

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ ВОЛЬТМЕТРОВ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Изучить устройство, принцип действия, схемы построения, характеристики и методы коррекции частотной погрешности выпрямительных вольтметров.

1.2. Получить практические навыки в постановке эксперимента по предложенной программе, научиться грамотно проводить анализ и обработку результатов исследований.

2. КРАТКИЕ ПОЯСНЕНИЯ К РАБОТЕ

Высокая чувствительность, точность, малое потребление мощности выгодно отличает магнитоэлектрические приборы от других электромеханических приборов аналогичного назначения. Однако непосредственно они пригодны только в цепях постоянного тока. Для того, чтобы использовать достоинства магнитоэлектрических механизмов при измерениях в цепях переменного тока, необходимо предварительно преобразовать переменный ток в постоянный.

В качестве преобразователей переменного тока в постоянный используют *выпрямительные, термоэлектрические преобразователи*, а также *преобразователи на электронных элементах* (электронных лампах, транзисторах, интегральных микросхемах и т. п.) В соответствии с этим различают *выпрямительные, термоэлектрические и электронные приборы*.

2.1. Общие сведения. Измеряемое переменное напряжение обычно оценивается следующими параметрами: мгновенным, амплитудным, средним, средневыпрямленным и действующим значениями.

Амплитудное значение (амплитуда) U_m измеряемого напряжения $U(t)$ определяется как его наибольшее значение за период T (рис.1,а). Для несимметричного относительно нуля напряжения вводят понятие *пиковых отклонений* вверх U_{m+} и вниз U_{m-} (рис.1,б). *Среднее значение* напряжения в этом случае запишется как

$$U_{CP} = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt \quad (1)$$

Средневыпрямленное значение $U_{cp.v}$ (рис.1,в) определяется как постоянная составляющая напряжения $U(t)$ после его выпрямления:

$$U_{CP.B} = \frac{1}{T} \int_0^T |U(t)| dt \quad (2)$$

Для напряжения одной полярности среднее и средневыпрямленное значения равны. Для разнополярных напряжений эти значения могут существенно отличаться друг от друга. Так для чисто гармонического напряжения $U_{cp} = 0$, а $U_{cp.v} = 0,637 U_m$.

Действующее (эффективное) значение напряжения U оценивается по среднеквадратическому значению как

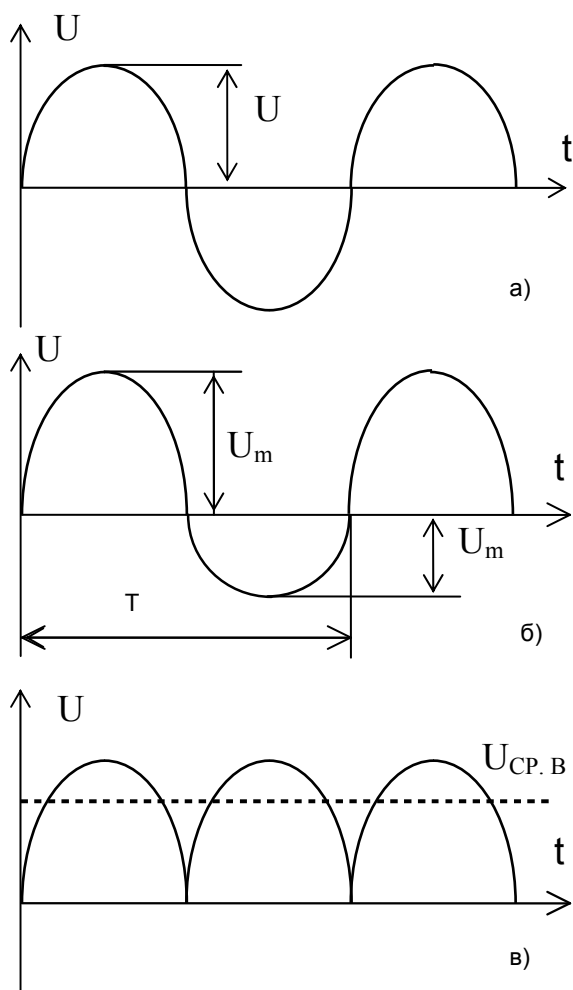


Рис.

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U^2(t) dt} \quad (3)$$

Между амплитудным, действующим и средневывпрямленным значениями напряжения определенной формы могут быть установлены связи через коэффициент амплитуды

$$k_a = U_m / U_{эфф}$$

и коэффициент формы

$$k_f = U_{эфф} / U_{ср.в.} \quad (4)$$

Значения коэффициентов для напряжений различной формы приведены в табл.1.

В соответствии с измеряемым параметром напряжения различают вольтметры амплитудного (пикового), среднего, средневывпрямленного и действующего (эффективного) значений.

В данной лабораторной работе рассматриваются выпрямительные вольтметры среднего (средневывпрямленного) значений, которые представляют собой сочетание выпрямительного преобразователя и магнитоэлектрического механизма с отсчетным устройством.

В качестве выпрямительных преобразователей в этих приборах используют преимущественно полупроводниковые диоды (германиевые или кремниевые). Наибольшее распространение получили точечные кремниевые диоды, которые имеют малую собственную емкость (несколько пикофард) и могут работать в широком диапазоне частот - от низких (0-50) до высоких (10^4 - 10^5) Герц. Недостатком полупроводниковых диодов, как выпрямительных преобразователей, является нелинейность вольтамперной характеристики, ее нестабильность во времени и зависимость от температуры и частоты.

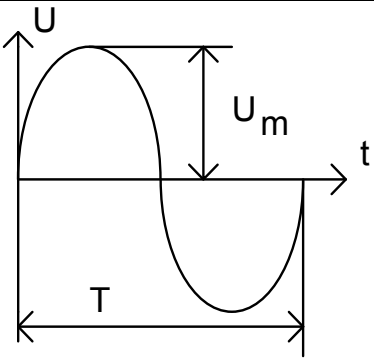
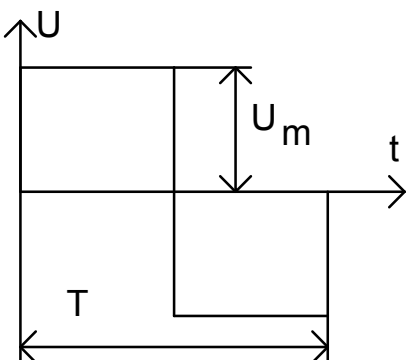
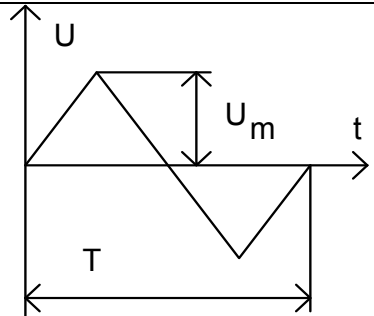
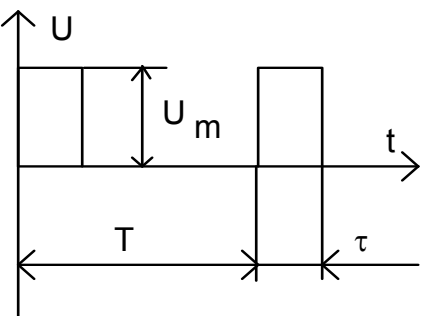
Выпрямительные свойства диодов характеризуют коэффициентом выпрямления

$$k_B = \frac{I_{пр}}{I_{обр}} = \frac{R_{обр}}{R_{пр}}, \quad (5)$$

где $I_{пр}$ и $I_{обр}$ - токи, протекающие через диод соответственно в прямом и обратном направлениях, а $R_{пр}$ и $R_{обр}$ - соответственно прямое и обратное сопротивления диода.

Значение k_B зависит от приложенного к диоду напряжения, частоты протекающего тока и температуры окружающей среды. Он невелик при малых значениях напряжения (меньше десятых долей вольта), но быстро возрастает при повышении напряжения.

Таблица 1

Форма переменного напряжения	U	U_{cp}	k_a	k_f
	$\frac{U_m}{\sqrt{2}}$	$\frac{2U_m}{\pi}$	$\sqrt{2}$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}}$
	U_m	U_m	1	1
	$\frac{U_m}{\sqrt{3}}$	$\frac{U_m}{2}$	$\sqrt{3}$	$\frac{2}{\sqrt{3}}$
	$U_m \sqrt{\frac{\tau}{T}}$	$U_m \frac{\tau}{T}$	$\sqrt{\frac{T}{\tau}}$	$\sqrt{\frac{T}{\tau}}$

В рабочей области напряжений, частот и температур коэффициент выпрямления диодов равен 10^2 - 10^6 . Следует отметить, что зависимость коэффициента выпрямления от вышеперечисленных факторов, а также от формы кривой измеряемого напряжения может привести к значительным погрешностям. Снижение погрешностей обычно производится путем включения температурно-частотных корректирующих элементов в цепи прибора.

В выпрямительных вольтметрах средневыпрямленных значений используют одно- и двухполупериодные схемы выпрямления.

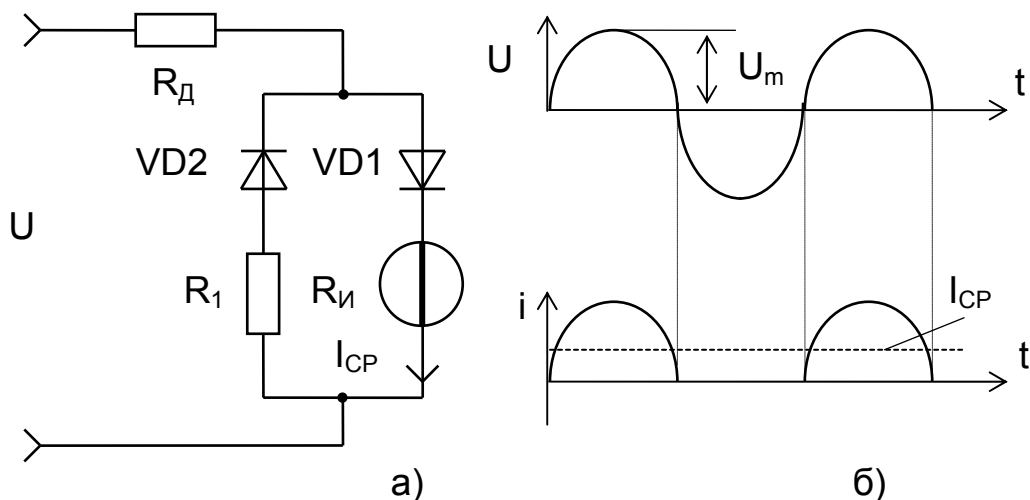


Рис. 2. Принципиальная схема и временные диаграммы выпрямительного вольтметра с однополупериодным выпрямлением:

R_d - сопротивление добавочного резистора, R_m - сопротивление измерительного механизма, I_{cp} - среднее значение выпрямленного тока, R_1 - сопротивление симметрирующего резистора.

При использовании схемы однополупериодного выпрямления (рис.2) через измерительный механизм проходит только одна полуволна переменного тока, а обратная - через диод VD2 и резистор R_1 .

Цепь из диода VD2 и резистора $R_1 = R_m$ используют для выравнивания обеих полуолн тока в цепи источника переменного напряжения и для защиты основного диода (VD1) от возможного электрического пробоя обратным напряжением.

При использовании схемы двухполупериодного выпрямления (рис.3) выпрямленный ток проходит через измерительный механизм в обе полуолны периода. Чувствительность этой схемы выше, чем предыдущей. В этой схеме диоды VD1-VD4 должны иметь одинаковые параметры.

Градуировка шкал выпрямительных приборов, как правило, производится в средних (средневыпрямленных) значениях синусоидальных токов или напряжений. Однако в практике измерений чаще важно знать не среднее, а действующее (эффективное) значение измеряемого тока или напряжения. В этом случае шкалы таких выпрямительных приборов градуируют в действующих (эффективных) значениях синусоидального тока или напряжения путем введения при градуировке коэффициента формы ($k_f = 1.11$).

При измерении переменных токов или напряжений, форма которых отличается от синусоидальной, возникает систематическая погрешность.

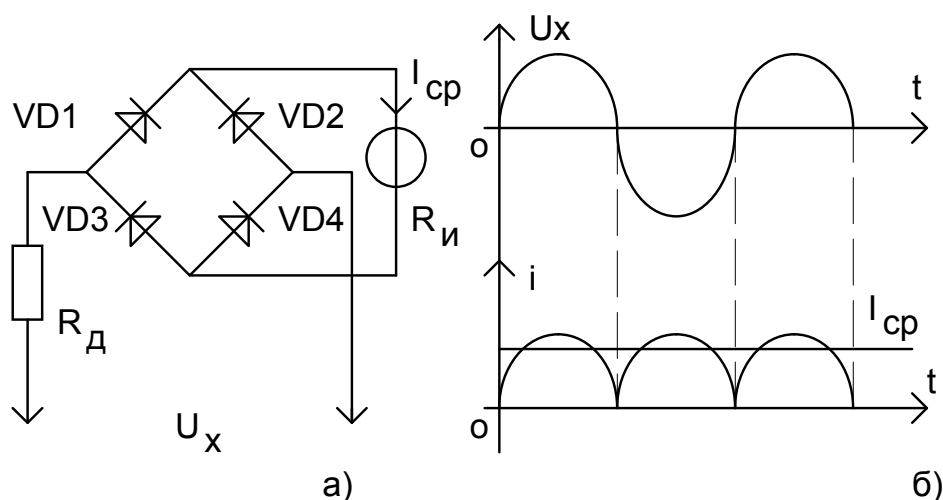


Рис.3. Схема выпрямительного вольтметра и временные диаграммы напряжения и тока при двухполупериодном выпрямлении.

Шкала выпрямительных вольтметров, вследствие нелинейности вольтамперной характеристики диодов, в начальной части несколько сжата, но, начиная с 10-15% длины шкалы имеет практически равномерный характер. Для линейаризации вольтамперной характеристики диодов применяются такие способы, как введение режима заданного тока, улучшение ключевых свойств выпрямительных цепей, смещение рабочей точки на линейный участок характеристики диодов и т.д. При любом способе линейаризации функции преобразования выпрямительных преобразователей средних значений одновременно уменьшается температурная погрешность и погрешность, обусловленная нестабильностью диодов.

Для расширения пределов измерения вольтметров по напряжению используют добавочные резисторы, значения сопротивлений которых для одно- и двухполупериодных схем выпрямления определяют соответственно из следующих выражений.

$$R_d = R_i \left(\frac{m}{2k_f} - 1 \right) \quad (6), \quad R_d = R_i \left(\frac{m}{k_f} - 1 \right) \quad (7),$$

где $m = U / U_{ср.н}$, U - действующее значение измеряемого напряжения, $U_{ср.н} = I_{ср.н} R_i$ - номинальное среднее значение напряжения на измерительном приборе при $I_{ср.н}$ - номинальном среднем токе через прибор.

Достоинствами выпрямительных вольтметров является относительно высокая чувствительность по напряжению (0.15-0.2 В), малое собственное потребление мощности, широкий частотный диапазон. К недостаткам этих приборов следует отнести невысокую точность (классы точности 1.0-2.5) и зависимость показаний от формы кривой измеряемого переменного тока или напряжения.

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 3.1. Назвать основные виды преобразователей переменного тока в постоянный.
- 3.2. Какими основными параметрами оценивают переменные напряжения?
- 3.3. Дать определения среднему и средневывпрямленному значениям переменного напряжения.
- 3.4. Что понимают под действующим значением переменного напряжения?

3.5. Дать определения коэффициентам амплитуды и формы периодических функций.

3.6. Назвать основные недостатки полупроводниковых диодов, применительно к их использованию в выпрямительных измерительных приборах.

3.7. Дать определение коэффициента выпрямления и перечислить основные влияющие на него факторы.

3.8. Изобразить схему однополупериодного выпрямительного вольтметра и пояснить назначение элементов и работу.

3.9. Изобразить схему двухполупериодного выпрямительного вольтметра и пояснить назначение элементов и работу.

3.10. Чем обусловлены нелинейность шкалы выпрямительного вольтметра?

3.11. Каким образом производят расширение пределов измерения вольтметры по напряжению? Привести расчетную формулу.

3.12. Каким образом температура окружающей среды и частота измеряемого электрического сигнала влияют на показания выпрямительных приборов?

3.13. Каким образом производят компенсацию температурной и частотной погрешностей выпрямительных вольтметров?

4. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Объектами исследований в лабораторной работе являются одно- и двухполупериодные выпрямительные вольтметры. Все элементы, необходимые для сборки схем выпрямительных вольтметров, расположены на макете.

В качестве измерительного механизма магнитоэлектрической системы используется микроамперметр типа М2001.

Выпрямительные преобразователи однополупериодного и двухполупериодного выпрямления выполнены соответственно на полупроводниковых диодах VD1-VD2 и VD3-VD6.

Функцию добавочного резистора выполняет магазин сопротивлений Р33, а корректирующие конденсаторы находятся на макете и подключаются к добавочному резистору при помощи специальных перемычек.

Кроме того, в комплект оборудования к лабораторной работе входят: вольтметр универсальный цифровой В7-35; генератор синусоидальных колебаний ГЗ-109; электронно-лучевой осциллограф С1-55;

5. ПРОГРАММА РАБОТЫ

5.1. Изучить средства измерений и устройство лабораторного макета, используемых при проведении работы.

5.2. Исследовать выпрямительный вольтметр по схеме однополупериодного или двухполупериодного выпрямления (по указанию преподавателя).

5.2.1. Рассчитать и изготовить на базе магнитоэлектрического микроамперметра выпрямительный вольтметр с верхним пределом измерения переменного напряжения 10В.

5.2.2. Снять и построить градуировочную характеристику выпрямительного вольтметра. Оценить погрешность от нелинейности.

5.2.3. Выполнить измерение ряда значений переменного напряжения и оценить погрешность результатов измерений.

5.2.4. Снять и построить частотную характеристику $U_v = F(f)$ выпрямительного вольтметра: без корректирующих элементов; с корректирующими элементами.

6. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

6.1. Ориентировочно рассчитать сопротивление добавочного резистора для выпрямительного вольтметра с пределом измерения по действующему значению 10В, используя выражение (6) или (7). Напоминаем, что для синусоидальной формы напряжения $k_f = 1.11$.

Сопротивление $R_{и}$, состоящее из сопротивления собственно микроамперметра и шунтирующего резистора, измеряется прибором В7-35. Значение $U_{ср.н}$ определяется по результатам работы №3.

6.2. Произвести градуировку шкалы вольтметра в действующих значениях напряжения. Для этого собрать схему, приведенную на рис.4.

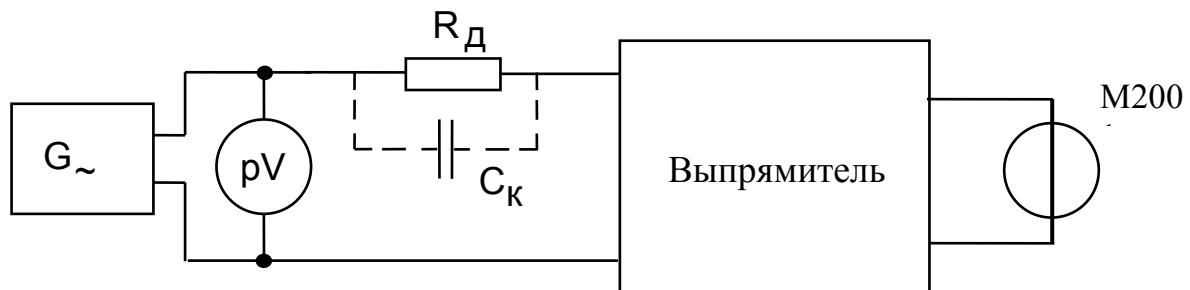


Рис.4. Функциональная схема экспериментальной установки.

Универсальный вольтметр В7-35, входящий штатно в комплект лабораторной работы, выполняет функцию образцового измерителя действующих значений напряжений. В качестве добавочного резистора $R_{д}$ используется образцовый магазин сопротивлений Р-33. Для наблюдения за формой измеряемых напряжений применяют электронный осциллограф С1-55.

На частоте $f = 100$ Гц установить по образцовому вольтметру напряжение на выходе генератора $U = 10$ В. При этом указатель исследуемого выпрямительного вольтметра должен отклониться на полную шкалу. Если этого не произошло, подгонку показания осуществить плавной регулировкой сопротивления добавочного резистора (магазина сопротивлений).

Затем уменьшать значения напряжения с выхода генератора, устанавливая последовательно ряд значений (10 – 9 – 8 – 7 – 6 – 5 – 4 – 3 – 2 – 1 – 0.5)В, одновременно снимая показания по шкале исследуемого выпрямительного прибора. Полученные данные результатов измерений занести в табл. 2

Таблица 2

$U_0, В$	10.0	9.0	8.0	1.0	0.5
$\alpha, дел$							

Построить градуировочную характеристику вида $\alpha = f(U)$ и оценить ее нелинейность. В качестве критерия оценки нелинейности используют коэффициент

$$K_1 = \frac{tga_{max} - tga_{min}}{tga_{ср}}$$

нелинейности.

где $tg\alpha_{max}$, $tg\alpha_{min}$, $tg\alpha_{cp}$ -соответственно тангенсы максимального, минимального и среднего углов наклона градуировочной характеристики.

6.3. Используя градуировочную характеристику, измерить выпрямительным вольтметром ряд напряжений, соответствующих оцифрованным делениям его шкалы. Одновременно эти значения измерять образцовым вольтметром действующих значений. Определить наибольшее значение приведенной погрешности и оценить класс точности исследуемого выпрямительного вольтметра. Результаты эксперимента занести в табл. 3 (α - показания выпрямительного вольтметра в делениях, U_B - показания выпрямительного вольтметра в вольтах, U_0 - показания образцового вольтметра в вольтах, γ - приведенная погрешность).

Таблица 3

α , дел						
U_B , В						
U_0 , В						
γ , %						

6.4. Определение частотной характеристики $U_B = F(f)$ выпрямительного вольтметра: без корректирующей емкости C_k и с корректирующей емкостью (для этого параллельно добавочному резистору подключают конденсатор C_k).

Установить на выходе генератора напряжение $U_0 = 6В$ и, изменяя частоту генератора в диапазоне частот от 100Гц до 200 кГц (рекомендуемый ряд - 100, 200,...,1000Гц - , 2, 3,...,10кГц, - 20, 30, 50.....,100кГц, 200кГц), снять показания выпрямительного вольтметра. Напряжение на выходе генератора поддерживать постоянным по ходу всего эксперимента.

Результаты измерений занести в табл. 4, построить частотные характеристики (в логарифмическом масштабе) и сравнить их между собой.

Таблица 4

Частота, кГц,	0.1	0.2	...	1	2	...	200
Без корр.емкости							
С корр. емкостью							

6.5. Содержание отчета: Цель работы. Программа работы. Схемы экспериментальных установок. Таблицы, экспериментальные данные. Примеры расчетов. Выводы по отдельным п.п. работы и общие выводы.