
ТЕХНИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО



ТРАНСФОРМАТОРЫ С ЛИТОЙ
ИЗОЛЯЦИЕЙ



СОДЕРЖАНИЕ

Кто мы · Трансформатор · Активная мощность · Основные конструктивные характеристики · Преимущество трансформаторов с литой изоляцией · Основные данные, необходимые для заказа трансформатора · Испытания трансформаторов · Параллельная работа трансформаторов · Выпрямительные трансформаторы · Коррекция коэффициента мощности · Защита трансформаторов · Кратковременные и длительные перегрузки · Сравнение алюминия и меди

КТО МЫ

TMC TRANSFORMERS является европейской фирмой, лидером в разработке и производстве электрических трансформаторов среднего/низкого напряжения с литой изоляцией. Благодаря большим амбициям, исходящим из энтузиазма и серьезности, компания TMC TRANSFORMERS, фокусируя свою энергию только на одном продукте, создала крепкую и уникальную модель бизнеса, которая позволила ей утвердиться на зрелом рынке, где представлены несколько многонациональных компаний, выпускающих комплекс товаров. С 30.000 трансформаторами, произведенными и проданными в течение только одного десятилетия, с 10.000 килограммами смолы, перерабатываемой каждый день и с производственной мощностью в Европе, установленной в 2011 году на 7.000 трансформаторов в год для 8.000 MVA трансформируемой мощности, TMC TRANSFORMERS продолжает конкурировать на международном рынке с самыми важными многонациональными фирмами сектора. Гордая и уверенная в опыте и доверии своих людей и стратегических поставщиков, компания каждый день предлагает продукцию и услуги в отличном соотношении качество/цена, никогда не отходя от нормативов. На сегодняшний день группа TMC имеет производственные мощности в Италии, Испании и Аргентине, дочернюю компанию по сборке в Израиле и коммерческие дочерние компании в Германии, Франции, Великой Британии, а тесное бизнес-партнерство обеспечило присутствие TMC в Северной и Восточной Европе. Промышленные партнерства развиваются в России, Южной Африке, Южной Америке, Юго-Восточной Азии, а также в Индии, где TMC имеет собственный конструкторский отдел.





Большая часть электрооборудования работает при низком напряжении, например, в жилых помещениях Европы номинальное напряжение равно 230 В. Часто экономически не выгодно вырабатывать и передавать электрическую энергию в низком напряжении.

Единица измерения напряжения – **Вольт (В)**.

Главное назначение трансформатора – преобразование напряжения до требуемого номинального значения.

На рисунке 1 представлен путь электрической энергии от генерации до конечного использования. На этом пути встречаются **повышающие трансформаторы**, которые повышают напряжение генерации до значений, необходимых для линий электропередач, и **понижающие трансформаторы**, которые понижают напряжение для различных потребителей.

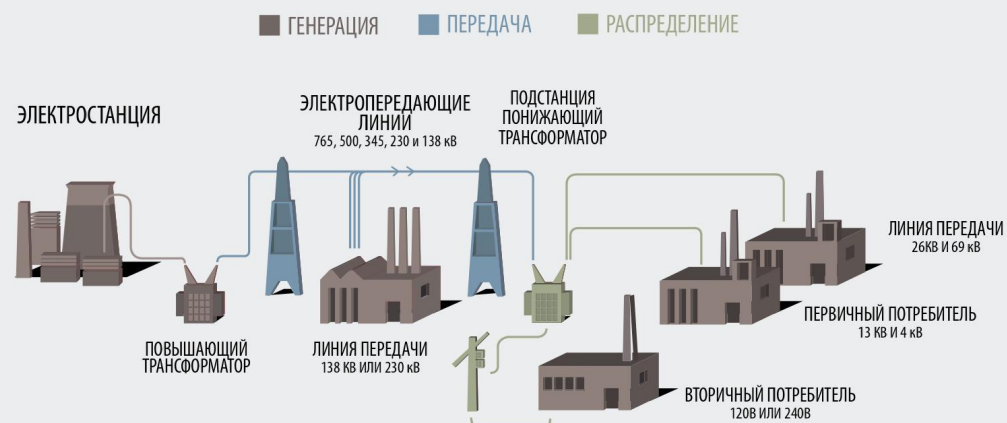


Рисунок 1

Другим базовым параметром в электрической энергии является **номинальный ток**. Электрический ток можно рассматривать как поток отрицательных зарядов (электронов), проходящий через электрический проводник в единицу времени. Подобно воде, текущей под действием силы тяжести, можно представить поток электронов в проводнике, текущий под действием напряжения.

Единица измерения тока – **Ампер (А)**.

В технике используются разные формы тока, которые представлены на рисунке 2.

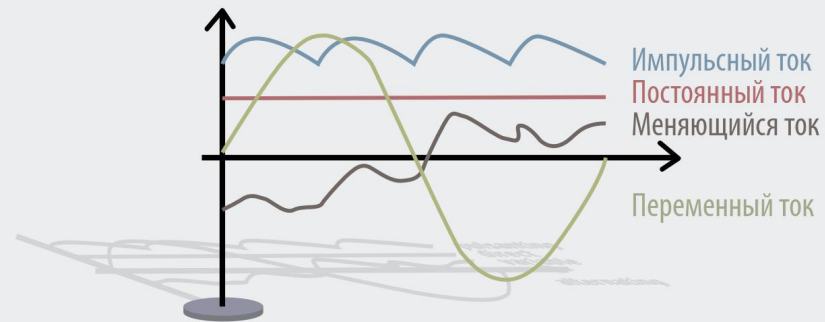


Рисунок 2

Трансформатор работает только с переменным током, и форма номинального напряжения является также переменной.

Активной мощностью является работа, которую машина или человек совершают в определенную временную единицу. Активная мощность измеряется в **ваттах (Вт)**. В случае электрических машин, работающих на переменном токе, активная мощность не является единственной: присутствует и другая мощность, называемая **реактивная мощность**. Единица реактивной мощности — **вольт-ампер реактивный (ВАР)**.

Сумма активной и реактивной мощностей дает **полную мощность** и определяет мощность электрической машины, работающей на переменном токе. Полная мощность измеряется в **вольт-амперах (ВА)**.

Трансформатор – это статическая электрическая машина, т.е. без движущихся частей, передающая электрическую полную мощность с одного значения напряжения на другое. Часть трансформатора, подключенная к большему напряжению, называется первичной обмоткой, а часть с низким напряжением – вторичной обмоткой.

Для выбора трансформаторов с литой изоляцией используются технические параметры и методы испытаний согласно следующим нормативам:

- ◆ IEC – EN 60076 – 1 – “Силовые трансформаторы”;
- ◆ IEC – EN 60076 – 11 – “Сухие силовые трансформаторы”.

Кроме этого существует серия стандартов, определяющая трансформаторы специальных назначений.

Электрическое питание может быть однофазным или трехфазным:

- ♦ Однофазное питание представляет собой подключение к двум проводам, между которыми существует номинальное напряжение, например 230 В, как в случае домашнего использования;
- ♦ Трехфазное питание состоит из трех однофазных питаний с одинаковым номинальным напряжением, как показано в рисунке 3.

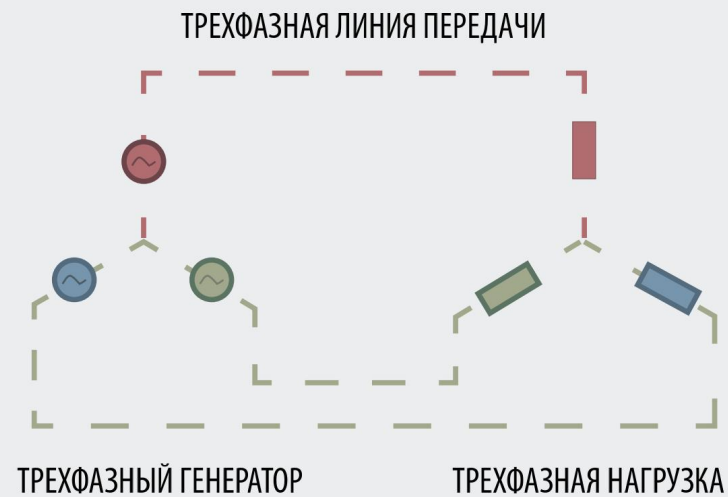


Рисунок 3

Чтобы гарантировать движение тока между фазами, напряжения питания сдвинуты между собой на 120° (Рисунок 4).

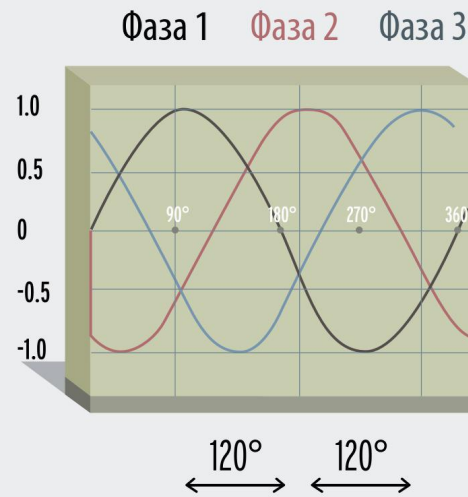


Рисунок 4

Соответственно также и токи в трехфазной системе питания являются сдвинутыми между собой на 120° .

В связи с этим, в трехфазной системе различаются два разных типа напряжения:

- ▶ напряжение фазы, т.е. значение напряжения каждой фазы относительно земли;
- ▶ напряжение линии, т.е. разница между двумя напряжениями фазы.

Так как напряжения фаз сдвинуты между собой на 120° , значение напряжения линии вычисляется из напряжения фазы умноженного на $\sqrt{3}$, приблизительное значение которого 1,73.

На рисунке 5 $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3$, являются напряжениями фаз, $\vec{V}_{12}, \vec{V}_{23}, \vec{V}_{31}$ являются напряжениями линий, т.е. напряжениями между фазами.

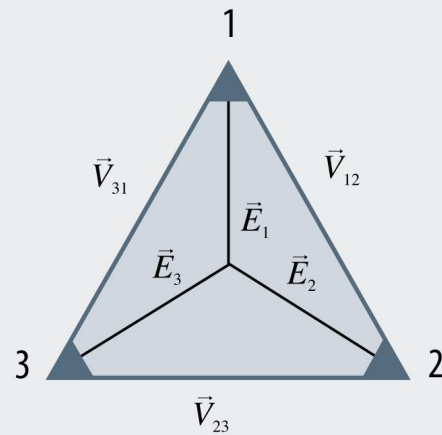


Рисунок 5

Трансформаторы могут быть подключены как к однофазному, так и к трехфазному питанию.

КЛАССИЧЕСКАЯ ТИПОЛОГИЯ ТРАНСФОРМАТОРА СОСТОИТ ИЗ:

- ♦ сердечника из кремнистой стали, где сосредоточено магнитное поле. Сердечник состоит из вертикальных стержней и горизонтальных ярм;
- ♦ одной или более вторичных алюминиевых или медных обмоток, которые собираются концентрично вокруг сердечника;
- ♦ одной первичной алюминиевой или медной обмотки, собранной концентрично вокруг сердечника снаружи вторичной обмотки.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСФОРМАТОРА ТМС

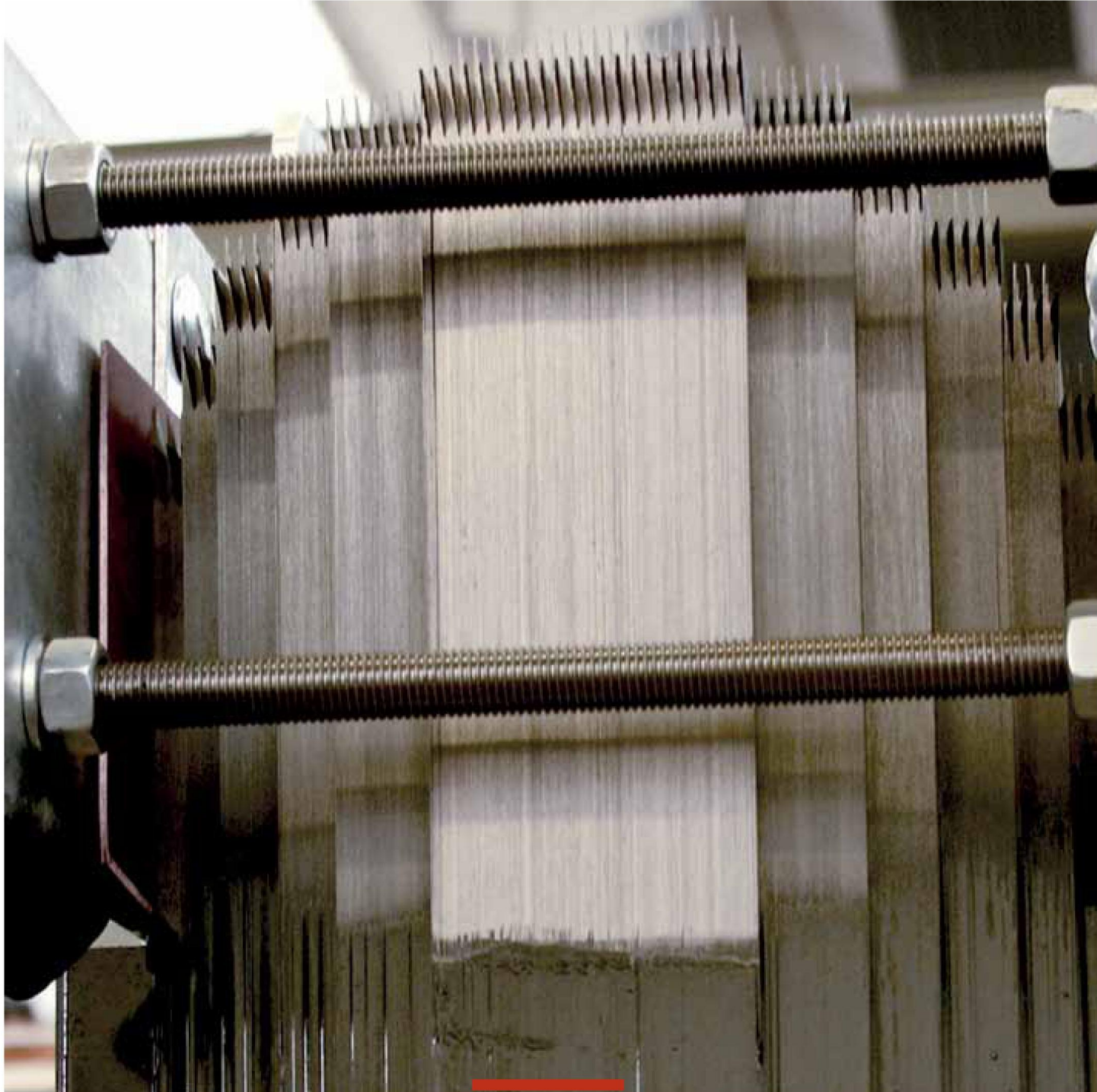
Сердечник

Материал магнитопровода трансформаторов ТМС – это листовая магнитная текстурированная кремниевая сталь. Сталь этого типа обладает высокой проницаемостью магнитного поля и его колебаний, что обеспечивает снижение потерь.

Стержни и ярма соединены между собой по методу “Step-Lap”, который улучшает движение магнитного потока, снижая ток холостого хода и шум. Кроме того, данный метод обеспечивает хорошую механическую жесткость магнитной системы.



Магнитный сердечник







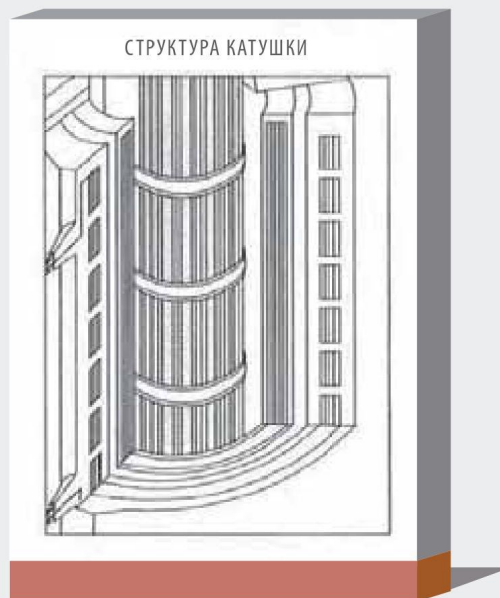


Рисунок 6

Вторичная обмотка

Вторичная обмотка (обмотка низшего напряжения) образована проводником цельного листа алюминия или меди, который обматывается вместе с изоляционным материалом, предварительно пропитанным эпоксидными смолами. Автоматическая намотка гарантирует идеальное натяжение и плотность витков в катушке. После намотки катушка подвергается вакуумной пропитке. Высококачественные материалы и используемый процесс обмотки позволяют получить катушку способную оптимально рассеивать тепло и отлично противостоять электромеханическим напряжениям в случае короткого замыкания.



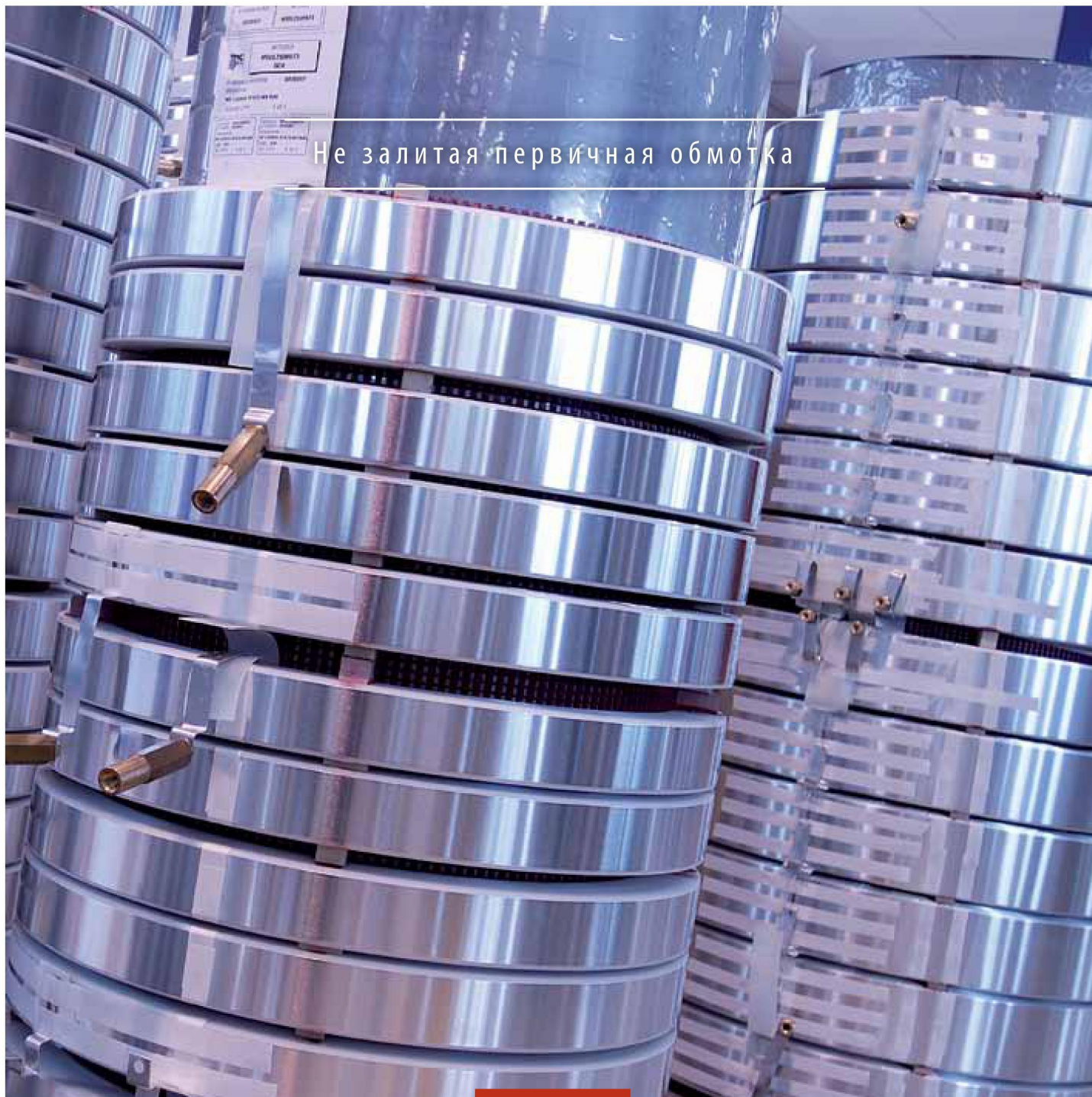
Система пропитки



Готовые вторичные обмотки

Первичная обмотка

Первичная обмотка (обмотка высшего напряжения) образована тонким листовым проводником из алюминия или меди, который обматывается вместе с изоляционным материалом - полиэфирной пленкой. Обмотка состоит из ряда дисков. Намотка, соединение между дисками и сварка контактов выполняется автоматически. После намотки обмотка подвергается вакуумной заливке эпоксидной смолой с добавлением кварца с последующей полимеризацией в печи. Контроль производственного процесса гарантирует изготовление обмотки с максимальной механической однородностью, получая более стойкую к термическим циклам работы, частичным разрядам и загрязняющим агентам конструкцию.



Не залитая первичная обмотка





Установка заливки

Трансформатор с литой изоляцией имеет следующие преимущества:

- ♦ высокая стойкость к огню и самоугасание;
- ♦ отсутствие токсичных дымов в случае пожара;
- ♦ нет специальных требований к месту установки трансформатора (в отличие от масляных трансформаторов, где требуется наличие противопожарных барьеров и сборочных емкостей);
- ♦ использование в местах с высокой влажностью и загрязненностью;
- ♦ умеренные расходы на установку;
- ♦ отсутствие планового технического обслуживания (в отличие от масляных трансформаторов);
- ♦ низкие потери, благодаря возможности установки трансформатора вблизи потребляемой нагрузки;
- ♦ высокая стойкость к нагрузкам короткого замыкания;
- ♦ высокая стойкость к повышенным напряжениям;
- ♦ высокий уровень изоляции и отсутствие частичных разрядов;
- ♦ меньшие габаритные размеры относительно сухих трансформаторов без литой изоляции.

Благодаря этим характеристикам трансформатор с литой изоляцией может применяться в более разнообразных местах таких как:

- ♦ офисы;
- ♦ аэропорты;
- ♦ военные сооружения;
- ♦ береговые платформы;
- ♦ транспорт: наземная и морская тяга;
- ♦ телекоммуникационные центры;
- ♦ торговые и культурные центры;
- ♦ банки;
- ♦ больницы;
- ♦ школы;
- ♦ все пожароопасные места;
- ♦ ветровые и солнечные электроустановки;
- ♦ электростанции (газовые, атомные).

◆ ПРИМЕНЕНИЕ ◆

ЗНАМЕНИТЫЕ ПРОЕКТЫ

Де Шард Тауэр - Лондон (Великобритания)
Де Агабар Тауэр- Барселона (Испания)
Выставочный центр в Милане (Италия)
Квиринал, дворец президента Республики Италии – Рим

АЭРОПОРТЫ

Миланский аэропорт Мальпенса (Италия)
Аэропорт в Барселоне (Испания)
Международный аэропорт Еревана (Армения)
Аэропорт Санторини (Греция)

ТРАНСПОРТ

Скоростные поезда TGV (Франция)
Трамвайная линия Д'Анжер (Франция)
Железнодорожный вокзал «Порта Нуова Гарибальди» в Милане (Италия)
Центральный железнодорожный вокзал в Вене (Австрия)







ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Атомная электростанция «Олкилуото» (Финляндия)
Электростанция в Скандале (Италия)
Электростанция Вест Буртон (Великобритания)
Гидроэлектростанция в Киеве (Украина)
Электростанция «Бачакеро & Тамаре» (Венесуэла)

КУЛЬТУРНЫЕ ЦЕНТРЫ И БОЛЬНИЦЫ

Больница «Сан Камилло» в Риме (Италия)
Университетская больница «Каролинска» (Швеция)
Университет «Гютенберг» (Германия)

СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Солнечная электростанция в Казелле (Италия)
Солнечная электростанция в Барселоне (Испания)
Солнечная электростанция в Пикаре (Италия)
Солнечная электростанция в Руве (Италия)

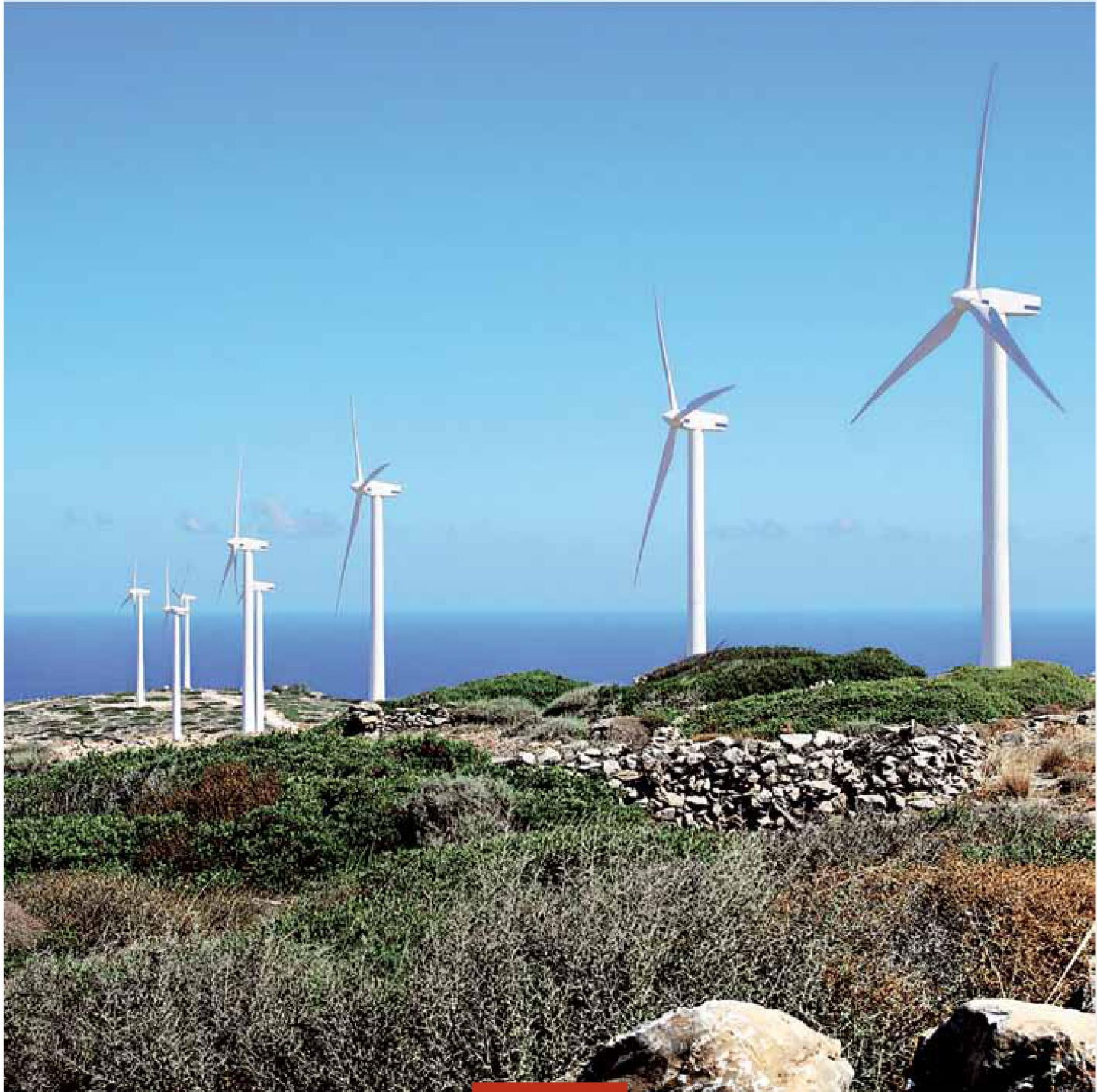
ВЕТРЯНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Ветряная электростанция «Фаро Фарело» (Испания)
Ветряная электростанция «Пехимо» (Испания)
Ветряная электростанция «Лучито» (СВ) и «Мелисса» (КР) (Италия)
Ветряная электростанция «Валле ду Мулин» (Франция)









ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, УКАЗЫВАЕМЫЕ В ЗАЯВКЕ

Номинальное напряжение каждой обмотки (V_n)

Каждая обмотка трансформатора идентифицируется по своему номинальному напряжению. Для однофазных трансформаторов указывается напряжение фазы, а для трехфазных – напряжение линии. Значения этих напряжений относятся к холостому ходу и определяются испытаниями на холостом ходу.


Коэффициент трансформации (k)

Коэффициент трансформации – это отношение номинальных напряжений первичной и вторичной обмоток.

$$k = \frac{V_{1n}}{V_{2n}}$$

Данные, которые заказчик должен указать для заказа трансформатора, перечислены в норме IEC 60076 (v. Annex A.1.1 – IEC 60076 part1)

Пример заводской паспортной таблички ТМС

		<h1>TMC TRANSFORMERS</h1>	
CAST RESIN TRANSFORMER			
N°	26616	YEAR	2011
RATING	2000	kVA	3
COOLING	AN	INSULATION TEMP.	F/F
TEMPERATURE RI			
IMP.	6.33 %	GROUP	Dyn11
INSUL. CLASS.	LI	75	AC
HIGH VOLTAGE		CONNECTION	LOW VOLTAGE
			400
11550	V	7-6	2886.75
11275	V	7-5	
11000	V	7-4	behaviour again
10725	V	5-8	clima
10450	V	4-8	environ
	V		
104.97	A		

Номинальная мощность (S_n)

Это полная мощность, на которую спроектирован трансформатор. Полная мощность вычисляется следующим образом:

- ♦ для однофазного трансформатора номинальное напряжение первичной или вторичной обмотки умножается на соответствующий ток;

$$S_n = V_n \cdot I_n$$

- ♦ для трехфазного трансформатора мощность каждой фазы умножается на три (например, для трансформатора мощностью 1 МВА мощность каждой фазы будет равна 0.333 МВА).
Номинальная мощность всегда передается через номинальный разъем. Вычисления можно производить по следующей формуле, где V_n – напряжение линии и I_n – номинальный ток.

$$S_n = \sqrt{3} \cdot V_n \cdot I_n$$

Номинальный ток каждой обмотки (I_n)

Номинальный ток – это ток, который может выдерживать обмотка в течение бесконечного периода времени. Он вычисляется из номинальной мощности и номинального напряжения.

- ♦ для однофазного трансформатора $I_n = \frac{S_n}{V_n}$

- ♦ для трехфазного трансформатора $I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot V_n}$

Номинальный ток вычисляется для каждой обмотки трансформатора.

Частота (Fn)

Это номинальная частота, для которой спроектирован трансформатор. В наиболее частых случаях она равна 50 или 60 Гц.

Тип изоляции

Должно быть указано, если изоляция сухая или масляная.

Установка

Должно быть указано, где устанавливается трансформатор: на улице или в помещении, а также степень защиты кожуха (см. Класс IPXY стр.45).

Группа соединения

Группа соединения применима только к трехфазным трансформаторам. В трехфазном трансформаторе фазы первичной или вторичной обмоток могут быть соединены различными способами. Группа и часовой индекс определяют первичное и вторичное соединения. Наиболее часто используемые группы соединений приведены в таблице 1. Большая буква указывает соединение обмотки высшего напряжения, а маленькая – соединение обмотки низшего напряжения.

0	<p>Yy0</p>	<p>Dd0</p>	<p>Dz0</p>
1	<p>Yd1</p>	<p>Dy1</p>	<p>Yz1</p>
5	<p>Yd5</p>	<p>Dy5</p>	<p>Yz5</p>
6	<p>Yy6</p>	<p>Dd6</p>	<p>Dz6</p>
11	<p>Yd11</p>	<p>Dy11</p>	<p>Yz11</p>

Таблица 1.

Группа Ду11 означает

- ◆ первичная обмотка соединена треугольником (D)
- ◆ вторичная обмотка соединена звездой (y)
- ◆ 11 – это часовой индекс, который означает отставание вторичного фазового напряжения от первичного фазового напряжения. В случае 11, $11 \times 30^\circ = 330^\circ$ отставания (или 30° опережения).

Подробное объяснение аргумента можно найти в норме IEC 60076 – Part 1. Два или более параллельных трансформатора должны иметь одинаковую группу соединения, иначе между ними произойдет перераспределение мощностей.

————— Заземление каждой обмотки —————

Необходимо указать будут ли заземляться обмотки и каким способом (напрямую или через сопротивление).

————— Класс изоляции обмоток —————

Это класс изоляции, при котором гарантировано функционирование трансформатора (см. IEC 60076). Класс зависит от номинального напряжения обмоток. Например, для обмотки номинальным напряжением 0.400 кВ соответствует класс изоляции 1.1 кВ. Класс изоляции является фундаментальным, так как также определяет тип испытаний трансформатора.

————— Класс изоляции в отношении к рабочей температуре —————

Рабочая температура обуславливает время жизни изоляции и, следовательно, трансформатора.

Поэтому определены классы изоляции, которые зависят от материала изоляции трансформатора. Для каждого класса установлена допустимая температура перегрева относительно расчетной температуры окружающей среды 40°C . Например, для трансформаторов с литой изоляцией класс изоляции F, который соответствует температуре перегрева $100\text{K} = 100^\circ\text{C}$. Допустимая температура для этого класса $100^\circ\text{C} + 40^\circ\text{C} = 140^\circ\text{C}$.

Подробное объяснение аргумента можно найти в нормативе IEC 60085-Electrical insulation – Thermal evaluation and designation.

Максимальное напряжение каждой обмотки (U_m)

Это максимальное напряжение относительно земли, при котором работает трансформатор. Это важное значение и оно должно быть указано, так как некоторые трансформаторы не имеют тот же класс изоляции, который определен номинальным напряжением.

Напряжение короткого замыкания (U_{cc} или $U_{cc}\%$)

При испытании на короткое замыкание U_{cc} – это напряжение, которое необходимо приложить к первичной обмотки для получения номинальных токов трансформатора, имея короткозамкнутые вторичные обмотки.

Обычно задается значение в процентах от номинального напряжения. Например, во время испытания на короткое замыкание измерено напряжение первичной обмотки 14 В, при номинальном напряжении 230 В. Отсюда получаем $U_{cc}\% = 14 \text{ В} / 230 \text{ В} * 100 = 6.08\%$.

Ток холостого хода (I_o или $I_o\%$)

Это ток проходящий через первичную обмотку во время теста холостого хода. С помощью этого значения вычисляется мощность, рассеиваемая при работе трансформатора на холостом ходу. Обычно ток холостого хода выражается в процентах от номинального тока первичной обмотки.

Регулирующие клеммы

При работе под нагрузкой вторичное напряжение может получать отклонения, вызванные нагрузкой или питающей линией трансформатора. Регулирующие клеммы позволяют скорректировать вторичное напряжение в некоторых пределах. В общем случае предусмотрена регулировка $\pm 5\%$ с помощью 5 клемм с интервалом 2.5%.

Регулирующие клеммы



Эталонная температура

Это температура, установленная стандартами, для измерения потерь короткого замыкания и холостого хода. В случае распределительных трансформаторов класса F установлена температура 120° C.

Потери холостого хода (P_0)

Это потери, измеренные при испытаниях на холостом ходу. Это мощность, которую трансформатор потребляет для намагничивания сердечника, а также потребляемая мощность, когда трансформатор не питает никакую нагрузку. Данное значение может быть запрошено клиентом или выбрано из таблиц ведущих производителей.

Потери в коротком замыкании (P_{cc})

Это потери, измеренные при испытаниях короткого замыкания. Это мощность, потерянная в обмотках трансформатора при номинальных токах. Соответствуют сумме потерь в первичной и вторичной обмотках всего трансформатора. Данное значение может быть запрошено клиентом или выбрано из таблиц ведущих производителей. Измеренное значение потерь вычисляется на основе эталонной температуры (см. выше).

Охлаждение

Два типа охлаждения применяются: воздушное конвективное (AN) и воздушное принудительное (AF), получаемое с помощью вентиляторов.

Расчетная температура окружающей среды

Температура окружающей среды, для которой проектируется трансформатор, в общем случае равна 40° C.

Высота над уровнем моря

Это необходимый параметр, так как тот же самый трансформатор, используемый ниже 1000 метров над уровнем моря, будет иметь большее значение номинальной мощности, чем на высоте выше 1000 метров (см. IEC 60076 – часть 2). В частности при испытаниях трансформатора с конвективным охлаждением ниже 1000 метров над уровнем моря стандарт предусматривает уменьшение допустимой температуры перегрева на 2.5 K на каждые 500 метров выше 1000 метров. Например, для трансформатора класса F на высоте 1000 или менее метров используется температура перегрева 100 K, то для высоты 2000 метров это значение будет 95 K.

Также изменяется уровень изоляции в тесте приложенного напряжения, выполненного ниже 1000 метров. Норматив предусматривает увеличение уровня теста на 1% каждые 100 метров выше 1000 метров. Для трансформатора с приложенным напряжением 50 кВ и установленном на отметке 2000 метров тестовый уровень будет 55 кВ.

Класс IPXYZ – дополнительные литеры (International Protection XYZ-additional letters)

Класс IPXYZ – дополнительные литеры применим к кожуху трансформатора.

Первая цифра означает как защиту от проникновения предметов и пыли, так и защиту от доступа к опасным частям.

Вторая цифра означает степень защиты от проникновения воды.

Третья цифра – степень защиты от ударов.

Могут быть добавлены две дополнительные литеры: первая буква означает недоступность кожуха для пальцев, рук или предметов, используемых людьми. Вторая буква указывает на особые условия относительно типа или использования кожуха и его содержания.

Например, степень защиты IP101ВН означает:

- ◆ Первая цифра 1: защищено от попадания твердых предметов диаметром более 50мм;
- ◆ Вторая цифра 0: нет никакой защиты от проникновения воды;
- ◆ Третья цифра 1: защищено от ударов с максимальной энергией равной 0.225 J;
- ◆ Первая дополнительная буква В: кожух снабжен особыми деталями, которые не допускают проникновение пальцев или рук к опасным частям.
- ◆ Вторая дополнительная буква Н: кожух пригодный для содержания устройств высокого напряжения.

Защитный кожух



Подробное описание находится в нормативе IEC 60529.




















1 st N. PROTECTION AGAINST SOLID BODIES			2 nd N. PROTECTION AGAINST LIQUIDS			3 rd N. MECHANICAL PROTECTION		
IP	Tests	Description	IP	Tests	Description	IP	Tests	Description
0		No Protection	0		No Protection	0		No Protection
1		Protection against solid bodies larger than d. 50 mm (ex. involuntary contact by hand)	1		Protection against the vertical fall of water drops (condensation)	1		Impact energy 0.225 joules
2		Protection against solid bodies larger than d. 12 mm (ex. finger contact)	2		Protection against the fall of water drops up to 15° from the vertical	2		Impact energy 0.375 joules
3		Protection against solid bodies larger than d. 2.5 mm (ends of tools, wires)	3		Protection against the fall of water drops and rain up to 60° from the vertical	3		Impact energy 0.500 joules
4		Protection against solid bodies larger than d. 1 mm (ends of tools, thin wires)	4		Protection against water jets from all directions	4		Impact energy 2.00 joules
5		Protection against dust (no harmful deposits)	5		Protection against forced water jets from all directions	7		Impact energy 6.00 joules
6		Total protection against dust	6		Protection against water similar to waves	9		Impact energy 20.000 joules
			7		Protection against water immersion			

Таблица 2

Таблица 2 объединяет значения цифр с соответствующими тестами.

Таблицы дополнительных литер

ПЕРВАЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРА	
LEVEL	PROTECT AGAINST ACCESS TO HAZARDOUS PARTS WITH
A	BACK OF HAND
B	FINGER
C	TOOL
D	WIRE

Таблица 3

ВТОРАЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРА	
LETTER	MEANING
H	HIGH VOLTAGE DEVICE
M	DEVICE MOVING DURING WATER TEST
S	DEVICE STANDING STILL DURING WATER TEST
W	WEATHER CONDITIONS

Таблица 4

Уровень шума

В случае специфических шумовых требований, клиент должен указать уровень шума в дБ. Как правило, указывается уровень звукового давления. Измерения производятся по периметру вокруг трансформатора на расстоянии 1 м для трансформаторов IP00 или на расстоянии 0.3 м для трансформаторов в кожухе. Подробное изложение метода измерения можно найти в норме IEC 60076-10.

Размеры и вес

Должны быть указаны все габаритные размеры трансформатора и кожуха. Вес сообщается производителем или находится по техническим каталогам производителя.

Подробную информацию можно найти в норме IEC 60076 – Part 1 – Annexe A.

Безэховая камера



ИСПЫТАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ РЕГУЛИРУЮТСЯ НОРМАТИВОМ IEC 60076-11 И ДЕЛЯТСЯ НА СТАНДАРТНЫЕ, ТИПОВЫЕ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ .

Стандартные испытания

- ◆ Измерение электрического сопротивления обмоток;
- ◆ Проверка коэффициента трансформации k и группы соединения;
- ◆ Измерение напряжения короткого замыкания $U_{sc}\%$;
- ◆ Измерение потерь короткого замыкания P_{sc} ;
- ◆ Измерение потерь холостого хода $P_0\%$ и тока холостого хода $I_0\%$;
- ◆ Испытание изоляции приложенным напряжением;
- ◆ Испытание изоляции индуктированным напряжением;
- ◆ Измерение частичных разрядов;
- ◆ Контроль размеров.

Типовые испытания

- ◆ испытания грозowymi импульсами;
- ◆ испытания на нагрев.

Специальные испытания

- ◆ измерение уровня шума;
- ◆ испытание на стойкость при коротких замыканиях;
- ◆ испытания на тепловой удар (C1 – C2);
- ◆ испытания на стойкость к окружающей среде.



Зал испытаний

Испытание грозowymi импульсами





Два или более трансформатора работают параллельно, когда они запитаны от одной линии и подают энергию также на одну вторичную линию.

Благодаря близкому расположению двух машин внешнее сопротивление (соединительных шин) незначительно по сравнению с собственными сопротивлениями.

Необходимые условия для параллельной работы

- ◆ одинаковый коэффициент трансформации k ;
- ◆ одинаковые группы соединений;
- ◆ то же напряжение короткого замыкания $U_{cc}\%$ на главном разъеме, в пределах допустимой нормированной погрешности $\pm 10\%$. Более того, если регулирующие клеммы больше обычных $\pm 5\%$, необходимо также знать $U_{cc}\%$ на самой высокой и самой низкой клемме;
- ◆ Отношение мощностей параллельных трансформаторов: от 0.5 до 2 включительно.

Если два первых условия являются обязательными, то два вторых относятся больше к распределению мощностей между трансформаторами. Действительно, если $U_{cc}\%$ трансформаторов отличаются, токи разделятся обратно пропорционально значениям $U_{cc}\%$ и пропорционально своим мощностям (Рисунок 7).

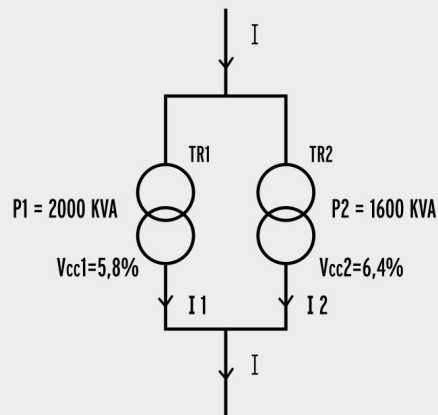


Рисунок 7.

Рассмотрим параллельную работу двух трансформаторов TR1 и TR2 со следующими параметрами

- ♦ одинаковый коэффициент трансформации k ;
- ♦ одинаковые группы соединений;
- ♦ $P1 = 2000$ кВА и $P2 = 1600$ кВА;
- ♦ $U_{cc1}\% = 5.8\%$ и $U_{cc2}\% = 6.4\%$.

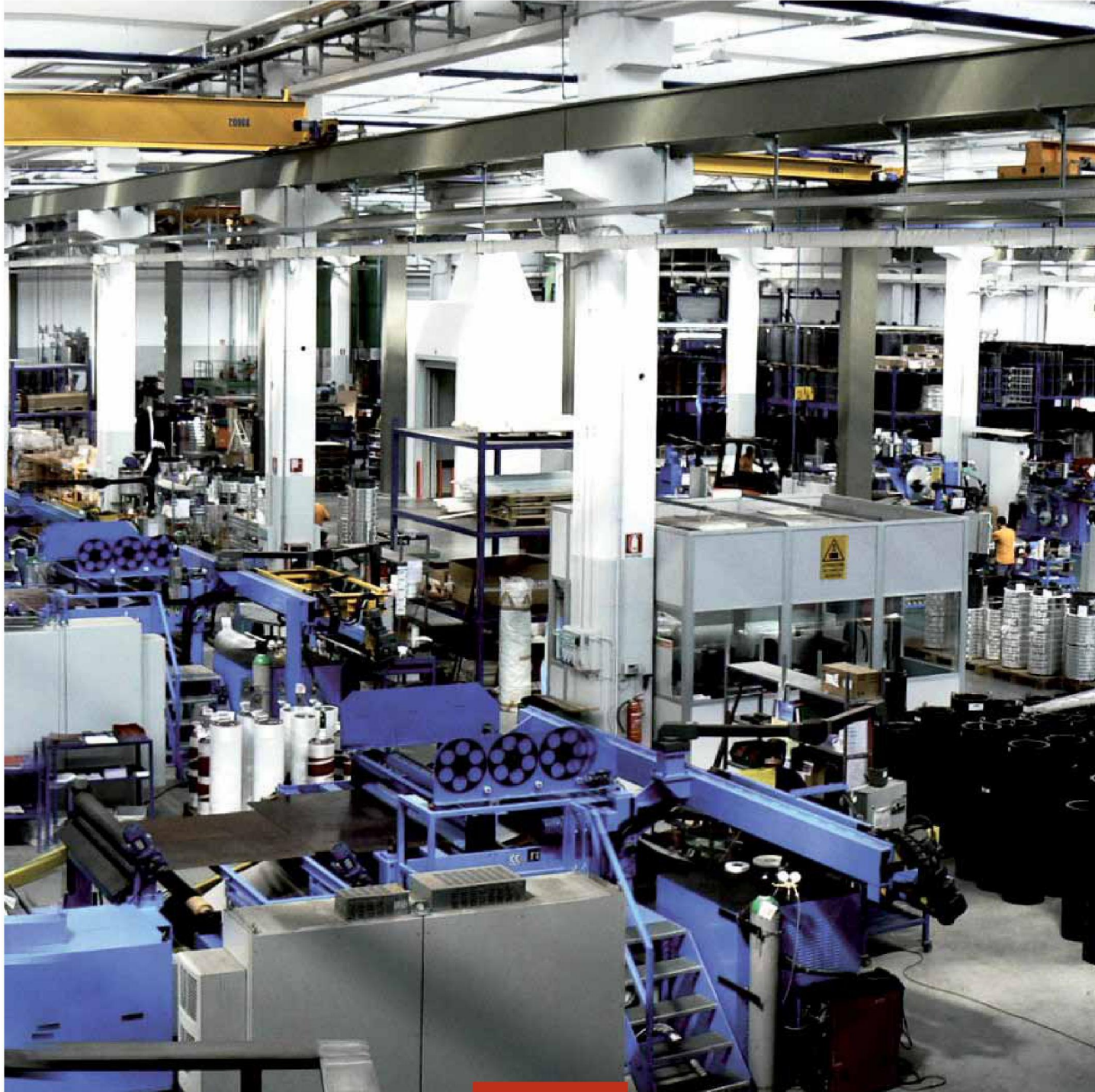
TR1 с $U_{cc1}\% = 5.8\%$ выдаст свою номинальную мощность 2000 кВА, в то время как TR2 с $U_{cc2}\% = 6.4\%$ выдаст мощность равную:

$$P_2 \left(\frac{U_{cc1}\%}{U_{cc2}\%} \right) = 1600 \left(\frac{5.8}{6.4} \right) = 1450 \text{ кВА}$$

Таким образом мощность выдаваемая двумя трансформаторами будет $2000 \text{ кВА} + 1450 \text{ кВА} = 3450 \text{ кВА}$ вместо суммы номинальных мощностей равной 3600 кВА.

Поэтому при заказе обязательно должно быть указано если трансформатор предназначен для замены в параллельной цепи с уже существующим, и, если да, то необходимо предоставить результаты приемочных испытаний эксплуатируемых трансформаторов.





ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ИСПОЛЬЗУЮТСЯ В ПРЕОБРАЗОВАНИИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ.

Основные сферы применения преобразования

- ◆ Электролиз;
- ◆ Электрометаллургия;
- ◆ Питание электродвигателей постоянного тока для приводов с изменяемой скоростью;
- ◆ Электрическая тяга;
- ◆ Гальваника;
- ◆ Электрофорез.

Трансформатор выполняет несколько функций в силовых схемах
преобразования

- ◆ Трансформирует питающее напряжение до необходимого значения для получения желаемого постоянного напряжения;
- ◆ Предоставляет необходимое количество фаз и их сдвиг для реализации выбранной выпрямительной схемы;
- ◆ Регулирует напряжение с целью изменения постоянного напряжения на выходе преобразователя.

Работа преобразователя может искажать форму напряжения, которое больше не является идеально синусоидальной (Рисунок 8).

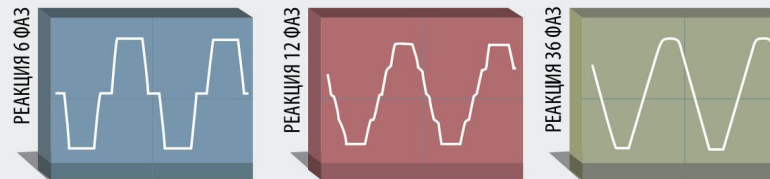


Рисунок 8.

Выпрямительные трансформаторы могут работать с искаженной формой волны и фильтруют большую часть мощности искажений. Поэтому они должны быть рассчитаны не только по номинальной мощности, а с учетом поглощения и рассеивания мощности искажений.

Для такого расчета используется K-фактор (K-factor), в основном в англосаксонских странах. K-фактор определен нормой ANSI/IEEE C57.110 и устанавливает вес искажений в питающей электрической сети. Для расчета и подробных деталей можно обратиться к вышеупомянутой норме.

Underwriters Laboratory (UL) также использовала этот коэффициент для классификации трансформаторов, используемых в сетях с искаженными формами напряжения и тока (UL1561).

Также существует другой европейский метод расчета на основе K-фактора, который можно найти в нормативе BS 7821 Part 4.

LOAD	K-FACTOR
ELECTRIC DISCHARGE LIGHTING	K-4
UPS WITH OPTIONAL INPUT FILTERING	K-4
WELDERS	K-4
INDUCTION HEATING EQUIPMENT	K-4
PLCS AND SOLID STATE CONTROLS (OTHER THAN VARIABLE SPEED DRIVERS)	K-4
TELECOMMUNICATIONS EQUIPMENT (E.G. PRX)	K-13
UPS WITHOUT INPUT FILTERING	K-13
MULTIWIRE RECEPTACLE CIRCUITS IN GENERAL CARE AREAS OF HEALTH CARE FACILITIES AND CLASSROOMS OF SCHOOLS, ETC.	K-13
MULTIWIRE RECEPTACLE CIRCUITS SUPPLYING INSPECTION OR TESTING EQUIPMENT ON AN ASSEMBLY OR PRODUCTION LINE	K-13
MAINFRAME COMPUTER LOADS	K-13
SOLID STATE MOTOR DRIVES (VARIABLE SPEED DRIVERS)	K-13
MULTIWIRE RECEPTACLE CIRCUITS IN CRITICAL CARE AREAS AND OPERATING / RECOVERY ROOMS OF HOSPITALS	K-13

ТАБЛИЦА 5

В таблице приведены наиболее частые случаи К-фактора.

К-фактор может использоваться двумя способами

- ♦ Чтобы определить требуемое увеличение размеров стандартного трансформатора, работающего с искажениями;
- ♦ Производитель может выбрать более подходящий тип трансформатора для работы с искажениями.

Например, если K-FACTOR = 4, DE-RATING = примерно 10% (Рисунок 9).

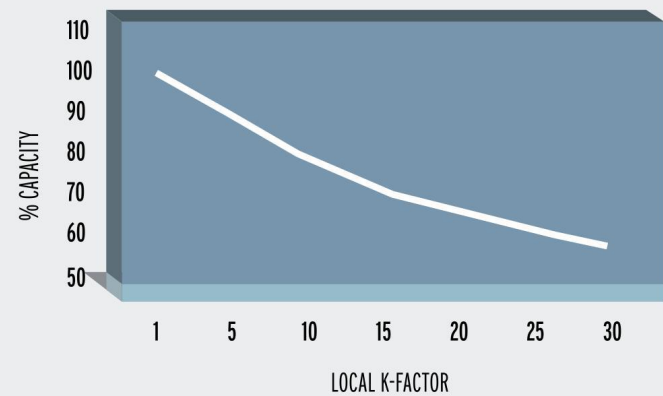


Рисунок 9

Всегда рекомендовано, чтобы инженерный отдел заказчика определил К-фактор и сообщил его производителю для выбора подходящего трансформатора в соответствии с заданным типом нагрузки.

Трансформатор является резистивно-индуктивной нагрузкой. Индуктивная часть является преобладающей и вызывает существенное потребление индуктивной реактивной мощности. Вследствие чего, в силовых трансформаторах возникает необходимость в корректировке коэффициента мощности. Емкостная мощность, требуемая для коррекции коэффициента мощности, может быть вычислена по следующим формулам.

для холостого хода

$$Q_0 = \operatorname{tg} \varphi_0 \cdot P_0 \text{ VAR}$$

где:

$$\varphi_0 = \arccos \left(\frac{P_0}{V_n \cdot I_0} \right) \text{ в случае однофазного трансформатора;}$$

$$\varphi_0 = \arccos \left(\frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot V_n \cdot I_0} \right) \text{ в случае трехфазного трансформатора.}$$

для работы на полной мощности

$$Q_{\text{cc}} = Q_0 + \operatorname{tg} \varphi_{\text{cc}} \cdot P_{\text{cc}} \text{ VAR}$$

$$\text{где: } \varphi_{\text{cc}} = \arccos \left(\frac{P_{\text{cc}} \%}{U_{\text{cc}} \%} \right) \text{ и } P_{\text{cc}} \% = \frac{P_{\text{cc}}}{S_n} \cdot 100$$

Величины Q_0 и Q_{cc} - минимальные и максимальные мощности, которые должны быть скорректированы.



ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА

Во время работы трансформатора могут случаться поломки и отказы по некоторым причинам, таким как:

- ◆ Температура окружающей среды выше расчетной;
- ◆ Перегрузки, не указанные в заказе;
- ◆ Недостаточная циркуляция охлаждающего воздуха или неправильное направление его потока сквозь обмотки.

Во избежание таких поломок предусмотрена система тепловой защиты, базирующаяся на следующих измерительных приборах:

- ◆ Двухконтактный термометр;
- ◆ Термозонд с неиндицируемым устройством управления;
- ◆ Термометр сопротивления с дисплейным блоком управления.

Принимая во внимание погрешность тепло-измерительных приборов и возможную разницу между горячей точкой обмотки и местом установки прибора, приняты следующие калибровки:

- ◆ калибровка для класса F: сигнал тревоги 130° C, отключение 140° C.
- ◆ калибровка для класса B: сигнал тревоги 110° C, отключение 120° C.

Двухконтактный термометр

Если имеется только один термометр, то он устанавливается на центральную катушку обмотки низшего напряжения, в противном случае термометры устанавливаются на каждую катушку обмотки низшего напряжения.

Основные характеристики:

- ♦ напряжение питания 24 – 380 В (пост., перем.);
- ♦ максимальный ток 0.4 А;
- ♦ максимальная мощность 18 ВА.

Схема термометра (Рисунок 10)

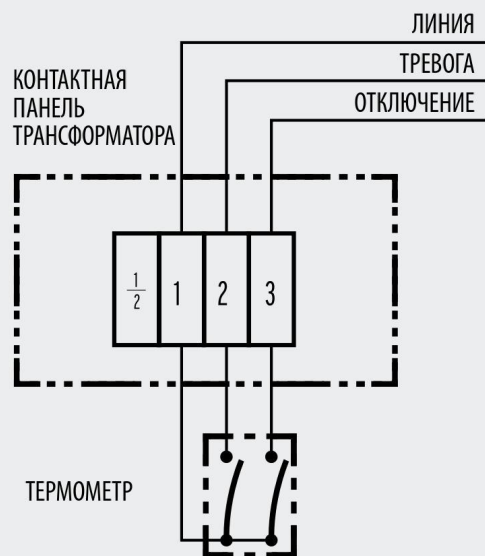


Рисунок 10

Термозонд с неиндицируемым устройством управления

Термозонды – это чувствительные устройства, калиброванные на требуемую температуру. Их погрешность составляет $\pm 6^\circ\text{C}$ и диэлектрическая прочность 2500 В (перем.). Термозонды устанавливаются парами на три катушки низшего напряжения.

Управляющее устройство обычно устанавливается на панель высокого напряжения и имеет следующие характеристики:

- ◆ 2 группы трех термозондов РТС100 Ом, соединенные в серию на входе;
- ◆ Питание 110/220 В (перем.) с частотой 50 – 60 Гц или 24 – 48 В (пост.);
- ◆ Пропускная способность выходящих контактов: 5 А;
- ◆ Потребляемая мощность 4ВА.

Схема термозонда с неиндицируемым устройством управления (Рисунок 11)

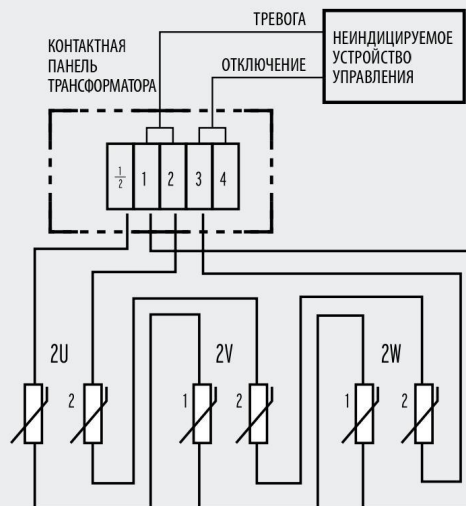
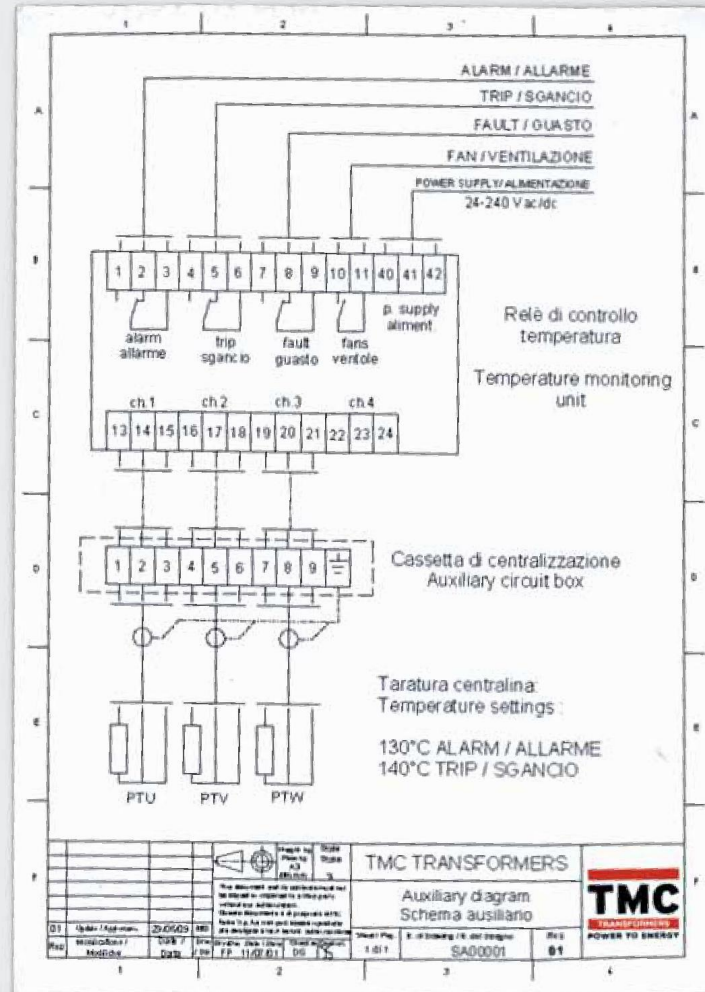


Рисунок 11

Термометры сопротивления с дисплейным блоком управления



Термометры сопротивления – элементы, чувствительные к изменению температуры. Чувствительный элемент состоит из платиновой проволоки, намотанной на изоляционный суппорт, залитый в смолу. Базовое значение сопротивления 100 Ом при 0° С с погрешностью ± 0.10 м. Диэлектрическая прочность 2000 В (перем.).

Термометры сопротивления обычно устанавливаются на каждую катушку низшего напряжения, по запросу может быть установлены на сердечник.

Также возможна установка дополнительных термометров для резервного использования. Дисплейный блок управления устанавливается на панель высокого напряжения и имеет следующие характеристики:

- ◆ 3 или 4 входных канала для платиновых сенсоров РТ 100 Ом;
- ◆ Конфигурация для контроля вентиляторов охлаждения;
- ◆ 2 контрольные точки с предустановкой до 220° С;
- ◆ Питание 18 - 270 В (пост., перем.);
- ◆ Пропускная способность выходящих контактов: 5 А;
- ◆ Потребляемая мощность 7ВА;
- ◆ Электрическая защита (не входит в компетенцию конструкции трансформатора).

В общем случае защита трансформатора в отсеке НН/ВН организована с помощью следующих устройств:

_____ Сторона ВН (первичная обмотка) _____

- ◆ Линейный разъединитель ВН;
- ◆ Заземляющий разъединитель линии ВН;
- ◆ Разрядник;
- ◆ Главный выключатель + плавкий предохранитель.

_____ Сторона НН (вторичная обмотка) _____

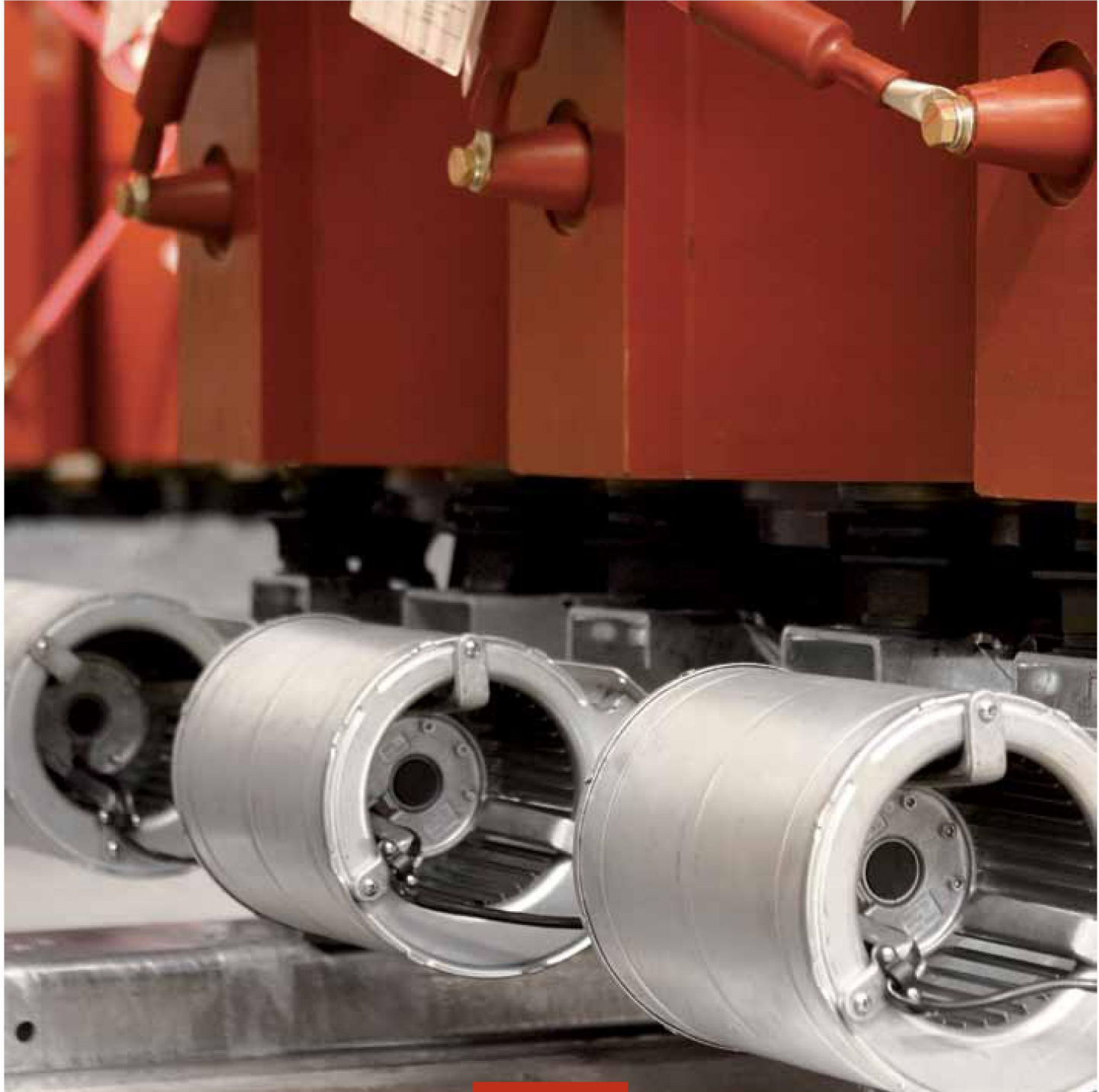
- ◆ Автоматический выключатель.

_____ Стороны ВН и НН _____

Защита от внутренних поломок трансформатора (дифференциальная защита). Эта защита может быть реализована с помощью дифференциального реле и обычно рекомендована для трансформаторов полной мощностью свыше 1 МВА. При нормальной работе трансформатора первичные и вторичные токи пропорциональны в соотношении близком к 1/к (обратному к коэффициенту трансформации). Если, в случае неисправности, появляется токовая утечка, то соотношение между первичным и вторичным токами меняется. Дифференциальная защита срабатывает, когда небаланс между первичным и вторичным током превышает допустимый предел.







ПОД ТЕРМИНОМ ПЕРЕГРУЗКА ПОДРАЗУМЕВАЕТСЯ ПОТРЕБЛЕНИЕ МОЩНОСТИ,
ПРЕВЫШАЮЩЕЙ НОМИНАЛЬНУЮ МОЩНОСТЬ.

Могут быть выделены два типа перегрузки

- ◆ Кратковременные перегрузки – перегрузки, действующие на короткое время, не вызывающие значительное и постоянное изменение температуры машины.
- ◆ Длительные перегрузки – перегрузки, действующие на такое время, при котором изменение температура машины является постоянным.

Метод расчета для оценки температуры кратковременных и длительных перегрузок приведен в нормативе IEC – EN 60076-12. Норма определяет условия для расчета и дает также указания для оценки процентной потери жизни при явлениях перегрузки.

Нагрев трансформатора зависит в основном

- ◆ от нагрузки, т.е. от значения потребляемого тока при постоянном напряжении;
- ◆ от времени нагрузки;
- ◆ от массы катушек;
- ◆ от температуры окружающей среды. Чем ниже температура, тем медленнее явление нагрева;
- ◆ от предусмотренного типа охлаждения, конвективного или принудительного.

Норма ограничивает расчет со значениями превышения тока в 1.5 рабочего и принимает класс F с наиболее горячей точкой 180° С. Более того данный метод не применим для трансформаторов наружного использования.



ПРИМЕР РАСЧЕТА ДЛЯ КРАТКОВРЕМЕННЫХ ПЕРЕГРУЗОК

Для расчета необходимо знать массу катушек и тип проводника (медь или алюминий). Из этих величин вычисляется постоянная трансформатора.

Рассматривается следующий трансформатор

- ◆ температура при номинальной нагрузке: 110°C (это рассчитанная производителем или измеренная величина);
- ◆ постоянная трансформатора, вычисленная из массы катушек и типа проводника: 0.5 ч (это рассчитанная производителем или измеренная величина);
- ◆ класс F: 155°C ;
- ◆ температура окружающей среды 30°C и не зависит от нагрузки;
- ◆ охлаждение: конвективное (AN).

со следующими режимами работы

- ◆ начальная нагрузка 80% от номинальной;
- ◆ перегрузка 120% на время $t_2 = 2\text{ч}$.

результаты расчета

- ◆ температура в наиболее горячей точке при восьмидесяти процентах нагрузки: 100°C ;
- ◆ температура в наиболее горячей точке после 1.5 часа перегрузки 120%: 163°C .

Сокращение срока службы в связи с кратковременной перегрузкой: 1.83 ч.

Норматив принимает во внимание расчетный ресурс трансформаторов 180.000 часов. Соответственно сокращение срока службы трансформатора в процентах: 0.001%.

Кратковременные перегрузки не вызывают значительного снижения ресурса, но локальные нагревы в любом случае не могут оставаться без внимания, так как они вызывают деформации.

ПРИМЕР РАСЧЕТА ДЛЯ ДЛИТЕЛЬНЫХ ПЕРЕГРУЗОК

В этом случае трансформатор нагревается до постоянной температуры, которая превышает рабочую.

рассматривается трансформатор из предыдущего примера, но со следующими режимами работы

- ◆ начальная нагрузка: 80% от номинальной;
- ◆ перегрузка 130% в течение 168ч (одна неделя);

расчет дает следующие результаты

- ◆ температура в наиболее горячей точке при восьмидесяти процентах нагрузки: 100° С;
- ◆ температура в наиболее горячей точке после 168 часов перегрузки 130%: 173° С.

Сокращение срока службы трансформатора из-за длительной перегрузки: 3602 часа. Исходя из минимального расчетного ресурса 180.000 часов, сокращение в процентах: 2%. Таким образом, при 50 таких перегрузках срок службы трансформатора является исчерпанным.

Длительные перегрузки вызывают значительное снижение ресурса, поэтому необходимо заранее оценивать с конструктором это снижения исходя из возможных перегрузок.

Для контроля перегрузок могут быть рассмотрены дополнительные меры, как например, установка вентиляторов на трансформатор с конвективным охлаждением.

Большая часть производителей трансформаторов с литой изоляцией, среди которых также и ТМС, выбрала использование алюминиевой ленты для проводника как самую подходящую технологию производства. Этот выбор имеет неоспоримые преимущества, и со временем его также приняли многие производители трансформаторов с масляной изоляцией, которые изначально использовали медные провода круглого или прямоугольного сечения.

Изначально выбор алюминиевой ленты делался на основе совместимых коэффициентов расширения проводника и эпоксидной смолы, используемой для заливки обмотки высшего напряжения. Таким образом, уменьшался риск образования трещин из-за механических расширений, связанных с изменением нагрузки, или при возможном использовании трансформатора при низких температурах.

С момента появления на рынке трансформаторов с литой изоляцией проблема образования трещин стала аргументом внимания, как со стороны производителя, так и со стороны потребителя. Причина этому то, что проводник и изолятор были единым целым, в отличие от масляных трансформаторов, где такой проблемы никогда не было.

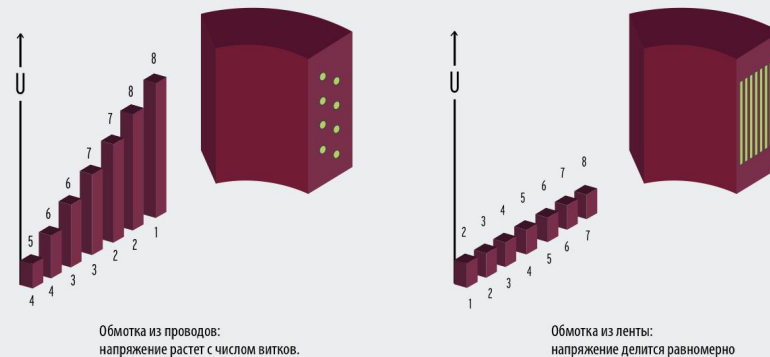
Трудности были большими во времена, когда не использовалась техника усиления литых обмоток, появившаяся как следствие применения нормы, касающейся климатического класса С2, которая сейчас требуется на всемирном уровне.

Кроме проблем с расширениями, выбор ленты вместо проводов круглого или прямоугольного сечения характеризуется другими неоспоримыми преимуществами. Во-первых, удалось достичь лучшей компактности машины, частично уменьшив габариты и компенсировав большие пространства, необходимые как для изоляции, так и для каналов охлаждения.

Во-вторых, гладкие поверхности ленты облегчили проникновение смолы внутрь обмотки, улучшив заполнение различных зазоров и позволив получить минимальное значение частичных разрядов, хорошо известного фактора старения.

Катушки из круглого или прямоугольного провода имеют более сложную структуру каналов для однородного проникновения смолы. Тип обмотки высшего напряжения в суперпозиционных катушках, позволяет получить постоянный градиент напряжения, как между спиралями, так и между дисками. В обмотке из проводов градиент растет (см. схему ниже).

Конечно, выбор ленты не мешает выбрать в качестве проводника медь. Но принимая во внимание большую проводимость этого материала, и оптимизируя соотношение цена-



качество, для небольшой линейки мощностей/напряжений не выгодно использовать ленту, потому что нужно было бы использовать очень маленькие толщины, что делает намотку катушек очень сложной и не надежной. Поэтому, выбирая медь в таких случаях, необходимо использовать провода круглого или прямоугольного сечения, типичные где жидкий изолятор легко проникает в каналы сложной формы, образуя равномерную изоляцию. Решение с литой изоляцией в этом случае будет подвергать продукт риску, описанному выше.



Катушка из алюминия





Поставщик: ООО «ЭНЕРГОИННОВАЦИИ»
ГАРАНТИЙНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ
И ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА
ГОРЯЧАЯ ЛИНИЯ service@energoinn.ru
[+7 \(495\) 233-02-88](tel:+74952330288) www.energoinn.ru

CP.01.15.RU