

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
(НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по УР

Н. И. Никифорова

«03» мая 2023г.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

по дисциплине (модулю)

**Б1.В.ДВ.02.02 «Автоматизированные системы контроля и  
учета электроэнергии»**

(наименование дисциплины (модуля))

**13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»**

(код и наименование направления подготовки/ специальности)

**«Электроснабжение»**

(наименование профиля/программы/направленности/специализации)

**Бакалавр**

квалификация

**заочная/очно-заочная**

форма обучения

Нижекамск, 2023 г.



Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (№ 144 от 28.02.2018 г.) по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» на основании учебного плана набора обучающихся 2023 г.

Разработчик программы:

Ст. преподаватель

(должность)



(подпись)

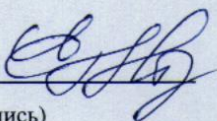
Ахметшин Р.И.

(Ф.И.О)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ЭТЭОП,  
протокол от 18.04.23 г. № 8

Зав. кафедрой

(должность)



(подпись)

Гаврилов Е.Н.

(Ф.И.О.)

***Перечень компетенций и индикаторов достижения компетенций с указанием этапов формирования в процессе освоения дисциплины***

Компетенция:

ПК-1 - Способен разрабатывать отдельные разделы проекта на различных стадиях проектирования системы электроснабжения и оформлять техническую документацию.

ПК-1.1 - Знает основные нормы, правила и положения, используемые при проектировании системы электроснабжения; классификацию, конструкции, технические характеристики оборудования системы электроснабжения.

ПК-1.2 - Умеет проводить технико-экономическую оценку разработанной системы электроснабжения; использовать теоретические знания на практике при проектировании системы электроснабжения.

ПК-1.3 - Владеет базовыми знаниями в области систем электроснабжения; навыками использования основных методов расчета для проектирования систем электроснабжения.

ПК-2 - Способен разрабатывать отдельные разделы проекта на различных стадиях проектирования автоматизированной системы управления технологическими процессами и оформлять техническую документацию.

ПК-2.1 - Знает основные нормы, правила и положения, используемые при проектировании автоматизированной системы управления технологическими процессами; классификацию, конструкции, технические характеристики оборудования автоматизированной системы управления технологическими процессами.

ПК-2.2 - Умеет проводить технико-экономическую оценку разработанной автоматизированной системы управления технологическими процессами; использовать теоретические знания на практике при проектировании автоматизированной системы управления технологическими процессами.

ПК-2.3 - Владеет базовыми знаниями в области автоматизированных систем управления технологическими процессами; навыками использования основных методов расчета для проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами.

Для очного, заочного и очно-заочного отделений

Индикаторы достижения компетенции	Этапы формирования в процессе освоения дисциплины				Наименование оценочного средства
	Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Курсовой проект (работа)	
ПК-1.1	Тема 1-2	Не предусмотрены	Тема 1-2	Не предусмотрены	Лабораторная работа 1-5, контрольная работа
ПК-1.2	Тема 1-2	Не предусмотрены	Тема 1-2	Не предусмотрены	Лабораторная работа 1-5, контрольная работа
ПК-1.3	Тема 1-2	Не предусмотрены	Тема 1-2	Не предусмотрены	Лабораторная работа 1-4, контрольная работа

***Перечень оценочных средств по дисциплине (модулю)***

Для очно-заочного и заочного отделений

<b>Оценочные средства</b>	<b>Кол-во</b>	<b>Min, балло в</b>	<b>Max, баллов</b>
Лабораторная работа № 1	1	9	14
Лабораторная работа № 2	1	9	14
Лабораторная работа № 3	1	9	14
Лабораторная работа № 4	1	9	14
Лабораторная работа № 5	1	9	14
Индивидуальная контрольная работа	1	15	30
<b>текущий рейтинг <math>R_{\text{тек}}</math></b>	1	60	100

### *Шкала оценивания*

Цифровое выражение	Выражение в баллах:	Словесное выражение	Критерии оценки индикаторов достижения при форме контроля:	
			экзамен / зачет с оценкой	зачет
5	87 - 100	Отлично (зачтено)	Оценка «отлично» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов; исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний; использует в ответе дополнительный материал все предусмотренные программой задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному; анализирует полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий	Оценка «зачтено» выставляется студенту, если ответы на вопросы по темам дисциплины последовательны, логически изложены, допускаются незначительные недочеты в ответе студента, такие как отсутствие самостоятельного вывода, речевые ошибки и пр
4	74 - 86	Хорошо (зачтено)	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено полностью, необходимые практические компетенции в основном сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения достаточно высокое. Студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.	
3	60 - 73	Удовлетворительно (зачтено)	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, большинство предусмотренных программой заданий выполнено, но в них имеются ошибки, при ответе на поставленный вопрос студент допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, наблюдаются нарушения логической последовательности в изложении программного материала.	
2	Ниже 60	Неудовлетворительно (не зачтено)	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы, необходимые практические компетенции не сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнено, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимальному	Оценка «не зачтено» выставляется студенту, если студент не знает основных понятий темы дисциплины, не отвечает на дополнительные и наводящие вопросы преподавателя.

### Краткая характеристика оценочных средства

№ п/п	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
1	2	3	4
1	Лабораторная работа	Средство проверки умений применять полученные знания по заранее определенной методике для решения задач или заданий по модулю или дисциплине в целом.	Комплект заданий для выполнения заданий
2	Контрольная работа	Средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по теме или разделу.	Комплект контрольных заданий по вариантам



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический (институт) федерального  
государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

*Факультет информационных технологий  
Кафедра электротехники и энергообеспечения предприятий*

Направление подготовки **13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»**  
Профиль «**Электроснабжение**»

**Перечень лабораторных работ по дисциплине**  
**«Автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии»**

**Лабораторная работа № 1 Трансформаторы напряжения.**

*Цель работы:*

- изучить конструкцию, принцип действия, назначение и классификацию измерительных трансформаторов напряжения;
- ознакомиться с принципом работы трансформаторов напряжения;
- рассчитать погрешность по напряжению, угловую погрешность и построить их зависимости от нагрузки трансформатора напряжения.

*Теоретические сведения*

Измерительным трансформатором напряжения называют трансформатор, предназначенный для преобразования напряжения до значения, удобного для измерения, и выполненный так, что вторичное напряжение трансформатора, увеличенное в  $K_{ном}$  раз, соответствует с требуемой точностью первичному напряжению (при изменении последнего в определенных пределах) как по модулю, так и по фазе. Множитель  $K_{ном}$  представляет собой номинальный коэффициент трансформации трансформатора напряжения.

Измерительные трансформаторы напряжения изготавливают двух типов: однофазные и трехфазные.

По своему назначению трансформаторы напряжения можно разделить на лабораторные, измерительные общего применения и защитные.

По способу применения трансформаторы напряжения могут быть стационарными и переносными. По роду установки стационарные трансформаторы могут быть для наружной и внутренней установок.

В зависимости от номинального значения первичного напряжения трансформаторы делят на одно - и многоступенчатые (каскадные), а также имеют различный тип изоляции.

Номинальное первичное напряжение устанавливается ГОСТ от 380 В до 500 кВ. При напряжениях до 3 кВ применяют сухую изоляцию, а

при напряжениях свыше 3 кВ - масляную изоляцию. При номинальных первичных напряжениях 35 кВ применяют одноступенчатые трансформаторы, при напряжениях 110 кВ и выше - двух- и более ступенчатые трансформаторы.

Применение трансформаторов напряжения обеспечивает безопасность для людей, соприкасающихся с измерительными приборами и реле, поскольку цепи высшего и низшего напряжения разделены; позволяет унифицировать конструкции измерительных приборов, обмоток реле для номинального напряжения 100 В, что упрощает производство и снижает стоимость.

Номинальный коэффициент трансформации равен отношению номинального первичного и номинального вторичного напряжений :

$$K_{\text{ном}} = U_{1\text{ном}} / U_{2\text{ном}}$$

В отличие от силовых трансформаторов номинальный коэффициент трансформации трансформатора напряжения несколько отличается от отношения чисел витков  $n = w_1 / w_2$ .

Номинальные первичные напряжения трансформаторов стандартизированы в соответствии со шкалой номинальных линейных напряжений сетей. Исключение составляют однофазные трансформаторы, предназначенные для включения в звезду с заземленной нейтралью первичной обмотки, для которых в качестве номинальных первичных напряжений приняты фазные напряжения сетей.

Номинальные вторичные напряжения основных вторичных обмоток трансформаторов установлены равными для однофазных трансформаторов 100 В, для трехфазных 100/3 В.

Напряжение  $U_1$ , измеряемое с помощью трансформатора напряжения, определяют умножением вторичного напряжения  $U_2$  на номинальный коэффициент трансформации :

$$U_1 = U_2 K_{\text{ном}}$$

Шкалы измерительных приборов, предназначенных для присоединения к трансформатору напряжения с номинальным коэффициентом трансформации  $K_{\text{ном}}$ , надписывают в значениях первичного напряжения, т.е.  $U_2 K_{\text{ном}}$ .

Устройство трансформатора напряжения аналогично устройству силового трансформатора. Трансформатор напряжения состоит из замкнутого магнитопровода, набранного из листовой трансформаторной стали, и двух изолированных обмоток - первичной и вторичной с числами витков  $w_1$  и  $w_2$ . Первичная обмотка трансформатора присоединяется к сети с измеряемым напряжением; к зажимам вторичной обмотки подключаются соединенные параллельно вольтметры и параллельные цепи других приборов.

Для работы трансформатора напряжения характерно незначительное изменение первичного напряжения и большое сопротивление вторичной внешней цепи; таким образом, он работает в условиях, близких к холостому



ходу.

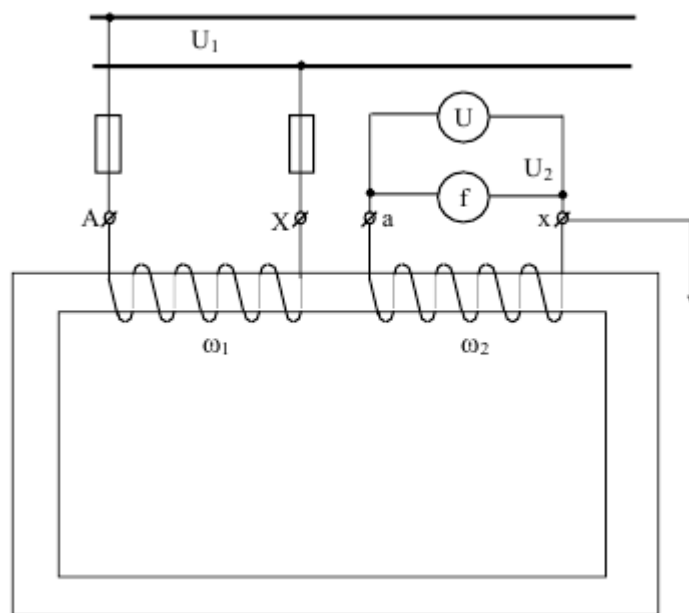


Рис. 1. Схема включения трансформатора напряжения

#### *Исследование погрешностей трансформатора напряжения*

Вторичное напряжение трансформатора, увеличенное в  $K_{\text{ном}}$  раз, несколько отличается от первичного напряжения как по модулю, так и по фазе вследствие потерь мощности в трансформаторе. Разность этих напряжений, отнесенная к первичному напряжению, представляет собой погрешность в напряжении:

$$F = (U_2 K_{\text{ном}} - U_1) / U_1$$

Погрешность в напряжении положительна, если  $U_2 K_{\text{ном}} > U_1$ . Погрешность трансформатора может быть выражена в процентах. Для этого в выражение следует ввести множитель 100.

Угол между векторами первичного и вторичного напряжений представляет собой угловую погрешность трансформатора. Последнюю считают положительной, если вектор вторичного напряжения опережает вектор первичного напряжения. Угловую погрешность принято выражать в минутах.

Вторичная нагрузка трансформатора напряжения - условное понятие, а именно: кажущаяся мощность внешней вторичной цепи, ВА, найденная в предположении, что напряжение у вторичных зажимов равно номинальному:

$$S_2 = (U_{2\text{ном}})^2 / Z,$$

где  $Z$  - полное (кажущееся) сопротивление внешней цепи, присоединенной к вторичным зажимам, Ом.

Вместе со значением  $S_2$  должен быть указан коэффициент мощности внешней цепи.

Эти две величины  $S_2$  и  $\cos\varphi_2$  полностью определяют сопротивление внешней цепи и, следовательно, вторичную нагрузку трансформатора.

По мере увеличения числа приборов, присоединенных к трансформатору напряжения, сопротивление вторичной цепи уменьшается (поскольку приборы включены параллельно), однако нагрузка трансформатора увеличивается.

Под номинальной нагрузкой трансформатора напряжения понимают наибольшую нагрузку, при которой погрешности не выходят за допускаемые пределы, установленные для трансформаторов рассматриваемого класса.

В соответствии со значением допускаемой погрешности при определенных условиях работы трансформаторы напряжения разделены на классы точности. (см. ГОСТ 1983-77).

Пределы погрешностей трансформаторов напряжения (ГОСТ 1983-89)

Наименование класса точности	Наибольшая погрешность в напряжении, %	Наибольшая угловая погрешность, мин.
0,2	$\pm 0,2$	10
0,5	$\pm 0,5$	20
1	$\pm 1,0$	40
3	$\pm 3,0$	Не нормируется

Наименование класса соответствует наибольшей допускаемой погрешности в напряжении, выраженной в процентах. Пределы погрешности в напряжении и угле отнесены к частоте 50 Гц, первичному напряжению в пределах 0,8 до 1,2 номинального, нагрузке в пределах от 0,25 до 1,0 номинальной и коэффициенту мощности 0,8.

Трансформаторы напряжения класса точности 0,2 применяют в качестве образцовых, а также для точных измерений в лабораториях. Трансформаторы, предназначенные для присоединения счетчиков, должны отвечать классу 0,5. Для присоединения щитовых измерительных приборов используют трансформаторы классов 1,0 и 3,0. Требования, предъявляемые к трансформаторам напряжения для релейной защиты, зависят от вида защиты. Здесь используют трансформаторы классов 0,5; 1,0 и 3,0.

### *ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПЯЖЕНИЯ*

Погрешности трансформатора напряжения зависят от размеров магнитопровода, магнитных свойств стали, конструкции обмотки, сечения проводов, а также от присоединенной нагрузки и первичного напряжения.

Погрешность по напряжению определяется:

$$\Delta U\% = \Delta U_n\% + \Delta U_x\%, \quad (1)$$

где  $U_n\%$  - погрешность по напряжению, обусловленная током нагрузки;  $U_x\%$  - погрешность по напряжению, обусловленная током холостого хода.

Составляющие погрешности могут быть определены аналитически из схемы замещения либо из векторной диаграммы трансформатора напряжения.

Векторная диаграмма трансформатора напряжения имеет следующий вид, рис. 2:

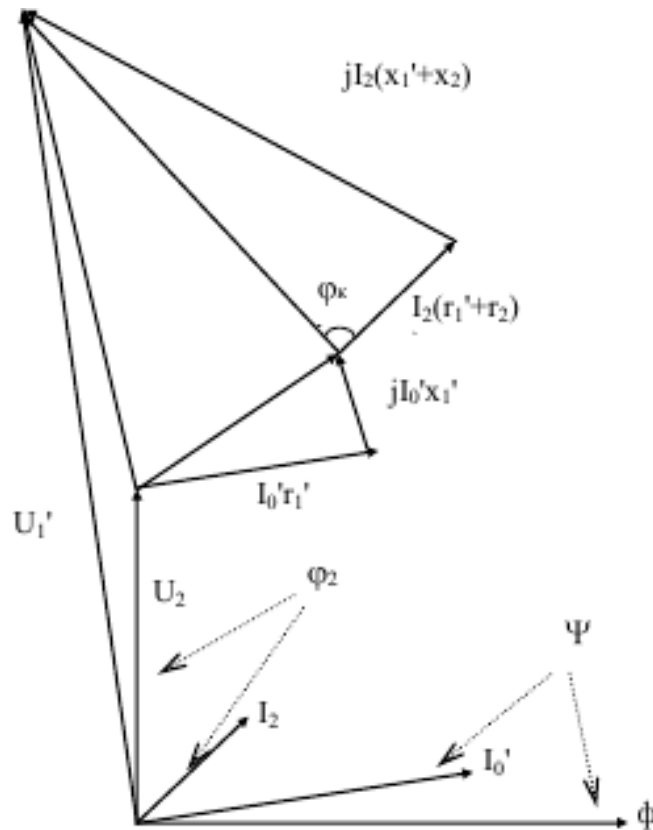


Рис. 2. Векторная диаграмма трансформатора напряжения

Используя векторную диаграмму, составляющие погрешности трансформатора можно с достаточной точностью выразить следующим образом:

$$\Delta U_x \% = -100/U_2 * (I_a' * r_1' + I_r' * x_1'); \quad (2)$$

$$\Delta U_n \% = -100 * I_2 / U_2 * [(r_1' + r_2) * \cos \varphi_2 + x_k * \sin \varphi_2], \quad (3)$$

где  $U_2$  - напряжение вторичной обмотки трансформатора, В;  $I_a'$  - активная составляющая тока холостого хода, приведенная ко вторичной обмотке трансформатора, А;  $r_1'$  - сопротивление первичной обмотки трансформатора, приведенное ко вторичной обмотке, Ом;  $I_r'$  - реактивная составляющая тока холостого хода, приведенная ко вторичной обмотке трансформатора, А;  $x_1'$  - реактивное сопротивление первичной обмотки трансформатора, приведенное ко вторичной обмотке, Ом;  $I_2$  - ток нагрузки трансформатора, А;  $r_2$  - сопротивление вторичной обмотки трансформатора, Ом;  $\cos \varphi_2$  - коэффициент мощности нагрузки, о.е;  $x_k$  - индуктивное сопротивление трансформатора, Ом.



Угловая погрешность трансформатора напряжения определяется:

$$\sigma' = \sigma_x' + \sigma_H', \quad (4)$$

где  $\sigma_x'$  - угловая погрешность, обусловленная током холостого хода;  
 $\sigma_H'$  - угловая погрешность, обусловленная током нагрузки.

Составляющие угловой погрешности определяются:

$$\sigma_x' = 3440/U_2 * (I_r' - I_a'); \quad (5)$$

$$\sigma_H' = 3440 * I_2 / U_2 * [(r_1' + r_2) * \sin \varphi_2 - x_k * \cos \varphi_2]. \quad (6)$$

Для определения сопротивлений первичной и вторичной обмоток воспользуемся схемой замещения двухобмоточного трансформатора, которая имеет следующий вид, рис. 3:

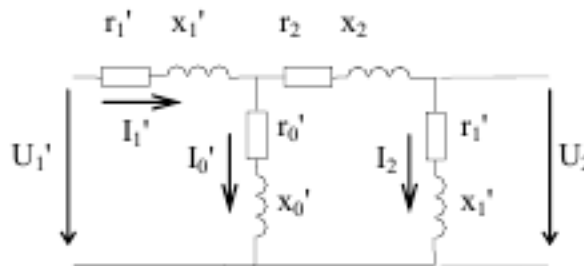


Рис. 3. Схема замещения трансформатора напряжения.

Полное сопротивление двухобмоточного трансформатора определяется:

$$Z_k = U_k \% \cdot U_2^2 / 100 S_{ном} \text{ Ом}, \quad (7)$$

где  $U_k \%$  - напряжение короткого замыкания, %.

Активное сопротивление двухобмоточного трансформатора, Ом :

$$r_k = r_1' + r_2. \quad (8)$$

Индуктивное сопротивление двухобмоточного трансформатора, Ом:

$$x_k = x_1' + x_2. \quad (9)$$

Приведенные сопротивления первичной обмотки трансформатора определяются, Ом:

$$r_1' = r_1 / k_2, \quad (10)$$

$$x_1' = x_1 / k_2. \quad (11)$$

где  $k=U_1/U_2$ -коэффициент трансформации трансформатора.

Составляющие тока холостого хода определяются:

$$I_a' = I_x' \cdot \cos \psi, \quad (12)$$

$$I_r' = I_x' \cdot \sin \psi, \quad (13)$$

где  $\psi$  -угол потерь, определяемый по таблице 1, рис.4

Таблица 1

**Зависимость угла потерь от индукции  $B_{\max}$  для магнитопроводов из сталей марок 3411,3412,3413,3414 при частоте 50 Гц**

Вмакс, Тл	Лучший сорт стали	Средний сорт стали	Худший сорт стали
0,6	42,5	48,5	55
0,65	42	48,7	56,2
0,7	41	48,9	58,2
0,8	39,5	48,5	58,2
0,9	37	47,5	58,9
1	34,2	46,2	59,1
1,1	30	44,5	58,5
1,2	25,4	41,5	57,6
1,3	20,6	37,2	56
1,4	16,5	33	52,5
1,5	13	23,5	30,6

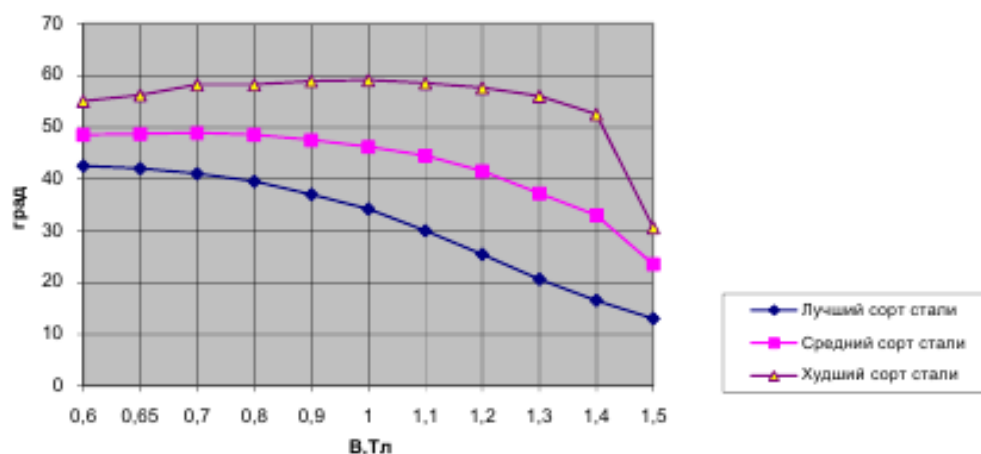


Рис. 4. Зависимость угла потерь в стали от индукции  $B_{\max}$ .

Ток нагрузки  $I_2$  определяем, используя значения номинальной мощности трансформатора на вторичной стороне с учетом схемы соединения, А:

$$I_2 = S_2 / U_{\text{ном}}. \quad (14)$$

#### ОБОЗНАЧЕНИЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

Тип трансформатора: Н – трансформатор напряжения, О – однофазный, Т – трехфазный, М – с естественным масляным охлаждением, Л – с литой изоляцией, Г – с газовой изоляцией, С –

сухой, З – заземляемый с одним заземляющим вводом обмотки высшего напряжения, И – для измерительных цепей, К – каскадный или с компенсирующей обмоткой для уменьшения угловой погрешности (трансформаторы серии НТМК и НОСК), Ф – в фарфоровой крышке, Д – делитель, Е – емкостный: цифры после точки – шифр разработки, число после первого дефиса – класс напряжения, кВ, после второго – год разработки конструкции; буквы после чисел: У – для работы в районах с умеренным климатом, ХЛ – с холодным климатом, Т – с тропическим климатом; последняя цифра: 1-для работы на открытом воздухе, 2-для работы в помещениях со свободным доступом наружного воздуха, 3-для работы в закрытых помещениях с естественной вентиляцией; 1 (после первого дефиса) – исполнение для установки подвесного разъединителя и заземлителя.

### *ПРИМЕР РАСЧЕТА ПОГРЕШНОСТИ ДЛЯ ТРАНСФОРМАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ*

Пример расчета погрешности для трансформатора НОМ-6 приведен в таблицах 2 - 4.

Таблица 2	
Каталожные данные трансформатора НОМ-6	
Номин,первичн,напряжение,В	6000
Номин,вторичн,напряжение,В	100
Класс точности	1
Мощность в классе точности,ВА	50
Коэфф.трансформации	60
Акт.сопр,первичн,обм,Ом	2045
Акт.сопр,вторичн,обм,Ом	0,76
Напряжение КЗ	0,74
Ток х х I <sub>x</sub> ,А	1,15
Угол потерь,град	34,20
Косинус угла потерь	0,83
Синус угла потерь	0,56
Акт,составл,тока XX	0,95
Реакт,составл,тока XX	0,65
Привед,акт.сопр,первичн,обм,Ом	0,57
COSнагрузки	0,80
SIN нагрузки	0,60

По формулам, приведенным выше, рассчитываем величины, необходимые для расчета погрешностей, табл. 3.



Таблица 3

Расчетные величины	
Угол потерь, град	34,20
Косинус угла потерь	0,83
Синус угла потерь	0,56
Акт, составл, тока XX	0,95
Реакт, составл, тока XX	0,65
Привед, акт.сопр, первичн, обм, Ом	0,57
Полн, сопротивление Zк ТН, Ом	1,48
Полн, акт, сопротивление Rк ТН, Ом	1,32
Инд, сопротивление Xк ТН, Ом	0,66
Ток нагрузки, А	0,50
Угол сдвига фаз между U2 и I2, град	38,68

Некоторые формулы необходимые для расчета:

Полное сопротивление нагрузки, определяется по формуле

$$z_n = U_{ном2} / S$$

Активное сопротивление нагрузки

$$r_n = z_n \cos \varphi_n$$

Реактивное сопротивление нагрузки

$$x_n = z_n \sin \varphi_n$$

Угол сдвига фаз между U2 и I2, градусы

$$\arctg \varphi_n = x_n / r_n$$

Ток нагрузки определяется

$$I_n = S / U_2$$

Используя данные таблицы 4, строим зависимости погрешности по напряжению и угловой погрешности от нагрузки трансформатора напряжения, рис. 5, 6. Зависимость погрешности по напряжению построены с учетом витковой коррекции.

Используя данные таблиц 2 и 3, рассчитываем составляющие погрешностей, табл.4

Таблица 4

Зависимость погрешности по напряжению от нагрузки ТН

Коэффициент загрузки ТН, о.е.	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25
Мощность нагрузки ТН, ВА	0,00	12,50	25,0	37,5	50,00	62,50
Ток нагрузки ТН, А	0,00	0,13	0,25	0,38	0,50	0,63
Погрешность от тока х.х., %	-0,75	-0,75	-0,75	-0,75	-0,75	-0,75
Погрешность от тока нагрузки, %	0,00	-0,18	-0,36	-0,55	-0,73	-0,91
Погрешность по напряжению, %	-0,75	-0,94	-1,12	-1,30	-1,48	-1,66
Витковая коррекция, %	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
Погрешность с коррекцией, %	0,35	0,16	-0,02	-0,20	-0,38	-0,56
Угл. погр. от тока х.х., мин	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77
Угл. погр. от тока нагрузки, мин	0,00	1,13	2,26	3,40	4,53	5,66
Угловая погрешность, мин	1,77	2,90	4,04	5,17	6,30	7,43

Коэффициент загрузки ТН, о.е.	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00
Мощность нагрузки ТН, ВА	75,00	87,50	100,00	112,50	125,00	137,5	150,00
Ток нагрузки ТН, А	0,75	0,88	1,00	1,13	1,25	1,38	1,50
Погрешность от тока х.х., %	-0,75	-0,75	-0,75	-0,75	-0,75	-0,75	-0,75
Погрешность от тока нагр., %	-1,09	-1,27	-1,46	-1,64	-1,82	-2,00	-2,18
Погрешность по напряжению, %	-1,85	-2,03	-2,21	-2,39	-2,58	-2,76	-2,94
Витковая коррекция, %	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
Погрешность с коррекцией, %	-0,75	-0,93	-1,11	-1,29	-1,48	-1,66	-1,84
Угл. погр. от тока х.х., мин	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77
Угл. погр. от тока нагрузки, мин	6,79	7,92	9,05	10,19	11,32	12,45	13,58
Угловая погрешность, мин	8,56	9,70	10,83	11,96	13,09	14,22	15,35

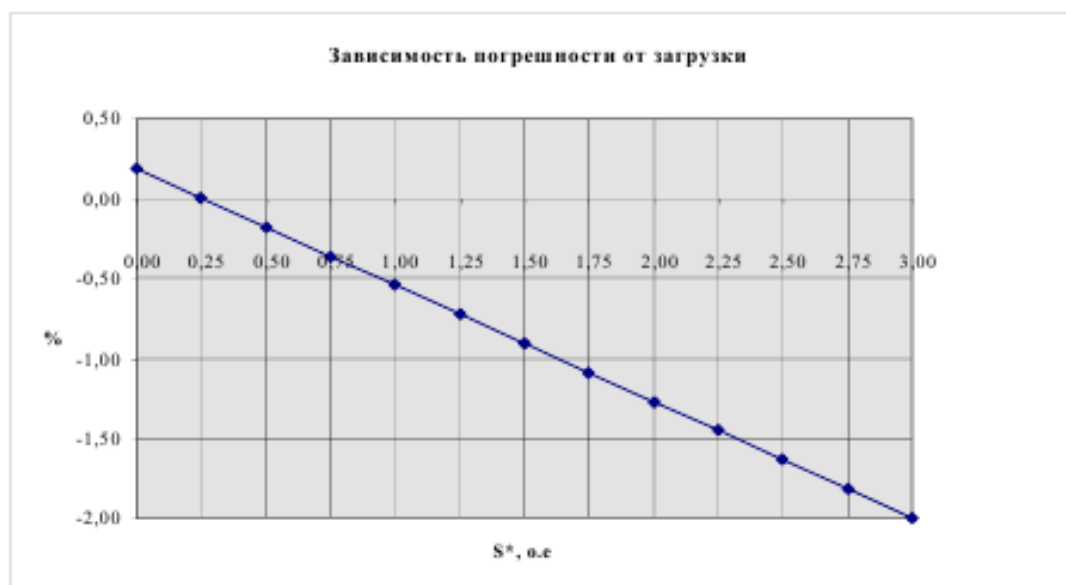


Рис. 5. Зависимость погрешности ТН от нагрузки, витковая коррекция 0,94

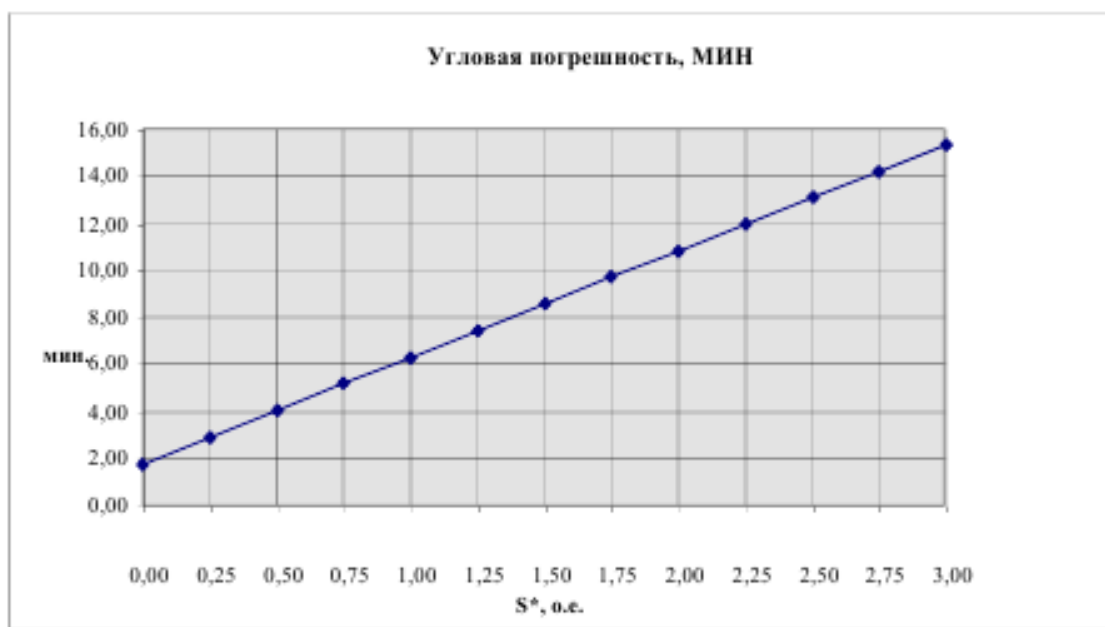


Рис.6. Зависимость угловой погрешности ТН от нагрузки

### *ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ*

На основании исходных данных, задаваемых вариантом:

1. Расшифровать обозначение заданного трансформатора напряжения, описать его назначение и основные параметры;
2. Рассчитать погрешность по напряжению заданного трансформатора напряжения при изменении коэффициента загрузки трансформатора напряжения от 0 до 3 с интервалом 0,25;
3. Рассчитать угловую погрешность заданного трансформатора напряжения при изменении коэффициента загрузки трансформатора напряжения от 0 до 3 с интервалом 0,25;
4. Построить зависимость погрешности трансформатора напряжения от нагрузки и зависимость угловой погрешности ТН от нагрузки;
5. Сравнить полученные значения погрешностей со значениями, определяемыми ГОСТ, сделать вывод о возможности эксплуатации данного трансформатора в системах учета электроэнергии;
6. Определить величину витковой коррекции, необходимой для соблюдения требований ГОСТ по величине погрешности трансформатора тока.

Варианты задания для выполнения контрольной работы задаются по таблицам 5 и 6. Первая цифра номера варианта соответствует порядковому номеру в таблице 5, а вторая цифра номера варианта соответствует порядковому номеру в таблице 6.

По результатам выполнения контрольной работы составляется отчет.



Таблица 5

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип трансформатора напряжения	ЗНОЛ.06-6	НОМ-10	НОСК-6	ЗНОЛ.09-10	ЗНОЛ.06-6	ЗОМ-1/15	НОМ-6	НТМК-10	НТМИ-10	НТМК-6
Номин.первичн.напряжение,В	$3000 / \sqrt{3}$	10000	6000	$10000 / \sqrt{3}$	$6000 / \sqrt{3}$	15000	6000	10000	10000	3000
Номин.вторичн.напряжение,В	$100 / \sqrt{3}$	100	100	$100 / \sqrt{3}$	$100 / \sqrt{3}$	100	100	100	100	100
Класс точности	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Мощность в классе точности,ВА	30	75	50	75	50	75	50	120	120	50
Коэфф.трансформации	30	100	60	100	60	150	60	100	100	30
Акт.сопр.первичн,обм,Ом	1103	2045	2553	1870	1847	2795	3520	3620	2150	1965
Акт.сопр.вторичн,обм,Ом	0,89	0,95	0,87	0,64	0,73	0,79	0,78	0,90	0,74	0,83
Напряжение КЗ	2,21	0,95	0,84	2,10	2,3	0,79	1,02	1,74	1,23	1,84
Ток $x_h, I_h, A$	0,20	0,95	0,21	0,37	0,54	0,58	0,97	0,73	0,81	0,23
Косинус нагрузки	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Синус нагрузки	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60

Таблица 6

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Магнитная индукция, Втах	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,2	1,4	1,5	0,6	1,2
Сорт стали	Лучший	Средний	Худший	Лучший	Средний	Худший	Лучший	Средний	Худший	Лучший

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение и типы трансформаторов напряжения. Область применения.
2. Классификация трансформаторов напряжения.
3. Основные параметры и характеристики трансформаторов напряжения.
4. Обозначение типа трансформатора напряжения.
5. Принципиальная схема и принцип действия трансформатора напряжения.
6. Векторная диаграмма трансформатора напряжения.
7. Виды погрешностей трансформатора напряжения, пояснить причины появления погрешностей, способы снижения погрешности.
8. Погрешность по напряжению трансформатора напряжения, способы определения погрешности по напряжению.
9. Угловая погрешность трансформатора напряжения, способы определения угловой погрешности.

### Лабораторная работа № 2 Трансформаторы тока

*Цель работы:* ознакомиться с конструктивными особенностями трансформаторов тока (ТТ). Опытным путем определить однополярные зажимы обмоток трансформаторов тока, коэффициент трансформации трансформаторов тока, построить вторичные вольтамперные характеристики (ВАХ), определить токовую погрешность ТТ.

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Трансформаторы тока предназначены:

1) для уменьшения величины тока, протекающего в токовых цепях измерительных приборов и реле;

2) для изоляции приборов и реле от высокого напряжения сети.

Принцип действия трансформаторов тока аналогичен обычным трансформаторам, но имеет следующие особенности:

а) первичная его обмотка включается в сеть последовательно с нагрузкой;

б) ток во вторичной цепи трансформаторов тока строго пропорционален току в первичной цепи и не зависит от сопротивления подключаемых к нему измерительных приборов и реле;

в) первичная обмотка трансформаторов тока обычно содержит один или несколько витков, вторичная же имеет весьма большое количество витков.

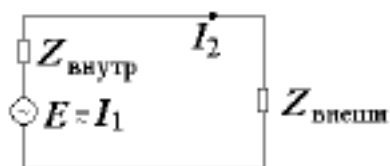
Условные обозначения трансформаторов тока с одной вторичной обмоткой и двумя вторичными обмотками показаны на рис. 1.



Рис. 1

Вторичная обмотка трансформатора тока равносильна ЭДС, которая имеет весьма высокое внутреннее сопротивление. Сопротивление же подключаемых приборов и реле мало. Поэтому вторичный ток определяется, практически, только внутренним сопротивлением трансформатора (рис. 2).

Пример подключения измерительных приборов к высоковольтной сети через трансформатор тока показан на рис. 3.



$$Z_{\text{внутр}} \gg Z_{\text{внешн}}$$

$$I_2 = \frac{E}{Z_{\text{внутр}} + Z_{\text{внешн}}} = \frac{E}{Z_{\text{внутр}}}$$

Рис.2

Одновитковые трансформаторы тока имеют первичную обмотку в виде одного прямолинейного проводника. В зависимости от назначения одновитковые трансформаторы делят на проходные (ТПОФ, ТПОЛ и др.), шинные (например, ТПШФ, ТПШЛ и др.), встроенные в проходные изоляторы масляных выключателей (ТВТ, ТВС).



Рис.3

Основное достоинство одновитковых трансформаторов тока – высокая устойчивость против токов короткого замыкания, обусловленная отсутствием межвитковых динамических усилий. Основной недостаток – низкая точность при малых измеряемых токах. Если одновитковый трансформатор тока не может обеспечить требуемой точности измерений или необходимо увеличить мощность, отдаваемую вторичной обмоткой трансформатора, трансформатор тока выполняется с двумя и более витками первичной обмотки (ТПФ, ТКЛ, ТПЛ и др.).

В особую группу выделяют кабельные, шинные и быстронасыщающиеся трансформаторы тока.

Кабельные и шинные трансформаторы тока (или трансформаторы тока нулевой последовательности) изготавливаются с неразъемным сердечником (ТЗ, ТПП, ТПНШ) и с разъемным сердечником (ТЗР, ТФ) и служат для питания цепей защиты от замыканий на землю. Вторичный ток кабельных и шинных трансформаторов тока, в отличие от обычных, не зависит от тока нагрузки, протекаемого в первичной цепи.

### Лабораторная работа № 3 Конструкция и принцип действия электрических счетчиков индукционного типа.

*Цель работы:* Изучить принцип действия, устройство и характеристики индукционных счетчиков электрической энергии.

#### *Теоретические сведения*

Принцип действия индукционных приборов основан на взаимодействии двух или нескольких переменных магнитных потоков с токами, индуцированными в подвижном проводнике (например, диске). Типичным представителем этой системы является классический индукционный счетчик – измеритель активной энергии.

Рассмотрим устройство и принцип действия индукционного однофазного счетчика активной энергии. На рисунке 1 показана упрощенная конструкция такого прибора. Основными элементами прибора

являются два магнитопровода со своими обмотками (напряжения и токовой), вращающийся диск и счетный механизм. Как и ваттметр, счетчик содержит обмотки тока и напряжения. Включается счетчик в цепь так же, как и ваттметр.

Схема и векторная диаграмма поясняют принцип действия этого прибора.

Рассмотрим работу счетчика на примере входных сигналов напряжения и тока синусоидальной формы с действующими значениями, равными, соответственно,  $U$  и  $I$ . Входное напряжение  $U$ , приложенное к обмотке напряжения 2, создает в ней ток  $I_u$ , имеющий по отношению к напряжению  $U$  сдвиг по фазе, близкий к  $90^\circ$  (из-за большого индуктивного сопротивления этой обмотки). Ток  $I_u$  рождает магнитный поток  $\Phi_u$  в среднем сердечнике магнитопровода обмотки напряжения 1. Этот поток  $\Phi_u$  делится на два потока: нерабочий поток  $\Phi_{u1}$  который замыкается внутри магнитопровода 1; и основной поток  $\Phi_{u2}$ , пересекающий диск 6, закрепленный на оси 7 и вращающийся вместе с ней. Этот основной поток замыкается через противопололюс 5.

Входной ток  $I$ , текущий в обмотке тока 4, создает в магнитопроводе 3 магнитный поток  $\Phi_I$ , который дважды пересекает диск 6.

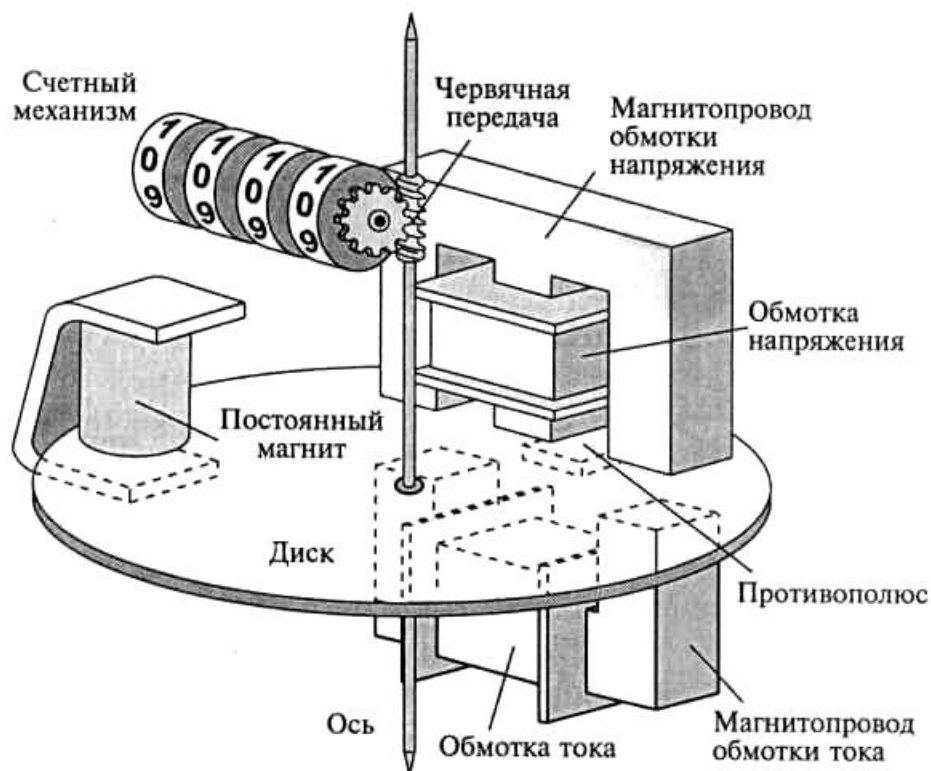


Рисунок 1 – Упрощенная конструкция индукционного однофазного счетчика

Таким образом, диск пересекают два магнитных потока  $\Phi_{u2}$  и  $\Phi_I$  не совпадающих в пространстве и имеющих фазовый сдвиг  $\psi$ . При этом и диске возникает вращающий момент  $M$ .

Для получения результата определения потребленной активной энергии достаточно проинтегрировать значения текущей мощности. Это интегрирование реализовано счетным механизмом 9, связанным с осью 7 червячной передачей 8.

Постоянный магнит служит для создания тормозного момента и обеспечения угловой скорости вращения, пропорциональной текущему значению активной мощности. Кроме того, в реальной конструкции есть элементы, обеспечивающие дополнительный момент, компенсирующий момент трения, а также элементы устранения «самохода».

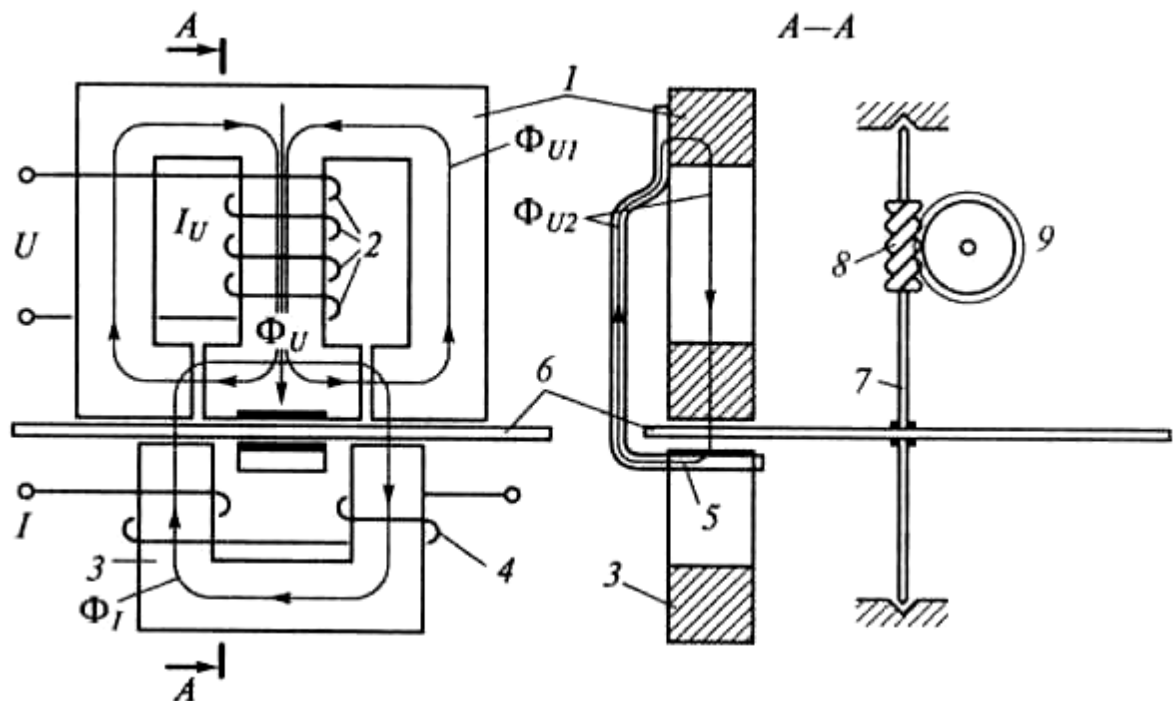


Рисунок 2 – Схема поясняющая принцип действия счетчика

1 – магнитопровод обмотки напряжения; 2 – обмотка напряжения; 3 – магнитопровод обмотки тока; 4 – обмотка тока; 5 – противопололюс; 6 – диск; 7 – ось; 8 - червячная передача; 9 – счетный механизм

#### *Контрольные вопросы:*

1. Каковы причины возникновения самохода и какие существуют средства его устранения?
2. Что такое средневзвешенный коэффициент мощности?
3. Чем регулируется порог чувствительности счетчика?
4. Как определить по показаниям счетчиков активной и реактивной энергии коэффициент мощности?

**Лабораторная работа № 4** Конструкция и принцип действия электрических счетчиков электронного типа.



*Цель работы:* Изучить принцип действия, устройство и характеристики электронных счетчиков электрической энергии.

*Устройство и принцип работы электронных счетчиков*

Принцип действия электронных счетчиков основан на измерении мгновенных значений входных сигналов тока и напряжения шестиканальным аналого-цифровым преобразователем (АЦП), с последующим вычислением среднеквадратических значений токов и напряжений, активной, реактивной и полной мощности и энергии, углов сдвига фазы и частоты цифровым сигнальным процессором (ЦСП).

Конструктивно счетчик выполнен в пластмассовом корпусе. В корпусе размещены измерительные трансформаторы тока и выполненные на печатных платах: модуль питания, плата счетчика, один из интерфейсных модулей, модуль телеметрических выходов или импульсных входов. Панель с надписями установлена на крышке корпуса счетчика.

Принцип работы счетчика поясняется структурной схемой, приведенной на рисунке 3.

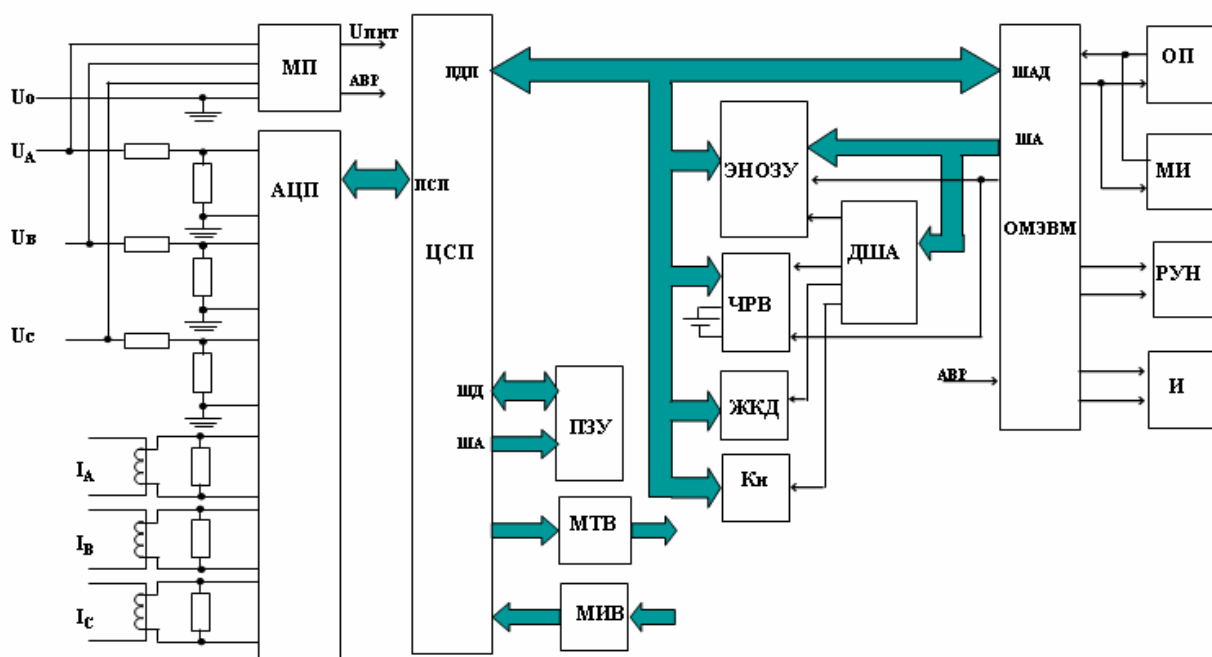


Рисунок 3 – Структурная схема электронного счетчика

Для изучения структурной схемы счетчика ЦЭ6850М и принципа его работы, введем следующие обозначения: АВР – авария питания; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ДША – дешифратор адреса; ЖКД – жидкокристаллический дисплей; И – индикатор; Кл – клавиатура; МИ – модуль интерфейса; МИВ – модуль импульсных входов; МП – модуль питания; МТВ – модуль телеметрических выходов; ОМЭВМ – однокристальная микро-ЭВМ; ОП – оптический порт; ПДП – порт прямого доступа к памяти; ПЗУ – постоянное запоминающее устройство; ПСП – последовательный синхронный порт; РУН – реле управления нагрузками; ЦСП – цифровой сигнальный процессор; ЧРВ – часы

реального времени. ША – шина адреса; ШД – шина данных; ШАД – шина адрес/данные; ЭНОЗУ – энергонезависимое ОЗУ.

### *Измерение и вычисление параметров сети и энергетических параметров*

Напряжения от каждой из фаз поступают на делители, где понижаются до значений уровня, пригодного для измерения. Токовые сигналы преобразуются с помощью трансформаторов тока и резисторов в сигналы напряжения.

Эти сигналы подаются на входы АЦП, где преобразуются в цифровой код.

Затем они поступают на последовательный синхронный порт (ПСП) цифрового сигнального процессора (ЦСП). ЦСП производит расчет среднеквадратических значений токов и напряжений, полной, активной, реактивной мощностей и энергий, а также углов сдвига фаз и частоты основной гармоники сигналов напряжения.

Для расчета среднеквадратичного значения напряжения по каждой цепи напряжения используется формула:

$$U_{\phi} = K_M K_A \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N U_i^2}}{N} \quad (9)$$

где  $K_M$  – масштабный коэффициент (вводится при изготовлении на заводе);  $K_A$  – калибровочный коэффициент по данной фазе (вводится при изготовлении на заводе);  $i$  – значение текущей выборки;  $N$  – число выборок;  $U_i$  – значение напряжения  $i$ -й выборки, В.

Для расчета величины среднеквадратичного значения силы тока для каждой цепи тока используется формула:

$$I_{\phi} = K_{M1} K_{A1} \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N I_i^2}}{N} \quad (10)$$

где  $K_{M1}$  – масштабный коэффициент (вводится при изготовлении на заводе);  $K_{A1}$  – калибровочный коэффициент по данной фазе (вводится при изготовлении на заводе);  $I_i$  – значение силы тока  $i$ -й выборки, А.

Активная мощность в каждой фазе вычисляется по формуле:

$$P_{\phi} = K_M K_A K_{M1} K_{A1} \frac{\sum_{i=1}^N U_i I_i}{N} \quad (11)$$

Суммарная активная мощность вычисляется по формуле:

$$P_{\Sigma} = P_{\Phi A} + P_{\Phi B} + P_{\Phi C}, \quad (12)$$

где  $P_{\Phi A}, P_{\Phi B}, P_{\Phi C}$  – активная мощность по каждой фазе.

Полная мощность в каждой фазе трехфазной сети вычисляется по формуле:

$$S_{\Phi} = I_{\Phi} \cdot U_{\Phi}, \quad (13)$$

где  $I_{\Phi}$  – среднеквадратическое значение силы тока в соответствующей фазе, определенное по формуле (10), А;  $U_{\Phi}$  – среднеквадратическое значение напряжения в соответствующей фазе, определенное по формуле (9).

Суммарная мощность вычисляется по формуле:

$$S_{\Sigma} = S_{\Phi A} + S_{\Phi B} + S_{\Phi C}, \quad (14)$$

где  $S_{\Phi A}, S_{\Phi B}, S_{\Phi C}$  – полная мощность по каждой фазе, В·А.

Реактивная мощность по каждой фазе вычисляется по формуле:

$$Q = S_{\Phi 2} - P_{\Phi 2}, \quad (15)$$

где  $S_{\Phi}$  – полная мощность по каждой фазе, определяемая по формуле (13), В·А;  $P_{\Phi}$  – активная мощность в каждой фазе, определяемая по формуле (11), Вт.

Суммарная реактивная мощность вычисляется по формуле:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\Phi A} + Q_{\Phi B} + Q_{\Phi C}, \quad (16)$$

где  $Q_{\Phi A}, Q_{\Phi B}, Q_{\Phi C}$  – реактивная мощность в каждой фазе, определяемая по формуле (15), вар.

Удельная энергия потерь в цепях тока вычисляется по формуле:

$$A = I_{\Phi A}^2 + I_{\Phi B}^2 + I_{\Phi C}^2 \quad (17)$$

где  $I_{\Phi 2A}, I_{\Phi 2B}, I_{\Phi 2C}$  – сила тока вычисляется по формуле (10), А.

Коэффициент активной мощности вычисляется по формуле:

$$\cos \varphi = \frac{P_{\Sigma}}{S_{\Sigma}} \quad (18)$$

где  $P_{\Sigma}$  – активная мощность, Вт;

$S_{\Sigma}$  – полная мощность, ВА.

Коэффициент реактивной мощности вычисляется по формуле:

$$\sin \varphi = \frac{Q_{\Sigma}}{S_{\Sigma}} \quad (19)$$

где  $Q_{\Sigma}$  – реактивная мощность, вар.

Активная и реактивная энергия вычисляется по значениям активной и реактивной мощности, определенных за 1 с.

На основе расчетов активной и реактивной энергии цифровой сигнальный процессор (ЦСП) выдает сигналы об энергопотреблении на телеметрические выходы, которые могут быть подключены к системе АСКУЭ.

#### *Накопление и хранение результатов измерения*

Однокристалльная микро-ЭВМ (ОМЭВМ) по шине адрес/данные (ШАД) считывает данные об энергопотреблении и параметрах сети через порт прямого доступа к памяти (ПДП) ЦСП. ОМЭВМ сразу же сохраняет энергетические параметры в энергонезависимом ОЗУ (ЭНОЗУ).

Отсчет времени и ведение календаря осуществляют часы реального времени (ЧРВ).

Адресация узлов счетчика осуществляется через дешифратор адреса (ДША) в соответствии с заданной программой ОМЭВМ.

#### *Интерфейсы пользователя*

В счетчике имеется оптический порт (ОП) и модуль интерфейса (МИ), для считывания информации и программирования параметров пользователя.

Информация о параметрах сети, энергопотреблении и параметрах пользователя выводится на ЖК-дисплей (ЖКД).

Просмотр осуществляется пользователем с помощью клавиатуры (Кл), включающей пломбируемую госповерителем кнопку «Доступ».

Два светодиодных индикатора (И) информируют о работоспособности счетчика при накоплении активной и реактивной энергии, а так же об обрыве или неправильном соединении подводящих проводов.

С помощью двух реле управления нагрузками (РУН) осуществляется включение или отключение нагрузок фидера.

#### *Питание счетчика*

Для питания счетчика используется модуль питания, который также формирует сигнал аварии питания (АВР), сигнализирующий о недопустимом снижении напряжения питания. По сигналу АВР, ОМЭВМ завершает работу и заносит все имеющиеся данные в ЭНОЗУ.

#### *Классификация электронных счетчиков*

По типу выходных каналов все электронные счетчики электрической энергии можно разделить на две группы: с цифровыми выходами по интерфейсу RS485 и с телеметрическими импульсными выходами. Все электронные счетчики имеют стандартный телеметрический выход, но не все имеют цифровые выходы по интерфейсу RS485. Следует различать между собой счетчики с телеметрическими и цифровыми выходами.

Счетчики с телеметрическим импульсным каналом передают информацию о значении измеренной счетчиком мощности в числоимпульсном коде (в виде последовательности импульсов). Количество импульсов, соответствующее 1 кВт.ч измеряемой энергии, является постоянной для каждого типа и модификации счетчика и называется

передаточным числом. Его значение указано на лицевой панели счетчика и в паспорте.

В случае передачи измерительной информации в цифровой форме от счетчика электрической энергии с цифровым выходом, эта информация кодируется двоичным кодом. В передаваемом сообщении каждый бит информации представлен соответствующим сигналом. Приемник измерительной информации регистрирует наличие или отсутствие сигнала и тем самым – каждый передаваемый бит сообщения.

*Контрольные вопросы:*

1. Пользуясь структурной схемой, объяснить устройство электронного счетчика.
2. Объяснить принцип действия электронного счетчика.
3. Каково назначение аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и цифрового сигнального процесса (ЦСП) в электронном счетчике?
4. Где в счетчике сохраняются результаты измерения?
5. Как осуществляется питание счетчика?
6. Как определяются коэффициенты активной и реактивной мощностей?

**Лабораторная работа № 5** Измерение схем подключения однофазных и трехфазных счетчиков электроэнергии в электроустановках напряжением 380/220 В.

*Цель работы:*

1. Изучение промышленных схем подключения однофазных и трехфазных счетчиков учета электроэнергии напряжением до 1 кВ.

*Теоретическая и практическая часть*

Для измерений электрической энергии в однофазных сетях переменного тока применяют различные типы счетчиков как отечественного, так и зарубежного производства.

Схема включения однофазного счетчика изображена на рис. 12, а. Обязательным требованием при включении счетчика является соблюдение полярности подключения как по току, так и по напряжению.

На рис. 12, б изображена схема включения индукционного счетчика с обратной полярностью в токовой цепи. В данном случае изменение направления тока в цепи создает отрицательный вращающий момент, и диск счетчика будет вращаться в обратную сторону. Электронный однофазный счетчик в этом случае энергию не измеряет, и мигание индикаторов не наблюдается. Новые типы электронных однофазных счетчиков измеряют электроэнергию независимо от полярности подключения токовой цепи.

Включение однофазного счетчика с обратной полярностью по напряжению и току показано на рис. 12, в. В данном случае фазы тока и напряжения одновременно изменяются на  $180^\circ$ , а угол фазового сдвига остается прежним. Поэтому счетчик измеряет электроэнергию в

соответствии со своим классом точности. На практике использование схемы включения счетчика по рис. 12, в не допускается, так как она позволяет использовать электроэнергию без учета.

В настоящее время на заводах - изготовителях счетчиков с целью предотвращения хищений электрической энергии предусматривается установка на однофазных индукционных счетчиках:

стопора обратного хода;

второй (дублирующей) перемычки для подачи напряжения на катушку, располагая ее внутри корпуса;

второй токовой катушки в цепи нулевого провода.

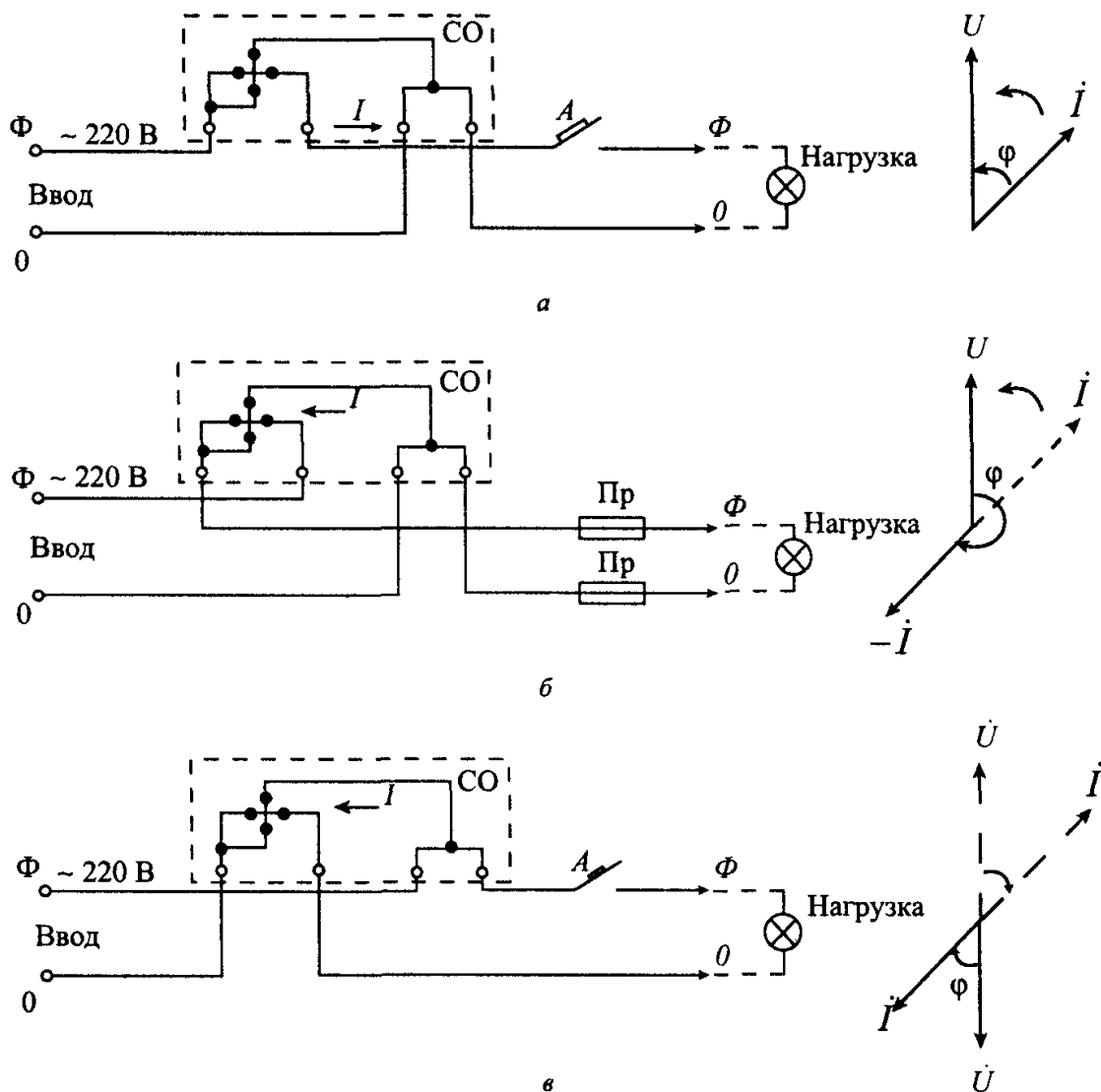


Рис. 12. Схемы включения и векторные диаграммы однофазного счетчика (а), индукционного однофазного счетчика с обратной полярностью в токовой цепи (б) и однофазного счетчика с обратной полярностью в цепи тока и напряжения (в)

Кроме того, кожух счетчика выполняется прозрачным.



На Ленинградском электромеханическом заводе выпускаются индукционные счетчики типа СО-ЭЭ6705 (220 В, 10-40 А) со стопором обратного хода. Схема включения счетчика существенно отличается от типовой тем, что на клеммы 1 и 3 выведены концы токовой катушки. Сетевые провода  $\Phi$  (фаза) и 0 подключаются на клеммы 1 и 4 (рис. 13).

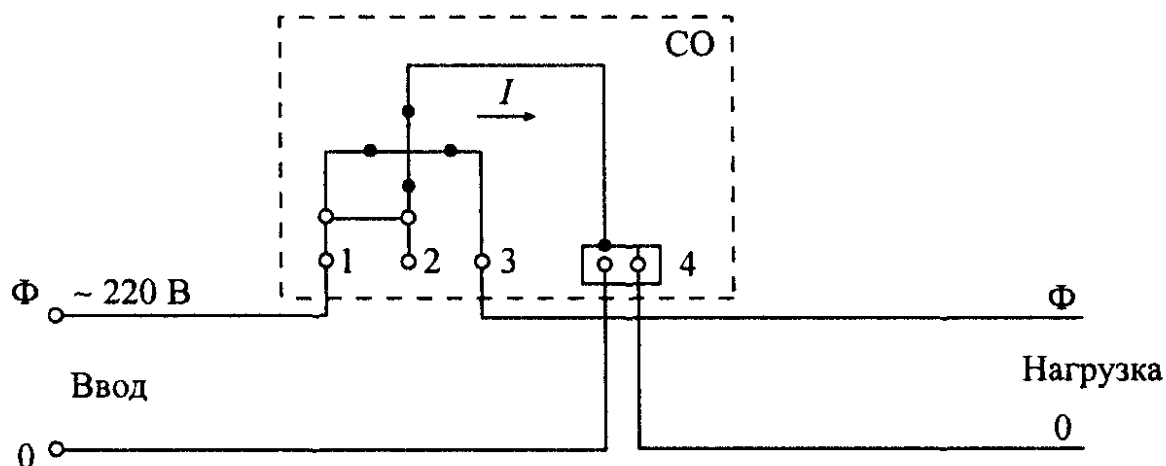


Рис. 13. Схема включения счетчика типа СО-ЭЭ6705

В ОАО «Концерн Энергомера» (г. Ставрополь) и на других заводах-изготовителях выпускаются однофазные и трехфазные электронные счетчики, которые измеряют электроэнергию независимо от полярности включения токовой цепи. Это достигается применением специально разработанной БИС преобразователя мощности. В результате этого счетчик защищен от применения фазосдвигающих устройств в электроустановках напряжением 380/220 В.

В трехфазных четырехпроводных сетях напряжением 380/220 В для измерений электрической энергии применяют счетчики прямого (непосредственного) включения. Их называют прямоточными. Кроме того, используют счетчики, подключаемые в сеть через ТТ. Их называют универсальными или трансформаторными.

Счетчики прямого включения рассчитаны на номинальные токи 5, 10, 20, 50 А. Подключение токовой цепи этих счетчиков осуществляется последовательно с сетевыми проводниками и обязательным соблюдением полярности (рис. 14).

Измеряемая энергия равна разности показаний счетного механизма за расчетный (учетный) период:  $\Delta W = \Pi_K - \Pi_H = \Delta \Pi$ .

Подключение с обратной полярностью одной из токовых цепей счетчика приводит к значительному недоучету электроэнергии. Обязательно соблюдение прямого порядка чередования фаз напряжений на колодке зажимов счетчика. Изменение порядка чередования фаз напряжений на колодке зажимов счетчика осуществляется переменой мест подключения соответственно двух проводов одного элемента с двумя проводниками другого элемента.

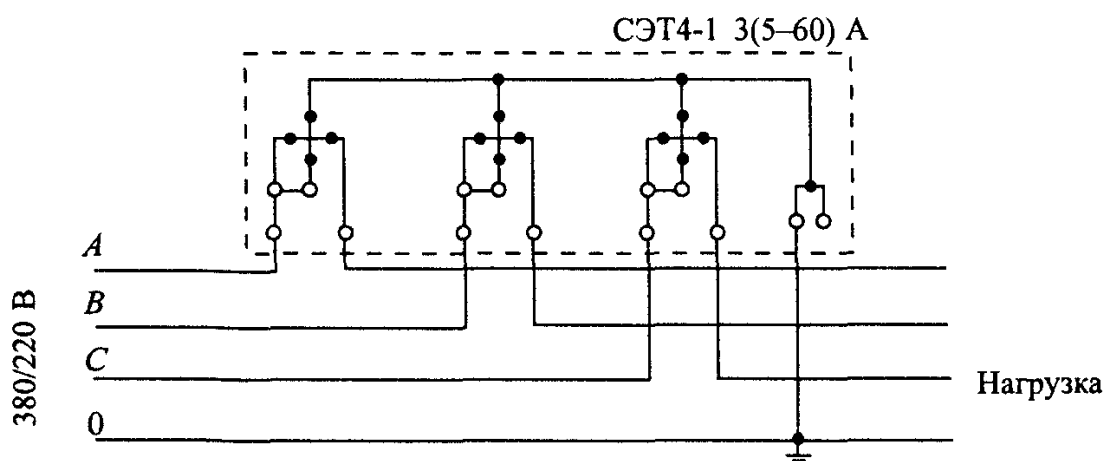
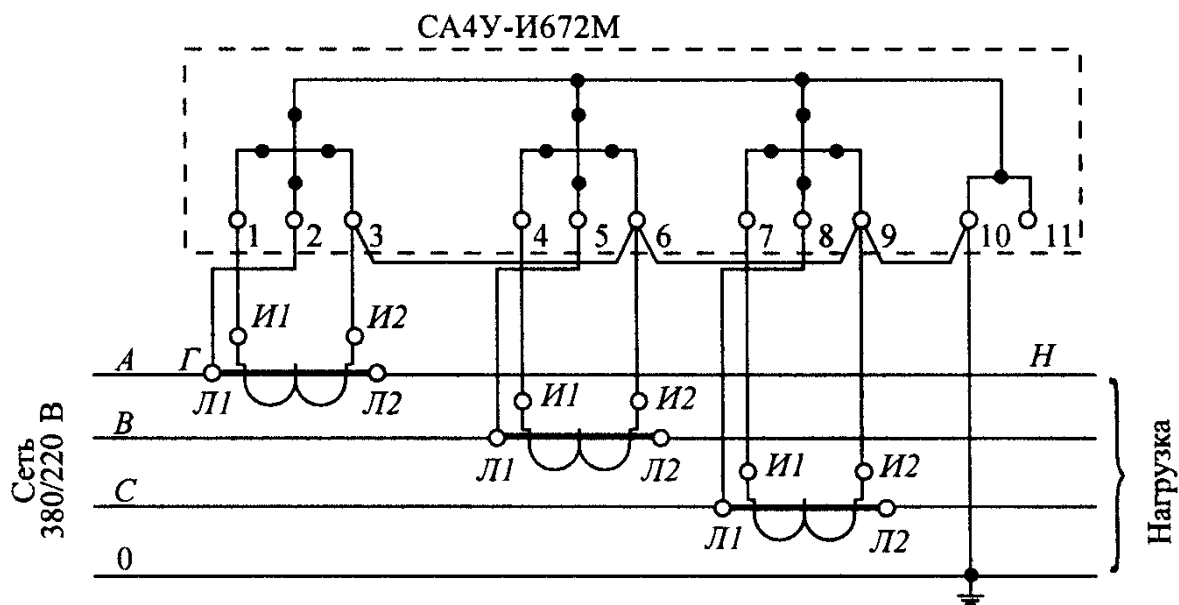


Рис.14. Схема включения прямооточного счетчика типа СЭТ4-1

На рис. 15 изображены схема включения трансформаторного счетчика (а) и векторная диаграмма (б), которая соответствует индуктивному характеру нагрузки в случае фазового сдвига, равного  $30^\circ$ . Схема включения выполнена десятипроводной. Токовые цепи счетчика гальванически не связаны с цепями напряжения, а разделены. Измеряемая электроэнергия равна разности показаний счетного механизма, умноженной на коэффициент трансформации:

$$W = (\Pi_K - \Pi_H) K_I = \Delta \Pi K_b.$$



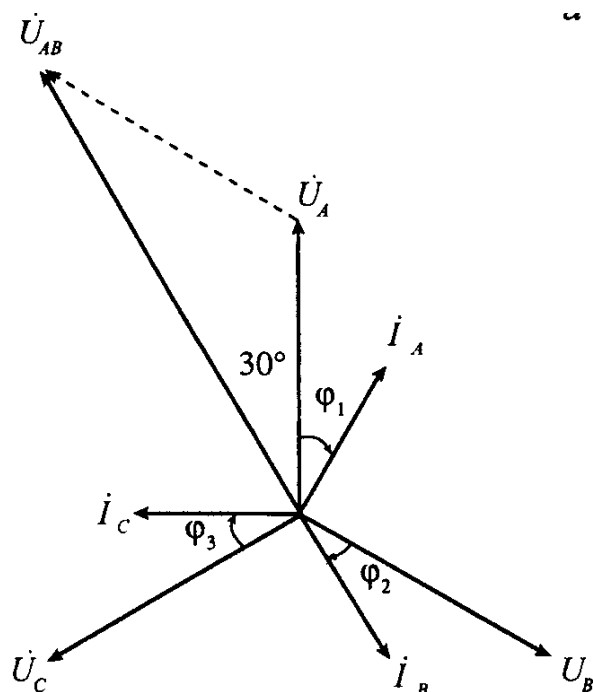


Рис.15. Схема включения трехэлементного счетчика типа СА4У-И672М в четырехпроводную сеть с отдельными цепями тока и напряжения (а) и векторная диаграмма (б). Прямой порядок чередования фаз обязателен.

Подключение каждого из трех измерительных элементов счетчика требует обязательного соблюдения полярности подключения токовых цепей и соответствия их своему напряжению. Обратная полярность включения первичной обмотки ТТ или его вторичной обмотки вызывает отрицательный вращающий момент, действующий на диск счетчика. Схема обеспечивает нормируемую погрешность измерений. Подключение нулевого провода обязательно. Наиболее часто встречающиеся повреждения в схеме:

ослабление или окисление зажимных контактов на ТТ;

обрыв (внутренний излом) фазных проводов напряжения вторичных цепей;

пробой ТТ.

При необходимости изменения порядка чередования фаз три провода с одного элемента на колодке зажимов счетчика меняются местами с соответствующими тремя проводами другого элемента.

Часто применяется семипроводная схема включения (рис. 16). В этой схеме выполнено объединение цепей тока и напряжения. Совмещение цепей тока и напряжения выполняется установкой перемычек на счетчике и на ТТ. Схема имеет следующие недостатки:

под напряжением находятся токовые цепи счетчика;

пробой ТТ длительное время не выявляется;

установка перемычек И2-Л2 на ТТ, и 1-2 на счетчике вызывает дополнительную погрешность измерений.

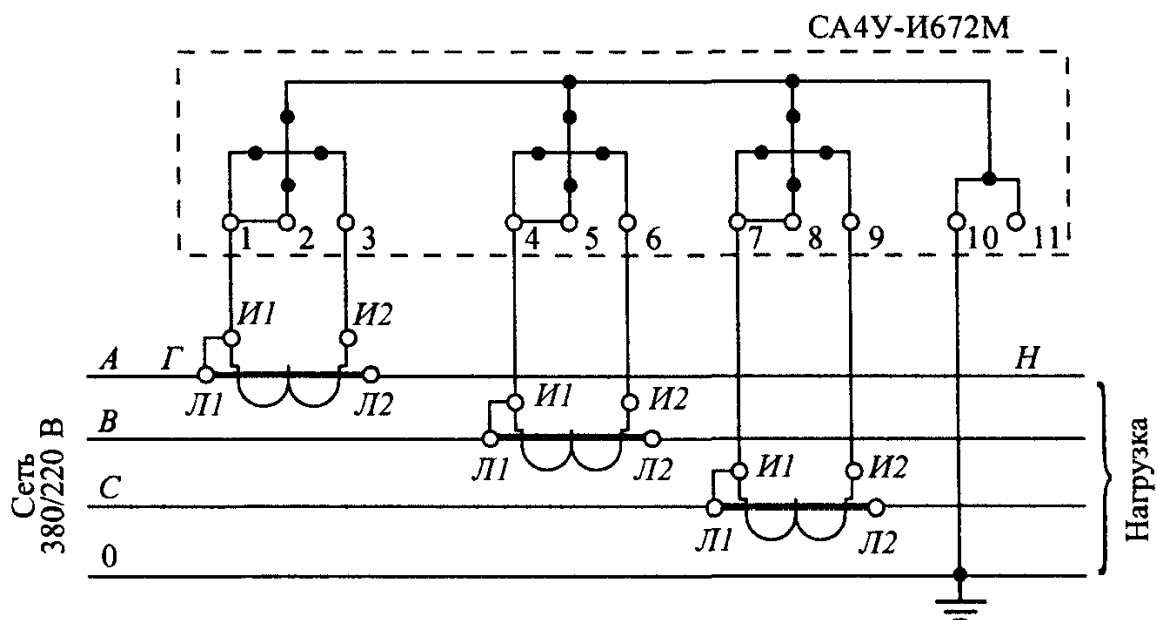


Рис. 16. Схема включения трехэлементного счетчика типа СА4У-И672М в четырехпроводную сеть с совмещенными цепями тока и напряжения. Прямой порядок чередования фаз обязателен: Л1-И1- перемычки, установленные на ТТ; 1-2; 4-5; 7-8 - перемычки, установленные на счетчике

В электроустановках напряжением 380/220 В также применяется схема включения счетчиков, изображенная на рис. 17.

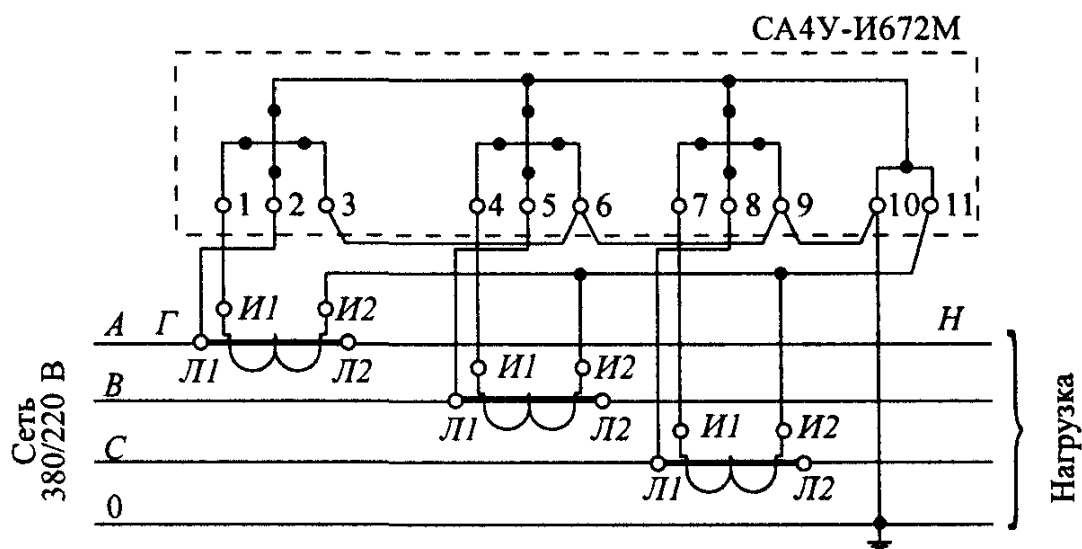


Рис. 17. Схема включения трехэлементного счетчика типа СА4У-И672М в четырехпроводной сети в «звезду». Прямой порядок чередования фаз обязателен

На этой схеме концы вторичных обмоток ТТ И2 объединены и соединены с концами токовых цепей счетчика в одной точке. Не допускается подключение токовых цепей счетчика и вторичных обмоток ТТ на корпус электроустановки в разных местах.

Измеряемая электроэнергия  $W = MIK_r$ ,

Наиболее универсальной является схема включения счетчиков с испытательной коробкой (рис. 18). Испытательная коробка позволяет, не отключая нагрузки, произвести замену счетчиков и проверку схемы включения.

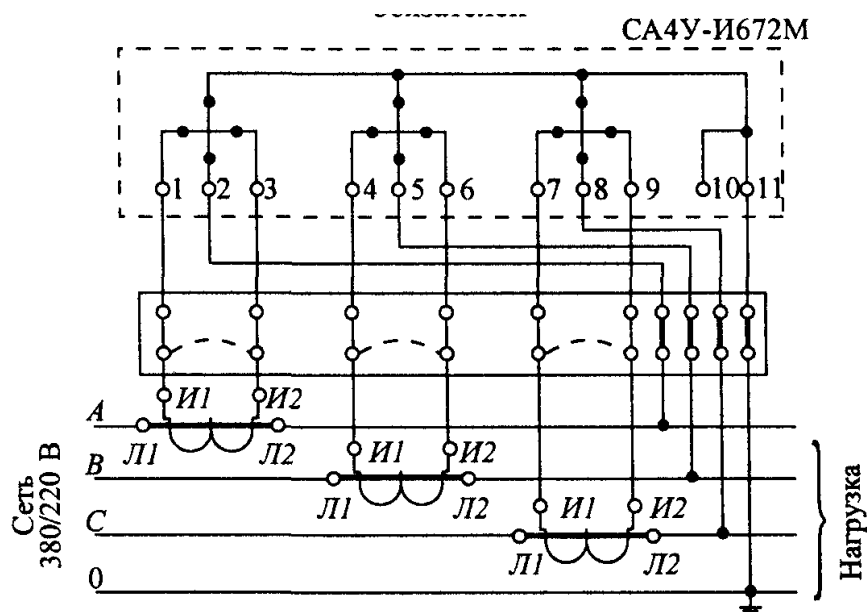


Рис. 18. Схема включения трехэлементного счетчика типа СА4У-И672М в четырехпроводную сеть с испытательной коробкой

Для измерений активной и реактивной энергии применяется схема включения счетчиков, изображенная на рис. 19.

Схемы включения счетчика реактивной энергии типа СР4У-И673 и счетчика активной энергии не отличаются друг от друга. Токовые цепи этих счетчиков соединяются последовательно. Цепи напряжения счетчиков подключаются параллельно. Отличие счетчика реактивной энергии от счетчика активной энергии - в схеме внутренних соединений. За счет схемы внутренних соединений катушек, рассчитанных на напряжение 380 В, выполняется дополнительный  $90^\circ$ -ный фазовый сдвиг между магнитными потоками.

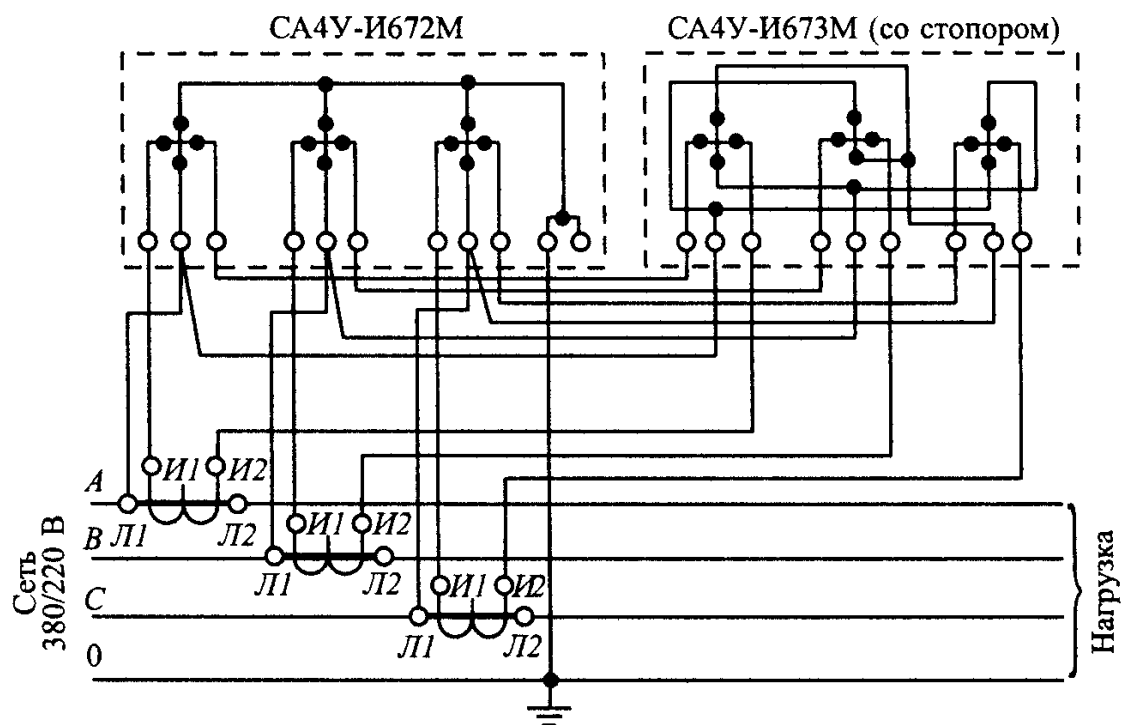


Рис. 19. Схема включения счетчиков для измерений активной и реактивной энергии в сети напряжением 380/220 В

#### *Контрольные вопросы*

1. Объясните схемы подключения однофазных счетчиков в электроустановках напряжением до 1 кВ?.
2. Объясните схемы подключения трехфазных счетчиков в электроустановках напряжением до 1 кВ?.

**Максимальное количество баллов за 5 лабораторных работ – 70, минимальное – 45.**



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический (институт) федерального  
государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

*Факультет информационных технологий  
Кафедра электротехники и энергообеспечения предприятий*

Направление подготовки **13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»**  
Профиль «**Электроснабжение**»

**Комплект заданий для контрольной работы**  
**По дисциплине «Автоматизированные системы контроля и учета  
электроэнергии»**

Вопросы для подготовки рефератов в рамках выполнения индивидуальной контрольной работы:

<b>№ варианта</b>	<b>Перечень рассматриваемых вопросов</b>
1	Учет реактивной электроэнергии в электроустановках
2	Особенности учета межсистемных перетоков электроэнергии
3	Организационные мероприятия по снижению коммерческих потерь электроэнергии
4	Требования к счетчикам электрической энергии
5	Счетчики ЭЭ. Типы. Принципы работы. Классы точности.
6	Схемы включения счетчиков электроэнергии
7	Расчетные параметры средств учета электроэнергии
8	Размерность и правила округления значений учетных показателей
9	Дискретность сбора информации
10	Коммерческий учет ЭЭ на ОРЭ
11	Потребители коммерческой информации
12	Учет технических потерь при транспорте электроэнергии
13	Особенности получения информации для целей коммерческого учета электроэнергии
14	Организация системы измерений и сбора информации на ОРЭ
15	Назначение и функции АИИС КУЭ
16	Технические требования к АИИС КУЭ энергии и мощности на ОРЭ
17	Особенности учета потерь электроэнергии на региональных рынках
18	Расчетные способы замещения измерительной информации.
19	Мониторинг потерь и учетных данных.

**Максимальное количество баллов за контрольную работу – 30,  
минимальное – 15.**