

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

«Оренбургский государственный университет»

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий

**В.И. КУВАЙЦЕВ**

# ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМА- ТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМУ

Рекомендовано к изданию Редакционно – издательским советом государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет»

Оренбург 2004

ББК 24.2 я7  
К 89  
УДК 547(07)

Рецензент

кандидат технических наук, доцент Нелюбов В.М.

К 89 **Кувайцев В.И.**  
**Измерительные трансформаторы напряжения: Методические указания к лабораторному практикуму по ЭЧС - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 17 с.**

Методическое указание включает теоретическое изложение материала, конструктивные особенности аппаратов и контрольные вопросы для студентов специальности 100100.

ББК 24.2 я7

© Кувайцев В.И., 2004  
© ГОУ ОГУ, 2004

# 1 Лабораторная работа № 4. Измерительные трансформаторы напряжения

## 1.1 Цель работы

Ознакомиться с назначением, конструкцией и областью применения измерительных трансформаторов напряжения.

## 1.2 Порядок проведения работы

- 1.2.1 Изучить конструкцию трансформаторов напряжения, используя имеющиеся в лаборатории образцы и плакаты.
- 1.2.2 Изучить область применения различных серий трансформаторов напряжения.
- 1.2.3 Изучить схемы соединения трансформаторов напряжения.
- 1.2.4 Подготовить отчет по работе.
- 1.2.5 Ответить на вопросы преподавателя.

## 1.3 Основные положения

Трансформатор напряжения (ТН) предназначен для измерения высокого напряжения с помощью стандартных измерительных приборов, а также для отделения цепей измерения и защиты от первичных цепей высокого напряжения, обеспечивая тем самым безопасность обслуживающего персонала. Первичную обмотку ТН включают параллельно в цепь измеряемого напряжения. К вторичной цепи приборы подключаются также параллельно (рисунок 1).

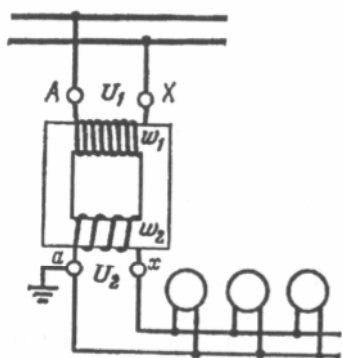


Рисунок 1 - Схема устройства измерительного трансформатора напряжения

Номинальные первичные напряжения ТН стандартизованы в соответствии со шкалой номинальных линейных напряжений сетей. Исключение составляют однофазные ТН, предназначенные для включения в звезду с заземленной нейтралью первичной обмотки, для которых в качестве номинальных первичных напряжений приняты фазные напряжения сетей, например  $35000/\sqrt{3}$  или  $220000/\sqrt{3}$  В. Номинальные вторичные напряжения основных вторичных обмоток ТН установлены равными 100 или  $100/\sqrt{3}$  В. Напряжение  $U_1$  измеряемое с помощью ТН, определяют умножением вторичного напряжения  $U_2$  на номинальный коэффициент трансформации, т.е.  $U_1 = U_2 K_{ном}$ .

Источником погрешности ТН являются падения напряжения в сопротивлениях первичной и вторичной обмоток, определяющиеся их потоками рассеяния и активными потерями. Падение напряжения тем больше, чем больше вторичная

нагрузка (количество параллельно включенных приборов). Таким образом, для ТН рабочим режимом будет являться режим, близким к холостому ходу.

По конструкции различают трехфазные и однофазные трансформаторы. Трехфазные трансформаторы напряжения применяются при напряжении до 20 кВ, однофазные на любые напряжения. По типу изоляции трансформаторы могут быть сухими, масляными и с литой изоляцией.

Обмотки сухих трансформаторов выполняются проводом ПЭЛ, а изоляцией между обмотками служит электрокартон. Такие трансформаторы применяются в установках до 1000 В (НОС-0,5 — трансформатор напряжения однофазный, сухой, на 0,5 кВ).

Трансформаторы напряжения с масляной изоляцией применяются на напряжение 6 — 1150 кВ в закрытых и открытых распределительных устройствах. В этих трансформаторах обмотки и магнитопровод залиты маслом, которое служит для изоляции и охлаждения.

Основные задачи, которые должны быть решены при конструировании трансформатора напряжения, помимо точности измерения заключаются в создании надежной изоляции, способной противостоять перенапряжениям, обеспечении минимальных размеров и массы, безаварийной работы с минимальным уходом.

Ранее трансформаторы для номинального напряжения 6 — 35 кВ выполняли с бумажной изоляцией, погруженной в масло. В качестве примера можно указать на трансформатор НОМ-10 (трансформатор напряжения однофазный масляный, 10 кВ,

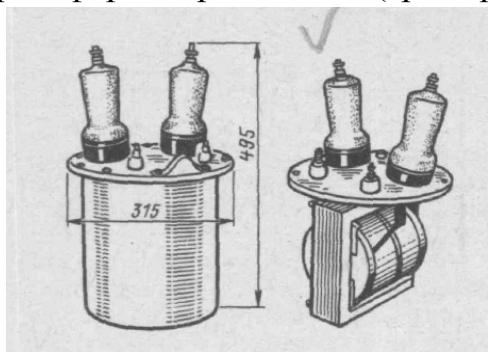


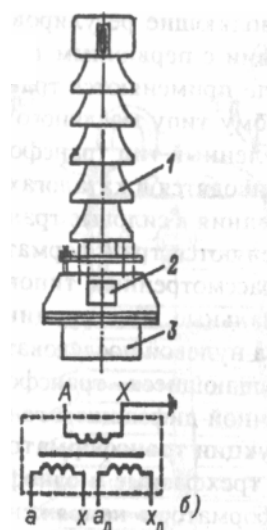
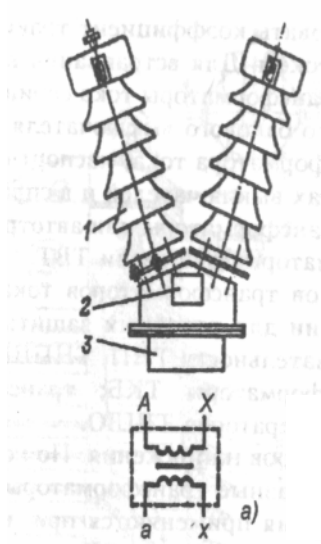
Рисунок 2 - Однофазный трансформатор напряжения типа НОМ.

рисунок 2), Он имеет значительные размеры и массу: его высота составляет 495 мм и масса 36 кг. По мере повышения напряжения размеры, масса и стоимость трансформаторов такой конструкции быстро увеличиваются. Чтобы устранить эти недостатки, необходимо изменить конструкцию трансформатора.

Более совершенной является конструкция с применением однородной изоляции из бумаги, пропитанной маслом, похожую на изоляцию маслонаполненного кабеля. Масляные каналы

устранены. Это позволило резко уменьшить изоляционные расстояния, размеры магнитопровода и кожуха. Изоляция вводов является продолжением изоляции обмотки и входит в фарфор изоляторов. Масло в изоляторах сообщается с маслом в кожухе. Воздушное пространство под крышкой отсутствует. Количество масла резко уменьшено. На рисунке 3, а показан внешний вид однофазного трансформатора типа НОМ-35-66, 35000/100 В, предназначенного для измерения линейного напряжения, а на рис. 3,б — трансформатора типа ЗНОМ-35 для измерения напряжения между проводом и землей. Трансформатор имеет один ввод, изолированный на полное напряжение. Конец обмотки присоединен к заземленному кожуху.

-Следует отличать однофазные двухобмоточные трансформаторы НОМ-6, НОМ-10, НОМ-15, НОМ-35 от однофазных трехобмоточных ЗНОМ-15, ЗНОМ-20, ЗНОМ-35 (рисунок 3).



*a*- типа НОМ-35; *б* - типа ЗНОМ-35; 1 - ввод высокого напряжения; 2 — коробка вводов НН; 3 — бак

Рисунок 3 - Трансформаторы напряжения однофазные масляные

Схема соединения обмоток первых показана на рисунке 3,а. Такие трансформаторы имеют два ввода ВН и два ввода НН. Их можно соединить по схеме открытого треугольника, звезды и треугольника. У трансформатора второго типа (рисунок 3,б) один конец обмотки ВН заземлен, единственный ввод ВН расположен на крышке, а вводы НН – на боковой стенке бака. Обмотка ВН рассчитана на фазное напряжение, основная обмотка НН — на  $100/\sqrt{3}$  В, дополнительная обмотка — на  $100/3$  В. Такие трансформаторы называются заземляемыми и соединяются

по схеме, показанной на рисунке 4.

Трансформаторы типов ЗНОМ-15, ЗНОМ-20, ЗНОМ-24 устанавливаются в комплектных шинопроводах мощных генераторов. Для уменьшения потерь от намагничивания их баки выполняются из немагнитной стали.

На рисунке 5 показана установка такого трансформатора в комплектном токопроводе. Трансформатор с помощью ножевого контакта 3, расположенного на вводе ВН, присоединяется к пружинящим контактам, закрепленным на токопроводе 1, закрытом экраном 2. К патрубку 5 со смотровыми люками 4 болтами 6 прикреплена крышка трансформаторов. Таким образом, ввод ВН трансформатора находится в закрытом отростке экрана токопровода. Зажимы обмоток НН выведены на боковую стенку бака и закрываются отдельным кожухом.

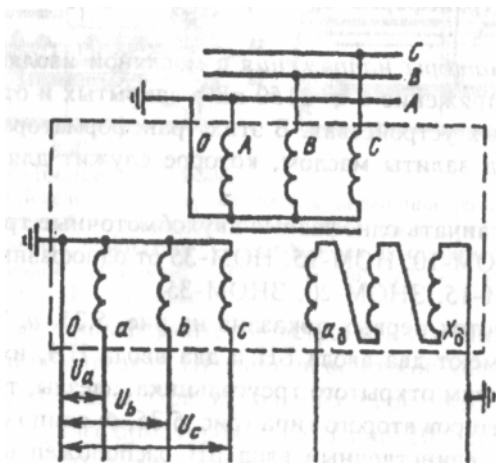


Рисунок 4 - Схемы соединения обмоток трансформаторов напряжения

обмоток НН выведены на боковую стенку бака и закрываются отдельным кожухом.

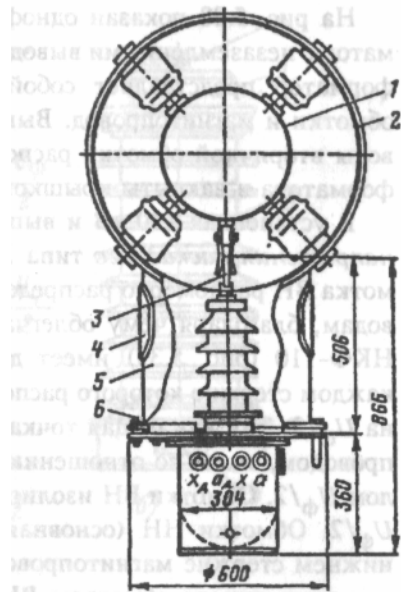


Рисунок 5 - Установка трансформатора напряжения ЗНОМ-20 в комплекте токопроводе.

Трехфазные масляные трансформаторы типа НТМИ имеют пятистержневой магнитопровод и три обмотки, соединенные по схеме, показанной на рисунке 4. Такие трансформаторы предназначены для присоединения приборов контроля изоляции и в настоящее время уже не используются.

Массовое применение нашли трансформаторы напряжения с литой изоляцией. Эти трансформаторы имеют небольшую массу, могут устанавливаться в любом положении, пожаробезопасны.

На рисунке 6 показан однофазный двухобмоточный трансформатор с незаземленными выводами типа НОЛ.08-6 на 6 кВ. Трансформатор представляет собой литой блок (рисунок 7), в который залиты обмотки и магнитопровод. Выводы первичной обмотки А, Х, выводы вторичной обмотки

расположены на переднем торце трансформатора и закрыты крышкой. Трансформаторы серии НОЛ.08 предназначены для замены НОМ-6 и НОМ-10.



Рисунок 6

Трансформатор предназначен для установки в комплектные распределительные устройства (КРУ) или закрытые распределительные устройства (ЗРУ) и служит для питания электрических измерительных приборов, цепей защиты и сигнализации в электроустановках переменного тока частоты 50 и 60 Гц.

Трансформатор предназначен для эксплуатации при условиях:

- высота установки над уровнем моря не более 1000 м;
- температура окружающего воздуха: нижнее значение - минус 45°C, верхнее + 60°C;

- относительная влажность воздуха 100 % при 35°C;
- окружающая среда невзрывоопасная, не содержащая агрессивных газов и паров в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию,
- отсутствие непосредственного воздействия солнечной радиации;
- рабочее положение в пространстве - любое.

Технические характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1

Наименование параметра	Нормы для типов		
	НОЛ.08-6УТ		НОЛ.08-10УТ
Класс напряжения, кВ	3	6	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	3,6	7,2	12
Номинальное напряжение первичной обмотки, В	3000 3300	6000 6300 6600 6900	10000 11000
Номинальное напряжение вторичной обмотки, В	100 или 110		
Номинальная частота, Гц	50 или 60		
Номинальная мощность, В А, в классе точности:			
0,2	15	30	50
0,5	30	50	75
1,0	50	75	150
3,0	75	200	300
Предельная мощность вне класса точности, В А	150	400	630
Группа соединения обмоток	1/1-0		
Масса, кг	26,5±1,5		28,5±1,5

**Примечание:** У трансформаторов с номинальным напряжением первичной обмотки 6600 и 11000 В номинальное напряжение вторичной обмотки 110 В. Трансформаторы класса точности 0,2 изготавливаются только с номинальным напряжением вторичной обмотки 100 В.

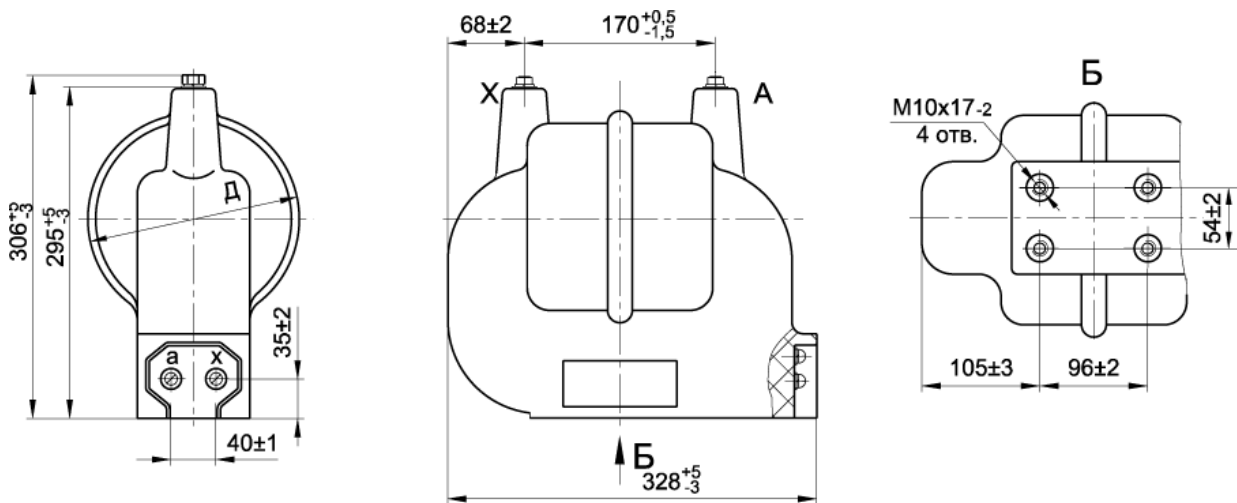
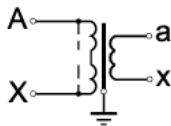


Схема трансформатора



Тип трансформатора	Д, мм
НОЛ.08-6УТ2	188±3
НОЛ.08-10УТ2	212±3

Рисунок 7

Заземляемые трансформаторы напряжения серии ЗНОЛ.06 (рисунок 8) имеют пять исполнений по номинальному напряжению: 6, 10, 15, 20 и 24 кВ. Магнитопровод в них ленточный, разрезной, С-образный, что позволило увеличить класс точности до 0,2. Трансформаторы ЗНОЛ.06 предназначены для установки в КРУ и комплектных токопроводах турбогенераторов вместо масляных трансформаторов НТМИ и ЗНОМ. Он



Рисунок 8

служит для питания цепей измерения, автоматики, сигнализации и защиты в электрических установках переменного тока частоты 50 и 60 Гц в сетях с изолированной нейтралью. Допускается длительная эксплуатация трансформаторов как силовых. При этом мощность, отдаваемая трансформатором, не должна превышать предельную мощность, и нагрузка должна подключаться к основной вторичной обмотке.

Трансформаторы изготавливаются в климатическом исполнении "У" и "Т" категории размещения 3 по ГОСТ 15150, предназначены для эксплуатации при условиях:

- высота установки над уровнем моря не более 1000 м;
- температура окружающего воздуха с учетом превышения температуры воздуха в токопроводе или КРУ при нагрузке трансформаторов предельной мощностью:
- для исполнения УЗ - от минус 45 до плюс 50°С,



- для исполнения ТЗ - от минус 10 до плюс 55°C.

### Примечание

Окружающая среда невзрывоопасная, не содержащая агрессивных газов и паров в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию. Отсутствие непосредственного воздействия солнечной радиации. Рабочее положение в пространстве - любое.

Таблица 2 - Технические данные

Наименование параметра	Нормы для типов					
	ЗНОЛ.06-6УЗ		ЗНОЛ.06-10УЗ	ЗНОЛ.06-15УЗ	ЗНОЛ.06-20УЗ	ЗНОЛ.06-24УЗ
	ЗНОЛ.06-6ТЗ		ЗНОЛ.06-10ТЗ	ЗНОЛ.06-15ТЗ	ЗНОЛ.06-20ТЗ	ЗНОЛ.06-24ТЗ
Класс напряжения, кВ	3	6	10	15	20	24
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	3,6	7,2	12	17,5	24	26,5
Номинальное напряжение первичной обмотки, В	3000/□3 3300/□3	6000/□3 6300/□3 6600/□3 6900/□3	10000/□3 11000/□3	13800/□3 15750/□3	18000/□3 20000/□3	24000/□3
Номинальное напряжение осн. вторичной обмотки, В	100/□3					
Номинальное напряжение доп. вторичной обмотки, В	100/3 или 100					
Номинальная мощность, В□А, в классе точности:						
0,2	15	30	50			
0,5	30	50	75			
1,0	50	75	150			
3,0	150	200	300			
Номинальная мощность доп. вторичной обмотки в классе точности 3, В□А	150	200	300			
Предельная мощность вне класса точности, В□А	250	400	630			
Группа соединения обмоток	1/1/1-0-0					

Трехфазная антирезонансная группа трансформаторов напряжения ЗхЗ-НОЛ.06-6 И ЗхЗНОЛ.06-10 (рисунок 9)

предназначена для установки в комплектные распределительные устройства (КРУ) или закрытые распределительные устройства (ЗРУ) и служит для питания электрических измерительных приборов, цепей защиты и сигнализации в электроустановках переменного тока частоты 50 или 60 Гц. Устойчива к феррорезонансу и (или) воздействию перемежающейся дуги в случае замыкания одной из фаз сети на землю. Трехфазная группа предназначена для эксплуатации при условиях:

- высота установки над уровнем моря не более 1000 м;
- температура окружающего воздуха с учетом превышения температуры воздуха в КРУ при нагрузке трансформаторов предельной мощностью: для исполнения "УЗ" - от минус 45 до плюс 50° С; для исполнения "ТЗ" - от минус 10 до плюс 55° С;

- относительная влажность воздуха не более 98% при 25° С для исполнения "УЗ" и при 35° С для исполнения "ТЗ";

- окружающая среда невзрывоопасная, не содержащая агрессивных газов и паров в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию;

- отсутствие непосредственного воздействия солнечной радиации;

- рабочее положение в пространстве - любое.

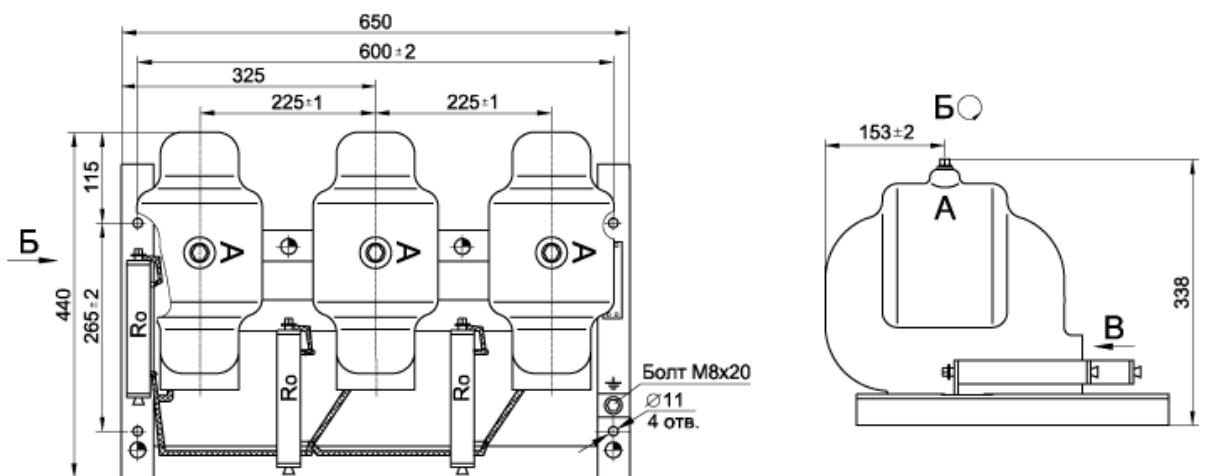
Технические данные этих трансформаторов приведены в таблице 3.

Таблице 3

Класс напряжения, кВ	6	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2	12
Номинальное линейное напряжение на выводах первичной обмотки, В	6000, 6300	10000,
	6600, 6900	11000
Напряжение на выводах разомкнутого треугольника дополнительных вторичных обмоток:		
Номинальное линейное напряжение на выводах основной вторичной обмотки, В	100	
при симметричном режиме работы сети, В, не более	3	
при замыкании одной из фаз сети на землю, В	от 90 до 110	
Мощность нагрузки на выводах разомкнутого треугольника дополнительной вторичной обмотки при напряжении 100 В и коэффициенте мощности нагрузки 0,8 (характер нагрузки индуктивный), В·А	200	300

Продолжение таблицы 3

Схема группы и соединения обмоток трехфазной группы	50 или 60				
Номинальная частота, Гц					
Масса, кг	93		99		
Тип резисторов R	Норма для типа				
	Кол. шт.	3x3НОЛ.06-6 У3(Т3)		3x3НОЛ.06-10 У3(Т3)	
		Ом	Вт	Ом	Вт
C5-35B 3±5% кОм, 100 Вт	3	1000	300	-	0
C5-35B 2,4±5% кОм, 100 Вт	3	-	-	800	300



Общий вид группы 3x3НОЛ.06-6 и 3x3НОЛ.06-10

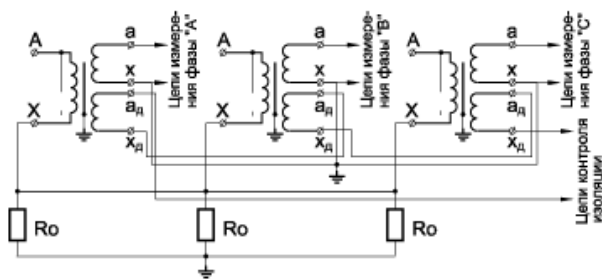
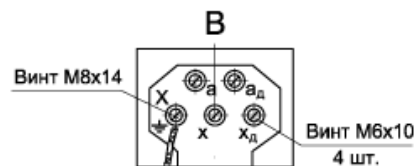


Схема группы



1. Заземление выводов вторичных обмоток по усмотрению потребителя.
2. Заземление плиты для установки трансформаторов к магистрали - обязательно!

Рисунок 9



Для питания электрических измерительных приборов, цепей защиты и сигнализации в электроустановках напряжением 35 кВ применяются заземляемые трансформаторы напряжения ЗНОЛ-35Б УХЛ 1 и ЗНОЛ-35Б Т1(рисунок 10)

Значения температуры воздуха при эксплуатации - от минус 60°С до плюс 40°С с относительной влажностью воздуха 100% при 25°С для исполнения "УХЛ 1" и от минус 10°С до плюс 55°С с относительной влажностью воздуха 100% при 35°С для исполнения "Т1".

Технические данные этих ИТН приведены в таблице 4.

Рисунок10

Таблица 4

Наименование параметров	Нормы для источников		
	35000/□3	27500	27500
Номинальное напряжение первичной обмотки, В	35000/□3	27500	27500
Номинальное напряжение основной вторичной обмотки, В	100/□3	100	100-127-230
Номинальное напряжение дополнительной вторичной обмотки, В	100/3	127	
Номинальная мощность основной и вторичной обмотки, В□А в классе точности			
	0,5	150	150
	1	300	300
	3	600	600
Номинальная мощность дополнительной вторичной обмотки, В□А, в классе точности 3	100/3	400 (вне класса точности)	400 (вне класса точности)
Предельная мощность вне класса точности, В□А	1000	1000	1000
Схема и группа соединения оомоток	1/1/1-0-0	1/1/1-0-0	1/1-0
Вид изоляции	литая	литая	Литая
Масса, кг	110 max	110 max	110 max
Схема трансформатора	Рис. 12	Рис.12	Рис13

Присоединительные размеры трансформатора приведены на рисунке 11, а схемы соединения обмоток на рисунках 12 и 13

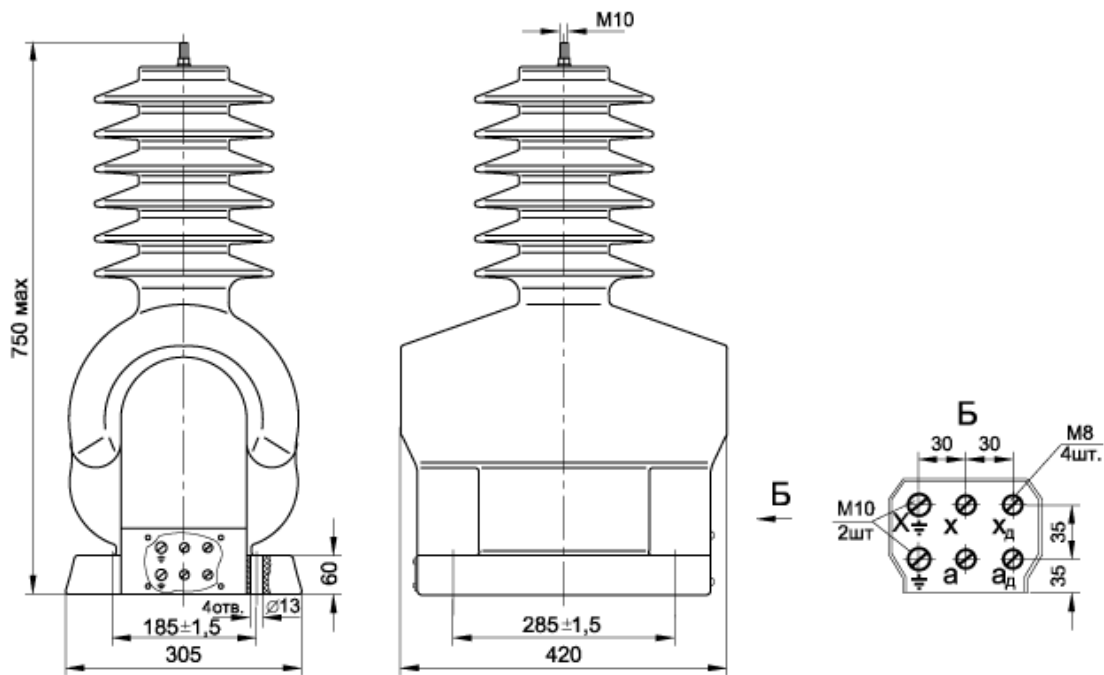
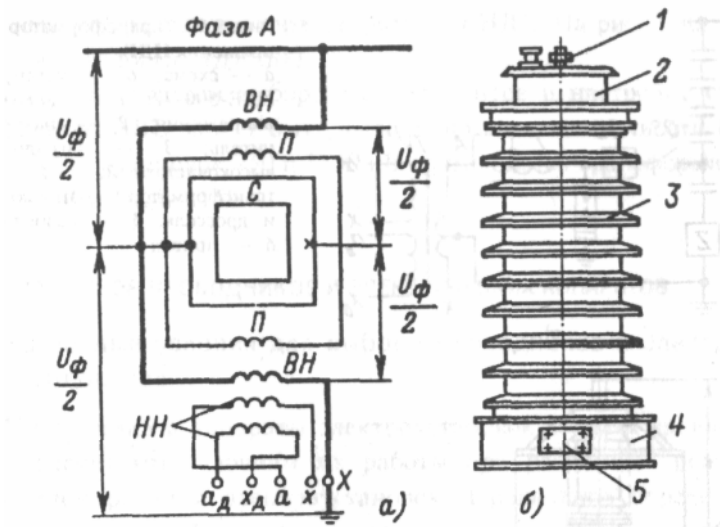


Рисунок 11 – Общий вид трансформатора ЗНОЛ-35Б



*a* — схема; *б* — конструкция; 1 — ввод высокого напряжения; 2 — масло-расширитель; 3 — фарфоровая рубашка; 4 — основание; 5 — коробка вводов НН  
Рисунок 14.- Трансформатор напряжения НКФ-110:

Схема трансформатора

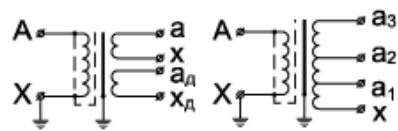


Рисунок 12 Рисунок 13

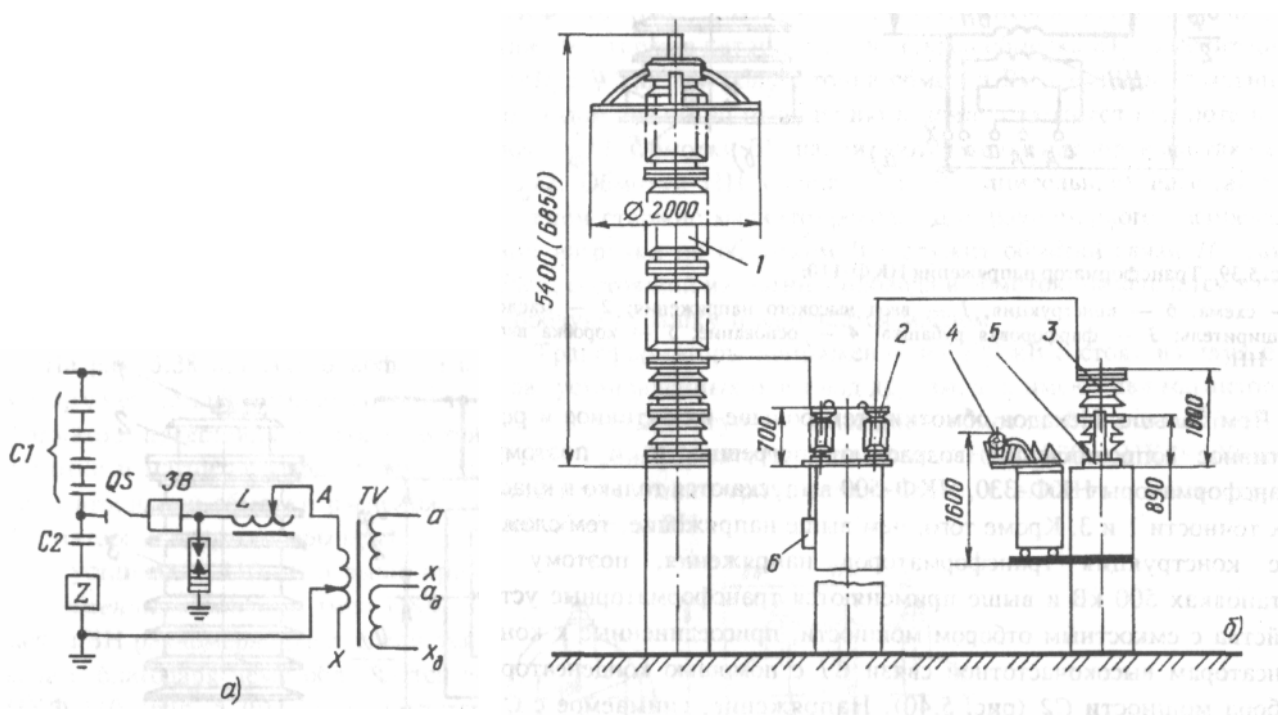
В установках 110 кВ и выше применяются трансформаторы напряжения каскадного типа НКФ. В этих трансформаторах обмотка ВН равномерно распределяется по нескольким магнитопроводам, благодаря чему облегчается ее изоляция. Трансформатор НКФ-110 (рисунок 14) имеет двухстержневой магнитопровод, на каждом стержне которого расположена обмотка ВН, рассчитанная на  $U_{\phi}/2$ . Так как общая точка обмотки ВН соединена с магнитопроводом, то он по отношению к земле находится под потенциалом  $U_{\phi}/2$ . Обмотки

рассчитанная на  $U_{\phi}/2$ . Так как общая точка обмотки ВН соединена с магнитопроводом, то он по отношению к земле находится под потенциалом  $U_{\phi}/2$ . Обмотки

ВН изолируются от магнитопровода также на  $U_{\phi} / 2$ . Обмотки НН (основная и дополнительная) намотаны на нижнем стержне магнитопровода. Для равномерного распределения нагрузки по обмоткам ВН служит обмотка связи  $L$ . Такой блок, состоящий из магнитопровода и обмоток, помещается в фарфоровую рубашку и заливается маслом.

Трансформаторы напряжения на 220 кВ состоят из двух блоков, установленных один над другим, т.е. имеют два магнитопровода и четыре ступени каскадной обмотки ВН с изоляцией на  $U_{\phi} / 4$ . Трансформаторы напряжения НКФ-330 и НКФ-500 соответственно имеют три и четыре блока, т.е. шесть и восемь ступеней обмотки ВН.

Чем больше каскадов обмотки, тем больше их активное и реактивное сопротивление, возрастают погрешности, и поэтому трансформаторы НКФ-330, НКФ-500 выпускаются только в классах точности 1 и 3. Кроме того, чем выше напряжение, тем сложнее конструкция трансформаторов напряжения, поэтому в установках 500 кВ и выше применяются трансформаторные устройства с емкостным отбором мощности, присоединенные к конденсаторам высокочастотной связи  $C1$  с помощью конденсатора отбора мощности  $C2$  (рисунок 15). Напряжение, снимаемое с  $C2$  (10 — 15 кВ), подается на трансформатор  $TV$ , имеющий две вторичные обмотки, которые соединяются по такой же схеме, как и у трансформаторов, как и у трансформаторов НКФ или ЗНОМ.



а — схема; б — установка НДЕ-500-72: 1 — делитель напряжения; 2 - - разъединитель; 3 — заградитель высокочастотный; 4 — трансформатор напряжения и дроссель; 5 — разрядник; 6 — привод

Рисунок 15 - Трансформатор напряжения НДЕ

Для увеличения точности работы в цепь его первичной обмотки включен дроссель  $L$ , с помощью которого контур отбора напряжения настраивается в резонанс с конденсатором  $C2$ . Дроссель  $L$  и трансформатор  $TU$  встраиваются в общий бак и заливаются маслом. Заградитель  $3B$  не пропускает токи высокой частоты в трансформатор напряжения. Фильтр присоединения  $Z$  предназначен для подключения высокочастотных постов защиты. Такое устройство получило название емкостного трансформатора напряжения НДЕ. На рис.15,б показана установка НДЕ-500.

При надлежащем выборе всех элементов и настройке схемы устройство НДЕ может быть выполнено на класс точности 0,5 и выше. Для электроустановок 750 и 1150 кВ применяются трансформаторы НДЕ-750 и НДЕ-1150.

В таблице 5 приведены рекомендации замены по техническим характеристикам ранее выпускаемых ИТН более совершенными, например ИТН, выпускаемых ОАО «Свердловским заводом трансформаторов тока»(СЗТТ).

Таблица 5

Типы заменяемых трансформаторов.	Замена ОАО "СЗТТ"
Трансформаторы напряжения.	
НОМ-6	НОЛ.08-6
НОМ-10	НОЛ.08-10
НТМК-6, НТМИ-6, НАМИ-6, НАМИТ-10(6)	3хЗНОЛ.06-6
НТМК-10, НТМИ-10, НАМИ-10, НАМИТ-10	3хЗНОЛ.06-10
ЗНОМ-15	ЗНОЛ.06-6, ЗНОЛ.06-10, ЗНОЛ.06-15
ЗНОМ-20	ЗНОЛ.06-20
ЗНОМ-24	ЗНОЛ.06-24
ЗНОМ-35	ЗНОЛ-35

## 1.4 Контрольные вопросы

- 1.4.1 Назначение измерительных трансформаторов напряжения.
- 1.4.2 Классификация измерительных трансформаторов напряжения.
- 1.4.3 Конструкция измерительных трансформаторов напряжения.
- 1.4.4 Область применения измерительных трансформаторов напряжения.
- 1.4.5 Выбор измерительных трансформаторов напряжения.

## Список использованных источников

- 1 Электрическая часть станций и подстанций: Учеб. для вузов/ А.А. Васильев, И.П. Крючков, Е.Ф. Няшкова и др.; Под. ред. А.А. Васильева.- М.: Энергоатомиздат, 1990.- 578с.
- 2 Церазов А.Л., Старшинов В.А., Васильева А.П. Электрическая часть тепловых электростанций: Учеб. для вузов/ Под. ред. В.А. Старшинова.- М.: Издательство МЭИ, 1995.- 368с.
- 3 ОАО «Электрозавод»: Трансформаторы для России // Новости электротехники.- 2001.-№2.- С.8.
- 4 ОАО "Запорожский завод высоковольтной аппаратуры" // Новости электротехники.- 2002.-№4. – С.16.
- 5 АББ УЭТМ: производит и поставляет// Новости электротехники.- 2002.-№5. – С.17.
- 6 Трансформаторы. Свердловская гамма// Новости электротехники.- 2003.-№2. – С.20.