

# **Повышение квалификации оперативного персонала электрических цехов ТЭС**

*Специальный курс.*

*Тема 2.6. «Условия параллельной работы трансформаторов и генераторов. Синхронизация генераторов с энергосистемой»*

**Подготовил:** ст. преподаватель кафедры ЭГиПП

Непша Федор Сергеевич

сот. тел. 8-904-994-25-15

e-mail: nepshafs@gmail.com

# Типы трансформаторов (классификация)

## По назначению:

- повышающие;
- понижающие.

## По числу обмоток:

- двухобмоточные;
- трехобмоточные;
- с расщепленными обмотками.

## По числу фазных обмоток:

- однофазные
- трехфазные

# Типы трансформаторов

## (Условные обозначения трансформаторов)

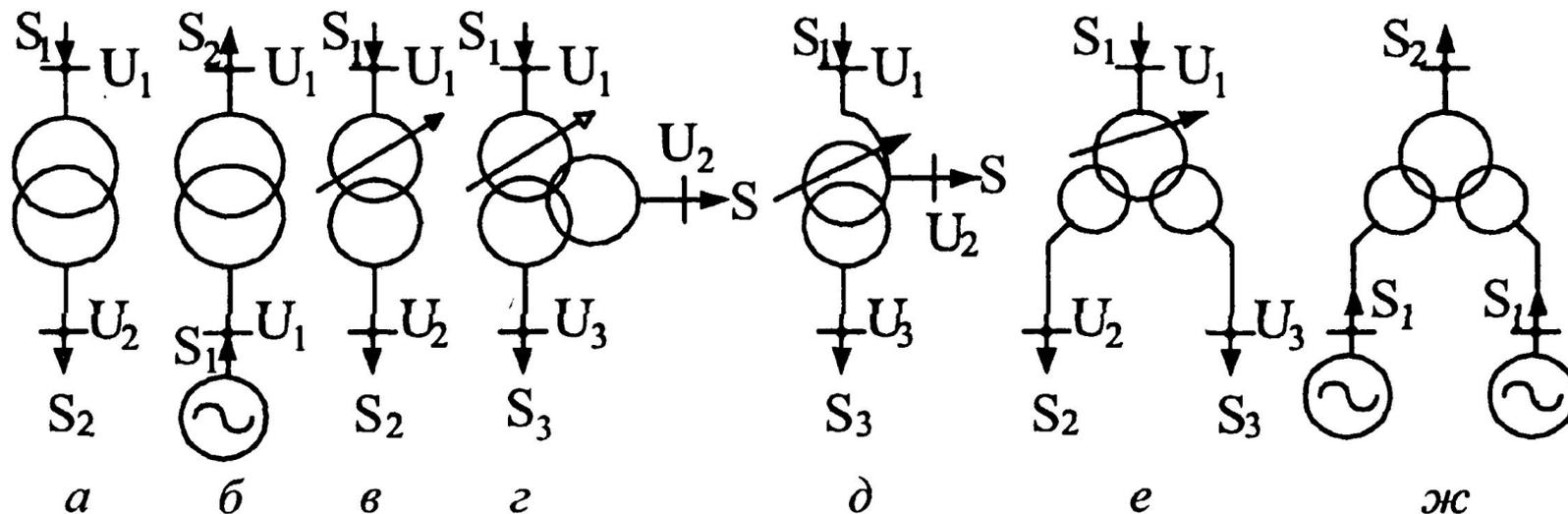


Рис. 1. Условные обозначения трансформаторов и автотрансформаторов на схемах: *a, б* — двухобмоточные нерегулируемые; *в* — регулируемый; *г* — трехобмоточный регулируемый; *д* — автотрансформатор; *е* и *ж* — регулируемый и нерегулируемый двухобмоточные трансформаторы с расщепленной обмоткой низшего напряжения

# Типы трансформаторов

## (Автотрансформаторы)

Автотрансформатор отличается от обычного трансформатора тем, что две его обмотки электрически соединены, что обуславливает передачу мощности не только электромагнитным, но и электрическим путем.

Автотрансформаторы широко применяют в сетях напряжением 150 кВ и выше благодаря их меньшей стоимости и меньшим суммарным потерям активной мощности в обмотках по сравнению с трансформаторами той же мощности.

# Типы трансформаторов

## (Автотрансформаторы)

Недостатком электрической связи обмоток ВН и СН автотрансформатора является возможность непосредственной передачи перенапряжений из одной сети в другую. Для защиты изоляции автотрансформатора от повреждений на выводах высшего и среднего напряжений устанавливают вентильные разрядники, присоединяемые непосредственно (без разъединителей) к вводам автотрансформатора.

# Типы трансформаторов

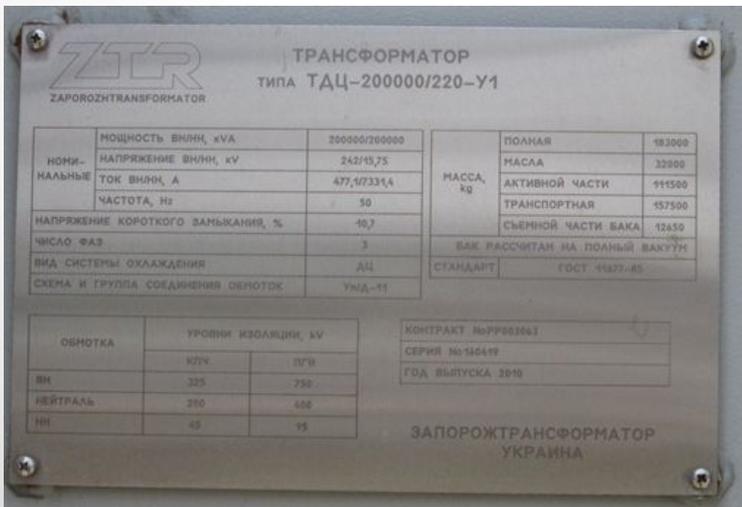
(Технические данные)

Технические данные трансформаторов указаны на специальных щитках, которые крепятся к баку трансформатора. В них перечислены все необходимые сведения о трансформаторе, в том числе:

- тип трансформатора (автотрансформатора);
- обозначение схемы и группы соединения обмоток;  
номинальная частота;
- вид переключения ответвлений;
- номинальная мощность, кВА;
- номинальное напряжение трансформатора и напряжение ответвлений, кВ;
- номинальные токи, А;
- напряжение короткого замыкания, %;
- полная масса трансформатора, кг или т;
- масса масла, кг или т; масса активной части, кг или т; транспортная масса (если она равна или больше 90 т);
- масса съемной части бака в транспортном состоянии, кг или т.

# Типы трансформаторов

## (Технические данные)



# Типы трансформаторов

## (условные обозначения)

В зависимости от мощности трансформаторы изготавливают сухими (С), сухими защищенными (СЗ) или сухими герметичными (СГ) или масляными (М).

Буквы означают: А - автотрансформаторная схема соединения обмоток; Т и О — число фаз (трехфазный, однофазный); Р — наличие расщепленной обмотки на стороне НН; М, Д, ДЦ, Ц, МЦ и МВ — система охлаждения; Т — наличие третьей обмотки; Н — наличие регулирования под нагрузкой; С и З — трансформатор собственных нужд, без расширителя. Номинальная мощность трансформатора указывается в кВА (числитель в цифровой части обозначения).

# Типы трансформаторов

## (условные обозначения)

**ТРДНС-32000/110-92У1** - трехфазный двухобмоточный трансформатор с расщепленной обмоткой НН, с системой охлаждения «Д», с РПН, исполнения для собственных нужд электростанций, номинальной мощностью 32000 кВА, класса напряжения 110 кВ, конструкции 1992 г., для районов с умеренным климатом для наружной установки.

**ТДТН-25000/110** - трехфазный трехобмоточный понижающий трансформатор, масляное охлаждение с дутьем, с устройством РПН, номинальная мощность 25000 кВА, класс напряжения обмотки ВН 110 кВ.

# Типы трансформаторов

(схемы и группы соединения обмоток по ГОСТ 11677-85)

Схемы соединения обмоток		Диаграммы векторов ЭДС		Условные обозначения
ВН	НН	ВН	НН	
				$Y/Y_0-0$
				$Y/\Delta-11$
				$Y_0/\Delta-11$

Рис. 2. Схемы и группы соединения обмоток трехфазных двухобмоточных трансформаторов

# Типы трансформаторов

(схемы и группы соединения обмоток по ГОСТ 11677-85)

Схемы соединения обмоток			Диаграммы векторов ЭДС			Условные обозначения
ВН	СН	НН	ВН	СН	НН	
						$Y_0/Y_0/\Delta-0-11$  $Y_0/\Delta/\Delta-11-11$

Рис. 3. Схемы и группы соединения обмоток трехфазных трехобмоточных трансформаторов

# Типы трансформаторов

(схемы и группы соединения обмоток по ГОСТ 11677-85)

Схемы соединения обмоток		Диаграммы векторов ЭДС		Условные обозначения
ВН и СН	НН	ВН и СН	НН	
				$Y_0 \text{ авт} / \Delta - 0 - 11$

Рис. 4. Схемы и группы соединения обмоток трехфазных трехобмоточных автотрансформаторов

# Типы трансформаторов (справочные данные)

Трехфазные двухобмоточные трансформаторы 110 кВ

Тип трансформатора	S <sub>ном</sub> , МВ·А	Пределы регулиру- вания, % ± n × Дк	Каталожные данные						Расчетные данные		
			U <sub>ном</sub> обмоток, кВ		u <sub>к</sub> , %	ΔP <sub>к</sub> , кВт	ΔP <sub>х</sub> , кВт	I <sub>х</sub> , %	R, Ом	X, Ом	ΔQ <sub>х</sub> , квар
			В	Н							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ТМН-2500/110	2,5	±10×1,50 ±8×1,50	110	6,6; 11	10,5	22	5,5	1,50	42,6	508	37,5
ТМН-6300/110	6,3	±9×1,78	115			44	11,5	0,8	14,7	220	50,4
ТДН-10000/110	10	±9×1,78				60	14	0,7	7,95	139	70
ТДН-16000/110	16	±9×1,78	115	6,6; 11	10,5	85	19	0,7	4,38	86,7	112
ТРДН-25000/110	25	±9×1,78	115	6,3/6,3; 6,3/10,5; 10,5/10,5		120	27	0,7	2,54	55,9	175
				6,3/6,3; 6,3/10,5; 10,5/10,5		145	32	0,75	1,87	43,4	234
ТРДН-40000/110	40	±9×1,78	115	6,3/6,3; 6,3/10,5; 10,5/10,5		175	36	0,7	1,44	34,8	260
ТД-40000/110	40	±2×2,50	121	3,15; 6,3; 10,5		160	50	0,7	1,46	38,4	260

# Типы трансформаторов

## Габаритные размеры силовых трансформаторов

Номер размера	Диапазон мощностей, кВ·А	Класс напряжения, кВ
I	До 100	До 35
II	Свыше 100 до 1000	До 35
III	Свыше 1000 до 6300	До 35
IV	Свыше 6300	До 35
V	До 32 000	Свыше 35 до 110
VI	Свыше 32 000 до 80 000	До 330
VII	Свыше 80 000 до 200 000	До 330
VIII	Свыше 200 000	До 330
	Независимо от мощности	Свыше 330
	Независимо от мощности для ВЛ постоянного тока	Независимо от напряжения

# Допустимый перегруз трансформаторов

- Допустимые перегрузки трансформаторов регламентируются:
- п. 5.3.14, 5.3.15 Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации (ПТЭЭСиС);
  - п. 2.1.20, 2.1.21 Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей (требования идентичны ПТЭЭСиС);
  - ГОСТ 14209-85 «Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки»;
  - Стандарты организаций: – например, СТО 56947007-29.180.01.048-2010 «Инструкция по эксплуатации трансформаторов», используемый ПАО «ФСК ЕЭС»);
  - инструкция по эксплуатации трансформатора.

## **Допустимый перегруз трансформаторов** *п. 5.3.14 ПТЭЭиС:*

Для масляных трансформаторов допускается длительная перегрузка по току любой обмотки на 5% номинального тока ответвления, если  $U \leq U_{ном}$ .

Допускаются систематические перегрузки, значение и длительность которых регламентируется типовой инструкцией по эксплуатации трансформатора.

# Допустимый перегруз трансформаторов

п. 5.3.15 ПТЭЭиС:

В аварийных режимах допускается кратковременная перегрузка трансформаторов сверх номинального тока при всех системах охлаждения независимо от длительности и значения предшествующей нагрузки и температуры охлаждающей среды в следующих пределах:

## Масляные трансформаторы:

Перегрузка по току, %	30	45	60	75	100
Длительность перегрузки, мин.	120	80	45	20	10

## Сухие трансформаторы:

Перегрузка по току, %	20	30	40	50	60
Длительность перегрузки, мин.	60	45	32	18	5

Допустимые продолжительные перегрузки сухих трансформаторов

- устанавливаются заводской инструкцией.

# Допустимый перегруз трансформаторов

ГОСТ 14209-85 «Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки»

Стандарт устанавливает допустимые нагрузки силовых масляных трансформаторов общего назначения мощностью до 100000 кВА включительно с видами охлаждения М, Д, ДЦ и Ц, соответствующие ГОСТ 11677.

Стандарт устанавливает метод расчета допустимых систематических нагрузок и аварийных перегрузок по задаваемым исходным данным, а также нормы таких нагрузок и перегрузок для суточного графика нагрузки трансформаторов с учетом температуры охлаждающей среды.

# Допустимый перегруз трансформаторов

В ГОСТ 14209-85 выделяются:

- нормы максимально допустимых систематических перегрузок

$\theta_{\text{охла}} = -20^{\circ}\text{C}$

Таблица 1

k, ч	М и Д								ДЦ								
	$K_2$ при значениях $K_1=0,25-1,0$								$K_2$ при значениях $K_1=0,25-1,0$								
	0,25	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,25	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
0,5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1,85	1,82	1,78	1,74
1,0	+	+	+	+	+	+	+	+	1,79	1,77	1,76	1,74	1,72	1,69	1,66	1,63	
2,0	+	+	1,99	1,96	1,93	1,89	1,85	1,79	1,61	1,61	1,60	1,59	1,57	1,56	1,54	1,52	
4,0	1,70	1,69	1,67	1,66	1,64	1,62	1,60	1,57	1,47	1,46	1,46	1,45	1,45	1,44	1,43	1,42	
6,0	1,56	1,55	1,54	1,54	1,53	1,51	1,50	1,48	1,40	1,40	1,40	1,39	1,39	1,39	1,38	1,37	
8,0	1,48	1,48	1,47	1,47	1,46	1,45	1,45	1,43	1,37	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,35	1,35	
12,0	1,41	1,40	1,40	1,40	1,40	1,39	1,39	1,38	1,33	1,33	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	
24,0	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	

# Допустимый перегруз трансформаторов

– нормы допустимых аварийных перегрузок трансформатор

Таблица 8

$\theta_{\text{охл}} = -20^{\circ}\text{C}$

h, ч	М и Д								ДЦ								
	$K_2$ при различных значениях $K_1=0,25-1,0$								$K_3$ при различных значениях $K_1=0,25-1,0$								
	0,25	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,25	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
0,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9	1,9
1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
4,0	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
6,0	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
8,0	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
12,0	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
24,0	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

# Допустимый перегруз трансформаторов

Стандарты организаций: – например, СТО 56947007-29.180.01.048-2010 «Инструкция по эксплуатации трансформаторов», используемый ПАО «ФСК ЕЭС»);

Таблица 3

Нагрузочная способность масляных трансформаторов

Категория нагрузки (перегрузки)	Допустимая нагрузка или перегрузка Кдоп (о. е.) при температуре охлаждающего воздуха (воды), $\theta_{в}$ , $^{\circ}\text{C}$						
	-20	-10	0	10	20	30	40
Нормальная круглосуточная нагрузка (перегрузка)	1,20	1,20	1,15	1,08	1,00	0,91	0,82
Круглосуточная перегрузка с возможным повышенным износом изоляции	1,25	1,25	1,25	1,25	1,20	1,15	1,08
Кратковременная аварийная перегрузка (до 20 минут)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,3	1,3

# Требования к характеристикам трансформаторов при параллельной работе (п. 2.1.19 ПТЭЭП)

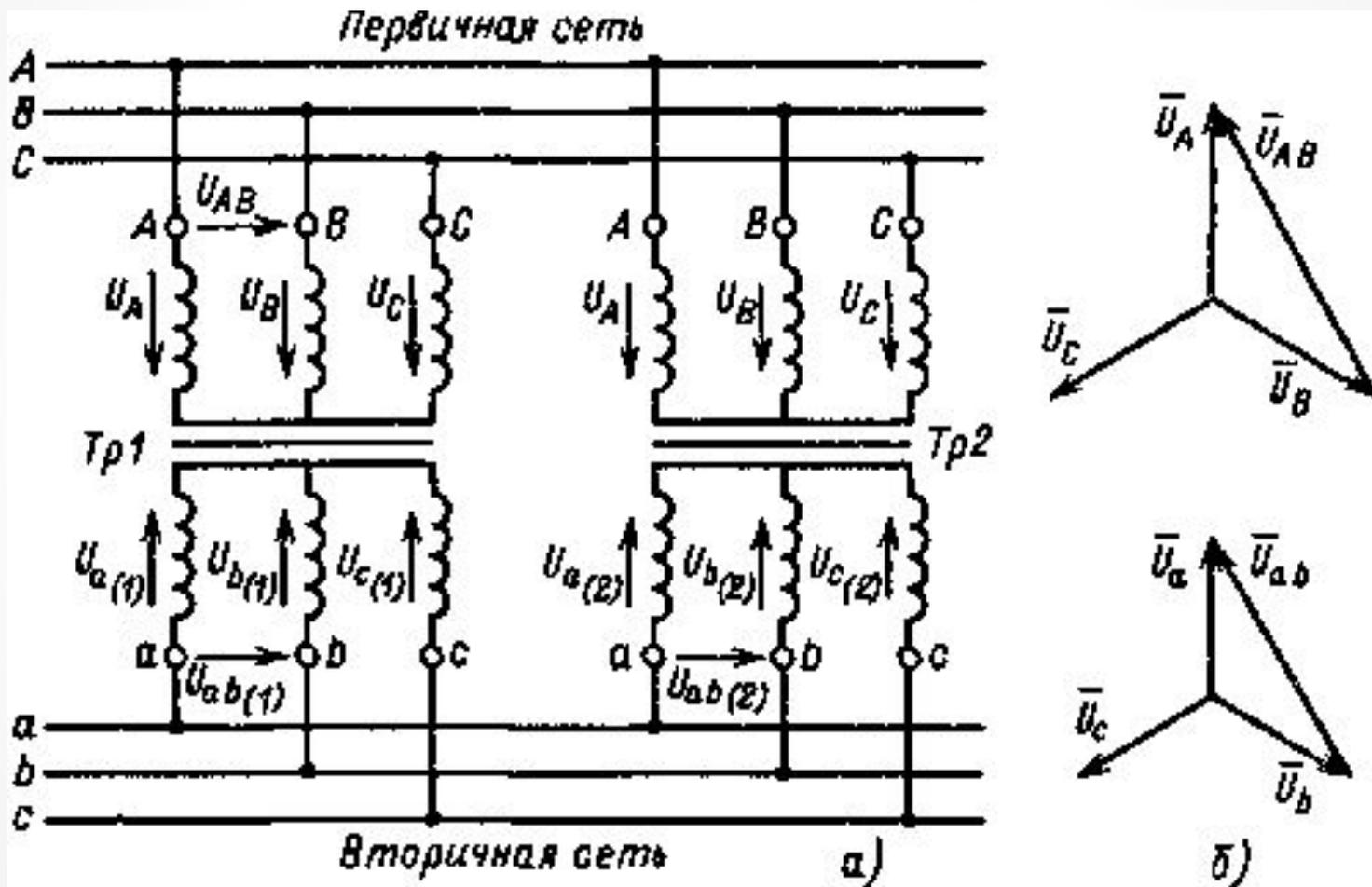


Рис. 5. Схема параллельной работы трансформаторов

# Требования к характеристикам трансформаторов при параллельной работе (п. 2.1.19 ПТЭЭП)

Допускается параллельная работа трансформаторов (автотрансформаторов) при условии, что ни одна из обмоток не будет нагружена током, превышающим допустимый ток для данной обмотки.

Параллельная работа трансформаторов разрешается при следующих условиях:

- группы соединений обмоток одинаковы;
- соотношение мощностей трансформаторов не более 1:3;
- коэффициенты трансформации отличаются не более чем на  $\pm 0,5\%$ ;
- напряжения короткого замыкания отличаются не более чем на  $\pm 10\%$ ;
- произведена фазировка трансформаторов.

# **Требования к характеристикам трансформаторов при параллельной работе (п. 2.1.19 ПТЭЭП)**

Для выравнивания нагрузки между параллельно работающими трансформаторами с различными напряжениями короткого замыкания допускается в небольших пределах изменение коэффициента трансформации путем переключения ответвлений при условии, что ни один из трансформаторов не будет перегружен.

# Осмотры трансформаторов (требования ПТЭЭСиС)

5.3.11. Масло в расширителе неработающего трансформатора (реактора) должно быть на уровне отметки, соответствующей температуре масла в трансформаторе (реакторе).

5.3.12. При номинальной нагрузке температура верхних слоев масла должна быть (если заводами-изготовителями не оговорены иные значения температуры) у трансформатора и реактора с охлаждением ДЦ - не выше 75 град. С, с естественным масляным охлаждением М и охлаждением Д - не выше 95 град. С; у трансформаторов с охлаждением Ц температура масла на входе в маслоохладитель должна быть не выше 70 град. С.

# Осмотры трансформаторов (требования ПТЭЭСиС)

5.3.25. Осмотры трансформаторов (реакторов) без отключения производятся в сроки, устанавливаемые техническим руководителем энергообъекта в зависимости от их назначения, места установки и технического состояния.

5.3.26. Ремонт трансформаторов и реакторов (капитальный, текущий) и их составных частей (РПН, системы охлаждения и др.) выполняется по мере необходимости в зависимости от их технического состояния, определяемого измерениями, испытаниями и внешним осмотром.

Сроки ремонта устанавливаются техническим руководителем энергосистемы (энергообъекта).

5.3.27. Профилактические испытания трансформаторов (реакторов) должны проводиться в соответствии с объемом и нормами испытаний электрооборудования и заводскими инструкциями.

# Осмотры трансформаторов

(требования Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей пп. 2.1.34-2.1.41)

Осмотр трансформаторов без их отключения должен производиться в следующие сроки:

- главных понижающих трансформаторов подстанций с постоянным дежурством персонала - **1 раз в сутки**;
- остальных трансформаторов электроустановок с постоянным и без постоянного дежурства персонала - **1 раз в месяц**;
- на трансформаторных пунктах - **не реже 1 раза в месяц**.

Сроки могут быть изменены ответственным за электрохозяйство Потребителя в зависимости от местных условий и состояния оборудования.

Внеочередные осмотры трансформаторов производятся:

- после неблагоприятных погодных воздействий;
- при работе газовой защиты на сигнал, а также при отключении трансформатора (реактора) газовой или (и) ДЗТ.

# Осмотры трансформаторов

(требования Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей пп. 2.1.34-2.1.41)

Трансформатор должен быть аварийно выведен из работы при:

- сильном неравномерном шуме и потрескивании внутри трансформатора;
- ненормальном и постоянно возрастающем нагреве трансформатора при нагрузке ниже номинальной и нормальной работе устройств охлаждения;
- выбросе масла из расширителя или разрыве диафрагмы выхлопной трубы;
- течи масла с понижением его уровня ниже уровня масломерного стекла.

Трансформаторы выводятся из работы также при необходимости немедленной замены масла по результатам лабораторных анализов.

# Осмотры трансформаторов

(Содержание периодических осмотров)

Визуальный осмотр внешнего вида трансформатора может дать важную информацию о его состоянии.

Перечень элементов осмотра приведен ниже:

- Внешний вид;
- Датчики температуры подсоединенного к сети трансформатора;
- Расширительный бак;
- Воздухоочистительный фильтр трансформатора;
- Утечки трансформаторного масла;
- Устройство сброса давления;
- Масляные насосы;
- Вентиляторы и радиаторы;
- Реле Бухгольца (газовое реле);
- Реле отказа диафрагмы.

# Осмотры трансформаторов

(Содержание периодических осмотров)

## 1. Внешний вид

Визуальный осмотр внешнего вида трансформатора может дать важную информацию о его состоянии. Например, неправильное расположение клапанов, подключение радиаторов, заклинившие индикаторы температуры и датчики уровней, шум масляных насосов или вентиляторов охлаждения, загрязнение изоляторов. Утечки масла могут отражать возможность загрязнения маслом, потерю изоляции или проблемы окружающей среды.

# Осмотры трансформаторов

(Содержание периодических осмотров)

## 2. Маслоуказатели.

Определяется соответствие уровня масла в баке трансформаторов и расширителях негерметичных маслonaполненных вводов температурным отметкам, одновременно обращая внимание на цвет масла, видимого в масломерном стекле (потемневшее масло свидетельствует о его термическом разложении из-за повышенного нагрева внутри трансформатора или о появлении в масле взвешенного углерода, например из-за электрических разрядов в нем).

# Осмотры трансформаторов

(Содержание периодических осмотров)

3. Состояние кранов, фланцев и люков бака, а также резиновых прокладок и уплотнений (они не должны разбухать или выпучиваться);
4. Целостность и исправность приборов (термометров, манометров, газовых реле);
5. Исправность заземления бака трансформатора;
6. Наличие и исправность устройств пожаротушения, маслоприемных ям и дренажей.
7. Газовое реле. Проверяют заполнение маслом смотрового стекла и правильность положения отсечного клапана, размещенного на маслопроводе, соединяющем расширитель с баком трансформатора.



# Осмотры трансформаторов

(Содержание периодических осмотров)

**8. Целостность мембраны выхлопной трубы и закрытое положение диска предохранительного клапана.**

**9. Состояние доступных уплотнений фланцевых соединений масляной системы, отсутствие течи масла во фланцах и арматуре.**

**10. Осмотр через смотровые стекла индикаторного силикагеля в воздухоосушителях бака трансформаторов. Цвет должен быть голубым, так как изменение цвета до розового свидетельствует об увлажнении сорбента и необходимости его замены (перезарядка воздухоосушителя).**



# Осмотры трансформаторов

(Содержание периодических осмотров)

**11. Состояние доступных контактных соединений на вводах и ошиновке** — появление цветных потеков, потемнение или выгорание окраски, «струящийся» воздух над контактом, испарение дождевой влаги или таяние снега, инея свидетельствуют об их повышенном нагреве.

**12. Проверка внешнего состояния устройств РПН.**

Проверяют также одинаковые положения переключателя РПН всех параллельно работающих трансформаторов или отдельных фаз при пофазном управлении. Наличие масла в баке контактора проверяют по маслоуказателю — при пониженном его уровне увеличивается время горения дуги на контактах устройства.

# Осмотры трансформаторов

(Содержание периодических осмотров)

**13. Проверка состояния надписей и окраски трансформаторов.** В закрытых камерах трансформаторов проверяют исправность кровли, дверей и вентиляционных проемов. При нормальной работе вентиляции помещения разность температур входящего снизу и выходящего сверху воздуха не должна превышать 15 °С при номинальной нагрузке трансформатора.

# **Включение генераторов на параллельную работу с энергосистемой**

(Требования «Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации» (п. 5.1.19))

**Синхронизацией** называется процесс уравнивания частоты вращения и напряжения включаемого генератора с частотой вращения работающих генераторов и напряжением на электростанции, а также выбор соответствующего момента времени для подача импульса на включение выключателя генератора.

# Включение генераторов на параллельную работу с энергосистемой

(Требования «Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации» (п. 5.1.19))

Генераторы, как правило, должны включаться в сеть способом **точной синхронизации**.

При использовании точной синхронизации должна быть введена блокировка от несинхронного включения.

**Допускается** использование при включении в сеть **способа самосинхронизации**, если это предусмотрено техническими условиями на поставку или специально согласовано с заводом-изготовителем.

# Включение генераторов на параллельную работу с энергосистемой

(Требования «Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации» (п. 5.1.19))

При ликвидации аварий в энергосистеме **турбогенераторы мощностью до 220 МВт** включительно и все гидрогенераторы **разрешается включать на параллельную работу способом самосинхронизации.** Турбогенераторы большей мощности разрешается включать этим способом при условии, что кратность сверхпереходного тока к номинальному, определенная с учетом индуктивных сопротивлений блочных трансформаторов и сети, не превышает 3,0.

## **Включение генераторов на параллельную работу с энергосистемой (Теоретические сведения)**

В настоящее время включение генераторов на параллельную работу производится автоматически при помощи **автосинхронизаторов**.

Для того чтобы включить выключателем  $Q$  (рис. 3) синхронный генератор  $G$  на параллельную работу с синхронно вращающимися генераторами электростанции и ЭЭС, необходимо выполнить ряд операций.

# Включение генераторов на параллельную работу с энергосистемой (Теоретические сведения)

При точной синхронизации необходимо соблюдать следующие условия:

- частота сети и частота генератора должны быть одинаковыми
- напряжения сети и генератора совпадают по фазе и имеют одинаковые амплитуды;
- порядки следования фаз сети и генератора должны совпадать;

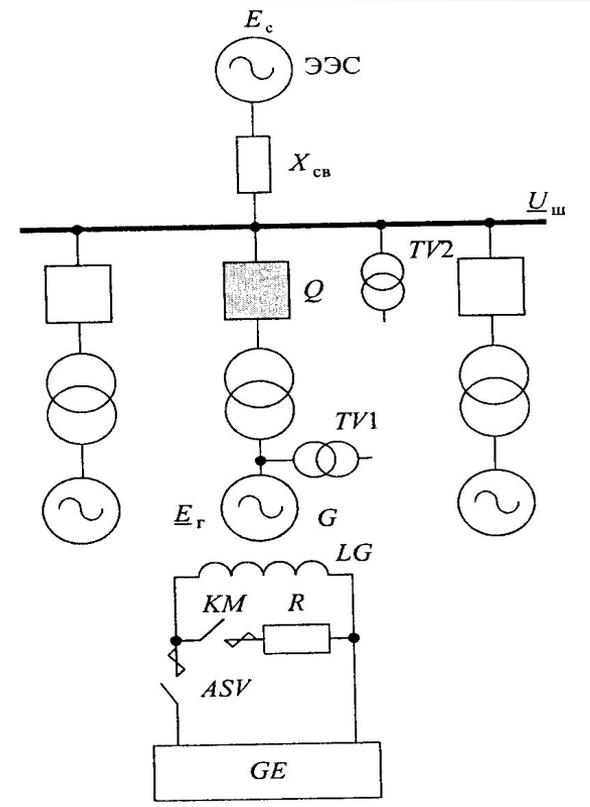


Рис. 6. Схема ЭС с синхронизируемым генератором и ее связи с ЭЭС

# Включение генераторов на параллельную работу с энергосистемой (Теоретические сведения)

Разность напряжений генератора и сети, в случае когда их частоты неодинаковы, периодически изменяется от нуля до максимального значения. Эта разность получила название **напряжения биений**, или **напряжения скольжения**  $U_s$ .

$$U_s = 2U \cdot \sin \frac{\delta}{2} = 2U \cdot \sin \frac{\omega_g - \omega_c}{2} t = 2U \cdot \sin \frac{\omega_s}{2} t, \quad (1)$$

где  $\delta$  - угол между векторами  $\underline{U}_g$  и  $\underline{U}_c$ ;  $\omega_s = \omega_g - \omega_c$  - угловая скорость скольжения.

Время полного цикла изменения напряжения биений называется периодом скольжения  $T_s$ :

# Включение генераторов на параллельную работу с энергосистемой (Теоретические сведения)

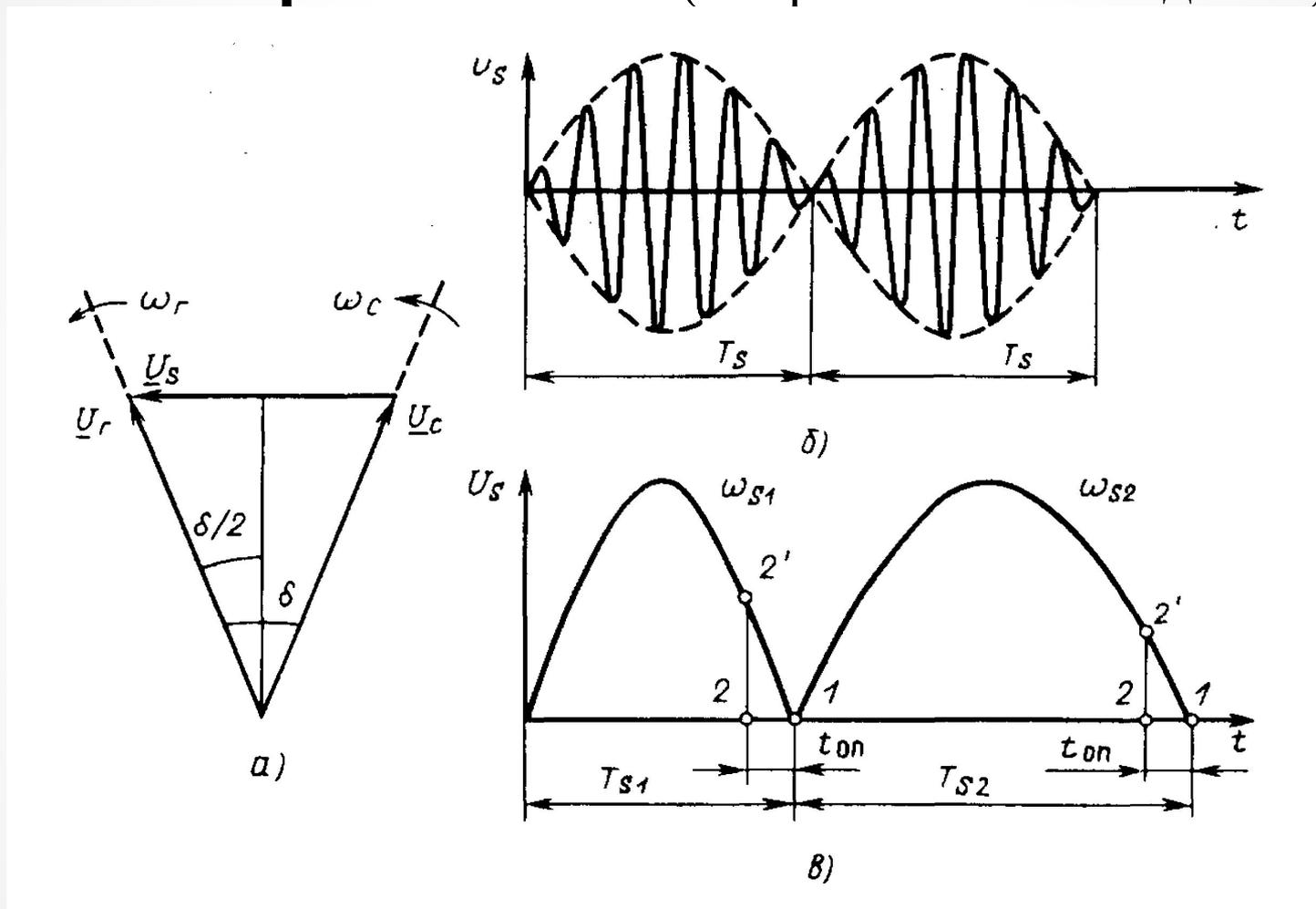


Рис. 7. Напряжение биений: а - векторная диаграмма; б - изменение мгновенных значений напряжения биений; в - изменение действующих значений напряжения биений

## **Включение генераторов на параллельную работу с энергосистемой (Теоретические сведения)**

При включении генератора способом самосинхронизации должны быть соблюдены следующие условия:

- генератор должен быть невозбужденным;
- частота вращения включаемого генератора должна быть близка к частоте вращения генераторов энергосистемы;
- допускаемая разность частот генератора и сети 1-1,5 Гц.

# Включение генераторов на параллельную работу с энергосистемой (Теоретические сведения)

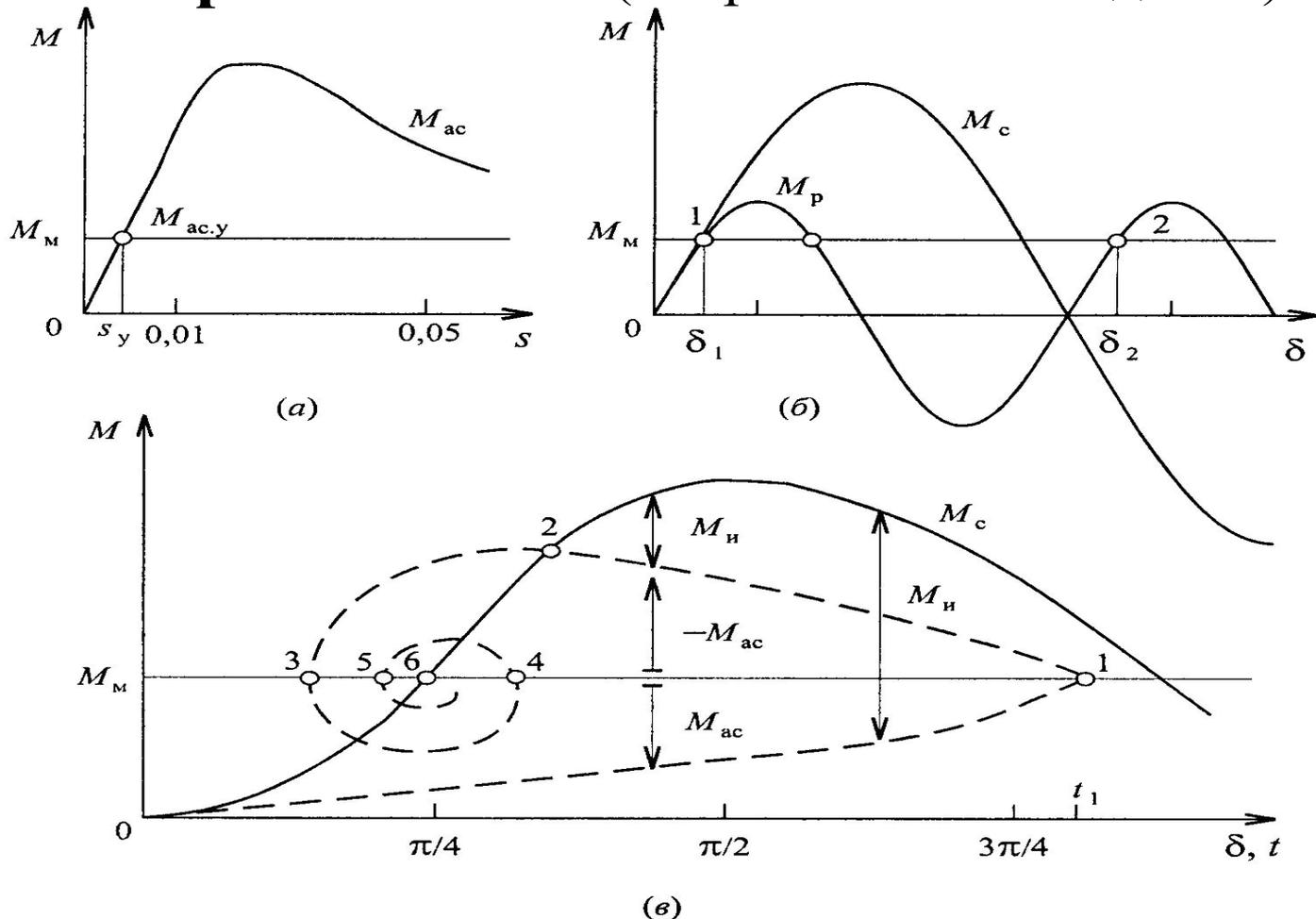


Рис. 8. Графики асинхронного (а), реактивного и синхронного б) вращающих моментов и график процесса самосинхронизации (в) генератора

## **Включение генераторов на параллельную работу с энергосистемой (Теоретические сведения)**

Недостатком метода самосинхронизации генераторов является то, что включение генератора сопровождается снижением напряжения на шинах электростанции и бросками тока в цепи генератора. При генераторах равной мощности автономной электростанции снижение напряжения может достигать 35–40 %, а величина броска тока – 1,5–4-кратной величины номинальных значений.

# Устройства автоматического включения генераторов на параллельную работу

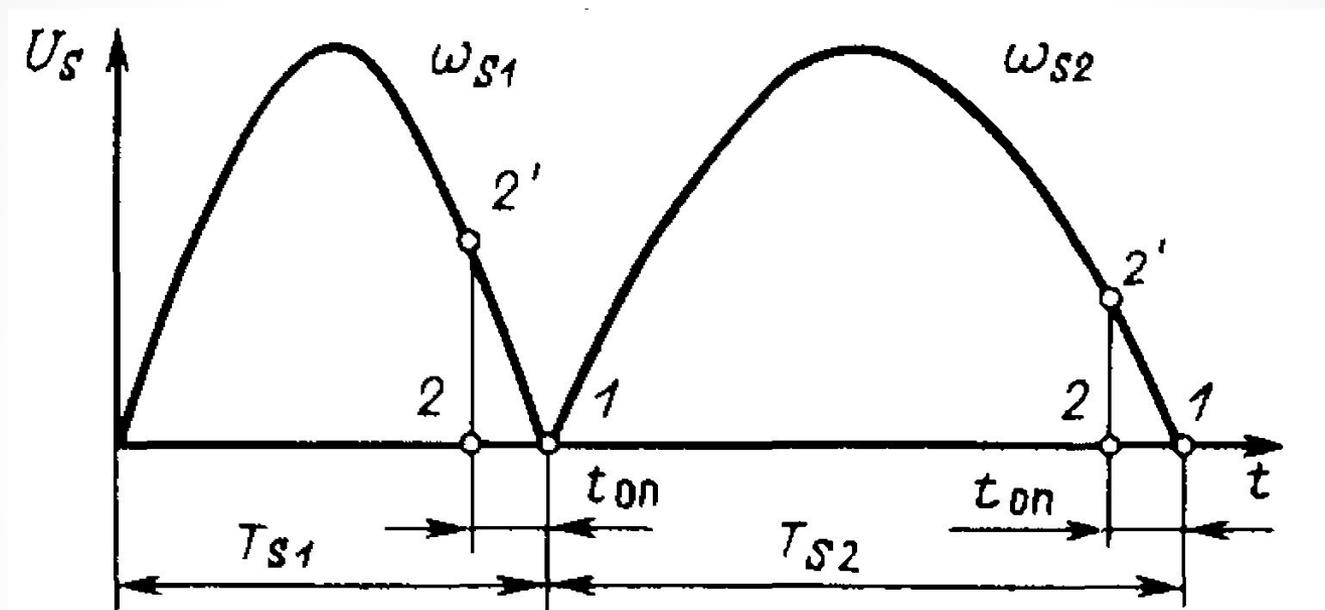


Рис. 9. Изменение действующих значений напряжения биений

**Угол опережения**

$$\delta_{on} = \omega_s t_{on} \quad (2)$$

# Устройства автоматического включения генераторов на параллельную работу

Различают два типа синхронизаторов:

- **синхронизатор с постоянным углом опережения**, в котором импульс на включение подается при достижении углом  $\delta$  определенного постоянного значения,
- **синхронизатор с постоянным временем опережения**, в котором импульс на включение подается с постоянным временем опережения, равным времени включения выключателя (АСТ-4, УБАС, СА-1).

# Устройства автоматического включения генераторов на параллельную работу

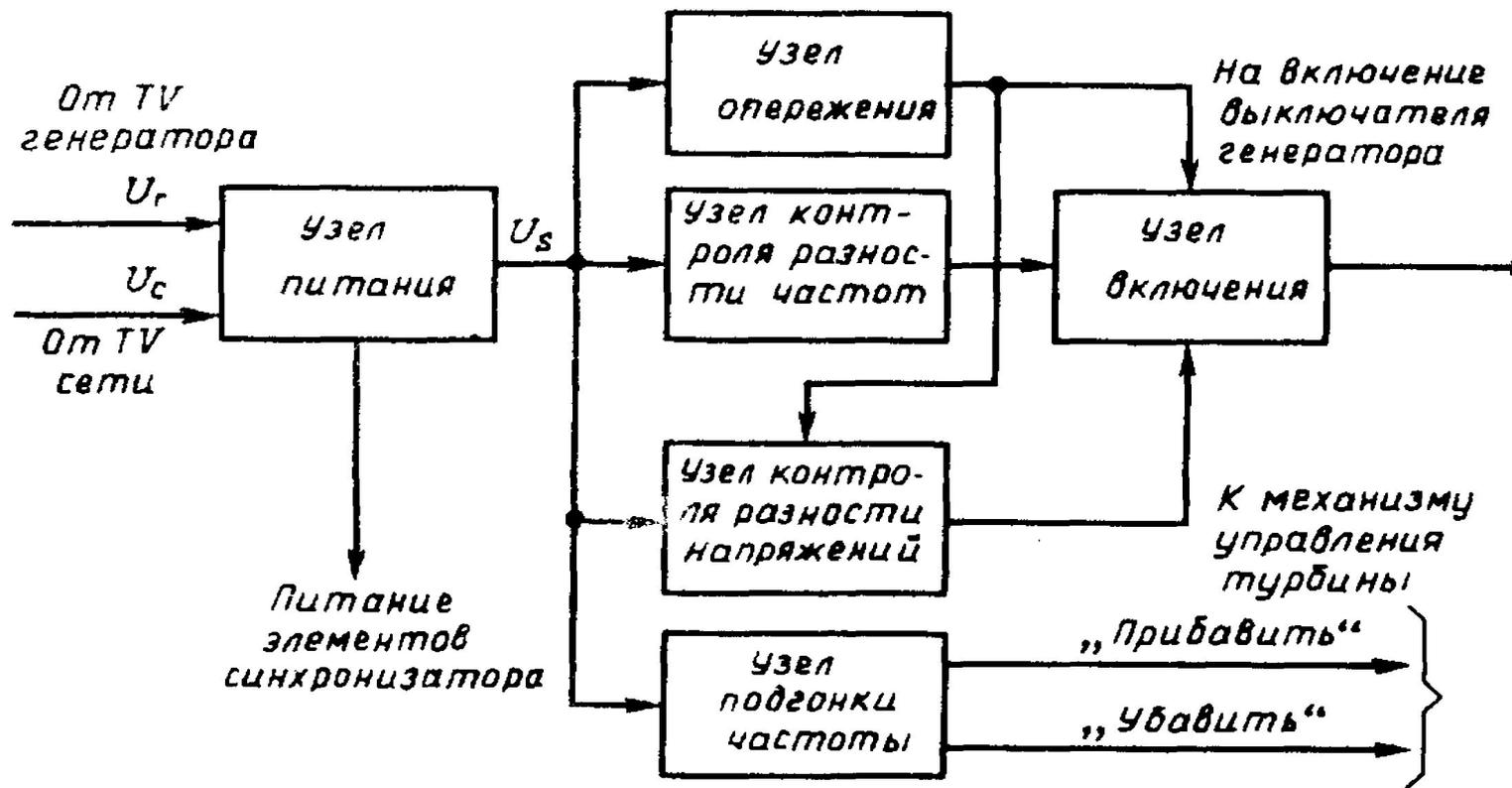


Рис. 10. Структурная схема синхронизатора УБАС

# Устройство полуавтоматической самосинхронизации

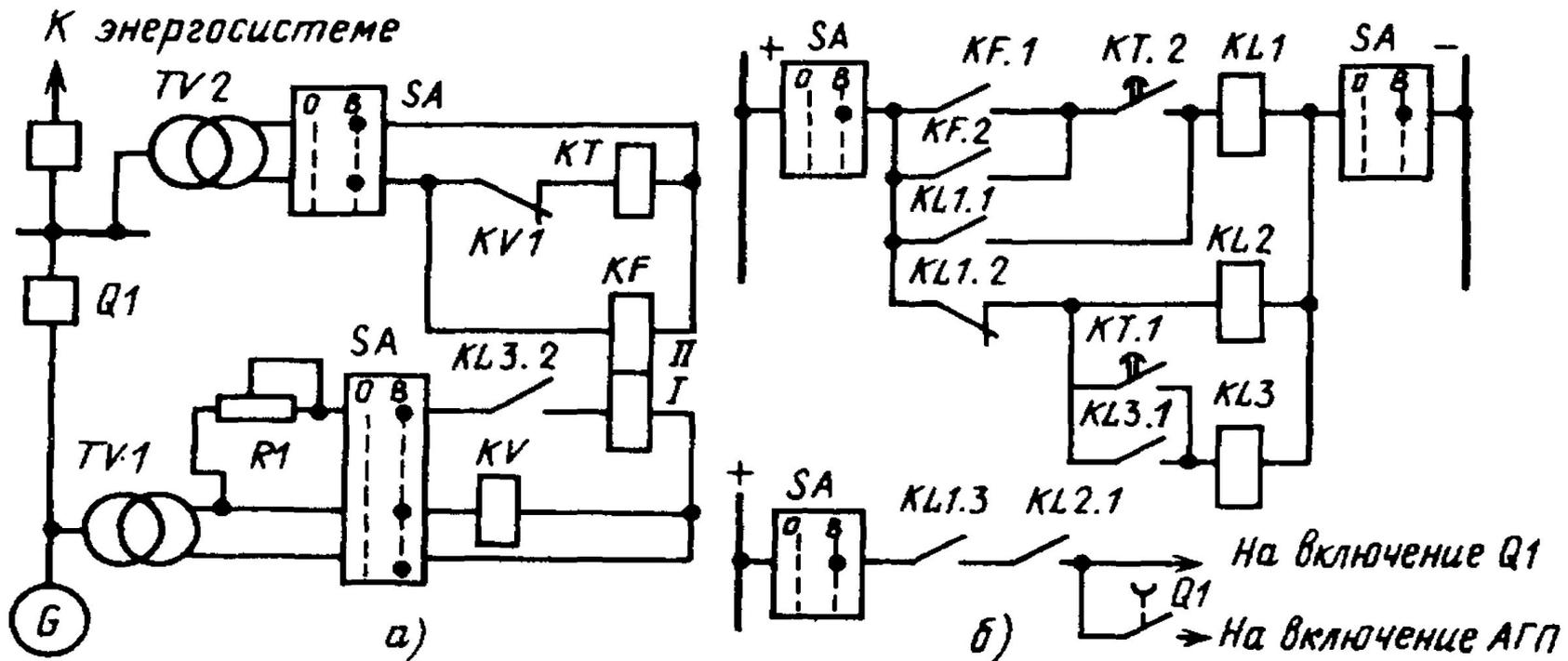


Рис. 11. Схема устройства полуавтоматической самосинхронизации:  
 а - цепи переменного напряжения; б - цепи оперативного тока

# Список литературы

1. Макаров Е.Ф. Обслуживание и ремонт электрооборудования электростанций и сетей: Учебник для нач. проф. образования / Евгений Федорович Макаров. — М.: ИРПО: Издательский центр «Академия», 2003. — 448 с.
2. Сибикин Ю.Д. Основы эксплуатации электрооборудования электростанций и подстанций: Учебное пособие для вузов. — М.: ИП РадиоСофт, ИЦ «ЭНАС», 2017. — 448 с. : ил.
3. Об утверждении правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации [Электронный ресурс]: приказ Министерства энергетики РФ от 19 июня 2003 г. №229. — Режим доступа: Система «Консультант плюс».

## Список литературы

4. Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей [Электронный ресурс]: приказ Министерства энергетики РФ от 13 января 2003 г. №6. – Режим доступа: Система «Консультант плюс».
5. ГОСТ 14209-1985. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки. – Взамен ГОСТ 14209-69. - Введ. 01.07.1985. – М: Стандартинформ, 2009. – 60 с. (Межгосударственный стандарт).
6. Беркович М.А. и др. Автоматика энергосистем: Учеб. для техникумов/ М.А. Беркович, В.А. Гладышев, В.А. Семенов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 240 с.: ил.

**БЛАГОДАРЮ ЗА  
ВНИМАНИЕ!**

...