

# Стандартизация в электроэнергетике

Лектор – Стрижова Татьяна Анатольевна

**Цель дисциплины – знакомство с нормами ГОСТ в области проектирования систем электроснабжения и качества электроэнергии.**

# Стандартизация в электроэнергетике

Лекции

Практическая  
работа

Контрольная  
работа

Зачет



Кафедра электроснабжения

# **СТАНДАРТИЗАЦИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

**Учебно-методический комплекс**

Институт энергетический  
Специальность 140211.65 –  
электроснабжение

Направления подготовки бакалавра  
140200.62 – электроэнергетика

Санкт-Петербург  
Издательство СЗТУ  
2008

## К основным целям стандартизации относятся:

- обеспечение безопасности продукции, работ и услуг для окружающей среды, жизни, здоровья и имущества;
- повышение качества продукции в соответствии с уровнем развития науки, техники и технологии;
- обеспечение технической и информационной совместимости, а также взаимозаменяемости продукции;
- экономия всех видов ресурсов;
- обеспечение единства измерений;
- устранение технических барьеров в производстве и торговле, улучшение конкурентоспособности продукции на мировом рынке;
- обеспечение безопасности хозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф и других чрезвычайных ситуаций;
- содействие повышению обороноспособности и мобилизационной готовности страны.



**Основные принципы стандартизации;**  
**Организация работ по стандартизации;**

**Категории нормативных документов  
и виды стандартов;**

**Методические основы стандартизации**  
*(ограничение, типизация, агрегатирование, унификация)*

# **Изучение стандартов с перечислением их основных показателей:**

- **Выполнение чертежей по СЭС**
- **Категории надежности**
- **Выбор режима нагрузки трансформаторов**
- **Показатели качества электроэнергии**



# ГОСТ 19431-84

- Энергетика и электрификация.
- Термины и определения



# **Электроэнергетическая система**

**Электроэнергетическая система - электрическая часть энергосистемы и питающиеся от нее приемники электрической энергии, объединенные общностью процесса производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии.**



# **Система электроснабжения**

**Система электроснабжения общего назначения - совокупность электроустановок и электрических устройств энергоснабжающей организации, предназначенных для обеспечения электрической энергией различных потребителей (приемников электрической энергии).**

# Электрическая сеть

**Электрическая сеть общего назначения - электрическая сеть энергоснабжающей организации, предназначенная для передачи электрической энергии различным потребителям (приемникам электрической энергии).**



# **Центр питания**

**Центр питания - распределительное устройство генераторного напряжения электростанции или распределительное устройство вторичного напряжения понизительной подстанции энергосистемы, к которым присоединены распределительные сети данного района.**

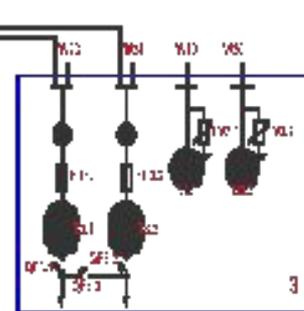
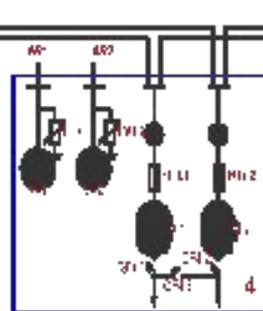
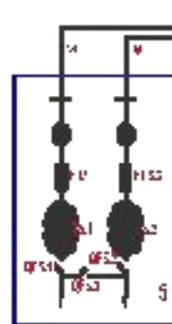
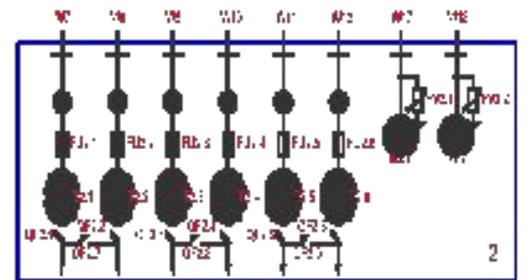
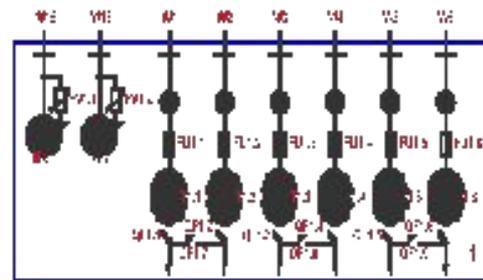
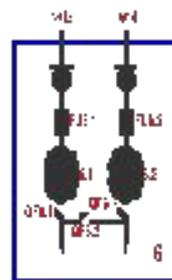
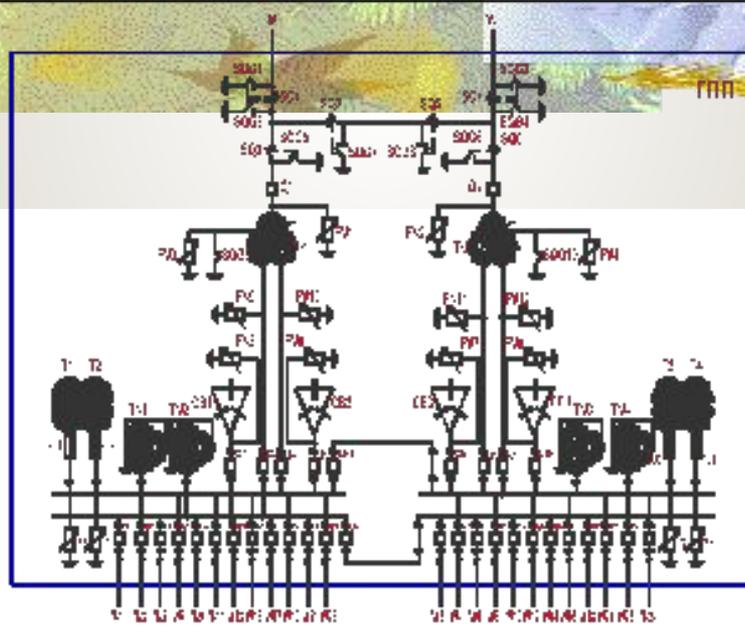


# **Точка общего присоединения**

**Точка общего присоединения - точка электрической сети общего назначения, электрически ближайшая к сетям рассматриваемого потребителя электрической энергии, к которой присоединены или могут быть присоединены электрические сети других потребителей.**

# **Потребитель электрической энергии**

**Потребитель электрической энергии - юридическое или физическое лицо, осуществляющее пользование электрической энергией (мощностью).**



## 2.1. Стандартизация терминов, определений, буквенных обозначений в электротехнике

В ГОСТ 19880-74 приведены основные понятия, принятые в электротехнике. В нем сгруппированы понятия, относящиеся к области электромагнитных явлений, к электрическому полю, электрическому току, магнитному полю, электрическим и магнитным свойствам вещества, электрическим, электронным и магнитным цепям, к теории электрических цепей, и понятия, относящиеся к процессам в электрических и магнитных цепях и средах.



**ГОСТ 1494-77 "Электротехника.**

**Буквенные обозначения основных величин"**

устанавливает, что в качестве буквенных обозначений величин должны применяться буквы латинского и греческого алфавитов при необходимости с нижними и (или) верхними индексами.

**ГОСТ 8.417-81 "Единицы физических величин"**

предписывает обязательное применение

Международной системы

(международное сокращенное название - SI,

в русской транскрипции - СИ), а также

десятичные кратные и дольные от этих единиц.



## 2.2. Правила выполнения электрических схем

Все схемы подразделяются по видам и типам.

Виды схем обозначают буквами:

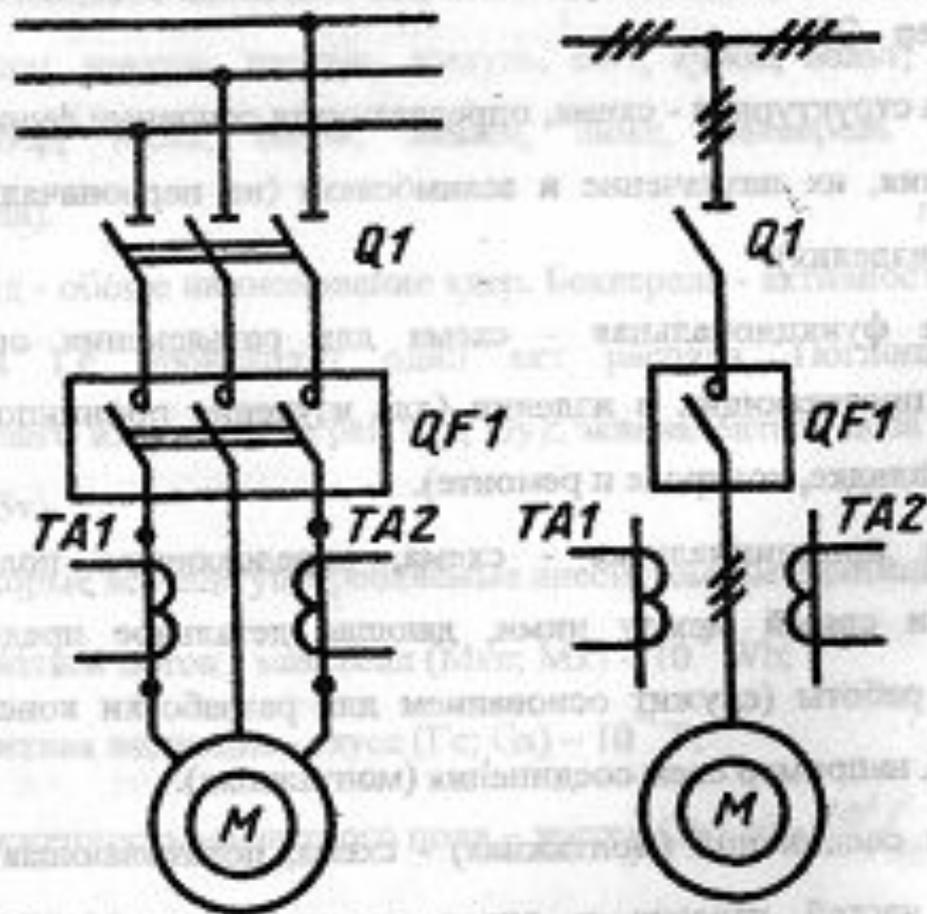
электрические - Э, оптические - Л, энергетические -  
Р,  
гидравлические - Г, пневматические – П и т. д.

Типы схем обозначают цифрами: структурные – 1,  
функциональные – 2, принципиальные (полные) –

3,  
соединений (монтажные) – 4, подключения – 5,  
например, – ЭЗ.



**Схема принципиальная** – схема, определяющая полный состав элементов и связей между ними, дающая детальное представление о принципах работы (служит основанием для разработки конструкторских документов, например схем соединения (монтажных)).



# Параметрические ряды

ГОСТ 8032-84 "Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел"

предпочтительные числа получают на основе геометрической прогрессии,  $v$ -й член которой равен

$$q_v = \pm 10^{\frac{v}{R}}$$

где  $R = 5, 10, 20, 40, 80$  и  $160$ , а  $v$  принимает  
целые

значения в интервале от 0 до  $R$

знаменатель прогрессии  $Q = \sqrt[R]{10}$



Члены прогрессии, расположенные в интервале от 1,00 до 10,00, составляют исходный ряд. Ряды предпочтительных чисел не ограничиваются в обоих направлениях, при этом предпочтительные числа менее 1 и более 10 получают делением или умножением членов исходного ряда на 10, 100, 1000 и т. д.

Допускаемые отклонения напряжений выбирают из ряда 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 10; 15 % от номинальных значений



# Стандартизация степени защиты оборудования

Степени защиты электрооборудования  
регламентируются ГОСТ 14254-96  
(МЭК 529-89)

**Код IP** - система кодификации, применяемая для обозначения степеней защиты, обеспечиваемых оболочкой, от доступа к опасным частям, попадания внешних твердых предметов, воды, а также для предоставления дополнительной информации, связанной с такой защитой.



## Состав кода IP

IP 2 3 C H

Буквы кода (Международная защита)  
(International Protection)

Первая характеристическая цифра  
(цифры от 0 до 6 либо буква X)

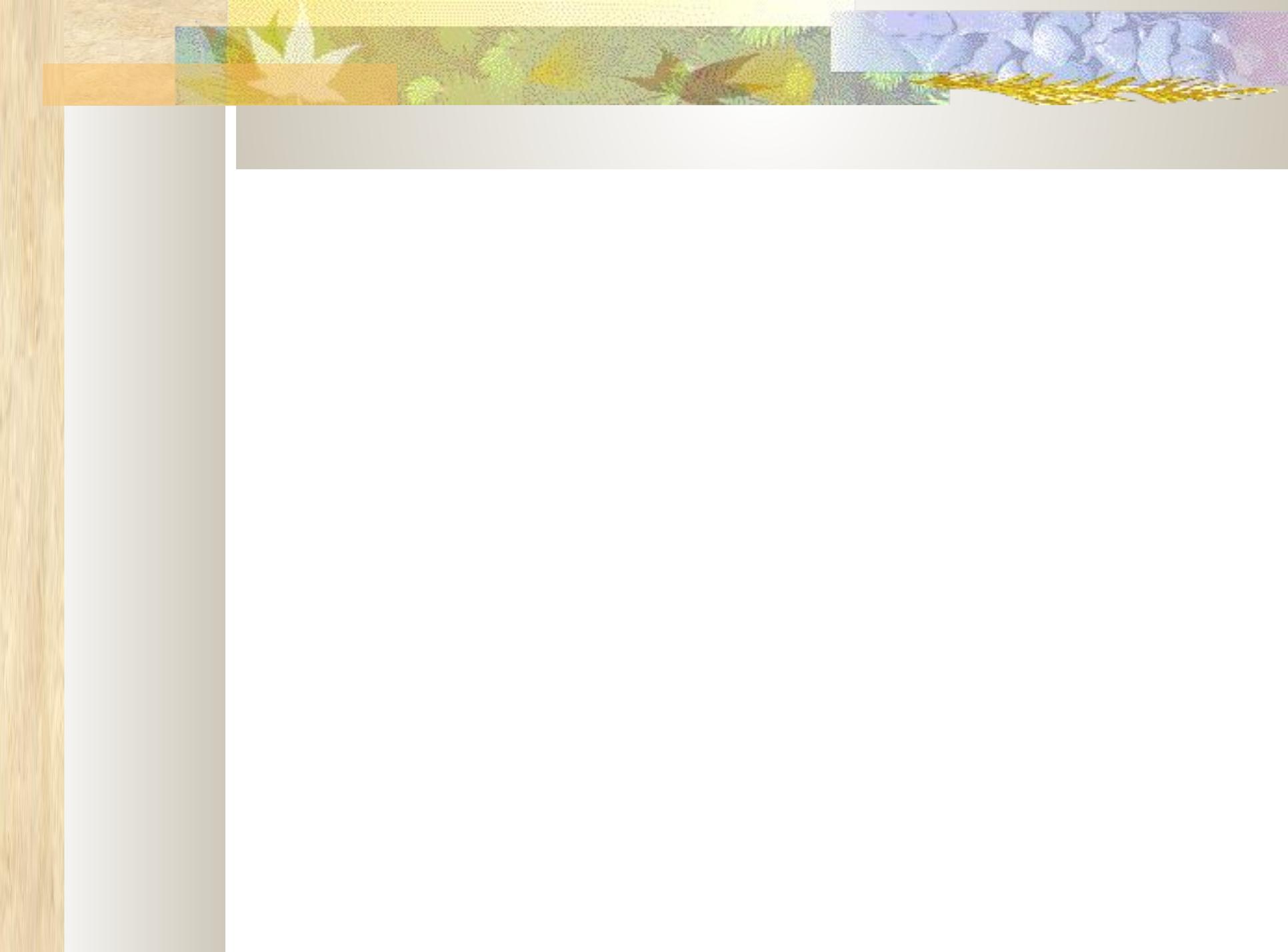
Вторая характеристическая цифра  
(цифры от 0 до 8 либо буква X)

Дополнительная буква (при  
необходимости) (буквы A, B, C, D)

Вспомогательные буквы (при  
необходимости) (буквы H, M, S)

Дополнительные и вспомогательные буквы опускают без  
замены на X. При использовании более одной  
дополнительной

буквы применяют алфавитный порядок.



Обозначения основного и дополнительного рядов	Знаменатель ряда	
	Округленное значение $Q_0$	Точное значение $Q_T$
R5	1,6	
R10	1,25	
R20	1,12	
R40	1,06	
R80	$1,05 \sqrt[5]{10}$	
R160	1,015	



# Номинальные напряжения

$U_{\text{ном}}$

**ГОСТ 721-97 .Номинальные  
напряжения свыше 1000 В.**

**ГОСТ 21128-83.Номинальные  
напряжения до 1000 В.**



# **Номинальные напряжения**

**Для генераторов кВ :**

**13,8; 15,75; 18,0; 20,0; 24,0 и 27,0.**

**Сети и приемники, кВ :**

**6,10,20,35,110,220,330,500,750,  
1150.**

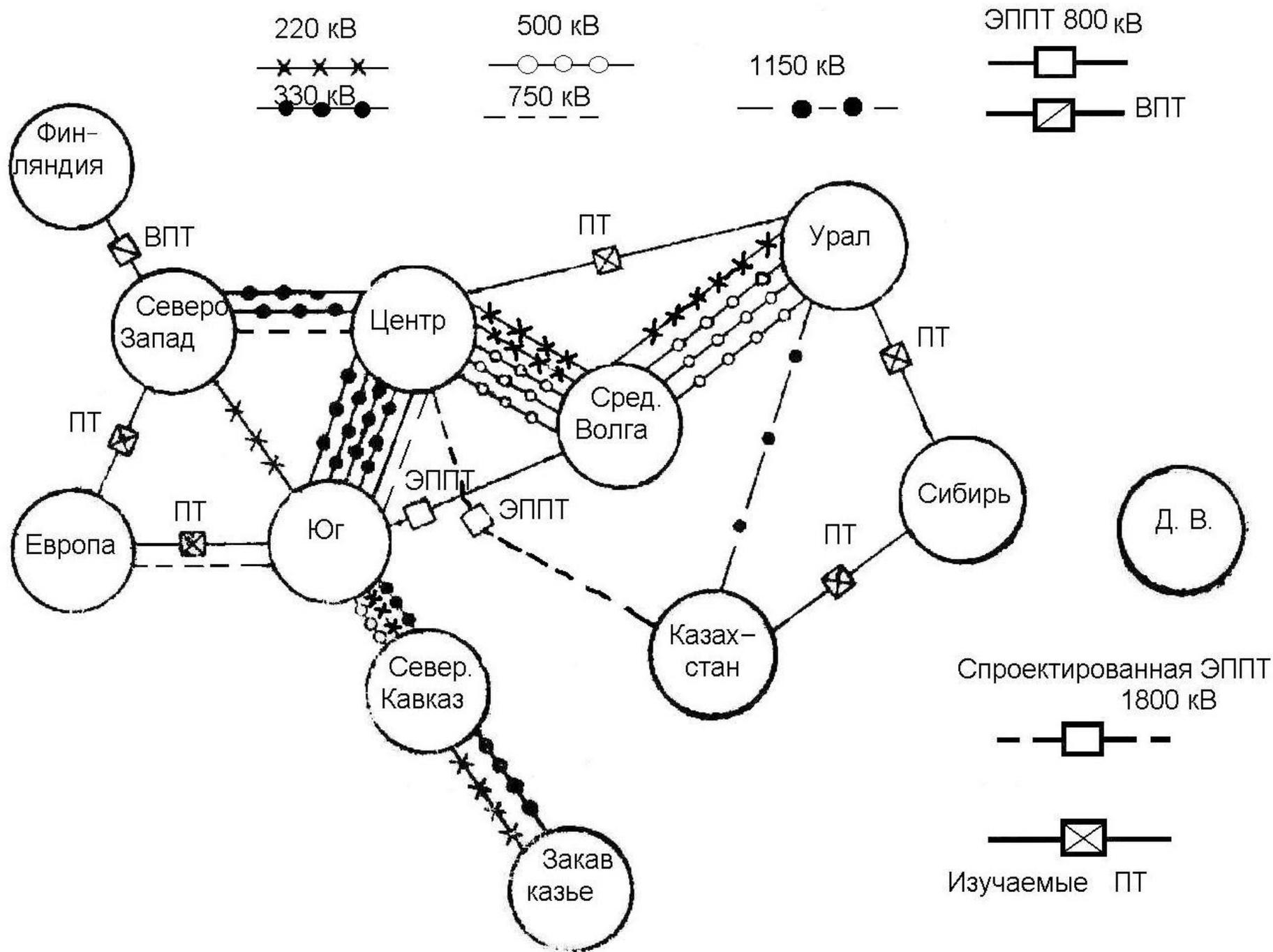


# **Наибольшее рабочее напряжения**

**7,2; 12 ; 24 ; 40,5 ; 126 ;**

**252 ; 363 ; 525 ; 787;**

**1200 кВ**





# **Масштабы ЧЕРТЕЖЕЙ**

## **ГОСТ 2.302**

### **Масштабы уменьшения**

**1:2;1:2,5;1:4;1:5;1:10;1:15;1:20;1:25;1:40;1:50;1:75;1:100;1:200;  
1:300;1:400;1:500;1:800;1:1000.**

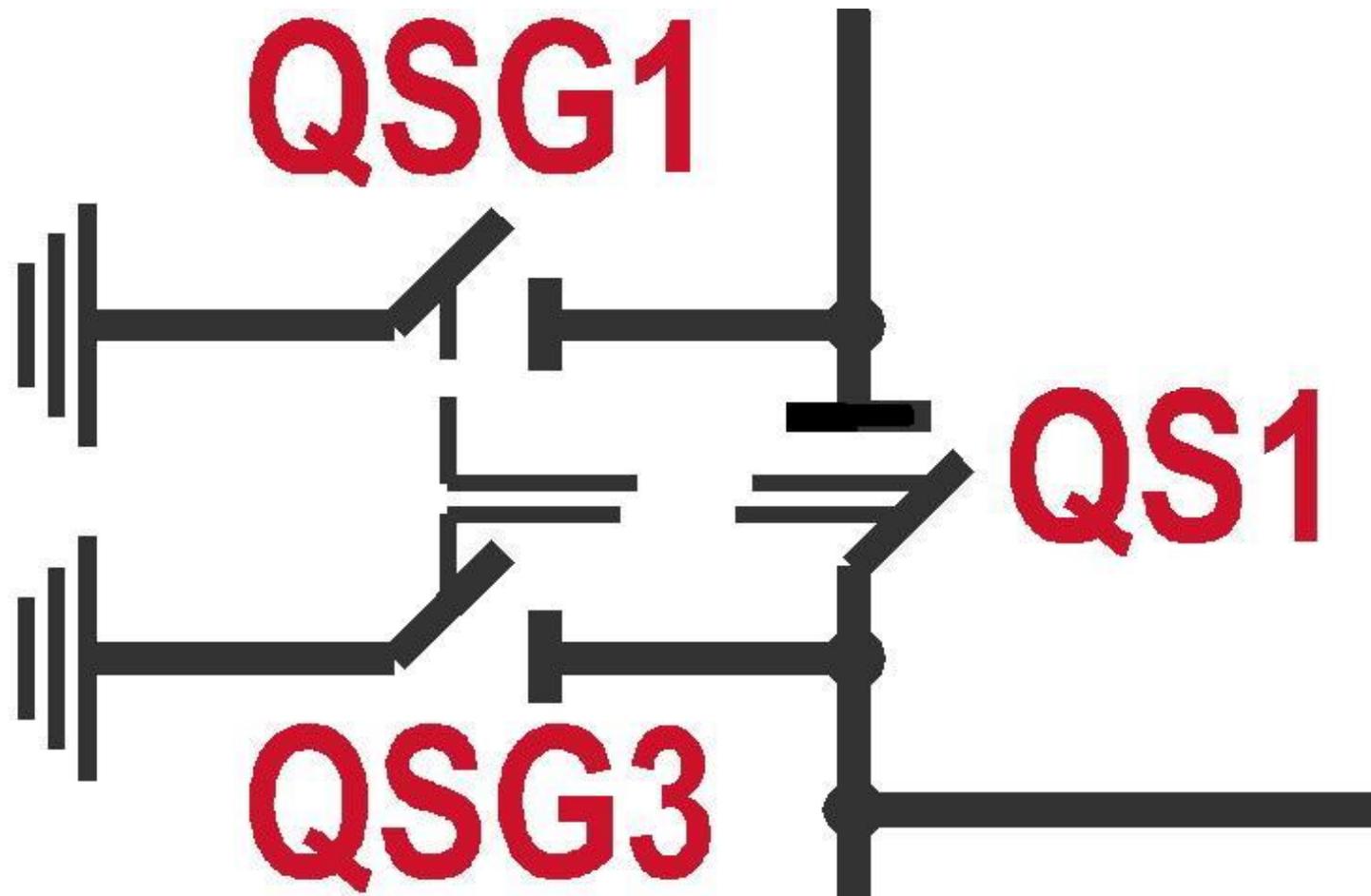
### **Масштабы увеличения**

**2:1;2,5:1;4:1;5:1;10:1;40:1;  
50:1;100:1.**



**ГОСТ 2.756.**  
**Обозначения условные**  
**графические в схемах**

# Разъединители 35-1150 кВ

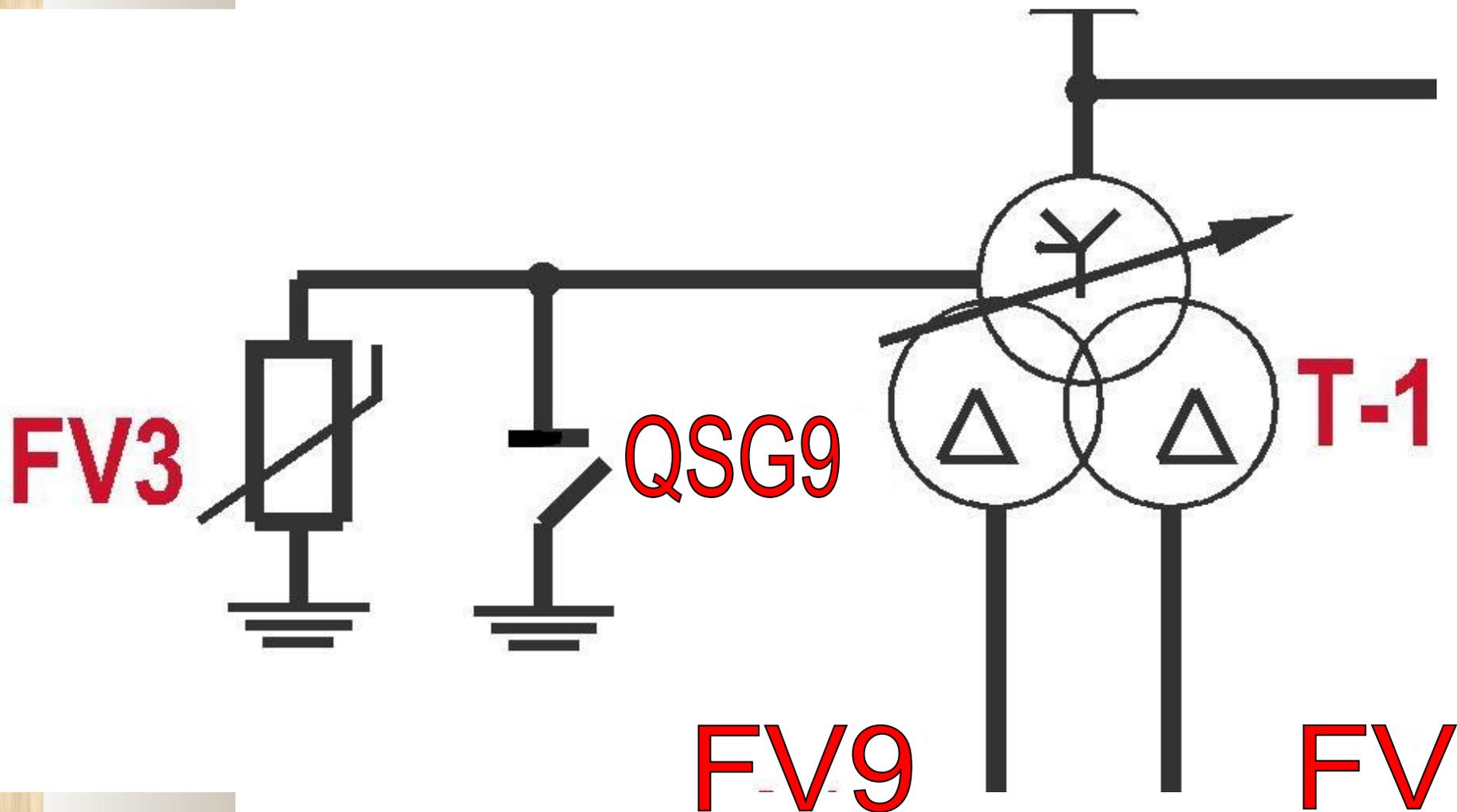


# Выключатели 35-1150 кВ

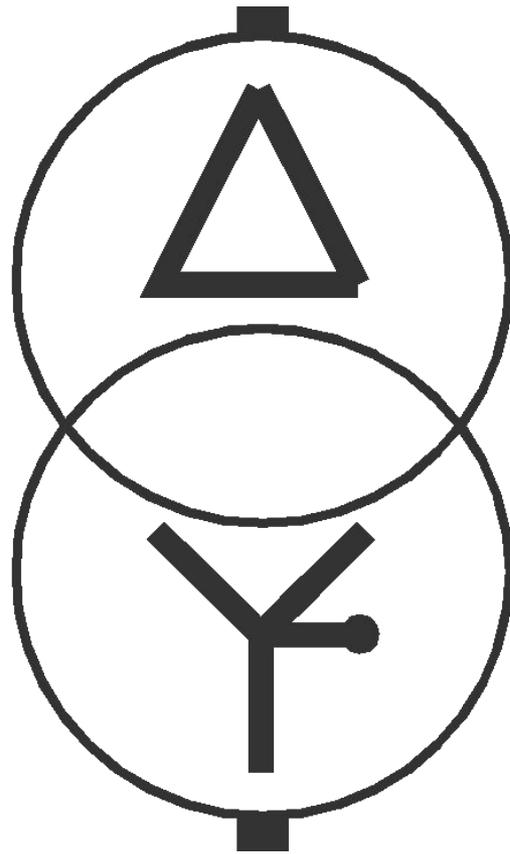


# Силовые трансформаторы

ГПП 110-330 кВ

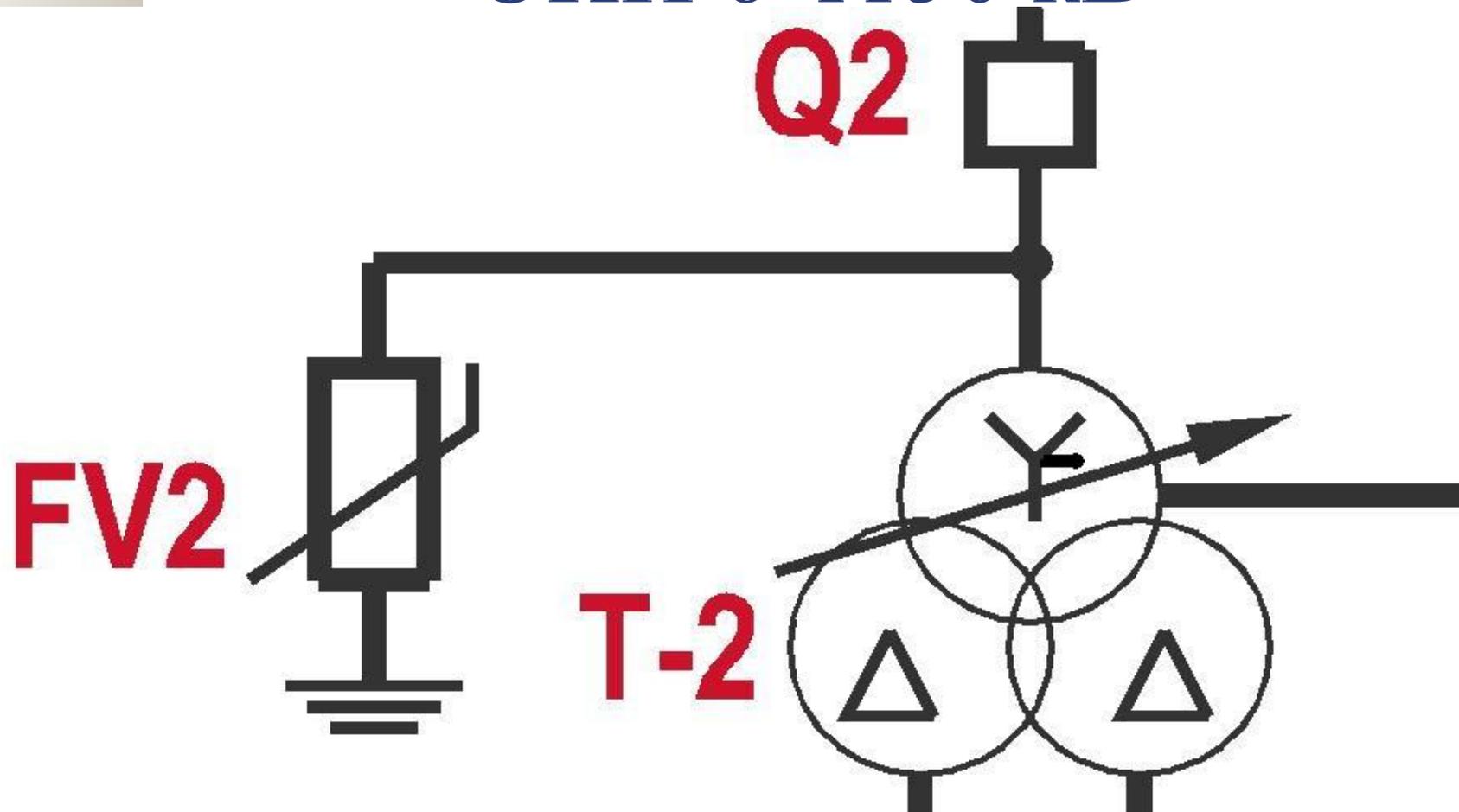


# Силовые трансформаторы цеховые 6-10 кВ



**T6.1**

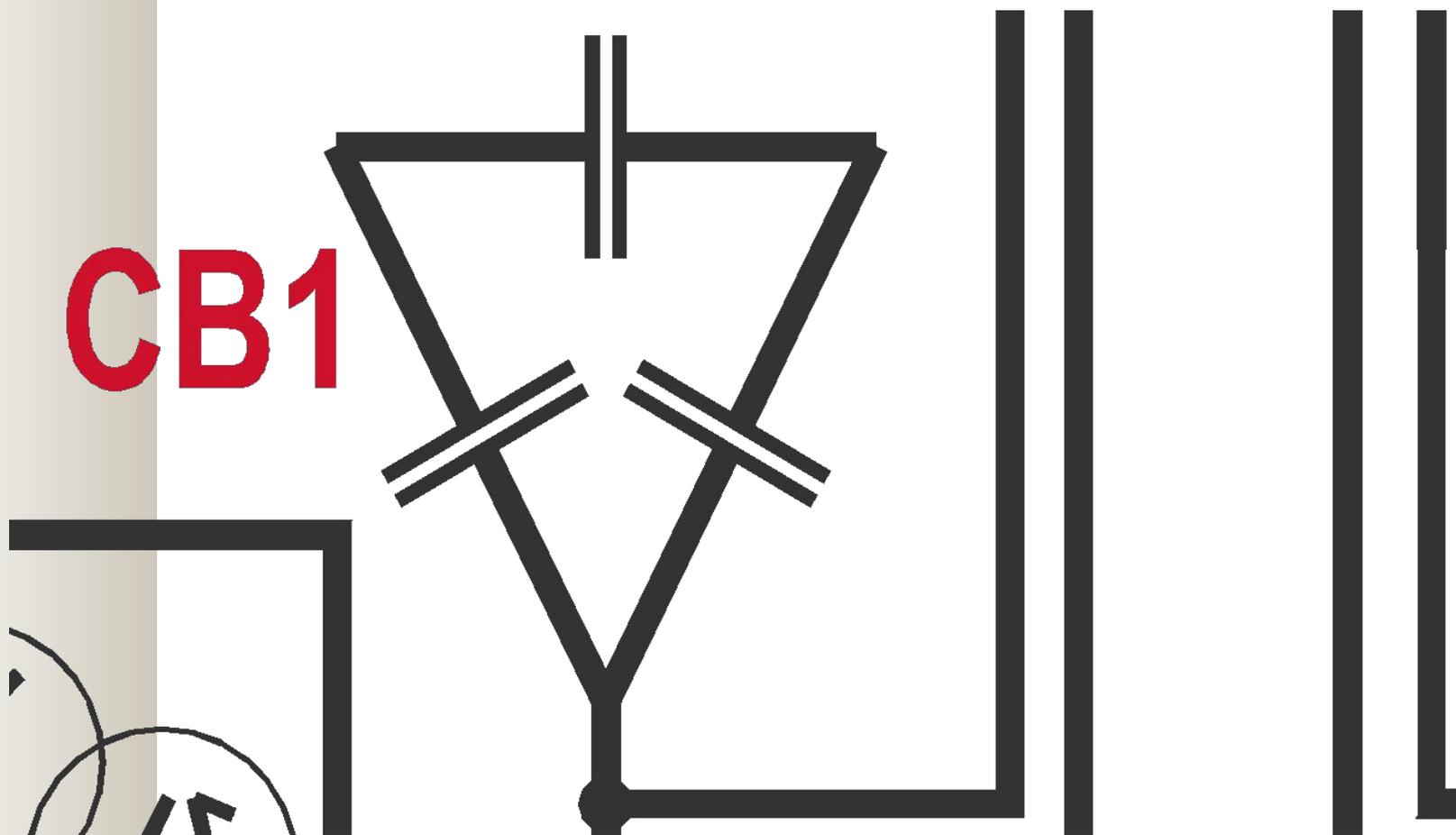
# Ограничители перенапряжений ОПН 6-1150 кВ



# Конденсаторные установки

6-10 кВ

**СВ1**





# Трансформаторы напряжения 6-330 кВ



# Секционный выключатель

6-10 кВ



# Выключатели нагрузки 6-10 кВ



# Трансформаторы собственных нужд

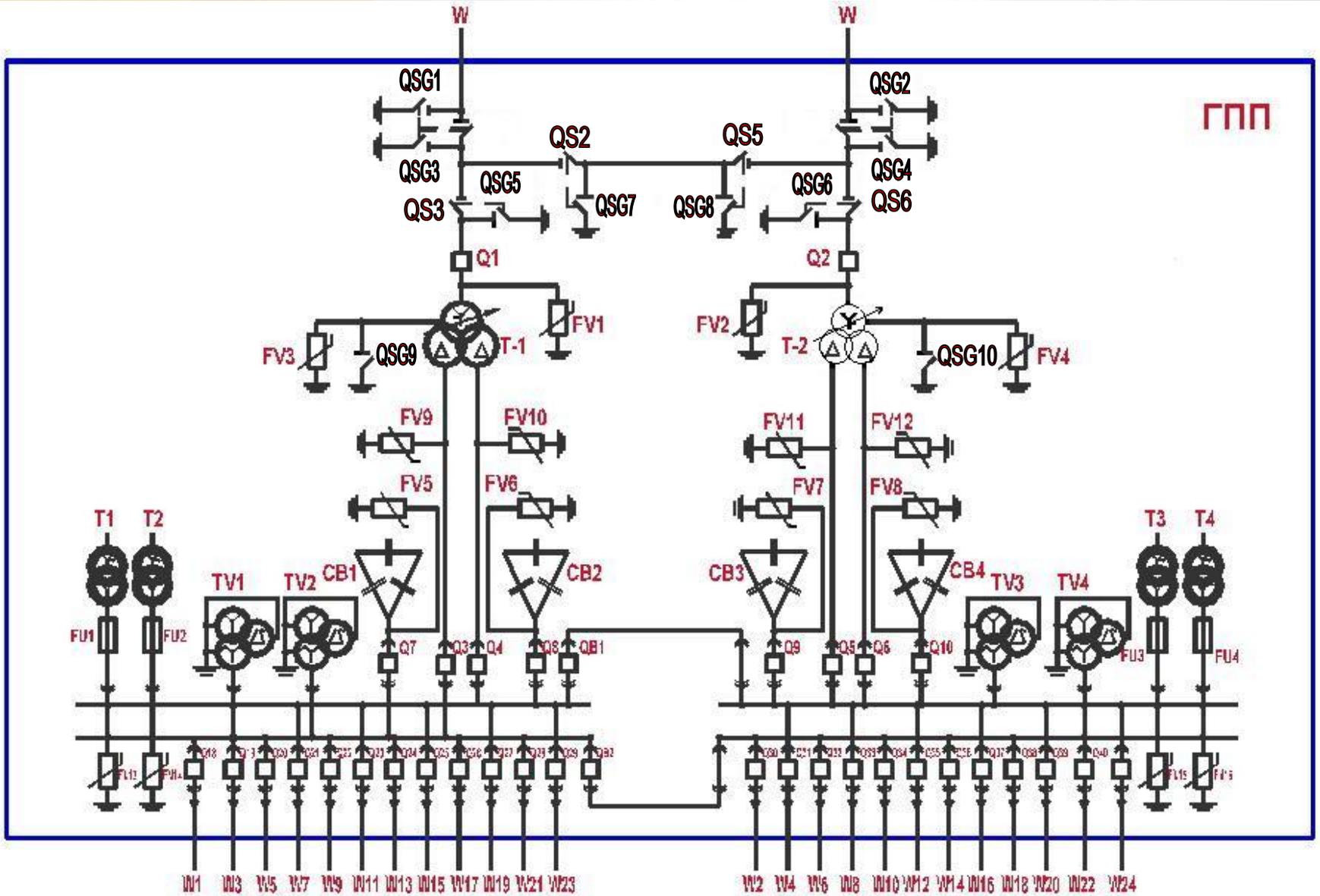


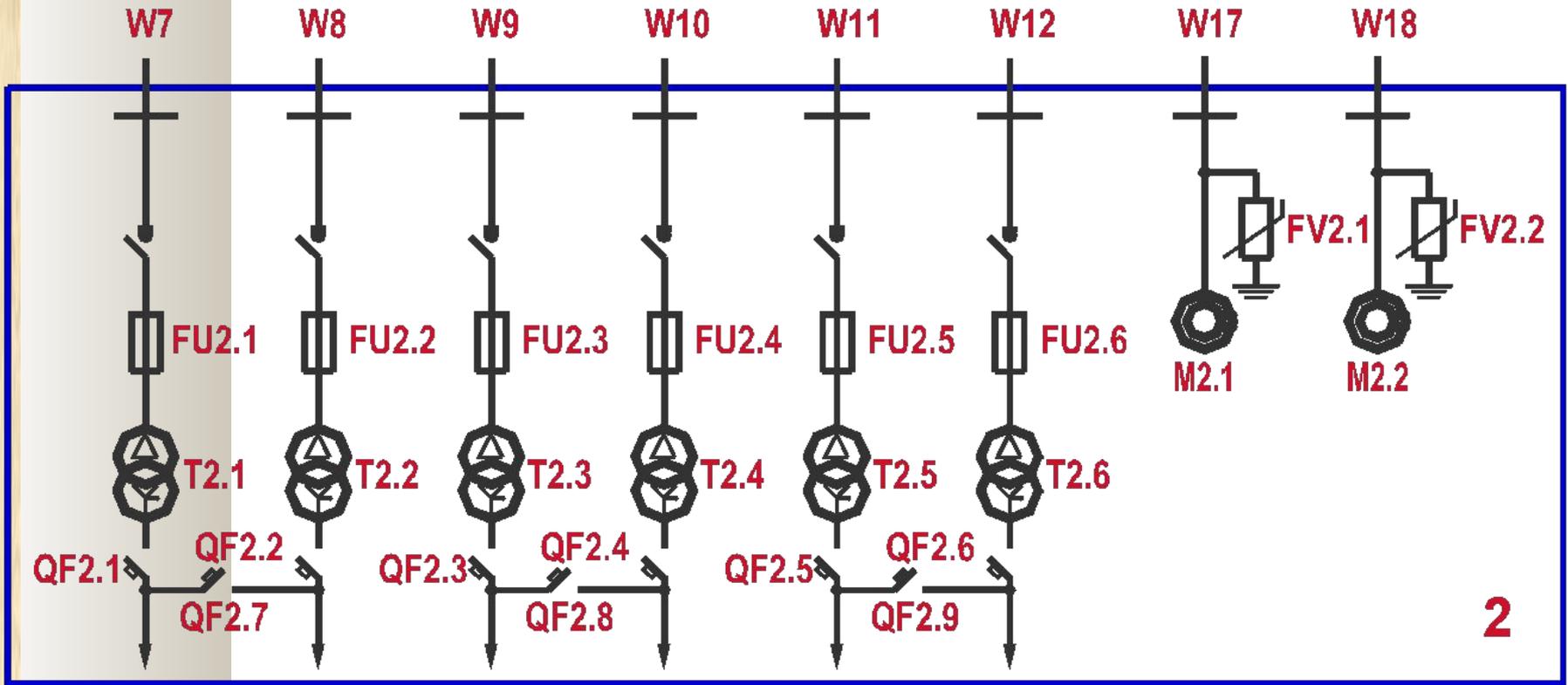
# Предохранители

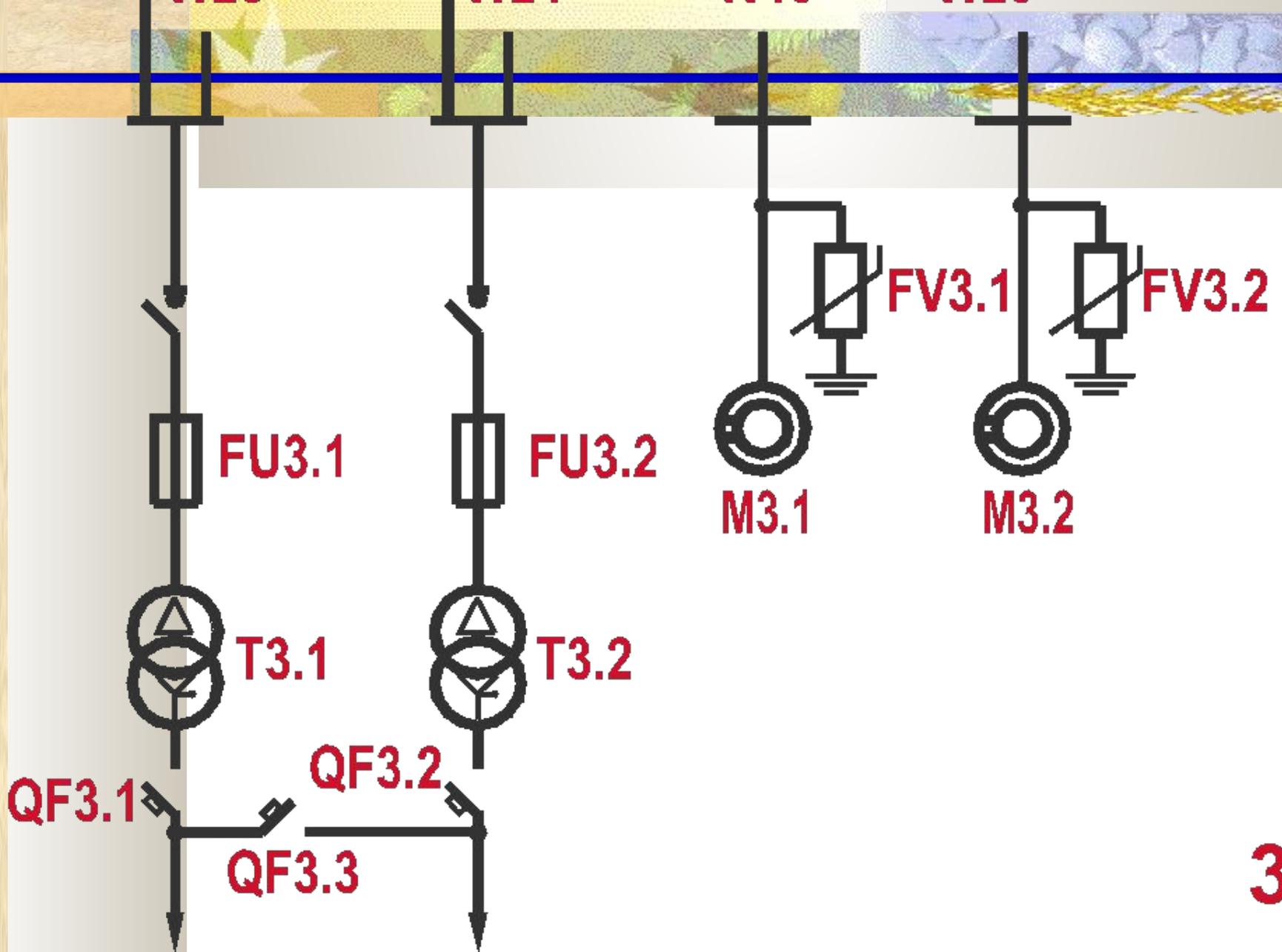


# Двигатели 6-10 кВ

- Асинхронные
- Синхронные









# Автоматический выключатель 0,4 кВ



# ГОСТ 2.104.Основные надписи

# Пример основной надписи для чертежей и схем для КП и ДП

65					120																																												
7    10    23    15    10					ДП-2068480-140211.65-шифр-2006					5																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">Изм</td> <td style="width: 10%;">Лист</td> <td style="width: 20%;">№ докум</td> <td style="width: 15%;">Подп</td> <td style="width: 10%;">Дата</td> </tr> <tr> <td>Разраб</td> <td>Студент</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Пров</td> <td>Руководитель</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Т. контр</td> <td>Куратор</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Н. контр</td> <td>ФИО</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Утв</td> <td>Зав кафедр</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>										Изм	Лист	№ докум	Подп	Дата	Разраб	Студент				Пров	Руководитель				Т. контр	Куратор				Н. контр	ФИО				Утв	Зав кафедр				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Лит</td> <td style="width: 15%;">Масса</td> <td style="width: 15%;">Масшт.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">5    5    5</td> <td style="text-align: center;">17</td> <td style="text-align: center;">18</td> </tr> </table>			Лит	Масса	Масшт.	5    5    5	17	18	5
										Изм	Лист	№ докум	Подп	Дата																																			
										Разраб	Студент																																						
Пров	Руководитель																																																
Т. контр	Куратор																																																
Н. контр	ФИО																																																
Утв	Зав кафедр																																																
Лит	Масса	Масшт.																																															
5    5    5	17	18																																															
Наименование чертежа, схемы					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Лист</td> <td style="width: 50%;">Листов</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">30</td> </tr> </table>		Лист	Листов		30	5																																						
					Лист	Листов																																											
	30																																																
Курсовой (дипломный) проект					СЗТУ			5																																									
					70					50																																							
185																																																	



# **Проектирование систем электроснабжения**

**Должны рассматриваться  
вопросы перспективы развития  
энергосистем и систем  
электроснабжения с учетом  
сочетания сооружаемых с  
действующими сетями других  
классов напряжения**



# **Централизация электроснабжения**

**Обеспечение централизованного  
электроснабжения всех  
потребителей электрической  
энергии независимо от их  
принадлежности.**



# **Потери электрической энергии**

## **Обеспечение снижения потерь электрической энергии**



# **Охрана окружающей среды**

**Соответствие  
принимаемых решений  
условиям охраны  
окружающей среды**



# **Технологическое резервирование**

**Резервирование должно  
учитывать перегрузочную  
способность элементов  
электроустановок**

# Категории надежности

Категория	Количество источников	Примечание
Особая группа 1-ой категории	3	Третий источник-ДЭС, ИБП (бесперебойного питания)
1-ая категория	2	
2-ая категория	2	Два источника
3-ья категория	1	Не нормируется



**ГОСТ 14209-97 .  
Режимы нагрузки  
СИЛОВЫХ  
трансформаторов.**



# **Выбор трансформаторов**

**В нормальном режиме  
учитывают:**

- 1. Минимальное резервирование в аварийном режиме.**
- 2. Категории потребителей.**
- 3. Удельную плотность нагрузки.**



## **Номинальная мощность**

**$S_{\text{ном.тр.}} \Rightarrow S_{\text{расч.тп}} / \beta_z \cdot N,$**

**где  $\beta_z$  - коэффициент**

**загрузки трансформатора;**

**$N$  - число трансформаторов.**



## Условия перегрузки

$$\beta_{\text{п.ав.}} \cdot S_{\text{ном. тр.}} \geq S_{\text{расч.тп.}}$$

Коэффициент перегрузки в аварийном режиме

$$\beta_{\text{п.ав.}} = S_{\text{расч. тп}} / S_{\text{ном. тр.}} ;$$

$$\beta_{\text{п.ав.}} = < 1,5 \div 1,8.$$



# Режим продолжительных аварийных перегрузок

$S_{\text{ном}} \leq 2,5 \text{ МВ} \cdot \text{А} \rightarrow \beta_{\text{п.ав.}} = 1,8.$

$S_{\text{ном}} \leq 100 \text{ МВ} \cdot \text{А} \rightarrow \beta_{\text{п.ав.}} = 1,5.$

$S_{\text{ном}} > 100 \text{ МВ} \cdot \text{А} \rightarrow \beta_{\text{п.ав.}} = 1,3.$



## Режим кратковременных аварийных перегрузок

- $S_{\text{ном}} \leq 2,5 \text{ МВ} \cdot \text{А} \rightarrow \beta = 2.$
- $S_{\text{ном}} \leq 100 \text{ МВ} \cdot \text{А} \rightarrow \beta = 1,8 .$
- $S_{\text{ном}} > 100 \text{ МВ} \cdot \text{А} \rightarrow \beta = 1,5.$



**Коэффициент загрузки  
трансформатора в  
нормальном режиме:**

**$\beta_{\text{з.норм.}} =$**

**$S_{\text{расч. тп}} / (N \cdot S_{\text{ном. тр.}})$**



# Климатические исполнения ГОСТ 15150

- Для макроклиматического района с умеренным климатом
  - У
- Для макроклиматических районов с умеренным и холодным климатом
  - УХЛ



# **• Трансформаторы 10 кВ**

**ТМ-400/10-У 1**

**ТМ-630/10-У 1**

**ТМ-1000/10-У 1**

**ТМ-1600/10-У 1**

**ТМ-2500/10-У 1**

**ТМ-2500/10/3, 15-У 1**

**ТМ-2500/10/6, 3-У 1**

**ТМ-4000/10 - У 1**

**ТМ-6300/10/6, 3 - У 1**





# Трансформаторы 35 кВ

- ТМН-1600/35-У 1, УХЛ 1
- ТМН-2500/35-У 1, УХЛ 1
- ТМН-4000/35-УХЛ1
- ТМН-6300/35-У 1





# Трансформаторы 35 кВ

**ТД-10000/35**

**ТДЦ-80000/35**

**ТДНС-10000/35 - У 1**

**ТДНС-10000/35 -УХЛ 1**

**ТДНС-16000/20 - У 1**

**ТДНС-16000/35 - У 1**

**ТДНС-16000/35 -УХЛ 1**

**ТРДНС-25000/35 - У 1**

**ТРДНС-32000/35 - У 1**

**ТРДНС-40000/35 - У 1**



# **Трансформаторы 110 кВ**

**ТД-40000/110-У 1**

**ТД-40000/110-ХЛ 1**

**ТДЦ-80000/110-У 1**

**ТДЦ-40000/110-ХЛ 1**

**ТДЦ-125000/110-У 1**

**ТДЦ-200000/110-У 1**





# **Трансформаторы 110 кВ**

**ТМН-2500/110 - У 1**

**ТМН-6300/110 У**

**ТДН-10000/110 У 1**

**ТДН-16000/110 У 1**

**ТДН-25000/110 У 1**

**ТРДН-25000/110 У 1**

**ТДН-40000/110 У 1**

**ТРДН-40000/110 У 1**

**ТРДН-63000/110 У 1**



## **Значения букв и цифр**

**Т – трехфазное исполнение; вторая буква-**

**М, Д, ДЦ, Ц -изоляция масляная;**

**М-естественная циркуляция трансформаторного масла с естественной циркуляцией воздуха;**

**Д – естественная циркуляция масла и принудительная воздуха.**



## **Значения букв и цифр**

**ДЦ – принудительная циркуляция масла и воздуха; Ц – принудительная циркуляция масла и охлаждающей воды; Р – с расщепленной обмоткой низкого напряжения ; З – трансформатор без расширителя , защищенный азотной подушкой, герметичный**



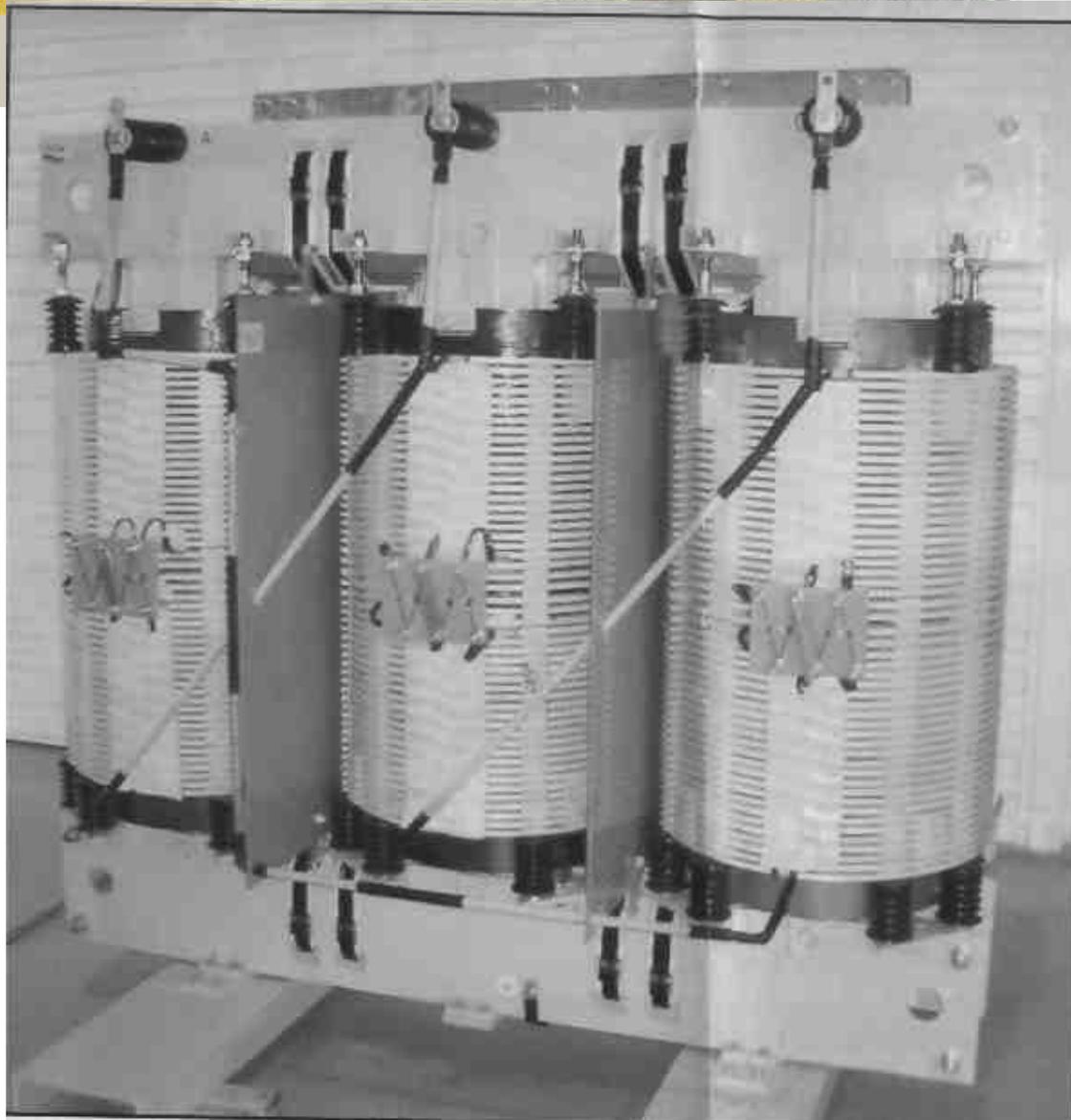
## Значения букв и цифр

- **Н** – с регулированием напряжения под нагрузкой (РПН) ; числитель дроби – номинальная мощность , знаменатель– номинальное напряжение; цифра после дроби – год разработки;
- **У1** – климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150.



# Сухие трансформаторы

- Тип ТС-250/10/0,4
- Тип ТС-2000/10/0,4
- Тип ТС-1000/0,415





**Номинальные напряжения**

**Трансформаторы без РПН ,**

**U1:6(6,3);10,5(11); 20; 35; 330;  
500; 750 кВ.**

**U2:6,3(6,6); 10(10,5); 22; 38,5;  
121; 242; 347; 525; 787 кВ.**



# Номинальные напряжения

- Трансформаторы с РПН,
- $U_1$ : 6(6,3); 10,5(11); 20(21); 35(36,75); 110(115); 220(230); 330; 500; 750 кВ.
- $U_2$ : 6,3(6,6); 10,5(11); 22; 38,5; 115(121); 230(242); 330; 500; 750 кВ.



**ГОСТ 13109-97.**

**Нормы качества электрической  
энергии в системах  
электрообеспечения.**

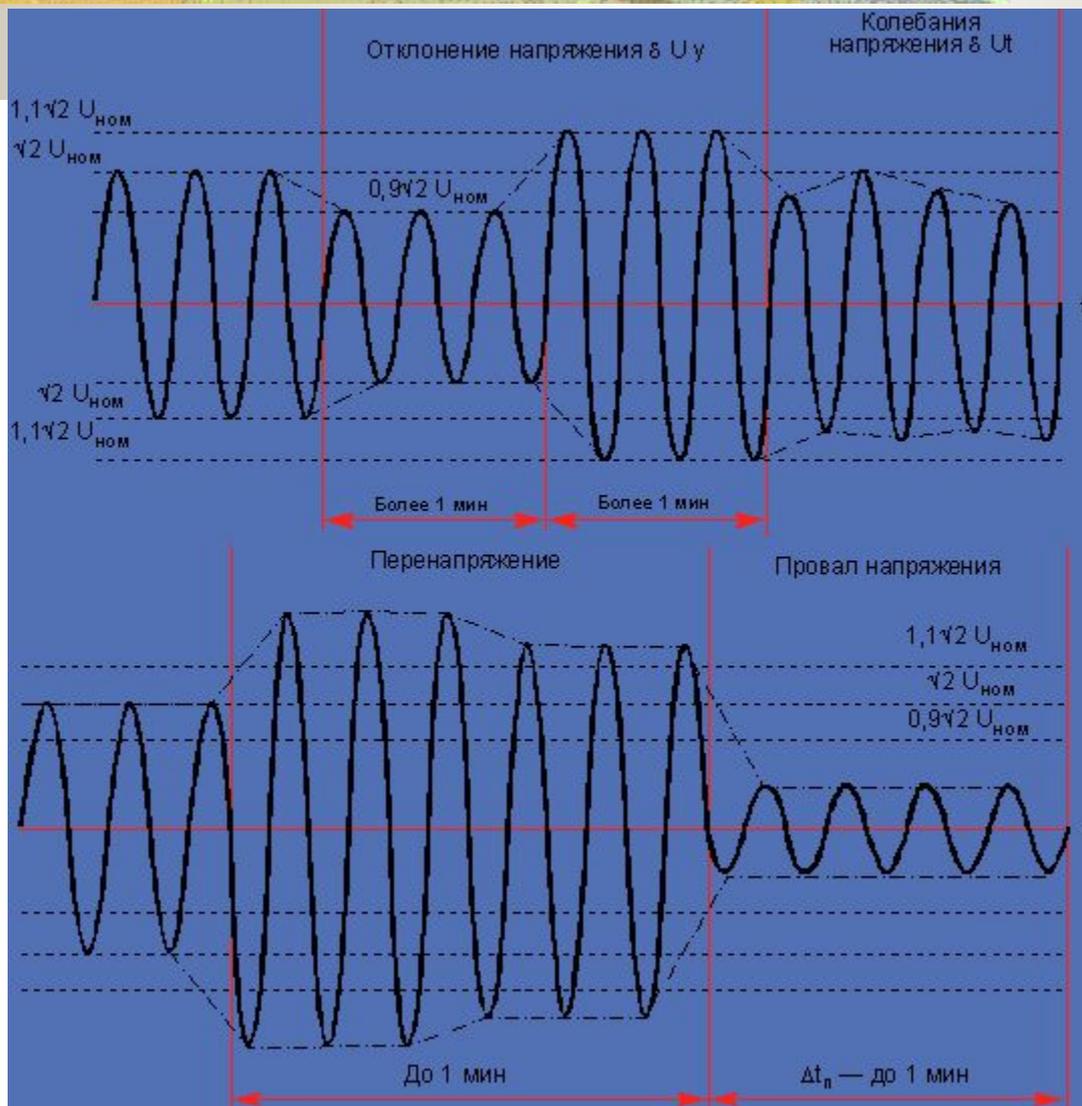
**ГОСТ 30372-95.**

**Совместимость технических  
средств электромагнитная.**

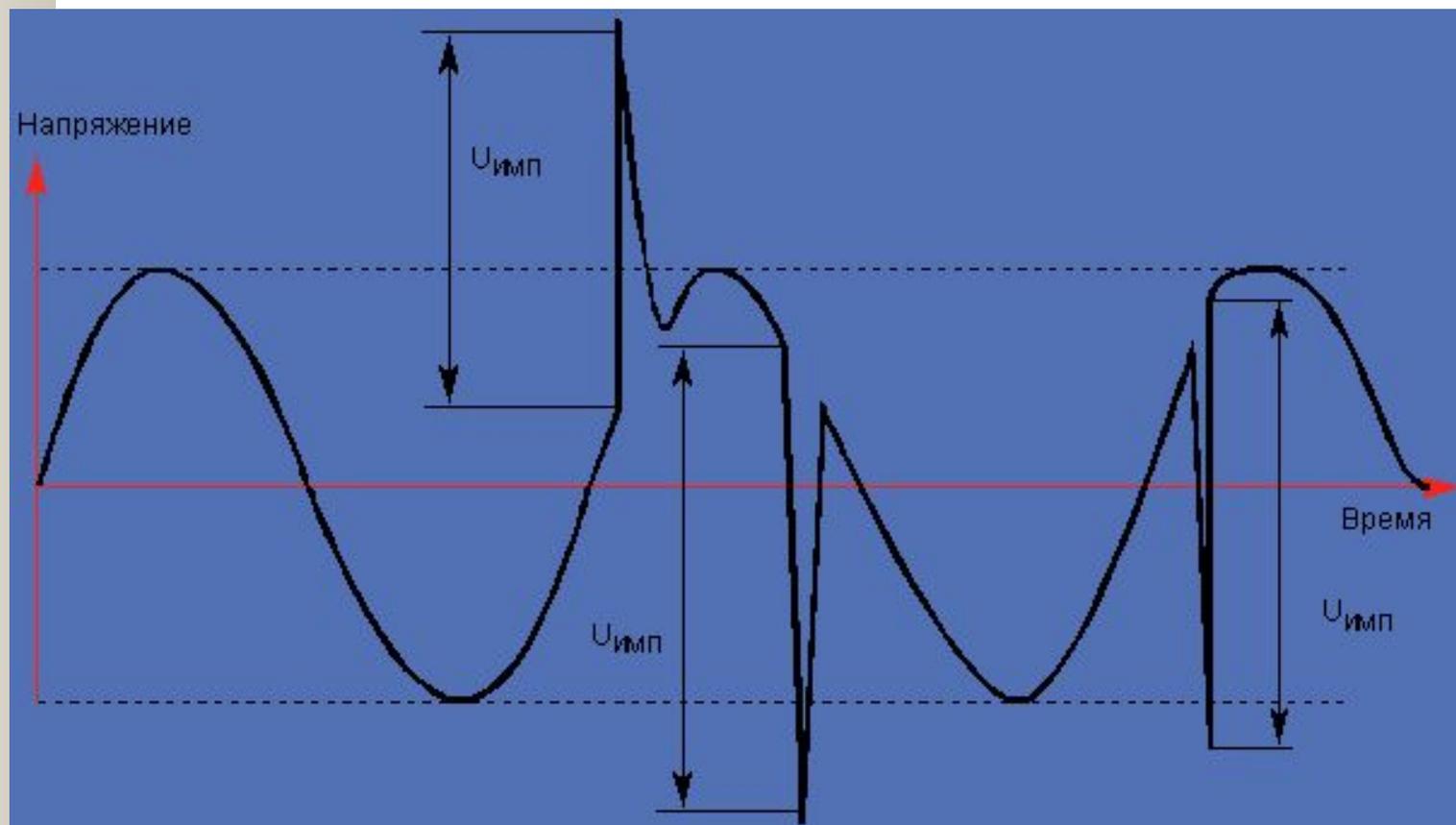


# Показатели качества электроэнергии

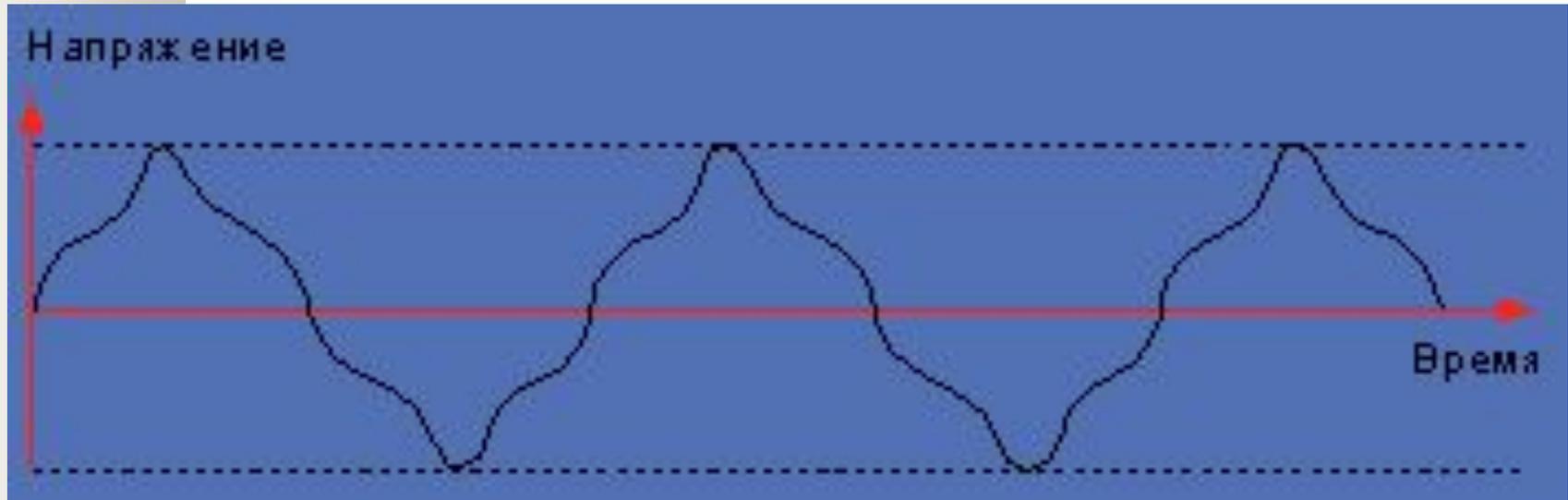
- Отклонение напряжения
- Колебания напряжения
- Несинусоидальность напряжения
- Несимметрия напряжения
- Отклонение частоты
- Провал напряжения
- Временное перенапряжение
- Импульсное перенапряжение



# Импульсы напряжения



# Несинусоидальность напряжения





# **Обобщённый узел нагрузки**

**Нагрузка в среднем составляет:**

**-10 % специфической нагрузки**

**(например, метро - 11 %);**

**-30 % освещение и прочее;**

**-60 % асинхронные**

**электродвигатели.**

# Отклонение напряжения Нормально и предельно допустимые значения

$$\delta U_{\text{нор}} = \pm 5 \% U_{\text{НОМ.}} \text{ сети};$$

$$\delta U_{\text{пред}} = \pm 10 \% U_{\text{НОМ.}} \text{ сети.}$$

**Виновники ухудшения КЭ –  
энергоснабжающая**

организация



# **Влияние отклонения напряжения**

- 1. Срыв технологического процесса.**
- 2. Освещение: при величине  
напряжения  $1,1U_{\text{НОМ}}$  срок службы  
ламп накаливания снижается в 4  
раза; при величине напряжения  
 $0,9U_{\text{НОМ}}$  снижается световой поток  
ламп накаливания на 40 % и  
люминесцентных ламп на 15 %.**



# Влияние отклонения напряжения

При  $U < 0,9U_{\text{НОМ}}$  люминесцентные лампы мерцают, а при  $0,8U_{\text{НОМ}}$  просто не загораются.

3. Электропривод: при  $U < 0,85U_{\text{НОМ}}$  момент АД снижается на 25 %.  
Двигатель может не запуститься или остановиться.



# **Влияние отклонения напряжения**

**4. При длительной работе на  $U=0,9U_{\text{ном}}$  срок службы двигателя снижается вдвое.**

**5. При повышении напряжения на 1 % увеличивается потребляемая двигателем реактивная мощность на 3...7 %.**

**Действующее значение  
напряжения прямой  
последовательности  
основной частоты  $U_{(1)i}$  при  
 *$i$ -ом измерении***

$$U_{1(1)i} = \frac{1}{3} \left( U_{AB(1)i} + U_{BC(1)i} + U_{CA(1)i} \right)$$

$$U_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N U_i^2}{N}}$$



Измерение отклонения

напряжения  $\delta U_y, \%$



# **Способы выполнения требований ГОСТ**

**1.Снижением потерь  
напряжения.**

**2.Регулированием  
напряжения.**

## Снижение потерь напряжения

$$\Delta U = (P \cdot R + Q \cdot X) / U_{\text{тп}}$$

- Выбором сечения проводников линий электропередач ( $= R$ ).
- Применением продольной емкостной компенсации реактивного сопротивления линии ( $X$ ).
- Компенсацией реактивной мощности ( $Q$ ).



# Регулирование напряжения U под нагрузкой - РПН

Таковыми устройствами  
оснащены 10-15%  
трансформаторов. Диапазон  
регулирования  $\pm 16\%$  с  
дискретностью 1,78%.



# **Переключение без возбуждения - ПБВ**

**С отключением от сети.**

**Диапазон  
регулирования  $\pm 5\%$  с  
дискретностью 2,5 %.**



**Колебания напряжения**  
**Колебания напряжения - быстро**  
**изменяющиеся отклонения**  
**напряжения.**

**Колебания напряжения**  
**происходят под воздействием**  
**быстро изменяющейся нагрузки**  
**сети.**



# **Влияние колебаний**

## **напряжения**

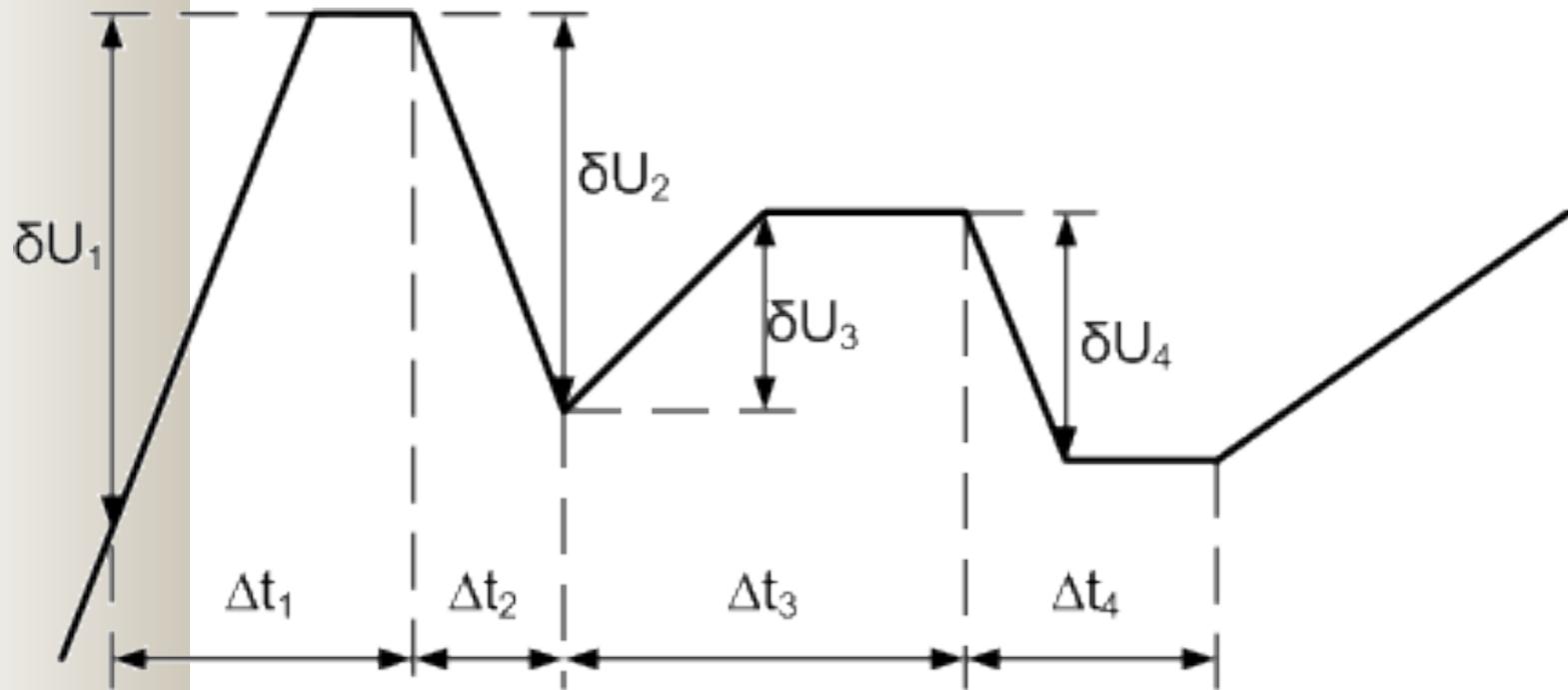
- 1. Вызывают брак продукции.**
- 2. Способствуют отключению АСУ.**
- 3. Вызывают вибрации  
электродвигателя**
- 4. При размахах колебаний более  
15 % могут отключаться магнитные  
пускатели и реле.**



# Показатели колебаний напряжения

1. Размах изменения  
напряжения  $\delta U$ .
2. Доза фликера  $P_{st}$

# Колебания напряжения





**Частота повторения изменений  
напряжения  $F_{Ut}$ , (1/с, 1/мин)**

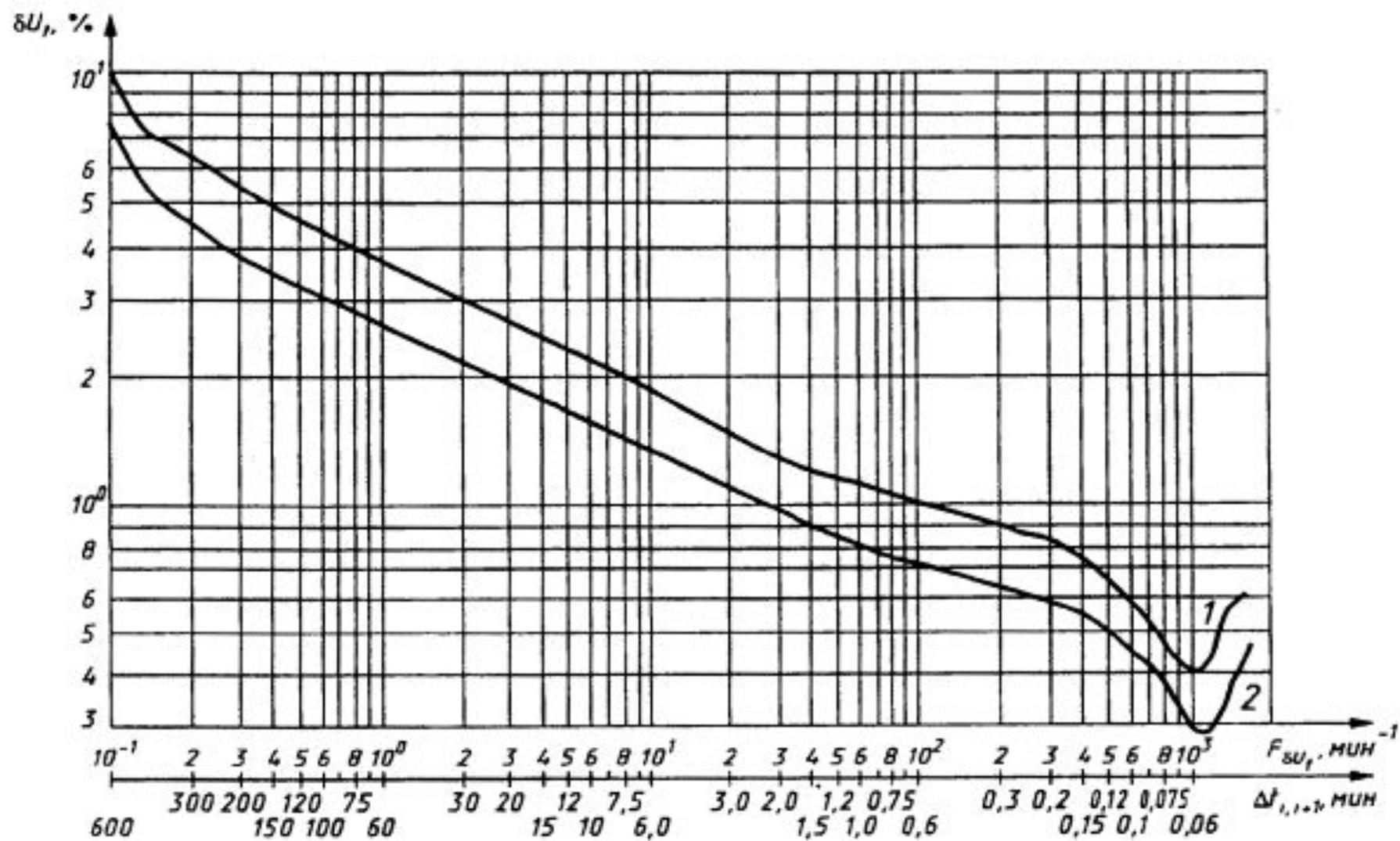
$$F_{Ut} = m / T,$$

где **m** — число изменений напряжения  
за время **T**;

**T** — интервал времени измерения,  
принимаемый равным **10 мин** .


$$\delta U_t = \frac{|U_i - U_{i+1}|}{U_{\text{ном}}} \cdot 100$$

где  $U_i, U_{i+1}$  - значения следующих один за другим экстремумов или экстремума и горизонтального участка, определенных на каждом полупериоде основной частоты, В.





# **Раздражающее действие фликера**

**При частоте колебаний  
8,8 Гц  
и размахах изменения  
напряжения  
 $\delta U_t = 29 \%$ .**



## **Доза фликера**

**Кратковременную дозу фликера определяют на интервале времени наблюдения, равном 10 мин. Длительную дозу фликера определяют на интервале времени наблюдения 2 ч.**



# **Предельно допустимое значение дозы фликера**

**Для кратковременной дозы  
фликера**

$$P_{st} = 1,0 - 1,38.$$

**Для длительной дозы**

$$\text{фликера } P_{и} = 0,74 - 1,0.$$

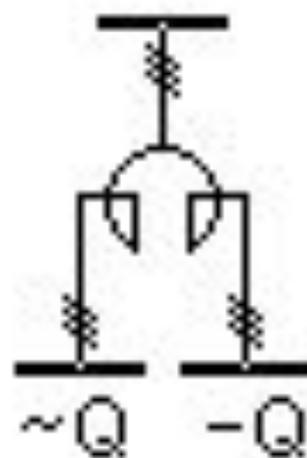
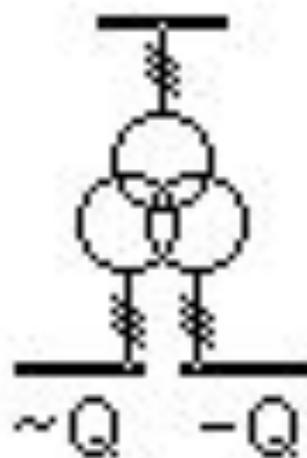
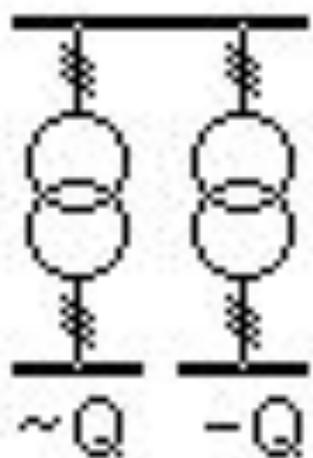
**Предельно допустимое  
значение для сети 0,4 кВ  
Для суммы  
установившегося  
отклонения напряжения  
 $\delta U_y$  и размаха изменений  
напряжения  $\delta U_t$  в точках  
сети  $U_{НОМ} = 0,38$  кВ равно  
 $\pm 10\%$  от  $U_{НОМ}$ .**



# **Мероприятия по снижению колебаний напряжения**

- 1. Увеличение мощности короткого замыкания питающей системы.**
- 2. Схемные решения подключения спокойной нагрузки.**

$$\delta U_t \approx 10 \frac{\Delta Q \cdot X_{K3}}{U_{HOM}^2} \approx 10 \frac{\Delta Q}{S_{K3}}$$





# Несинусоидальность напряжения

Источники искажения формы  
синусоидальных токов и напряжений:  
генераторы, трансформаторы,  
преобразовательные устройства и  
нелинейные нагрузки.

$$U(t)_{\text{нагрузки}} = U(t)_{\text{сети}} - i(t) \cdot Z(t).$$

# Показатели

## несинусоидальности

### напряжения

-коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения;

$$K_U = 100 \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_n^2}}{U_1},$$

-коэффициент  $i$ -ой гармонической составляющей напряжения.

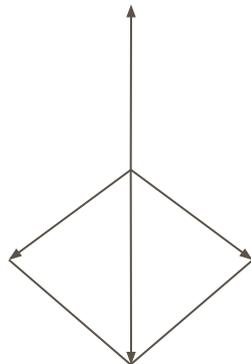
$$K_{U(n)} = \frac{U_n}{U_1} 100,$$

# **Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения, %**

<b>Нормально допустимое значение</b>		<b>Предельно допустимое значение</b>	
<b>0,38 кВ</b>	<b>8,0</b>	<b>0,38 кВ</b>	<b>12,0</b>
<b>6-20 кВ</b>	<b>5,0</b>	<b>6-20 кВ</b>	<b>8,0</b>
<b>35 кВ</b>	<b>4,0</b>	<b>35 кВ</b>	<b>6,0</b>
<b>110-330 кВ</b>	<b>2,0</b>	<b>110-330 кВ</b>	<b>3,0</b>

# **Влияние искажения синусоидальности**

**Перегрев и разрушение нулевых  
рабочих проводников кабельных  
линий вследствие их перегрузки  
токами третьей гармоники**





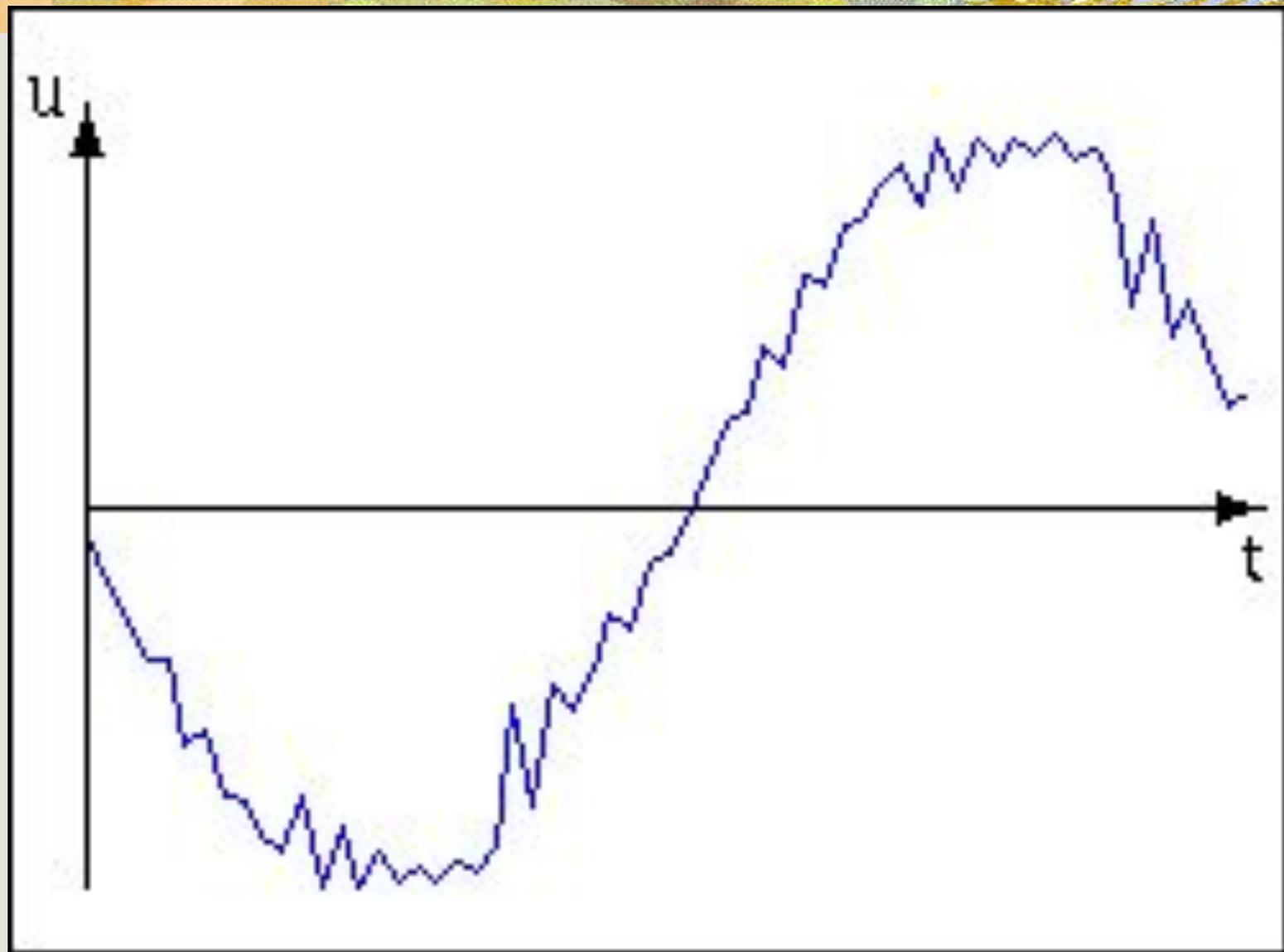
# **Влияние искажения синусоидальности**

**Дополнительные потери в  
трансформаторах (из-за высших гармоник)**

**Ухудшаются условия работы батарей  
конденсаторов.**

**Ускорение старения изоляции  
оборудования.**

**Помехи в сетях телекоммуникаций.**




$$F(t) = A_0 + \sum [a_{\kappa} \cos \kappa \omega t + b_{\kappa} \sin \kappa \omega t];$$

$$\sum c_{\kappa} \sin(\kappa \omega t + \varphi_{\kappa}), \kappa = 1, 2, 3 \dots$$



Симметрия относительно оси абсцис

$$A_0 = c_2 = c_4 = \dots = 0.$$



**Симметрия относительно оси  
ординат,  $b_k = 0$**



**Симметрия относительно**

**начала координат,  $a_k = 0$**



# **Действующее значение периодической несинусоидальной переменной**



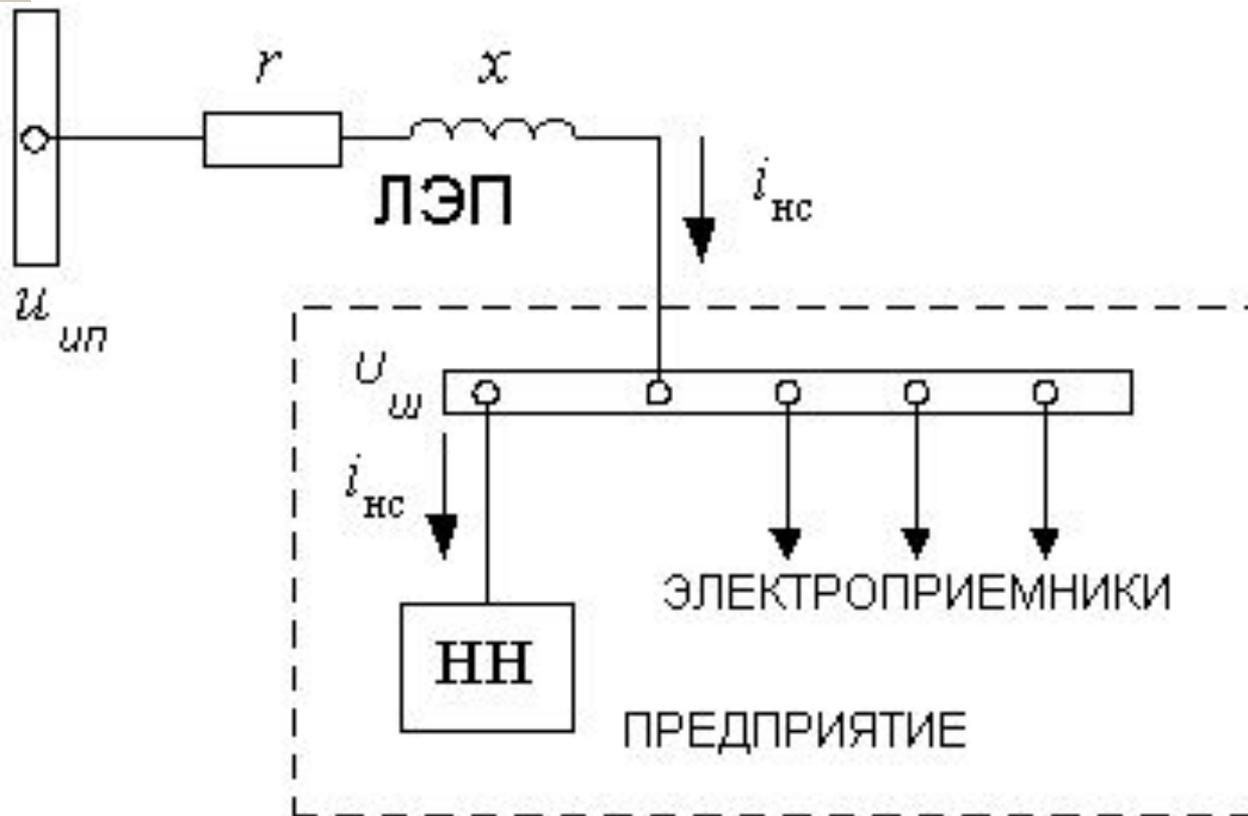
Определить действующее значение  
напряжения , если

$$e(t) = 10 + 50 \sin \kappa \omega t + 10 \sin 3 \kappa \omega t$$

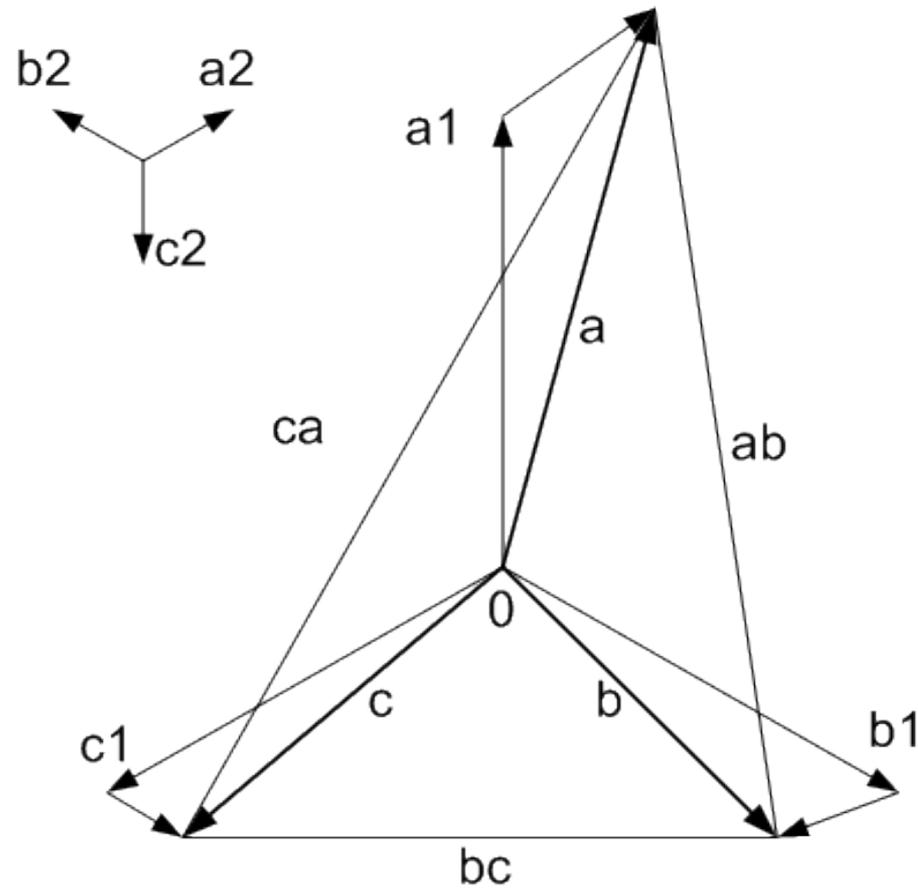


# **Фильтрокомпенсирующие устройства**

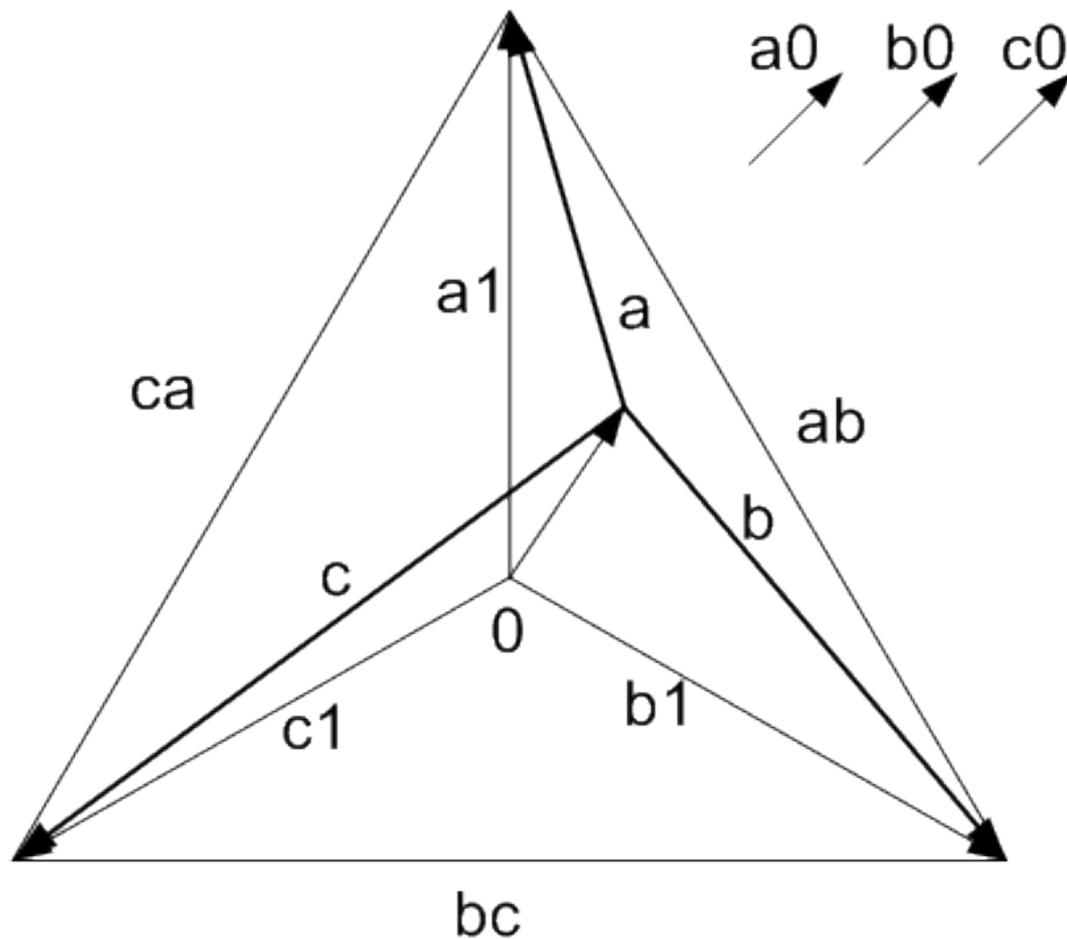
# Несимметрия напряжений



# Векторная диаграмма напряжений прямой и обратной последовательности



# Векторная диаграмма напряжений прямой и нулевой последовательности



**Формулы ГОСТ для определения напряжений  $U_1$  прямой и  $U_2$  обратной последовательностей:**

$$U_{1,2} = \left\{ \frac{1}{12} \left[ \left( \sqrt{3} \cdot U_{AB} \pm \sqrt{4 \cdot U_{BC}^2 - \left[ \frac{U_{BC}^2 - U_{CA}^2}{U_{AB}} + U_{AB} \right]^2} \right)^2 + \left( \frac{U_{BC}^2 - U_{CA}^2}{U_{AB}} \right)^2 \right] \right\}^{1/2},$$

Коэффициент несимметрии напряжений:

-по обратной последовательности равен, %

$$K_{2U} = \frac{U_{2(1)}}{U_{1(1)}} \cdot 100$$

-по нулевой последовательности равен, %

$$K_{0U} = \frac{\sqrt{3}U_{0(1)}}{U_{1(1)}} \cdot 100$$



График коэффициентов  
несимметрии по обратной  
последовательности ДСП

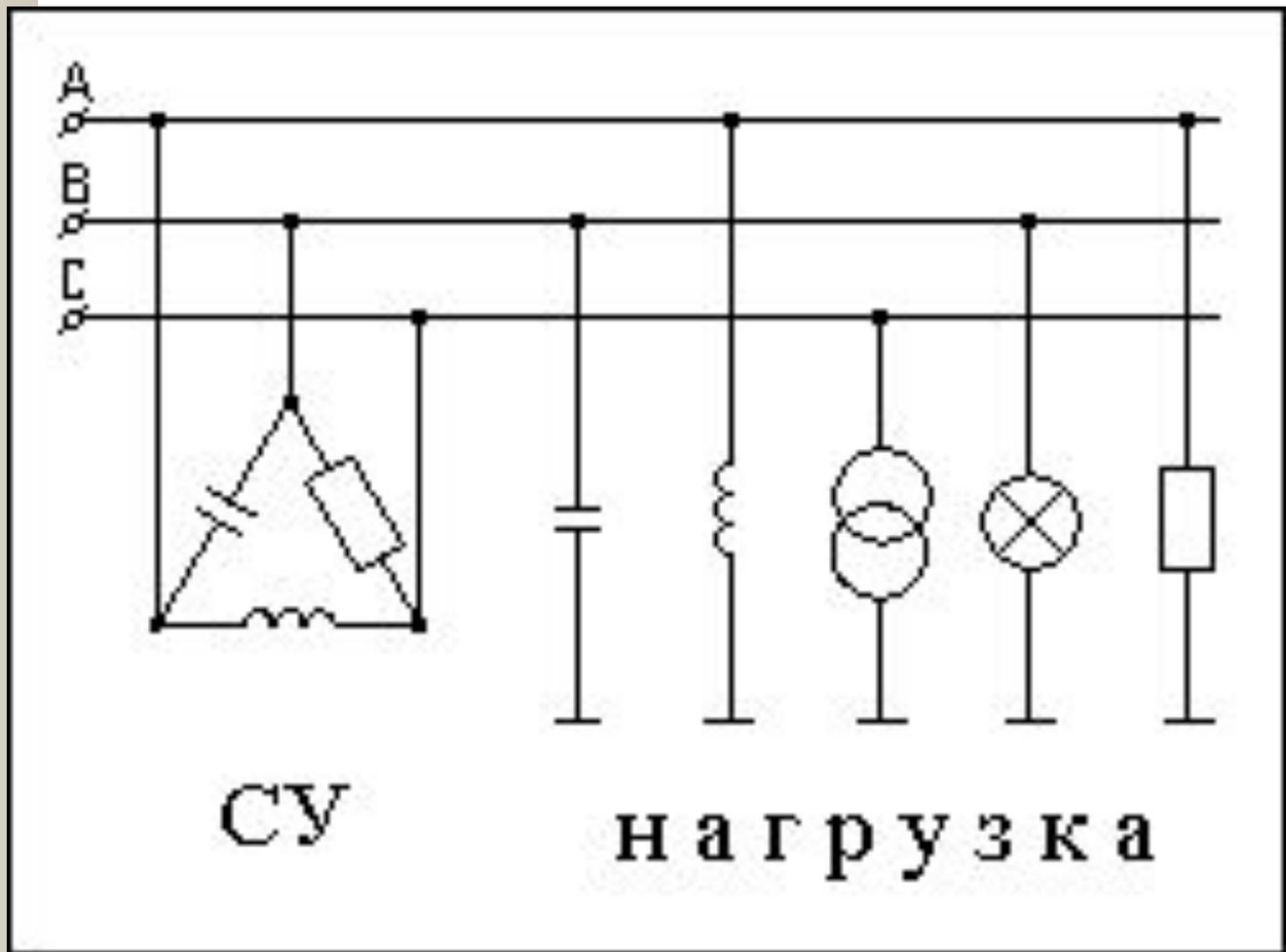
# Нормально допустимое и предельно допустимое значения коэффициента:

- -несимметрии напряжений по обратной последовательности в электрических сетях равны 2,0 и 4,0 % ;
- -несимметрии напряжений по нулевой последовательности в сетях с номинальным напряжением 0,38 кВ также равны 2,0 и 4,0 % .



# **Мероприятия по снижению несимметрии напряжения**

- • **Равномерное распределение нагрузки по фазам.**
- • **Применение симметрирующих устройств.**





# Отклонение частоты

- **Нормально допустимое и предельно допустимое значения отклонения частоты равны  $\pm 0,2$  и  $\pm 0,4$  Гц соответственно.**
- **Снижение частоты происходит при дефиците мощности работающих в системе электростанций.**



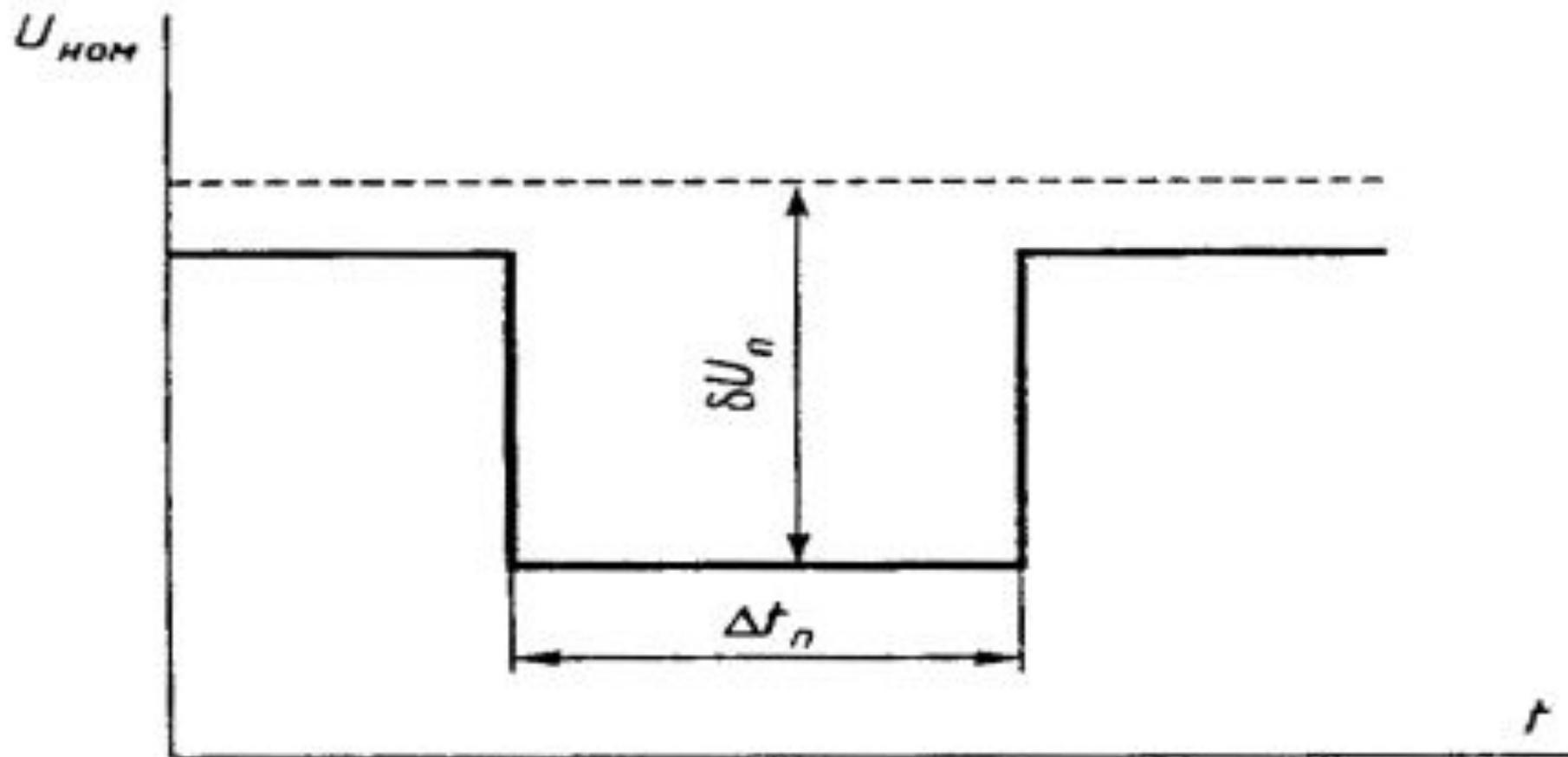
# **Меры поддержания частоты**

**1. Модернизация существующих и строить новые электростанции. 2. Автоматическая частотная разгрузка (АЧР), то есть отключение части потребителей при снижении частоты. Это ещё называют веерными отключениями.**



# Провал напряжения

- Вызван повреждением оборудования и линий.
- Предельно допустимая глубина провала напряжения  $\delta U_{\text{п}} \leq 20$  кВ;
- Длительность провала напряжения  $\Delta t_{\text{п}} = 30$  с.





**Фиксируют начальный момент  
времени  $t_{\text{н}}$  резкого спада:**

**$t_{\text{н}}$  при  $0,9U_{\text{ном}}$**

**и конечный момент времени**

**$t_{\text{к}}$  при  $0,9U_{\text{ном}}$**

**Длительность провала напряжения  $\Delta t_{\text{п}}$**

**в секундах по формуле**

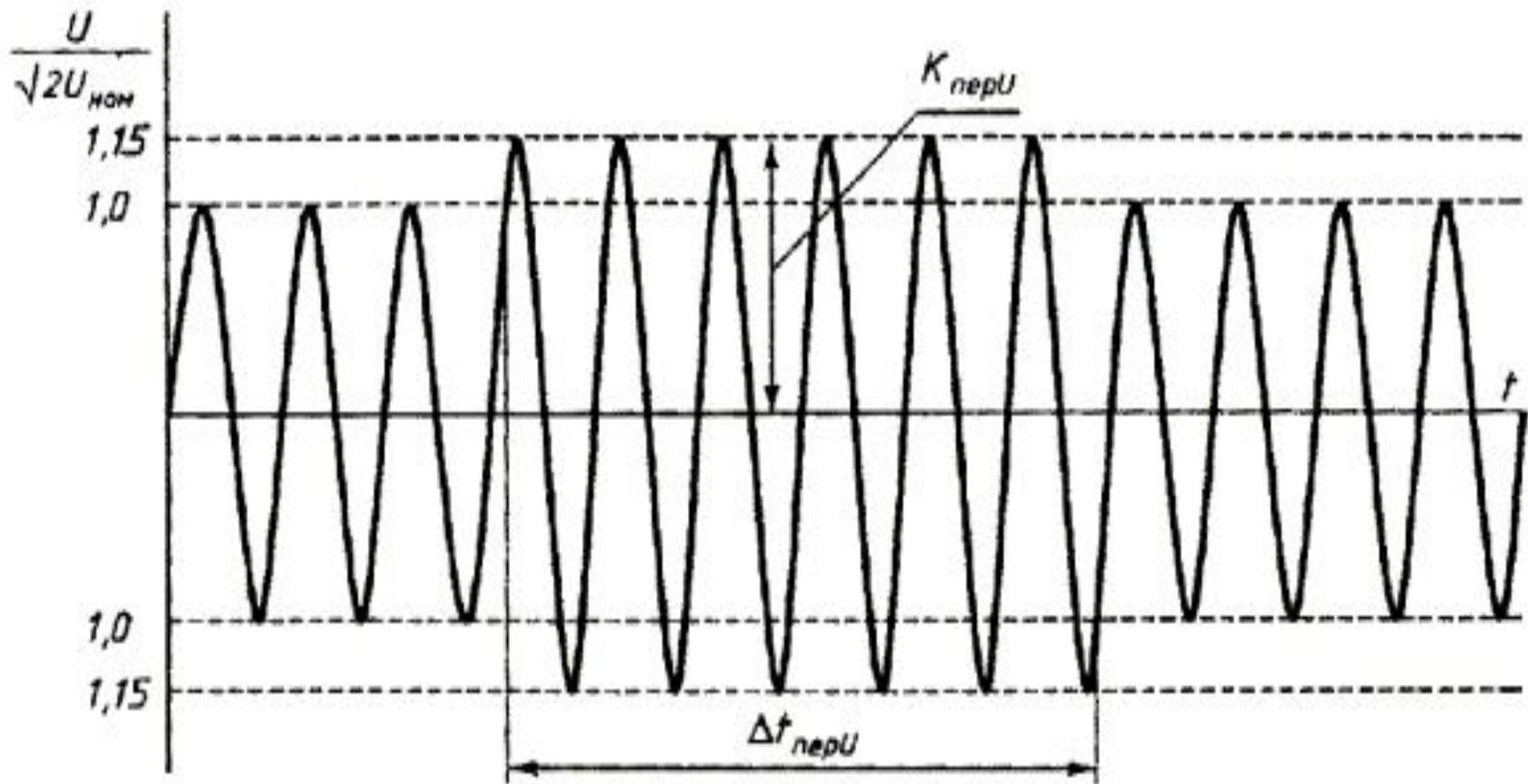
$$\Delta t_{\text{п}} = t_{\text{к}} - t_{\text{н}}$$



# **Временное перенапряжение**

**Возникают при коммутациях  
оборудования и при коротких  
замыканиях на землю (длительные).**

**Внезапное и значительное повышение  
напряжения (более 110 %  $U_{ном}$ )  
длительностью более 10 миллисекунд.**

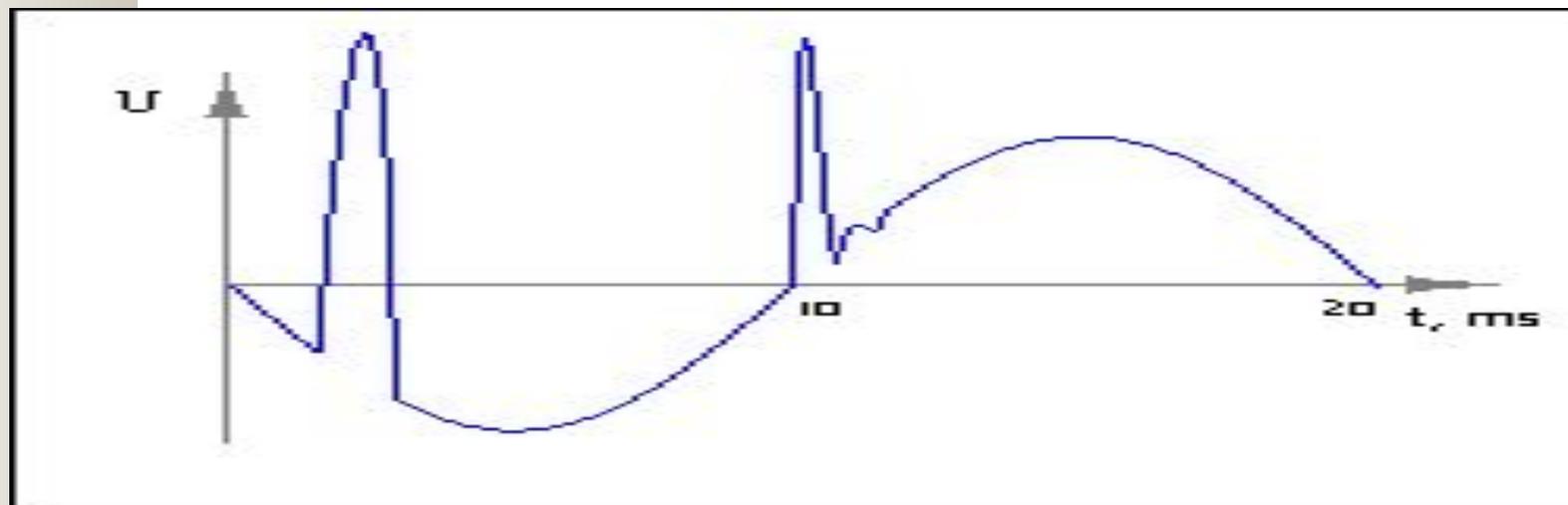


# Коэффициента временного перенапряжения

- Измеряют амплитудные значения напряжения  $U_a$  на каждом полупериоде основной частоты при напряжении, равном  $1,1U_{ном}$ . Длительность фронта до  $5 мс$ .
- Определяют максимальное из измеренных амплитудных значений напряжения  $U_{a max}$ .
- $$K_{перU} = U_{a max} / U_{ном}$$

# Импульсное перенапряжение

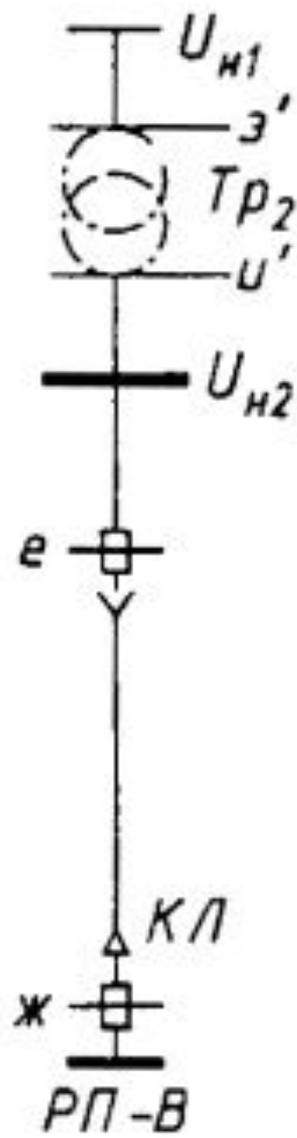
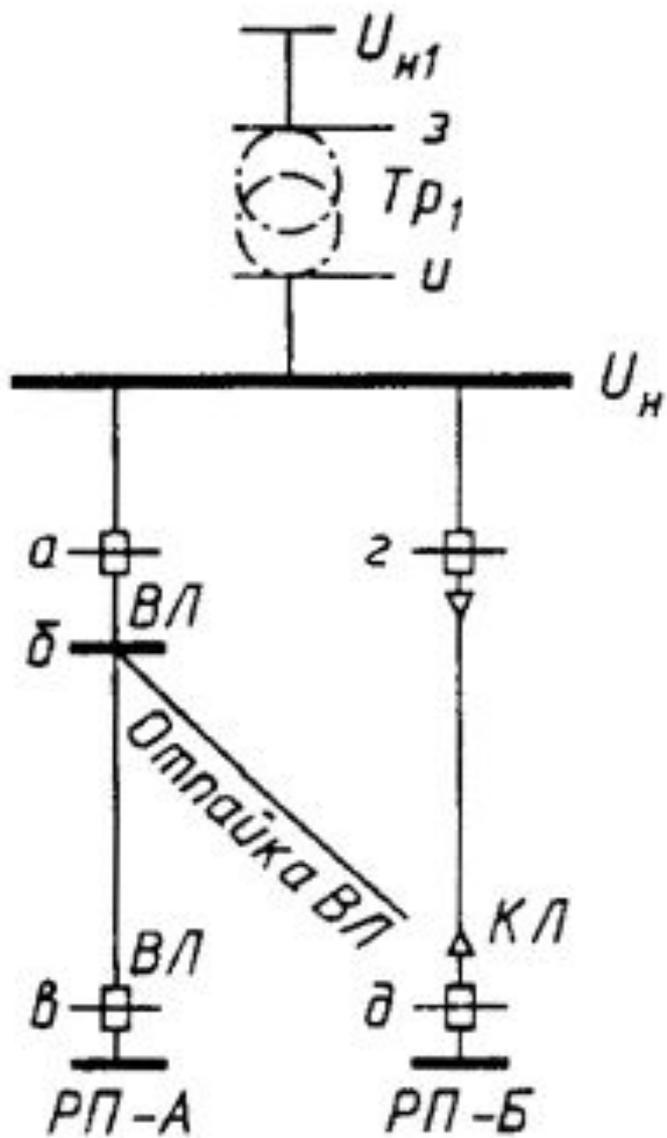
Резкое повышение напряжения  
длительностью менее 10  
миллисекунд.

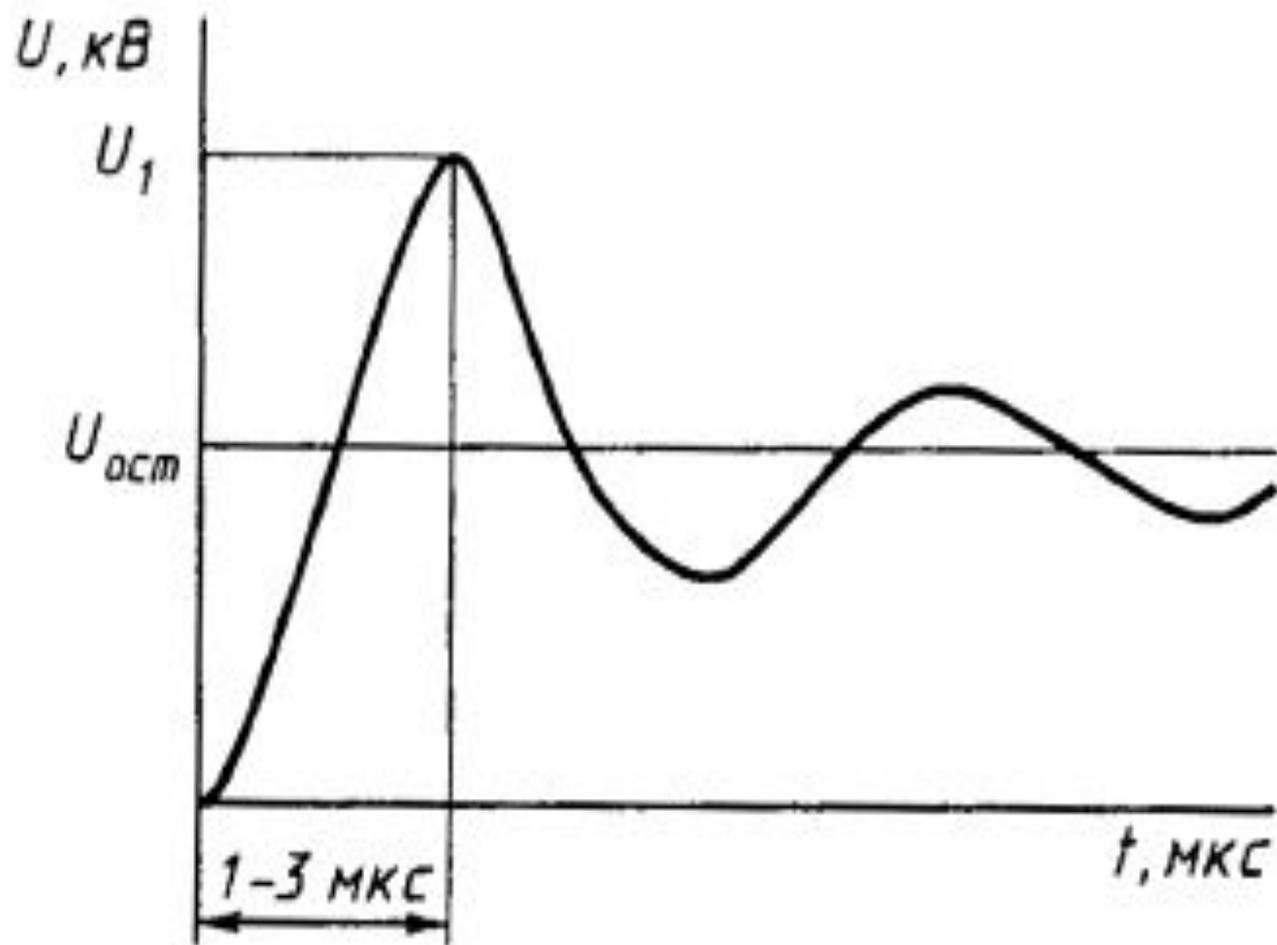


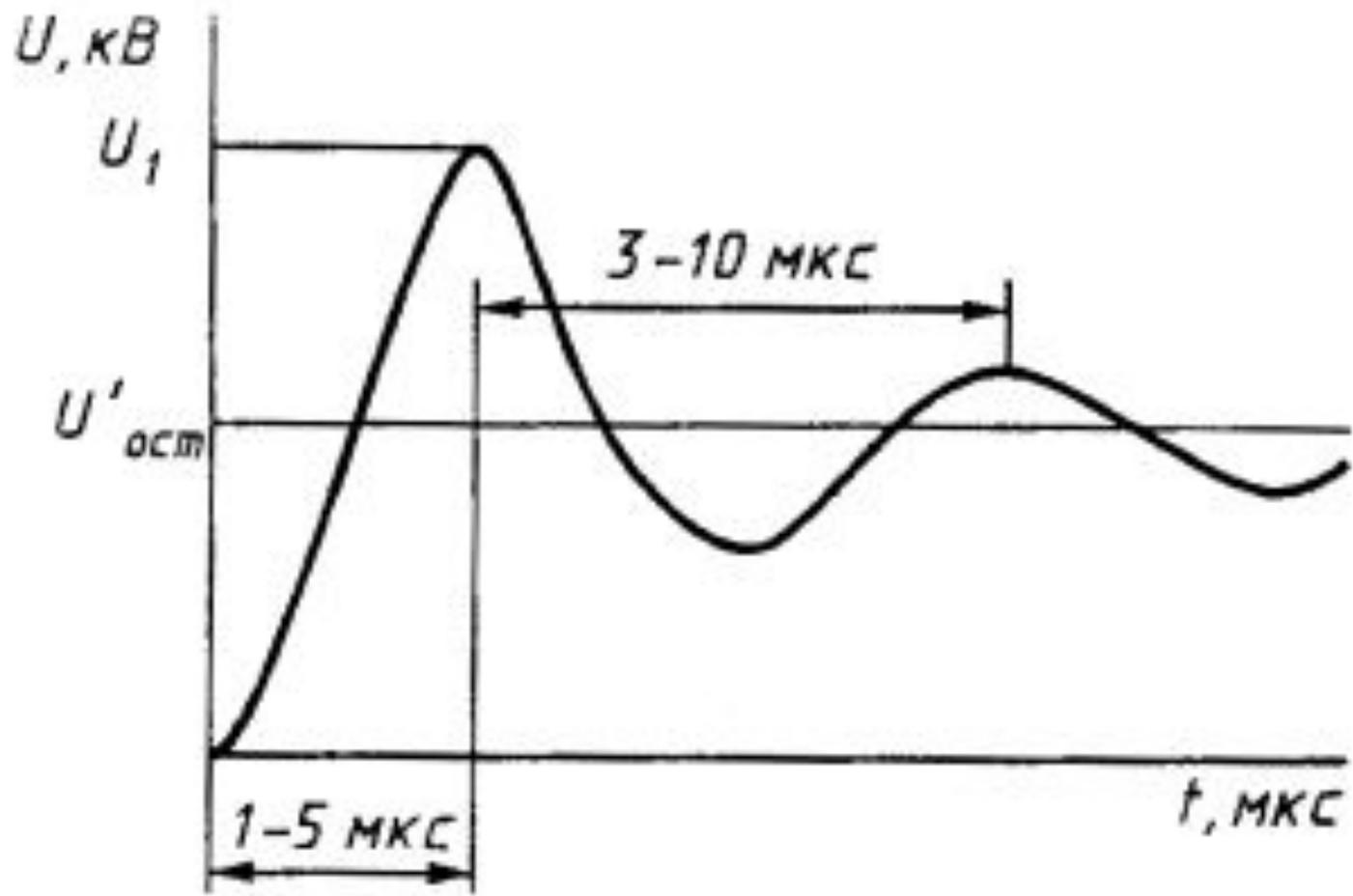


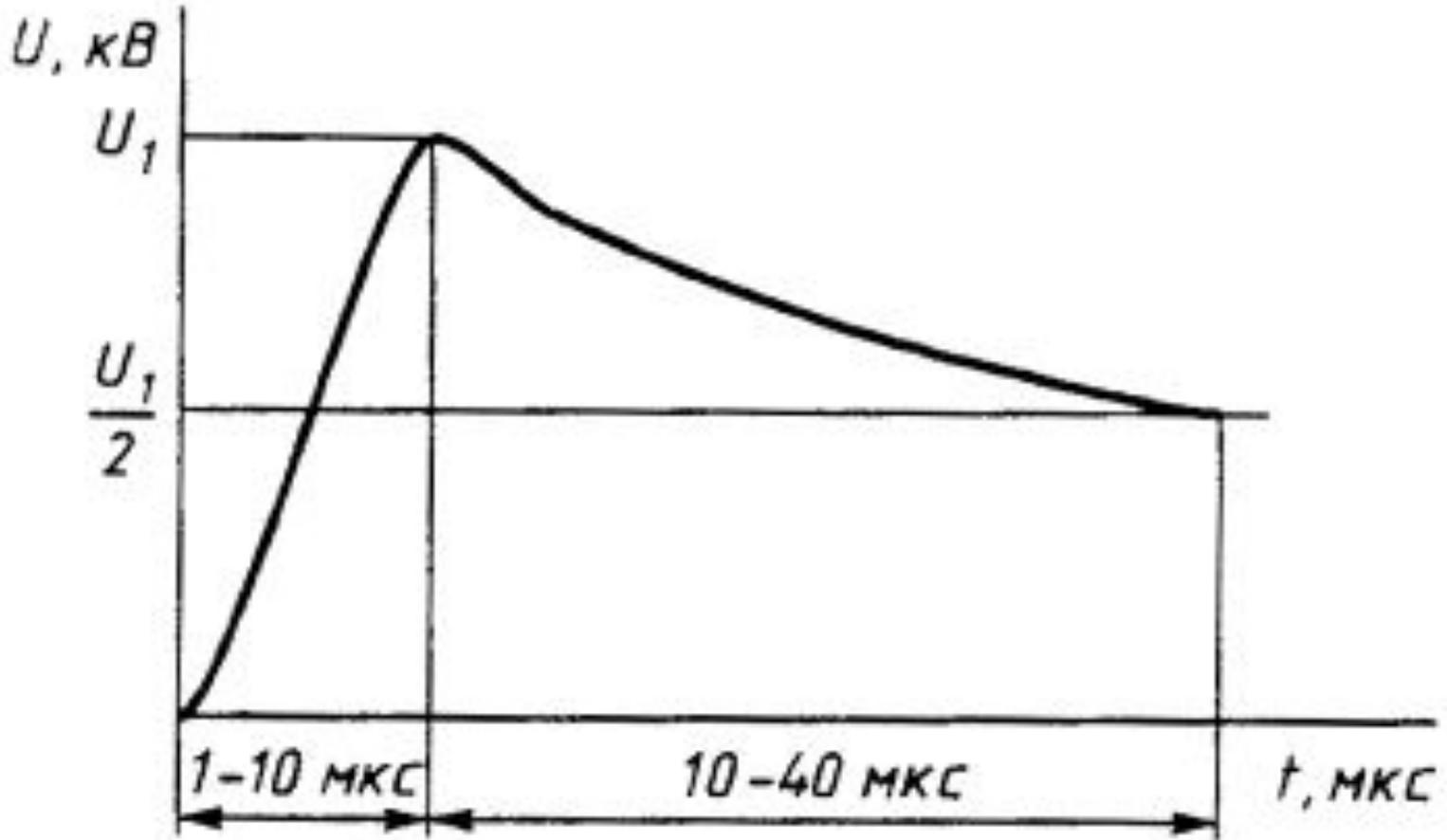
# **Источники импульсных перенапряжений**

Импульсные перенапряжения возникают при грозовых явлениях и при коммутациях оборудования (трансформаторы, двигатели, конденсаторы, кабели), в том числе при отключении коротких замыканий.









# Значения коммутационных импульсных напряжений

$U_{\text{НОМ}}, \text{кВ}$

$U_{\text{КОМ}}, \text{кВ}$

0,38

4,5

3

15,5

6

27

10

43

20

85,5

35

148

110

363

220

705



# Грозовые импульсные напряжения для трансформаторов

**$U_{\text{ном}}$ , кВ**

**6**

**10**

**35**

**110**

**220**

**$U_{\text{ком}}$ , кВ**

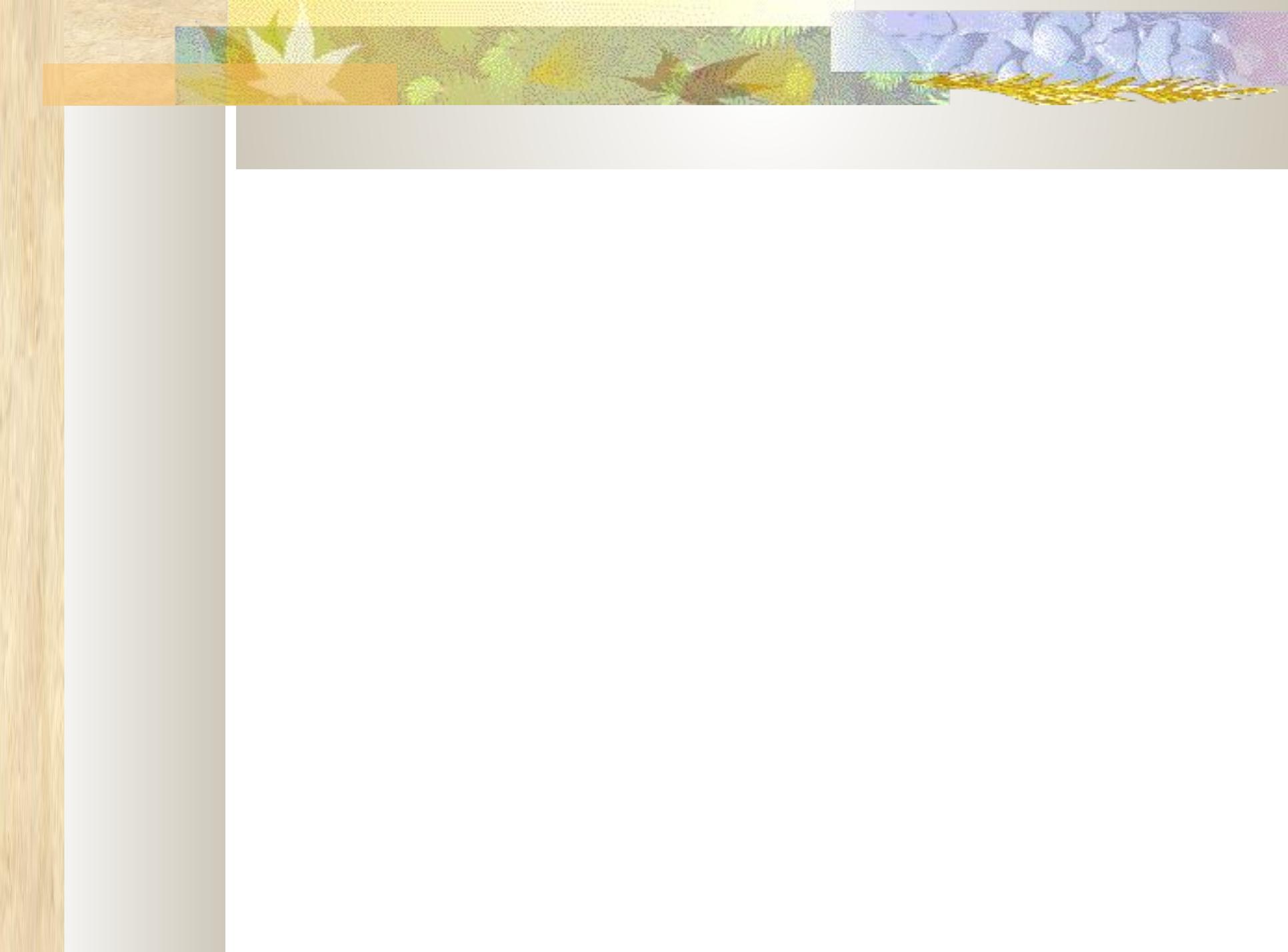
**60**

**80**

**200**

**480**

**750**





Максимальная полуширина зоны  $r_c$  в горизонтальном сечении на высоте  $h_c$

$$r_c = \frac{r_0(h_0 - h_c)}{h_c}$$

Ширина горизонтального сечения в центре между молниеотводами  $2r_{cx}$  на высоте  $h_x \leq h_c$

$$r_{cx} = 2 \frac{r_0(h_0 - h_x)}{h_x}$$



Ширина горизонтального сечения  $l_x$  на высоте  $h_x \geq h_c$

$$l_x = \frac{L(h_0 - h_x)}{2(h_0 - h_c)}; h_x > h_c; L_x = \frac{L}{2}.$$



Для расстояния  $L_c \leq L \leq L_{max}$  высота  $h_c$   
определяется по выражению:

$$h_c = \frac{L_{max} - L}{L_{max} - L_c}$$

Надежность защиты $P_3$	Высота молниевывода $h, \text{ м}$	Высота конуса $h_o, \text{ м}$	Радиус конуса $r_o, \text{ м}$
0,9	От 0 до 150	0,87h	1,5h
	От 0 до 30	0,8h	0,95h
0,99	От 30 до 100	0,8h	[0,95-7,14 · 10 <sup>-4</sup> (h-30)]h
	От 100 до 150	0,8h	[0,9-10 <sup>-3</sup> (h-100)]h
	От 0 до 30	0,75h	0,7h
0,999	От 30 до 100	[0,75-4,28 · 10 <sup>-4</sup> (h-30)]h	[0,7-1,43 · 10 <sup>-3</sup> (h-30)]h
	От 100 до 150	[0,72-10 <sup>-3</sup> (h-100)	[0,6-10 <sup>-3</sup> (h-100)]

Надежность защиты	Высота молниевыводя	$L_{\max}, \text{м}$	$L_c, \text{м}$
	$h, \text{м}$		
0,9	От 0 до 30	$5,75h$	$2,5h$
	От 30 до 100	$[5,75-3,57 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$	$2,5h$
	От 100 до 150	$5,5h$	$2,5h$
0,99	От 0 до 30	$4,75h$	$2,25h$
	От 30 до 100	$[4,75-3,57 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$	$[2,25-0,01007 \cdot (h-30)]h$
	От 100 до 150	$4,5h$	$1,5h$
0,999	От 0 до 30	$4,25h$	$2,25h$
	От 30 до 100	$[4,25-3,57 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$	$[2,25-0,01007 \cdot (h-30)]h$



<b>Номер МОЛНИЕОТВОДА</b>	<b>h,м</b>	<b>Расчет зоны защиты на высоте <math>h_x</math></b>
<b>1</b>	<b>25</b>	<b>11 и 7</b>
<b>2</b>	<b>25</b>	<b>11 и 7</b>
<b>3</b>	<b>19</b>	<b>11 и 7</b>
<b>4</b>	<b>19</b>	<b>11 и 7</b>

