

# Трансформаторы напряжением свыше 1000 В



**Институт повышения квалификации  
Государственного морского университета имени адмирала Ф.Ф.Ушакова**

**Загурский Евгений  
Францевич**

*Старший электромеханик*

# Высоковольтные трансформаторы



## НАЗНАЧЕНИЕ

- Трансформаторы в основном используются для преобразования напряжения
- Гальваническая развязка различных уровней напряжения и создания сдвига фазы
- Трансформаторы используемые для питания преобразователей частоты, одновременно со сдвигом фаз, позволяют удалить наиболее вредные высшие гармоники.



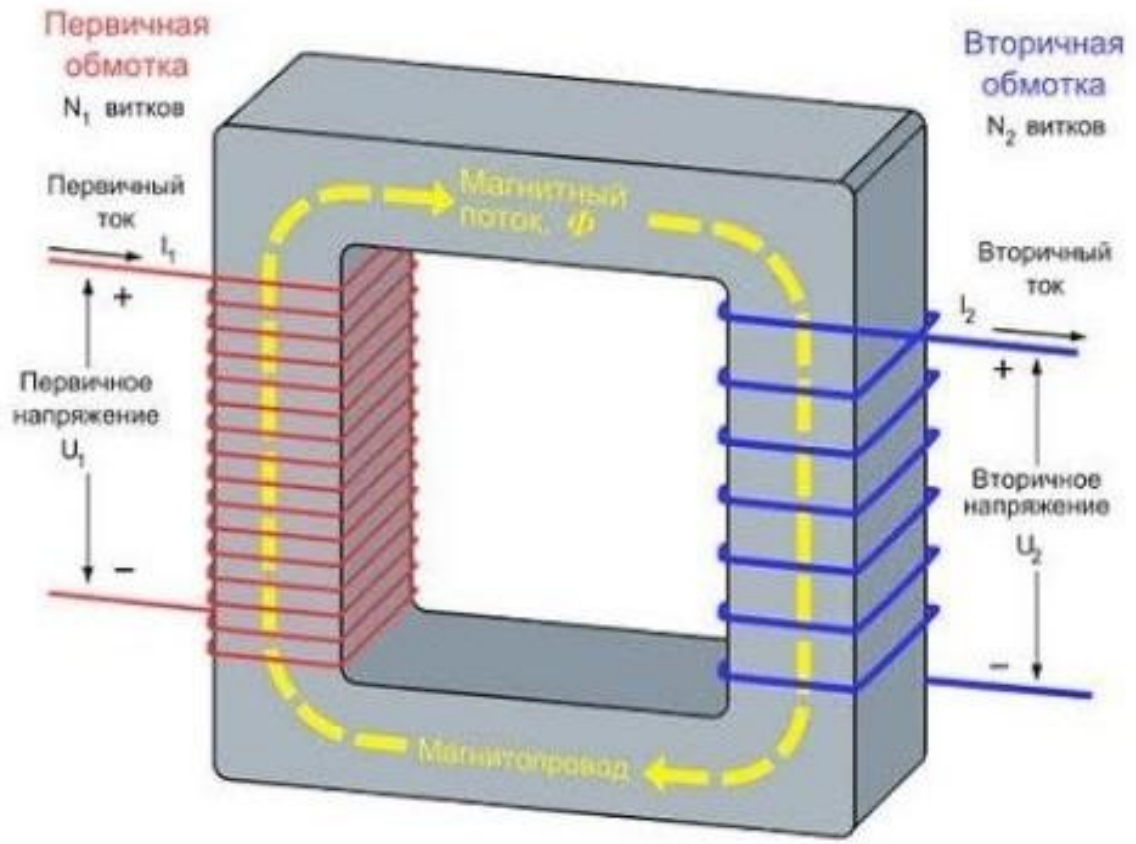
# Принцип действия трансформатора



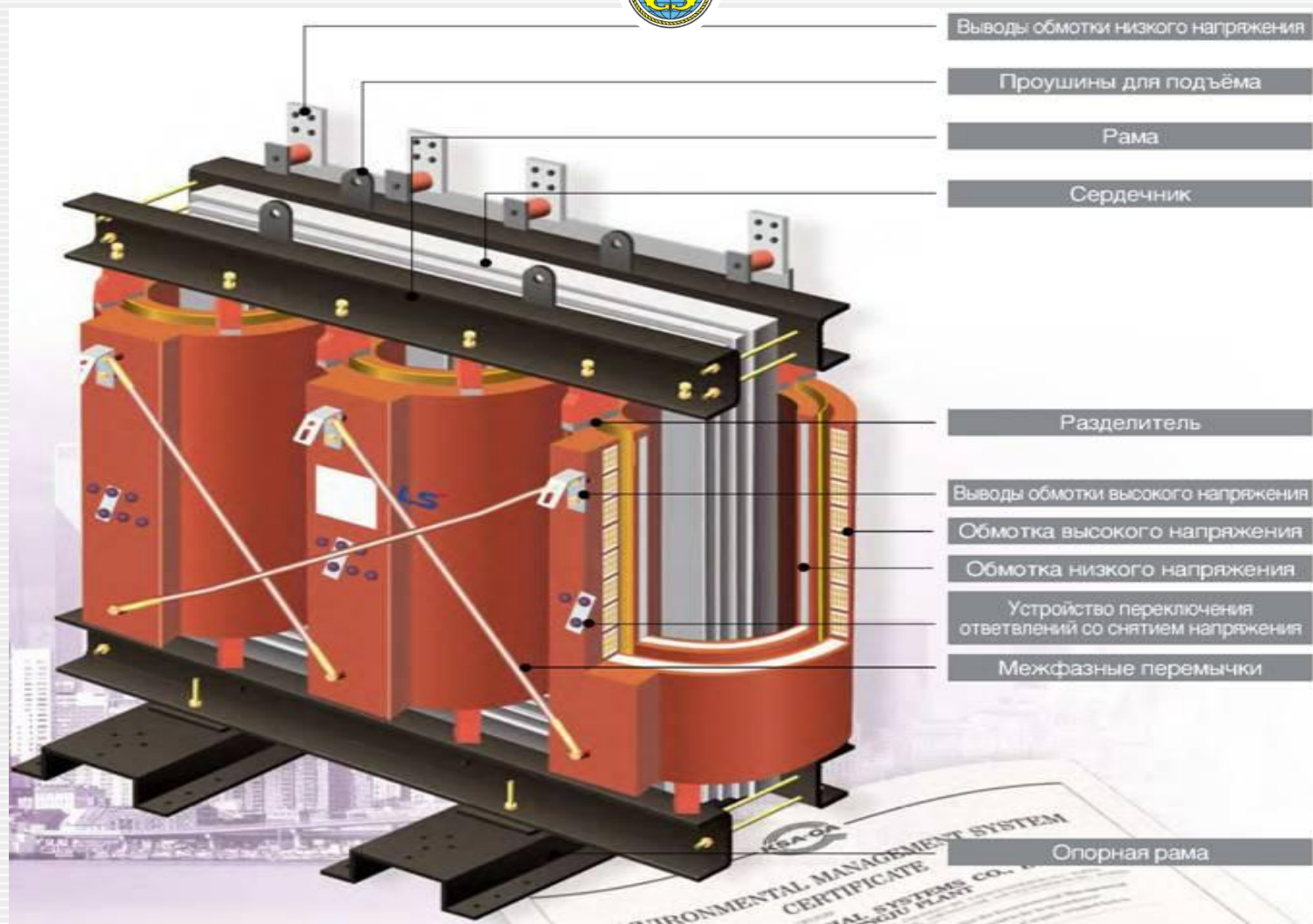
## Базовые принципы:

1. Изменяющийся во времени электрический ток создаёт изменяющееся во времени магнитное поле (электромагнетизм)
2. Изменение магнитного потока, проходящего через обмотку, создаёт ЭДС в этой обмотке (электромагнитная индукция)

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2} = n$$



# Конструкция сухого трансформатора



# Требования Российского Регистра Судоходства



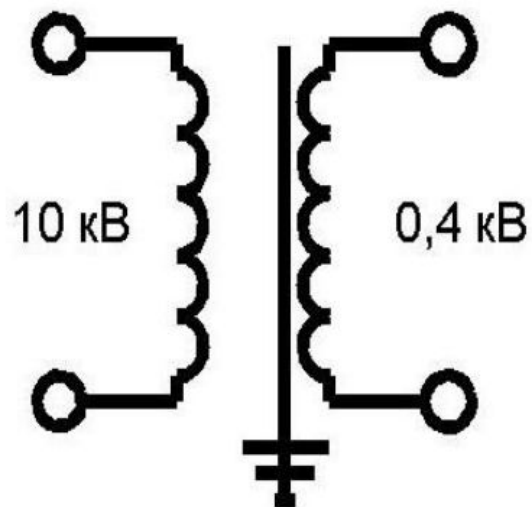
## **18.4 СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ**

### **18.4.1 Общие требования**

#### **18.4.1.1**

- Сухие трансформаторы должны отвечать требованиям стандарта МЭК 60076-11. (Трансформаторы силовые. Часть 11. Сухие трансформаторы)
- Применяемые сухие трансформаторы должны иметь заземленные экраны между обмотками высшего и низшего напряжений.
- Трансформаторы с жидкостным охлаждением должны отвечать требованиям стандарта МЭК 60076 (Трансформаторы силовые).

# Заземляемый экран между обмоткой ВН и НН



Предохранение  
низковольтных линий от  
попадания под высокий  
потенциал при пробое  
изоляции между обмотками



# Требования Российского Регистра Судоходства



- Трансформаторы, погруженные в охлаждающее масло, должны быть оборудованы, как минимум, устройствами АПС и защиты по следующим параметрам:
  - «Минимальный уровень жидкости» - АПС и автоматическое отключение или снижение нагрузки;
  - «Максимальная температура жидкости» - АПС и автоматическое отключение, или снижение нагрузки;
  - «Высокое давление газа в оболочке» - автоматическое отключение.



- ✓ При нестабильной работе трансформатора (нарушена система охлаждения, повреждения обмоток различного типа), масло начинает постепенно разлагаться на простые составляющие. В процессе выделяется определенное количество газов. Если реакция протекает медленно, то устройство подает предупреждающий сигнал, а если газ образуется слишком быстро, то реле просто отключает трансформатор;

## Газовое реле Бухгольца



# Требования Российского Регистра Судоходства



## **18.2.2.3 Трансформаторы.**

- Степень защиты оболочек трансформаторов должна быть не ниже, чем IP23.
- Для трансформаторов, устанавливаемых в помещениях, доступных для неподготовленного персонала, степень защиты оболочки должна быть не ниже, чем IP4X.
- На трансформаторы, не заключенные в оболочку, распространяются требования 18.7.1.

# Степени защиты IP (Ingress Protection)



| Первая цифра | Защита от проникновения посторонних предметов и пыли внутрь корпуса                                                                   | Вторая цифра | Защита от проникновения жидкости внутрь корпуса                                                                                                                         |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0            | Защита отсутствует                                                                                                                    | 0            | Защита отсутствует                                                                                                                                                      |
| 1            | Защита от твердых объектов размером более 50 мм. в диаметре: большие поверхности тела, нет защиты от сознательного контакта           | 1            | Вертикальные капли. Вертикально капающая вода не должна нарушать работу устройства                                                                                      |
| 2            | Защита от твердых объектов размером более 12 мм. в диаметре: пальцы и подобные объекты                                                | 2            | Вертикальные капли под углом до 15°. Вертикально капающая вода не должна нарушать работу устройства, если его отклонить от рабочего положения на угол до 15°            |
| 3            | Защита от твердых объектов размером более 2,5 мм. в диаметре: инструменты, кабели и т. п.                                             | 3            | Падающие брызги. Защита от дождя. Вода льётся вертикально или под углом до 60° к вертикали                                                                              |
| 4            | Защита от твердых объектов размером более 1 мм. в диаметре: большинство проводов, болты и т. п.                                       | 4            | Брызги. Защита от брызг, падающих в любом направлении                                                                                                                   |
| 5            | Пылезащищенное. Некоторое количество пыли может проникать внутрь, однако это не нарушает работу устройства. Полная защита от контакта | 5            | Защита от водяных струй с любого направления                                                                                                                            |
| 6            | Пыленепроницаемое исполнение. Пыль не может попасть в устройство. Полная защита от контакта                                           | 6            | Защита от морских волн или сильных водяных струй. Попавшая внутрь корпуса вода не должна нарушать работу устройства                                                     |
| 7            |                                                                                                                                       | 7            | При кратковременном погружении на глубину до 1м. вода не попадает в количествах, нарушающих работу устройства. Постоянная работа в погружённом режиме не предполагается |
| 8            |                                                                                                                                       | 8            | Длительное погружение на глубину более 1м. Полная водонепроницаемость. Устройство может работать в погружённом режиме                                                   |
|              |                                                                                                                                       | 9            | Длительное погружение и полная водонепроницаемость под давлением. Устройство может работать в погружённом режиме при высоком давлении жидкости                          |

# Степени защиты



IP31



IP00



IP44

IP23



# Требования Российского Регистра Судоходства



## ◆ 18.7.1.1

Если высоковольтное оборудование без защитной оболочки устанавливается в специальном помещении, фактически являющимся его оболочкой, то двери такого помещения должны иметь такую блокировку, чтобы их открытие было исключено, пока не будет отключено напряжение, и токоведущие части оборудования не будут заземлены.

У входов в помещения или пространства, где расположено высоковольтное оборудование, должны быть предусмотрены предупреждающие надписи о наличии опасного высокого напряжения. Соответствующее свободное пространство должно быть обеспечено вблизи высоковольтного оборудования для предотвращения серьезной потенциальной опасности обслуживающего персонала при проведении технического обслуживания. В дополнение, расстояние между распределительным щитом и подволоком/палубой выше должно отвечать требованиям классификации по воздействию внутренней дуги в соответствии со стандартом МЭК 62271-200.

# Требования Российского Регистра Судоходства



## **18.2.4.3 Силовые трансформаторы.**

- Силовые трансформаторы должны быть защищены от короткого замыкания и от перегрузки автоматическими выключателями.
- Если трансформаторы предназначены для параллельной работы, срабатывание защиты на первичной стороне должно приводить к автоматическому отключению его также на вторичной стороне.



K-Chief 600

Yard: COSCO ZHOUSHAN

KONGSBERG Hull no.:

# Power management system

Rev.:

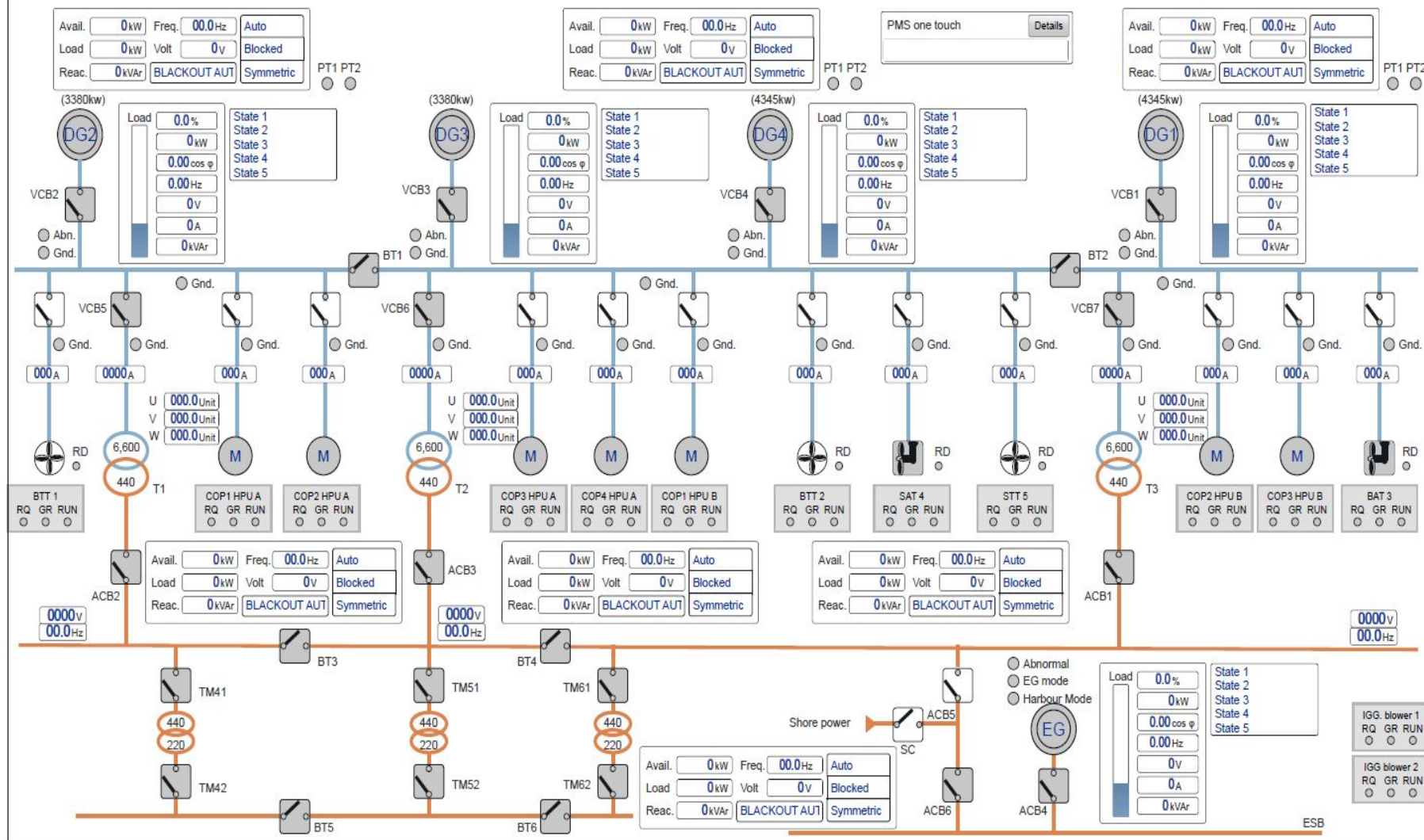
Date: 17/01/2015

P no.:

Designed by:

Checked by:

Approved by:



# Требования Российского Регистра Судоходства



## **18.2.4.4 Трансформаторы напряжения для систем управления и измерительных приборов.**

- Трансформаторы, предназначенные для питания цепей управления и приборов, должны быть защищены от перегрузки и короткого замыкания на вторичной стороне.

# Требования Российского Регистра Судоходства



## 18.4.1.3

Если на стороне низкого напряжения трансформаторов имеется изолированная нулевая точка, то между нулевой точкой каждого трансформатора и корпусом платформы должен быть предусмотрен искроразрядный предохранитель.

Предохранитель должен быть рассчитан не более чем на 80% минимального испытательного напряжения потребителей, питаемых от данного трансформатора.



## Пробивной предохранитель-разрядник

Пробивной предохранитель-разрядник предназначен для предотвращения повышения потенциала на стороне НН трансформатора и присоединенной к обмотке НН незаземленной сети при электрическом пробое между обмотками ВН и НН.

Предохранитель включают между обмотками НН и корпуса.

При соединении обмотки НН в звезду с выведенной нейтралью предохранитель присоединяют к вводу нейтрали, а при соединении обмотки НН в треугольник — к одному из линейных вводов.



# Требования Российского Регистра Судоходства



## **18.4.1.4**

К разряднику допускается параллельное присоединение аппаратуры для контроля состояния изоляции на низковольтной стороне установки или для обнаружения места повреждения этой изоляции. Такая аппаратура не должна препятствовать надежному действию разрядника.

# Требования Российского Регистра Судоходства



## **18.4.1.5**

Должны быть предусмотрены эффективные средства (например, подогрев) для предотвращения конденсации и накопления влаги внутри трансформаторов, когда они выключены.

# Требования Российского Регистра Судоходства



**18.4.1.6** Допускается применение алюминия в качестве материала обмоток для трансформаторов при выполнении следующих условий:

- .1** Обеспечение защиты обмоток и их выводов от коррозии при эксплуатации в морских условиях;
- .2** Обеспечение защиты от гальванической коррозии при соединении обмоток с токоведущими частями из других материалов;
- .3** Места соединений, указанные в **18.4.1.6.2**, должны быть доступны для осмотра и защищены от ослабления.

# Системы охлаждения трансформаторов



## Естественное воздушное охлаждение

- Другое название «Сухие»
- До 1600 кВА, до 15 кВ



## Естественное масляное охлаждение

- До 16000 кВА

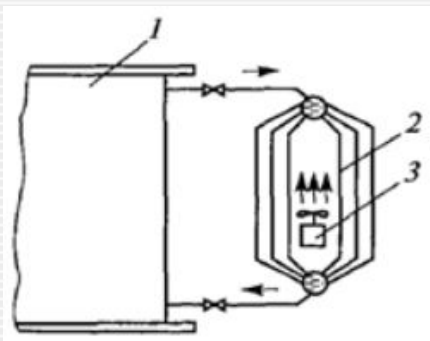


# Системы охлаждения трансформаторов



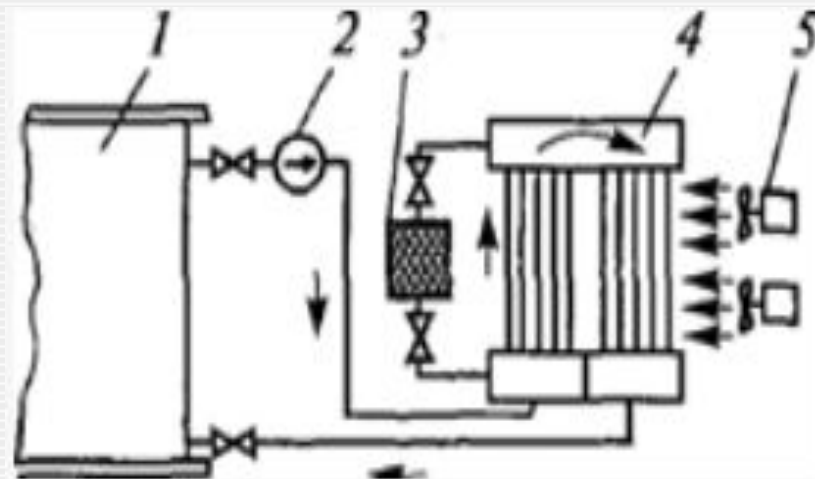
**Масляное охлаждение с дутьем  
и естественной циркуляцией  
масла**

- До 80.000 кВА



**Масляное охлаждение с дутьем и  
принудительной циркуляцией масла  
через воздушные охладители**

- Свыше 63 000 кВА

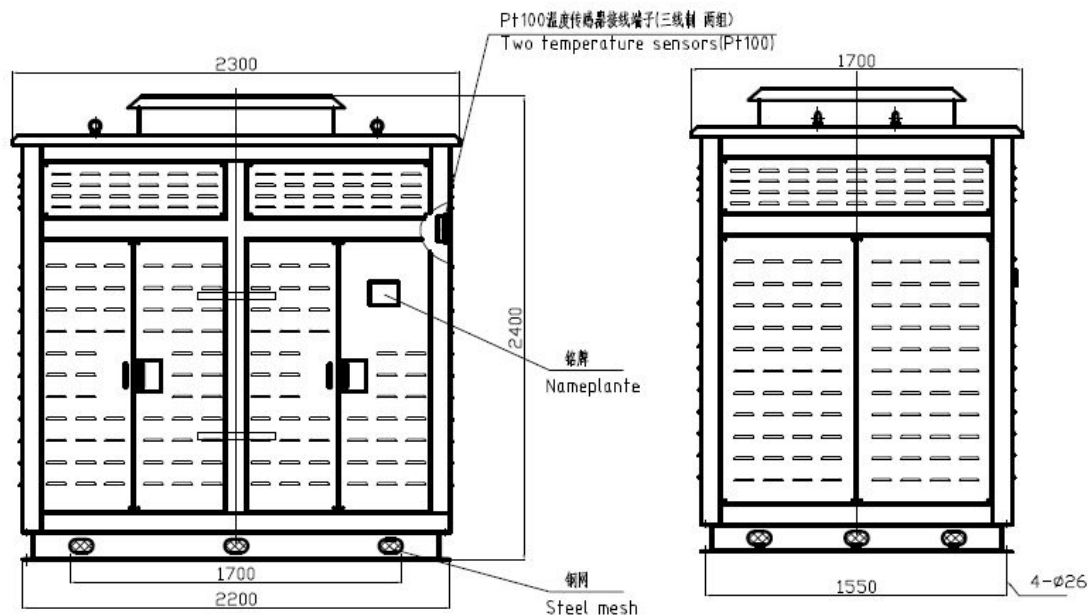


# Принудительное воздушно-водяное охлаждение трансформатора



# RATING&TECHNICAL DATA

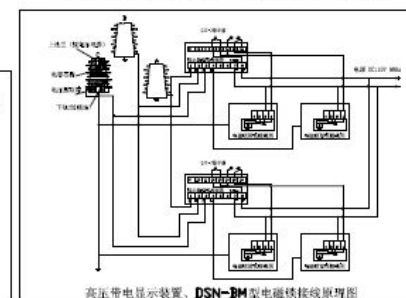
|                                     |      |                                       |  |  |  |  |
|-------------------------------------|------|---------------------------------------|--|--|--|--|
| Rule & Class                        |      | IEC60076   CB/T1001-92                |  |  |  |  |
| Max. Ambient Temp (°C)              |      | 45 °C                                 |  |  |  |  |
| Winding Temp Rise (K)               |      | 120 K                                 |  |  |  |  |
| Type (IP)                           |      | IP23                                  |  |  |  |  |
| Use                                 |      | Continuum                             |  |  |  |  |
| Rating                              |      | 2000kVA                               |  |  |  |  |
| No. of Set (sets)                   |      | 2                                     |  |  |  |  |
| Frequency (Hz)                      |      | 60 Hz                                 |  |  |  |  |
| Pri. Voltage (V)                    |      | 6600±2X2.5% V   ( Y )                 |  |  |  |  |
| Sec. Voltage (V)                    |      | 450 V   ( d )                         |  |  |  |  |
| Pri. Voltage TAP (V)                |      | 6900V   6750V   6600V   6450V   6300V |  |  |  |  |
| Polarity                            |      | -                                     |  |  |  |  |
| Connection                          |      | Yd11                                  |  |  |  |  |
| Insulation Class                    |      | H                                     |  |  |  |  |
| Electrical Performance              |      | Rate Voltage & Frequency & Capacity   |  |  |  |  |
| Efficiency (%)                      |      | 98.5%                                 |  |  |  |  |
| No-Load Current ( % )               |      | 1.3%                                  |  |  |  |  |
| Volt. Regulation (%)<br>(P.F : 1.0) |      | 2.5%                                  |  |  |  |  |
| Impedance (%)                       |      | 6.5%                                  |  |  |  |  |
| Cable Gland Type                    | Pri, |                                       |  |  |  |  |
|                                     | Sec. |                                       |  |  |  |  |
| Ref. Design Value                   |      | 0.87% RT                              |  |  |  |  |
|                                     |      | 6.34% XT                              |  |  |  |  |
|                                     |      | 6.4% ZT                               |  |  |  |  |
| Inrush Current (kA)                 |      | optional                              |  |  |  |  |



Transformer  
 Drop-proof dry type  
 Power: 2000kVA  
 No. of phase: 3  
 Connection: Yd11  
 Rated voltage: 6600±2X2.5%/450V(d)  
 Frequency: 60 Hz  
 Degree of Protection: IP23  
 Winding Temp Rise: 120K (H class)  
 No-load loss: 4600W  
 No-load current: 1.3%  
 Pk: 16370W  
 Uk: 6.5%  
 Painting: Munsell 7.5BG 7/2 Blue green  
 Capsule material: Steel 1.5mm  
 Heat productivity: approximately 5.5 kcal per second,

Connection diagram

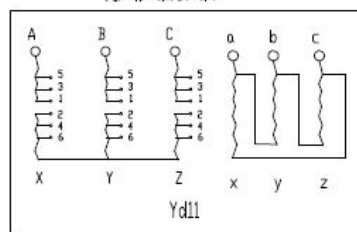
高压带电显示装置、电磁锁接线原理图



高压带电显示装置、DSN-BM型电磁锁接线原理图

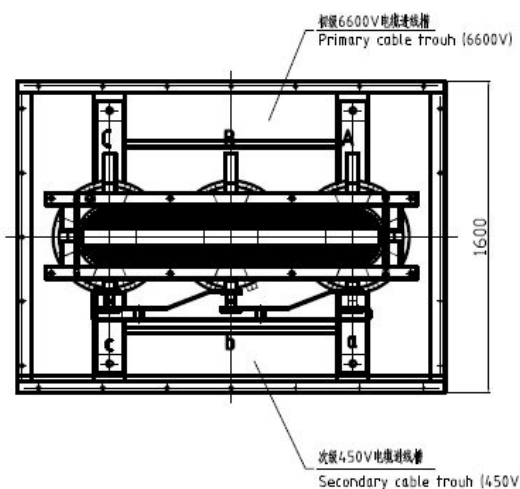
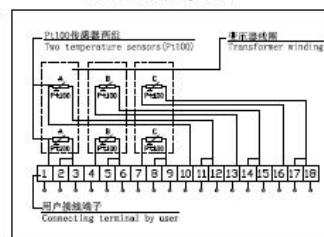
Connection diagram

变压器接线图



Connection diagram

PT100传感器接线图



| No       | DRAW No. | TYPE             | Number    | Stuff | weight   | remark   |
|----------|----------|------------------|-----------|-------|----------|----------|
|          |          | CSD-2000         |           |       |          |          |
|          |          | Transformer      |           |       |          |          |
| SERIAL   | QTY.     | GRID REF.        | SIGNATURE | DATE  | PART NO. | MASS(kg) |
| DESIGN   |          | STANDARD         |           |       |          | SCALE    |
| CHECKED  |          | APPLIED          |           |       |          |          |
| AUDITING |          |                  |           |       |          |          |
| TECHNICS |          | DATA             |           |       |          |          |
|          |          | 6600±2X2.5%/450V |           |       |          |          |
|          |          | Yd11 60Hz IP23   |           |       |          |          |
|          |          |                  |           |       |          |          |

Taizhou Haichuan Electrical  
 Equipment Manufacture CO.,LTD



## Устройство переключения выводов обмоток (Tap changer)

- Сухие трансформаторы являются как правило, распределительными трансформаторами и обычно изготавливаются с устройством переключения выводов обмоток
- Стандартное количество переключений – 5
- Переключение осуществляется без напряжения, как правило, болтовым соединением.





Для изоляции используются материалы с диэлектрическими свойствами:

- стекло, керамика, резина, слюда, многочисленные полимеры
- Воздушная изоляция
- Трансформаторное масло (напряжение пробоя выше, теплопередача лучше, но не более 105°C)
- Благодаря более высокому классу изоляции, используемого в сухих трансформаторах, допускается более высокая температура обмоток трансформатора.

## Изоляция Трансформаторов

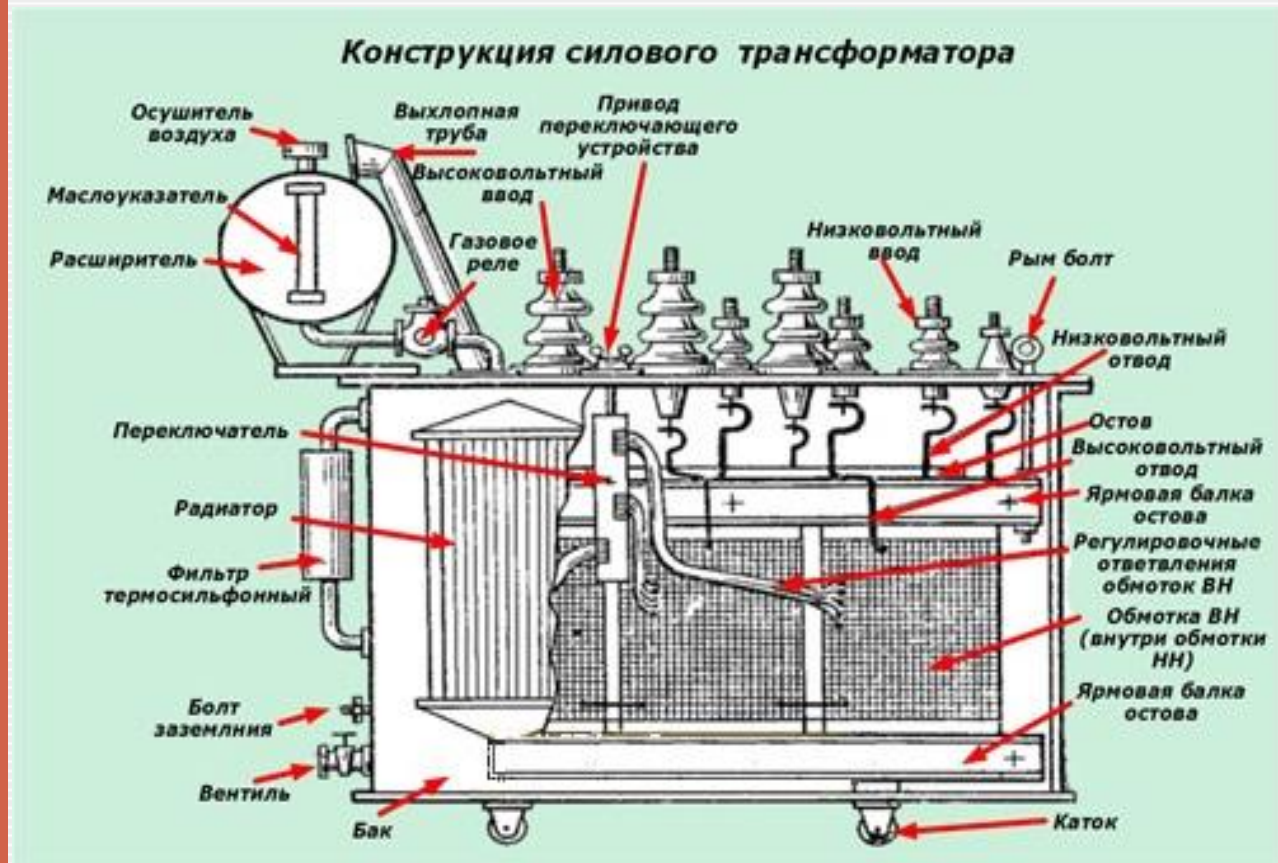
Допустимое превышение температуры обмотки трансформатора над температурой окружающей среды зависит от класса нагревостойкости (Thermal class)

| Thermal Class | Max temp allowed by insulation (°C) | Temp rise allowed in winding (°C) |       |
|---------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------|
| A             | 105                                 | 65                                | ← Oil |
| E             | 120                                 | 75                                |       |
| B             | 130                                 | 80                                |       |
| F             | 155                                 | 100                               | ← Dry |
| H             | 180                                 | 125                               |       |
| C             | 220                                 | 150                               |       |



- ✓ Датчик температуры обмоток (напр. Pt-100)
- ✓ Датчик температуры охлаждающего воздуха/воды
- ✓ Поглотители влаги
- ✓ Система постоянной очистки масла(фильтр)
- ✓ Защита от повышения давления внутри емкости. Система комбинируется с устройствами сброса лишнего давления и работает в автоматическом режиме
- ✓ Индикатор уровня масла.
- ✓ Газовое реле

## Дополнительное оборудование трансформаторов



# Обслуживание трансформаторов



## Сухие

- Визуальный осмотр концевых адаптеров, изоляции обмоток, выводов;
- Проверка болтов, высоковольтных ячеек, уровня шума;
- Проверка напряжения и токов на входе и выходе обмоток;
- Контроль соответствия рабочих токов и напряжения нормативным показателям;
- Определение коэффициента трансформации и сопротивления изоляции обмоток.

## Масляные

- Анализ трансформаторного масла, его долив или замена;
- Протяжка болтовых соединений;
- Высоковольтные испытания обмоток;
- Измерение сопротивления изоляции обмоток и коэффициента трансформации (отношение напряжений обмоток);