

Силовые масляные трансформаторы ТМ и ТМГ

В инфраструктуре электроснабжения промышленных производств и населённых пунктов силовой трансформатор выполняет одну из ключевых функций. Именно силовой трансформатор преобразует уровень напряжения электрической энергии для дальнейшего её распределения к конечным потребителям.

Маслонаполненные распределительные трансформаторы ТМГ с герметичным баком и трансформаторы ТМ с расширителем, 3-фазного исполнения – статические устройства с двумя обмотками: высоковольтными и низковольтными. Номинальная полная мощность варьируется от 16 до 2500кВА.

Рассмотрим два типа силовых маслонаполненных трансформаторов, наиболее востребованных в распределительной сети 10(6)/0,4кВ:

1. Герметичный трансформатор серии ТМГ классом напряжения 10(6), 20 кВ;
2. Трансформатор серии ТМ с масляным расширительным баком и регулятором напряжения, переключающим ответвления обмоток без возбуждения с отключением от сети (Далее – ПБВ).

Модели трансформаторов ТМГ и ТМ чаще всего применяются для использования в составе комплектных трансформаторных подстанций, питающих электроэнергией городские и производственные объекты и составляющих основу распределительных сетей среднего напряжения.



Рисунок 1 - Структура условного обозначения трансформаторов ТМ и ТМГ.

По вопросам продаж и поддержки обращайтесь:

Архангельск (8182)63-90-72
Астана +7(7172)727-132
Астрахань (8512)99-46-04
Барнаул (3852)73-04-60
Белгород (4722)40-23-64
Брянск (4832)59-03-52
Владивосток (423)249-28-31
Волгоград (844)278-03-48
Вологда (8172)26-41-59
Воронеж (473)204-51-73
Екатеринбург (343)384-55-89
Иваново (4932)77-34-06
Ижевск (3412)26-03-58
Иркутск (395) 279-98-46
Киргизия (996)312-96-26-47

Казань (843)206-01-48
Калининград (4012)72-03-81
Калуга (4842)92-23-67
Кемерово (3842)65-04-62
Киров (8332)68-02-04
Краснодар (861)203-40-90
Красноярск (391)204-63-61
Курск (4712)77-13-04
Липецк (4742)52-20-81
Магнитогорск (3519)55-03-13
Москва (495)268-04-70
Мурманск (8152)59-64-93
Набережные Челны (8552)20-53-41
Нижний Новгород (831)429-08-12
Казахстан (772)734-952-31

Новокузнецк (3843)20-46-81
Новосибирск (383)227-86-73
Омск (3812)21-46-40
Орел (4862)44-53-42
Оренбург (3532)37-68-04
Пенза (8412)22-31-16
Пермь (342)205-81-47
Ростов-на-Дону (863)308-18-15
Рязань (4912)46-61-64
Самара (846)206-03-16
Санкт-Петербург (812)309-46-40
Саратов (845)249-38-78
Севастополь (8692)22-31-93
Симферополь (3652)67-13-56
Таджикистан (992)427-82-92-69

Смоленск (4812)29-41-54
Сочи (862)225-72-31
Ставрополь (8652)20-65-13
Сургут (3462)77-98-35
Тверь (4822)63-31-35
Томск (3822)98-41-53
Тула (4872)74-02-29
Тюмень (3452)66-21-18
Ульяновск (8422)24-23-59
Уфа (347)229-48-12
Хабаровск (4212)92-98-04
Челябинск (351)202-03-61
Череповец (8202)49-02-64
Ярославль (4852)69-52-93

Принцип работы силового трансформатора

Трансформатор – статическое устройство для преобразования тока и напряжения, принцип действия которого строится на явлении взаимной индукции.

Двухобмоточный трансформатор состоит из остова, магнитопровода из шихтованного электротехнического железа. Работа происходит следующим образом:

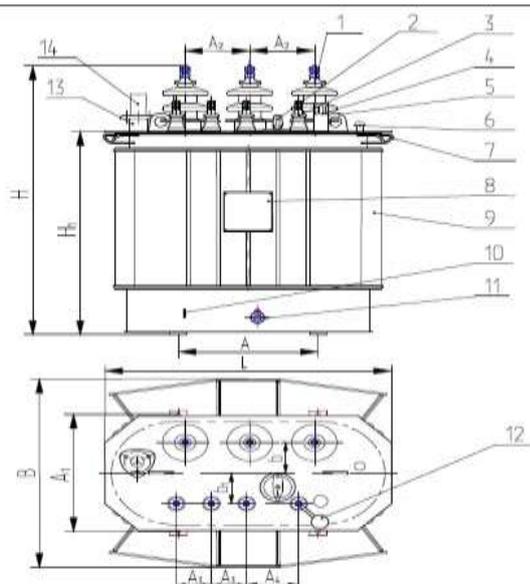
1. Слоевые обмотки первичного и вторичного напряжения размещаются на стальном остове из электротехнической стали (магнитопровод). При разомкнутой вторичной обмотке, на первичную подается напряжение, что вызывает протекание по «первичке» тока холостого хода.
2. Ток создает намагничивающую силу, в результате которой появляется магнитное поле.
3. Магнитным полем создается магнитный поток Φ , замыкаемый по сердечнику. Происходит это из-за того, что магнитная проницаемость стали магнитопровода намного выше, чем у воздуха.
4. В результате магнитный поток сцепляется с витками обмоток, где по закону электромагнитной индукции наводится электродвижущая сила ЭДС..

Общие конструктивные сведения

Трансформатор включает следующие основные элементы:

1. Трансформаторный бак – выполняет функцию корпуса прямоугольной формы, в него помещена активная часть. На верхней крышке и на стенках бака расположены другие элементы конструкции.
2. Выводы обмоток с изоляторами выполняют функцию высоковольтного и низковольтного вводов.
3. Активная часть, состоящая из остова, обмоток ВН и НН с ответвлениями, изолированных вводов, выводов и регулятора ПБВ.
4. Контрольно-измерительные устройства и приборы: термометр, маслоуказатель, иногда мановакуумметр и газовое реле, по отдельному требованию заказчика – контроль рабочего состояния трансформатора.
5. 5. Дополнительная аппаратура: рукоять переключателя обмоток (ПБВ), клапан сброса давления – защита и регулировка.

Конструктивные особенности трансформатора ТМГ



- 1 - ввод ВН; 2 - переключатель; 3 - ввод НН; 4 - маслоуказатель;
5 - серьга для подъема трансформатора; 6 - карман термометра;
7 - скоба для крепления при транспортировании; 8 - табличка;
9 - бак; 10 - зажим заземления; 11 - пробка сливная; 12 - пробивной предохранитель (устанавливается по заказу потребителя);
13 - патрубок для заливки масла; 14 - предохранительный клапан

Рисунок 2 - Конструктивная схема и общий вид трансформатора ТМГ 63 – 630 кВА

Бак ТМГ - герметичный, без расширителя. Маслоуказатель находится сбоку в верхней части, ближе к стороне 0,4 кВ.

На баке ТМГ установлен предохранительный клапан, который срабатывает при газовом давлении более 30 кПа. В аварийном режиме клапан обеспечивает выхлоп газов.

Трансформатор ТМГ еще на заводе изначально изготавливается с защитой от перегрева. Термостойкие свойства закладываются в конструкцию еще при производстве, когда трансформатор под вакуумом наполняют дегазированным трансформаторным маслом. Данная операция предотвращает появление воздушных подушек, возникающих при выделении из масла воздуха, который в нем растворен.

Конструктивные особенности трансформатора ТМ

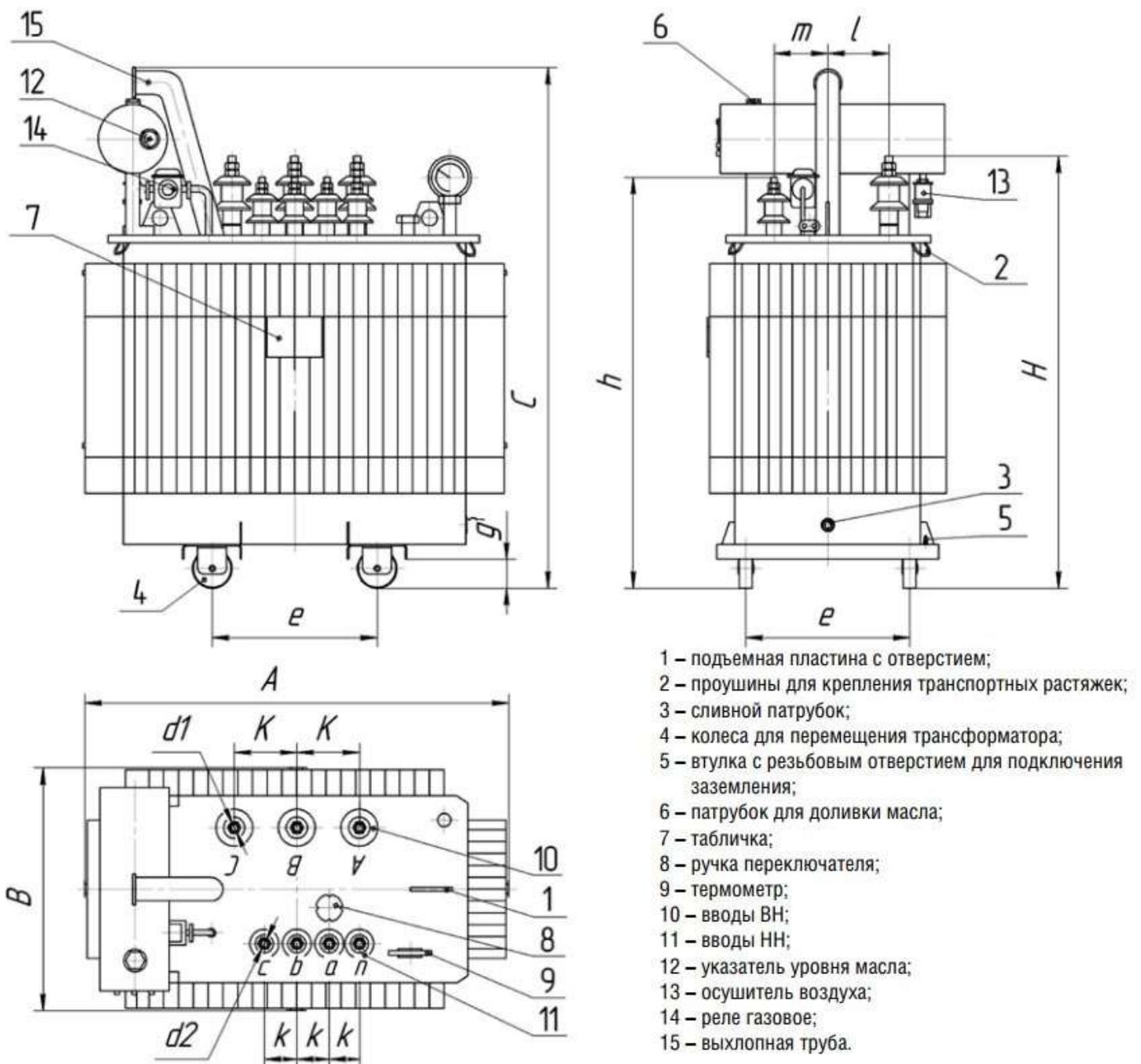


Рисунок 3 - Конструктивная схема, чертеж внешнего вида трансформатора ТМ 1000 – 4000 кВА

На верху бака расположен расширитель с размещенными:

- маслоуказателем;
- осушителем воздуха;
- заливным отверстием для масла.

Расширительный бак с клапаном сброса давления. При повышении давления, в режиме аварии газы разрывают защитную мембрану и выходят наружу. Для чего предназначен расширитель?

Несмотря на то, что расширитель допускает взаимодействие масла с воздухом, решается проблема изменяющегося под воздействием температуры объема трансформаторного масла. Расширитель служит для изменения давления внутри бака в результате процесса компенсации.

Необходимый и обязательный элемент трансформатора ТМ – осушитель воздуха. Представляет собой прозрачный бак с сорбентом, поглощающим влагу. Нормальное состояние силикагеля, которым обычно заполняется осушитель – белый цвет с оранжевым оттенком.

Система охлаждения – важный элемент конструкции трансформатора, включает:

1. Бак трансформатора с маслом-диэлектриком.
2. Расширительный бачок.
3. Радиаторы на баке трансформатора.

Сравнение ТМ и ТМГ

Ниже приведено сравнение двух типов трансформаторов и указано в чём заключаются основные отличия конструкций ТМ и ТМГ. Для наглядности и удобства отличия сведены в единую таблицу.

Таблица 1 - Конструктивные и качественные отличия маслонеполненных трансформаторов ТМГ и ТМ.

Трансформатор ТМГ	Трансформатор ТМ
Толщина стенки бака из стали толщиной 1 – 1,5 мм – гофробак.	Толщина стальной стенки бака 2,5 – 4 мм.
Температурные изменения (нагрев) компенсируется упругой деформацией гофр бака.	Охлаждение масла производится в радиаторах пластинчатого или коробчатого типа.
Масло не контактирует с воздухом за счет герметичного корпуса. За счет этого масло не окисляется, не увлажняется, отсутствует шламообразование.	Требуется следить за уровнем масла, периодически его доливать, во время заливки происходит контакт внутреннего объема трансформатора с воздухом, масло изменяет свое качество.
Не нужно отбирать регулярные пробы масла, для ежегодного контрольного испытания и проверок	Ежегодные испытания масла на диэлектрическую прочность.
Диэлектрические свойства масла сохраняются в первоначальном виде	Диэлектрические свойства масла постоянно изменяются.
Отсутствует расширительный бачок	Маслорасширитель находится на крышке трансформаторного бака
Маслоуказатель поплавковый, установлен на крышке бака	Маслоуказатель находится с торца маслорасширительного бака

Трансформатор не нуждается в капитальном ремонте в течение всего периода службы. Не нуждается в проведении дополнительных эксплуатационных испытаний.	Обязательное техническое обслуживание, периодические высоковольтные испытания, проверки сорбента на степень увлажнения
Избыточное давление в гофрированном баке ТМГ во время работы не превышает 0,23кгс/см ³ . Гарантией безаварийной работы является предохранительный клапан, который ограничивает давление.	Проблема избыточного давления решается с помощью расширительного бака и предохранительного мембранного клапана.
Низкая стойкость к случайным механическим воздействиям при транспортировке или во время установки на объекте. Нельзя превышать угол наклона при транспортировке.	Очень высокая прочность и стойкость по отношению к случайным механическим воздействиям, например, во время транспортировки
Срок службы не менее 25 – 30 лет	Срок службы 40 – 50 лет

Ключевые характеристики, влияющие на качество работы трансформатора

Помимо внешней характеристики, где напряжение с низкой стороны трансформатора зависит от нагрузки потребителей, существует ряд других факторов, влияющих на качество работы.

Для распределительных силовых трансформаторов по ГОСТ 4.316-85 определены следующие показатели качества:

1. Удельная масса по отношению к номинальной мощности кг/кВ*А (показатель считается основным для выбора конструкции тр-ра)
2. Установленный эксплуатационный период (показатель определяет надежность и долговечность)
3. Потери холостого хода (ХХ) ДРк, кВт.
4. Потери короткого замыкания (КЗ)ДРк, кВт
5. Ток холостого хода I_{хх}

Качественная зависимость эффективности трансформатора от удельной массы

По приведенным в Таблице 2 значениям видно, лучшие показатели по массе у трансформаторов ТМГ21, где вторичная обмотка исполнена из алюминиевой фольги. Кроме трансформатора ТМ удельный вес остальных моделей уменьшается при увеличении номинальной мощности.

Таблица 2 - Показатели массы силовых трансформаторов ТМ и ТМГ напряжением 10/0,4кВ

Тип трансформатора	Масса, кг, при S _{ном} , кВА			Удельная масса, кг/кВА при S _{ном} . кВА		
	630кВА	1000кВА	1600кВА	630кВА	1000кВА	1600кВА
ТМГ	1950	2890	--	2,9	--	2,9
ТМГ11	1860	2890	4250	2,8	2,7	2,8
ТМГ12	1870	2820	--	2,8	--	2,8
ТМГ15	1870	2820	--	2,8	--	2,8
ТМГ21	1700	2550	3860	2,6	2,4	2,6

ТМЗ	2650	3600	4930	3,6	3,1	3,6
ТМ	2030	2609	4520	2,6	2,8	2,6

Потери холостого хода

В режиме холостого хода магнитные потери стали и обмотки высокого напряжения из-за тока ХХ составляют около 1% от $\Delta P_{ХХ}$

Основные причины больших потерь ХХ:

1. Коррозия металла, при нарушении лаковой изоляции.
2. Износ изоляции шпилек для стяжки, вызывающих замкнутый накоротко контур.
3. Плохая шихтовка.
4. Перегрев стальных элементов, болтовых соединений трансформатора.
5. Нестабильные характеристики стали.
6. Брак при сборке трансформатора.
7. Недогрузка трансформатора.

Магнитные потери появляются из-за гистерезиса вихревых токов. Гистерезис вызывает 25% всех магнитных потерь. Вихревые токи – 75% потерь ХХ

Детальное рассмотрение потерь ХХ в Таблице 3.

Таблица 3 - Потери ХХ и КЗ силовых трансформаторов ТМ и ТМГ напряжением 10/0,4 кВ

Тип трансформатора	Значение $\Delta P_{ХХ}$, кВт при Sном. кВ*А			Значение $\Delta P_{КЗ}$, при Sном. кВА		
	630	1000	1600		630	1000
ТМГ	1,05	1,55	--	7,6	10,2	--
ТМГ11	1,1	1,4	2,15	8,7	10,2	--
ТМГ12	0,8	1,1	--	6,75	10,5	--
ТМГ15	0,73	0,94	--	6,75	10,5	--
ТМГ21	1,03	1,3	2,05	7,45	11,6	16,75
ТМЗ	1,25	1,9	2,65	7,9	12,2	16,5
ТМ	1,25	1,9	2,35	7,6	11,6	16,5

Потери токов КЗ

Потери КЗ зависят от следующих факторов:

1. Ток нагрузки в обеих обмотках трансформатора.
2. Материал обмоток.

3. Сечения проводников.

Для комплектных подстанций, где по большей части устанавливают трансформаторы ТМГ, важен показатель суммарных потерь трансформатора, который складывается из потерь на ХХ и КЗ.

Энергоэффективность трансформаторов оценивается по европейскому стандарту HD428. По нему степень потерь мощности КЗ и ХХ не должна превышать стандартные значения.

Таблица 4 - Допустимый уровень потерь в трансформаторах.

Sном, кВА	Допустимые уровни потерь холостого хода, кВт			Допустимые уровни потерь короткого замыкания, кВт		
	$\Delta P_{ха}$	ΔP_{xb}	ΔP_{xc}	$\Delta P_{ка}$	ΔP_{kb}	ΔP_{kc}
630	1,3	1,03	0,86	6,5	8,4	5,4
1000	1,7	1,4	1,1	10,5	13,0	9,5
1600	2,6	2,2	1,7	17,0	20,0	14,0

Вывод.

При выборе руководствуются стандартными качественными показателями, регламентированными ГОСТ 4 316-85

Энергоэффективность оценивается в зависимости от минимального количества потерь и наибольшего КПД. Наиболее лучшими и отвечающими качественным показателям являются трансформаторы: энергосберегающий ТМГ12; ТМГ15 и ТМГ21, трансформаторы мощностью 1600кВА типа ТМ и ТМГ11.

Условия выбора трансформатора

Рациональный выбор трансформаторов зависит от вопросов сбережения электроэнергии. Это означает, что во внимание принимаются степень загруженности трансформатора, КПД, который от нее зависит, потери в магнитной системе и в обмотках трансформатора.

На следующие условия обращают внимание при выборе силового трансформатора для комплектации понижающей подстанции:

- количество трансформаторов;
- конструктивное исполнение;
- выбор напряжения, способ регулирования напряжения вторичной обмотки;
- выбор мощности трансформатора;
- выбор группы соединений обмоток;
- электрические, механические и тепловые характеристики;
- планируемый режим работы;
- соотношение цена и качество.

Что влияет на выбор количества трансформаторов

Ниже приведён ответ на вопрос о том, сколько же нужно иметь трансформаторов для бесперебойного питания объекта и от чего зависит выбор количества трансформаторов.

В первую очередь от степени важности объекта относительно категории электроснабжения.

Двухтрансформаторные подстанции нужны в случаях:

- питания потребителей I и II категории, когда отключение питания может повлечь непоправимые нарушения технологического процесса;
- подключения объектов с высокой удельной плотностью нагрузок.

Однотрансформаторная подстанция используется для электроснабжения объектов III категории электроснабжения.

Выбор исходя из конструктивных особенностей

Маслонаполненные трансформаторы отличаются хорошим теплоотводом и изоляцией повышенной диэлектрической прочности, что самое важное, надежной защитой активной части от внешних климатических условий.

Трансформатор ТМ

Конструкция трансформатора ТМ с расширительным бачком предусматривает сообщение с воздухом. Это необходимо для лучшего охлаждения обмоток и магнитопровода. Трансформатор отличается прочностью к механическим повреждениям.

Потому, если для вас важно приобрести относительно недорогой силовой трансформатор, который не боится перегревов, обратите внимание на трансформатор серии ТМ.

Трансформатор ТМГ

Устройство относится к надежным и защищенным от перегрева типам трансформаторов, не требующим эксплуатационного обслуживания.

Если вы желаете сэкономить на техническом обслуживании (ТО) и на покупке второго «транса» – подключите объекты с высокой нагрузкой II категории электроснабжения к однотрансформаторной подстанции, укомплектованной ТМГ. Конечно, если схема электроснабжения не предусматривает секционирования и других особенностей.

Следующий критерий выбора – потребляемая нагрузка со стороны 0,4 кВ. Нужно знать сколько будет потребителей, какую мощность они будут потреблять.

Выбор мощности трансформаторов в зависимости от номинальной нагрузки

При выборе мощности относительно нагрузки, которая требуется потребителю, во внимание принимается необходимость резервного питания.

Например, на двухтрансформаторной подстанции вышел из строя один трансформатор. Суммарная нагрузка со стороны вторичной обмотки, которую принимает второй трансформатор не должна превышать его номинальный ток нагрузки.

Например, 2БКТП 2х630 – ток вторичной обмотки одного трансформатора равен 910А. Учитывая условия нормальной работы, трансформатор не должен быть нагружен более 80% номинальной нагрузки. Это означает, что суммарная нагрузка потребителей со стороны 0,4 кВ не должна быть намного более 400 А.

Таблица 5 - Потребляемый номинальный ток со стороны обмотки низшего напряжения 0,4кВ трансформаторов мощностью 25 – 1000 кВА

Трансформатор ТМ и ТМГ напряжением 6(10) кВ. Мощность (кВа)	Номинальный ток ВН (А)	Номинальный ток НН, потребительская нагрузка (А)
25	2,4 (1,41)	36,1
40	3,85 (2,31)	57,8
63	6,1 (3,64)	91
100	9,6 (5,8)	144,5
160	15,4 (9,25)	231
250	24,1 (14,45)	361
400	38,5 (23,1)	578
630	60,7 (36,4)	910
1000	96,4 (57,8)	1445

Выбор трансформатора относительно регулировки номинального напряжения со стороны вторичной обмотки

Трансформаторы ТМ и ТМГ для комплектования подстанций в сетях 10 кВ оборудованы устройством ПБВ для безопасного регулирования напряжения.

Для трансформаторов с ПБВ характерны редкие периодические колебания коэффициента трансформации $\pm 5\%$, в зависимости от сезона. Переключатель обычно предусматривает 5 ступеней регулирования.

Трансформаторы с РПН (регулирование под нагрузкой) используются обычно в сетях от 35 кВ и выше. РПН предусматривает 13, 17, 19 ступеней переключения и регулирует коэффициент трансформации $K_{тр}$ соответственно в пределах: $\pm 9, 12, 16\%$. Для подстанции с РПН предусмотрена автоматическая регулировка.

Выбор трансформаторов относительно группы и схемы соединения обмоток

Необходимо чтобы статические трансформаторы в сетях напряжением 10/0,4 кВ улучшали качество электрической энергии и отвечали трем условиям:

1. Препятствовали появлению в сетях напряжения высших гармоник.
2. Выравнивали нагрузку по фазам со стороны высокого напряжения при неравномерном распределении нагрузки по фазам обмотки низкого напряжения.
3. Ограничивали сопротивление нулевой последовательности цепей КЗ после присоединения четырехпроводной сети.

Обычно для соблюдения первых двух условий в сетях 10 кВ для трансформаторов, используемых для комплектных подстанций, достаточно соединить обмотки Y/ Δ (первичка – звезда, вторичка – треугольник).

Третье условие характерно для трансформаторов, не применяемых в сетях 10/0,4 кВ.

Выбор габаритных размеров

Типоразмер также представляется важным, от него зависят условия транспортировки, монтажа, поэтому габариты и масса учитываются.

Однако на современном рынке достаточно моделей, чтобы выбрать трансформатор необходимого размера и нужных характеристик. Важно изучать предлагаемые каталоги, консультироваться с производителями и заполнять опросные листы.

Только тесное взаимодействие и открытое сотрудничество с представителями компании-производителя электроустановок поможет клиенту получить оборудование, наиболее удовлетворяющее эксплуатационным требованиям.

К одному из главных эксплуатационных критериев относится условия параллельной работы, рассмотрим их.

Условия параллельной работы

Параллельная работа трансформаторов невозможна, если не соблюдены условия подключения. Невыполнение влечет короткое замыкание и выход оборудования из строя.

Условия параллельной работы:

1. Коэффициенты трансформации равны, допускается отклонение $\pm 0,5\%$.
2. Группы соединения обмоток тождественны.
3. Напряжение короткого замыкания различается не более чем ± 10 .
4. Отношение мощностей обеих трансформаторов не должно быть выше трех.
5. Фазировка должна быть выполнена правильно, электрические цепи должны совпадать.

Отклонения от заданных значений регламентированы ГОСТ Р 52719.

Двухобмоточные и трёхобмоточные трансформаторы разрешается включать в параллель. Любым трансформаторам при соблюдении условий разрешено работать параллельно, если нагрузка обмоток не превышает допустимую.

Выравнивание нагрузки выполняют перераспределением между трансформаторами с различными Ук.з. путем изменения коэффициента трансформации $K_{тр}$ с помощью переключения регулятора ПБВ. Трансформатор, который работает с недогрузом должен со стороны «вторички» иметь $U_{хх}$ выше, чем трансформатор, у которого перегруз.

По вопросам продаж и поддержки обращайтесь:

Архангельск (8182)63-90-72
Астана +7(7172)727-132
Астрахань (8512)99-46-04
Барнаул (3852)73-04-60
Белгород (4722)40-23-64
Брянск (4832)59-03-52
Владивосток (423)249-28-31
Волгоград (844)278-03-48
Вологда (8172)26-41-59
Воронеж (473)204-51-73
Екатеринбург (343)384-55-89
Иваново (4932)77-34-06
Ижевск (3412)26-03-58
Иркутск (395) 279-98-46
Киргизия (996)312-96-26-47

Казань (843)206-01-48
Калининград (4012)72-03-81
Калуга (4842)92-23-67
Кемерово (3842)65-04-62
Киров (8332)68-02-04
Краснодар (861)203-40-90
Красноярск (391)204-63-61
Курск (4712)77-13-04
Липецк (4742)52-20-81
Магнитогорск (3519)55-03-13
Москва (495)268-04-70
Мурманск (8152)59-64-93
Набережные Челны (8552)20-53-41
Нижегород (831)429-08-12
Казахстан (772)734-952-31

Новокузнецк (3843)20-46-81
Новосибирск (383)227-86-73
Омск (3812)21-46-40
Орел (4862)44-53-42
Оренбург (3532)37-68-04
Пенза (8412)22-31-16
Пермь (342)205-81-47
Ростов-на-Дону (863)308-18-15
Рязань (4912)46-61-64
Самара (846)206-03-16
Санкт-Петербург (812)309-46-40
Саратов (845)249-38-78
Севастополь (8692)22-31-93
Симферополь (3652)67-13-56
Таджикистан (992)427-82-92-69

Смоленск (4812)29-41-54
Сочи (862)225-72-31
Ставрополь (8652)20-65-13
Сургут (3462)77-98-35
Тверь (4822)63-31-35
Томск (3822)98-41-53
Тула (4872)74-02-29
Тюмень (3452)66-21-18
Ульяновск (8422)24-23-59
Уфа (347)229-48-12
Хабаровск (4212)92-98-04
Челябинск (351)202-03-61
Череповец (8202)49-02-64
Ярославль (4852)69-52-93