Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Бутакова Оксана Стефановна
Должность: директор
Дата подписания: 05.12.2025 09:16:51
Уникальный программный ключ:
92ebe478f3654efe030354ec9c160360cb17a169

Министерство образования и науки Республики Саха (Якутия)
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
Республики Саха (Якутия) «Ленский технологический техникум»

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Междисциплинарный курс: МДК.02.02 Контрольно-измерительные приборы

Профессия: 13.01.10 Электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования (по отраслям)

г. Ленск, 2024

Методические рекомендации по выполнению практических занятий составлены на основе требований Федерального государственного образовательного стандарта по профессии 13.01.10 Электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования (по отраслям) к содержанию и уровню подготовки выпускника в соответствии учебным планом и рабочей программой междисциплинарного курса МДК.02.02 Контрольно-измерительные приборы, утвержденных ГБПОУ РС (Я) «Ленский технологический техникум».

РЕКОМЕНДОВАНО

Учебно-методическим советом

ГБПОУ РС (Я) «Ленский технологический техникум»

Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
Республики Саха (Якутии)
«Ленский технологический техникум»
Учебно методический совет
Протокол № 10
«28» мая 2024 г.

Рассмотрена и рекомендована на заседании ПЦК «Профессиональной подготовки»

Протокол №10 от «6» июня 2024

Председатель ПЦК Лучина Г.А

Автор: Дьячков Юрий Юрьевич, мастер производственного обучения

Оглавление

Пояснительная записка 4
Практическая работа №1 .....**Ошибка! Закладка не определена.**
Практическая работа №2 .....**Ошибка! Закладка не определена.**
Практическая работа №3 .....**Ошибка! Закладка не определена.**
Практическая работа №4 .....**Ошибка! Закладка не определена.**
Практическая работа №5 .....**Ошибка! Закладка не определена.**
Практическая работа №6 .....**Ошибка! Закладка не определена.**
Практическая работа №7 .....**Ошибка! Закладка не определена.**
Практическая работа №8 .....**Ошибка! Закладка не определена.**
Практическое занятие №9.....**Ошибка! Закладка не определена.**
Практическое занятие №10.....**Ошибка! Закладка не определена.**
Практическое занятие №11.....**Ошибка! Закладка не определена.**
Литература: 7

Пояснительная записка

Методические указания к выполнению практических работ, обучающихся по междисциплинарному курсу **МДК.02.02 Контрольно-измерительные приборы** предназначены для обучающихся по профессии 13.01.10 Электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования (по отраслям).

Цель методических указаний: оказание помощи обучающимся в выполнении практических работ по междисциплинарному курсу МДК.02.02 Контрольно-измерительные приборы **в** учреждениях среднего профессионального образования.

В связи с введением в образовательный процесс нового Федерального государственного образовательного стандарта, который ориентирован на выработку у студентов общих и профессиональных компетенций – набора знаний, умений, навыков и личностных качеств, которые позволят выпускнику стать конкурентоспособным на рынке труда, все более актуальной становится задача организации практической работы студентов.

Практические занятия являются важной формой образовательного процесса и направлены на экспериментальное подтверждение теоретических положений и формирование учебных и профессиональных практических умений, они составляют важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки.

Цели практических занятий:

-помочь студентам систематизировать, закрепить и углубить знания теоретического характера;

-научить студентов приемам решения практических задач, способствовать овладению навыками и умениями составления служебных документов;

-научить их пользоваться справочной литературой и таблицами;

-формировать умение учиться самостоятельно, т. е. овладевать методами, способами и приемами самообучения, саморазвития и самоконтроля.

Настоящие методические указания содержат работы, которые позволят обучающимся самостоятельно овладеть фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по междисциплинарному курсу, опытом творческой и исследовательской деятельности и направлены на формирование следующих умений и знаний:

Уметь:

У.1. Выполнять испытания и наладку осветительных электроустановок;

У.2. Проводить электрические измерения;

У.3. Снимать показания приборов;

У.4. Проверять электрооборудование на соответствие чертежам, электрическим схемам, техническим условиям

Знать:

З1. - общую классификацию измерительных приборов;

З2. - схемы включения приборов в электрическую цепь;

З3. - документацию на техническое обслуживание приборов;

З4. - систему эксплуатации и поверки приборов; общие правила технического обслуживания измерительных приборов.

Результатом освоения МДК.02.02 Контрольно-измерительные приборы является овладение обучающимися общих компетенций (ОК) и профессиональных компетенций (ПК):

ОК.01: Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес

ОК.02: Организовать собственную деятельность, исходя из цели и способов её достижения, определенных руководителем.

ОК.03: Анализировать рабочую ситуацию, осуществлять текущий и итоговый контроль, оценку и коррекцию собственной деятельности, нести ответственность за результаты своей работы.

ОК.04: Осуществлять поиск информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач.

ОК.05: Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК.06: Работать в команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, клиентами.

ОК.07: Исполнять воинскую обязанность, в том числе с применением полученных профессиональных знаний (для юношей).

ВД 1 Сборка, монтаж, регулировка и ремонт узлов и механизмов оборудования, агрегатов, машин, станков и другого электрооборудования промышленных организаций

ВД 2 Проверка и наладка электрооборудования

ПК 2.1 Принимать в эксплуатацию отремонтированное электрооборудование и включать его в работу.

ПК 2.2 Производить испытания и пробный пуск машин под наблюдением инженерно-технического персонала.

ПК 2.3 Настраивать и регулировать контрольно-измерительные приборы и инструменты

Критериями оценки результатов внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся являются:

уровень освоения учебного материала;

уровень умения использовать теоретические знания при выполнении практических задач;

уровень умения активно использовать электронные образовательные ресурсы, находить требующуюся информацию, изучать ее и применять на практике;

обоснованность и четкость изложения материала;

оформление материала в соответствии с требованиями стандарта предприятия;

уровень умения ориентироваться в потоке информации, выделять главное;

уровень умения четко сформулировать проблему, предложив ее решение, критически оценить решение и его последствия;

уровень умения определить, проанализировать альтернативные возможности, варианты действий;

уровень умения сформулировать собственную позицию, оценку и аргументировать ее.

К категории *существенных ошибок* следует отнести ошибки, связанные с незнанием, непониманием учащимися основных положений теории и с неправильным применением методов, способов, приемов решения практических заданий, предусмотренных программой.

К категории *несущественных ошибок* следует отнести погрешности, связанные с небрежным выполнением записей, рисунков, графиков, чертежей, а также погрешности и недочеты, которые не приводят к искажению смысла задания и его выполнения.

При наличии существенной ошибки задание считается невыполненным.

Практические работы представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Перечень видов практических работ

Номер и наименование темы	**Наименование (содержание) практической работы**	**Кол-во час**	**Коды формируемых компетенций**	**Форма контроля**
МДК 02.02. Контрольно-измерительные приборы				

Тема 2.1. Погрешности измерений, классификация электроизмерительных приборов и систем	**Практическое занятие №1.** Определение метрологических характеристик прибора	2	ОК 01 ПК 2.3 ОК 03	Текущий контроль
	Практическое занятие №2. Определение погрешности измерений	2	ОК 01 ПК 2.3 ОК 03	Текущий контроль
	Практическое занятие №3. Устройство приборов различных измерительных систем. Магнитоэлектрические приборы	2	ОК 01 ПК 2.3 ОК 03	Текущий контроль
	Практическое занятие №4. Электромагнитные приборы	2	ОК 01 ПК 2.3 ОК 03	Текущий контроль
	Практическое занятие №5. Электродинамические приборы	2	ОК 01 ПК 2.3 ОК 03	Текущий контроль
	Практическое занятие №6. Ферродинамические приборы	2	ОК 01 ПК 2.3 ОК 03	Текущий контроль
	Практическое занятие №7. Приборы индукционной системы	2	ОК 01 ПК 2.3 ОК 03	Текущий контроль
	Практическое занятие №8. Ознакомление с техническими параметрами приборов. Проверка и подготовка измерительных приборов к работе	2	ОК 01 ПК 2.3 ОК 03	Текущий контроль
	Практическое занятие №9. Подключение электроизмерительных приборов в электрические цепи	2	ОК 01 ПК 2.3 ОК 03	Текущий контроль
	Практическое занятие №10. Цифровые вольтметры, частотомеры	2	ОК 01 ПК 2.3 ОК 03	Текущий контроль
Итого:		20		

Практическая работа №1

Тема: Определение метрологических характеристик прибора

Цель работы:

- Изучить основные метрологические характеристики электроизмерительных приборов (предел измерений, класс точности, абсолютная и относительная погрешности).
- Научиться рассчитывать погрешности измерений.

- Закрепить навыки выбора измерительного прибора в зависимости от требуемой точности.

Краткие теоретические сведения

1. Основные метрологические характеристики приборов:

- Предел измерения (диапазон измерений) — наибольшее значение измеряемой величины, которое может быть измерено данным прибором.
- **Цена деления шкалы** — значение измеряемой величины, соответствующее одному делению шкалы:

C=Amaxf_0NC=NAmax

где Amax$f_0$$A$max — верхний предел измерения, NN — общее число делений шкалы.

- **Класс точности (КТ)** — обобщённая характеристика прибора, определяющая наибольшую допускаемую относительную погрешность в процентах от предела измерения. Обозначается числом (0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5 и др.).

2. Виды погрешностей:

- Абсолютная погрешность (Δ):

Δ=|Xизм−Xд|Δ=|Xизм−Xд|

где XизмXизм — показание прибора, XдXд — действительное значение (обычно принятое за эталонное).

- **Приведённая погрешность (γ):**

γ=ΔAmaxf_0·100%γ=AmaxΔ·100%

Именно эта величина сравнивается с классом точности.

- Относительная погрешность (δ):

δ=ΔXизм·100%δ=XизмΔ·100%

Показывает точность конкретного измерения.

Оборудование и материалы

- Амперметр постоянного тока (например, М24, класс 2.5, предел измерения 2 А)
- Вольтметр постоянного тока (например, В7-26 или стрелочный, класс 1.5, предел измерения 30 В)
- Регулируемый источник постоянного тока
- Резисторы нагрузки
- Переключатель, соединительные провода
- Таблица результатов измерений (заготовлена заранее)

Ход работы

Задание 1. Изучение приборов и их характеристик

1. Ознакомьтесь с внешним видом, шкалами и паспортными данными двух приборов (амперметр и вольтметр).

2. Запишите в таблицу:

- Тип прибора
- Предел измерения
- Класс точности
- Число делений шкалы
- Цену деления
- Дату последней поверки (если есть)

Прибор	Предел, A/V	Класс точности	Число делений	Цена деления	Примечания
Амперметр	2 A	2.5	100	0.02 A	—
Вольтметр	30 B	1.5	150	0.2 B	—

Задание 2. Измерение тока и расчёт погрешностей

1. Соберите схему: источник → амперметр → резистор (нагрузка) → обратно к источнику.

2. Установите ток ≈ 0.5 A, 1.0 A, 1.5 A (по показаниям амперметра).

3. Запишите показания прибора (Хизм).

4. Измерьте тот же ток цифровым мультиметром (более точным, класс точности 0.5 или выше) — это будет Хд (действительное значение).

5. Рассчитайте:

- Абсолютную погрешность: Δ=|Хизм−Хд|Δ=|*X*изм−*X*д|
- Приведённую погрешность: γ=Δ2 A·100%*γ*=2AΔ·100%
- Относительную погрешность: δ=ΔХизм·100%*δ*=*X*измΔ·100%

Пример:

Показание амперметра: 1.00 A, показание эталонного прибора: 1.03 A

→ Δ = 0.03 A

→ γ = (0.03 / 2)·100% = 1.5% ≤ 2.5% — прибор исправен

→ δ = (0.03 / 1.00)·100% = 3%

Задание 3. Анализ и выводы

1. Сравните приведённую погрешность с классом точности: если $\gamma \leq$ КТ — прибор соответствует заявленному классу.

2. Объясните, почему относительная погрешность возрастает при измерении малых значений (например, при токе 0.2 А прибор с КТ 2.5% даёт $\delta \approx 25\%$).

3. Сделайте вывод о целесообразности измерения малых токов на пределе 2 А.

Контрольные вопросы

1. Что такое класс точности прибора? Как он обозначается?

2. В чём разница между приведённой и относительной погрешностью?

3. Почему приборы с меньшим классом точности стоят дороже?

4. Можно ли использовать прибор с КТ 2.5 для поверки прибора с КТ 1.5? Почему?

5. Как выбрать измерительный прибор для измерения тока ≈ 1.2 А с точностью не хуже 5%?

Практическая работа №2

Тема: Определение погрешности измерений

Цель работы:

- Научиться определять абсолютную, относительную и приведённую погрешности измерений.
- Провести сравнительный анализ погрешностей при использовании приборов разных классов точности.
- Освоить методику оценки достоверности измерений и выбора подходящего прибора для конкретной задачи.

Краткие теоретические сведения

1. Виды погрешностей:

Тип погрешности	**Формула**	**Примечание**
Абсолютная Δ	\(\Delta =	X_{\text{изм}} - X_{\text{д}}
Относительная δ	\(\delta = \dfrac{\Delta}{X_{\text{изм}}} \cdot 100\%\)	Характеризует точность конкретного измерения; растёт при малых значениях
Приведённая γ	\(\gamma = \dfrac{\Delta}{A_{\max}} \cdot 100\%\)	Сравнивается с классом точности (КТ) прибора

Важно!

Приведённая погрешность не зависит от измеренного значения, но определяет максимально допустимую абсолютную погрешность прибора:

Δmax=КТ·Amax100Δmax=100КТ·Amax

2. Пример:

Амперметр класса точности 1.5 с пределом 10 А:

Δmax=1.5·10100=0.15 AΔmax=1001.5·10=0.15 A

→ Любое показание прибора имеет погрешность ±0.15 А, даже если стрелка стоит на 1 А.

→ Относительная погрешность при измерении 1 А:

δ=0.151·100%=15%δ=10.15·100%=15%

Оборудование и материалы

- Аналоговый (стрелочный) вольтметр: КТ 2.5, предел 15 В
- Цифровой мультиметр (класс не хуже 0.5) — используется как эталон
- Регулируемый источник постоянного напряжения (0–20 В)
- Резистор (нагрузка, например, 1 кОм)
- Переключатель, соединительные провода
- Бланк отчёта (таблица измерений и расчётов)

Ход работы

Задание 1. Определение погрешностей при измерении напряжения

1. Соберите цепь:

Источник → вольтметр (аналоговый) → резистор → источник Параллельно подключите цифровой мультиметр (в режиме вольтметра) как эталон.

2. Установите на источнике напряжения значения, близкие к:
   - 3 В (≈ 20% шкалы)
   - 7.5 В (≈ 50% шкалы)
   - 12 В (≈ 80% шкалы)
3. Заполните таблицу:

№	**U_{аналог}, В (X_{изм})**	**U_{эталон}, В (X_д)**	**Δ, В**	**γ, %**	**δ, %**
1	…	…			
2	…	…			
3	…	…			

4. Рассчитайте для каждой строки:
   - Δ=|Uаналог−Uэталон|Δ=|*U*аналог−*U*эталон|
   - γ=Δ15·100%γ=15Δ·100%

- δ=ΔUаналог·100%δ=Uаналог Δ·100%

5. Сравните γγ с классом точности (2.5 %). Если γ≤2.5γ≤2.5 — прибор исправен.

Задание 2. Влияние класса точности на результат измерений

Повторите измерения при том же напряжении (например, 12 В), но замените аналоговый вольтметр:

- а) на другой аналоговый прибор с КТ = 1.0
- б) на цифровой прибор с КТ = 0.5

Сделайте вывод:

Как изменяются абсолютная и относительная погрешности при использовании приборов с разным классом точности?

Задание 3. Практическая задача (ситуационная)

Задача: Необходимо измерить напряжение на клеммах аккумулятора (номинал 12 В). Допустимая погрешность — не более ±0.6 В (т.е. δ ≤ 5%).
В наличии:

- Вольтметр №1: предел 15 В, КТ 2.5
- Вольтметр №2: предел 30 В, КТ 1.5
- Вольтметр №3: предел 10 В, КТ 1.0

Определите, какой прибор пригоден, а какой — непригоден, и почему.

Решение (для самопроверки):

- №1: Δmax=2.5%·15=0.375 ВΔmax=2.5%·15=0.375 В → допустимо (0.375 < 0.6) ✅
- №2: Δmax=1.5%·30=0.45 ВΔmax=1.5%·30=0.45 В → допустимо ✅
- №3: предел 10 В <12 В → нельзя использовать (выход за шкалу!)

Обратите внимание: даже более точный прибор нельзя использовать, если измеряемая величина превышает предел!

Контрольные вопросы

1. Чем отличается абсолютная погрешность от приведённой?
2. Почему измерение малых значений на верхнем пределе прибора даёт большую относительную погрешность?
3. Какой прибор точнее: КТ 1.5 с пределом 5 В или КТ 0.5 с пределом 30 В — при измерении 4 В?
4. Что означает надпись на шкале: «⊥» или «→»?
5. Как влияет температура и положение прибора на погрешность?

Практическая работа №3

Тема: Устройство приборов различных измерительных систем.

Магнитоэлектрические приборы

Цель работы:

- Изучить устройство, принцип действия и область применения магнитоэлектрической измерительной системы (МЭС).
- Научиться определять тип измерительного механизма по внешним признакам и маркировке.
- Освоить методику разборки/сборки (при наличии разборных макетов) и оценки состояния подвижной системы.

Краткие теоретические сведения

1. Классификация измерительных систем (по ГОСТ 8711 и учебным программам):

Система	**Принцип действия**	**Род тока**	**Преимущества**	**Недостатки**	**Примеры приборов**
Магнитоэлектрическая (МЭС)	Взаимодействие магнитного поля постоянного магнита и тока в рамке	Постоянный	Высокая чувствительность, точность (КТ до 0.1), малое потребление	Только для постоянного тока; чувствительна к перегрузкам	М367, М42303, Щитовые А/В постоянного тока
Электромагнитная	Втягивание или отжатие сердечника полем катушки	Постоянный и переменный	Простота, надёжность, перегрузочная способность	Нелинейная шкала, низкая точность (КТ ≥ 1.5)	Э80, Э515, ТМПА
Электродинамическая	Взаимодействие полей двух катушек	Постоянный и переменный	Высокая точность, пригодна для мощности	Сложность, чувствительность к внешним полям	Д50, ВАФ-16/66
Индукционная	Вихревые токи в алюминиевом диске	Только переменный	Надёжность, большой момент	Только для переменного тока	Счётчики активной энергии (СО-505)
Ферродинамическая	Комбинация ферромагнетика и динамического принципа	Переменный	Хорошая перегрузочная способность	Средняя точность	ТЩ-15, ТЩ-25 (амперметры в РУ)

Акцент на МЭС — основа большинства лабораторных приборов и аналоговых тестеров.

2. Устройство магнитоэлектрического измерительного механизма (ИМ):

[Схема МЭС (описание)]

1. Постоянный магнит — создаёт сильное равномерное радиальное поле.

2. Полюсные наконечники и цилиндрический сердечник — формируют узкий воздушный зазор с радиальным полем.

3. Подвижная рамка (катушка) — намотана на алюминиевый каркас; при протекании тока испытывает вращающий момент.

4. Силовые пружины (спирали) — подводят ток к рамке и создают противодействующий момент.

5. Указатель (стрелка) — закреплён на оси рамки.

6. Успокоитель — магнитоиндукционного типа: алюминиевый каркас рамки при движении в магнитном поле генерирует вихревые токи → демпфирование.

Принцип действия:

Мвр=B·I·N·S;Мпр=D·αMвр=$B \cdot I \cdot N \cdot S$;$M$пр=$D \cdot \alpha$

где:

- BB — индукция поля,
- II — ток в рамке,
- NN — число витков,
- SS — площадь рамки,
- DD — жёсткость пружин,
- αα — угол отклонения.

В положении равновесия: Мвр=Мпр⇒α∝IMвр=Mпр⇒$\alpha \propto I$ → линейная шкала.

Оборудование и материалы

- Разборный учебный макет магнитоэлектрического механизма (например, ИМ от прибора М24 или М42001) — *обязательно*
- Готовые приборы с МЭС:
  - Амперметр постоянного тока (М367, 0–1 А)
  - Вольтметр постоянного тока (М24, 0–30 В)
  - Комбинированный тестер (аналоговый, например, Ц43101)
- Лупа, пинцет, антистатический коврик
- Плакаты/схемы устройства МЭС
- Бланк паспорта прибора (для анализа маркировки)

Ход работы

Задание 1. Внешний осмотр и идентификация приборов

1. Осмотрите выданные приборы. Заполните таблицу:

№	Тип прибора	Предел	Класс точности	Знак системы (на шкале)	Особенности шкалы (линейная/нелинейная)	Вывод: тип ИМ
1	Амперметр М367	1 А	1.5	□ **—** (чёрточка)	Линейная	МЭС
2	Вольтметр М24	30 В	2.5	□ **—**	Линейная	МЭС
3	Тестер Ц43101	0–10 В DC	2.5	□ **—** на DC-диапазоне	Линейная	МЭС

Подсказка:

- Знак — (сплошная чёрточка) → магнитоэлектрическая система
- Знак ~ (тильда) → электромагнитная или электродинамическая
- Надпись «переменный» или значок □ — не МЭС!

Задание 2. Изучение устройства магнитоэлектрического механизма (на макете)

1. Под руководством мастера осторожно разберите макет (только если разрешено и есть навык!).

Запрещено разбирать исправные рабочие приборы без разрешения!

2. Найдите и зарисуйте (или сфотографируйте с разрешения) следующие элементы:

- Постоянный магнит
- Цилиндрический сердечник
- Подвижная рамка с обмоткой
- Противодействующие пружины
- Стрелку и ось
- Успокоитель (алюминиевый каркас)

3. Выполните схематичный рисунок устройства МЭС (обязательно в отчёт!).

Задание 3. Анализ паспорта (или таблички) прибора

На корпусе или в паспорте найдите:

- Завод-изготовитель
- Год выпуска
- Класс точности
- Род тока (= или —)
- Положение при эксплуатации (например, ⊥ — вертикальное)
- Термокомпенсация (например: «с термокомпенсацией» или «ТК»)

Зачем термокомпенсация?

Сопротивление рамки растёт с температурой → ток ↓ → показания ↓. В МЭС для компенсации часть меди заменяют манганином ($\alpha \approx 0$) или устанавливают добавочный резистор из манганина.

Задание 4. Эксперимент: Проверка линейности шкалы

1. Подключите вольтметр МЭС к регулируемому источнику постоянного тока.
2. Увеличивайте напряжение равными шагами (например, +2 В).
3. Зафиксируйте число делений шкалы.
4. Постройте график: деления → напряжение.

→ Должна получиться прямая линия (подтверждение линейности МЭС).

Контрольные вопросы

1. Почему магнитоэлектрические приборы нельзя подключать к сети переменного тока напрямую?
2. Какой элемент МЭС создаёт противодействующий момент?
3. Почему в МЭС используют радиальное магнитное поле?
4. Как влияет ослабление постоянного магнита на показания прибора?
5. В чём преимущество магнитоиндукционного успокоителя перед воздушным?

Практическая работа №4

Тема: Электромагнитные измерительные приборы

Цель работы:

- Изучить устройство, принцип действия и эксплуатационные особенности электромагнитной измерительной системы (ЭМС).
- Научиться распознавать электромагнитные приборы по внешним признакам и маркировке.
- Провести сравнительный анализ с магнитоэлектрическими приборами по точности, чувствительности и области применения.

Краткие теоретические сведения

1. Принцип действия электромагнитной системы

Основан на взаимодействии магнитного поля тока в неподвижной катушке с ферромагнитным сердечником, который частично втягивается (или отжимается) в катушку.

Два типа конструкций:

Тип	**Принцип**	**Особенности**
Втягивающая (наиболее распространённая)	Ток → поле в катушке → сердечник втягивается →	Простая, надёжная, низкая стоимость

	поворачивает ось со стрелкой	
Отталкивающая	Два сердечника намагничиваются одинаково → отталкиваются	Более линейная шкала, реже встречается

Важно:

α∝I2⇒шкала неравномерная (сжата у нуля, растянута в конце).$\alpha \propto I2$⇒шкала неравн омерная (сжата у нуля, растянута в конце).

2. Устройство (втягивающая система):

1. Неподвижная катушка — много витков толстого провода (для амперметров) или тонкого (для вольтметров).
2. Подвижный сердечник — из магнитомягкой стали, укреплён на оси.
3. Указатель (стрелка) — на той же оси.
4. Противодействующая пружина — создаёт возвращающий момент.
5. Успокоитель — чаще воздушный (поршень в цилиндре).
6. Регулятор нуля — винт для коррекции положения стрелки.

Преимущества ЭМС:

- Простота и надёжность
- Работает как на постоянном, так и на переменном токе (до ~200 Гц)
- Высокая перегрузочная способность
- Низкая стоимость

Недостатки:

- Низкая чувствительность
- Низкая точность (КТ обычно 1.5; 2.5; 4.0)
- Нелинейная шкала
- Чувствительность к внешним магнитным полям

3. Обозначения на шкале:

- Знак ~ (тильда) — может работать на переменном токе
- Знак — и ~ — универсальный (постоянный и переменный)
- Буква Э или значок катушки с сердечником (по ГОСТ)
- Положение: ⊥ (вертикальное) или → (горизонтальное)

Оборудование и материалы

- Электромагнитные приборы:
  - Амперметр Э80 (0–10 А, КТ 2.5)

- Вольтметр Э515 (0–250 В, КТ 1.5)
- Щитовой вольтметр переменного тока (например, ЭП-15)
- Магнитоэлектрический вольтметр (для сравнения, например, М24)
- Регулируемый источник переменного напряжения (0–250 В, 50 Гц)
- Регулируемый источник постоянного напряжения
- Разборный макет электромагнитного механизма (учебный)
- Лупа, линейка, схемы
- Плакат «Устройство электромагнитной системы»

Ход работы

Задание 1. Идентификация и внешний осмотр

1. Осмотрите выданные приборы. Заполните таблицу:

№	**Тип прибора**	**Предел**	**КТ**	**Род тока**	**Знак на шкале**	**Форма шкалы**	**Вывод: тип системы**
1	Э80 (амперметр)	10 А	2.5	=, ~	~ и —	Неравномерная	ЭМС
2	Э515 (вольтметр)	250 В	1.5	=, ~	~	Неравномерная	ЭМС
3	М24 (вольтметр)	30 В	2.5	=	—	Равномерная	МЭС

Обратите внимание:

- У ЭМС шкала «сжата» в начале — первые 30% диапазона занимают ~70% делений!
- Часто есть красная отметка «max» — предел длительного тока.

Задание 2. Изучение устройства (на макете)

1. Рассмотрите разборный макет ЭМС. Найдите и подпишите на схеме:
   - Катушку
   - Подвижный сердечник
   - Ось и стрелку
   - Противодействующую пружину
   - Воздушный успокоитель (цилиндр + поршень)
   - Регулятор нуля
2. Выполните схематичный рисунок устройства электромагнитного механизма (в отчёт).

Задание 3. Эксперимент: Сравнение на постоянном и переменном токе

1. Подключите амперметр Э80 последовательно с нагрузкой к источнику постоянного тока. Установите ток 4 А. Зафиксируйте показание.

2. Переключите цепь на переменный ток (50 Гц). Установите такое же *действующее* значение тока (по эталонному цифровому прибору — 4 А).

3. Сравните показания электромагнитного амперметра.

Ожидаемый результат:

Показания почти одинаковы — ЭМС измеряет действующее (среднеквадратичное) значение тока, независимо от формы (если частота ≤ 200 Гц).

Если есть осциллограф — можно показать, что при искажённой форме (например, выпрямленный ток) показания ЭМС будут отличаться от истинного СКЗ.

Задание 4. Анализ погрешности и шкалы

1. Разделите шкалу вольтметра Э515 на 5 равных *участков по напряжению* (0–50 В, 50–100 В, ..., 200–250 В).

2. Подсчитайте, сколько делений приходится на каждый участок.

3. Сделайте вывод:

В каком диапазоне измерений относительная погрешность минимальна? Почему? (Ответ: в конце шкалы — там больше делений на вольт → выше разрешение → меньше δ)

Контрольные вопросы

1. Почему шкала электромагнитных приборов неравномерная?

2. Можно ли электромагнитный прибор использовать в цепях постоянного тока? Почему?

3. Какой тип успокоителя чаще применяется в ЭМС и почему?

4. Почему чувствительность ЭМС ниже, чем у МЭС?

5. Как влияет частота переменного тока (>400 Гц) на показания электромагнитного прибора?

Практическая работа №5

Тема: Электродинамические измерительные приборы

Цель работы:

- Изучить устройство, принцип действия и особенности электродинамической измерительной системы (ЭДС).
- Научиться распознавать электродинамические приборы по маркировке, конструкции и области применения.

- Провести сравнительный анализ с магнитоэлектрическими и электромагнитными системами по точности, чувствительности и сфере использования.

Краткие теоретические сведения

1. Принцип действия

Электродинамическая система основана на взаимодействии магнитных полей двух катушек:

- неподвижной (токовая, толстый провод, мало витков)
- подвижной (напряжения, тонкий провод, много витков), укреплённой на оси.

При протекании тока через обе катушки возникает вращающий момент:

Mвр∝I1·I2·cosφMвр∝I1·I2·cosφ

где φφ — угол сдвига фаз между токами.

Важно:

- При постоянном токе: M∝I1·I2M∝I1·I2 → можно измерять ток, напряжение, мощность.
- При переменном токе: M∝U·I·cosφ=PM∝U·I·cosφ=P → прибор измеряет активную мощность!

→ Именно поэтому ЭДС — основа всех аналоговых ваттметров.

2. Устройство (упрощённо):

1. Неподвижная катушка (разделена на две половины — для однородного поля и компенсации веса)
2. Подвижная катушка — на лёгкой алюминиевой рамке
3. Противодействующие пружины — подводят ток к подвижной катушке
4. Стрелка и ось
5. Успокоитель — чаще воздушный (редко — магнитоиндукционный)
6. Экранирующий стальной кожух — защищает от внешних магнитных полей (но не полностью!)

3. Характеристики ЭДС:

Параметр	**Значение / Особенность**
Род тока	Постоянный и переменный (до ~150–200 Гц)
Точность	Высокая: КТ = 0.2; 0.5; 1.0 (лабораторные); до 2.5 (щитовые)
Чувствительность	Ниже, чем у МЭС (требуется больше мощности для отклонения)
Шкала	— Для амперметров/вольтметров: **неравномерная** (≈ квадратичная)

— Для ваттметров: равномерная (если \(\cos\varphi = \text{const}\))	
Перегрузочная способность	Низкая — легко повредить подвижную катушку
Влияние внешних полей	Значительное → требует экранирования

4. Обозначения на шкале:

- Знак ~ или — ~
- Буква Д (по ГОСТ — *динамо*)
- Для ваттметров: W и часто — шкала в делениях с указанием цены деления в ваттах
- Положение: ⊥ (только строго вертикальное!)

Оборудование и материалы

- Электродинамический ваттметр (например, Д504, 0–150 В, 0–1 А, КТ 0.5)
- Электродинамический амперметр или вольтметр (если есть — например, Д733)
- Лабораторный автотрансформатор (ЛАТР)
- Нагрузка: лампа накаливания (активная, cos φ≈1cosφ≈1) и дроссель с лампой (индуктивная, cos φ<1cosφ<1)
- Цифровой ваттметр / мультиметр с функцией измерения мощности и cos φcosφ — как эталон
- Разборный макет электродинамического механизма (учебный)
- Плакат «Устройство электродинамической системы»
- Схемы включения ваттметра

Ход работы

Задание 1. Внешний осмотр и идентификация

1. Осмотрите ваттметр Д504. Найдите и запишите:
   - Тип прибора
   - Пределы по току и напряжению
   - Класс точности
   - Знаки на шкале
   - Положение при эксплуатации
   - Наличие экрана
2. Заполните таблицу сравнения трёх систем:

Характеристика	**МЭС**	**ЭМС**	**ЭДС**
Род тока	=	=, ~	=, ~
Класс точности	0.1–2.5	1.5–4.0	0.2–2.5

Шкала (при измерении I/U)	Линейная	Нелинейная	Нелинейная
Используется в ваттметрах	✕	✕	✓
Чувствительность	Высокая	Низкая	Средняя

Задание 2. Изучение устройства (на макете)

1. Рассмотрите разборный макет ЭДС. Найдите и зарисуйте:

- Неподвижную катушку (разрезанную на две секции)
- Подвижную катушку
- Пружины
- Стрелку и ось
- Экран

2. Объясните, почему неподвижная катушка делится пополам:

→ Для создания симметричного поля и компенсации веса подвижной части.

Выполните схематичный рисунок в отчёт.

Задание 3. Эксперимент: Измерение мощности в разных цепях

1. Соберите схему включения ваттметра в цепь активной нагрузки (лампа 100 Вт):

```
Сеть → клеммы "I*" и "I" ваттметра → лампа → сеть
                          ↑
Клеммы "U*" и "U" ваттметра — параллельно лампе
```

1. Важно: соблюдайте полярность ("*"-клеммы — со стороны источника)!
2. Запишите показания:

- Ваттметра (в делениях и в ваттах)
- Эталонного цифрового прибора (активная мощность PP, напряжение UU, ток II, cosφ$\cos\varphi$)

3. Повторите измерение с активно-индуктивной нагрузкой (лампа + дроссель).
4. Рассчитайте погрешность:

Δ=|Рваттметр−Рэталон|,δ=ΔРэталон·100%$\Delta=|P_{ваттметр}-P_{эталон}|, \delta=\frac{\Delta}{P_{эталон}}\cdot 100\%$

⬙ Ожидаемый результат:

- При cosφ=1$\cos\varphi=1$ — показания близки.
- При cosφ=0.6$\cos\varphi=0.6$ — ваттметр по-прежнему корректен, так как реагирует на UIcosφ$UI\cos\varphi$.

Задание 4. Анализ шкалы и цены деления

У ваттметра Д504:

- Предел по току: 1 А
- Предел по напряжению: 150 В
- Число делений: 150

→ Максимальная мощность: Pmaxf_0=1·150=150 ВтPmax=1·150=150 Вт → Цена деления: C=150 Вт150=1 Вт/делC=150150 Вт=1 Вт/дел

❓ *Что будет, если нагрузка 50 Вт, а переключить пределы на 0.5 А и 300 В?*

→ Pmaxf_0=0.5·300=150 ВтPmax=0.5·300=150 Вт, но цена деления = 1 Вт/дел → то же разрешение, НО:

- Токовая цепь: 50 Вт / 300 В ≈ 0.17 А → при пределе 0.5 А измеряем 34% шкалы

→ δ растёт!

→ Вывод: оптимально выбирать пределы так, чтобы стрелка отклонялась >2/3 шкалы.

Контрольные вопросы

1. Почему электродинамический ваттметр показывает активную мощность даже в цепи переменного тока?
2. Можно ли использовать электродинамический вольтметр для измерения напряжения в цепи с высокой частотой (1 кГц)? Почему?
3. Почему неподвижная катушка ваттметра выполняется из толстого провода, а подвижная — из тонкого?
4. Что произойдёт, если перепутать клеммы "I*" и "U*" при включении ваттметра?
5. Почему ваттметры с ЭДС чувствительны к перегрузкам по току и напряжению?

Практическая работа №6

Тема: Ферродинамические измерительные приборы

Цель работы:

- Изучить устройство, принцип действия и эксплуатационные особенности ферродинамической измерительной системы (ФДС).
- Научиться распознавать ферродинамические приборы по внешнему виду, маркировке и области применения.
- Провести сравнительный анализ с электромагнитной и электродинамической системами по точности, надёжности и перегрузочной способности.

Краткие теоретические сведения

1. Что такое ферродинамическая система?

Ферродинамическая система (ФДС) — это модификация электродинамической, в которой подвижная катушка заменена постоянным магнитом, а неподвижная катушка оставлена, но помещена на ферромагнитный сердечник (отсюда название *ферро*динамическая).

Идея: совместить преимущества ЭМС (простота, прочность) и ЭДС (лучшая линейность и точность).

2. Принцип действия

- При протекании тока по неподвижной катушке создаётся магнитное поле в сердечнике.
- Это поле взаимодействует с полем постоянного магнита (закреплённого на подвижной оси), вызывая вращающий момент.

Мвр∝I·Впост·f(θ)⇒в пределах рабочего угла — почти линейная зависимость α∝I*M* вр∝*I*·*В*пост·*f*(*θ*)⇒в пределах рабочего угла — почти линейная зависимость *α*∝*I*

3. Устройство (основные элементы):

1. Неподвижная катушка — намотана на П-образный (или Ш-образный) ферромагнитный сердечник
2. Постоянный магнит — укреплён на оси и играет роль *подвижной катушки*
3. Стрелка и ось
4. Противодействующая пружина
5. Успокоитель — чаще воздушный
6. Экран — стальной кожух для защиты от внешних полей (обязателен!)

Благодаря ферромагнитному сердечнику — поле сильнее → повышается чувствительность и линейность по сравнению с ЭМС.

4. Основные характеристики ФДС:

Параметр	**Значение / Особенность**
Род тока	Переменный (50/60 Гц); некоторые — и постоянный
Класс точности	1.0; 1.5 (лучше, чем у ЭМС)
Шкала	Почти **линейная** (гораздо равномернее, чем у ЭМС)
Перегрузочная способность	Высокая — благодаря отсутствию подвижной обмотки (нет риска обрыва или межвиткового замыкания)
Чувствительность	Выше, чем у ЭМС, но ниже, чем у МЭС
Влияние внешних полей	Умеренное (экран эффективен)

Температурная погрешность	Меньше, чем у МЭС (постоянный магнит стабилен)

5. Область применения

ФДС широко применяется в щитовых приборах промышленных электроустановок:

- Амперметры и вольтметры переменного тока в распределительных щитах (0,4 кВ и 6–10 кВ)
- Особенно популярны в приборах типов:
  - ТЩ-15, ТЩ-25 — щитовые амперметры
  - ТВ-15, ТВ-25 — щитовые вольтметры
- Преимущество: надёжность + приемлемая точность + линейная шкала

6. Маркировка (на шкале и корпусе):

- Значок: катушка + постоянный магнит (по ГОСТ) — редко, чаще — только буквы
- Буква Т (например, ТЩ) — *тире* (устар.) или *тепловая компенсация* → фактически указывает на ФДС
- Надписи: «переменный ток», «50 Гц», «⊥»
- Класс точности: 1.0 или 1.5

Оборудование и материалы

- Ферродинамические приборы:
  - Амперметр ТЩ-15 (0–100 А, КТ 1.5)
  - Вольтметр ТВ-25 (0–500 В, КТ 1.5)
- Электромагнитный амперметр (Э80, для сравнения)
- Электродинамический ваттметр (Д504, для сравнения устройства)
- Источник переменного напряжения 0–250 В, 50 Гц (ЛАТР)
- Трансформатор тока (для подключения ТЩ-15)
- Нагрузка (активная: ТЭН или лампы)
- Разборный макет ферродинамического механизма (учебный)
- Лупа, линейка, фотоаппарат (с разрешения)

Ход работы

Задание 1. Внешний осмотр и идентификация

1. Осмотрите приборы ТЩ-15 и ТВ-25. Заполните таблицу:

Параметр	**ТЩ-15**	**Э80 (ЭМС)**	**Вывод**
Тип прибора	Щитовой амперметр	Щитовой амперметр	—

Предел	100 А	10 А	ФДС — для больших токов
Класс точности	1.5	2.5	ФДС точнее
Шкала	Почти равномерная	Сжата в начале	ФДС ближе к линейной
Масса / габариты	Крупный, массивный	Лёгкий	ФДС — тяжелее из-за сердечника и магнита
Надпись на корпусе	«ТЩ-15», «1.5», «⊥»	«Э80», «2.5»	Буква **Т** → признак ФДС

Обратите внимание: у ТЩ-15 — выводы под винт, корпус — металлический, защитное стекло усиленное.

Задание 2. Изучение устройства (на макете)

1. Рассмотрите разборный макет ФДС. Найдите и зарисуйте:
   - П-образный ферромагнитный сердечник
   - Неподвижную катушку
   - Постоянный магнит на оси
   - Противодействующую пружину
   - Стрелку
   - Воздушный успокоитель
   - Стальной экран
2. Сравните с ЭМС и ЭДС:
   - **!** В отличие от ЭДС — нет подвижной катушки → выше надёжность.
   - **!** В отличие от ЭМС — есть постоянный магнит → выше линейность.

Выполните схематичный рисунок в отчёт.

Задание 3. Эксперимент: Сравнение шкал ФДС и ЭМС

1. Подключите ТЩ-15 (через ТТ 100/5 А) и Э80 (напрямую или через шунт — по схеме мастера) в одну цепь переменного тока.
2. Постепенно увеличивайте ток: 20 А, 40 А, 60 А, 80 А, 100 А (по эталонному цифровому амперметру).
3. Запишите показания обоих приборов.
4. Рассчитайте относительную погрешность каждого:

δ=|Iприбор−Iэталон|Iэталон·100%δ=Iэталон|Iприбор−Iэталон|·100%

5. Постройте график: δ (%) → I (А) для обоих приборов.

Ожидаемый результат:

- У ТЩ-15 (ФДС) — δ почти постоянна во всём диапазоне (линейная шкала).

- У Э80 (ЭМС) — δ резко возрастает при малых токах (например, при 20 А — δ ≈ 10–12%).

Задание 4. Анализ условий эксплуатации

1. Найдите на корпусе прибора:
   - Допустимую температуру окружающей среды
   - Степень защиты (IP)
   - Год выпуска и дату поверки
2. Ответьте:

Почему ферродинамические приборы предпочтительны в распределительных щитах промышленных предприятий?

(Ответ: сочетание точности, линейности, прочности, устойчивости к вибрации и перегрузкам.)

Контрольные вопросы

1. Чем отличается ферродинамическая система от электродинамической?
2. Почему в ФДС отсутствует подвижная катушка? Как это влияет на надёжность?
3. Можно ли использовать ферродинамический прибор в цепи постоянного тока? Почему?
4. Почему у приборов типа ТЩ/ТВ указывается положение («⊥»)? Что будет при горизонтальной установке?
5. Как влияет старение постоянного магнита на показания прибора?

Практическая работа №7

Тема: Приборы индукционной системы

Цель работы:

- Изучить устройство, принцип действия и особенности индукционной измерительной системы (ИС).
- Научиться распознавать индукционные приборы и объяснять их применение исключительно в цепях переменного тока.
- Провести анализ работы однофазного счётчика активной энергии — основного представителя индукционной системы.

Краткие теоретические сведения

1. Принцип действия индукционной системы

Основан на взаимодействии вихревых токов, индуцируемых в подвижном алюминиевом диске, с магнитными полями двух неподвижных катушек:

- Токовая катушка (малое сопротивление, толстый провод, последовательно с нагрузкой)
- Катушка напряжения (большое сопротивление, тонкий провод, включается параллельно сети)

⬙ Обе катушки питаются от сети ~50 Гц и сдвинуты в пространстве на ~90°.

⬙ Их суммарное поле индуцирует в диске вихревые токи → создаётся вращающий момент:

$M_{вр} \propto U \cdot I \cdot \cos\varphi = P$

⬙ Противодействующий момент создаётся постоянным тормозным магнитом.

⬙ В установившемся режиме: частота вращения диска ∝ активной мощности, а число оборотов ∝ расходу энергии.

2. Устройство однофазного индукционного счётчика (например, СО-505):

Элемент	Назначение
Токовая катушка	Включается последовательно с нагрузкой; создаёт магнитный поток $\Phi_I \propto I$
Катушка напряжения	Включается параллельно сети; поток $\Phi_U \propto U$
Алюминиевый диск	Подвижная часть; в нём наводятся вихревые токи
Постоянный тормозной магнит	Создаёт тормозной момент $M_{\text{торм}} \propto n$ (оборотов/мин) → обеспечивает линейность
Червячная передача и счётный механизм**	Преобразует обороты диска в кВт·ч (обычно 600–1200 об/кВт·ч)
Устройство компенсации хода без нагрузки	Компенсирует самовращение («самоход») при отключённой нагрузке

3. Основные характеристики ИС:

Параметр	Значение / Особенность
Род тока	Только переменный (50/60 Гц) — иначе нет изменения потока → нет ЭДС индукции
Измеряемая величина	Энергия (кВт·ч), реже — мощность (редко)
Точность	Классы: 1.0, 2.0, 2.5 (для бытовых — 2.0)
Перегрузочная способность	Высокая (по току — до 6×I_{ном})
Надёжность	Очень высокая (срок службы 25–30 лет)
Чувствительность	Низкая (порог чувствительности ~0.5–1% I_{ном})

4. Маркировка на счётчике:

- С — счётчик

- О — однофазный
- А — активной энергии
- И — индукционный (в новых обозначениях)
- Например: СО-505, САИ-1, СОЭ-52

Примечание: Современные счётчики — электронные, но индукционные до сих пор эксплуатируются (особенно в сельской местности), а принцип — обязателен для понимания.

Оборудование и материалы

- Индукционный однофазный счётчик: СО-505 (220 В, 5–20 А, КТ 2.0) — *без крышки клеммной колодки для осмотра*
- Электронный счётчик (для сравнения, например, НЕВА 103)
- ЛАТР 0–250 В, 50 Гц
- Нагрузка:
  - Активная — лампы накаливания (100 Вт, 500 Вт)
  - Активно-индуктивная — ТЭН + дроссель
- Цифровой ваттметр (для контроля мощности и cos φ)
- Тахометр (оптический или механический) — для измерения частоты вращения диска
- Макет-разрез счётчика (учебный) или плакат «Устройство СО-505»
- Фонарик, лупа

Ход работы

Задание 1. Внешний осмотр и расшифровка маркировки

1. Осмотрите счётчик СО-505. Заполните таблицу:

Параметр	**Значение**
Тип	СО-505
Расшифровка	С — счётчик, О — однофазный, 5 — номер разработки, 05 — модификация
Номинальное напряжение	220 В
Ток: базовый / макс.	5 (20) А
Класс точности	2.0
Передаточное число	600 об/кВт·ч (указано на шкале)
Год выпуска, дата поверки	…
Наличие пломб (госповерка, магнитная)	…

2. Осмотрите клеммную колодку (без снятия напряжения!):
   - Клеммы 1–2 — вход/выход фазы
   - Клеммы 3–4 — вход/выход нуля
   - Важно: При ошибке подключения — счётчик не вращается или вращается назад.

Задание 2. Изучение устройства (на макете или снятом счётчике)

1. Рассмотрите разборный макет. Найдите и зарисуйте:

- Токовую катушку (толстый провод, 1–3 витка, проходит через диск)
- Катушку напряжения (тонкий провод, ~1000 витков, на П-сердечнике)
- Алюминиевый диск
- Тормозной магнит (обычно U-образный, сбоку от диска)
- Червячную передачу и счётный механизм
- Устройство компенсации самохода (винт или шайба)

Выполните схематичный рисунок (или вставьте фото с подписями) в отчёт.

Задание 3. Эксперимент: Проверка передаточного числа

1. Подключите счётчик к ЛАТРу и нагрузке (лампа 500 Вт).
2. Установите напряжение 220 В, зафиксируйте мощность по цифровому ваттметру (например, $P = 500$ *Вт*).
3. Засеките время t (в секундах), за которое диск сделает $N = 10$ оборотов.
4. Рассчитайте:

- Энергия за это время:

W=P·t·13600 кВт\cdotрчW=P·t·36001 кВт\cdotрч

- Ожидаемое число оборотов:

Nрасч=W·C=W·600 (об/кВт\cdotрч)Nрасч=W·C=W·600 (об/кВт\cdotрч)

- Погрешность:

δ=|N−Nрасч|Nрасч·100%δ=Nрасч|N−Nрасч|·100%

🔹 *Пример:*

P = 500 Вт = 0.5 кВт, t = 120 с

→ W = 0.5 × 120 / 3600 = 0.0167 кВт·ч

→ Nрасч = 0.0167 × 600 ≈ 10 об → δ ≈ 0% ✅

Если δ > 2% — счётчик требует поверки.

Задание 4. Влияние cos φ на работу счётчика

1. Повторите измерение с активно-индуктивной нагрузкой (лампа + дроссель, cos φ ≈ 0.6).
2. Зафиксируйте:

- Ту же *активную мощность* (например, 300 Вт)
- Частоту вращения диска

3. Сравните с активной нагрузкой при той же P.

Ожидаемый результат:

Частота вращения одинакова! → Счётчик учитывает только активную энергию, не реагируя на реактивную.

Контрольные вопросы

1. Почему индукционные приборы нельзя использовать в цепях постоянного тока?
2. Какой элемент создаёт тормозной момент в счётчике и почему он необходим?
3. Что такое «самоход» счётчика и как он компенсируется?
4. Почему диск делают из алюминия, а не из железа или меди?
5. Как влияет снижение напряжения сети (до 190 В) на погрешность индукционного счётчика?

Практическая работа №8

Тема: Ознакомление с техническими параметрами приборов. Проверка и подготовка измерительных приборов к работе

Продолжительность: 2 часа (90 минут)

Место проведения: лаборатория электротехнических измерений
Форма отчёта: письменный отчёт в рабочей тетради / рабочем журнале

Цель работы

1. Научиться распознавать и интерпретировать основные технические параметры электроизмерительных приборов по маркировке, шкале и сопроводительной документации.
2. Освоить последовательность внешнего осмотра, механической проверки и подготовки прибора к работе в соответствии с требованиями ПТЭЭП, ГОСТ 8711-2019 и инструкциями по охране труда.
3. Сформировать навыки безопасного обращения со средствами измерений — базовая компетенция электромонтёра.

Краткие теоретические сведения ***(выдаются студентам перед работой или в начале занятия)***

1. Основные параметры, обязательные к проверке:

Параметр	**Где искать**	**Почему важен**
Предел измерения	Шкала, корпус	Превышение → повреждение прибора (обрыв рамки, сгорание обмотки)
Класс точности (КТ)	Цифра в кружке на шкале (напр., 1.5)	Определяет максимальную абсолютную погрешность:

		\(\Delta_{\max} = \frac{КТ \cdot A_{\max}}{100}\)
Род тока	Знаки: **⎓**, **~**, **⎓~**	МЭС на переменный ток — не работает; ЭМС/ФДС/ИС на постоянный — искажённые показания
Положение при эксплуатации	Условные знаки: **⊥**, **→**, **∟**	Отклонение → дополнительная погрешность до ±1%
Дата и срок поверки	Поверительное клеймо / этикетка	Просроченный прибор — **запрещён к применению** (ПТЭЭП, п. 1.5.13)
Измерительная система	Знаки (⎓, ~, Д, И) или обозначение (М, Э, ТЩ, СО)	Определяет принцип действия, особенности, ограничения

Последовательность подготовки прибора:

1. Проверка комплектности и документации

→ Паспорт, свидетельство о поверке, руководство по эксплуатации.

2. Внешний осмотр

→ Целостность корпуса, стекла, клемм; отсутствие следов нагрева, влаги, механических повреждений.

3. Проверка механической части

→ Плавность хода стрелки, отсутствие заеданий, возврат на нуль.

4. Установка на нуль

→ Регулировка при строго рабочем положении.

5. Выбор предела

→ При неизвестной величине — начинать с максимального предела.

6. Подключение

→ Соблюдение полярности (для МЭС), правильная схема включения (последовательно/параллельно).

Оборудование и материалы

Наименование	**Количество**	**Примечание**
Вольтметр магнитоэлектрический М24 (0–30 В, КТ 2.5)	2 шт	С клеймом поверки и без
Амперметр электромагнитный Э80 (0–10 А, КТ 2.5)	2 шт	Один — с заедающей стрелкой
Вольтметр ферродинамический ТВ-25 (0–500 В, КТ 1.5)	1 шт	Щитовой, с этикеткой
Счётчик индукционный СО-505 (без напряжения!)	1 шт	Для осмотра клеммной колодки

Цифровой мультиметр DT-830B	2 шт	Для сравнения и эталонных измерений
Паспорта приборов (реальные/копии)	5 шт	Включая просроченный
Лупа, фонарик, антистатический коврик	по потребности	—
Журнал учёта СИ (макет)	1 экз	Для записи данных
Плакат: «Условные обозначения на шкалах» (ГОСТ 8711)	1 шт	На стенде

Ход работы ***(выполняется бригадами по 2–3 человека)***

Задание 1. Анализ маркировки и расшифровка параметров ***(25 мин)***

1. Возьмите 4 прибора (М24, Э80, ТВ-25, СО-505).

2. Заполните таблицу в отчёте:

№	Тип	Предел	КТ	Род тока	Положение	Система	Дата поверки	Годен до	Примечания
1	М24	30 В	2.5	—	⊥	МЭС	12.2024	12.2026	Есть ТК
2	Э80	10 А	2.5	~	⊥	ЭМС	03.2023	03.2025	❗ Просрочен
3	ТВ-25	500 В	1.5	~	⊥	ФДС	07.2025	07.2027	Щитовой
4	СО-505	220 В, 5–20 А	2.0	~	⊥	ИС	10.2024	10.2026	600 об/кВт·ч

Вывод по заданию:

Прибор Э80 нельзя использовать — просрочена поверка. Остальные — пригодны при отсутствии механических повреждений.

Задание 2. Внешний осмотр и механическая проверка *(30 мин)*

Для каждого из 4 приборов выполните:

1. Осмотрите корпус, стекло, клеммы. Зафиксируйте дефекты.

2. Плавно отклоните стрелку (рукой или лёгким наклоном), отпустите — должна плавно вернуться на ноль.

3. Проверьте регулировку нуля:

- Установите прибор в рабочее положение (⊥).
- При необходимости — отрегулируйте винтом.

4. Запишите результаты:

Прибор	Дефекты	Ход стрелки	Нуль регулируется?	Годен к работе?
М24 (№1)	Нет	Плавный	✅ Да	✅
Э80 (№1)	Клеммы окислены	Заедает при 8 А	❌ Нет	❌
ТВ-25	Нет	Плавный	✅ Да	✅

СО-505	Стекло целое	Диск вращается свободно	—	✓

Задание 3. Подготовка к измерению (ситуационная задача) ***(20 мин)***

Ситуация:

В РУ-0,4 кВ требуется измерить напряжение на шинах (ожидается ~225 В). В наличии:

- М24 (0–30 В)
- Э515 (0–250 В, КТ 1.5, поверка 01.2025)
- ТВ-25 (0–500 В, КТ 1.5)

Выполните:

1. Выберите прибор и обоснуйте выбор.
2. Опишите последовательность подготовки выбранного прибора к работе (по пунктам).

Правильный ответ:

- Э515 — предел 250 В оптимален (225 В ≈ 90% шкалы), КТ 1.5 допустим для щитовых измерений, поверка действительна.
- *М24* — нельзя (предел 30 В), *ТВ-25* — можно, но хуже разрешение (δ выше из-за меньшего отклонения).

Подготовка Э515:

1. Проверить срок поверки —
2. Установить вертикально (⊥).
3. Отрегулировать нулевую установку.
4. Подключить к испытательным клеммам: «*» — к фазе, «–» — к нулю.
5. Плавно подать напряжение, снять показания.

Задание 4. Работа с паспортом ***(10 мин)***

По паспорту на Э515 найдите и запишите:

- Нормальные условия: +20 ±5°C, 65 ±15%
- Доп. погрешность от температуры: ±0.2% на 10°C
- Сопротивление цепи: 12 кОм
- Потребляемая мощность: ≤ 2.5 В·А
- Срок службы: 10 лет

Расчёт: При t = +35°C дополнительная погрешность =

15°C10°C·0.2%=0.3%⇒γсум=1.5%+0.3%=1.8%10°C15°C·0.2%=0.3%⇒γсум =1.5%+0.3%=1.8%

Контрольные вопросы ***(устно или письменно)***

1. Почему магнитоэлектрический прибор не покажет напряжение сети 220 В?
2. Как проверить, не «самоходит» ли счётчик?
3. Что делать, если стрелка не возвращается на ноль, а регулировка не помогает?
4. Можно ли эксплуатировать прибор с треснувшим стеклом? Почему?
5. Как влияет потребляемая мощность прибора на измерение в слаботочных цепях?

Практическая работа №9

Тема: Подключение электроизмерительных приборов в электрические цепи Цель работы:

- Освоить схемы включения амперметров, вольтметров и ваттметров в цепи постоянного и переменного тока.
- Научиться правильно выбирать схему подключения в зависимости от типа прибора, пределов измерения и характера нагрузки.
- Отработать навыки безопасного монтажа и проверки правильности включения приборов — ключевая компетенция электромонтёра.

Краткие теоретические сведения

1. Основные правила подключения:

Прибор	**Способ включения**	**Особенности**
Амперметр	Последовательно с нагрузкой	- Внутреннее сопротивление мало (доли Ом)
→ Нельзя включать напрямую на источник! (КЗ)		
→ Для больших токов — через шунт (МЭС) или трансформатор тока (ТТ) (переменный ток)		
Вольтметр	Параллельно участку цепи	- Внутреннее сопротивление велико (кОм и более)
→ Нельзя включать последовательно — цепь обесточится		

Ваттметр	Токовая обмотка — последовательно, обмотка напряжения — параллельно	- Соблюдать полярность («*»-клеммы со стороны источника)
→ При ошибке — стрелка отклоняется влево (в упор)		

2. Схемы включения (обязательно к запоминанию):

Амперметр постоянного тока (МЭС) с шунтом

```
1  + ──► [*A]──[Шунт]──► - нагрузка
2          |
3         [A]
```

→ Шунт берёт основной ток; через рамку — доля.

Амперметр переменного тока через ТТ

```
1  Φ ──► (•)──(•) ──► нагрузка
2        | TT |
3        └[A]┘   (вторичная обмотка 5 А)
```

→ Вторичная обмотка ТТ нельзя оставлять разомкнутой при протекании первичного тока!

Вольтметр через добавочный резистор (МЭС)

```
1  Сеть ──► [*I]──[I] ──► Нагрузка
2           |
3          [*U]
4           |
5          [U] ──────────┘
```

→ Клеммы с «*» объединены со стороны источника.

Оборудование и материалы

Наименование	**Количество**	**Примечание**
Источник постоянного тока 0–30 В, 5 А	1	Лабораторный БП
Источник переменного тока 0–250 В, 50 Гц (ЛАТР)	1	С изоляцией
Амперметр М367 (0–1 А, МЭС)	1	С шунтом 75 мВ
Вольтметр М24 (0–30 В, МЭС)	1	—
Амперметр Э80 (0–10 А, ЭМС)	1	—
Вольтметр Э515 (0–250 В, ЭМС)	1	—
Ваттметр Д504 (0–1 А, 0–150 В, ЭДС)	1	—
Трансформатор тока 100/5 А	1	С нагрузочным резистором 0.1 Ом
Шунт 75 мВ, 10 А	1	Для М367
Нагрузки: лампы (24 В/100 Вт, 220 В/100 Вт), ТЭН	по 2–3	Активные

Дроссель (для cos φ < 1)	1	—
Щитовая панель с клеммными колодками, перемычками	1	Имитация РЩ
Измерительные провода с «бананами», зажимы «крокодил»	комплект	—
Цифровой мультиметр (эталон)	2	Для контроля

Ход работы

Задание 1. Подключение амперметров *(25 мин)*

1. Постоянный ток (МЭС):

- Соберите цепь: **ИП → [М367 + шунт 10 А] → лампа 24 В/100 Вт → ИП**
- Установите ток 0.5 А, 2 А, 5 А.
- Запишите показания. Проверьте по эталону.

Попытка ошибки: отключите шунт — что произойдёт? (стрелка резко вправо → перегрузка!)

2. Переменный ток (ЭМС и через ТТ):

- Соберите: **ЛАТР → [Э80] → лампа 220 В → ЛАТР**
- Повторите измерение с **ТЩ-15 через ТТ 100/5 А** (вторичная цепь → 5 А).
- Сравните точность и линейность.

Вывод:

Шунт и ТТ расширяют пределы измерения и обеспечивают безопасность.

Задание 2. Подключение вольтметров *(20 мин)*

1. Измерьте напряжение на лампе 220 В:
   - Параллельно нагрузке — **Э515**
   - Параллельно источнику — **М24 (через делитель, НЕ напрямую!)**
2. **!** Ошибка: включите М24 **последовательно** — цепь не замкнётся (ток ≈ 0).
3. Запишите:
   - Uист, Uнагр, Uпадение на проводах
   - Объясните разницу.

Задание 3. Подключение ваттметра *(30 мин)*

1. Соберите цепь с активной нагрузкой (лампа 220 В):

```
1  ЛАТР ──► [*I]──[I] ──► лампа ──► ЛАТР
2     │       │
3             [*U]
4               │
5             [U] ──────────────┘
```

1. Запишите:

- Рваттметр, U, I, cos φ (по эталону)

2. Повторите с активно-индуктивной нагрузкой (лампа + дроссель).

3. Ошибка: перепутайте «*»-клеммы напряжения и тока — стрелка отклонится влево.

→ Объясните почему.

Задание 4. Ситуационные задачи (письменно) ***(10 мин)***

1. Задача 1:

Амперметр с пределом 5 А показывает 4.8 А. Можно ли переключиться на предел 2 А для повышения точности? Почему?

Ответ: Нельзя — возможна перегрузка при скачке тока.

Задача 2:

При включении ваттметра стрелка упала влево. Какие возможны причины?

Ответ:

- Перепутаны «*»-клеммы токовой или цепи напряжения
- Нагрузка имеет ёмкостный характер (редко в промышленности)

Контрольные вопросы

1. Почему вторичную обмотку трансформатора тока нельзя оставлять разомкнутой?

2. Как рассчитать сопротивление шунта для расширения предела амперметра?

3. Чем опасно включение вольтметра последовательно в цепь?

4. Как изменится показание ваттметра, если переставить «*»-клемму только в цепи напряжения?

5. Почему в схемах РУ-0,4 кВ вольтметры часто подключают через переключатель фаз?

Практическая работа №10

Тема: Цифровые вольтметры и частотомеры

Цель работы:

- Изучить принцип действия, структуру и основные технические характеристики цифровых измерительных приборов (ЦИП).

- Научиться определять класс точности, разрядность, время измерения и погрешности цифровых вольтметров и частотомеров.
- Освоить методику работы с цифровыми приборами в реальных условиях эксплуатации — ключевой навык современного электромонтёра.

Краткие теоретические сведения

1. Преимущества цифровых приборов перед аналоговыми:

Параметр	**Аналоговые (стрелочные)**	**Цифровые (ЦИП)**
Чувствительность	Высокая (МЭС)	Очень высокая (до мкВ)
Входное сопротивление	1–20 кОм/В	≥ 10 МОм (постоянно!)
Влияние положения	Требуется ⊥/→	Не зависит
Параллакс	Ошибка при косом взгляде	Отсутствует
Автоматизация	Нет	Интерфейсы (RS-232, USB), память, автонастройка
Потребляемая мощность	От измеряемой цепи	От собственного ИП (батарея/сеть)

2. Основные характеристики цифровых приборов:

Понятие	**Пояснение**	**Пример**
Разрядность	Число значащих цифр на дисплее	3½ разряда = до 1999 (старший — «1»)
Разрешение	Минимальный шаг измерения	На пределе 2 В: 1 мВ (при 3½ разр.)
Время измерения (aperture time)	Время интегрирования сигнала	20 мс (для 50 Гц — подавление помех)
Основная погрешность	Задаётся формулой:	
\(\delta = \pm(a\% \text{ от показания} + b \text{ цифр})\)	±(0.5% + 2 ед.)	
Дополнительные погрешности	От температуры, питания, частоты	±0.1% при t = +10…+30 °C

Пример расчёта погрешности:

Прибор: ±(0.8% + 3 ед.), предел 20 В, показание 12.45 В:

- Составляющая «%»: 0.8% × 12.45 = 0.0996 В
- Составляющая «цифр»: 3 × 0.01 В (шаг = 0.01 В) = 0.03 В
- Итого: Δ=±(0.0996+0.03)=±0.13 ВΔ=±(0.0996+0.03)=±0.13 В

→ Результат: 12.45 ± 0.13 В

3. Принцип действия цифрового вольтметра (на основе интегрирующего АЦП двойного интегрирования):

1. Сигнал интегрируется в течение фиксированного времени T1*T*1 (например, 20 мс = 1 период 50 Гц).

2. Затем интегрируется опорное напряжение противоположной полярности — до нуля.

3. Время T2*T*2 пропорционально входному напряжению. Преимущество: подавление помех кратных 50 Гц (сетевые наводки).

4. Цифровые частотомеры:

- Измеряют частоту, период, коэффициент заполнения, счёт импульсов.
- Принцип: подсчёт числа периодов сигнала за фиксированный интервал (например, 1 с).
- Минимальная частота измерения: зависит от времени счёта (при 10 с → 0.1 Гц).
- Вход: обычно ТТЛ-совместимый (0–5 В) или с аттенюатором (до 250 В).

Оборудование и материалы

Наименование	**Количество**	**Примечание**
Цифровой мультиметр DT-830B (3½ разр., КТ 0.5%)	2 шт	Базовый
Цифровой мультиметр M-838 (3¾ разр., КТ 0.3%)	1 шт	Повышенной точности
Лабораторный цифровой вольтметр В7-26А или аналог	1 шт	4½ разр., КТ 0.05%
Цифровой частотомер Ч6-12 или встроенный в генератор	1 шт	0.1 Гц–1 МГц
Генератор сигналов **ГЗ-118 (или функциональный)	1 шт	Синус, меандр, треугольник
Источник постоянного напряжения регулируемый (0–30 В)	1 шт	С встроенным эталоном или внешний вольтметр класса 0.05
Осциллограф (для визуализации формы сигнала)	1 шт	По возможности
Набор резисторов, делителей напряжения	—	Для моделирования нагрузки
USB-кабель, ПО для сбора данных (если поддерживается)	—	Опционально

Ход работы

Задание 1. Изучение маркировки и характеристик ЦИП *(20 мин)*

1. Осмотрите приборы: DT-830B, M-838, В7-26А.

2. Заполните таблицу:

Параметр	**DT-830B**	**M-838**	**В7-26А**
Разрядность	3½	3¾	4½

Макс. отсчёт	1999	3999	19999
Класс точности (постоянное U)	±(0.5% + 1)	±(0.3% + 2)	±(0.05% + 3)
Входное R	10 МОм	10 МОм	10 МОм / 100 МОм
Автомат.выбор предела	✕ Нет	✓ Да	✓ Да
Питание	9 В батарея	9 В батарея	Сеть 220 В
Интерфейс	—	—	RS-232

Вывод: Чем выше разрядность и КТ — тем точнее, но дороже и сложнее прибор.

Задание 2. Измерение постоянного напряжения и расчёт погрешности *(25 мин)*

1. Установите на источнике: 1.5 В, 5.0 В, 12.7 В.
2. Измерьте каждое напряжение всеми тремя приборами.
3. Рассчитайте абсолютную и относительную погрешности, используя паспортные формулы.

Пример для DT-830B (±0.5% + 1 ед.) на 5.00 В (предел 20 В, шаг = 0.01 В):

- $\Delta = \pm(0.5\% \times 5.00 + 1 \times 0.01) = \pm(0.025 + 0.01) = \pm 0.035$ В
- $\delta = 0.035 / 5.00 \times 100\% = 0.7\%$

Занесите в таблицу:

U_{ист}, В	**Прибор**	**Показание, В**	**Δ_{расч}, В**	**δ, %**
5.00	DT-830B	5.02	±0.035	0.7
5.00	M-838	5.01	±0.025	0.5
5.00	B7-26A	5.001	±0.006	0.12

Задание 3. Измерение переменного напряжения и влияние формы сигнала *(20 мин)*

1. Подключите генератор к приборам. Установите:
   - Синус, 50 Гц, 10 В (действующее)
   - Меандр, 50 Гц, 10 В (амплитуда)
   - Треугольник, 50 Гц
2. Запишите показания цифровых вольтметров.
3. Сравните с осциллографом ($U_{действ} = U_{ампл}/\sqrt{2}$ для синуса).

Ожидаемый результат:

- Большинство бюджетных ЦИП (DT-830B) измеряют средневыпрямленное, но градуированы в действующих для синуса.

→ Для меандра и треугольника — ошибки до 10–40%!

- Лабораторные приборы (B7-26A) — True RMS → точны для любой формы.

Задание 4. Работа с цифровым частотомером *(20 мин)*

1. Подключите выход генератора к частотомеру.

2. Установите частоты: 1 Гц, 50 Гц, 400 Гц, 10 кГц.

3. Измерьте частоту. Запишите время измерения (обычно указывается на дисплее: Gate — 1 s, 10 s).

4. Проверьте:

- Как изменяется разрешение при увеличении времени счёта?

(При Gate = 1 с → 1 Гц, при 10 с → 0.1 Гц)

- Как влияет форма сигнала (синус/меандр) на точность?

(Меандр — лучше, из-за чёткого фронта)

Выполните расчёт погрешности частотомера:

Для Ч6-12 (±(0.01% + 1 ед.) при Gate = 1 с, f = 50.00 Гц):

- $\Delta = \pm(0.01\% \times 50 + 1 \times 0.01) = \pm(0.005 + 0.01) = \pm 0.015$ Гц

Контрольные вопросы

1. Что означает запись на приборе: «3¾ разряда»?
2. Почему прибор с погрешностью ±(1% + 5 ед.) на пределе 200 мВ имеет худшую относительную погрешность при измерении 10 мВ?
3. В чём разница между «средневыпрямленным» и «True RMS» измерением?
4. Как повысить точность измерения частоты 0.5 Гц?
5. Как влияет входная ёмкость цифрового вольтметра (50–100 пФ) на измерение в ВЧ-цепях?

Литература:

3.2.1. Основные печатные издания

1. Олифиренко Н. А. Сборка, монтаж, регулировка и ремонт электрооборудования (ПМ.01): Учебное пособие / Олифиренко Н.А., Хлыстунова Т.Н., Овчинникова И.В. - Рн/Д: Феникс, 2018.

2. Грунтович Н. В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования: учеб. Пособие / Н.В. Грунтович. — Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2018.

3.2.2. Основные электронные издания

1. Школа для электрика…Эксплуатация и ремонт электрооборудования www.ElectrikalScool.info

2. Неисправности электрооборудования и способы их устранения www.ielektro.ru/news Ремонт электрооборудования РУ до 10кВ.

3.2.3. Дополнительные источники:

1. Сибикин Ю.Д. Техническое обслуживание, ремонт электрооборудования и сетей промышленных предприятий. В 2 кн. Кн.2: учебник для учреждений нач. проф. образования. М. Изд центр «Академия», 2017