

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники»

Кафедра метрологии и стандартизации

Методические указания к лабораторной работе Р.4Б

**«ИЗМЕРЕНИЕ ФАЗОВЫХ СДВИГОВ И ГРУППОВОГО
ВРЕМЕНИ ЗАПАЗДЫВАНИЯ»**

для студентов радиотехнических специальностей

Минск 1996

УДК 621. 317. 39

Методические указания к лабораторной работе Р. 4Б «Измерение фазовых сдвигов и группового времени запаздывания» для студентов радиотехнических специальностей / Сост. В. Т. Ревин. – Мн.: БГУИР – 27 с.

Методические указания К лабораторной работе Р. 4Б «Намерение фазовых сдвигов и группового времени запаздывания» для студентов радиотехнических специальностей включают цель работы, краткие сведения из теории, описание лабораторных макетов и приборов, используемых при выполнении лабораторной работы, лабораторное задание и рекомендации по его выполнению, а также указания по оформлению отчета, контрольные вопросы и список рекомендуемой литературы. В них рассмотрены методы и приборы для измерения фазовых сдвигов, методики практического измерения этих параметров и использования соответствующих измерительных приборов. Предусматривается оценка точности – полученных результатов.

Ил. 12, табл. 11, список лит. – 4 назв.

Составитель: Ревин В. Т.

© Составление
Ревин В. Т., 1996

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1 Изучение методов измерения фазовых сдвигов (метода суммы и разности напряжений, нулевого метода и метода преобразования фазового сдвига во временной интервал).

1.2 Изучение методов измерения группового времени запаздывания.

1.3 Изучение устройства и принципа действия измерительных приборов Ф2-34 и 13-109 и приобретение практических навыков работы с ними.

2 КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

К числу основных параметров электромагнитных колебаний, определяющих состояние колебательного процесса в заданный момент времени, относится фаза исследуемого сигнала. Для гармонического колебания $u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi)$ фаза Φ определяется аргументом синусоидальной функции, линейно зависящей от времени, т. е. $\Phi = \omega t + \varphi$, где φ – начальная фаза. Если начальные фазы двух синусоидальных колебаний с частотой ω обозначить соответственно через φ_1 и φ_2 сдвиг фаз будет равен $-(\varphi_1 - \varphi_2)$. Следовательно, фазовый сдвиг является постоянной величиной и не зависит от момента времени отсчета.

В радиотехнике, электронике, технике связи и других областях науки и техники измерение фазовых сдвигов гармонических сигналов позволяет получить информацию о качестве радиоустройств, линий связи, технологических процессов и т. д. Для проведения таких измерений используются приборы подгруппы Ф (Ф2 – измерители фазовых сдвигов; Ф3 – измерительные фазовращатели; Ф4 – измерители группового времени запаздывания).

Наибольшее распространение получили следующие методы измерения фазовых сдвигов: метод суммы и разности напряжений, нулевой метод, метод преобразования фазового сдвига во временной интервал, которые изучаются в рамках настоящей лабораторной работы.

МЕТОД СУММЫ И РАЗНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ

Сущность метода суммы и разности напряжений заключается в переносе информации об измеряемом фазовом сдвиге в амплитуду результирующего (суммарного или разностного) напряжения с последующим измерением этого напряжения аналоговым или цифровым вольтметром. Если два гармонических сигнала, описываемых выражениями

$$U_1(t) = U_{m1} \sin(\omega t + \varphi_1) \quad (1)$$

$$U_2(t) = U_{m2} \sin(\omega t + \varphi_2) \quad (2)$$

подать на схему сложения (сумматор), то амплитуда их векторной суммы при $U_{m1} = U_{m2} = U_m$ будет равна

$$U_{mc} = 2U_m \cos \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2} \quad (3)$$

Аналогично, с помощью схемы вычитания можно образовать разностное напряжение, амплитуда которого равна

$$U_{mp} = 2U_m \sin \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2} \quad (4)$$

В принципе, для намерения фазового сдвига $\varphi_x = (\varphi_1 - \varphi_2)$ достаточно использовать только суммарную U_{mc} или разностную U_{mp} составляющие напряжения. Однако такой фазометр будет иметь пределы измерения от 0° до $+90^\circ$, неравномерную шкалу и резко выраженную зависимость погрешности измерения фазовых сдвигов от значения φ_x . Кроме того, измеренное значение φ_x будет зависеть от значения измеряемого напряжения U_m . Поэтому в практических схемах фазометров, реализующих метод суммы и разности напряжений, используется как суммарное, так и разностное напряжения.

Структурная схема одного из возможных вариантов такого фазометра приведена на рисунке 1.

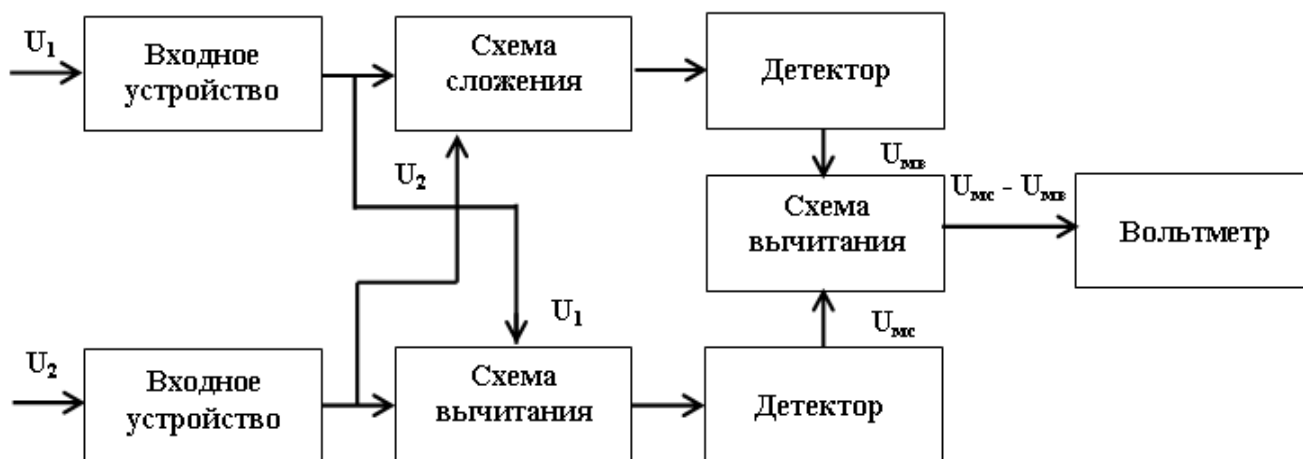


Рисунок 1

Входные сигналы U_1 и U_2 , амплитуды которых уравниваются с помощью входных устройств, подаются на схемы сложения и вычитания. На выходах этих схем после детектирования образуются суммарное (3) и разностное (4) постоянные напряжения, которые поступают на вторую схему вычитания. На ее выходе будет выделяться разностное напряжение, которое измеряется аналоговым или цифровым вольтметром.

Зависимость $\frac{U_{mc} - U_{mp}}{2U_m}$ от φ_x (рисунок 2) оказывается практически рав-

номерной, что позволяет при предварительной калибровке фазометра для устранения зависимости φ_x от U_m расширить пределы измерения до $\pm 180^\circ$. Следует однако отметить, что при измерении фазовых сдвигов фазометром, реализующим данный метод, наблюдается неоднозначность отсчета (кроме точек $+1$ и -1) значений измеренного фазового сдвига. Действительно, одному и тому же

значению разностного напряжения $\frac{U_{mc} - U_{mp}}{2U_m}$ соответствуют два значения измеряемого фазового сдвига φ_x и φ'_x (см. рисунок 2), Действительное значение фазового сдвига можно определить путем дополнительного измерения, при котором Напряжение U_2 сдвигается по фазе с помощью дополнительного фазовращателя на небольшой фиксированный угол φ_0 .

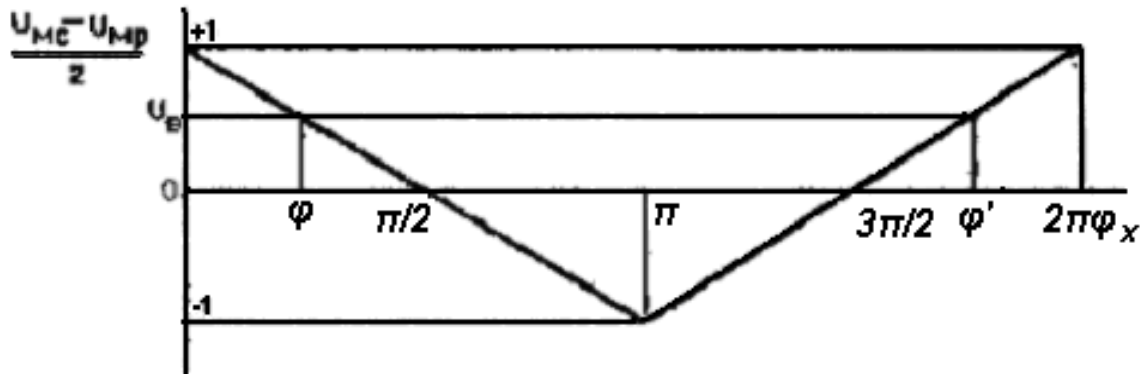


Рисунок 2

Как видно из рисунка 2, если показанию вольтметра U_v при первом измерении φ_x соответствуют два значения фазового сдвига φ и φ' , то после дополнительного сдвига фаз на угол φ_0 показания вольтметра для углов $\varphi_1 = \varphi + \varphi_0$ и $\varphi_2 = \varphi' + \varphi_0$ будут различны. Дополнительно измерив значение U_B' и пользуясь графиком (рис. 2), легко определить действительное значение фазового сдвига φ_x . При $U_B > U_B'$ действительное значение фазового сдвига будет находиться в пределах $0 < \varphi_x < \pi$ при $U_B < U_B'$ – в пределах $\pi < \varphi_x < 2\pi$.

Метод суммы и разности напряжений используется для разработки фазометров, работающих в широком диапазоне частот (до сотен ГГц), и обеспечивает измерения фазовых сдвигов с основной погрешностью, не превышающей $\pm(2-3)^\circ$. Данный метод используется также в приборах, предназначенных для контроля за постоянством фазового сдвига. При этом погрешность измерения уменьшается до десятых доли градуса. Более подробно данный метод рассмотрен в (1) – (4).

НУЛЕВОЙ МЕТОД

Типовая структурная схема фазометра, реализующего нулевой метод измерения фазовых сдвигов, приведена на рисунке 3.

Входные сигналы U_1 (1) и U_2 (2) с помощью входных устройств выравниваются по амплитуде и поступают на измерительный (ИФВ) к установочный (УФВ) фазовращатели. В качестве индикаторного устройства (ИУ) могут использоваться индикаторы равенства фаз напряжений U_1' и U_2' , их противофазности или квадратурности.

Перед началом измерений фазометр калибруется с целью устранения собственного фазового сдвига, вносимого элементами схемы. Для этого указатель шкалы ИФВ устанавливается на нулевую отметку, на оба входа фазометра пода-

ют один из исследуемых сигналов.

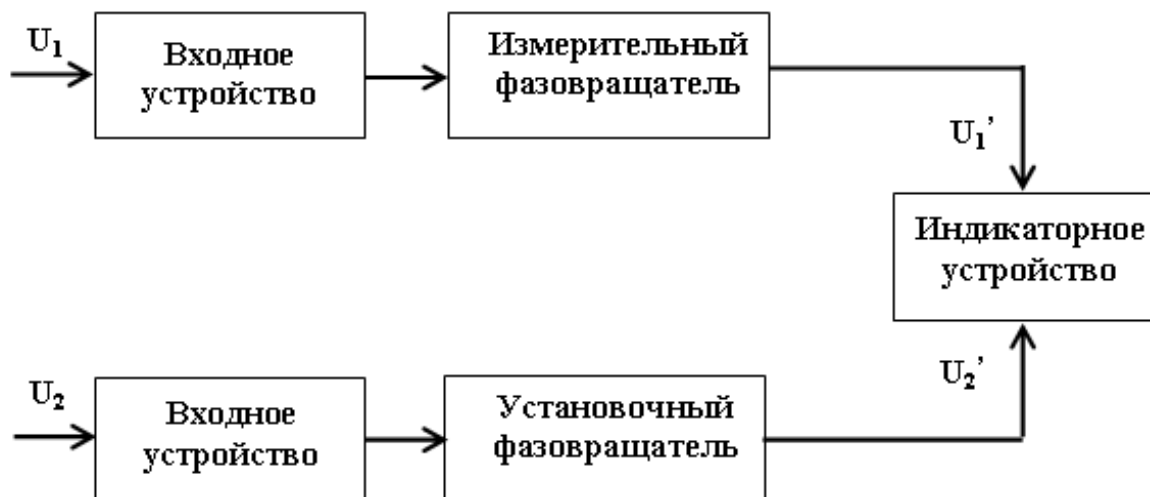


Рисунок 3

Изменением фазового сдвига, вносимого УФВ, добиваются нулевых показаний индикаторного устройства (ИУ), компенсируя тем самым собственный фазовый сдвиг фазометра. В режиме измерения начальная фаза напряжения U_1 с помощью ИФВ изменяется на величину φ_0 (образцовый фазовый сдвиг) и с помощью индикаторного устройства фиксируется величина $\Delta\varphi = \varphi_0 + \varphi_x$. При $\Delta\varphi=0^\circ$ $\varphi_x = -\varphi_0$ т. е. измеренное значение фазового сдвига отсчитывается непосредственно по шкале ИФВ. При $\Delta\varphi = 180^\circ$ измеряемый фазовый сдвиг определяется по формуле $\varphi_x = 180^\circ - \varphi_0$.

В качестве индикатора значений $\Delta\varphi = 0^\circ$ и $\Delta\varphi = 180^\circ$ чаще всего используется электронно-лучевой осциллограф. При подаче напряжений U_1' и U_2' на входы X и Y электронно-лучевого осциллографа наблюдаемая на экране электронно-лучевой трубки интерференционная фигура будет иметь вид эллипса, параметры которого определяются значением измеряемого фазового сдвига φ_x . При синфазности напряжений, поступающих на входы X и Y осциллографа, эллипс "стягивается" в линию, которая наклонена вправо под углом 45° (при $U_1' - U_2'$). Если же $\Delta\varphi=180^\circ$, линия будет наклонена влево также под углом 45° . Момент "стягивания" эллипса в линию может быть зафиксирован достаточно точно. Погрешность измерения фазового сдвига фазометром, реализующим нулевой метод, определяется, в основном, погрешностью градуировки шкалы ИФВ. Более подробно нулевой метод измерения φ_x изложен в (1) – (4).

МЕТОД ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФАЗОВОГО СДВИГА ВО ВРЕМЕННОЙ ИНТЕРВАЛ

Измерение фазового сдвига методом преобразования во временной интервал основано на алгоритме, описываемом выражением

$$\varphi = 360^\circ \frac{\Delta t_x}{T_x} \quad (5)$$

где T_x – период сигнала;

Δt_x – интервал времени, пропорциональный измеряемому фазовому сдвигу.

Структурная схема фазометра, реализующего метод преобразования фазового сдвига во временной интервал, приведена на рисунке 4, временные диаграммы, поясняющие принцип его работы, представлены на рисунке 5.

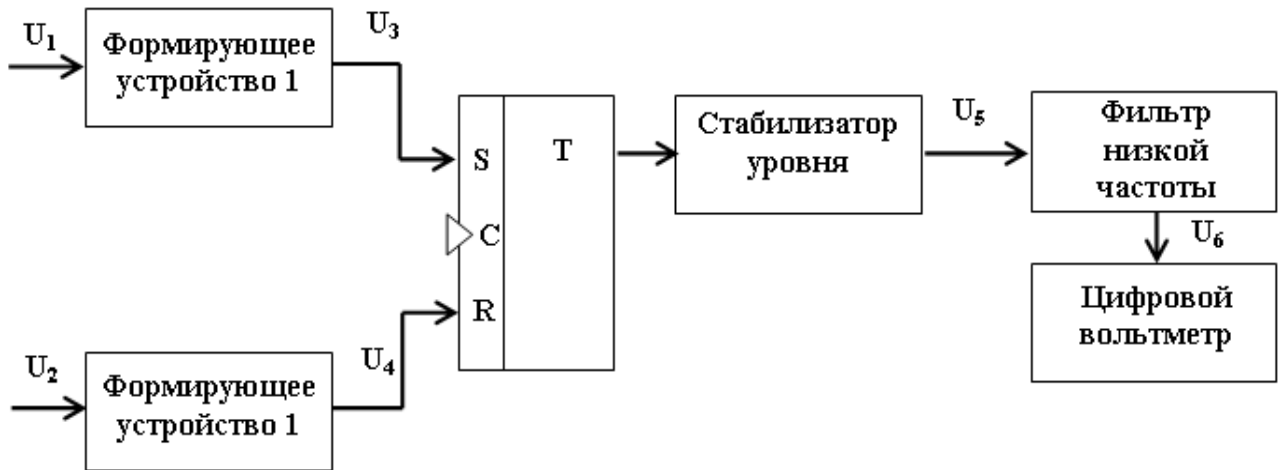


Рисунок 4

Гармонические сигналы U_1 и U_2 преобразуются с помощью формирующих устройств в последовательность коротких импульсов U_3 и U_4 (см. рисунок 5), временное положение которых соответствует нуль-переходам входных сигналов из отрицательной области в положительную. Интервал времени Δt_x между ближайшими импульсами первой U_3 и второй U_4 последовательностей будет пропорционален измеряемому фазовому сдвигу φ_x .

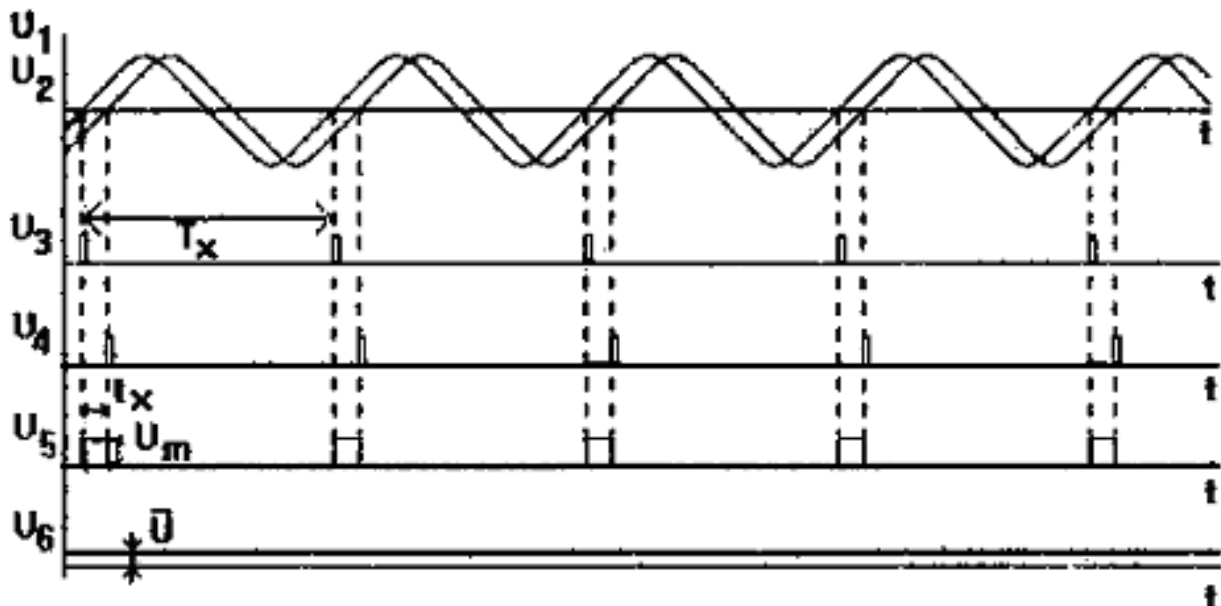


Рисунок 5

Однако, как видно из выражения (6), для измерения фазового сдвига φ_x рассматриваемым методом необходимо определить отношение $\Delta t_x/T_x$. Это от-

ношение наиболее просто определяется как постоянная составляющая периодической последовательности прямоугольных импульсов U (см. рисунок 5) в соответствии с выражением

$$\bar{U} = U_m \frac{\Delta t_x}{T_x} \quad (6)$$

Определив из выражения (7) отношение $\Delta t_x / T_x$ и подставив его в выражение (6), получим

$$\varphi_x = 360^\circ \frac{\bar{U}}{U_m} \quad (7)$$

Зафиксировав с помощью стабилизатора уровня амплитуду прямоугольных импульсов U_m на уровне, например, 360 мВ и выделив с помощью фильтра низкой частоты постоянную составляющую периодической последовательности импульсов, получим, что измеренное среднее значение напряжения U (например, в мВ) будет равно измеряемому фазовому сдвигу в градусах.

Рассмотренный цифровой фазометр; реализующий метод преобразования фазового сдвига во временной интервал, работает по алгоритму преобразования: фазовый сдвиг – интервал времени – напряжение – цифровой код. Однако в настоящее время широко применяются цифровые фазометры, реализующие алгоритм преобразования: фазовый сдвиг – интервал времени – цифровой код. Целесообразность применения такого алгоритма преобразования очевидна: упрощается алгоритм работы фазометра и, как следствие, появляется потенциальная возможность повышения точности измерения фазовых сдвигов.

Данный метод положен в основу работы фазометра Ф2–34, который используется при выполнении данной лабораторной работы. Описание принципа его действия подробно изложено в прил. 1 данных методических указаний.

Более подробно рассмотренные и другие методы измерения фазовых сдвигов описываются в (1) – (4).

ИЗМЕРЕНИЕ ГРУППОВОГО ВРЕМЕНИ ЗАПАЗДЫВАНИЯ

Помимо измерения фазовых сдвигов в радиоизмерительной технике большое внимание уделяется измерению группового времени запаздывания (ГВЗ), которое количественно характеризует фазовые искажения при передаче сигналов в различных радиотехнических устройствах. Различают абсолютное и относительное групповое время запаздываний.

Абсолютное ГВЗ определяется не только характером фазочастотной характеристики (ФЧХ), но и электрической длиной тракта передачи исследуемого сигнала, Под абсолютным ГВЗ понимается величина

$$t_{\text{гp абс}} = \frac{d\varphi}{d\omega}, \quad (8)$$

где φ – абсолютный фазовый сдвиг, на который изменится фаза синусоидального сигнала при распространении его по цепи за время $t_{\text{рас}}(\varphi = \omega t_{\text{рас}})$.

Однако саму нелинейность ФЧХ удобнее оценивать с помощью относительного ГВЗ, которое определяется выражением

$$t_{\text{гр}} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta\omega} = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{\omega_2 - \omega_1}, \quad (10)$$

где φ_1 – фазовый сдвиг на некоторой опорной частоте ω_1 , принятой на начало отсчета;

φ_2 – фазовый сдвиг на данной частоте ω_2 .

Из (10) следует, что при линейной ФЧХ значение ГВЗ является величиной постоянной ($t_{\text{гр}} = \text{const}$), а неравномерность характеристики $t_{\text{гр}}(\omega)$ является мерой нелинейности ФЧХ и однозначно характеризует фазовые искажения передаваемого сигнала.

В соответствии с выражением (10) методы измерения ГВЗ могут быть подразделены на две группы: методы, основанные на определении крутизны ФЧХ по ее координатам (измерение ГВЗ по точкам) и модуляционные методы.

Методы измерения ГВЗ «по точкам» очевидны и заключаются в реализации алгоритма (10) любым методом измерения фазовых сдвигов. Основными недостатками данных методов является возможность измерения ГВЗ только устройств, имеющих линейную ФЧХ, а также низкая производительность измерений.

Модуляционные методы основаны на модуляции измерительного сигнала, подаваемого на вход исследуемого устройства, с последующим измерением фазового сдвига модулирующего напряжения. При этом в приборах для измерения ГВЗ может использоваться амплитудная, частотная или импульсная модуляция.

Метод амплитудной модуляции, называемый еще методом Найквиста, является самым распространенным и позволяет реализовать наиболее простые технические решения при построении измерителей ГВЗ. Суть данного метода заключается в выделении огибающей прошедшего через исследуемое устройство амплитудно-модулированного сигнала и измерении ее фазового сдвига относительно входного модулирующего колебания. Более подробно методы и приборы для измерения ГВЗ рассмотрены в литературе (1) – (3).

3 ПРИБОРЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ

3.1 Измеритель разности фаз Ф2–34.

3.2 Генератор сигналов низкочастотный ГЗ–109.

3.3 Осциллограф электронный С1–101.

3.4 Фазовращатель измерительный.

4 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка представляет собой два макета. Обобщенная структурная схема макета М1, предназначенного для измерения фазовых сдвигов методом суммы и разности напряжений и нулевым методом, и внешний вид его лицевой панели приведены на рисунках 6 и 7 соответственно.

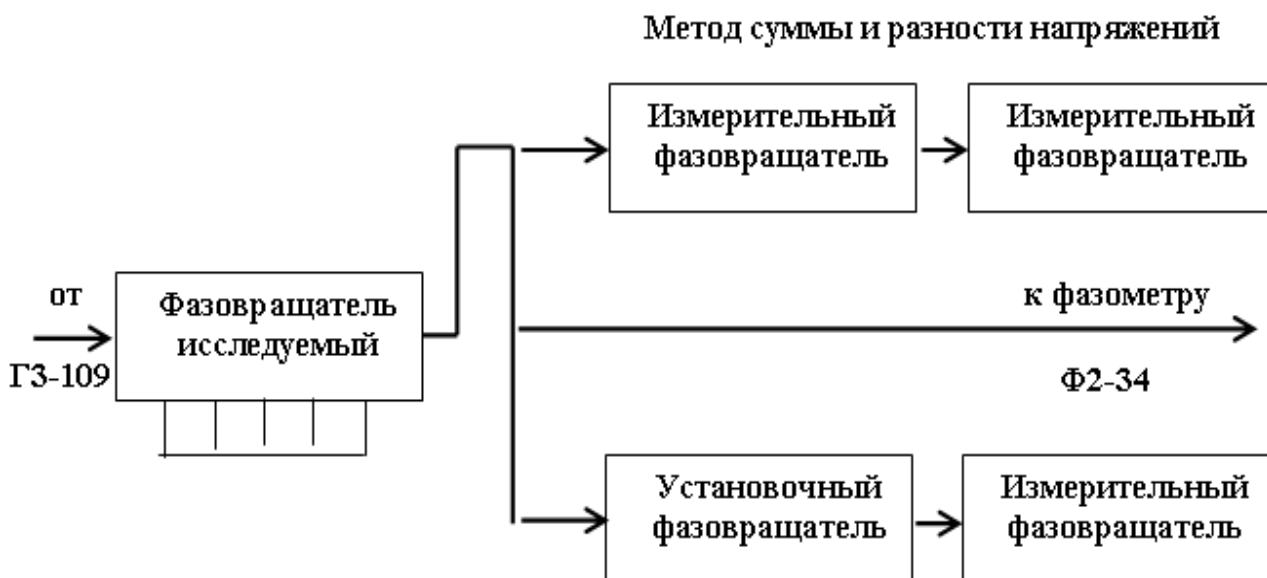


Рисунок 6

Макет М1 содержит два фазометра, реализующие метод суммы и разности напряжений и нулевой метод. Структурные схемы данных фазометров приведены на рисунках 1 и 3, в качестве исследуемых устройств используются линейные активные RC-фазовращатели и фазовращатели с нелинейными фазочастотными характеристиками

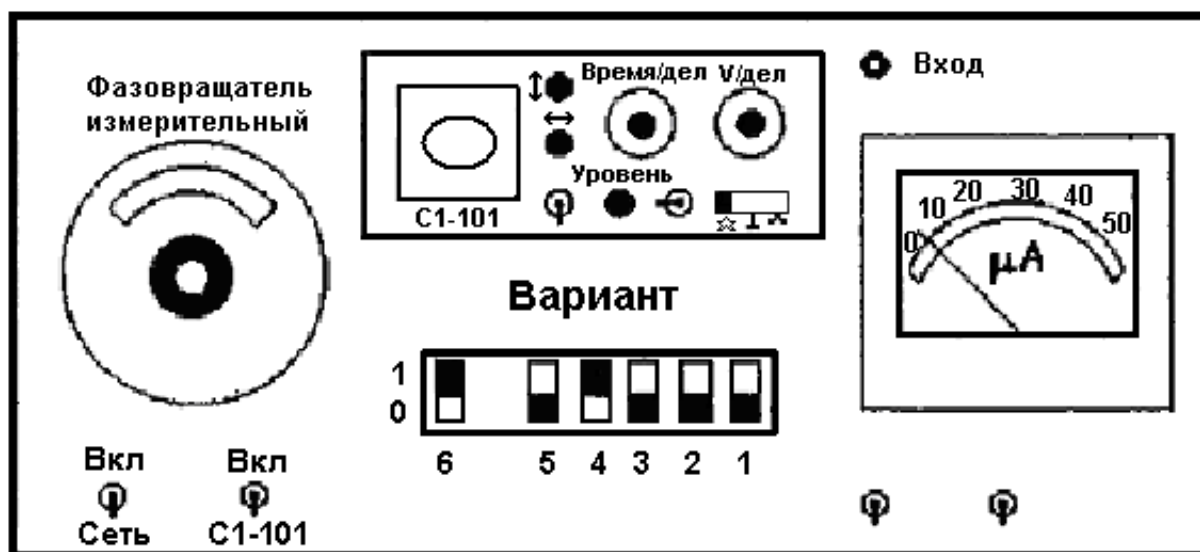


Рисунок 7

В качестве индикаторного устройства в фазометре, реализующем метод суммы и разности напряжений, применен магнитоэлектрический прибор М1690А с зеркальной шкалой. В качестве индикаторного устройства в фазометре, реализующем нулевой метод, использован миниатюрный универсальный осциллограф С1–101, конструктивно встроенный в лабораторный макет. Тумблер включения блока питания осциллографа выведен на переднюю панель макета. В осциллографе установлена необходимая яркость изображения и фокусировка луча.

Включение макета осуществляется с помощью тумблера СЕТЬ путем перевода его в верхнее положение. Индикацией включения макета является освещение шкалы измерительного фазовращателя ИФВ.

Второй макет (макет М2), лицевая панель которого приведена на рисунке 8, предназначен для измерения фазовых сдвигов методом преобразования фазового сдвига во временной интервал и группового времени запаздывания, вносимых исследуемыми устройствами.

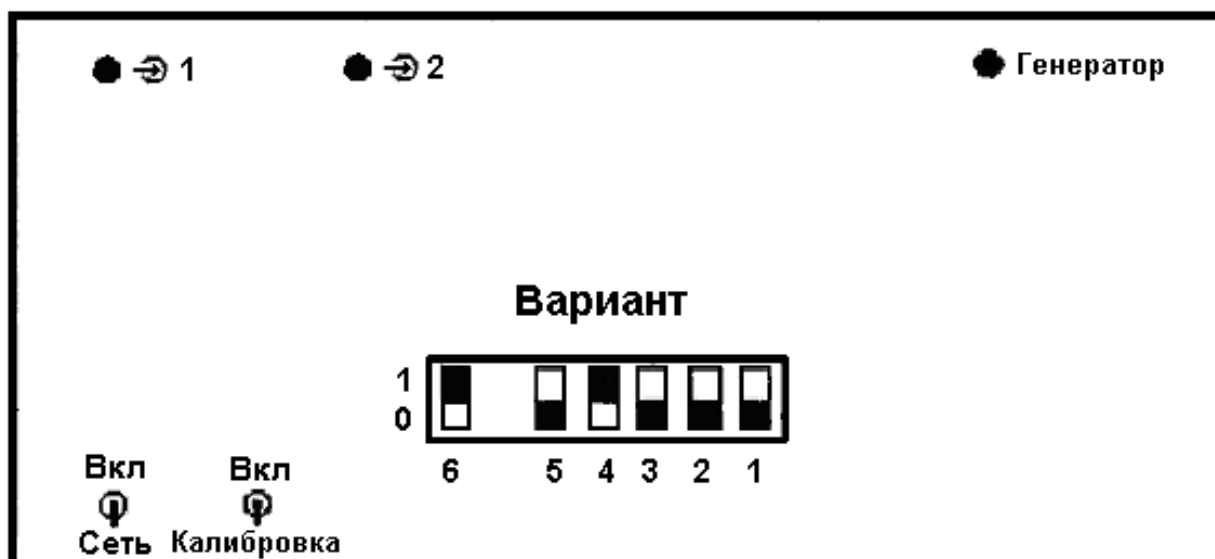


Рисунок 8

Макет М2 содержит исследуемый фазовращатель, фазовые сдвига которого изменяются посредством переключения, элементов фазовращателя с помощью переключателя ВАРИАНТ.

Изменение фазового сдвига, вносимого фазовращателями лабораторного макета, осуществляется с помощью переключателей ВАРИАНТ.

5 ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

5.1 По рекомендуемой литературе детально изучить методы измерения фазовых сдвигов.

5.2 По приложениям настоящих методических указаний изучить устройство, принцип действия и порядок работы с приборами Ф2–34 и ГЗ–109, а также методики проведения с их помощью измерений фазовых сдвигов и оценки погрешностей полученных результатов.

5.3 Ответить на контрольные вопросы.

5.4 Сделать заготовку отчет (одну на бригаду) по лабораторной работе в соответствии с требованиями настоящих методических указаний

5.5 Определить значение фазового сдвига, вносимого исследуемым четырехполюсником, с помощью цифрового фазометра, реализующего метод преобразования фазового сдвига во временной интервал, если известны: T_0 – период повторения счетных импульсов; N – количество счетных импульсов; $T_{и}$ – время измерения. Значения величин T_0 , N и $T_{и}$ приведены в таблице 1.

Оценить погрешность намерения фазового сдвига данным фазометром, если известно, что фазометр индицирует значение фазового сдвига до десятых долей градуса.

Таблица 1

№ бригады	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T_{0, \text{макс}}$	20	20	10	20	50	20	14	20	20
$N_{, \text{шт}}$	10	10	10	10	10	10	10	10	10
$T_{и, \text{макс}}$	720	90	120	180	360	120	72	90	80

Примечание - Решение задачи привести в заготовке отчета по лабораторной работе.

6 ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

6.1 Измерить фазовые сдвиги, вносимые фазовращателем лабораторного макета.

6.1.1 Методом суммы и разности напряжений.

6.1.2 Нулевым методом.

6.1.3 Методом преобразования фазового сдвига во временной интервал.

6.2 Измерить групповое время запаздывания (ГВЗ) фазовращателей лабораторного макета.

7 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

7.1 Выполните измерения в соответствии с 6.1.1 лабораторного задания. Измерения проводите в следующей последовательности:

7.1.1 Подготовьте к проведению измерений генератор ГЗ-109 согласно Б.4 приложения Б. Установите по шкалам генератора ГЗ-109 частоту выходного сигнала 28 кГц и напряжение выходного сигнала 5 В.

7.1.2 Соедините с помощью коаксиального кабеля выходной разъем ВЫХОД 1 генератора ГЗ-109 с входом макета М1. Переключатель КАЛИБРОВКА установите в нижнее положение, тумблер φ_0 – в положение «выкл.», Указатель – отсчетной шкалы измерительного фазовращателя ИФВ установите на нулевую отметку. Включите макет.

7.1.3 Регулировкой ручки ЧУВСТВ, установите стрелку прибора М1690А на отметку шкалы «50».

7.1.4 Произведите градуировку шкалы прибора М1690А в значениях фазовых сдвигов. Для этого, вращая ручку измерительного фазовращателя ИФВ, последовательно установите стрелку прибора М1690А на указанные в таблице 2 отметки шкалы «а» и отсчитайте соответствующие им значения фазовых сдвигов φ по шкале ИФВ. При этом необходимо сделать полный оборот шкалы ИФВ, последовательно фиксируя значения фазовых сдвигов от 0° до 180° и от 180° до 0° . Результаты измерений фазовых сдвигов занесите в таблицу 2. Постройте градуировочный график фазометра $\alpha = f(\varphi)$ и приведите его в отчете по лабораторной работе.

Таблица 2

Отклонение стрелки прибора М1690А, дел.	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	min
Показания измерительного фазовращателя, град.											

7.1.4 Установите переключатели ВАРИАНТ в положение, соответствующее номеру бригады и номеру точки «1» (таблица 3), и произведите отсчет показаний прибора М1690А α в делениях шкалы. Тумблер φ_0 переведите в положение «вкл.». Зафиксируйте изменение показаний прибора М1690А, добавив знак «+» к измеренному значению при увеличении показаний прибора и знак «-» при уменьшении показаний. Тумблер φ_0 возвратите в положение «выкл.». Результаты измерений занесите в таблицу 4 (точка 1).

Таблица 3

№ бригады	Положение переключателей ВАРИАНТ							
	Номер точки							
	1				2			
	Номер переключателя				Номер переключателя			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1	1	1	0	0	0	0	0	1
2	0	0	1	1	0	0	0	1
3	1	1	1	1	0	0	0	1
4	0	0	0	0	1	1	0	1
5	1	1	0	0	1	1	0	1
6	0	0	1	1	1	1	0	1
7	1	1	1	1	1	1	0	1
8	0	0	0	1	0	0	1	1
9	1	1	0	0	0	1	1	1

7.1.5 Переведите переключатели «5, 6» ВАРИАНТ из положения «0» в положение «1» и повторите операции 7.1.4. Результаты измерений занесите в таблицу 4 (точка 3). Возвратите переключатели «5, 6» в положение «0».

7.1.6 Повторите операции 7.1.4 – 7.1.5 для номера точки 2. Результаты измерений занесите в таблицу 4 (точки 2 и 4 соответственно).

Таблица 4

№ пункта лабораторного задания	Обозначение параметра	Параметры Измеренные и вычисленные Номера точек			
		1	2	3	4
6.1.1	α , дел				
	φ , град				
	$\Delta\varphi$, град'				
6.1.2	φ , град				
	$\Delta\varphi$, град'				
6.1.3	φ , град				
	$\Delta\varphi$, град'				
	φ , град				
	$\Delta\varphi$, град'				

7.1.7 Пользуясь полученным градуировочным графиком и методикой исключения неоднозначности отсчета фазовых сдвигов (раздел 2 настоящих методических указаний), определите значения измеренных фазовых сдвигов в градусах, Пользуясь формулой (11) определите инструментальную погрешность измерения фазовых сдвигов. Результаты измерений и расчетов занесите в таблицу 3.

$$\Delta\varphi = \pm 0,01\varphi_x + 0,02A_x + 1 \quad (11)$$

где φ_x – измеренное значение фазового сдвига в градусах;

A_x – амплитуда исследуемого сигнала в вольтах.

7.2 Выполните измерения в соответствии с 6.1.2 лабораторного задания. Измерения проводите в следующей последовательности:

7.2.1 Подготовьте к работе осциллограф С1-101. Для этого:

- переключатель «V/дел» установите в положение «0,5»;
- остальные органы управления могут находиться в произвольном положении;

- включите тумблер С1-101 на передней панели макета М1 и тумблер ПИТАНИЕ на передней панели осциллографа (при этом должна загореться сигнальная лампочка на передней панели осциллографа);

- после самопрогрева осциллографа на экране ЭЛТ появится изображение эллипса. Регулировкой ручек « $\uparrow\downarrow$ » и « $\leftarrow\rightarrow$ » добейтесь, чтобы изображение эллипса находилось в центре экрана ЭЛТ.

7.2.2 Установите переключатель КАЛИБРОВКА в нижнее положение. Проведите калибровку фазометра, реализующего нулевой метод измерения фазовых сдвигов. Для этого регулировкой фазового сдвига, вносимого измерительным фазовращателем ИФВ, «стяните» изображение эллипса на экране осциллографа С1-101 в прямую линию, наклоненную под углом $\sim 45^\circ$ к горизонтали вправо. Зафиксируйте показания фазовращателя.

7.2.3 Установите переключатели ВАРИАНТ в положения, соответствующие

щее номеру бригады и номеру точки 1 (см. таблицу 3), и, вращая ручку измерительного фазовращателя ИФВ, «стяните» изображение полученного на экране осциллографа эллипса в прямую линию, наклоненную под углом $\sim 45^\circ$ к горизонтали вправо. Зафиксируйте показания фазовращателя. Определите значение измеренного фазового сдвига как разность показаний измерительного фазовращателя в режиме калибровки и измерения. Результаты измерений занесите в таблицу 4 (точка 1).

Внимание! Необходимо учитывать знак отсчитываемого значения фазового сдвига. Если измеренное значение отсчитывается по правому участку шкалы ИФВ (от 0° до 180°), то измеренное значение будет иметь знак «+». Если же отсчет производится по левому участку шкалы ИФВ, то измеренное значение будет иметь знак «-».

7.2.4 Переведите переключатели «5, 6», ВАРИАНТ из положения «0» в положение «1» и повторите операции 7.2.3. Результаты измерений занесите в таблицу 4 (точка 3). Возвратите переключатели «5», «6» в положение «0».

7.2.5 Повторите операции 7.2.3 – 7.2.4 для номера точки 2. Результаты измерений занесите в таблицу 4 (точки 2 и 4 соответственно).

7.2.6 Оцените инструментальную погрешность измерения фазовых сдвигов нулевым методом, учитывая, что погрешность, вносимая измерительным фазовращателем, определяется как половина цены деления его шкалы. Результаты определения погрешности измерения занесите в таблицу 4.

7.3 Выполните измерения в соответствии с 6.1.3 лабораторного задания. Измерения проводите в следующей последовательности:

7.3.1 Переключатель КАЛИБРОВКА макета М2 установите в верхнее положение. Включите фазометр Ф2-34 и подготовьте его к проведению измерений абсолютных фазовых сдвигов согласно А.4 приложения А.

7.3.2 Переключатель ВАРИАНТ переведите в положение, соответствующее номерам бригады, и точки 1 (см. таблицу 3), и, руководствуясь методикой А.5 приложения А, проведите намерение фазового сдвига, вносимого исследуемым четырехполюсником. Результаты измерения с помощью фазометра Ф2-34 занесите в таблицу 4 (точка 1).

7.3.3 Переведите переключатели «5, 6», ВАРИАНТ из положения «0» в положение «1» и повторите операции 7.3.2. Результаты измерений занесите в таблицу 4 (точка 3). Возвратите переключатели «5, 6» в положение «0».

7.3.4 Повторите операции 7.3.2 – 7.3.3 для номера точки 2. Результаты измерения занесите в таблицу 4 (точки 2 и 4 соответственно).

7.3.5 Пользуясь техническими характеристиками фазометра Ф2-34, определите погрешность намерения фазовых сдвигов. Результаты расчета погрешностей занесите в таблицу 4.

7.3.6 Переключатель КАЛИБРОВКА макета М2 установите в нижнее положение и подготовьте фазометр Ф2-34 к проведению измерений приращения фазовых сдвигов согласно А.4 приложения А.

7.3.7 Переведите переключатель ВАРИАНТ в положение, соответствующее номеру точки 1 и, руководствуясь методикой А.5 приложения А, проведите

измерение приращения фазового сдвига, вносимого исследуемым четырехполюсником, с помощью фазометра Ф2-34. Результаты измерений φ_{12} занесите в таблицу 4 (точка 1).

7.3.8 Переведите переключатели «5, 6» ВАРИАНТ из положения «0» в положение «1» и повторите операции 7.3.7. Результаты измерений занесите в таблицу 4 (точка 3). Возвратите переключатели «5, 6» в положение «0».

7.3.9. Повторите операции 7.3.7 – 7.3.8 для номера точки «2». Результаты измерений φ_{ij} занесите в таблицу 5 (точки 2 и 4 соответственно).

7.4 Выполните измерения в соответствии с 6.2 лабораторного задания. Измерения проводите в следующей последовательности:

7.4.1 Переключатель КАЛИБРОВКА макета М2 установите в нижнее положение и по шкале генератора ГЗ-109 установите частоту выходного сигнала f_0 (таблица 5) в соответствии с номером варианта. Подготовьте фазометр Ф2-34 к проведению измерений приращения фазовых сдвигов, согласно А.4 приложения А.

Таблица 5

Частота, кГц	№ бригады						
	1	2	3	4	5	6	7
f_0							
f_1							
f_2							
f_3							
f_4							

7.4.2 По шкале генератора ГЗ-109 установите частоту выходного сигнала f_1 (см. таблицу 5) и, переведя переключатели ВАРИАНТ лабораторного макета М2 в положения, соответствующие номерам бригады и точке 1, отсчитайте измеренное значение приращения фазового сдвига $d\varphi_1$. Результаты измерений $d\varphi_1$ занесите в табл. 6. Не изменяя выходную частоту f_1 генератора ГЗ-109, подготовьте фазометр Ф2-34 к проведению измерений приращения фазовых сдвигов, согласно А.4 приложения А.

Таблица 6

Обозначение параметра f_j , кГц	Параметры, измеренные и вычисленные			
	$f_0 - f_1$ (.....)	$f_1 - f_2$ (.....)	$f_2 - f_3$ (.....)	$f_3 - f_4$ (.....)
$d\varphi$, град				
$t_{гр}$, нс				
$\Delta t_{гр}$, нс				

Примечание – Разность частот, на которых производились измерения, указываются в скобках (df).

7.4.3 По шкале генератора ГЗ-109 установите частоту выходного сигнала f_2 (см. таблицу 5) и, переведя переключатели ВАРИАНТ лабораторного макета М2 в положения, соответствующие номеру точки 2, отсчитайте измеренное зна-

чение приращения фазового сдвига $d\phi_2$. Результаты, измерений $d\phi_2$ занесите в таблицу 6.

7.4.4 Переведите переключатели «5, 6», ВАРИАНТ в положение «1» и повторите операции 7.4.2 и 7.4.3 для частот « f_2-f_3 » и « f_3-f_4 ».

7.4.5. Пользуясь выражением (9) настоящих методических указаний, определите измеренное значение группового времени запаздывания ($t_{гр}$) исследуемого четырехполюсника и погрешность его измерения по формуле

$$\Delta t_{гр} = \sqrt{\left(\frac{dt}{d\phi}\right)^2 \Delta\phi^2 + \left(\frac{dt}{d\omega}\right)^2 \Delta\omega^2}$$

Результаты расчетов $t_{гр}$ и $\Delta t_{гр}$ занесите в таблицу 6.

8 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе оформляется на стандартных листах бумаги. Структурные схемы приборов, использованных при выполнении работы, вычерчиваются с необходимыми обозначениями и пояснениями. Результаты измерений и вычислений сводятся в таблицы, которые должны соответствовать приведенным в методических указаниях. Текст отчета должен содержать условие и ход решения задачи, приведенной в 5.5 настоящих методических указаний, а также всю информацию о проделанной работе и выводы по результатам выполнения каждого пункта лабораторного задания. Сведения об используемых измерительных приборах должны быть оформлены по форме, приведенной в таблице 7.

Таблица 7

Наименование прибора	Тип прибора	Заводской номер	Основные технические характеристики

9 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Что понимается под фазовым сдвигом двух гармонических колебаний?
- 2 Какое математическое выражение положено в основу измерения фазового сдвига между двумя гармоническими сигналами при реализации метода суммы и разности напряжений?
- 3 Каким способом производится исключение неоднозначности отсчета значений фазового сдвига при его измерении фазометром, в основу работы которого положен метод суммы и разности напряжений?
- 4 Отсчет измеренного значения фазового сдвига в фазометре, реализующим нулевой метод, производится:
 - а) по шкале индикаторного прибора;
 - б) по шкале измерительного фазовращателя;
 - в) по шкале установочного фазовращателя.

Укажите правильный ответ.

5 Какое математическое выражение положено в основу измерения фазового сдвига между двумя гармоническими сигналами при реализации метода преобразования фазового сдвига во временной интервал?

6 Приведите математическое выражение, связывающее измеряемое значение фазового сдвига с постоянной составляющей последовательности импульсных сигналов прямоугольной формы, при реализации метода преобразования фазового сдвига во временной интервал.

7 Какой метод измерения фазовых сдвигов положен в основу работы фазометра Ф2-34? В чем сущность данного метода?

8 Приведите структурную схему фазометра, в основу работы которого положен метод суммы и разности напряжений. Поясните принцип и опишите с помощью математических выражений алгоритм ее работы.

9 Укажите причины возникновения погрешности измерения фазовых сдвигов в фазометре, реализующем метод суммы и разности напряжений? Оцените значение погрешности измерения фазовых сдвигов в градусах.

10 Приведите структурную схему фазометра, в основу работы которого положен нулевой метод? Поясните принцип ее работы.

11 Какие основные типы измерительных фазовращателей применяются в фазометрах, работающих в диапазонах радиочастот и СВЧ?

12 С какой целью в структурную схему фазометра, реализующего нулевой метод измерения фазовых сдвигов, введен установочный фазовращатель?

13 Чем обусловлена погрешность измерения фазовых сдвигов фазометром, в основу работы которого положен нулевой метод?

14 Оцените погрешность измерения фазового сдвига между двумя гармоническими сигналами, если его измерение производилось с помощью фазометра, реализующего нулевой метод. Результат измерения равен 97° , цена деления шкалы измерительного фазовращателя – $0,5^\circ$. Запишите результат измерения.

15 Какие типы индикаторных приборов используются в фазометрах, реализующих метод суммы и разности напряжений и нулевой метод?

16 Приведите структурную схему фазометра, реализующего метод преобразования фазового сдвига во временной интервал, и поясните принцип его работы с использованием временных диаграмм и математических выражений.

17 Чем обусловлена погрешность измерения фазовых сдвигов фазометром, реализующим метод преобразования фазовых сдвигов во временной интервал?

18 Каким образом осуществляется преобразование фазовых сдвигов в пропорциональный им интервал времени? Приведите возможные структурные схемы таких преобразователей.

19 Как производится измерение временных интервалов, пропорциональных фазовому сдвигу, в фазометрах, реализующих следующие алгоритмы преобразования: $\Delta\varphi_x \rightarrow \Delta t_x \rightarrow U_x$ – цифровой код и $\Delta\varphi_x \rightarrow \Delta t_x$ – цифровой код.

20 Что понимается под абсолютным и относительным групповым временем запаздывания (ГВЗ)?

21 В чем сущность метода измерения ГВЗ «по точкам»? Приведите алгоритмы его реализации. Назовите основные достоинства и недостатки данного метода.

22 В чем сущность модуляционных методов измерения ГВЗ, каковы их достоинства и недостатки?

23 Как определяется погрешность измерения группового времени запаздывания при реализации метода измерения «по точкам»?

10 ЛИТЕРАТУРА

1 Метрология, стандартизация и измерения в технике связи/Под ред. Б.П.Хромого. – М.: Радио и связь, 1986.

2 Мирский Г. Я. Электронные измерения. – М.: Радио и связь, 1986.

3 Елизаров А.С. Электрорадиоизмерения: Учебник для вузов по спец. «Радиотехника». – Мн.: Выш. шк., 1986.

4 Технические описания и инструкции по эксплуатации приборов Ф2-34 и ГЗ-109.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Измеритель разности фаз Ф2-Э4

А.1 НАЗНАЧЕНИЕ

А.1.1 Измеритель разности фаз Ф2-34 предназначен для измерения фазовых сдвигов между двумя синхронными синусоидальными сигналами с цифровым отображением информации.

А.1.2 Измеритель может быть использован для снятия фазочастотных характеристик радиотехнических цепей, фильтров, усилителей, определения последовательного резонанса кварцевых фильтров, резонаторов и других устройств.

А.2 ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

А.2.1 Диапазон рабочих частот от 0,5 Гц до 5 МГц.

А.2.2 Диапазон измерения фазовых сдвигов сигналов в рабочем диапазоне частот от 0° до 360°. Разрешающая способность индикатора 0,01°.

А.2.3 Погрешность измерения фазовых сдвигов не превышает значений, указанных в таблице 8.

Таблица 8

Частота, F, Гц	Погрешность, град
$0,5 < F < 1$	$\pm \left(\frac{0,25}{F} \right)$
$1 < F < 20$	$\pm \left(0,1 + \frac{0,1}{F} \right)$
$20 < F < 5 \cdot 10^6$	$\pm (0,1 + 10^{-7} F)$

А.2.4 Погрешность измерения фазовых сдвигов из-за неравенства уровней входных напряжений не превышает значений, указанных в таблице 9.

Таблица 9

Частота, F, Гц	Перепад уровней входных напряжений, дБ		
	$0 < A < 20$	$20 < A < 40$	$40 < A < 60$
$0,5 < F < 1$	$\pm 0,1 A^\circ$	$\pm 0,3 A^\circ$	
$1 < F < 5$	$\pm 0,075 A^\circ$		
$5 < F < 2 \cdot 10^5$	$\pm 0,03 A^\circ$		
$2 \cdot 10^5 < F < 2 \cdot 10^6$	$\pm 0,05 A^\circ$		$\pm 0,075 A^\circ$
$2 \cdot 10^6 < F < 5 \cdot 10^5$	$\pm 0,1 A^\circ$		$\pm 0,15 A^\circ$

А.2.5 Входное активное сопротивление прибора не менее 1 МОм, входная емкость – не более 25 пФ.

А.2.6 Прибор обеспечивает работу в режимах измерения абсолютного фа-

зового сдвига и измерения приращения фазового сдвига. Режим измерения абсолютного фазового сдвига прибора устанавливается при нажатии кнопки «Ф», режим измерения приращения фазовых сдвигов – при нажатии кнопки «Δφ».

А.3 ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Измеритель разности фаз Ф2-34 представляет собой триггерный фазометр с время-импульсным преобразованием и постоянным временем измерения. Принцип работы измерителя и взаимодействие его основных функциональных узлов поясняется упрощенной структурной схемой (рисунок 9).



Рисунок 9

Опорный сигнал подается на вход формирователя 2, а исследуемый сигнал – на вход формирователя 1. На выходе формирователей вырабатываются прямоугольные импульсы, фронт и срез которых соответствуют нуль-переходам входных сигналов. Формирователь фазовых интервалов ФФИ формирует четыре фазовых интервала, представляющие собой импульсы положительной полярности, скважность которых пропорциональна измеряемому фазовому сдвигу, а частота следования равна половине частоты входного сигнала. Синхронизация работы ФФИ с другими узлами осуществляется в начале каждого цикла измерения импульсом запуска из устройства управления.

С выхода ФФИ четыре фазовых интервала подаются на входы узла квантования, где они заполняются счетными импульсами. В результате формируется четыре импульсные последовательности фазовых интервалов, общее число импульсов в которых за цикл намерения пропорционально измеряемому фазовому сдвигу.

Узел динамического суммирования предназначен для предварительного деления частоты четырех импульсных последовательностей фазовых интервалов и объединения их в одну импульсную последовательность с сохранением

общего числа импульсов. Установка необходимого коэффициента деления и синхронизация работы узла динамического суммирования осуществляется по сигналам устройства управления.

С выхода узла динамического суммирования сигнал подается в измерительный счетчик, который подсчитывает общее число импульсов, поступивших на него за цикл измерения и выдает результат в устройство индикации. В начале каждого цикла измерения измерительный счетчик устанавливается в состояние, идентичное состоянию корректирующего счетчика.

Корректирующий счетчик предназначен для хранения кода фазового сдвига, измеренного в режиме калибровки, и выдачи его на измерительный счетчик.

При нажатии кнопки « $\Delta\phi$ » на лицевой панели прибора корректирующий счетчик подсчитывает общее число импульсов, поступающих за цикл калибровки. Код числа, дополняющий подсчитанное число до значения $360, 00^\circ$, переписывается в измерительный счётчик в начале каждого цикла измерения. Это означает, что значению фазового сдвига, который был между сигналами до момента нажатия кнопки « $\Delta\phi$ », будет соответствовать нулевое показание индикатора. В этом случае прибор работает в режиме измерения приращения фазового сдвига.

При нажатии кнопки « ϕ » на передней панели прибора устройство управления выдает сигнал, в соответствии с которым вход формирователя 2 отключается от входного разъема и подключается параллельно входу формирователя 1. После этого в приборе выполняются операции, аналогичные режиму измерения приращения фазовых сдвигов. После завершения калибровки прибора вход формирователя 2 по команде устройства управления снова подключается к входу 2 прибора и производится измерение абсолютного фазового сдвига между сигналами, поданными на входы фазометра.

Задающий генератор ЗГ вырабатывает импульсы частотой 28 МГц. Управляемый делитель частоты формирует из импульсов задающего генератора квантуемые импульсы для узла квантования, частота которых дискретно изменяется по сигналам управления времязадающего узла ВЗУ. Времязадающий узел ВЗУ выполняет функции формирования времени измерения и работает синхронно с формирователем временных интервалов ФВИ.

Устройство управления формирует серию импульсов, синхронизирующих работу всех узлов фазометра по окончании каждого цикла измерения, при поступлении команд управления и нажатии кнопок « ϕ » и « $\Delta\phi$ ».

Схема устранения кратности вырабатывает сигнал, изменяющий частоту задающего генератора при наличии нестабильности показаний прибора, вызванной кратностью частот входного сигнала и квантуемой импульсной последовательности.

Внешний вид передней панели прибора представлен на рисунке 10.

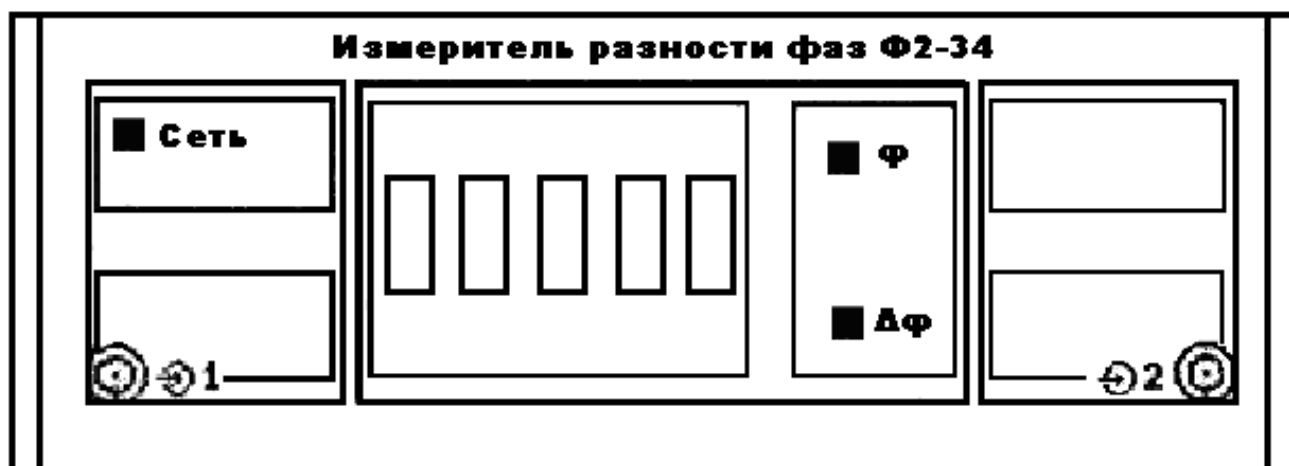


Рисунок 10

А.4 ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

А.4.1 Включите переключатель СЕТЬ на лицевой панели прибора. При этом должна работать цифровая индикация прибора.

А.4.2 Прогрейте прибор в течение 15 мин, после чего прибор готов к работе.

А.5 ПОРЯДОК РАБОТЫ

РЕЖИМ ИЗМЕРЕНИЯ ФАЗОВЫХ СДВИГОВ

А.5.1 Нажмите кнопку «ф» на передней панели фазометра Ф2-34, После окончания цикла установки нуля, который длится примерно 70 с (об окончании установки нуля свидетельствует периодическое свечение нижнего сегмента символьного (разряда индикатора), прибор начинает индицировать значение фазового сдвига исследуемого сигнала, поданного на вход 1, относительно опорного сигнала, поданного на вход 2.

РЕЖИМ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИРАЩЕНИЯ ФАЗОВОГО СДВИГА

А.5.2 Нажмите кнопку «Δφ» на передней панели фазометра Ф2-34.

(Внимание! Момент нажатия этой кнопки не должен совпадать с моментом свечения нижнего сегмента символьного разряда индикатора. Если кнопка была нажата в момент свечения указанного сегмента, необходимо нажать ее повторно).

А.5.3 После проведения цикла установки нуля прибор индицирует значение приращения фазового сдвига между сигналами относительно того значения фазового сдвига, которое было во время проведения цикла установки нуля.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

ГЕНЕРАТОР СИГНАЛОВ НИЗКОЧАСТОТНЫЙ ГЗ-109

Б.1 НАЗНАЧЕНИЕ

Генератор сигналов низкочастотный ГЗ-109 предназначен для регулировки, испытания и ремонте различных радиотехнических устройств в телевидении, радиовещании, акустике, технике связи в лабораторных и производственных условиях.

Б.2 ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Б.2.1 Диапазон генерируемых частот генератора от 20 Гц до 200 кГц перекрывается четырьмя поддиапазонами с плавной перестройкой частоты внутри поддиапазонов.

Б.2.2 Основная погрешность установки частоты не превышает значений, указанных в таблице 10.

Таблица 10

Диапазон частот, кГц	Погрешность, %
0,2 – 20 (2-й и 3-й поддиапазоны)	$\pm (1 + \frac{50}{f_n})$
0,02 – 0,2 (1-й поддиапазон) 20 – 200 (4-й поддиапазон)	$\pm (2 + \frac{50}{f_n})$

где f_n – номинальное значение частоты, устанавливаемое по шкале частот «Hz», Гц.

Б.2.3 Нестабильность частоты генератора за любые 15 мин. работы после времени установления рабочего режима при нормальных условиях не превышает $\pm 10^{-3} f_n$.

Б.2.4 Нестабильность частоты генератора за любые 3 часа работы после времени установления рабочего режима при нормальных условиях не превышает $\pm 5 \cdot 10^{-3} f_n$.

Б.2.5 Номинальное выходное напряжение генератора на гнезде «ВЫХОД 1» при сопротивлении нагрузки 50 Ом не менее 15 В. Выходное напряжение плавно регулируется в пределах не менее 20 дБ от своего номинального значения.

Б.2.6 Основная приведенная погрешность установки опорного значения выходного напряжения на гнезде «ВЫХОД 1» при положении аттенюатора «15 В» не превышает $\pm 4\%$.

Б.2.7 В генераторе на гнезде «ВЫХОД 1» предусмотрена ступенчатая регулировка выходного напряжения. Регулировка осуществляется с помощью встроенного аттенюатора 60 дБ ступенями через 10 дБ. Погрешность ослабления встроенного аттенюатора при активной нагрузке. 50 Ом не превышает $\pm 6\%$

Б.3 ПРИНЦИП РАБОТЫ ПРИБОРА

Структурная схема прибора представлена на рисунке 11. Источником синусоидального сигнала служит задающий RC-генератор, сигнал которого через предварительный усилитель поступает на усилитель мощности. Усилитель мощности обеспечивает получение на нагрузке 50 Ом среднеквадратического значения напряжения 15 В, Атенюатор ослабляет выходной сигнал на 60 дБ ступенями через 10 дБ. Уровень сигнала, подаваемого на аттенюатор, измеряется индикатором выходного уровня.



Рисунок 11

К усилителю мощности могут подключаться согласующие трансформаторы для работы на нагрузках 600 Ом и 5 кОм. Переключатель нагрузок коммутирует выходные нагрузки генератора. Вид лицевой панели генератора приведен на рисунке 12.

Б.4 ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К РАБОТЕ

Б.4.1 Установить ручку РЕГУЛИРОВКА ВЫХ. в крайнее левое положение.

Б.4.2 Тумблер включения сети установить в положение «Сеть вкл.», при этом должна светиться сигнальная лампочка.

Б.4.3 Дать генератору прогреться в течение 15 мин. После прогрева генератор готов к работе.

Б.5 ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

Б.5.1 С помощью ручки плавной перестройки частоты и переключателя МНОЖИТЕЛЬ-ЧАСТОТЫ установить необходимую частоту выходного сигнала. Значения частот каждого поддиапазона генератора ГЗ-109 приведены в таблице 8.



Рисунок 12

Таблица 11

Положение переключателя МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ	Значение частоты поддиапазона, Гц
x 1	20 – 200
x 10	200 – 2000
x 10 ²	2000 – 20000
x 10 ⁵	20000 – 200000

Примечание – При переключении частотных поддиапазонов и плавной перестройке частоты допускается время установления выходного напряжения генератора порядка 10 с.

Б.5.2 Регулировка уровня выходного напряжения с гнезда ВЫХОД 1 осуществляется плавно с помощью потенциометра РЕГУЛИРОВКА ВЫХ. и ступенями с помощью встроенного аттенюатора «15 mV–15 V». Измерение выходного напряжения производится с помощью стрелочного прибора.

Учебное издание

Методические указания к лабораторной работе Р. 4Б

"ИЗМЕРЕНИЕ ФАЗОВЫХ СДВИГОВ И ГРУППОВОГО ВРЕМЕНИ ЗА-
ПАЗДЫВАНИЯ"

для студентов радиотехнических специальностей

Составитель Ревин Валерий Тихонович

Редактор Т. Н. Крюкова

Компьютерная верстка

Подписано в печать

Гарнитура «Таймс»

Уч.-изд.л. 1,5

Формат 60x84 1/16.

Печать ризографическая.

Тираж 300 экз.

Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 1,6

Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования

«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Лицензия на осуществление издательской деятельности № 02330/0056964 от 01.04.2004.

Лицензия на осуществление полиграфической деятельности № 02330/0133108 от 30.04.2004.

220013, Минск, П.Бровки,6