## Лекция 4

Трансформаторы. Автотрансформаторы.

- 1) Назначение и роль трансформаторов в ЭЭС.
- 2) Типы и харак<mark>те</mark>ристики трансформаторов.
- 3) Системы охлаждения.
- 4) Тепловая диаграмма.
- <u>5) Нагрев трансформатора при неравномерном</u> графике нагрузки.
- 6) Износ изоляции.
- 7) Нагрузочная способность.

**Трансформатор** - один из основных устройств энергетической системы, предназначенный для преобразования электрической энергии одного напряжения в электроэнергию другого напряжения.

Электроэнергия на пути от генератора до электроприемника претерпевает большое количество трансформаций.

Электроэнергию выгоднее передавать на высоких напряжениях (для снижения потерь).

#### Трансформаторы изготавливают:

1) Трехфазными



### Однофазными







#### Требования, предъявляемые к трансформаторам:

- Трансформатор должен быть надежным в эксплуатации;
- Экономичным;
- Заложенные расчетом потери не должны превышать допустимых пределов;
- Трансформатор должен удовлетворять условиям параллельной работы;
- Не перегреваться;
- Выдерживать допускаемое нормами превышение напряжения и внешние короткие замыкания при обусловленных стандартом значениях кратности и длительности протекания тока;
- Допускать регулирование напряжения.

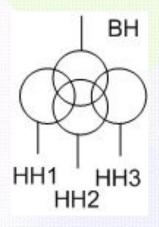
#### Классификация трансформаторов

- 1.В трансформаторах электроэнергия передается электромагнитным путем(за счет магнитной связи),а в автотрансформаторах электромагнитным путем и электрическим.
- 2. По назначению бывают повышающие или понижающие.
- **3.С регулированием напряжения под нагрузкой (РПН).** Позволяет дистанционно регулировать напряжение.

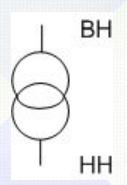
Переключатель без возбуждения (ПБВ) - регулирование напряжения путем переключения ответвлений обмоток без возбуждения после отключения всех его обмоток от сети.



- 4.По количеству обмоток двухобмоточные, трехобмоточные.
- 5. С расщеплением обмоток, без расщепления обмоток.



С расщеплением обмоток



Без расщепления обмоток

#### 6.По системе охлаждения:

- I. M
- ΙΙ. Д
- III. МЦ
- IV. НМЦ
- V. ДЦ
- VI. НДЦ
- VII. ⊔
- VIII. НЦ

# Для трансформаторов и автотрансформаторов установлены условные обозначения, в которых последовательно (слева направо) приводится следующая информация:

- 1. Вид электротехнического устройства(А-автотрансформатор, без обозначения -трансформатор).
- 2. Число <mark>фаз (</mark>O однофазный, T трехфазный).
- 3. Наличие расщепленной обмотки низшего напряжения Р.
- 4. Условное обозначение видов охлаждения.
- 5. Число обмоток (без об<mark>означен</mark>ия двухобмоточный, Т трехобмоточный ).
- 6. Наличие системы регулировании напряжения Н.
- 7. Исполнение (3 Защитное, Г грозоупорное, Л с литой изоляцией ).
- 8. Специфическая область применения ( С для систем собственных нужд электростанций, Ж для электрификации железных дорог).
- 9. Номинальная мощность, кВА.
- 0. Класс напряжения обмотки ВН, кВ.
- 1. Климатическое исполнение по ГОСТ 15150-69.
- 2. Категория помещений по ГОСТ 15150-69.

#### Технические параметры трансформаторов:

- 1) Номинальная мощность S<sub>ном</sub> , кВА, МВА.
- 2) Номинальное напряжение обмотки– U<sub>номВН</sub>, U<sub>номНН</sub>
- 3) Напряжение короткого замыкания U<sub>к</sub>,% ток, который нужно подвести к обмотке, чтобы в другой обмотке протекал номинальный ток (от 5-15 %).
- 4)  $P_x$  потери холостого хода.
- 5) Р<sub>к</sub> потери короткого замыкания.
- 6) Ток XX -это ток первичной обмотки ненагруженного трансформатора при номинальном напряжении. I<sub>x</sub>, %.

#### Системы охлаждения трансформаторов

Системы охлаждения определяются мощностью на которую рассчитаны. Источник выделения тепла – обмотка. Определяется классом изоляции.

#### Системы охлаждения:

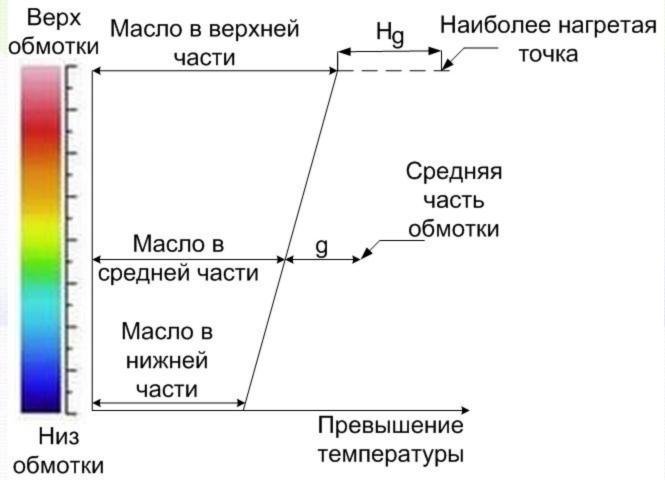
	Обозначение системы	
Вид системы охлаждения трансформатора	охлаждения	
	По ГОСТ	По МЭК
	11677-85	
Естественная циркуляция воздуха и масла	M	ONAN
Принудительная циркуляция воздуха и естественная циркуляция масла	Д	ONAF
Естественная циркуляция воздуха и принудительная циркуляция масла	N.41.1	OFANI
с ненаправленным потоком масла	МЦ	OFAN
Естественная циркуляция воздуха и принудительная циркуляция масла	118411	ODAN
с направленным потоком масла	НМЦ	ODAN
Принудительная циркуляция воздуха и масла с ненаправленным	пи	OFAF
потоком масла	ДЦ	UFAF
Принудительная циркуляция воздуха и масла с направленным потоком	НДЦ	ODAF
масла	ПДЦ	ODAI
Принудительная циркуляция воды и масла с ненаправленным потоком	ц	OFWF
масла	7/	OI VVI
Принудительная циркуляция воды и масла с направленным потоком	нц	ODWF
масла		

#### Обозначение системы охлаждения по МЭК

№ п/п		Внутреннее/ Inside	Outside /Внешнее
4	N/A	ON	AN
1	M	Oil Norm	Air Norm
		ON	AF
2	Д	Oil Norm	Air Force
		Естественная циркуляция масла	Воздушное с принудительной
			циркуляцией воздуха(дутьё)
		OF	AN
		Oil Force	Air Norm
3	МЦ	Принудительная циркуляция	Естественная циркуляция воздуха
		масла с ненаправленным	
		потоком масла	
		OD	AN
		Oil Direct	Air Norm
4	НМЦ	Принудительная циркуляция	Естественная циркуляция воздуха
		масла с направленным потоком	
		масла	

B 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1	987 PRESIDENT FROM PROPERTY PR			
5		OF AF		
	ДЦ	Oil Force Air Force		
		Принудительная циркуляция Воздушное с принудительной		
		масла с ненаправленным циркуляцией воздуха(дутьё)		
		потоком масла		
		OD <mark>AF</mark>		
		Oil Direct Air Force		
6	НДЦ	Принудительная циркуляция Воздушное с принудительной		
		масла с направленным потоком циркуляцией воздуха(дутьё)		
		масла		
		OF WF		
7	Ц	Oil Force Water Force		
		Принудительная циркуляция Принудительная циркуляция воды		
		масла с ненаправленным		
		потоком масла		
8		OD WF		
	нц	Oil Direct Water Force		
		Принудительная циркуляция Принудительная циркуляция воды		
		масла с направленным потоком		
		масла		

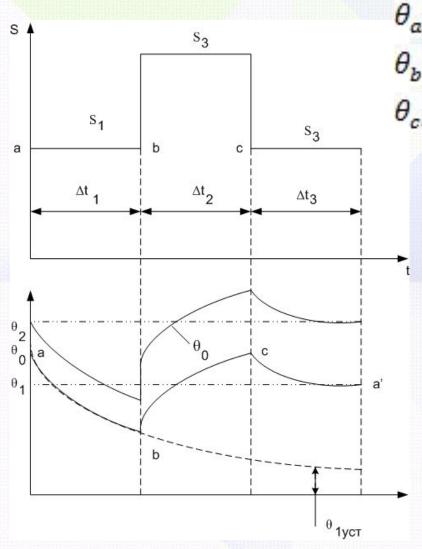
#### Схема распределения температуры



Hg –разница температур между наиболее нагретой точкой и маслом в верхней части обмотки.

g- разница между средним превышением температуры, измеренным по сопротивлению и средним превышением температуры масла.

# Нагрев трансформатора при ступенчатом графике нагрузки.



$$\begin{aligned} \theta_{ab} &= \theta_0 + (\theta_{1y} - \theta_0)(1 - e^{-\Delta t_1/\tau}) \\ \theta_{bc} &= \theta_{ab} + (\theta_{2y} - \theta_1)(1 - e^{-\Delta t_2/\tau}) \\ \theta_{ca'} &= \theta_2 + (\theta_{3y} - \theta_2)(1 - e^{-\Delta t_3/\tau}) \end{aligned}$$

 $heta_0, heta_{ab}, heta_{bc}, heta_{ca}$  — превышение температуры масла над температурой охлаждающей среды  $heta_{1y}, heta_{2y}, heta_{3y}$  — превышение температуры масла над температурой охлаждающей среды в установившехся режимах

т- тепловая постоянная времени трансформатора  $\Delta t$  –продолжительность ступеней

#### Износ изоляции

Зависимость среднего срока службы изоляции

A - постоянная,  $A=(1,5-7,5)\cdot 10^4$  лет

 $\alpha$  –коэффициент,  $\alpha$  = 0,115

9 – температура изоляции в наиболее нагретой точке.

При номинальной температуре +98 °C

$$V_{HOM} = Ae^{-\alpha \vartheta HOM}$$

 $V=V/V_{
m HOM}={
m e}^{-lpha(artheta-artheta{
m HOM})}-$  срок службы изоляции  $L=rac{1}{V}={
m e}^{lpha(artheta-artheta{
m HOM})}$  - относительный износ изоляции

Износ изоляции, когда температура изоляции не остается постоянной

$$H = \int_0^t L(t)dt$$
 - срок службы изоляции в часах, годах и т.д.

При проектировании графиков нагрузки потребителей на 5 год после ввода в эксплуатацию для потребителей II категории она не должна превышать 80 %. 3 % в год – нормальный прирост износа. После 15 лет износ начинает увеличиваться (иногда превышает нормативный).

#### Режим циклических нагрузок

- Режим циклических нагрузок может быть режимом систематических нагрузок или режимом продолжительных аварийных перегрузок.
- 1) Режим систематических нагрузок: режим, в течение части цикла которого температура охлаждающей среды может быть более высокой и ток нагрузки превышает номинальный, однако с точки зрения термического износа такая нагрузка эквивалентна номинальной нагрузке при номинальной температуре охлаждающей среды.
- 2) Режим продолжительных аварийных перегрузок: режим нагрузки, возникающий в результате продолжительного выхода из строя некоторых элементов сети, которые могут быть восстановлены только после достижения постоянного значения превышения температуры трансформатора.

2б)Режим кратковременных аварийных перегрузок: режим чрезвычайно высокой нагрузки, вызванный непредвиденными воздействиями, которые проводят к значительным нарушениям нормальной работы сети, при этом температура наиболее нагретой точки проводников достигает опасных значений и в некоторых случаях происходит временное снижение электрической прочности изоляции.

#### Бывают три категории трансформаторов:

#### а) Распределительный трансформатор.

Трансформатор трехфазный номинальной мощностью 2500 кВА включительно или до 833 кВА на стержень фазы и с номинальным напряжением до 35 кВ включительно, т.е. трансформатор с раздельными обмотками, понижающий до напряжения потребителя, с охлаждением типа ОN, и без переключения напряжения под нагрузкой.

#### б) Силовой трансформатор средней мощности.

Трансформатор с раздельными обмотками, имеющий номинальную мощность не более 100 МВА для трехфазных трансформаторов, или 33,3 МВА на стержень с обмотками, и имеющий номинальное полное сопротивление(импеданс) короткого замыкания,  $Z_r$ , благодаря ограничению плотности потока рассеяния, не превышающим величину

$$Z_r = (25 - 0.1 \cdot 3.5 \text{ /W}), \%,$$

где W – число стержней с обмотками, S<sub>r</sub> – номинальная мощность, MBA.

#### в) Большой силовой трансформатор.

Трансформатор номинальной мощности более 100 MBA (трехфазный) или имеющий импеданс короткого замыкания больше установленного выше.

#### Существуют три режима работы

1) Нормальный режим.

Нормальными режимами работы считаются такие, на которые рассчитан трансформатор и при которых он может длительно работать при допустимых стандартами или техническими условиями отклонениях основных параметров (напряжение, ток, частота, температура отдельных элементов) и нормальных условиях работы (климат, высота установки над уровнем моря). Номинальные значения основных параметров трансформатора указаны на его щитке и в паспорте.

- 2) **Ремонтный режим** один или несколько элементов электроустановки выведено в плановый ремонт.
- 3) Аварийный режим —режим, при которых трансформаторы не могут находиться в работе длительное время, поскольку отклонение даже одного из основных его параметров от номинального значения при достаточной длительности создает угрозу повреждения или разрушения частей трансформатора.

#### Допустимые превышения параметров

Параметр	Допустимые значения		
Длительность превышения напряжения, не более	20 мин.	20 сек.	
Предыдущая нагрузка в отношении к номинальному току ответвления, не более		1,00	
Кратность напряжения в отношении к номинальному напряжению ответвления, не более	1,15	1,30	

#### **Автотрансформатор**

Автотрансформатор – это трансформатор у которого обмотки высшего напряжения и среднего напряжения имеют электрическую связь.

$$k_{_{\mathbf{T}\mathbf{U}\Pi}} = \frac{U_{\mathrm{BH}} \cdot U_{\mathrm{CH}}}{U_{\mathrm{CH}}}$$

Глухое заземление нейтрали

 $k_{_{\mathbf{T}\mathbf{u}\mathbf{n}}}^{}$ - коэффициент типовой мощности, т.е. какая часть электроэнергии передается магнитным путем(за счет магнитной связи). Чем меньше  $k_{_{\mathbf{T}\mathbf{u}\mathbf{n}}}$ , тем более выгодно применять автотрансформатор.

#### Преимущества АТ:

Меньший вес, меньшие габариты, меньшая стоимость, уменьшение расхода цветных металлов(меди).

#### Недостатки:

Нельзя использовать в сетях с изолированной нейтралью.

#### Режимы работы АТ.

- При выборе мощности автотрансформатора, при решении вопроса о допустимости того или иного режима, при подсчете потерь мощности и энергии в автотрансформаторе необходимо знать нагрузку каждой его обмотки, в особенности наиболее нагруженной.
- 1) Режимы, в которых мощность передается из системы высшего напряжения в систему среднего напряжения или в обратном направлении(третичная обмотка не нагружена), являются автотрансформаторными. При этих режимах передаваемая мощность не должна превышать номинальную мощность автотрансформатора.
- 2) Если третичная нагрузка также нагружена такой режим принято называть комбинированным.