

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

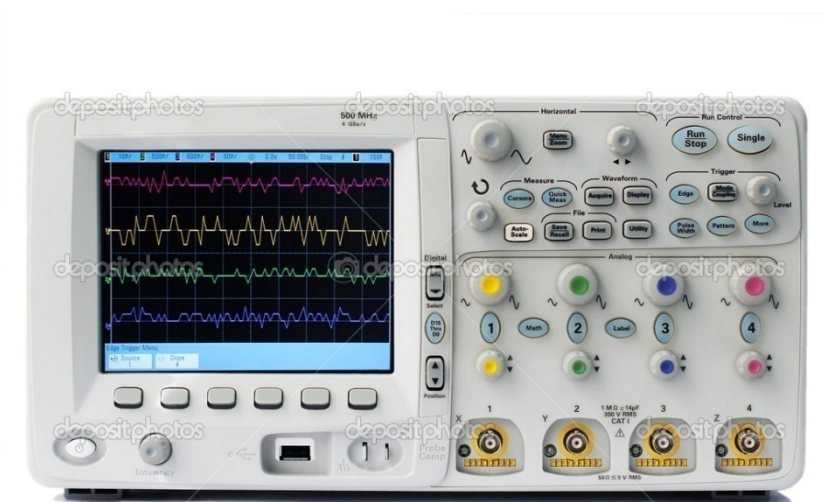
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра полупроводниковой электроники и нанoeлектроники

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ
для студентов направления
11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»
(профиль «Микroeлектроника и твердотельная электроника»)
всех форм обучения



Воронеж 2022

УДК 681.2(07)
ББК 32.842я7

Составители: д-р физ.-мат. наук, проф. В. И. Митрохин,
канд. техн. наук, доц. А. А. Винокуров,
аспирант А. Д. Анисимов

Метрология, стандартизация и технические измерения: методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» (профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: В. И. Митрохин, А. А. Винокуров, А. Д. Анисимов. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2022. 32 с.

Методические указания содержат лабораторные работы, посвященные основам расчета погрешностей измерений физических величин, принципам действия и основным метрологическим характеристикам лабораторных измерительных приборов. Каждая работа состоит из цели, теоретических положений, порядка проведения опытов, контрольных вопросов и библиографического списка.

Предназначены для студентов направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» (профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника») всех форм обучения.

Издание подготовлено в электронном виде и содержится в файле МУ_ЛР_МСИТИ.pdf.

Ил. 19. Табл. 5. Библиогр.: 12 назв.

УДК 681.2(07)
ББК 32.842я7

Рецензент – А. В. Арсентьев, канд. техн. наук, доц. кафедры
полупроводниковой электроники и наноэлектроники ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ПОВЕРКА ТЕХНИЧЕСКОГО АМПЕРМЕТРА МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Цель работы: изучить схему поверки амперметра; определить класс точности поверяемого амперметра; изучить методы поверки измерительных средств.

Приборы и оборудование: контрольный амперметр, измерительный прибор определенного класса.

Общие сведения об измерительных приборах

Для оценки параметров отдельных физических величин используются контрольно-измерительные средства. Качество измерительных средств характеризуется совокупностью показателей, определяющих его работоспособность, точность, надежность и эффективность применения.

Для обеспечения гарантированной точности измерений проводят периодическую поверку измерительной аппаратуры.

Поверка измерительного средства - это определение соответствия действительных характеристик измерительного средства техническим условиям или государственным стандартам. При осуществлении поверки применяются измерительные средства поверки - специально предусмотренные средства повышенной точности по сравнению с поверяемыми измерительными средствами. Методы поверки - совокупность поверочных измерительных средств и приспособлений, а также способ их применения для установления действительных метрологических показателей поверяемых измерительных средств.

На практике поверки измерительных приборов нашли применение два способа:

- сопоставление показаний поверяемого и образцового приборов
- сравнение показаний поверяемого прибора с мерой данной величины.

При поверке первым способом в качестве образцовых приборов выбираются приборы с лучшими метрологическими качествами.

Для поверки приборов постоянного тока в качестве образцовых принимаются магнитоэлектрические приборы, а для поверки приборов переменного тока - электродинамические. В последнее время используются цифровые приборы.

Верхний предел измерений образцового прибора должен быть таким же, как и у поверяемого или не превышать предел измеряемого прибора более, чем на 25%. Допустимая погрешность образцового прибора должна быть в 3...5 раз ниже погрешности поверяемого прибора.

Различают следующие виды погрешностей:

- а) абсолютная погрешность измерительного прибора:

$$\Delta X = X_{\text{п}} - X_{\text{д}}, \quad (1.1)$$

где $X_{\text{п}}$ и $X_{\text{д}}$ - показание прибора и действительное значение измеряемой величины соответственно;

б) относительная погрешность средства измерения, выражаемая в процентах:

$$\gamma_0 = \frac{\Delta X}{X_{\text{д}}} 100\% , \quad (1.2)$$

где ΔX - абсолютная погрешность.

Для оценки многих средств измерений широко применяется приведенная погрешность, также выражаемая в процентах:

$$\gamma_{\text{о.п.}} = \frac{\Delta X}{X_{\text{н.з.}}} 100\% , \quad (1.3)$$

где $X_{\text{н.з.}}$ - нормирующее значение, т.е. некоторое значение, по отношению к которому рассчитывается погрешность.

Часто в качестве нормирующего значения для приведенной погрешности принимают верхний предел измерения прибора. Для многих средств измерений по приведенной погрешности устанавливают класс точности прибора. Например, прибор класса 0,5 может иметь основную приведенную погрешность, не превышающую 0,5%.

Измерительные приборы могут быть следующих классов точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Многопредельные приборы поверяют на одном, двух основных пределах, а на других в некоторых точках. В результате поверки устанавливают приведенную погрешность и по ней класс точности прибора.

Амперметры магнитоэлектрической системы применяются для измерений токов в цепях постоянного напряжения. Магнитная цепь прибора состоит из постоянного магнита, полюсных наконечников, неподвижного цилиндра. В воздушном зазоре между поверхностями полюсных наконечников и цилиндра создается радиальное поле, которое в силу малости воздушного зазора можно считать равномерным. Рамка с обмоткой крепится на полуосях и может поворачиваться в зазоре.

В результате взаимодействия магнитного поля и тока обмотки создается вращающий момент, пропорциональный току:

$$M_{\text{вр.}} = \Psi I, \quad (1.4)$$

где Ψ_0 - постоянная прибора, зависящая от числа витков и площади обмотки и от индукции в зазоре.

Противодействующий момент:

$$M_{\text{пр}} = W_a, \quad (1.5)$$

где W - удельный противодействующий момент пружины.

Уравнение шкалы прибора:

$$\alpha = \frac{\psi_0}{W} I = S_I I, \quad (1.6)$$

где S_I - чувствительность прибора.

Магнитоэлектрические приборы работают только на постоянном токе. Они отличаются высокой чувствительностью, высокой точностью, равномерностью шкалы, выполняются в виде амперметров и вольтметров постоянного тока.

Проведение опыта

1. Соберите схему, показанную на рис. 1.

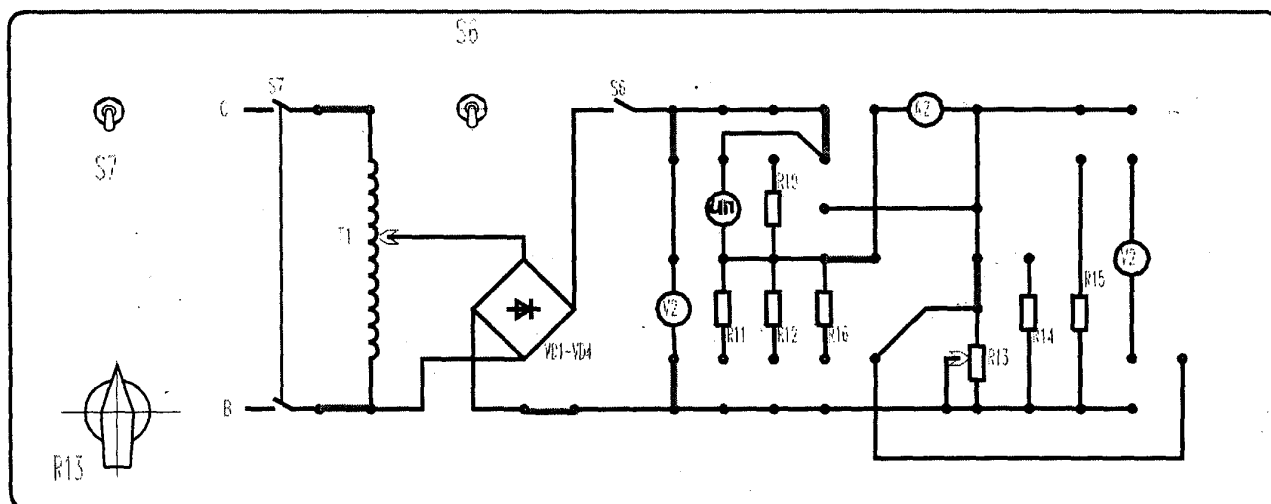


Рис. 1. Схема измерения ИП - контрольный амперметр, A2 - поверяемый прибор

2. Перед включением стенда установите переключатель ЛАТРа в начальное положение.
3. Переменный резистор R13 установите на максимальное сопротивление.
4. Включите стенд, затем тумблер включения ЛАТРа (S7) и, наконец, тумблер питания цепей постоянного тока (S6).
5. Изменяйте переключателем ЛАТРа величину напряжения, контролируруемую вольтметром V2, до получения величины измеряемого тока, дальнейшее увеличение тока осуществляется плавно с помощью переменного резистора R13.
6. Сделайте необходимое для расчетов количество замеров.
7. По окончании работы верните все аппараты в исходное состояние.

Обработка результатов опыта

1. Вычислить по результатам измерения абсолютную погрешность в нескольких точках шкалы поверяемого амперметра.
2. Вычислить приведенную погрешность поверяемого амперметра.
3. Определить класс точности поверяемого амперметра и сравнить его с классом точности, нанесенного на шкале поверяемого амперметра.

Контрольные вопросы

1. Каким должно быть соотношение классов точности образцового и поверяемого амперметров?
2. На шкале измерительного прибора имеется обозначение 1,0. Что это значит?
3. Что понимается под поверкой средств измерений?
4. Прибор какого класса точности следует выбрать для поверки амперметра класса 1,5 и 2,5?
5. Возможно ли проведение поверки амперметра класса 1,5 с помощью амперметра класса 0,2?
6. Напишите уравнение шкалы приборов магнитоэлектрической системы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ТОКОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

Цель работы: изучение приборов и методов измерения токов и напряжений в электрических цепях.

Приборы и оборудование: регулируемый источник постоянного напряжения ВСП-30, генератор переменного тока типа ГЗ-34, вольтметр В7-21, комбинированный вольтметр-амперметр М-253, ампервольтметр Э504, магазин сопротивлений.

Общие сведения об измерении напряжения и тока

Используемые в электро-радиотехнических устройствах токи и напряжения существенно различаются по своим характеристикам. Для постоянного (не изменяющегося во времени) тока или напряжения исчерпывающими являются сведения о его абсолютной величине и направлении. Для адекватной характеристики переменных токов и напряжений вводится значительно больше параметров, число которых зависит от формы электрического сигнала.

Переменный ток промышленной частоты имеет синусоидальную форму и характеризуется мгновенным, среднеквадратическим (действующим) значениями, амплитудой и фазой:

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi), \quad (2.1)$$

где i и I_m – мгновенное и амплитудное значения тока соответственно; ω – циклическая частота; t – время; φ – угол фазового сдвига.

Мгновенное значение тока и напряжения наблюдают на экране осциллографа, среднеквадратическое значение измеряется соответствующими амперметром и вольтметром. Амплитудой напряжения или тока называют максимальное значение синусоидального напряжения. Такое значение обычно вычисляется по измеренному среднеквадратическому значению, которое определяется как

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U^2 dt}, \quad (2.2)$$

где $T = 2\pi/\omega$ – период переменного тока.

Для синусоидального напряжения/тока:

$$U = U_m / \sqrt{2} = 0,707 U_m; \quad (2.3)$$

$$I = I_m / \sqrt{2} = 0,707 I_m. \quad (2.4)$$

Связь между амплитудой и среднеквадратическим значением при любой форме изменения мгновенных значений определяется формулой

$$U = U_m / K_A, \quad (2.5)$$

где K_A – коэффициент формы, составляющий для синусоидального напряжения/тока $\sqrt{2}$.

В практике измерений применяют также средневывпрямленное значение напряжения (тока):

$$U_{cp-в} = \frac{1}{T} \int_0^T |U| dt. \quad (2.6)$$

Для измерения токов и напряжений широко используются как аналоговые, так и цифровые измерительные приборы (ИП). Аналоговые приборы можно разделить на две группы: приборы непосредственной оценки и приборы сравнения или уравнивающего преобразования.

Среди аналоговых приборов непосредственного преобразования выделяют электромеханические и электронные ИП. Структурная схема электроме-

нического измерительного прибора показана на рис. 2. Она включает в себя электромеханический измерительный преобразователь магнитоэлектрического, электромагнитного, электродинамического или другого типа, отсчетное устройство и входное устройство.



Рис. 2. Структурная схема электромеханического ИП

Электромеханический измерительный преобразователь преобразует измеряемую электрическую величину в механическую, доступную для восприятия органами чувств человека. Отсчетное устройство предназначено для отсчитывания значения перемещения подвижной части преобразователя и связанного с ним значения измеряемой величины. Входное устройство электромеханического ИП представляет собой делитель, шунт, трансформатор или другой масштабный преобразователь. Возможно использование термоэлектрического, выпрямительного и других преобразователей.

Существенно расширить возможность электромеханических ИП (повысить чувствительность, увеличить входное сопротивление, расширить диапазон рабочих частот и т.д.) позволяет использование в ИП электронных усилителей-преобразователей. Такие ИП называют аналоговыми электронными измерительными приборами, их упрощенная структурная схема показана на рис. 3.



Рис. 3. Структурная схема аналогового электронного вольтметра

Для повышения точности измерения напряжения в цепях постоянного тока, особенно в тех случаях, когда величина измеряемого напряжения (U_x) мала, как, например, ЭДС термоэлектрического преобразователя, или велико внутреннее сопротивление источника напряжения, применяют компенсационный метод измерения напряжения. Сущность этого метода заключается в сравнении напряжения E_x с известным напряжением $U_{эм}$. В схеме на рис. 4. E_x сравнивается с напряжением, падающим на калибровочном потенциометре K_n . Напряжение $U_{эм}$ в случае, когда $E_x = U_{эм}$ определяется выражением

$$U_{эм} = E_x = I_{эм} R_{эм}, \quad (2.7)$$

где $I_{эт}$ – эталонный источник тока.

При этом нуль-индикатор (НИ) регистрирует отсутствие тока в измерительной цепи и, следовательно, исключается методическая ошибка, обусловленная влиянием измерительного прибора на объект измерения.

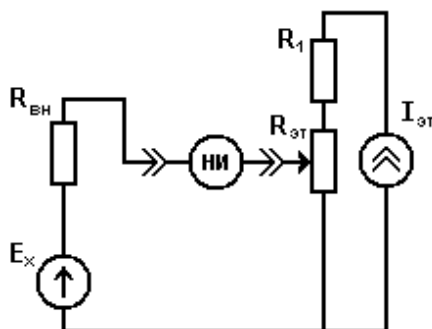


Рис. 4. Принципиальная схема измерения напряжения компенсационным методом

Цифровые измерительные приборы (ЦИП) – приборы, в которых измеряемая величина преобразуется в цифровой код, а затем в соответствии с цифровым кодом представляется на отсчетном устройстве в цифровой форме. ЦИП, как и аналоговые ИП, делятся на приборы прямого преобразования и приборы сравнения. Структурная схема приборов первого типа представлена на рис. 5. Она включает в себя входное устройство, преобразующее измеряемую величину к виду, удобному для нормальной работы аналого-цифрового преобразователя (АЦП). С выхода АЦП информация об измеряемой величине в виде цифрового кода поступает в буферное устройство, где осуществляется дальнейшая ее обработка – выполнение операций усреднения, изменения кода для согласования АЦП с индикатором и т.д. Управление ЦИП осуществляется с помощью устройства управления.



Рис. 5. Структурная схема ЦИП прямого преобразования

Обладая всеми достоинствами аналоговых электронных измерительных приборов, ЦИП имеют существенные преимущества – более высокую точность

измерений, удобное для оператора представление информации, автоматический выбор диапазона измерений и т.д.

При проведении практических измерений токов и напряжений желательно располагать предварительной информацией о напряжении, форме сигнала, частоте и любой другой измеряемой величине с тем, чтобы сделать правильный выбор измерительного прибора и предела измерений. Если информация об измеряемой величине минимальна, то следует начать измерения, установив предел измерений, соответствующий максимальному значению напряжения (тока); затем определить оптимальный предел, на котором допустимо проводить измерения.

Общие правила работы в лаборатории

При работе в лаборатории студенты должны:

- строго соблюдать установленные правила внутреннего распорядка и техники безопасности;
- бережно обращаться с оборудованием и измерительными приборами;
- соблюдать следующие правила обращения с измерительными приборами:
 - а) при включении в схему приборов постоянного тока следить за полярностью включения;
 - б) до включения напряжения коммутирующее устройство и ручки управления прибора установить в нужное положение согласно инструкции;
 - в) после включения напряжения необходимо выдержать установленную для данного прибора норму времени прогрева прибора согласно инструкции;
- сообщить преподавателю или лаборанту о неисправностях оборудования или измерительных приборов.

Подготовка студентов к лабораторным работам

Объем каждой лабораторной работы можно выполнить в отведенное время только при условии предварительной подготовки, в процессе которой студенты должны:

- а) изучить теоретический материал по лабораторной работе, пользуясь методическими указаниями и литературой, приведенной в их библиографическом списке;
- б) уяснить цель работы и порядок ее выполнения;
- в) выяснить основные правила работы и порядок включения измерительных приборов;
- г) изучить методику выполнения измерений и проведения вычислений.

Лабораторные работы выполняют с соблюдением следующих требований:

1. На одном рабочем месте допускается к работе не более 2 – 3 студентов. Каждый член бригады должен вести рабочую тетрадь.

2. Перед проведением лабораторной работы преподаватель проверяет степень готовности студентов к выполнению работы.

3. Сборку схемы студенты выполняют самостоятельно; правильность соединения элементов схемы проверяет преподаватель до включения схемы. Студенты не имеют права включать схему в сеть без проверки ее преподавателем или лаборантом.

4. Первоначальное включение схемы и измерительных приборов под напряжение производится только в присутствии преподавателя или лаборанта.

5. После проведения измерений сделать оценочные расчеты величин или построить предварительные графики, отражающие ход изучаемых зависимостей, и показать их преподавателю. Измерительную схему при этом не выключать! При необходимости по указанию преподавателя провести измерения заново.

6. После выполнения работы выключить приборы из сети, схему соединений разобрать, навести порядок на рабочем месте и доложить об этом лаборанту.

Порядок оформления отчета

Отчет о проделанной работе составляется каждым студентом самостоятельно. Отчет должен содержать:

- наименование и цель работы;
- используемое оборудование;
- методику измерений в данной лабораторной работе;
- краткие сведения об объектах измерения (материал, форма и размеры образца, тип электродов и т.п.);
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики, осциллограммы);
- краткие выводы и заключения, а также оценку общей погрешности измеряемых и расчетных параметров, определяемых в данной лабораторной работе.

Указания по технике безопасности

При выполнении лабораторных работ необходимо соблюдать следующие правила техники безопасности:

1. Перед началом работы следует ознакомиться с источниками электропитания, способами их включения, эксплуатации и выключения.

2. При сборке схемы все имеющиеся реостаты, автотрансформаторы и потенциометры устанавливаются в положения, указанные в описании к работе.

3. Сборку схемы необходимо производить соединительными проводами с исправной изоляцией.

4. После окончания сборки схемы преподаватель или лаборант должен ее проверить и разрешить включить источники питания.

5. Запрещается включать в схему измерительные приборы, корпуса которых не заземлены; место расположения клеммы « $\perp$ » указывается в технических описаниях к приборам.

6. Запрещается прикасаться руками к зажимам, находящимся под напряжением; наличие напряжения на зажимах приборов или элементов схемы следует проверять только измерительным прибором.

7. Все изменения в схеме, а также устранение неисправностей следует производить после отключения схемы.

8. Запрещается оставлять без наблюдения схему и измерительные приборы, подключенные к источнику питающего напряжения.

9. Разбирать схему по завершении работы следует только после отключения источников питания и с разрешения преподавателя.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с назначением и техническими данными используемых стандартных приборов, освоить приемы работы с ними.

2. Собрать схему, приведенную на рис. 6. По указанию преподавателя в качестве источника напряжения использовать стабилизированный источник питания типа ВСП-30 или генератор синусоидальных напряжений типа ГЗ-34; в качестве переменного резистора – магазин сопротивлений. В точках 1 и 2 измерить силу тока и напряжение U_{12} , используя для этого поочередно (в соответствующих режимах) измерительные приборы: Э504, В7-21. Измерения проводить в следующей последовательности.

3. В качестве источника E использовать источник постоянного тока ВСП-30, напряжение на котором установить равным 10 В.

4. Изменяя сопротивление R_1 от 10000 до 100 Ом (промежуточные значения $R_1 = 5000; 2000; 1000; 500; 200; 150; 110$ Ом), измерить зависимость силы тока в цепи от величины R_1 .

5. Изменяя сопротивление R_1 в последовательности, указанной в п.4, измерить зависимость напряжения U_{12} от величины R_1 .

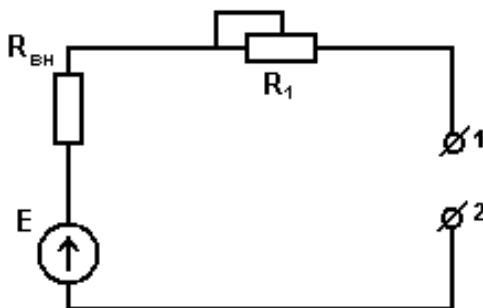


Рис. 6. Схема измерительной цепи: E – источник напряжения с внутренним сопротивлением r ; R – переменный резистор

6. Подключить в качестве источника E генератор ГЗ-34, установив на нем частоту $f = 1$ кГц и напряжение $U = 1$ В. Установить сопротивление $R_1 = 100$ Ом. К выводам 1 и 2 подключить вольтметр В7-21.

7. Изучить зависимость показаний ампервольтметра Э504 и вольтметра В7-21 от частоты. Измерения проводить при значениях $f = 20; 40; 60; 100$ Гц; 1; 5; 10; 20; 50; 100; 150 и 200 кГц.

8. Провести измерения в соответствии с указаниями п. 7, $R_1 = 100$ кОм.

9. Полученные результаты отразить в таблицах и в виде графиков соответствующих зависимостей.

10. По данным измерений $I(R_1)$ определить внутреннее сопротивление источника постоянного тока.

Контрольные вопросы

1. Основные типы электромеханических преобразователей. Принцип действия электромеханических преобразователей.

2. Особенности измерительных входных цепей ИП при измерении напряжений и токов.

3. Как расширить пределы измерения используемых в лабораторной работе ИП по напряжению и току?

4. Объясните полученные в эксперименте функциональные зависимости $I(R_1)$, $U(R_1)$ и $U(f)$, а также их различия в случаях измерений различными ИП.

5. Как с помощью вольтметра измерить силу тока?

6. Чем определяется основная погрешность при измерениях вольтметром В7-21?

7. Перечислите и поясните основные величины, характеризующие переменный ток синусоидальной формы.

8. Поясните принцип действия вольтметра компенсационного типа.

9. Изобразите структурную схему вольтметра компенсационного типа для измерения напряжения синусоидальной формы.

10. Изобразите и поясните структурные схемы АЦП с время-импульсным преобразованием и поразрядным уравниванием.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИЗУЧЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛЛОГРАФА

Цель работы: ознакомление с принципом действия, метрологическими характеристиками осциллографов и основными методами осциллографических измерений напряжения, частоты и фазового сдвига, а также параметров импульсных сигналов. Получение практических навыков использования осциллографа для изучения параметров электрического сигнала.

Приборы и оборудование: осциллограф С1-67, генератор ГЗ-34, лабораторные макеты.

Общие сведения об осциллографических измерениях

Электронный осциллограф – универсальный измерительный прибор, применяемый для визуального наблюдения и фотографирования электрических сигналов и измерения их параметров.

Принцип действия электронного осциллографа состоит в следующем. Когда сфокусированный электронный луч проходит между горизонтально и вертикально отклоняющими пластинами X и Y , он может отклоняться под действием напряжения, приложенного к пластинам перпендикулярно плоскости пластин. Попадая на экран, луч оставляет светящееся пятно, которое, перемещаясь по экрану, в соответствии с законом подаваемого на пластины X и Y напряжения, формирует изображение.

Если напряжение на горизонтально отклоняющих пластинах линейно изменяется в течение определенного промежутка времени (периода развертки T_p), то осциллограф работает в режиме «линейной развертки». При этом на экране наблюдается изображение, соответствующее форме напряжения, подаваемого на вертикальные пластины. Но изображение будет устойчивым только в том случае, если период горизонтальной развертки T_p и период сигнала T_c , отклоняющего луч в вертикальном направлении, являются кратными друг другу, т.е. $T_p = n \cdot T_c$, где $n = 1, 2, 3, \dots$, о чем говорит рис. 7.

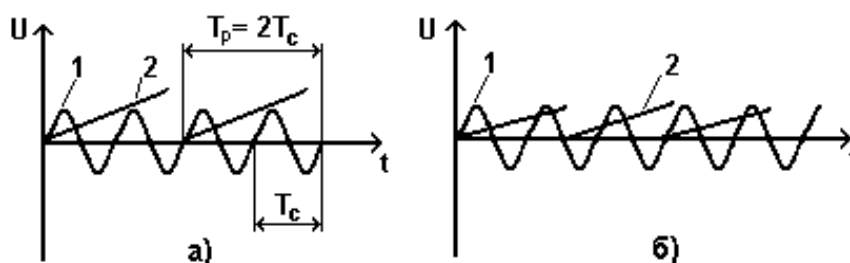


Рис. 7. Временные зависимости напряжений сигнала и развертки:

а) $T_p = n \cdot T_c$ ($n = 2$); б) $T_p \neq n \cdot T_c$

Кратность T_p и T_c достигается либо введением синхронизации от внешнего источника (внешняя синхронизация), либо самим напряжением сигнала (внутренняя синхронизация). Отметим, что в процессе синхронизации изменяется только период T_p , а скорость развертки остается неизменной величиной, задаваемой дискретно переключателем «ВРЕМЯ РАЗВЕРТКИ», проградуированным в единицах времени «пробега» пучком «ЕДИНИЦЫ ДЛИНЫ» экрана (обычно 1 см). Данным обстоятельством пользуются для определения периода T и частоты f исследуемого сигнала:

$$T = l \cdot \tau, \quad (3.1)$$

$$\text{и} \\ f = 1/T = 1/l \cdot \tau, \quad (3.2)$$

где l – расстояние между двумя эквивалентными точками изображения периодического сигнала. Таким же образом проводят измерения других временных и динамических характеристик сигнала – длительности импульса, скорости нарастания или спада напряжения и т.д.

Кроме линейной, на практике часто используют синусоидальную развертку. Она реализуется, когда на X и Y пластины подаются синусоидальные напряжения с частотами f_1 и f_2 соответственно:

$$U_x = U_x^0 \sin \omega_1 t; \quad (3.3)$$

$$\text{и} \\ U_y = U_y^0 \sin(\omega_2 t + \Delta\varphi), \quad (3.4)$$

где U_x^0 и U_y^0 – амплитуды напряжений, подаваемых на X и Y пластины осциллографа; $\Delta\varphi$ – сдвиг фаз между U_x и U_y , имеющий смысл в том случае, когда $\omega = 2\pi f$.

Координаты луча X и Y на экране связаны с U_x и U_y через соответствующие коэффициенты чувствительности K_x и K_y ($X = U_x K_x$ и $Y = U_y K_y$) каналов осциллографа. Учитывая это и преобразуя уравнение (3.2) для случая $\omega_1 \equiv \omega_2$, можно получить уравнение эллипса, описывающее траекторию луча:

$$\frac{X^2}{A^2} - \frac{2XY}{AB} \cos \Delta\varphi + \frac{Y^2}{B^2} = \sin^2 \Delta\varphi, \quad (3.5)$$

Где A и B – максимальные значения отклонений луча в горизонтальном и вертикальном направлениях. Очевидно, что максимальное отклонение луча по горизонтали $A = U_x^0 K_x$, а по вертикали $B = U_y^0 K_y$. В моменты времени, определяемые условиями $\omega t = \pi n$ и $\omega t = \pi(1/2 + n)$, где $n = 1, 2, \dots$, луч пересекает

координатные оси X и Y в точках $\pm a = \pm A \cdot \sin \Delta\varphi$ и $\pm b = \pm B \cdot \sin \Delta\varphi$. Данное выражение наглядно показано на рис. 8.

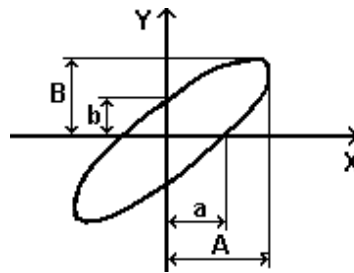


Рис. 8. Траектория луча осциллографа

Этим обстоятельством пользуются на практике для определения сдвига фаз между напряжениями, подаваемыми на X и Y каналы осциллографа:

$$\Delta\varphi = \pm \arcsin \frac{2b}{2B} = \pm \arcsin \frac{2a}{2A}. \quad (3.6)$$

Синусоидальная развертка также используется для определения неизвестной частоты f_x путем сравнения ее с эталонной частотой f_0 образцового генератора, в этом нашли применение метод фигур Лиссажу и метод меток.

Измерение f с помощью фигур Лиссажу (рис. 9) заключается в том, что на входы X и Y отклоняющих систем подается напряжение измеряемой f_x и образцовой f_0 частот. При этом на экране осциллографа наблюдается фигура, которая остается неподвижной, если отношение частот равно отношению целых чисел: f_x/f_0 или $f_0/f_x = n$. Частный случай $n = 1$ подробно рассмотрен выше.

Для нахождения отношения частот f_x/f_0 необходимо условно провести горизонтальную и вертикальную линии, которые пересекали бы фигуру, но не проходили через ее узлы. Число горизонтальных n_z и число вертикальных n_g пересечений находятся в соотношении $n_z/n_g = f_x/f_0$, отсюда

$$f_x = f_0 \cdot (n_z/n_g). \quad (3.7)$$

Для фигуры, приведенной на рис. 9, $f_x = 2f_0$.

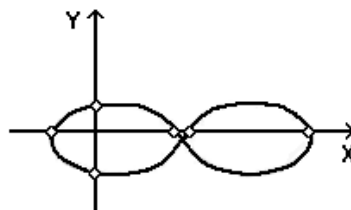


Рис. 8. Изображение фигуры Лиссажу

Порядок выполнения работы

1. Проверить наличие заземления у стандартных приборов, используемых в работе. В случае отсутствия заземления сообщить об этом преподавателю.
2. Включить стандартные приборы в сеть и дать им прогреться 15 – 20 мин.
3. Произвести калибровку осциллографа согласно инструкции по эксплуатации.

Упражнение 1. Визуальное наблюдение и измерение параметров электрического сигнала электронным осциллографом в режиме линейной развертки

1. Собрать схему в соответствии с рис. 10. На осциллографе установить режим непрерывной (линейной) развертки. Частоту сигнала на выходе генератора установить равной 1 кГц, а амплитуду примерно 1 В.

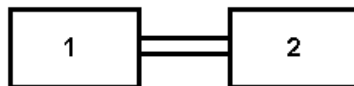


Рис. 10. Функциональная схема измерительной установки для упражнения: 1 – генератор ГЗ-34; 2 – осциллограф С1-67

2. Используя ручку дискретного переключателя УСИЛЕНИЕ, установить оптимальные размеры изображения по вертикали. Затем, изменяя время развертки ручкой ВРЕМЯ/СМ, получить на экране осциллограмму с кратностью в один или два периода напряжения генератора. Добиться устойчивости изображения, используя для этого ручки СТАБ и УРОВЕНЬ.
3. По осциллограмме определить размах, амплитуду, период и частоту наблюдаемого сигнала. При измерении амплитудных значений интервалов времени ручки главной регулировки УСИЛЕНИЕ и ДЛИТЕЛЬНОСТЬ должны быть повернуты в крайнее положение по часовой стрелке до щелчка.
4. Зарисовать осциллограмму на кальку. Указать время развертки, усиление канала Y и частоту, установленную на генераторе.
5. Собрать схему в соответствии с рис. 11.

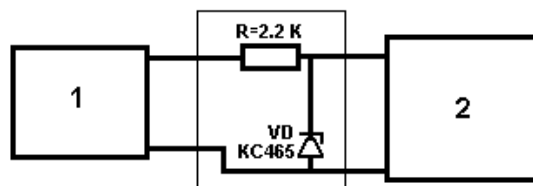


Рис. 11. Функциональная схема измерительной установки:
1 – генератор ГЗ-34; 2 – осциллограф С1-67

6. Установить на выходе генератора напряжение с частотой 100 Гц и амплитудой 10 В.

7. Измерить следующие параметры импульсного сигнала (рис. 12):

а) амплитуду A ;

б) длительность импульса τ по уровню $0,9A$;

в) период следования T ;

г) скважность $Q = T/\tau$;

д) время нарастания t_n и время спада t_c импульса, т.е. время, за которое напряжение либо возрастает от 0,1 до 0,9, либо, наоборот, убывает от 0,9 до 0,1 от своего максимального значения.

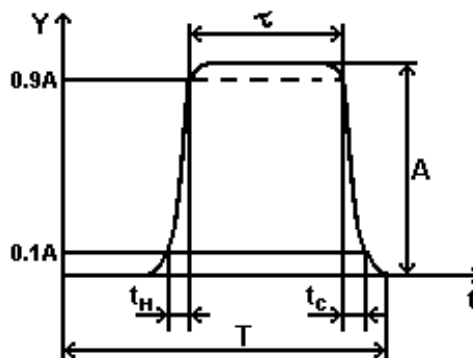


Рис. 12. Определение параметров импульсного сигнала

8. Зарисовать на кальку осциллограмму импульсного сигнала. Указать время развертки и усиление канала U .

Упражнение 2. Измерение фазового сдвига и частоты электрических сигналов осциллографическим методом

1. Выполнить пп. 1 – 3 предыдущего задания. Установить амплитуду сигнала на выходе генератора минимальной.

2. Собрать схему в соответствии с рис. 13.

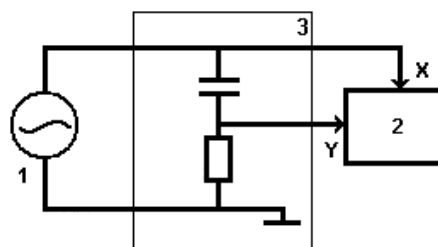


Рис. 13. Схема установки для выполнения упражнения «Измерение сдвига фаз»: 1 – генератор; 2 – осциллограф; 3 – лабораторный макет

3. Отключить генератор развертки осциллографа нажатием кнопки «ВХОД X», ручками « $\updownarrow$ » и « $\leftrightarrow$ » установить световое пятно в центре и отрегулировать его яркость, используя для этого ручку ЯРКОСТЬ.

4. Увеличить напряжение на выходе генератора 1, сделав его таким, чтобы размах изображения по горизонтали был немного меньше размеров экрана. Частоту генератора установить равной 200 Гц. Используя ручку УСИЛЕНИЕ, получить оптимальные размеры изображения по вертикали.

5. Измерить величины максимального отклонения луча по горизонтали (А) и по вертикали (В), как показано на рис. 13. Определить размеры отрезков а и в, отсекаемых на координатных осях X и Y траекторией луча. По формуле (3.5) рассчитать сдвиг фаз $\Delta\varphi$ между напряжениями, подаваемыми на входы «X» и «Y» осциллографа.

6. Последовательно, устанавливая частоту генератора равной 1000; 5000; 12000 и 20000 Гц, произвести измерения $\Delta\varphi$, а наблюдаемые осциллограммы зарисовать на кальку.

7. Построить график зависимости сдвига фаз от частоты по экспериментальным точкам вместе с зависимостью, рассчитанной по формуле

$$\varphi = \arctg \frac{1}{\omega RC}, \quad (3.8)$$

полученной для схемы, изображенной на рис. 3.8, где $R = 10$ кОм; $C = 0,01$ мкФ.

8. Собрать схему согласно рис. 14.

9. Установить частоту сигнала образцового генератора 1 равной 1 кГц, а амплитуду такой, чтобы размах горизонтального отклонения луча был немного меньше ширины экрана.

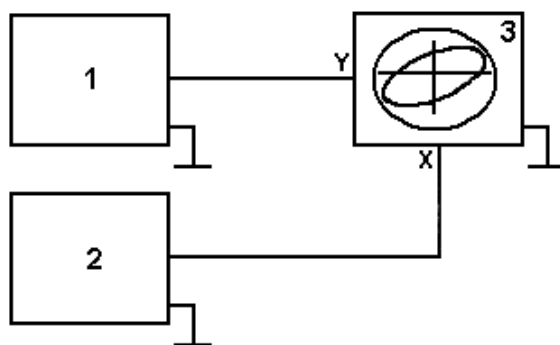


Рис. 14. Схема экспериментальной установки для определения частоты методом фигур Лиссажу: 1 — образцовый генератор; 2 — генератор «неизвестной» частоты; 3 — осциллограф

10. Используя либо ручку регулировки амплитуды выходного напряжения генератора 2, либо ручку УСИЛЕНИЕ осциллографа 3, получить оптимальные размеры осциллограммы.

11. Изменяя частоту генератора 2, получить на экране осциллографа устойчивые изображения траектории лучей, имеющих 1, 2, 3 точки пересечения, а также изображение эллипса. Зарисовать на кальку наблюдаемые осциллограммы.

12. Пользуясь формулой (3.6), определить частоту f_x «неизвестного» генератора 2. Сравнить полученное значение f_x со значением на шкале частот данного генератора.

Контрольные вопросы

1. Схема универсального осциллографа и принцип его действия.
2. Основные источники погрешностей осциллографических методов измерений.
3. Основные виды осциллографических разверток.
4. Методики измерений амплитудных, частотных и временных параметров электрического сигнала в режиме линейной (непрерывной) осциллографической развертки.
5. С какой целью в технических характеристиках осциллографов приводят параметры входных цепей (сопротивление, емкость)?
6. Можно ли использовать осциллограф с верхней граничной частотой 1 МГц для определения длительности фронта импульса сигнала с длительностью 10^{-6} с?
7. В чем разница между входной емкостью осциллографа и емкостью разделительного конденсатора при «закрытом» входе осциллографа? В каких случаях их следует учитывать?
8. Основные метрологические характеристики универсальных электронных осциллографов.
9. Основные виды осциллографических разверток.
10. Методы измерения фазовых сдвигов электрических сигналов.
11. Методы измерения частот электрических сигналов.
12. Чем определяется точность измерения частоты в методе фигур Лиссажу?
13. Чем определяется точность осциллографического метода измерения сдвига фаз?
14. Как, используя осциллограф, можно измерить: а) ток в электрической цепи; б) комплексное сопротивление участка электрической цепи?
15. В диапазоне каких частот применяются осциллографические методы определения сдвига фаз?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТНЫХ И ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ ЦИФРОВЫМ ЧАСТОТОМЕРОМ

Цель работы: изучить цифровые методы измерения частоты и периода электрических сигналов, длительности импульса и отношения частот, частотомера ЧЗ-63 и приобретение практических навыков работы с ним.

Приборы и оборудование: цифровой частотомер ЧЗ-63, лабораторный макет.

Общие сведения о частотно-временных параметрах

Основными частотно-временными параметрами электрических сигналов являются период T , частота f , длительность импульса τ .

Период – наименьший интервал времени, через который повторяются мгновенные значения сигнала $U(t)=U(t+T)$, для любого произвольного момента времени t .

Частота – число идентичных событий в единицу времени, т.е. это величина, обратная периоду $f=1/T$.

Длительность импульса - интервал времени, в течение которого мгновенные значения импульсного сигнала не превышают уровень 0,5 от амплитудного значения.

Кроме перечисленных параметров, импульсные сигналы иногда характеризуются **скважностью**, которая определяется отношением $Q=T/\tau$.

Приборы для измерения частоты и времени образуют подгруппу и, а для измерения только интервалов времени - подгруппу И. Достаточно подробная классификация методов измерения частоты и времени дана, например, в [1; 2 и др.]. В рамках данной работы изучается лишь наиболее распространенный метод – электронно-счетной цифровой. Приборы, реализующие этот метод (вид ЧЗ), имеют весьма высокую точность и при этом компактны, надежны, технологичны и просты в управлении. Благодаря тому, что при измерении различных частотно-временных параметров этим методом требуются однотипные электронные блоки, приборы ЧЗ универсальны и обычно позволяют измерять несколько величин. Цифровые частотомеры, как правило, весьма широкополосные. Их частотный диапазон «вверх» ограничен лишь быстродействием элементной базы.

Принцип действия цифрового частотомера основан на определении количества импульсов измеряемого сигнала в единицу времени. Структурная схема, реализующая этот принцип, приведена на рис. 15, а временные диаграммы, поясняющие ее работу, - на рис. 16.

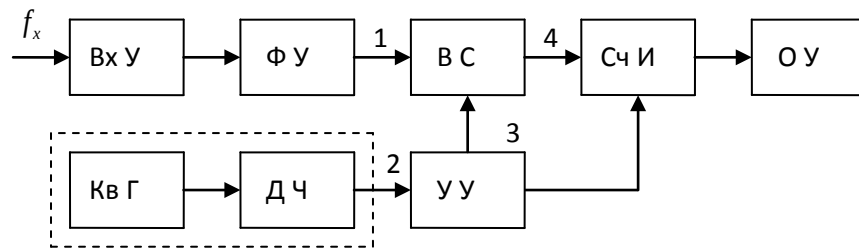


Рис. 15. Структурная схема, описывающая принцип действия цифрового частотомера

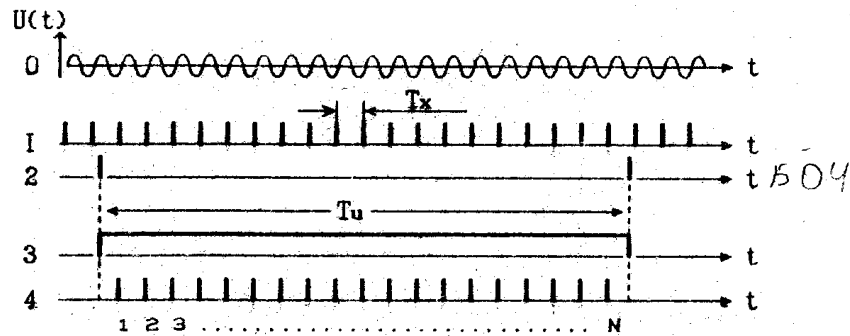


Рис. 16. Временные диаграммы, характеризующие работу цифрового частотомера

Сигнал $U(t)$, частота которого измеряется, подается через входное устройство (ВхУ) на формирующее устройство (ФУ), где преобразуется в импульсы с той же частотой (эюра 1, рис. 16). Амплитуда этих импульсов не зависит от амплитуды и формы входного сигнала.

В блоке опорных частот (БОЧ) формируется сигнал с периодом, равным единице времени, и соответствующим времени измерения $T_{и}$ (эюра 2). В связи с тем, что $T_{и}$ является мерой времени, от его точности и стабильности будет зависеть точность измерений. Поэтому БОЧ состоит из высокостабильного кварцевого генератора (КвГ) и системы делителей частота (ДЧ).

Устройство управления (УУ) формирует из сигнала БОЧ импульс длительностью $T_{и}$ (эюра 3), которым открывается временной селектор (ВС). ВС представляет собой электронный ключ, при открывании которого на счетчик импульсов (СчИ) поступают импульсы от ФУ (эюра 4). Так как перед измерением СчИ устанавливается в "нуль", по окончании интервала $T_{и}$ на него поступит N импульсов, где

$$N_f = \frac{T_{и}}{T_x} = T_{и} \cdot f_x \quad (4.1)$$

Следовательно, N_f прямо пропорционально f_x . Например, при $T_{и}=1$ с $N_f=1$ будет соответствовать частоте в 1 Гц. Состояние СчИ индицируется в десятичной форме отсчетным устройством (ОУ). Емкость счетчика ограничивает максимально измеряемое значение частоты, т.е. определяет предел измерения.

Изменить его можно установкой $T_{\text{и}} = 10^m$ сек, где $m=2, 1, 0, -1, -2, \dots$. При этом правильный отсчет обеспечится путем переноса десятичной точки на табло ОУ, что эквивалентно умножению или делению на 10. Схемно это реализуется изменением коэффициента деления ДЧ в БОЧ.

Источниками погрешности являются нестабильность частоты КвГ и погрешность дискретности, обусловленная тем, что счетчик считает лишь целое число импульсов, и поэтому равенство (4.1) справедливо с точностью до целого. Максимальная абсолютная погрешность при этом не превышает одного импульса. Результирующая относительная погрешность

$$\delta_f = \pm \left(\delta_0 + \frac{1}{N_f} \right) = \pm \left(\delta_0 + \frac{1}{T_{\text{и}} f_x} \right) \quad (4.2)$$

где δ_0 - относительная нестабильность частоты КвГ.

Как следует из формулы (4.2), с увеличением f_x погрешность дискретности стремится к нулю. Поэтому при измерений высоких частот преобладает первая составляющая погрешности, а при низких - вторая. Кроме того, видно, что одним из способов уменьшения погрешности измерения низких и инфранизких частот является увеличение времени измерения $T_{\text{и}}$. Однако при $T_{\text{и}}$ более 1с время ожидания результата очень долгое. К другим (верньерным) способам уменьшения погрешности дискретности относятся умножение частоты входного сигнала и применение электронного нониуса. Первый из этих способов технически трудно реализуем на низких частотах, а второй широко используется разработчиками частотомеров. Наиболее часто на практике используют переход от измерения частоты к измерению периода.

Действительно, из формулы (4.1) видно, что количество импульсов, поступивших на счетчик, прямо пропорционально времени открывания селектора. Поэтому, открывая ВС на время измеряемого периода T_x и используя для счета импульсы известной частоты f_0 , получим N , соответствующее неизвестному периоду. Этот алгоритм реализуется структурной схемой на рис. 4.3, а ее работа поясняется временными диаграммами на рис. 17.

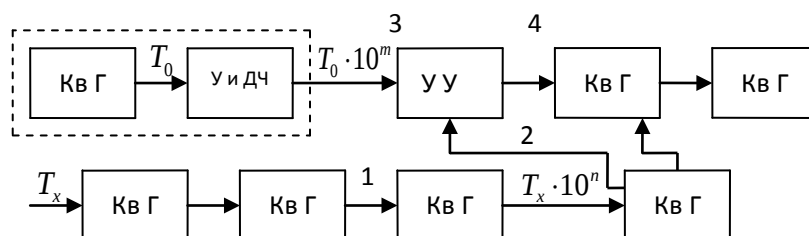


Рис. 17. Структурная схема, описывающая принцип действия цифрового частотомера при открытом временном селекторе

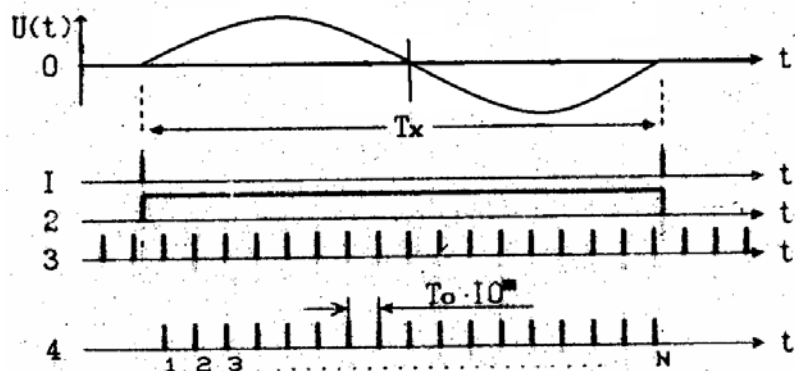


Рис. 18. Временные диаграммы, характеризующие работу цифрового частотомера при открытом временном селекторе на время измеряемого периода T_x и использовании импульсов заданной частоты f_0

Сигнал $U(t)$ с периодом T_x преобразуется в импульсы с тем же периодом в ФУ (эюра 1) и поступает на ДЧ с коэффициентом деления 10^n ($n=0, 1, 2, \dots$), который выбирается оператором (временные диаграммы изображены для $n=0$). В УУ формируется импульс (эюра 2), открывающий на время $T_x 10^n$ селектор. В БОЧ вырабатываются импульсы с периодом T_0 , которые через систему делителей и умножителей частоты (УиДЧ) с коэффициентом преобразования 10^m ($m=-1, 0, 1, 2, \dots$) (эюра 3) поступают через ВС на СчИ (эюра 4). Их количество

$$N_T = \frac{T_x \cdot 10^n}{T_0 \cdot 10^m} = T_x \cdot 10^{n-m} \cdot f_0 \quad (4.3)$$

пропорционально измеряемому периоду. При $f_0=10\text{МГц}$ N_T с коэффициентом 10^{n-m-7} равно периоду в секундах. Отсчет в мс или мкс получается переносом десятичной точки в ОУ.

Источники погрешности аналогичны измерению частоты. На низких частотах (T_x достаточно велик) погрешность дискретности стремится к "нулю" и доминирует погрешность из-за нестабильности периода T_0 . На высоких же частотах (T_x мало) δ_0 становится пренебрежимо малой. Поэтому повысить точность измерения можно путем уменьшения периода T_0 или измерением не одного, а n периодов сигнала с последующим усреднением. Кроме того, уменьшить погрешность дискретности можно применением электронного нониуса.

Измерение длительности импульса практически аналогично измерению периода (обе величины являются временными интервалами). Однако из схемы на рис. 16 следует исключить ДЧ, т.к. при $n \neq 0$ сигнал после ДЧ будет иметь длительность, не связанную с измеряемой. Количество счетных импульсов, поступивших на счетчик, при этом будет

$$N_{\tau} = \frac{\tau_x}{T_0 \cdot 10^m} = \tau_x \cdot f_0 \cdot 10^{-m} \quad (4.4)$$

Источники погрешности оцениваются аналогично измерению периода. Однако при этом следует отметить, что при длительности фронта и среза измеряемого импульса, сравнимого с f_0 , появляется дополнительная погрешность.

Для измерения отношения частот можно использовать схему рис. 15 с небольшими изменениями. Действительно, если в точку 1 схемы подать импульсы с более высокой частотой f_1 , а в точку 2 с более низкой f_2 , то, как это следует из формулы (4.1), количество импульсов, поступивших на СЧИ, будет

$$N = \frac{T_2}{T_1} = \frac{f_1}{f_2}. \quad (4.5)$$

Описание лабораторного макета

Лабораторный макет предназначен для формирования импульсных ТТЛ сигналов. Внешний вид макета приведен на рис. 19. Макет имеет два выхода "ВЫХ.0" и "ВЫХ.1", переключатели ВАРИАНТ, НОМЕР ТОЧКИ, РЕЖИМ, выключатель сети и индикатор включения сети СЕТЬ.

Переключатель ВАРИАНТ предназначен для установки варианта задания в соответствии с номером бригады. Переключатель НОМЕР ТОЧКИ имеет 4 положения и предназначен для выбора объекта измерения. С помощью переключателя РЕЖИМ выбирается вид измеряемой величины. Первое положение "f,T" соответствует измерению частоты и периода, второе "τ,T,Q" - измерению длительности импульсов и косвенным измерениям скважности, третье "f₀/f₁" - режиму измерения отношения частот. Основным рабочим выходом макета является "ВЫХ.0", на котором присутствует выходной сигнал во всех режимах работы макета. Выход "ВЫХ.0" предназначен только при измерении отношения частот.

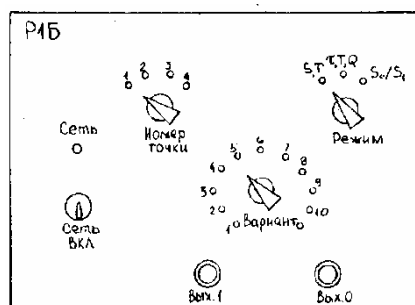


Рис. 19. Внешний вид лабораторного макета, формирующего ТТЛ сигналы

Подготовка к выполнению работы

1. По рекомендуемой литературе и настоящим методическим указаниям изучить принцип действия электронно-счетного частотомера и его работу в режимах измерения различных параметров.
2. По приложению А настоящих методических указаний изучить частотомер ЧЗ-63 (ЧЗ-63/1), его технические характеристики, проведение измерений с его помощью и оценку инструментальной погрешности.
3. Сделать заготовку отчета (одну на бригаду) в соответствии с требованиями раздела "Содержание отчета" настоящих методических указаний и лабораторным заданием.
4. Ответить на контрольные вопросы.
5. Вывести формулы для оценки абсолютной и относительной погрешностей косвенных измерений скважности.

Лабораторное задание

1. Измерить частоты и периоды электрических сигналов.
2. Проанализировать влияние режимов работы частотомера и значений измеряемых частот и периодов на погрешность измерения.
3. Измерить длительности, периоды следования импульсов и определить их скважность.
4. Измерить отношения частот.

Порядок выполнения работ

1. Выполнить измерения в соответствии с п.1 лабораторного задания. Измерения проводить в следующей последовательности.
 - а) подготовить к работе частотомер ЧЗ-63 в соответствии с приложением А настоящих методических указаний.
 - б) установить переключатели макета:
 - ВАРИАНТ в положение номера бригады;
 - РЕЖИМ - в положение "f,T";
 - НОМЕР ТОЧКИ - в положение «1» и включить макет.
 - в) измерить частоты сигналов f_x на выходе "ВЫХ.1" макета для всех четырех точек с помощью ЧЗ-63. Результаты измерений внести в табл. 1, зафиксировав в ней время измерения.
 - г) повторить измерения f_x , увеличив время измерения в 10 раз. Результаты также включить в табл. 1. Оценить инструментальную погрешность измерений в абсолютной и относительной форме.

Таблица 1

Измеренные частоты и периоды электрических сигналов.

№ точки	$T_{и}=0,1с$			$T_{и}=1,0с$		
	$f_x, кГц$	$\delta_f, \%$	$\Delta f, кГц$	$f_x, кГц$	$\delta_f, \%$	$\Delta f, кГц$
1						
2						
3						
4						

д) измерить периоды тех же сигналов T_x для всех точек с помощью частотомера ЧЗ-63 (5.3 приложение А). Измерения проводить для одного периода с одинаковым периодом меток времени для всех точек. Результаты занести в таблицу 2, зафиксировав в ней период меток времени T_0 .

е) повторить измерения предыдущего пункта, увеличив период меток времени в 10 раз.

ж) повторить два предыдущих задания, измерив 10 периодов T_x (множитель 10^1). Результаты измерений занести в табл. 2.

з) оценить инструментальные погрешности измерений для всех режимов измерений T_x .

2. Проанализировать полученные результаты.

Таблица 2

Анализ влияния режимов работы частотомера и значений измеряемых частот и периодов на погрешность измерения.

№ точки	$T_0 = \text{мкс}, n=1$			$T_0 = \text{мкс}, n=1$		
	$T_x, мс$	$\delta_T, \%$	$\Delta T, мкс$	$T_x, мс$	$\delta_T, \%$	$\Delta T, мкс$
1						
2						
3						
4						
№ точки	$T_0 = \text{мкс}, n=10$			$T_0 = \text{мкс}, n=10$		
	$T_x, мс$	$\delta_T, \%$	$\Delta T, мкс$	$T_x, мс$	$\delta_T, \%$	$\Delta T, мкс$
1						
2						
3						
4						

а) проследить за влиянием значения измеряемой частоты на инструментальную составляющую погрешности при различном времени измерения.

б) выявить зависимость значения измеряемого периода на инструментальную составляющую погрешности при различном периоде меток времени и при различном количестве измеряемых периодов.

в) сравнить погрешности измерения частоты и периода одного и того же сигнала. Сделать выводы. Результаты анализа включить в отчет.

3. Выполнить измерения в соответствии с п.3 лабораторного задания. Измерения проводить в следующей последовательности.

а) установить - переключатели макета:

– НОМЕР ТОЧКИ в положение «1»;

– РЕЖИМ - в положение «Т,τ,Q».

б) измерить период сигнала Т с точностью до 5-ти значащих цифр и оценить погрешность измерения.

в) измерить длительность импульса τ_x для всех четырех точек (А.5.4 приложения А) и оценить инструментальную составляющую погрешности измерения в абсолютной и относительной форме. Результаты занести в таблицу 3.

г) определить скважность импульсов Q_x и оценить погрешность их измерения в форме абсолютной и относительной как погрешность косвенных измерений с однократными наблюдениями. Результаты занести в табл. 3.

Таблица 3

Рассчитанные длительности и периоды следования импульсов и их скважность.

№точки	Т= мкс,		$\delta_T=$ %,		$\Delta_T=$ мкс	
	T_x , мс	δ_Q , %	$\Delta\tau$, мкс	Q_x	δ_Q , %	Δ_Q
1						
2						
3						
4						

4. Выполнить измерения в соответствии сп.4 лабораторного задания. Измерения проводить в следующей последовательности.

а) установить переключатель РЕЖИМ макета в положение « f_0/f_1 ».

б) измерить отношение частот в первой точке. Результат измерения занести в табл. 4, указав положение переключателя Множ. частотомера.

в) повторить измерения для остальных точек.

г) оценить инструментальные погрешности измерений.

Таблица 4

Отношения частот.

№точки	n=			
	1	2	3	4
f_0/f_1				
δ				

5. Согласовать с преподавателем результаты экспериментов и в случае отсутствия замечаний отключить от сети прибор и макет. Приступить к оформлению отчета.

Содержание отчета

1. Отчет должен содержать формулировку цели работы, лабораторное задание, основные технические характеристики частотомера по форме табл. 5, упрощенную структурную схему прибора, основные расчетные формулы, результаты расчетов и экспериментов, оценку погрешностей и выводы по каждому пункту задания.

Таблица 5

Параметры измерительного прибора

Наименование прибора	Тип	Заводской номер	Основные технические характеристики
Частотомер электронно-счетный	ЧЗ-63 (ЧЗ-63/1)		

2. В графу «Основные технические характеристики» следует включать информацию, необходимую для выполнения работы, проведения расчетов, оценки погрешностей и выводов.

3. Результаты измерений и расчетов следует приводить в виде таблиц, рекомендованных настоящими методическими указаниями.

4. Отчет должен соответствовать системе стандартов ЕСКД.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные методы измерения частотных и временных параметров сигналов.

2. В чем суть электронно-счетного метода измерения частоты, периода, длительности импульса, отношения частот?

3. Перечислите основные источники погрешностей измерения частоты, периода, длительности импульса и отношения частот цифровым методом. По

каким формулам можно оценить каждую из составляющих погрешности этих величин?

4. Как в зависимости от значения измеряемого параметра и режимов работы частотомера изменяются составляющие погрешностей?

5. Какие существуют способы повышения точности измерения частоты и периода ВЧ и НЧ сигналов? В чем суть каждого способа?

6. Как оцениваются погрешности косвенных измерений с однократными наблюдениями?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лифиц И.М. Основы стандартизации, метрологии и сертификации: Учебное пособие/ И.М. Лифиц– М.: Юрайт, 2001. – 266 с.
2. Никифоров А.Д. Метрология, стандартизация и сертификация: Учебник. /А.Д. Никифоров, Т.А. Бакиев– М.: Высшая школа, 2003. – 423 с.
3. Павлов Л.П. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов/Л.П. Павлов – М.: Высшая школа, 1986.– 238 с.
4. Рембеза С.И. Физические методы исследования материалов твердотельной электроники: Учебное пособие / С.И. Рембеза, И.И. Синельников, Е.С. Рембеза, Н.И. Каргин – Ставрополь, 2002.– 429 с.
5. Сереев А. Г. Метрология, стандартизация, сертификация: Учебное пособие /А. Г. Сереев, М. В Латышев., В. В. Терегеря – М.: Логос, 2003. – 536 с.
6. Тартаковский Д. Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: Учебное пособие / Д. Ф. Тартаковский, А.С., Ястребов – М.: Высшая школа, 2002.– 210 с.
7. Горлов М.И. Контроль качества, стандартизация и сертификация изделий электронной техники: Учебное пособие / М.И. Горлов – Воронеж: ВГТУ , 2002.– 98 с.
8. Измерение электрических и неэлектрических величин: Учебное пособие / ред. Н.Н. Евтихийев – М.: Энергоатомиздат, 1990.— 352 с.
9. Крылова Г. Д. Основы стандартизации. Сертификации, метрологии: Учебное пособие / Г.Д. Крылова - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. — 671 с.
10. Кушнир Ф. В. Электрорадиоизмерения / Ф. В. Кушнир, В Г Савенко –Л.: Энергоатомиздат, 1983.– 320 с.
11. Метрология, стандартизация и измерения в технике связи: Учебное пособие / ред. Б. П. Хромой – М.: Радио и связь, 1986.– 224 с.
12. Сретенский В. Н. Метрологическое обеспечение производства приборов микроэлектроники / В. Н. Сретенский– М.: Радио и связь, 1988. – 144 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Лабораторная работа № 1. Поверка технического амперметра магнитоэлектрической системы.....	3
Лабораторная работа № 2. Измерение напряжений и токов в электрических цепях.....	7
Лабораторная работа № 3. Изучение параметров электрических сигналов с помощью электронного осциллографа.....	15
Лабораторная работа № 4. Измерение частотных и временных параметров сигналов цифровым частотомером.....	22
Библиографический список.....	31

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ
для студентов направления
11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»
(профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника»)
всех форм обучения

Составители:

Митрохин Виктор Иванович
Винокуров Александр Александрович
Анисимов Антон Дмитриевич

Издается в авторской редакции

Подписано к изданию 09.02.2022.
Уч.-изд. л. 2,0.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84