

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Лекции: 32 ч
Практики: 24 ч
Лабораторные: 16 ч
Самост.: 108 ч

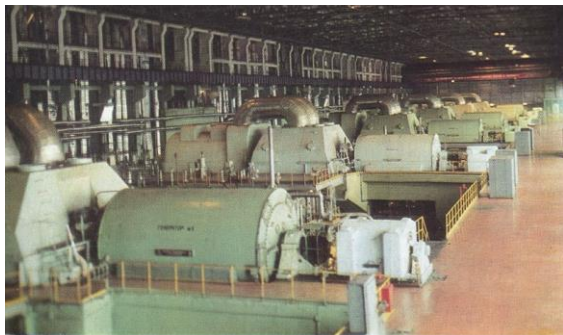
Экзамен

Васильев Алексей Сергеевич

к.т.н. доцент ОЭЭ ИШЭ

Общие понятия

Первичные цепи – элементы энергосистем, которые вырабатывают, передают и преобразовывают электрическую энергию: генераторы, трансформаторы, реакторы, выключатели, ЛЭП...



Первичные цепи



Измерительный преобразователь



Вторичные цепи

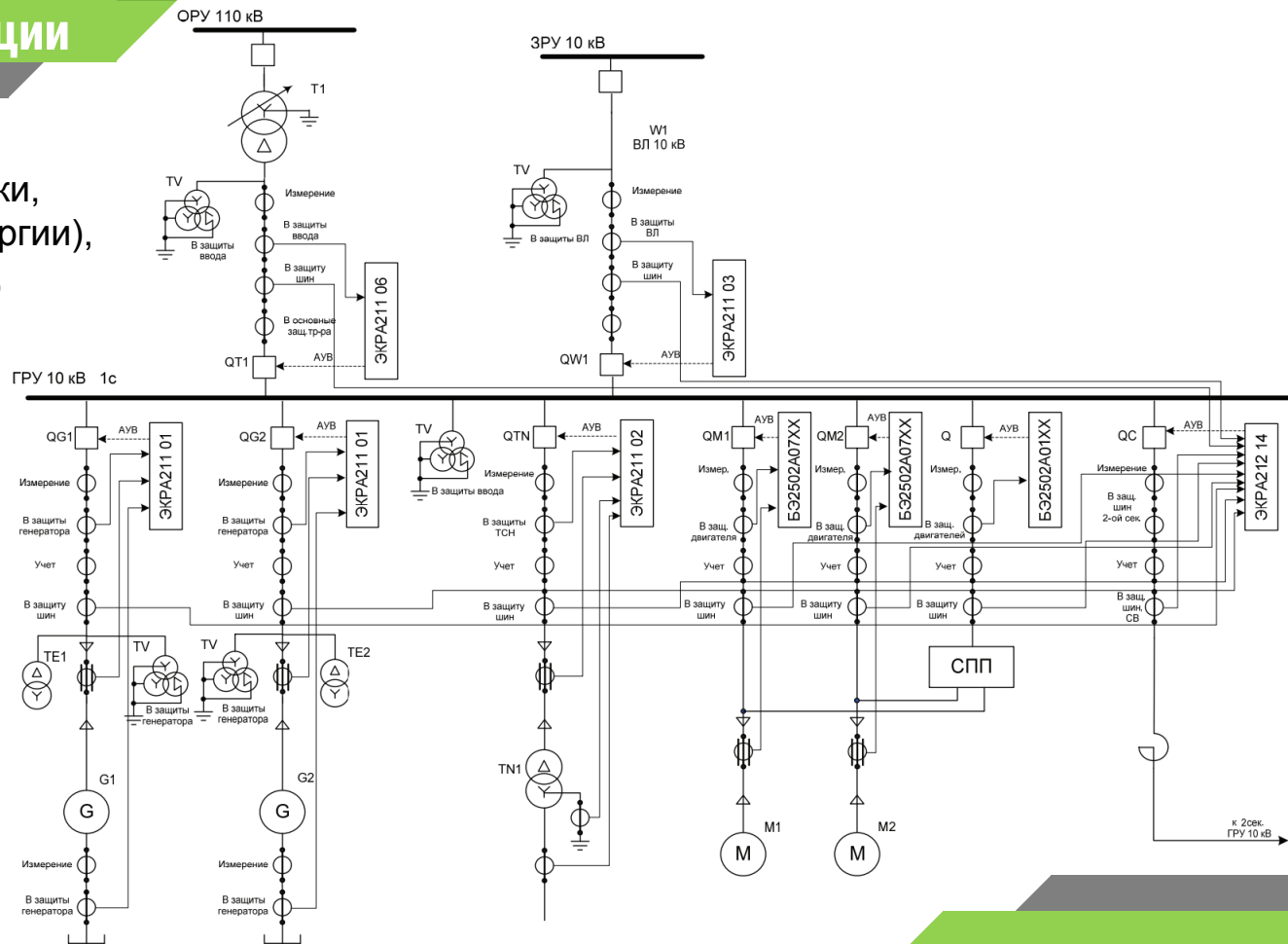
Выключатель

Вторичные цепи – аппараты и приборы, которые служат для дистанционного управления, контроля и автоматизации первичного оборудования:

- устройства РЗ и автоматики,
- счетчики (учёт электроэнергии),
- регистрирующие приборы,
- сигнализация...

Пример электростанции

- устройства РЗ и автоматики,
- счетчики (учёт электроэнергии),
- регистрирующие приборы,
- сигнализация



Лекция 3

Измерительные преобразователи

Трансформаторы тока

Измерительные трансформаторы тока

Измерительные трансформаторы тока применяют, когда непосредственное включение приборов на полный ток электрической цепи становится невозможным.

С помощью ИТТ производится понижение измеряемого тока до значений, соответствующих шкале прибора (1 А, 5 А, иногда 10 А).

Применение ИТТ позволяет выполнить гальваническую развязку (отделение или изоляцию) с первичной цепью, поэтому даже при небольших токах ИТТ должны применяться в сетях высокого напряжения.

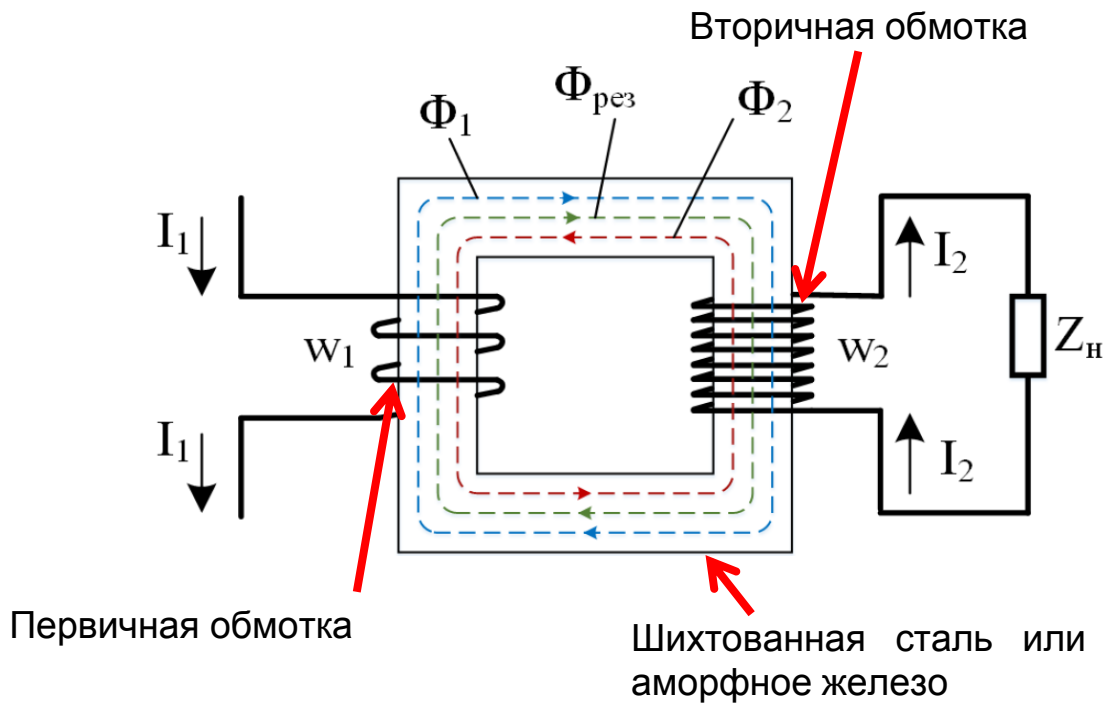
На схеме подписывается ТА_____



Измерительные трансформаторы тока

Коэффициент трансформации —
отношение первичных и вторичных
номинальных токов

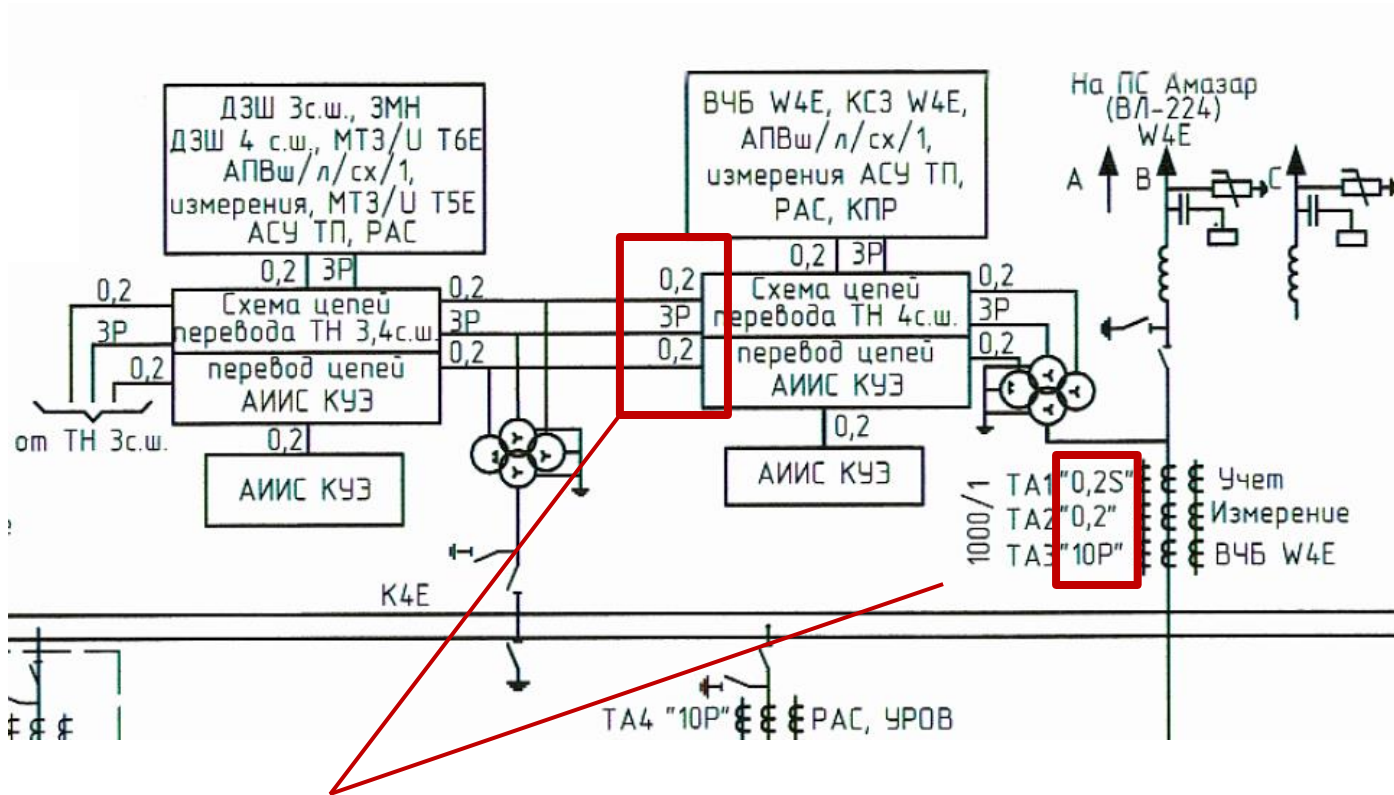
$$\eta_T = \frac{I_{1H}}{I_{2H}}$$



(IEC 61869-1:2007, NEQ)
(IEC 61869-2:2012, NEQ)

Наименование параметра	Значение
1 Номинальное напряжение трансформатора $U_{\text{ном}}$, кВ	0,66; 3; 6; 10; 15; 20; 24; 27; 35; 110; 150; 220; 330; 500; 750
2 Наибольшее рабочее напряжение $U_{\text{н.р}}$, кВ	Для номинального напряжения 0,66 кВ — 0,72; для 3 кВ и выше — по ГОСТ 1516.3
3 Номинальный первичный ток трансформатора $I_{1\text{ном}}$, А ¹⁾	1; 5; 10; 15; 20; 30; 40; 50; 75; 80; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 750; 800; 1000; 1200; 1500; 1600; 2000; 3000; 4000; 5000; 6000; 8000; 10000; 12000; 14000; 16000; 18000; 20000; 25000; 28000; 30000; 32000; 35000; 40000
4 Номинальный вторичный ток $I_{2\text{ном}}$, А	1; 2; 5
5 Наибольший рабочий первичный ток $I_{1\text{кр}}$, А	См. таблицу 11
6 Номинальная вторичная нагрузка $S_{2\text{ном}}$ с коэффициентом мощности $\cos\varphi_2 = 1$, В·А ²⁾	0,5; 1; 2; 2,5; 5
7 Номинальная вторичная нагрузка $S_{2\text{ном}}$ с индуктивно-активным коэффициентом мощности $\cos\varphi_2 = 0,8$, В·А ³⁾	3; 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 75; 100
8 Класс точности трансформатора или вторичной обмотки:	Указывается отдельно для каждой вторичной обмотки
для измерений, для учета, для измерений и защиты	0,1; 0,2; 0,2S ³⁾ ; 0,5; 0,5S ³⁾ ; 1; 3; 5; 10
для защиты	5P; 10P
9 Номинальная предельная кратность вторичных обмоток для защиты $K_{\text{ном}}$	От 5 до 30 ⁴⁾
10 Номинальный коэффициент безопасности приборов $K_{\text{Бном}}$, вторичных обмоток для измерений	Устанавливают в документации на трансформаторы конкретных типов. Не устанавливают для вторичных обмоток для измерений и защиты

Измерительные трансформаторы тока



На что влияют погрешности?

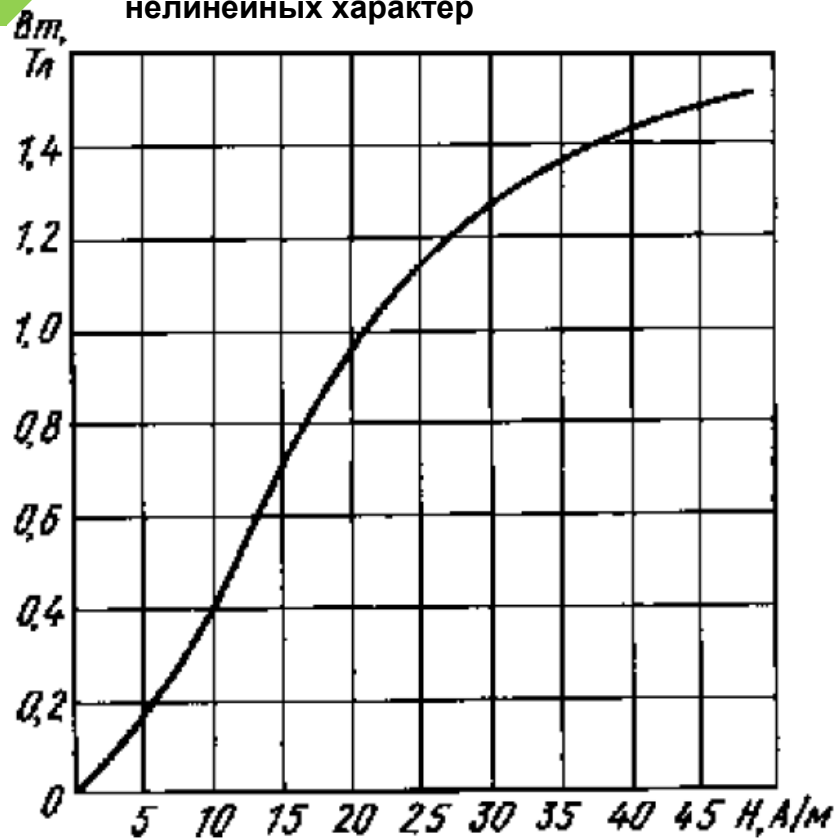
Пределы допускаемых погрешностей вторичных обмоток измерений

Измерительные трансформаторы тока

Класс точности	Первичный ток, % номинального значения	Предел допускаемой погрешности		
		токовой, %	угловой	
			'	срад
0,1	5	± 0,4	± 15	± 0,45
	20	± 0,2	± 8	± 0,24
	100-120	± 0,1	± 5	± 0,15
0,2	5	± 0,75	± 30	± 0,9
	20	± 0,35	± 15	± 0,45
	100-120	± 0,2	± 10	± 0,3
0,2S	1	± 0,75	± 30	± 0,9
	5	± 0,35	± 15	± 0,45
	20	± 0,2	± 10	± 0,3
	100	± 0,2	± 10	± 0,3
	120	± 0,2	± 10	± 0,3
0,5	5	± 1,5	± 90	± 2,7
	20	± 0,75	± 45	± 1,35
	100-120	± 0,5	± 30	± 0,9

$$\Delta I = \frac{I_1}{n_I} - I_2$$

Кривая намагничивания имеет существенно нелинейный характер



Диапазон вторичной нагрузки, – 25–100 % от номинальной

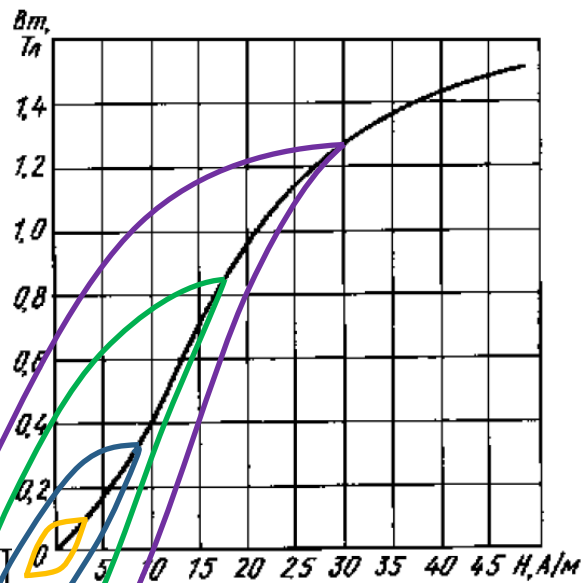
Измерительные трансформаторы тока

Класс точности	Первичный ток, % номинального значения	Предел допускаемой погрешности			Диапазон вторичной нагрузки, % номинального значения
		токовой, %	угловой		
				срад	
0,5S	1	$\pm 1,5$	± 90	$\pm 2,7$	25–100
	5	$\pm 0,75$	± 45	$\pm 1,35$	
	20	$\pm 0,5$	± 30	$\pm 0,9$	
	100	$\pm 0,5$	± 30	$\pm 0,9$	
	120	$\pm 0,5$	± 30	$\pm 0,9$	
1	5	$\pm 3,0$	± 180	$\pm 5,4$	
	20	$\pm 1,5$	± 90	$\pm 2,7$	
	100–120	$\pm 1,0$	± 60	$\pm 1,8$	
3	50–120	$\pm 3,0$	Не нормируют		50–100
5		$\pm 5,0$			
10		± 10			

Измерительные трансформаторы тока

Перемагничивание по разным петлям гистерезиса

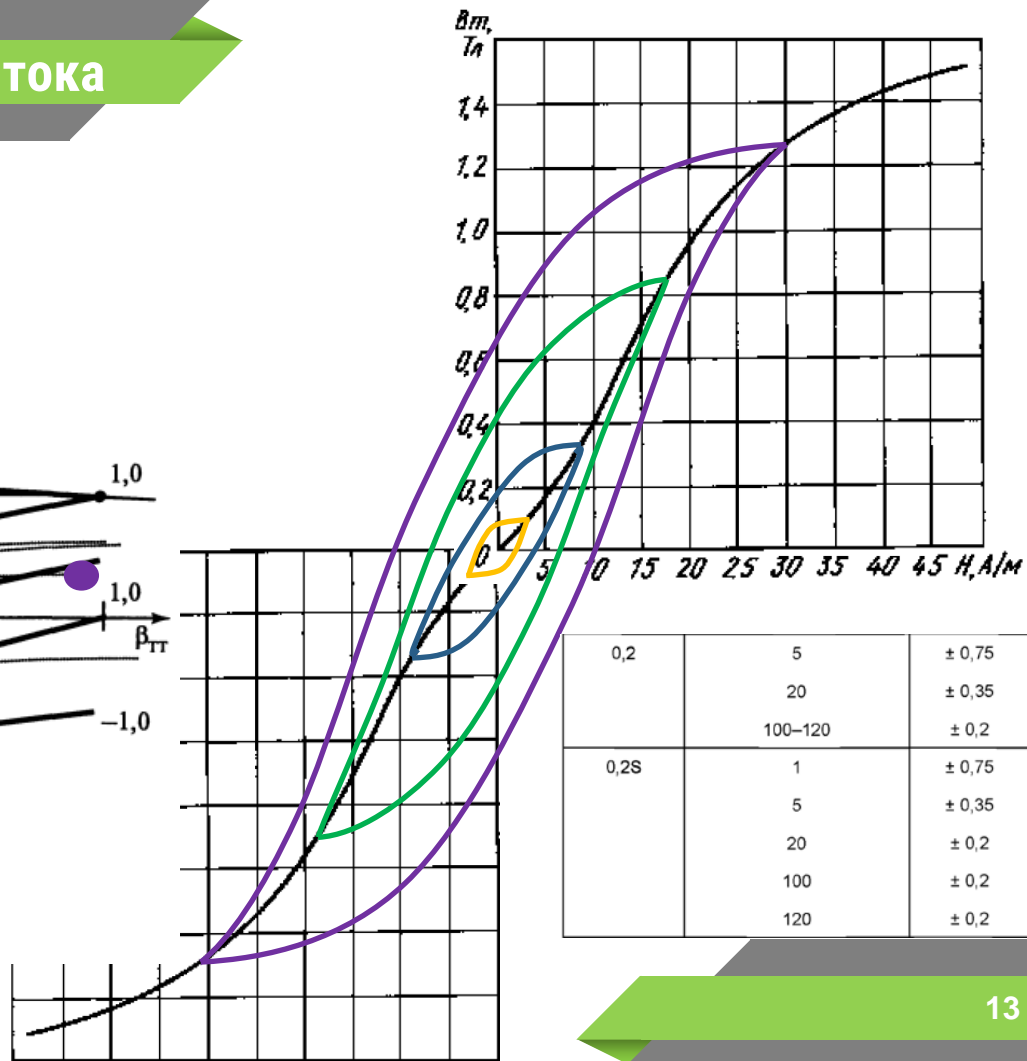
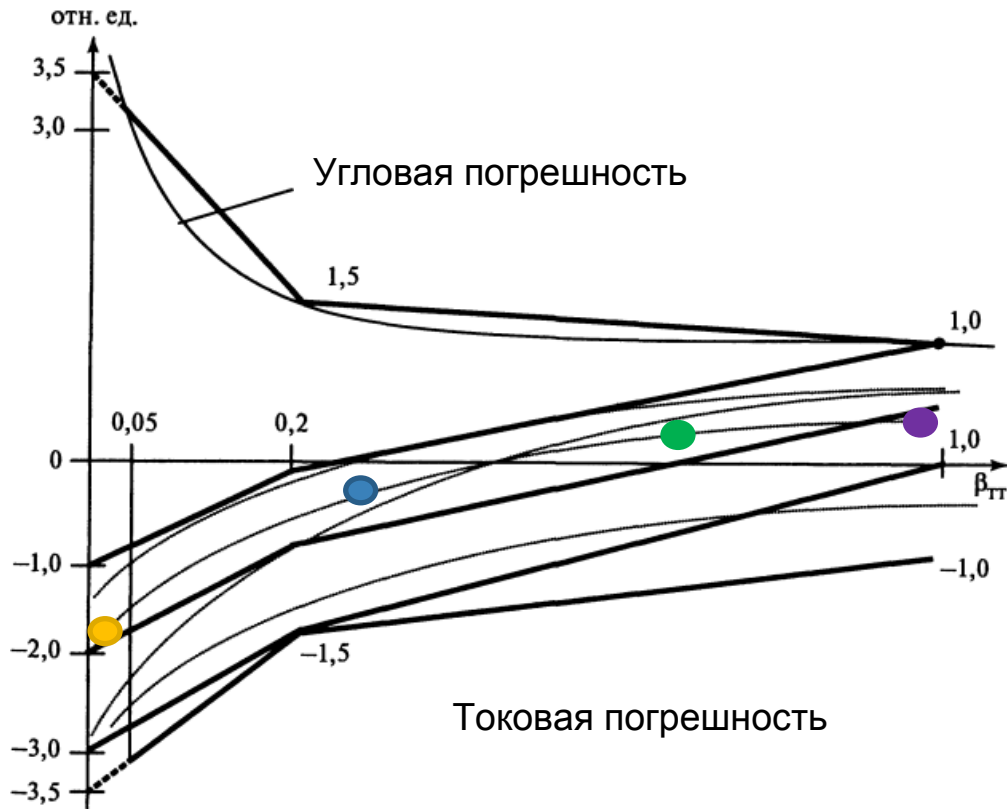
$$\Delta I = \frac{I_1}{n_1} - I_2$$



Класс точности	Погрешность	
	токовая	угловая
0,1; 0,2; 0,5; 1		
0,2S; 0,5S		
3; 5; 10		Не нормируется

0,2	5	± 0,75
	20	± 0,35
	100-120	± 0,2
0,2S	1	± 0,75
	5	± 0,35
	20	± 0,2
	100	± 0,2
	120	± 0,2

Измерительные трансформаторы тока



Статистика характеристик погрешностей

Систематические погрешности

Токовая нагрузка ТТ, %	Погрешности ТПЛ-10				Погрешности ТВЛМ-10			
	токовая, %		угловая, мин		токовая, %		угловая, мин	
	среднее значение	разброс	среднее значение	разброс	среднее значение	разброс	среднее значение	разброс
5	-1,97	±1,24	62	±33	-1,13	±0,35	44	±19
20	-1,25	±1,07	34	±24	-0,55	±0,25	24	±12
100	-0,64	±0,97	15	±22	-0,09	±0,13	9	±3

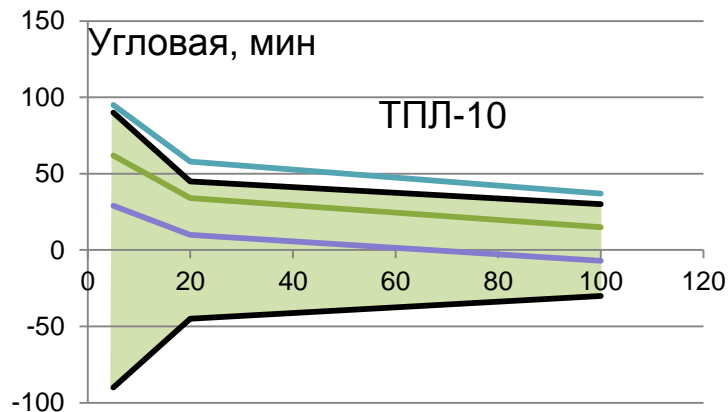
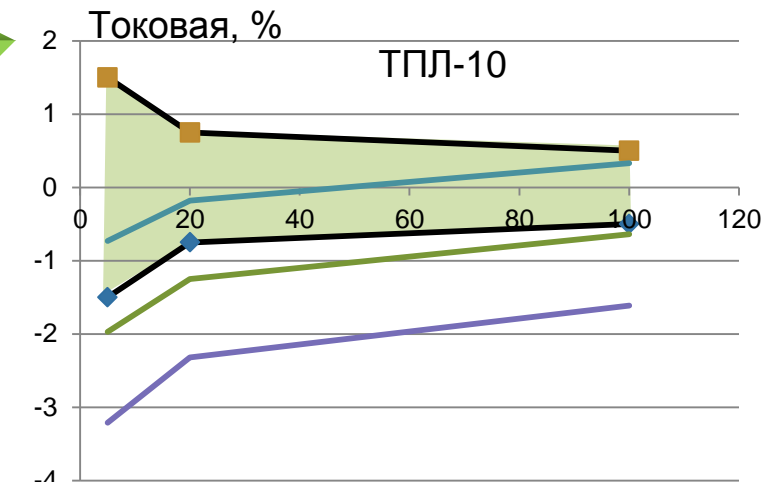
С течением времени характеристики погрешностей ТПЛ-10 могут значительно изменяться и следует ожидать, что фактическая предельная погрешность будет выходить из класса точности.

Т – трансформатор тока

П – проходной

Л – с литой изоляцией

10 – номинальное напряжение 10 кВ



Статистика характеристик погрешностей

Систематические погрешности

Токовая нагрузка ТТ, %	Погрешности ТПЛ-10				Погрешности ТВЛМ-10			
	токовая, %		угловая, мин		токовая, %		угловая, мин	
	среднее значение	разброс	среднее значение	разброс	среднее значение	разброс	среднее значение	разброс
5	-1,97	±1,24	62	±33	-1,13	±0,35	44	±19
20	-1,25	±1,07	34	±24	-0,55	±0,25	24	±12
100	-0,64	±0,97	15	±22	-0,09	±0,13	9	±3

С течением времени характеристики погрешностей ТВЛМ-10 изменяются менее значительно, чем ТПЛ-10.

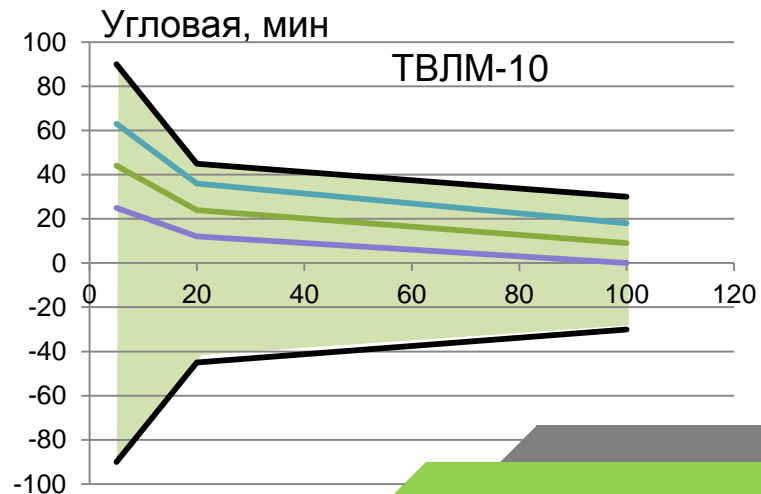
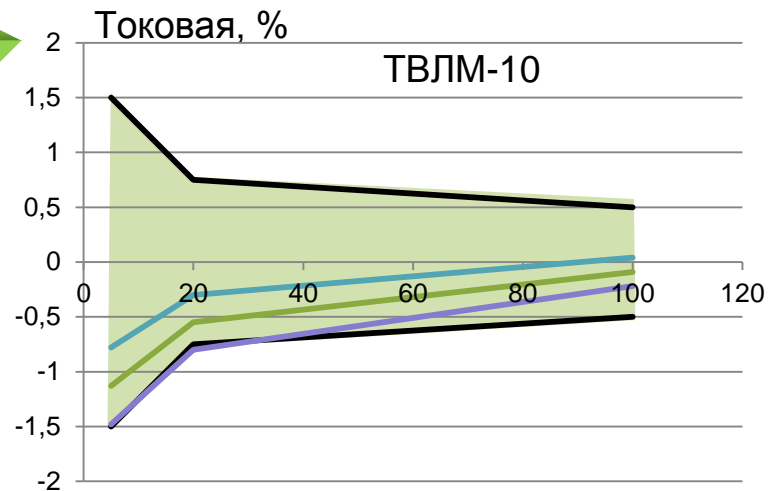
Т – трансформатор тока

В – встроенный

Л – с литой изоляцией

М – модернизированный

10 – номинальное напряжение 10 кВ



Измерительные трансформаторы тока

Класс точности	Предел допускаемой погрешности			
	при номинальном первичном токе		при токе номинальной предельной кратности	
	токовой, %	угловой		полной, %
5P	± 1	± 60	$\pm 1,8$ срад	5
10P	± 3	Не нормируют		10

Существенное влияние на погрешность трансформатора тока оказывает сопротивление нагрузки вторичной обмотки. Это связано со следующими факторами:

- при малых нагрузках сопротивление нагрузки практически не снижает ток вторичной обмотки, ток вторичной обмотки размагничивает магнитную систему ИТТ и область работы остаётся в пределах относительно линейного участка характеристики
- при больших нагрузках ток в сопротивлении нагрузки вызывает существенное падение напряжения, и снижает ток вторичной цепи, вызывая намагничивание магнитной системы ИТТ со стороны первичной обмотки.

Измерительные трансформаторы тока

Z_1 обычно пренебрежимо мало

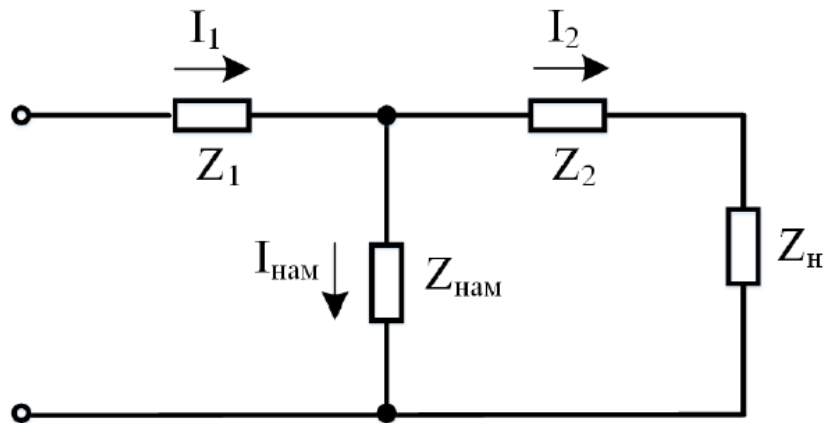
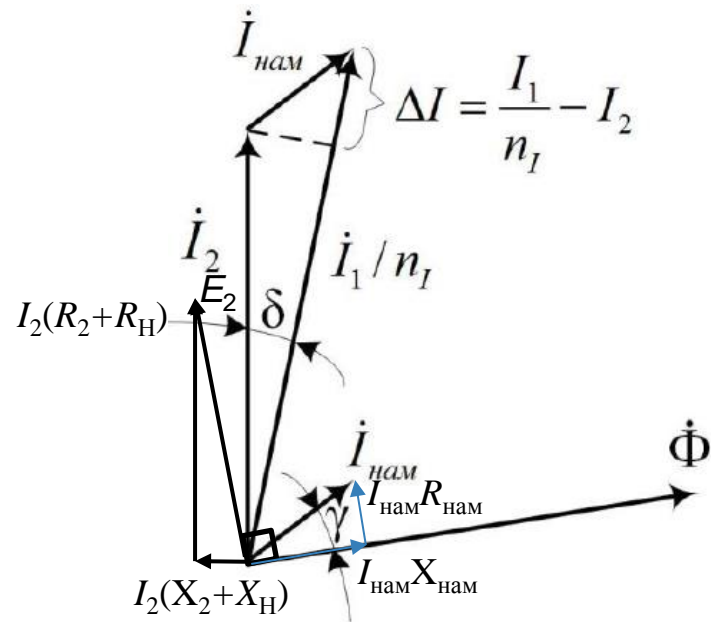


Схема замещения ИТТ с нагрузкой



Векторная диаграмма ИТТ

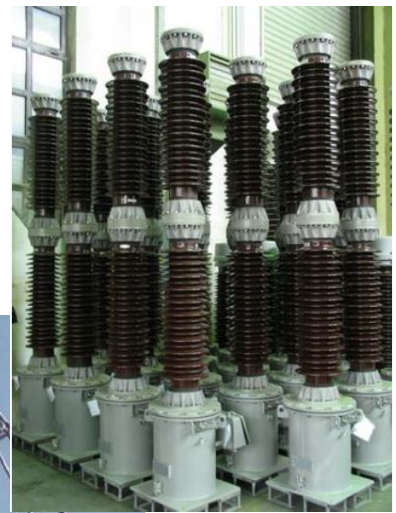
Лекция 3

Измерительные преобразователи

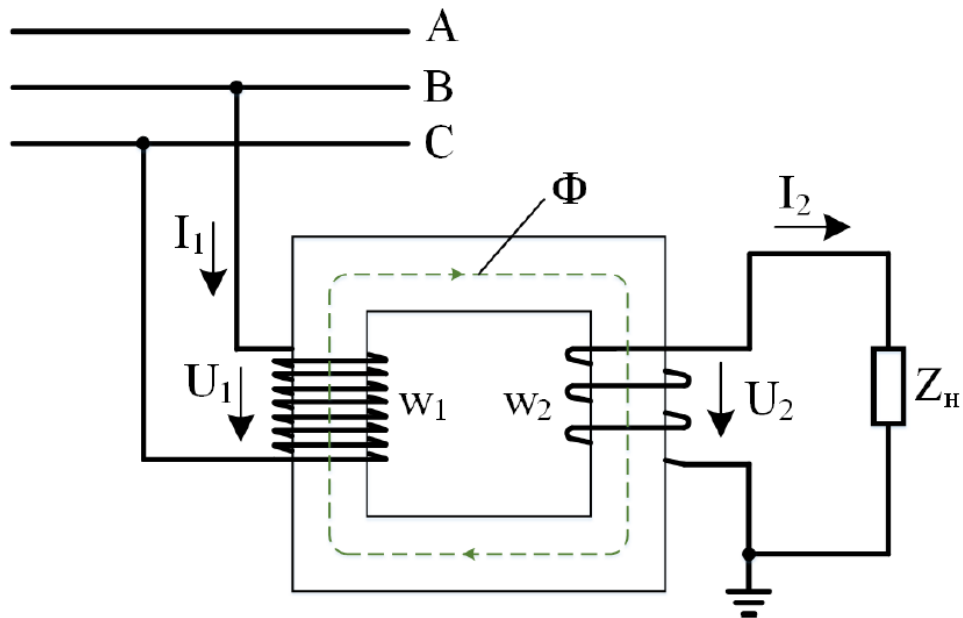
Трансформаторы напряжения

Измерительные трансформаторы напряжения

Измерительные трансформаторы напряжения (ИТН) служат для преобразования высокого напряжения в низкое стандартных значений (100 В , $100\sqrt{3}\text{ В}$, $100/3\text{ В}$), используемое для измерительных приборов и различных реле управления, защиты и автоматики. Они также как ИТТ выполняют гальваническую развязку с первичной цепью для обеспечения безопасности их обслуживания.



Измерительные трансформаторы напряжения



Измерительные трансформаторы напряжения

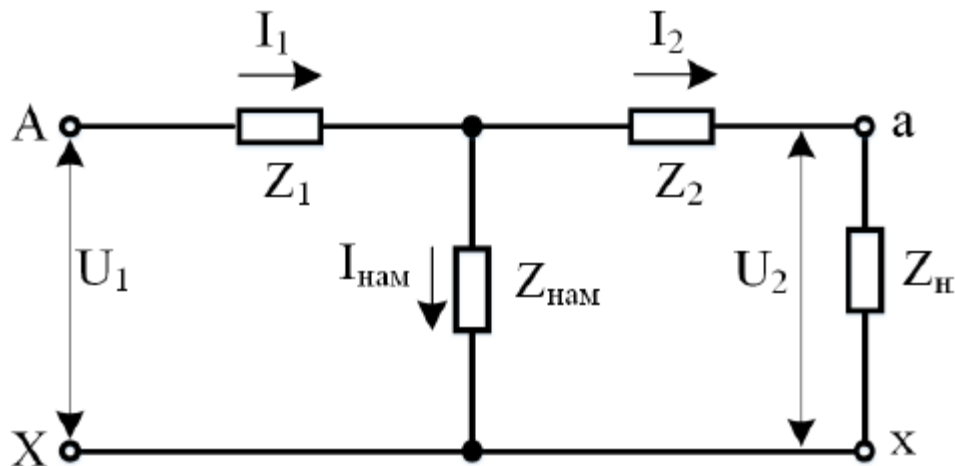
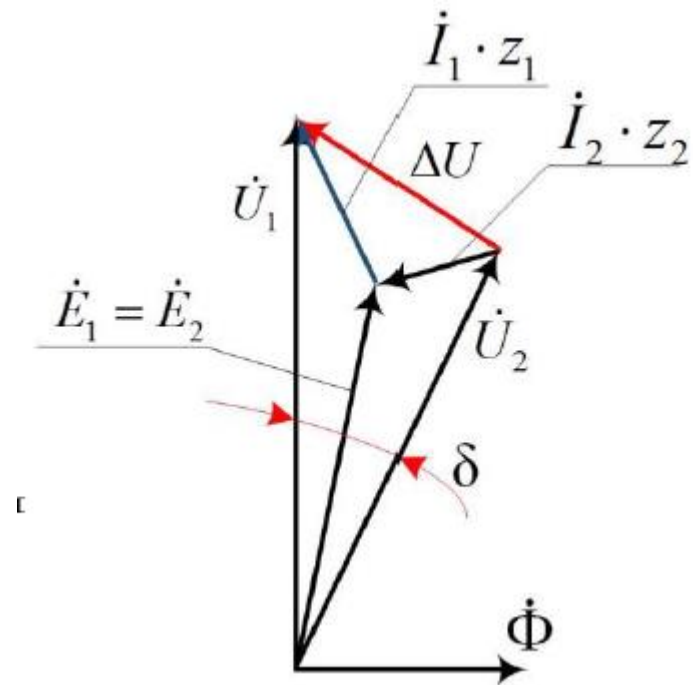


Схема замещения ИТН с нагрузкой



Векторная диаграмма ИТН

Измерительные трансформаторы напряжения

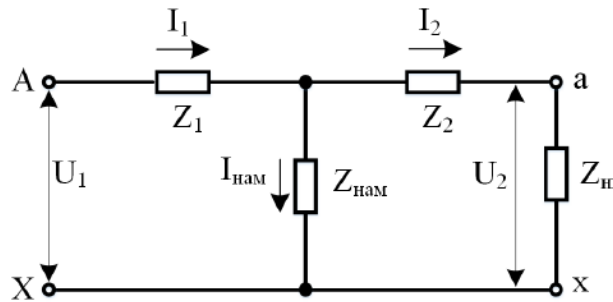
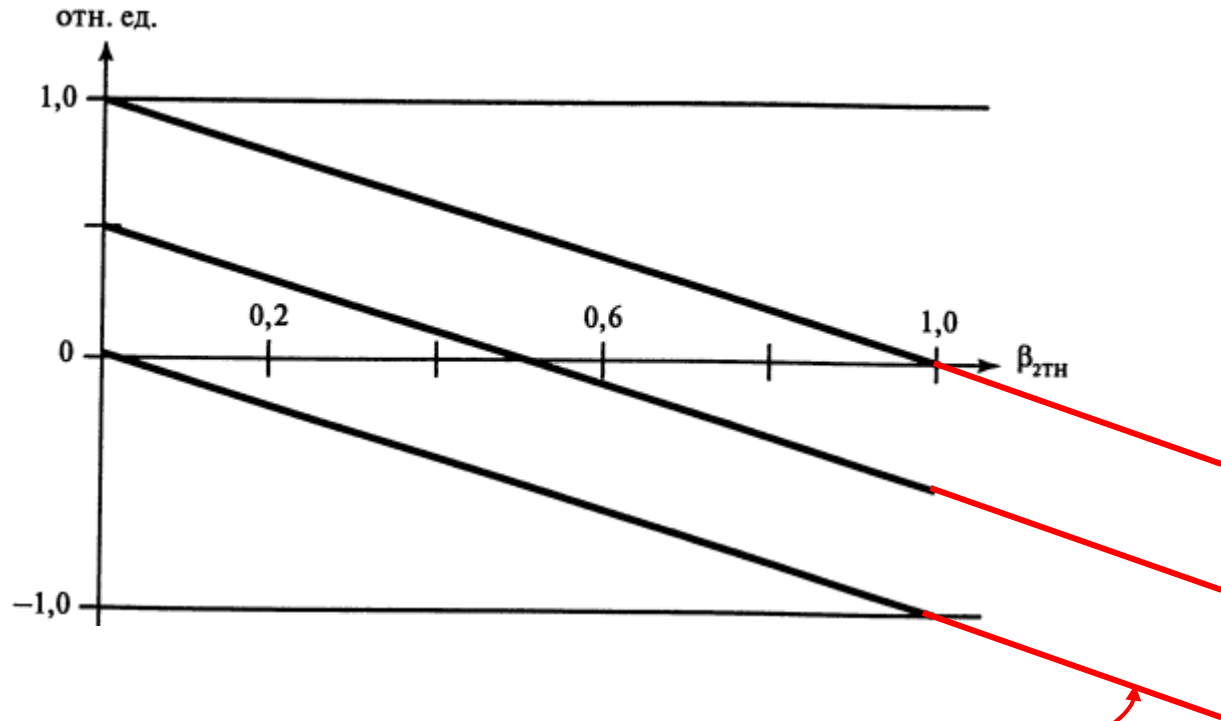


Схема замещения ИТН с нагрузкой



Как правило вторичные обмотки ИТН перегружены и их показания занижены.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Васильев Алексей Сергеевич
vasilevas@tpu.ru

ТПУ – Томск 2021 г.



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ