

Внешний вид силового трансформатора ТЦ – 400 000 / 500 – 79 У

1



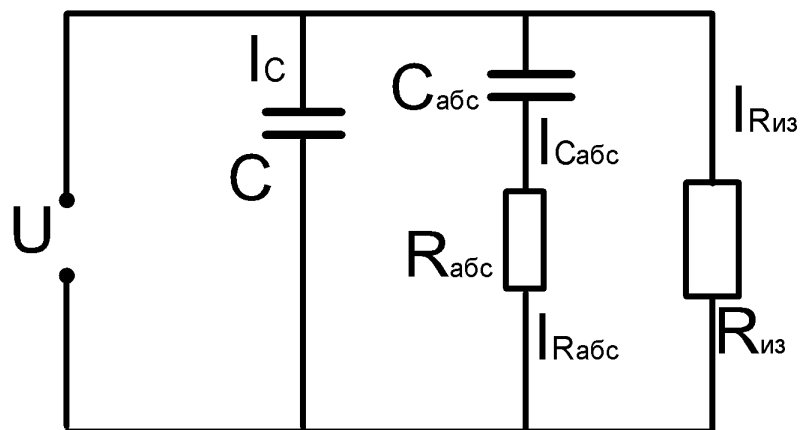
Обозначение силового трансформатора типа
ТЦ – 400 000 / 500 – 79 У 1

- Трансформатор трёхфазный двухобмоточный с принудительной циркуляцией воды и масла в системе охлаждения, номинальная мощность 400 МВА, класс напряжения 500 кВ, конструкция 1979 года, для районов с умеренным климатом, для наружной установки.

Элементы конструкции силового трансформатора



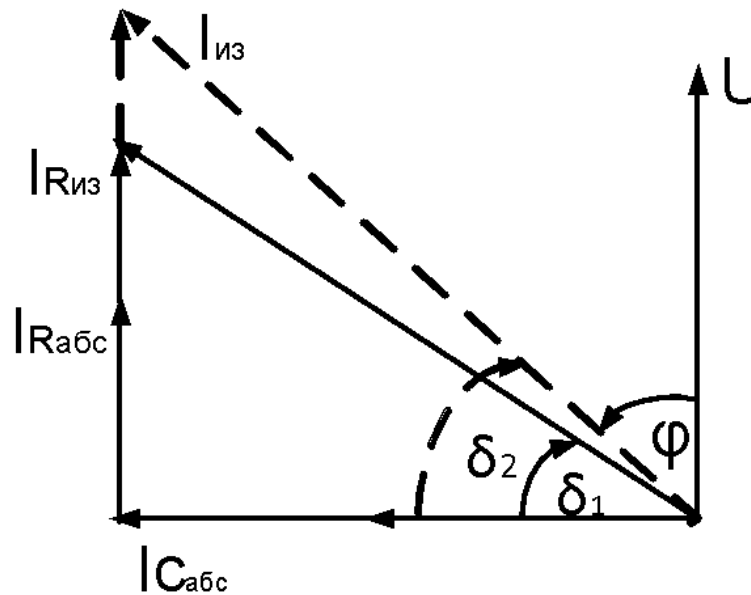
Схема замещения участка изоляции



C - геометрическая ёмкость; C - ёмкость
абсорбции;

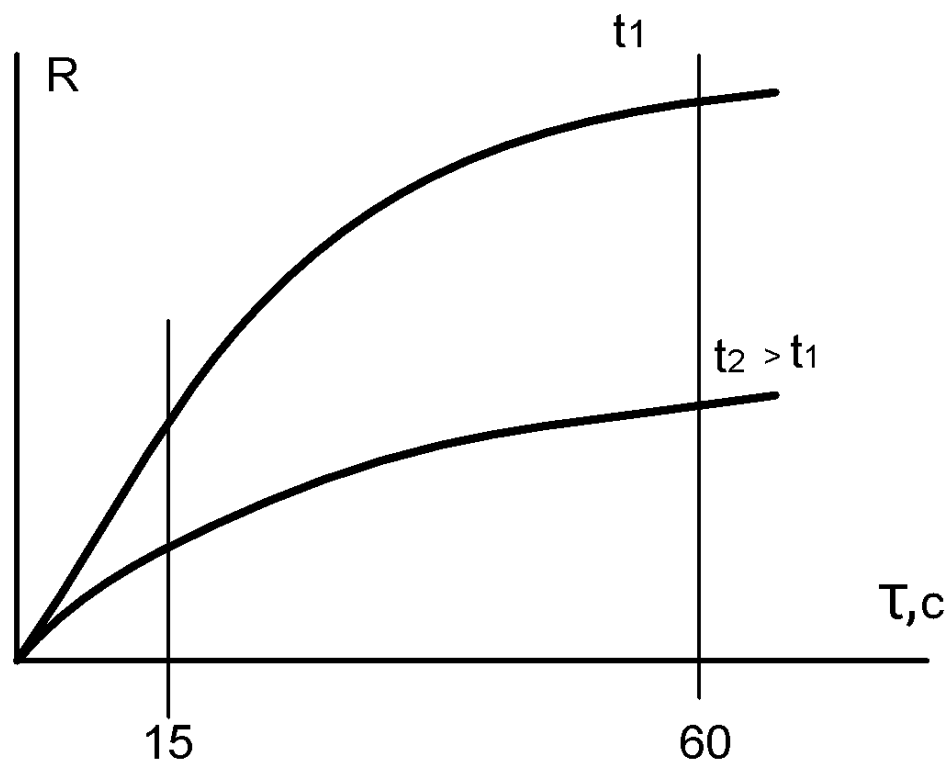
R - сопротивление изоляции

Векторная диаграмма напряжения и токов



$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_R}{I_C}$$

Изменение сопротивления изоляции от времени приложения напряжения



П,К,Т,М. Измерение сопротивления изоляции:

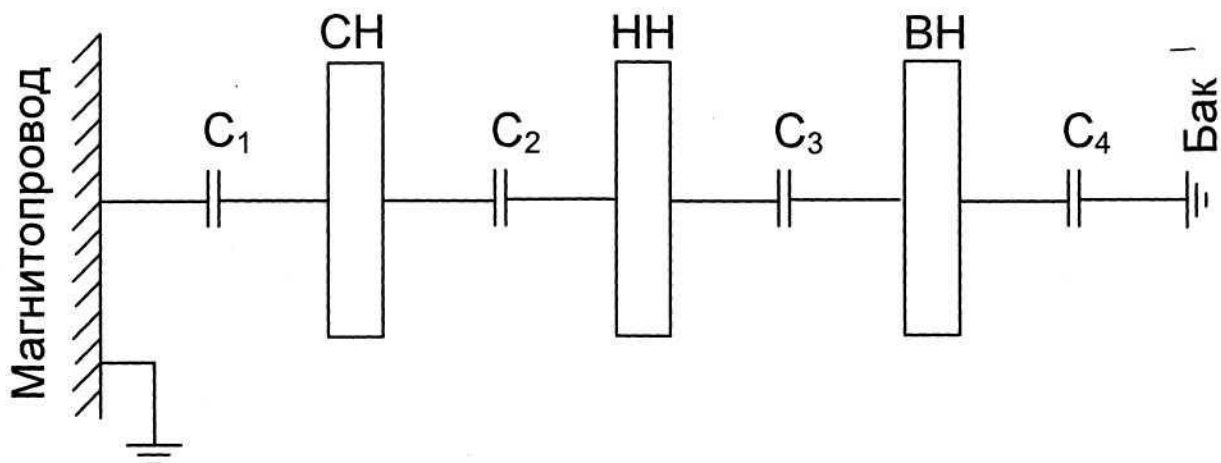


Схема участков изоляции трансформатора, контролируемых при измерении сопротивления изоляции обмоток. HH, CH, BH — обмотки трансформатора; C₁, C₂, C₃, C₄ — емкости, эквивалентные сопротивлению контролируемых участков изоляции.

Измерение сопротивления изоляции

- Сопротивление изоляции обмоток измеряется мегаомметром на напряжение 2500 В.
- Сопротивление изоляции каждой обмотки вновь вводимых в эксплуатацию трансформаторов и трансформаторов, прошедших капитальный ремонт, приведенное к температуре испытаний, при которых определялись исходные значения, должно быть не менее 50% исходных значений.
- При измерении все выводы обмоток одного напряжения соединяются вместе. Остальные обмотки и бак трансформатора заземляются.

Методика измерения сопротивления изоляции

- Для трансформаторов мощностью до 80 МВА и напряжением до 150 кВ
 - температура изоляции не ниже $+10^{\circ}\text{C}$
- При больших мощностях и напряжениях
 - температура заводских измерений (отклонение не более 5°C)
- Не ранее, чем через 12 часов после заливки маслом
- Очистить поверхность ввода от пыли и грязи
- Обмотку заземляют на 2-5 мин для снятия остаточного заряда

Температура изоляции трансформатора

- До 35 кВ с маслом – температура верхних слоёв масла
- Выше 35 кВ с маслом – средняя температура обмотки, определённая по сопротивлению постоянному току

$$t_x = R_x / R_{зав} (235 + t_{зав}) - 235$$

Допустимые значения сопротивления изоляции R_{60} обмоток трансформаторов на напряжения до 35 кВ, залитых маслом, и дугогасящих реакторов

Мощность трансформатора	Значение сопротивления изоляции, R_{60} , МОм при температуре, °С						
	10	20	30	40	50	60	70
До 6300 кВ·А	450	300	200	130	90	60	40
10 000 кВ·А и более	900	600	400	260	180	120	80

Приведение к температуре заводских измерений

$\Delta t, ^\circ\text{C}$	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30
K	1,04	1,08	1,13	1,17	1,22	1,5	1,84	2,25	2,75	3,4

Пример:

$R_{\text{зав.}} = 400 \text{ Мом при } t = +35^\circ\text{C}$

$R_{\text{монт.}} = 360 \text{ Мом при } t = +26^\circ\text{C}$

Приведение к более высокой температуре ($+35^\circ\text{C}$),
сопротивление уменьшается

$\Delta t = 9^\circ\text{C}$, $K_9 = K_4 \cdot K_5 = 1,43$ $R_{60} = 360 : 1,43 = 252 \text{ Ом}$ (70% от
заводского, что является удовлетворительным)

Сопротивление изоляции сухих трансформаторов

- Сопротивление изоляции сухих трансформаторов при температуре обмоток 20-30°C должно быть для трансформаторов с номинальным напряжением:
- До 1 кВ включительно — не менее 100 МОм;
- Более 1 до 6 кВ включительно — не менее 300 МОм;
- Более 6 кВ — не менее 500 МОм.

Измерения в процессе эксплуатации

- Измерения в процессе эксплуатации производятся при неудовлетворительных результатах испытаний масла (область «риска»,) и (или) хроматографического анализа газов, растворенных в масле, а также в объеме комплексных испытаний.
- При вводе в эксплуатацию и в процессе эксплуатации сопротивление изоляции измеряется по схемам, применяемым на заводе-изготовителе, и дополнительно по зонам изоляции (например, ВН - корпус, НН - корпус, ВН – НН).

Условия включения трансформаторов без сушки

Краткая характеристика методов контроля влажности.

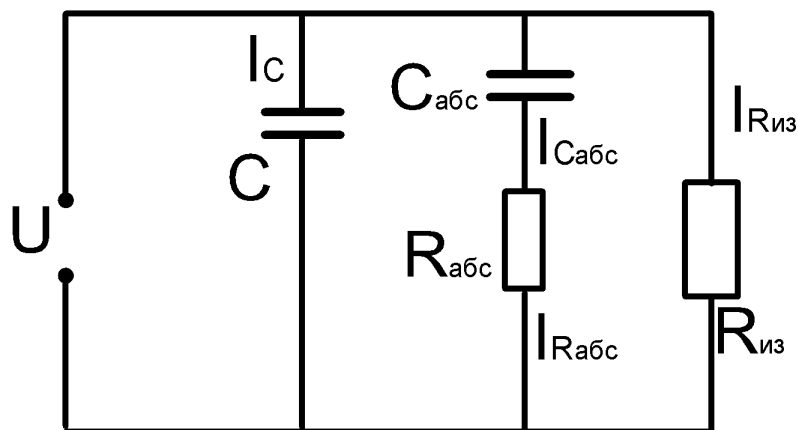
- Для включения трансформатора без сушки требуется оценить степень увлажнения изоляции:
- измерением 15-секундного и одноминутного сопротивления изоляции и нахождением отношения $R_{60} / R_{15} = 1,3 \div 2,0$
- измерением тангенса угла диэлектрических потерь обмоток;
- измерением емкости в нагретом и холодном состояниях и определением отношения $C_{гор} / C_{хол}$, если по условиям монтажа необходим подогрев трансформатора в масле (метод «емкость — температура»).

Измеритель параметров изоляции многофункциональный MI 3201 TeraOhm 5 kV Plus

Типовые проверки

- Измерение сопротивления изоляции;
- Измерение зависимости сопротивления изоляции от напряжения;
- Измерение зависимости сопротивления изоляции от времени;
- Измерение остаточного заряда после разряда диэлектрика

Схема замещения участка изоляции



C - геометрическая ёмкость;
абсорбции;

R - сопротивление изоляции

Измеритель параметров изоляции многофункциональный MI 3201 TeraOhm 5 kV Plus

1) Коэффициент диэлектрического поглощения

$$\text{DAR} = \frac{R_{60}}{R_{15}} = (1,3 \div 2,0)$$

2) Индекс поляризации

$$\text{PI} = \frac{R_{10}}{R_1}$$

Основные допустимые

значение PI	Состояние изоляционного материала
От 1 до 1,5	Не приемлемо (старые виды)
От 2 до 4 (обычно 3)	Хорошая изоляция (старые виды)
Более 4 (очень высокое сопротивление изоляции)	Современные виды (хорошей изоляции)

$$\text{Индекс поляризации } PI = \frac{R_{10}}{R_1}$$

- Ток поглощения (I_{PI}) обычно исчезает через несколько минут.
- Если суммарное сопротивление не увеличивается (индекс поляризации PI мал), это означает, что в общем токе преобладают другие токи (например, поверхностной утечки), которые и определяют малое значение сопротивления изоляции.

Диэлектрический разряд - DD

Изоляционный материал оставляют подключённым к измерительному напряжению на период 10 – 30 минут. Затем разряжают.

Эффект поляризации приводит к заряду ёмкости Ср.

Измеряется ток разряда по истечении 1 мин после начала разряда.

Высокий ток разряда указывает на загрязнение изоляции, в основном, из-за её увлажнения, вызывающего увеличение ёмкости изоляции испытуемого объекта.

$$DD = \frac{I_{\text{разр (1 мин)}, \text{мА}}}{U, \text{В} * C, \text{ф}}$$

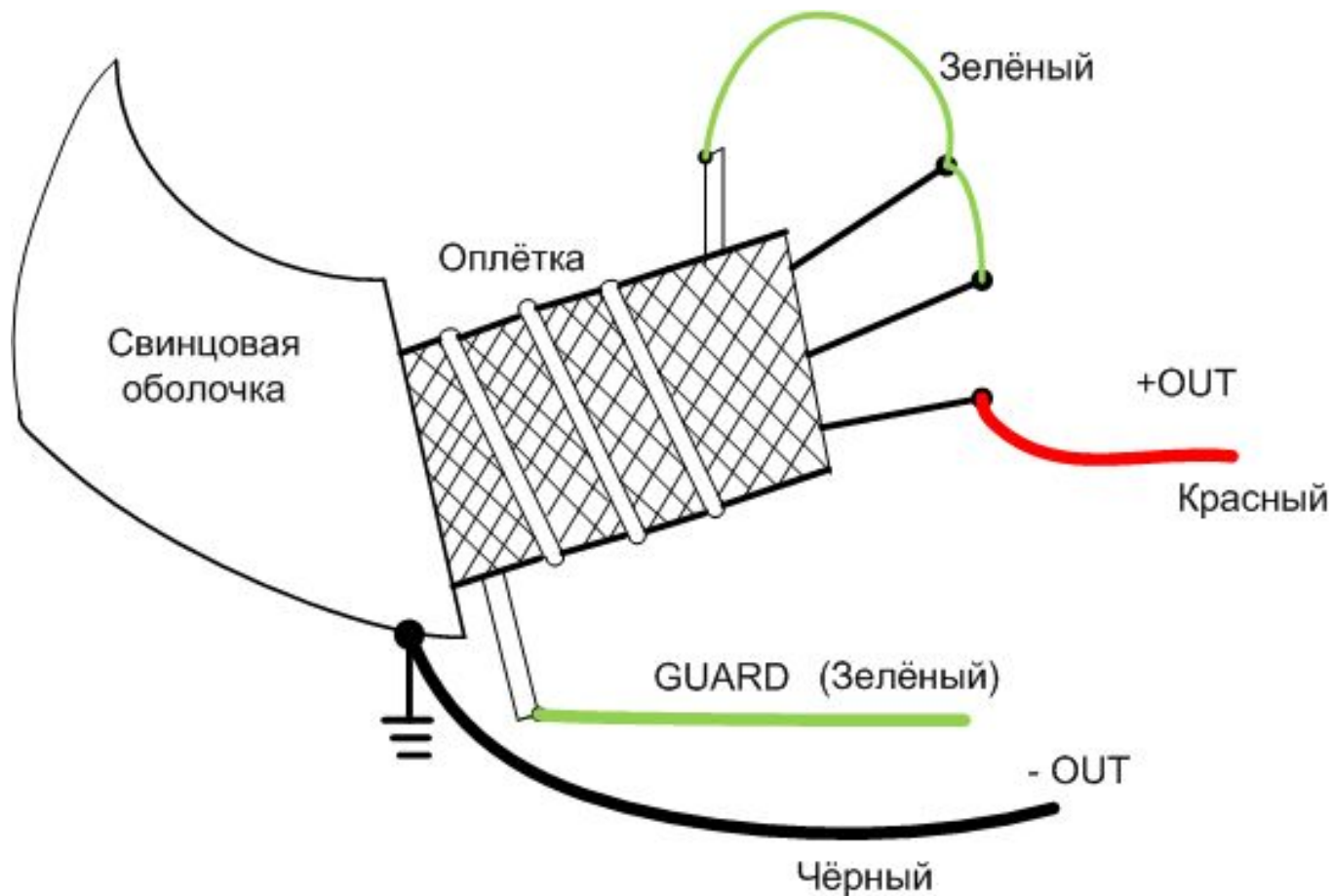
U - напряжение
измерения;
 C - ёмкость объекта измерений.

Ориентировочное значение DD и состояние изоляции

DD	Состояние изоляции
> 4	плохое
2 - 4	критичное
< 2	хорошее

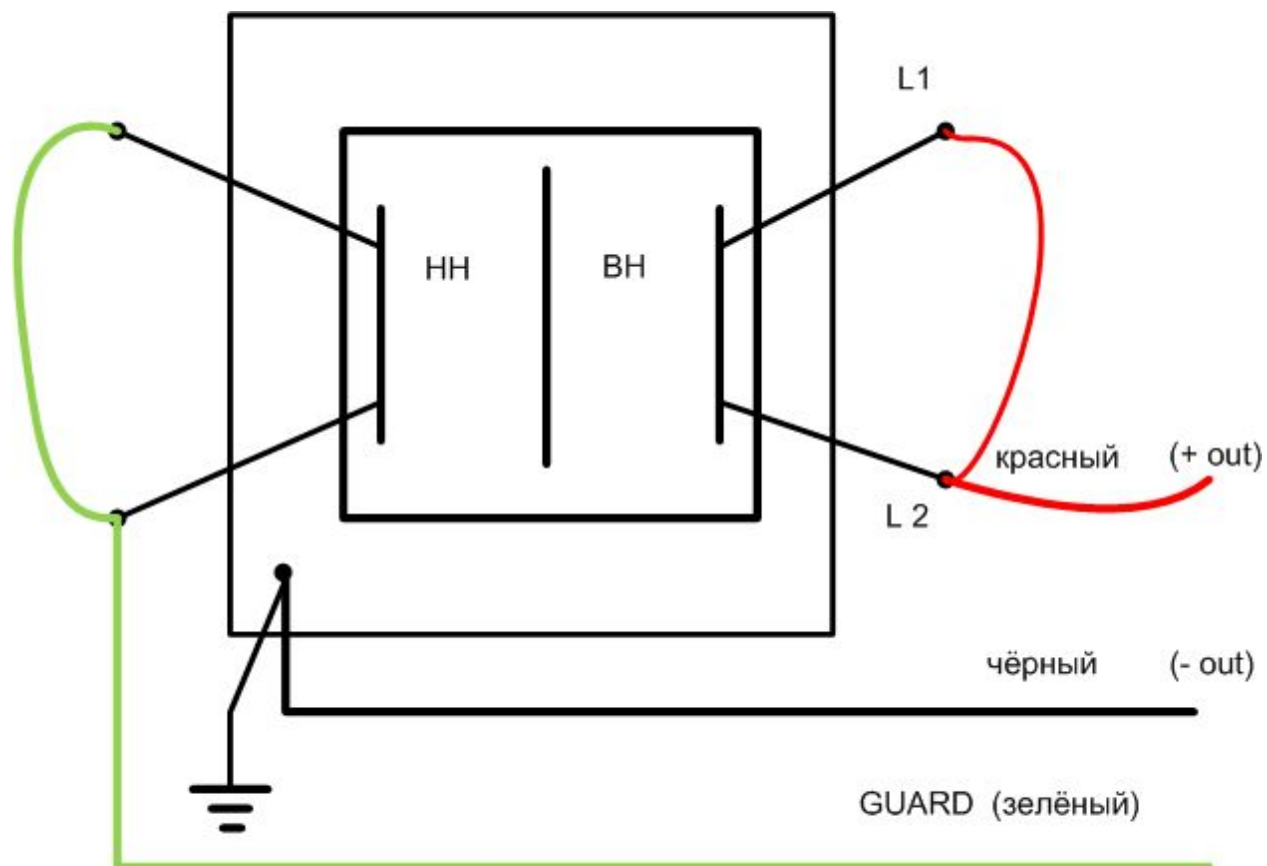
Тест “диэлектрический разряд” (DD) может быть проведён для объекта, ёмкость изоляции которого находится в пределах от 5 нФ до 50 мкФ ($5 \cdot 10^{-9}$ – $5 \cdot 10^{-5}$ Ф).

Измерение сопротивления жилы кабеля



3-х проводный кабель

Измерение сопротивления обмотки ВН-бак трансформатора



2-х обмоточный трансформатор

Условия включения трансформаторов без сушки

- нахождение отношений $\Delta C/C$ и приращений этих значений в конце и начале осмотра, если при монтаже производился осмотр активной части трансформатора вне масла

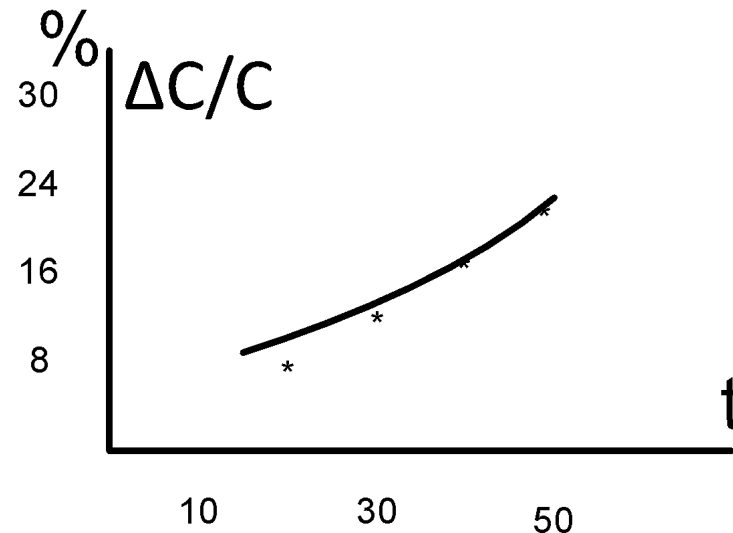
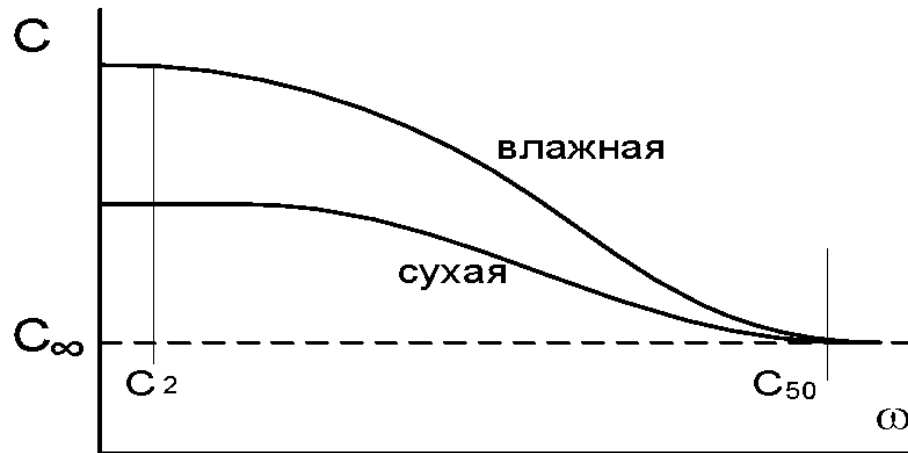


Рис. 1. Максимальные допустимые значения $\Delta C/C$ при различных температурах

Условия включения трансформаторов без сушки

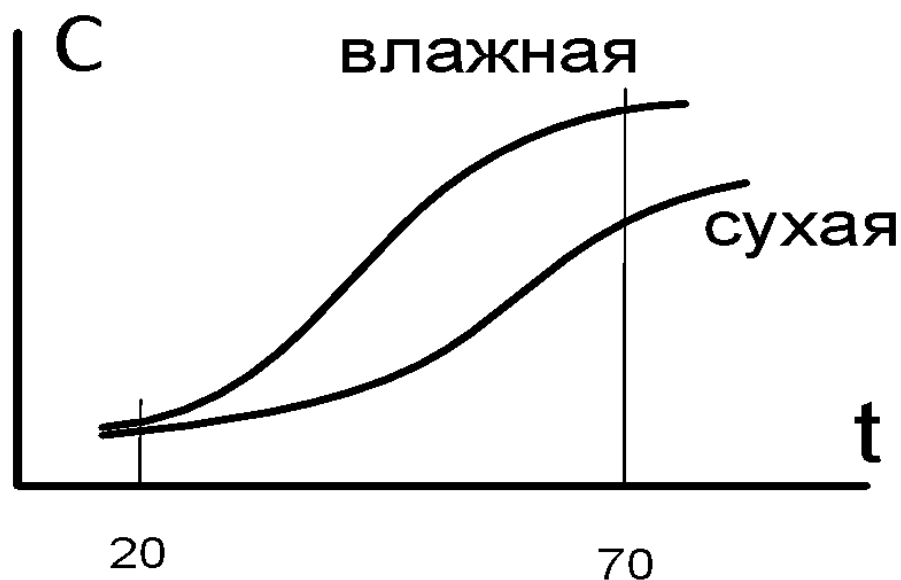
Изменение ёмкости изоляции от частоты

- Измерение емкости и нахождение отношения $C_2/C_{50} < 1,3$



$C_2/C_{50} < 1,3$ - Нормальная изоляция

Изменение ёмкости изоляции от температуры
измерение емкости в нагретом и холодном состояниях и
определением отношения $C_{гор}/C_{хол}$, если по условиям
монтажа необходим подогрев трансформатора в масле (метод
«емкость — температура»).



$$C_{70}/C_{20} < 1,3$$

П, К, Т, М. Измерение тангенса угла диэлектрических потерь ($\operatorname{tg} \delta$) изоляции обмоток

Измерение $\text{tg } \delta$

- Измерения производятся у трансформаторов напряжением 110 кВ и выше.
- Значения $\text{tg } \delta$ изоляции обмоток вновь вводимых в эксплуатацию трансформаторов и трансформаторов, прошедших капитальный ремонт, приведенные к температуре испытаний, при которых определялись исходные значения, с учетом влияния $\text{tg } \delta$ масла не должны отличаться от исходных значений в сторону ухудшения более чем на 50%.
- Измеренные значения $\text{tg } \delta$ изоляции при температуре изоляции 20 °С и выше, не превышающие 1%, считаются удовлетворительными и их сравнение с исходными данными не требуется.

Измерение $\operatorname{tg} \delta$

- Измерение $\operatorname{tg} \delta$ обмоток должно производиться при температуре изоляции не ниже:
- 10°C - у трансформаторов напряжением до 150 кВ включительно;
- 20°C - у трансформаторов напряжением 220-750 кВ.
- Измерение производят при напряжении не более $\frac{2}{3}$ испытательного напряжения обмотки, но не более 10 кВ.

Значения тангенса угла диэлектрических потерь изоляции обмоток

Мощность трансформатора	Значения $\operatorname{tg}\delta$, при температуре $^{\circ}\text{C}$						
	10	20	30	40	50	60	70
До 6300 кВА	1,2	1,5	2,0	2,6	3,4	4,5	6,0
10000 кВА и более	0,8	1,0	1,3	1,7	2,3	3,0	4,0

Приведение к температуре заводских измерений

$\Delta t, ^\circ\text{C}$	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30
K	1,03	1,06	1,09	1,12	1,15	1,31	1,51	1,75	2,0	2,3

Пример:

$$\text{tg}\delta_{\text{ЗAB}} = 0,4\%, \quad t_{\text{ЗAB}} = 31^\circ\text{C};$$

$$\text{tg}\delta_{\text{МОН}} = 0,3\%, \quad t_{\text{МОН}} = 22^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = 9^\circ\text{C}, \quad K_9 = K_4 \cdot K_5 = 1,29$$

Приведение к более высокой температуре (+ 31⁰C)

$$\text{tg}\delta = 0,3 \cdot 1,29 = 0,387 \%$$

Значение $\text{tg}\delta = 0,387 \%$ составляет 97 % значения, измеренного на заводе, т.е. является удовлетворительным.

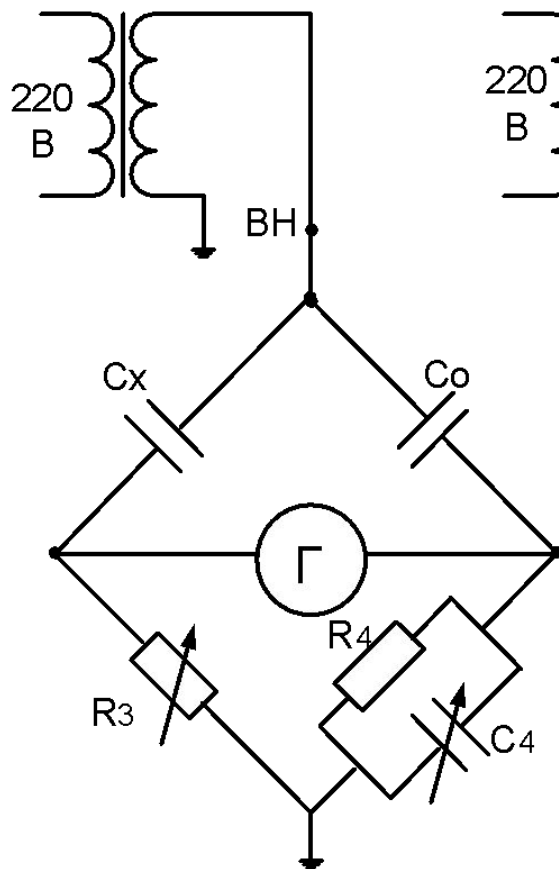
Измерение $\operatorname{tg} \delta$

- На тангенс угла диэлектрических изоляции обмоток влияют свойства трансформаторного масла
- Если значение тангенса угла диэлектрических потерь масла, залитого в трансформатор при монтаже, отличается от заводского значения, то фактическое значение $\operatorname{tg} \delta$:

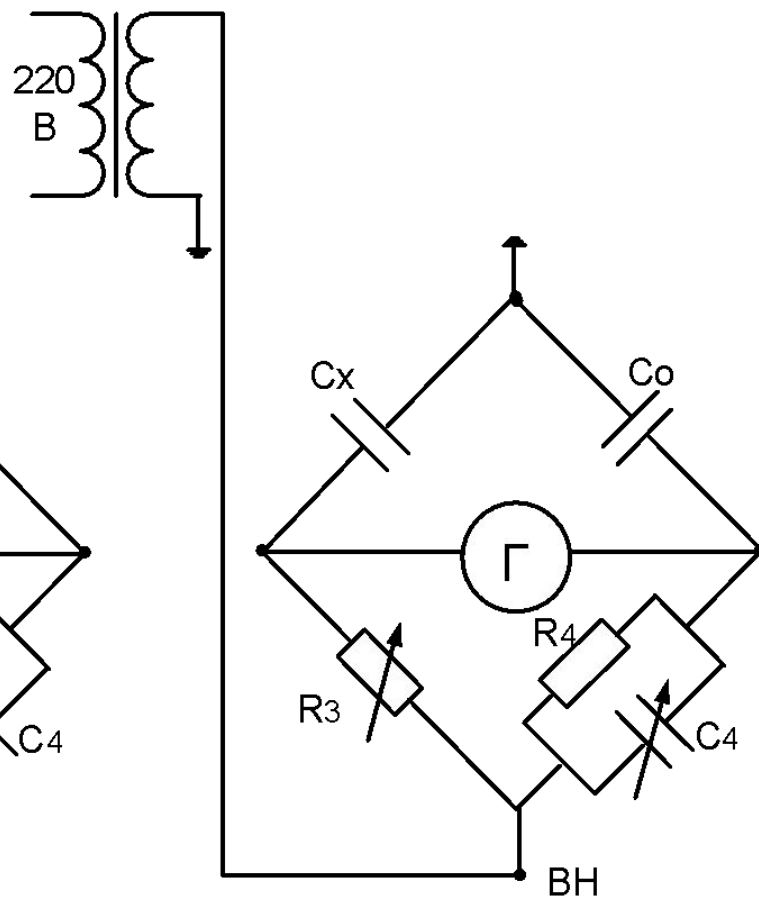
$$\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} \delta_{\text{из.}} - K (\operatorname{tg} \delta_{\text{м.мон.}} - \operatorname{tg} \delta_{\text{м.зав}})$$

$K = 0,45$ - коэффициент приведения, зависящий от конструктивных особенностей трансформатора.

Рис. 1. Принципиальная схема моста Шеринга

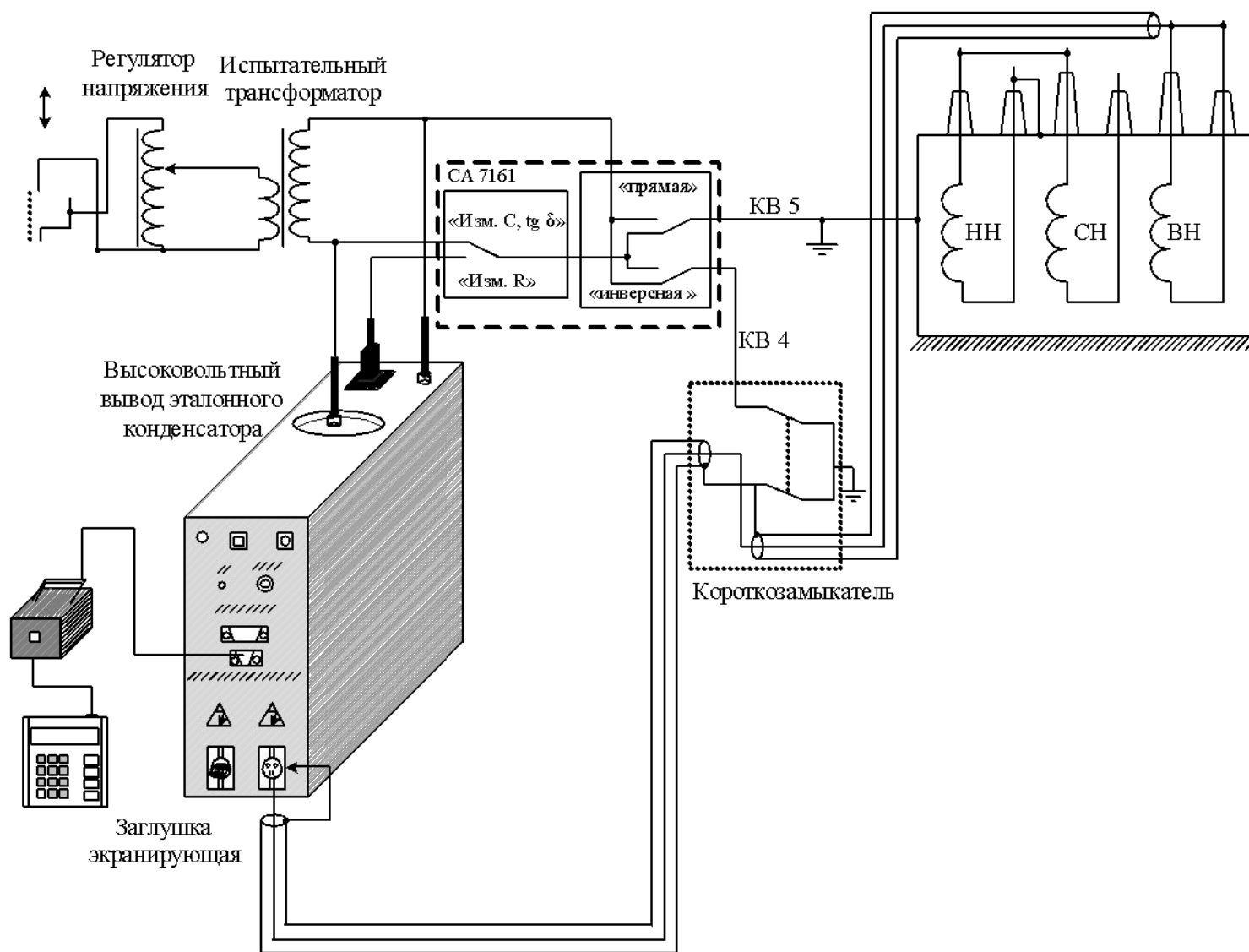


Принципиальная схема моста
("прямая" схема)

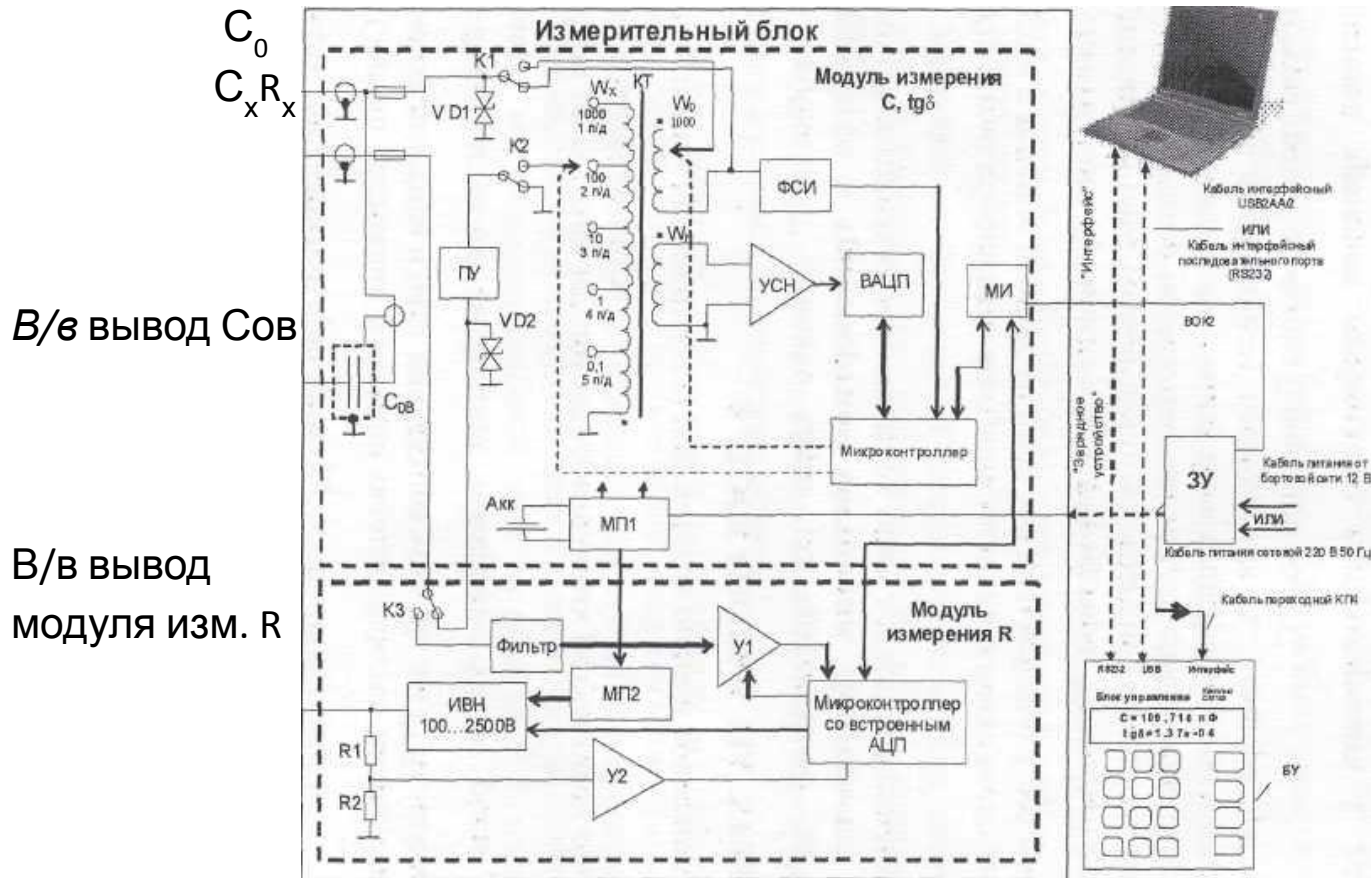


Принципиальная схема моста
("перевёрнутая" схема)

Рис. 2. Схема измерения $\text{tg}\delta$ изоляции между обмоткой ВН и баком (перевёрнутая схема)



Устройство моста



КТ (компаратор токов), эталонный конденсатор (C_0) и объект измерения (C_x) образуют мостовую схему измерения

Компаратор тока работает следующим образом

- Компаратор тока содержит магнитопровод, обмотки W_x первого плеча компаратора тока, обмотку W_0 второго плеча компаратора тока
- Ток I_{cx} в обмотке W_x , создает магнитный поток в магнитопроводе компаратора тока. Ток I_{c0} в W_0 , создаёт магнитный поток, направленный навстречу магнитному потоку, созданному током I_{cx} .
- Обмотка W_N служит для выделения сигнала неравновесия
- Вычисления, необходимые для получения результата, осуществляет процессор, размещенный в *Блоке управления*.

ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ОБМОТОК ПОСТОЯННОМУ ТОКУ

характерными дефектами, которые обнаруживаются при этом измерении, являются:

- обрыв одного или нескольких из параллельных проводов в отводах;
- нарушение пайки;
- недоброкачественный контакт присоединения отводов обмотки к вводам;
- недоброкачественный контакт в переключателях ПБВ или устройствах РПН;
- неправильная установка привода ПБВ. Обычно в условиях монтажа сопротивление измеряют при помощи амперметра и вольтметра методом падения напряжения.

ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ОБМОТОК ПОСТОЯННОМУ ТОКУ

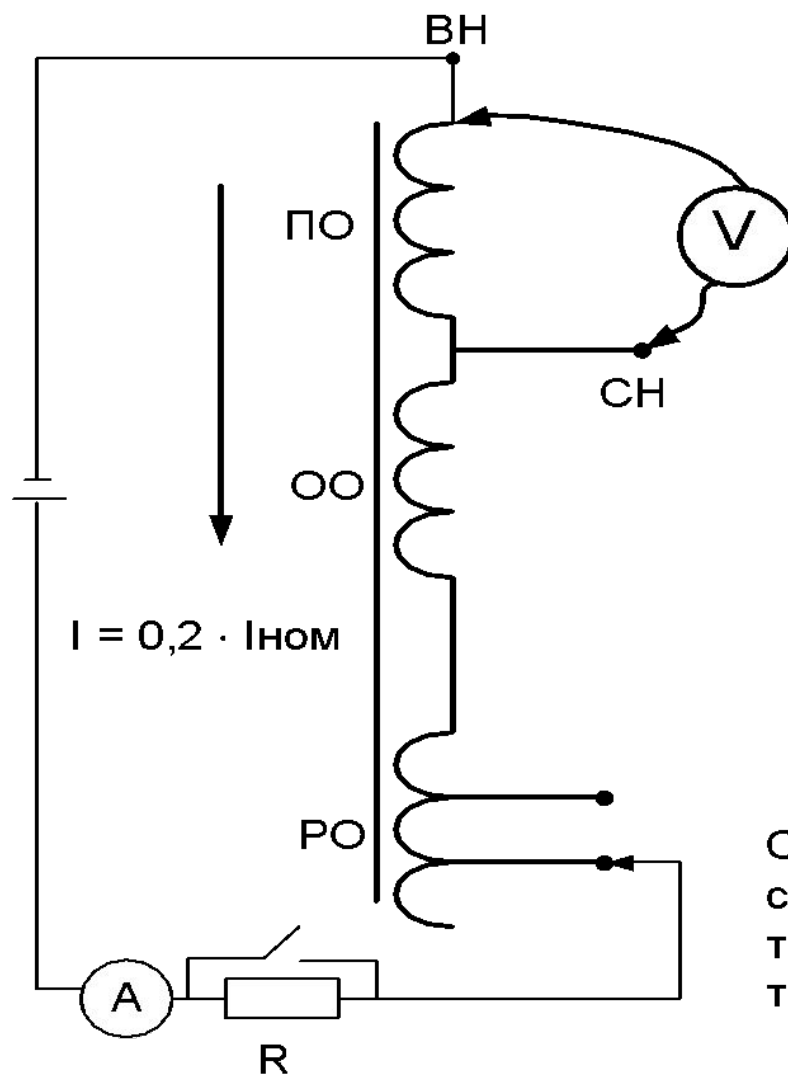


Схема измерения
сопротивления обмотки
трансформатора постоянному
току