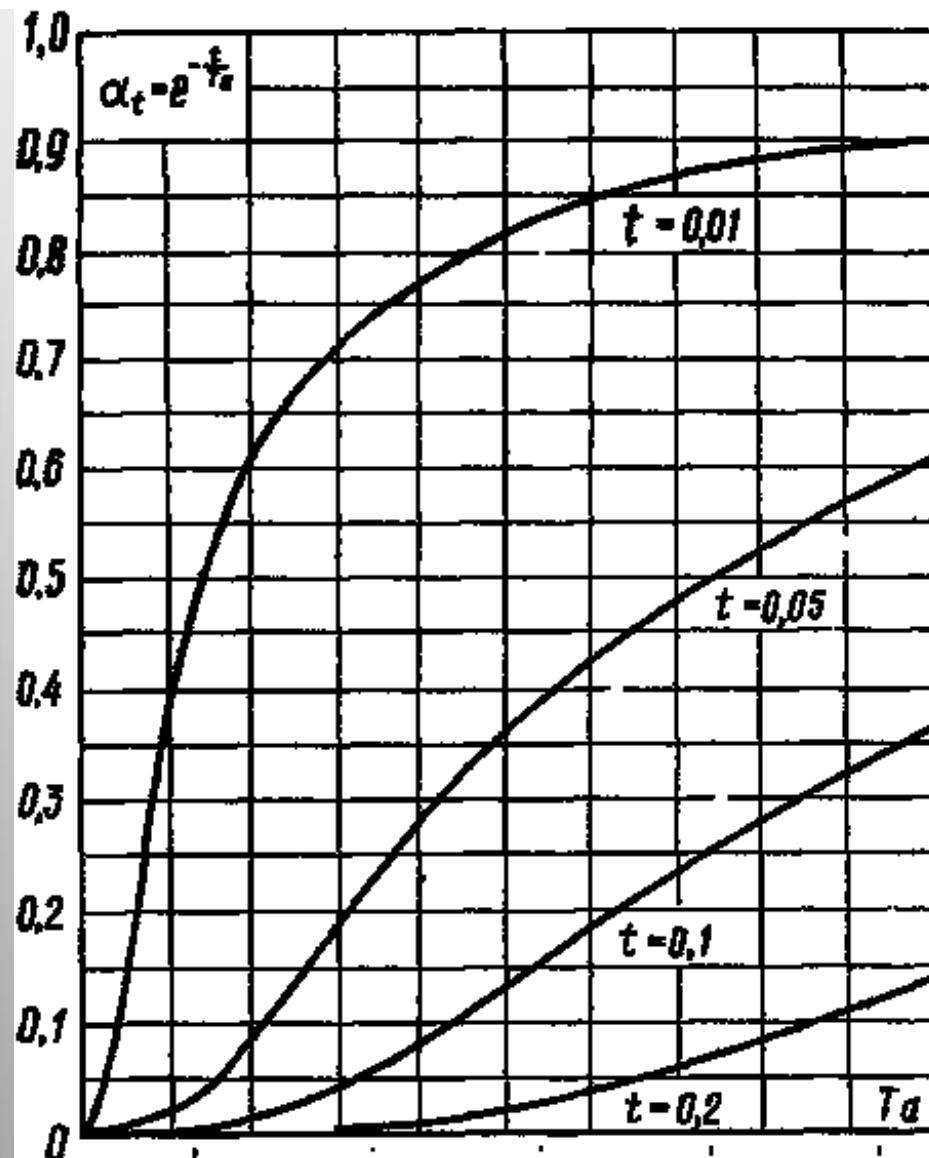
$$I'' = \frac{U_{cp.бo}}{\sqrt{3} z_{рез}}, \quad (8)$$

$$I'' = \frac{I_б}{z_{*б.рез}}. \quad (9)$$

Апериодическая слагающая тока короткого замыкания для произвольного момента времени, определяется по формуле:

$$i_{at} = \sqrt{2}I''e^{-\frac{t}{T_a}} = \sqrt{2}\alpha_t I'', \quad (10)$$

где α_t – коэффициент затухания апериодической слагающей, значение которого может быть определено по кривым рис.1:



Кривые изменения коэффициента затухания
апериодической слагающей тока КЗ в
зависимости от постоянной времени T_d

Ударный ток короткого замыкания,
определяемый как максимальное мгновенное
значение полного тока короткого замыкания,
практически наступает с момента возникно-
вения КЗ, и его величина находится по
выражению:

$$i_y = k_y \sqrt{2} I'' = (1 + \alpha_{t=0,01}) \sqrt{2} I''$$

В качестве среднего значения ударного
коэффициента принимают $k_y = 1,8$ (соответствует
средней величине $T_a = 0,05\text{с}$). При этом:

$$i_y = 1,8 \sqrt{2} \cdot I'' = 2,55 I''$$

При вычислении токов КЗ в удаленных точках сети, при КЗ за трансформаторами малой мощности или в протяженной кабельной сети, где заметно сказывается активное сопротивление элементов цепи КЗ, значение ударного коэффициента k_y следует определять при помощи кривой для $t = 0,01$ с, приведенной на рисунке, либо принимать в среднем $k_y = 1,3$.

Для значительно удаленных точек распределительной сети ударный коэффициент может быть приравнен единице.

Полный ток КЗ в течение переходного процесса **является несинусоидальным** вследствие наличия апериодической слагающей. Поэтому его действующее значение для произвольного момента процесса КЗ определяют по выражению

$$I_t = \sqrt{I_{nt}^2 + I_{at}^2},$$

где I_{nt} - действующее значение периодической составляющей за рассматриваемый период;
 I_{at} - среднее значение апериодической составляющей, принимаемое равным значению этой слагающей в середине данного периода.

Наибольшее действующее значение полного тока КЗ имеет место в первый период процесса КЗ и оно определяется по формуле:

$$I_y = \sqrt{(I'')^2 + [(k_y - 1)\sqrt{2}I'']^2} = I''\sqrt{1 + 2(k_y - 1)^2}.$$

При $k_y = 1,8$ имеем:

$$I_y = 1,52 I''.$$