

5. Измерение емкостного тока в сетях 6-35 кВ

ООО Внедренческое предприятие
«Наука, техника, бизнес в энергетике»
г. Екатеринбург, тел. (343) 310-86-74 (75)

Измерения в сетях 6-35 кВ с изолированной нейтралью производятся с целью определения:

- полного емкостного тока однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) и емкостных токов частей сети, отделяемых по условиям эксплуатации,
- величины напряжения несимметрии сети и ее отдельных участков, а также положения этого напряжения в треугольнике линейных напряжений.

Измерения в сетях 6-35 кВ с компенсацией емкостного тока производятся с целью правильного выбора настроек дугогасящих катушек

В результате измерений определяются:

- напряжение несимметрии сети,
- напряжение смещения нейтрали при различных настройках дугогасящих катушек и возможных делениях сети,
- емкостный ток замыкания на землю сети и ее участков,
- действительные токи компенсации,
- тангенс-дельта изоляции сети.

Совокупность параметров сети, определяемых в процессе измерения емкостного тока в сетях 6-35 кВ

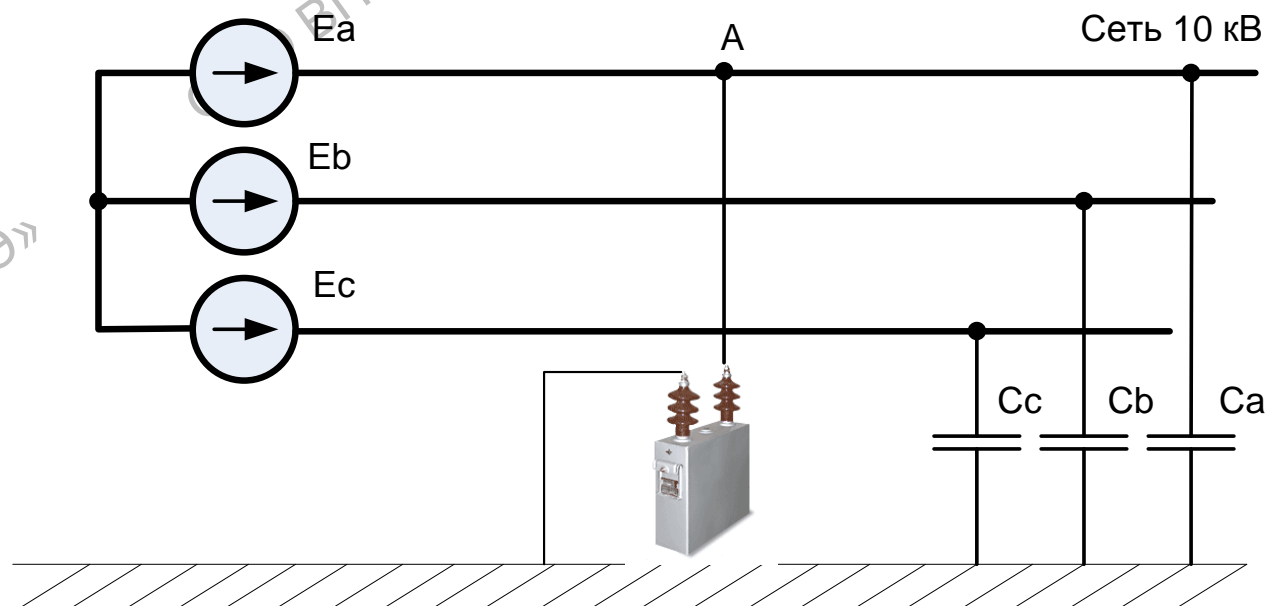
- Емкостный ток ОЗЗ в сети I_C
- Тангенс-дельта изоляции сети d
- Напряжение несимметрии сети $3U_{o_{НС}}$
- Напряжение смещения нейтрали $3U_{o_{СМЕЩ}}$

Обзор существующих методик:

- с использованием асимметрирующего конденсатора C_0
- с использованием ступенчатого дугогасящего реактора
- с использованием плавнорегулируемого дугогасящего реактора

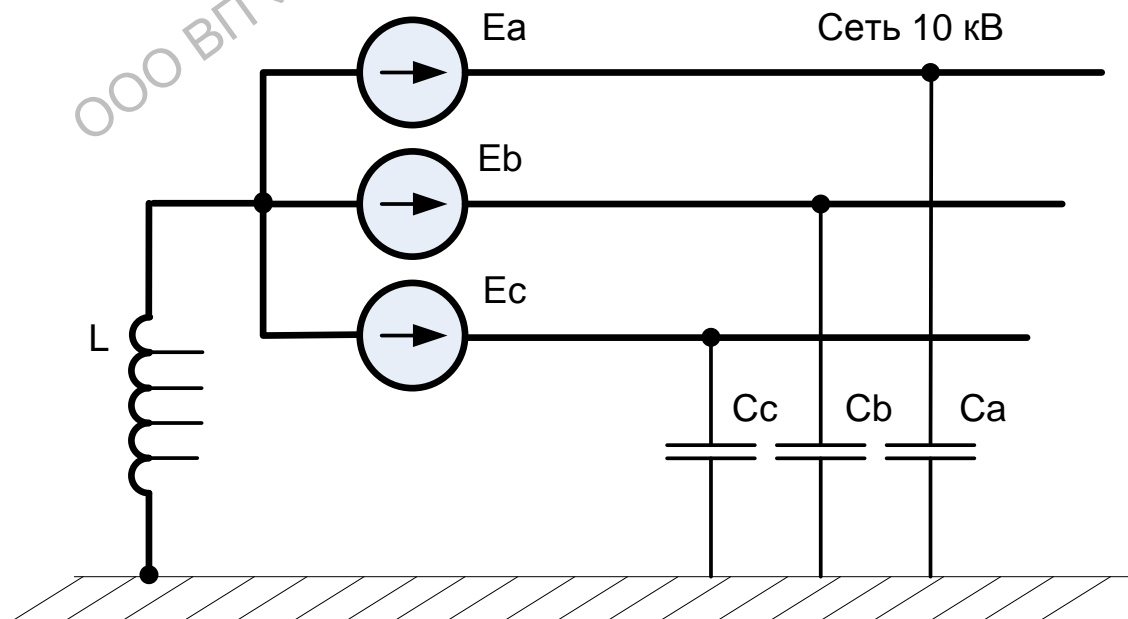
1. Измерение емкостного тока с использованием асимметрирующего конденсатора C_0

- применяется в сетях 6-35 кВ с изолированной нейтралью
- C_0 – косинусный высоковольтный однофазный конденсатор, типов КМ, КС, КЭК, КЭП



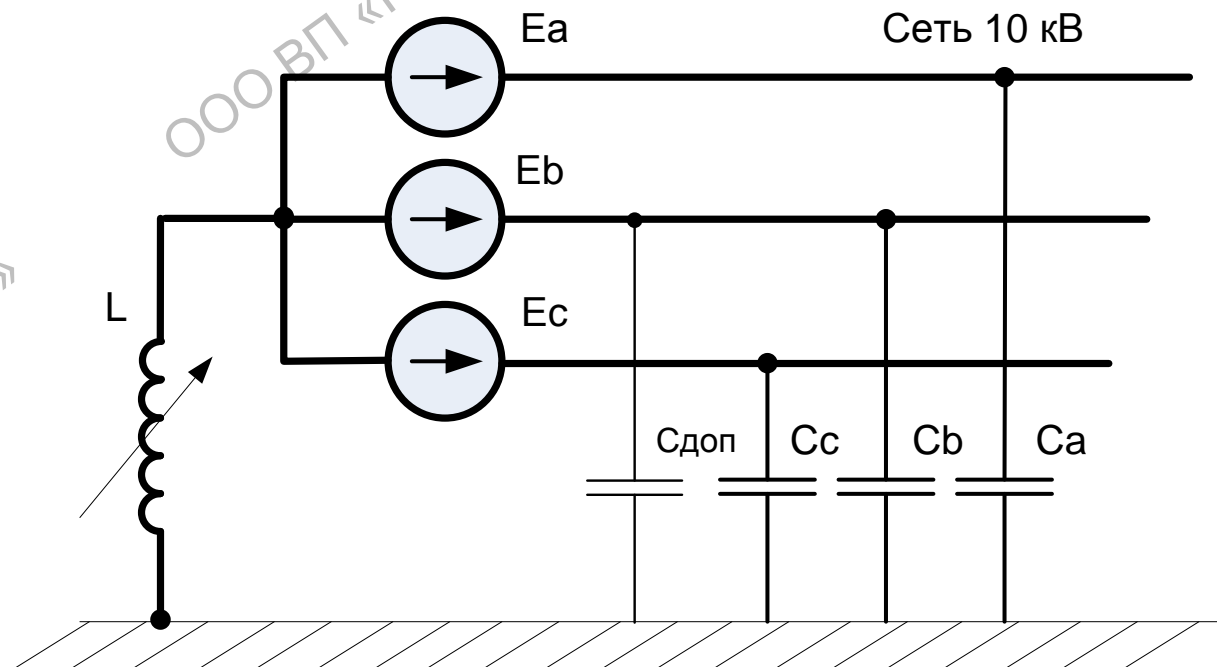
2. Измерение емкостного тока с использованием ступенчатого дугогасящего реактора

- применяется в сетях 6-35 кВ, оснащенных ступенчатыми реакторами типа ЗРОМ, РЗДСОМ и др.



3. Измерение емкостного тока с использованием плавнорегулируемого дугогасящего реактора

- применяется в сетях 6-35 кВ, оснащенных плавнорегулируемыми реакторами типа РДМР, РЗДПОМ и др.



Понятия напряжения несимметрии сети и напряжения смещения нейтрали

- Напряжение несимметрии сети – напряжение на разомкнутом треугольнике трансформатора напряжения (ТН) в отсутствии дугогасящего реактора в нейтрали – $3U_{0_нс}$, В
- Напряжение смещения нейтрали – напряжение на разомкнутом треугольнике трансформатора напряжения (ТН) при подключенном к нейтрали дугогасящем реакторе – $3U_{0_см}$, В
 - $3U_{0_см_max}$ – напряжение смещения нейтрали в точке резонанса, В

$$U_{НС} \Rightarrow 3U_{0_НС}$$

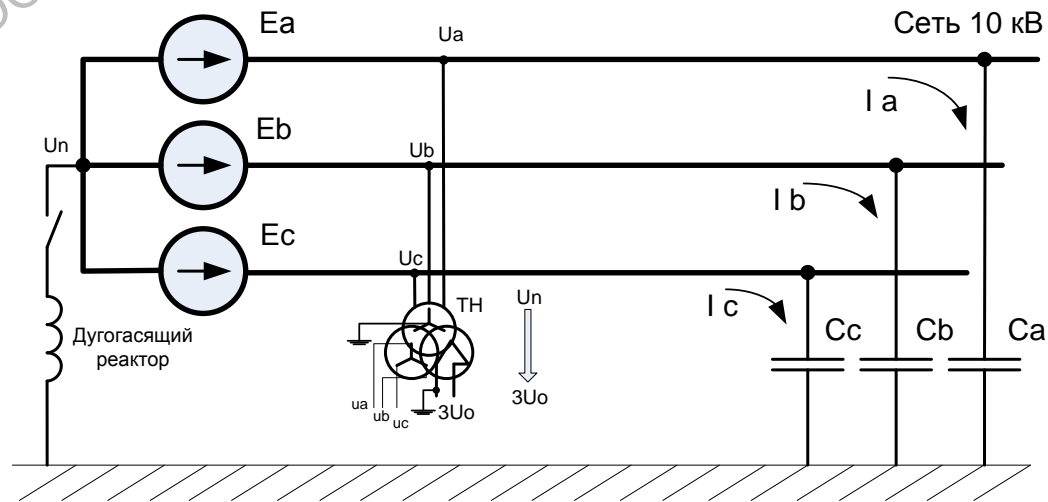
$$U_{СМЕЩ} \Rightarrow 3U_{0_СМЕЩ}$$

$$U_{СМЕЩ}^{MAX} \Rightarrow 3U_{0_СМЕЩ}^{MAX}$$

↑
Напряжение между
нейтралью сети и
землей, % от фазного
напряжения

↑
Напряжение на
разомкнутом
треугольнике ТН, В

$$3U_{0_НС} \leq 3U_{0_СМЕЩ} \leq 3U_{0_СМЕЩ}^{MAX}$$



Номинальное $3U_0 = 100$ В

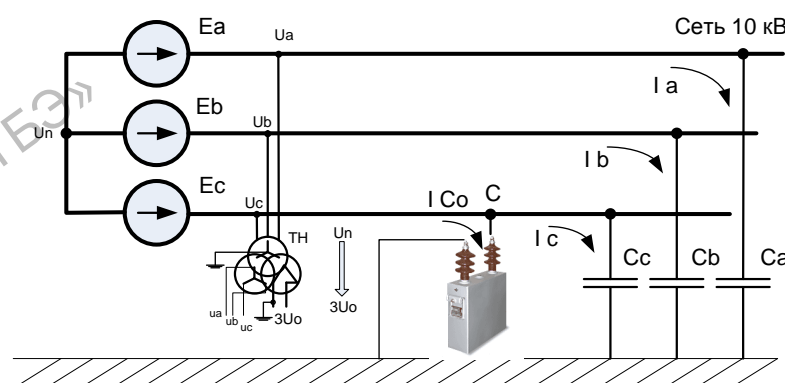
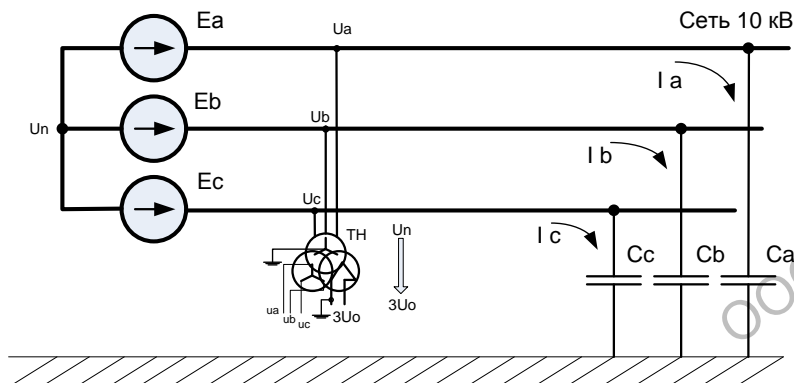
1. Измерение емкостного тока с использованием асимметрирующего конденсатора C_0

■ В симметричной сети:

- Емкостный ток сети формируется токами фазных емкостей (C_a , C_b , C_c)
- Напряжение $3U_0 = 0$ вследствие равенства $C_a = C_b = C_c$.

■ При подключении C_0 :

- Формируется дополнительный ток C_0 , вследствие этого
- Напряжение $3U_0 > 0$.
- Величина $3U_0$ пропорциональна отношению $C_0 / (C_a + C_b + C_c)$



Емкостный ток сети

$$I_C = \left(\frac{u_{\text{лин}}}{3U_{0_нс}} - 1 \right) \cdot \omega C_0 \cdot U_{\phi}, \text{ А !}$$

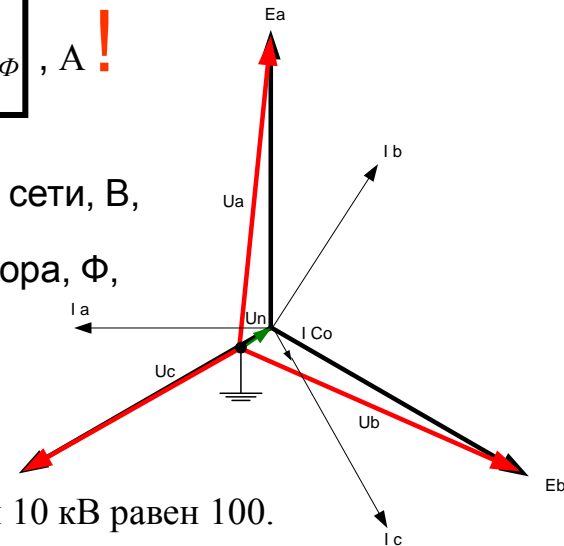
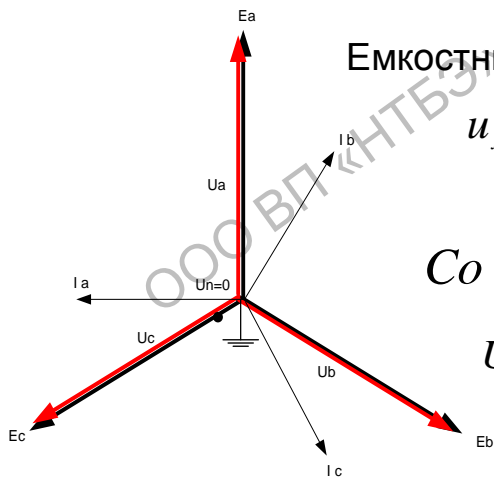
$u_{\text{лин}}$ - среднее линейное напряжение на ТН, В,
 $3U_{0_нс}$ - напряжение несимметрии сети, В,

C_0 - емкость асимметрирующего конденсатора, Ф,

U_{ϕ} - фазное напряжение сети, В,

$$U_{\phi} = u_{\text{лин}} \cdot \frac{k_{\text{мп}}}{\sqrt{3}}$$

$k_{\delta\delta}$ - коэффициент трансформации ТН, в сети 10 кВ равен 100.



Общая последовательность работ по измерению емкостного тока методом C_0 .

- Емкость C_0 для установки в сети 10 кВ рассчитывается исходя из допустимой величины $3U_0$ в сетях 6-35 кВ (ПТЭЭСиС, п. 5.11.11) по формуле

$$C_0 \leq \frac{5,51 \cdot I_c}{U_{НОМ} \left(\frac{100}{3U_0} - 1 \right)}$$

!

I_c – предпол. емк. ток (рассчитанный по длинам и сечениям линий), А,

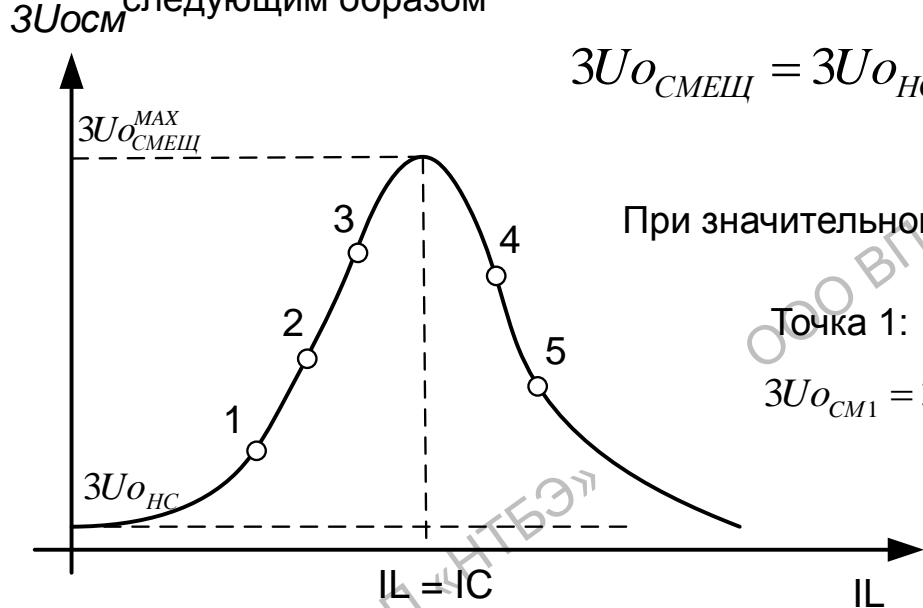
$U_{НОМ}$ – номинальное линейное напряжение сети, кВ.

- До включения C_0 измерить величину $3U_{0_нс}$ на разомкнутом треугольнике ТН.
- Включить C_0 в одну из фаз сети 10 кВ.
- Измерить величины линейных напряжений на ТН.
- Измерить величину $3U_{0_нс}$ на разомкнутом треугольнике ТН.
- Отключить C_0 .
- Рассчитать емкостный ток по формуле $I_c = \left(\frac{u_{лин}}{3U_{0_нс}} - 1 \right) \cdot \omega C_0 \cdot U_\phi$

2. Измерение емкостного тока с использованием ступенчатого дугогасящего реактора

- Зависимость напряжения на нейтрали от параметров источника смещения нейтрали (например, асимметрирующего конденсатора C_0), параметров изоляции сети (емкостный ток, тангенс-дельта сети) и дугогасящего реактора называется резонансной кривой (РК) и выглядит

следующим образом



$$3Uo_{\text{СМЕЩ}} = 3Uo_{\text{НС}} \frac{I_C}{\sqrt{(I_C d)^2 + (I_C - I_L)^2}}$$

При значительной расстройке имеем $3Uo_{\text{СМЕЩ}} = 3Uo_{\text{НС}} \frac{I_C}{I_C - I_L}$

Точка 1:

$$3Uo_{\text{СМ1}} = 3Uo_{\text{НС}} \frac{I_C}{I_C - I_{L1}}$$

Точка 2:

$$3Uo_{\text{СМ2}} = 3Uo_{\text{НС}} \frac{I_C}{I_C - I_{L2}}$$

Получаем формулу* для расчета емкостного тока по двум точкам РК, применяемую в сетях со ступенчатыми дугогасящими реакторами:

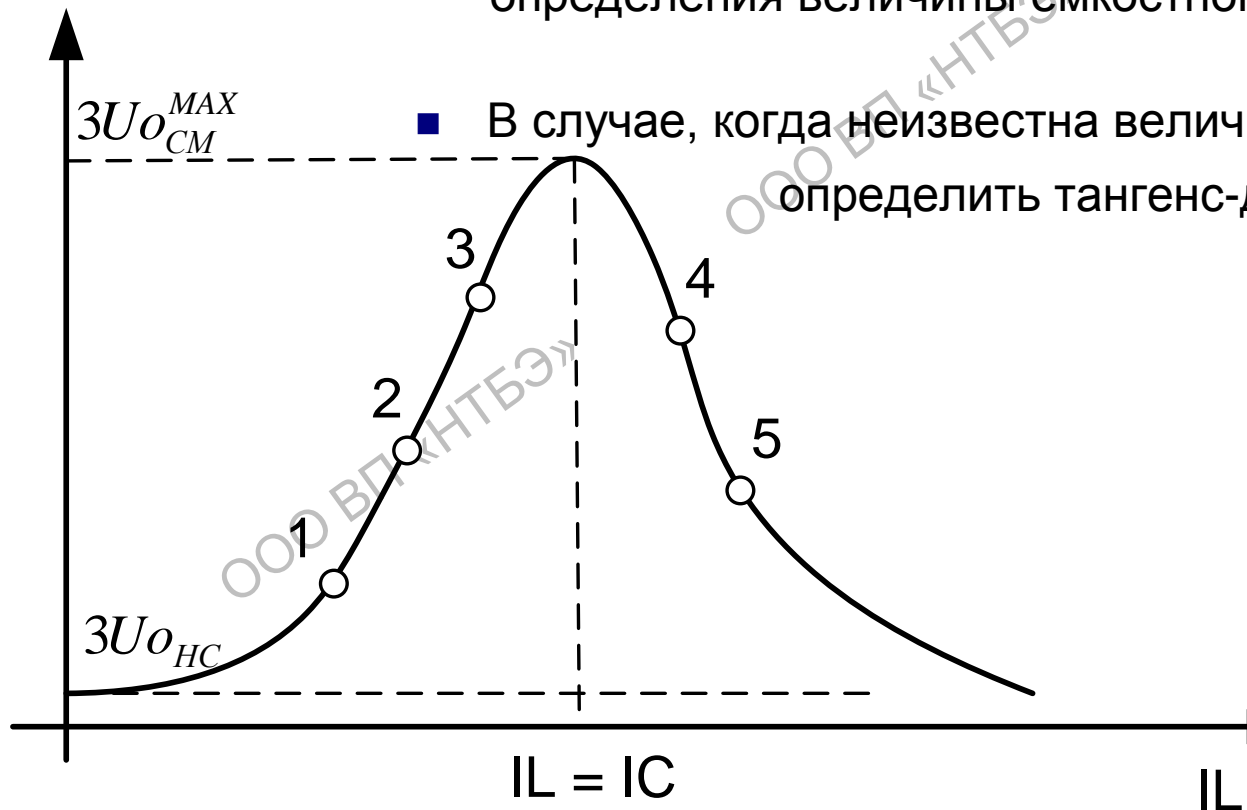
$$I_C = \frac{I_{L1} - \frac{3Uo_{\text{СМ2}}}{3Uo_{\text{СМ1}}} I_{L2}}{1 - \frac{3Uo_{\text{СМ2}}}{3Uo_{\text{СМ1}}}}$$

* Лихачев Ф.А. Инструкция по выбору, установке и эксплуатации дугогасящих катушек, М.: Энергия, 1971

Особенности определения емкостного тока в сетях со ступенчатыми дугогасящими реакторами

- Точки на РК необходимо брать либо на восходящей, либо на нисходящей части резонансной кривой.
- Ввиду малого числа отпаек переключателя реактора точность определения величины емкостного тока лежит в пределах 2...5%.

$3U_{oCM}$



- В случае, когда неизвестна величина $3U_{oCM}^{MAX}$, сложно определить тангенс-дельта изоляции сети (d)

- ЗРОМ-310/35
 - 1 – 6,6 А – $3U_{o1}$
 - 2 – 7,5 А – $3U_{o2}$
 - 3 – 9,0 А – $3U_{o3}$
 - 4 – 10,8 А – $3U_{o4}$
 - 5 – 12,6 А – $3U_{o5}$

Общая последовательность работ по измерению емкостного тока в сетях со ступенчатыми реакторами.

- Перевести сеть в режим с изолированной нейтралью соответствующим разъединителем.
- Измерить величину $3U_{0_нс}$ на разомкнутом треугольнике ТН. Отметить эту точку на резонансной кривой сети.
- Перевести переключатель реактора в положение 1 и подключить реактор к сети.
- Измерить величину $3U_{0_нс}$ на разомкнутом треугольнике ТН. Отметить следующую точку на резонансной кривой сети.
- Отключить реактор, перевести переключатель реактора в положение 2 и вновь подключить его к сети.
- Измерить величину $3U_{0_нс}$ на разомкнутом треугольнике ТН. Отметить следующую точку на резонансной кривой сети.
- Определить приблизительное положение получившейся кривой.
- По двум точкам, находящимся на восходящей (нисходящей) части кривой, рассчитать величину емкостного тока данной сети.

3. Измерение емкостного тока с использованием плавнорегулируемого дугогасящего реактора

- Преимущества применения:

- Увеличенная точность определения I_c

- Возможность определить d

$$d = \frac{3U_{o_{НС}}}{3U_{o_{СМЕЩ}}^{MAX}}$$

- В ручном режиме настройки

- Перевести устройство компенсации в ручной режим
- Настроить сеть в резонанс в ручном режиме кнопками «Уменьшение тока», «Увеличение тока» на щите управления реактором. Резонансу соответствует положение плунжера реактора, при котором $3U_o$ максимально.
- Отключить дугогасящий реактор от сети
- Измерить методом вольтметра-амперметра индуктивность реактора и перевести ее в индуктивный ток реактора

