

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ»

Кафедра линий связи и измерений в технике связи

А.Л. КОСОВА, В.С. БАСКАКОВ

**ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ
ФАЗОВОГО СДВИГА**

Методические указания по выполнению
лабораторной работы №6

Самара
2017

Рекомендовано к изданию методическим советом ПГУТИ,
протокол № 34 от 17.02.2017 г.

Рецензент:
д.т.н., проф. Мелентьев В.С.

Косова А.Л., Баскаков В.С.

**Осциллографические методы измерения частоты
фазового сдвига** методические указания по выполнению
лабораторной работы/ А.Л. Косова, В.С. Баскаков. – Самара:
ПГУТИ, 2017. –21 с.

В учебно-методической разработке приводится систематизированный материал, посвященный изучению основных осциллографических методов измерения частоты и фазового сдвига.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика, 11.03.01 Радиотехника, 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы, 10.05.02 Информационная безопасность телекоммуникационных систем, 11.03.01 Информационная безопасность, 27.03.04 Управление в технических системах, 27.03.05 Инноватика, 09.03.01 Информатика и вычислительная техника, 09.03.02 Информационные системы и технологии и предназначены для проведения лабораторных занятий.

© Косова А.Л., 2017

© Баскаков В.С., 2017

1. ЦЕПЬ РАБОТЫ

Изучение осциллографических методов измерения частот и фазового сдвига между двумя гармоническими напряжениями, структурной схемы используемого в работе фазометра и приобретения практических навыков в измерении частоты и фазового сдвига.

2. ЛИТЕРАТУРА

1. Метрология, стандартизация и измерения в технике связи./ Под ред. Хромого Б.П.-М.: Радио и связь, 1986, с.206-208, с.221-232

2. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: Учебник для вузов / В.И. Нефедов, В.И. Хахин, Е.В. Федорова и др.; Под ред. В.И. Нефедова. – М.: Высш. шк., 2001, с.175-189, 217-221.

3. Мирский Г.Я. Электронные измерения. – М.: Радио и связь, 1986, с.138-140, 150.

4. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: Учебник для вузов / В.И. Нефедов, В.И. Хахин, Е.В. Федорова и др.; Под ред. В.И. Нефедова. – М.: Высш. шк., 2005.

3. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

1. Изучить осциллографические методы измерения частот и фазового сдвига.

2. Изучить технические характеристики и устройство цифрового фазометра Ф2-16.

3. Подготовить конспект с краткими ответами на контрольные вопросы.

4. Подготовить бланк отчета, содержащий таблицы и схемы измерений.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое частота, как определяется погрешность и нестабильность частоты?

2. Как измерить частоту и фазовый сдвиг методом линейной развертки?

3. Как измерить частоту и фазовый сдвиг методом синусоидальной развертки?

4. Как измерить частоту и фазовый сдвиг методом круговой развертки?

5. В чем сущность метода преобразования фазового сдвига во временной интервал?

6. Каков принцип работы цифровых фазометров с преобразованием в постоянное напряжение и время-импульсным преобразованием?

7. Каковы частотные границы и погрешности осциллографических методов измерения частоты и фазового сдвига?

8. Каков принцип работы фазометра Ф2-16? (рассказать по структурной схеме и временным диаграммам)?

5. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Произвести измерение неизвестных частот

- Методом линейной развертки с внешним генератором образцовой частоты;

- Методом синусоидальной развертки;

- Методом круговой развертки;

- цифровым частотомером,

2. Проградуировать шкалу фазовращателя

- методом линейной развертки при помощи двухлучевого осциллографа;

- методам эллипса;

- цифровым фазометром.

3. Сделать выводы по погрешностям измерения частоты и фазового сдвига осциллографическими методами.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

1) титульный лист с указанием кафедры, наименование работы, Ф.И.О. студента, номера учебной группы;

2) цель работы;

3) перечень приборов, используемых в работе;

4) таблицы с результатами измерений и расчетов погрешностей;

5) выводы;

6) подпись и дата выполнения работы.

7. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

7.1. Измерить неизвестные частоты, методом линейной развертки с внешним генератором образцовой частоты.

7.1.1. Подготовить осциллограф С1-55 к работе в соответствии с разделами 4 и 5 приложения 1.

7.1.2. Подать поочередно напряжение измеряемых частот с генератора в соответствии с табл. 1 на "Вход " усилителя VI осциллографа.

Получить на экране устойчивое изображение 2-3 периодов исследуемого напряжения, используя внутреннюю синхронизацию (переключатель в положении "Внутр.1') и ручку скоростей развертки "Длительность", а также ручку "Стаб." и "Уровень".

7.1.3. Установить по вольтметру вспомогательного генератора напряжение 6-8 В и образцовую частоту в соответствии с табл. 1. Это напряжение генератора подать на вход 1 осциллографа.

Таблица 1

№ бригады	1	2	3	4	5	6	7	8
Номер риска, соответствующей $f_{изм}$	1	2	1	3	1	2	3	1
	4	5	3	4	4	5	4	3
	8	7	4	6	8	9	6	6
	9	9	10	8	11	12	12	8
Напряжение $f_{изм}$, В	9,0	8,0	7,0	9,0	8,0	9,0	8,0	7,0
Значение образцовой частоты, кГц	4	3	2,4	2,4	3,2	4	1,2	2,4

7.1.4. Вращая ручку "Расстройка" генератора неизвестной частоты, добиться устойчивого положения минимального количества яркостных меток. Число меток на одном периоде сигнала и расчетное значение измеряемой частоты $f_{изм} = f_0/n$ занести в табл.2.

Таблица 2

Номер риска, соответствующий $f_{изм}$	1	2	3	4
Число меток на одном периоде, n				
Расчетное значение измеряемой частоты, $f_{изм}$				
Показания цифрового частотомера $f_ч$, Гц				
Абсолютная погрешность $\Delta f = f_{изм} - f_ч$				
Результат измерения $f_{изм} \pm \Delta f$				

7.1.5. Определить абсолютную погрешность Δf , за истинное значение измеряемой частоты взять показания цифрового частотомера из пункта 7.4.

7.2. Измерить неизвестные частоты методом синусоидальной развертки.

7.2.1. Отключить генератор развертки осциллографа, поставив переключатель "Синхронизация" в положение "Вход X".

7.2.2. В качестве измеряемой частоты взять последнюю из табл. 1.

В 1 случае подать напряжение измеряемой частоты на "Вход" усилителя У1, напряжение образцовой частоты на вход Х(1:1).

7.2.3. Плавной настройкой, $f_{обр}$ добиться устойчивого изображения фигуры Лиссажу и зарисовать ее в табл.3.

Таблица 3

Номер риска, соответствующий $f_{изм}$	Фигура Лиссажу		Кратность частот n		Изменяемая частота, $f_{изм}, Гц$		Абсолютная погрешность	
	I $f_{изм} \rightarrow Y$ $f_0 \rightarrow X$	II $f_{изм} \rightarrow Y$ $f_{изм} \rightarrow X$	I	II	I	II	I	II

7.2.4. Определить по фигуре Лиссажу кратность частот $n = n_x / n_y$, если n_x, n_y - число пересечений фигуры Лиссажу по вертикали и горизонтали соответственно.

7.2.5. Рассчитать значение измеряемой частоты по формуле $f_y n_x = f_x n_y$, где f_x, f_y - частоты, подаваемые на входы X и Y осциллографа соответственно.

Расчетные значения f из $\Delta f = f_{изм}$ - физм занести в табл.3.

7.2.6. Во 2 случае подать напряжение измеряемой частоты с генератора на вход X (1:1), напряжение образцовой частоты с генератора на "Вход" усилителя У1 и повторить пункты 7.2.3 - 7.2.5.

7.3. Измерить частоту методом круговой развертки.

7.3.1. Отключить генератор развертки осциллографа, поставив переключатель рода работ в положение "Вход X".

7.3.2. Напряжения измеряемых частот в соответствии с табл.1 подать поочередно на клеммы "Вх" вспомогательного фазовращателя. Соединить фазовращатель со входами усилителя У1 и Х(1:1) осциллографа.

7.3.3. Напряжение 6-8 В образцовой частоты в соответствии с табл.1 подать на "Вход Z" осциллографа. Используя ручку "Расстройка" генератора физм добиться минимального количества яркостных меток на экране осциллографа. Результаты измерений и расчетные значения измеряемой частоты $f_{изм} = f_{обр}/n$ занести в табл.4.

Таблица 4

Номер риска, соответствующий $f_{\text{ИЗМ}}$				
Число меток, n				
Расчетное значение измеряемой частоты				
Абсолютная погрешность $\Delta f = f_{\text{ИЗМ}} - f_{\text{Ч}}$				
Результат измерения $f_{\text{ИЗМ}} \pm \Delta f$				

7.4. Измерить неизвестные частоты заданного варианта из табл. 1 цифровым частотомером при напряжении на выходе генератора физм не более 0,5 В. Показания частотомера $f_{\text{Ч}}$ занести в табл. 1.

7.5. Проградуировать шкалу фазовращателя методом синусоидальной развертки (эллипса).

7.5.1. Соединить выход генератора типа ГЗ- и клеммы "Вх" фазовращателя, клеммы "Вых." и "Вх" фазовращателя соединить со "Входом" усилителя У1 и "Входом X" (1:1) осциллографа С1-35 соответственно.

7.5.2. Отключить генератор развертки осциллографа, поставив переключатель рода работ в положение "Вход X".

7.5.3. Установить на выходе генератора типа ГЗ частоту и напряжение в соответствии с табл.5.

7.5.4. Величины отклонений электронного луча отсчитываются только по одному каналу усиления осциллографа. Фазовый сдвиг между исследуемыми напряжениями (рис. 1) вычисляется по формуле:

$$\varphi = \arcsin(C/D), \quad \varphi = \arcsin(C'/D')$$

где D - полное отклонение луча по вертикальному (горизонтальному) каналу усилителя;

C - отрезок прямой, заключенный между точками пересечения эллипса с вертикалью (горизонталью, проходящей через центр эллипса).

Таблица 5

№ бригады	1	2	3	4	5	6	7	8
Значение частоты ГЗ-, кГц	11	13	12	14	15	16	10	12
Напряжение на ГЗ-, В	7	8	9	6	10	7	8	6

Результаты измерений занести в табл. 6.

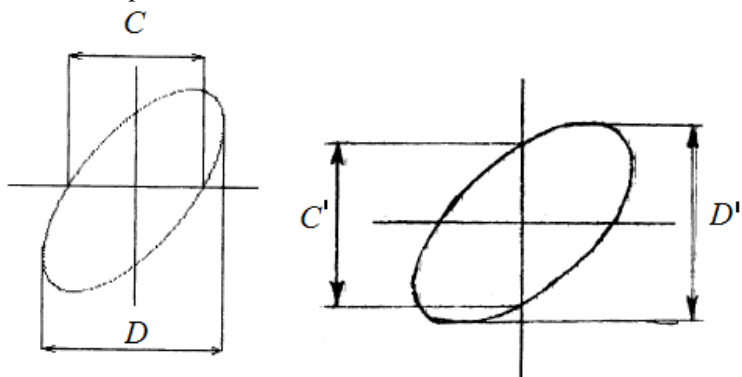


Рис. 1

Таблица 6

Поверяемые точки фазовращателя	1	2	3	4	5	6
C , мм (дел)						
D , мм (дел)						
$\varphi = \arcsin (C/D)$, град						
$\Delta\varphi = \varphi - \varphi_{\Phi 2}$						
Δt , мм (дел)						
T , мм (дел)						
$\varphi = \Delta t/T \cdot 360^\circ$, град						
$\Delta\varphi = \varphi - \varphi_{\Phi 2}$						
$\varphi_{\Phi 2}$						

7.5.5. Определить абсолютную погрешность $\Delta\varphi$, за истинное значение измеряемого фазового сдвига взять значение показания цифрового фазометра $\varphi_{\Phi 2}$ из пункта 7.7.

7.6. Проградуировать шкалу фазовращателя методом линейной развертки.

7.6.1. Соединить выход генератора ГЗ и клеммы "Вх" и фазовращателя, клеммы "Вх" и "Вых" фазовращателя соединить со "Входами" усилителей У1 и УП двухлучевого осциллографа С1-55. Включить генератор развертки (переключатель

"Синхронизация" в положении "Внутр.1"), регулировкой ручек "Длительность", "Уровень" и "Стаб" получить изображение двух синусоидальных сигналов (рис. 2). Значение фазового сдвига вычисляется по формуле $\phi = (\Delta t / T) \cdot 360^\circ$ и заносится в табл.6.

7.7. Проградуировать шкалу фазовращателя с помощью цифрового фазометра Ф2-16.

7.7.1. Подготовить фазометр Ф2-16 к работе в соответствии с разделом "Подготовка и порядок работы" приложения 2.

7.7.2. Соединить клеммы "Вх" и "Вых" фазовращателя с 1 входами каналов А и Б фазометра Ф2-16. Снять показания фазометра при нажатых $_$ и $\pm 180^\circ$ переключателя ϕ^0 и занести их в табл. 6.

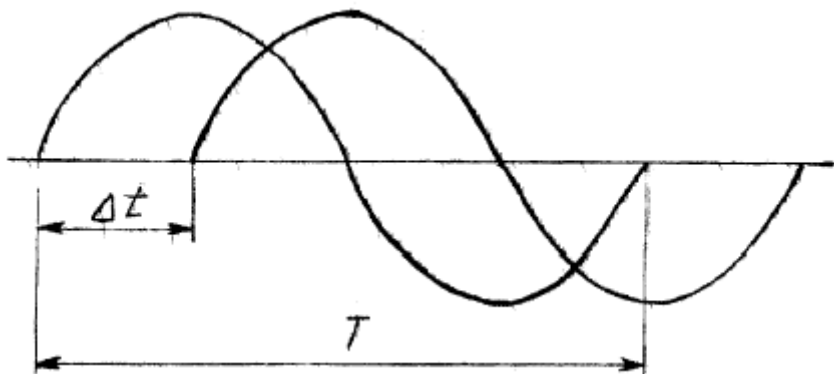


Рис. 2

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

1. ОСЦИЛЛОГРАФ С1-55

Малогобаритный полупроводниковый дулучевой осциллограф С1-55 предназначен для одновременного визуального наблюдения и исследования форм двух электрических процессов путем измерения их временных и амплитудных значений.

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

2.1. По точности воспроизведения формы сигнала, измерения временных и амплитудных значений осциллограф С1-55 относится к III классу ГОСТ 22737-77 "Осциллографы электроннолучевые. Номенклатура параметров и общие технические требования".

2.2. Осциллограф С1-55 обеспечивает:

а) наблюдение формы импульсов обеих полярностей с длительностью от 0,1 мкс до 0,2 с и размахом от 10 мВ до 140 В, а с выносным делителем 1:10 от 100 мВ до 300 В и до 1500 В с высоковольтным делителем;

б) наблюдение периодических сигналов в диапазоне частот от 3 Гц до 10 МГц;

в) измерение амплитуд исследуемых сигналов от 30 мВ до 140 В;

г) измерение временных интервалов от 0,1 мкс до 0,2 с.

2.3. Минимальный коэффициент отклонения каналов вертикального отклонения луча 10мВ/дел. Коэффициент отклонения калиброванный и устанавливается:

а) плавно, с перекрытием не менее 1:2,5;

б) скачкообразно - от 10 мВ/дел до 20 В/дел, с перекрытием не более 2,5 раза.

2.4. Погрешность коэффициента отклонения не превышает 8%.

2.5. Внутренний источник калибровочного напряжения генерирует П-образные импульсы частотой 2 кГц, амплитудой 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 40 В с погрешностью установки амплитуды и частоты в нормальных условиях не более $\pm 3\%$. Погрешность установки амплитуды и частоты в интервале рабочих условий не превышает $\pm 4\%$. Асимметрия импульсов не превышает 20%.

2.6. Развертка может работать как в ждущем, так и в периодическом режиме.

2.7. Погрешность коэффициента развертки в рабочих условиях не превышает $\pm 8\%$. Погрешность коэффициента развертки на развертках 0,2 и 0,1 мкс/дел, с использованием растяжки не превышает $\pm 16\%$.

Примечание. Рабочей частью развертки без использования растяжки является участок длиной 60 мм (10 делений) от ее начала, за исключением 0,02 мкс начального участка. Рабочая часть развертки с использованием растяжки - это длительность развертки, соответствующая длине 60 мм (10 делений) без растяжки, за исключением начального участка 0,05 мкс.

2.8. Синхронизация развертки осуществляется исследуемым сигналом любой полярности (внутренняя синхронизация) в диапазоне частот от 3 Гц до 10 МГц и импульсами длительностью от 0,1 мкс и более. Величина сигнала внешней синхронизации составляет 0,5-50 В в диапазоне частот от 3 Гц до 10 МГц, импульсные сигналы длительностью от 0,1 мкс и более.

2.9. Время установления рабочего режима прибора для нормальной его работы не менее 15 мин.

3. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА

Блок-схема осциллографа (рис.3) состоит из следующих основных элементов:

входных аттенуаторов, предварительных усилителей, линий задержки, оконечных усилителей, калибратора, селектора синхронизации, схемы синхронизации, триггера развертки, генератора развертки, схемы блокировки, усилителя развертки, схемы управления лучом ЭЛТ, индикатора, узла питания.

Исследуемые сигналы подаются на входные гнезда усилителей вертикального отклонения.

При помощи входных аттенуаторов, которые представляют собой компенсированные делители напряжения, выбирают величину сигнала удобную для наблюдения и исследования на экране ЭЛТ.

Усилители вертикального отклонения усиливают сигналы до необходимой величины перед поступлением их на вертикально-отклоняющие пластины.

Для возможности исследования и наблюдения переднего фронта коротких импульсов в трактах каналов вертикального отклонения используются линии задержки.

Из каждого канала вертикального отклонения до линии задержки исследуемые сигналы поступают на вход селектора

синхронизации, предназначенного для выбора источника синхронизации. Для запуска развертки может быть использован внешний сигнал, поданный на гнездо "Вход" синхронизации.

Сигнал синхронизации усиливается схемой синхронизации и запускает триггер развертки. Схема синхронизации и запуска развертки вырабатывает прямоугольные импульсы постоянной амплитуды независимо от величины и формы проходящего на вход сигнала, благодаря этому достигается устойчивый запуск генератора развертки, вырабатывающего пилообразное напряжение. Пилообразное напряжение усиливается до необходимой величины усилителем развертки и поступает на горизонтально-отклоняющие пластины ЭЛТ.

Схема блокировки и возвращения в исходное состояние предохраняет генератор развертки от повторного запуска в течение обратного хода и времени восстановления всей схемы генератора развертки, а также задает амплитуду выходного пилообразного напряжения. В приборе предусмотрена возможность поступления внешнего сигнала на усилитель развертки при подаче его на "Вход X", при этом усилитель развертки отключается от схемы генератора развертки. Схема управления лучом ЭЛТ вырабатывает прямоугольные импульсы, которые поступают на специальные бланкирующие пластины и используются для гашения луча ЭЛТ во время обратного хода развертки. Калибратор вырабатывает прямоугольные импульсы, которые используются для калибровки усиления усилителей вертикального отклонения, компенсации входных и выносных делителей и для калибровки длительности развертки. В осциллографе предусмотрено получение яркостных меток времени при подаче внешнего сигнала на гнездо "Вход Z", которое через конденсаторы связано с модуляторами ЭЛТ.

Узел питания обеспечивает питающими напряжениями всю схему прибора.

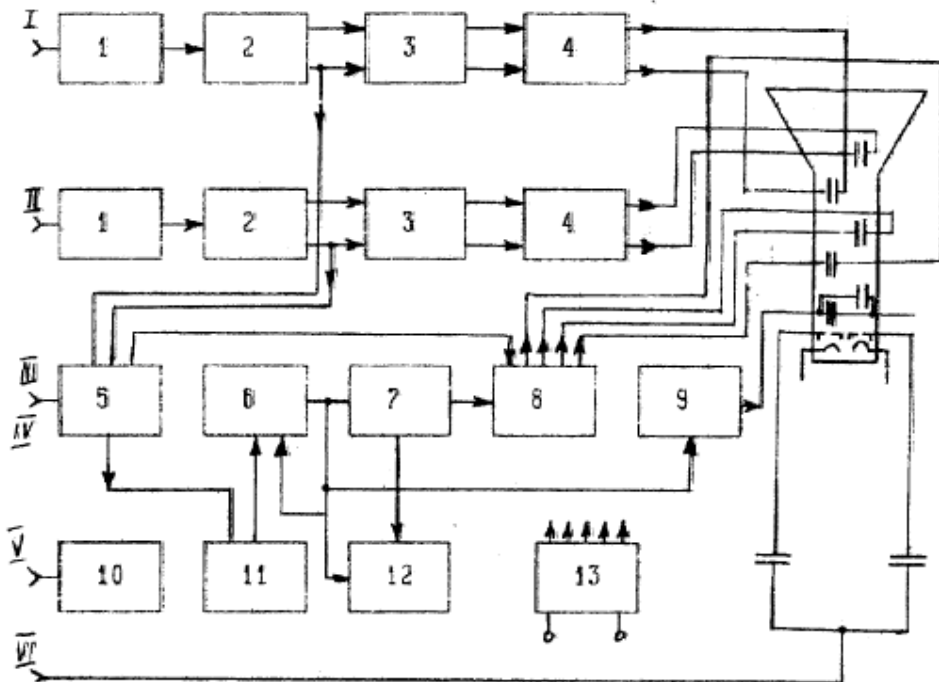


Рис. 3. Структурная схема осциллографа:

I- вход Y1; II - вход Y2; III- Вход синхронизации; IV- Вход X; V - "Выход" калибратора; VI- Вход Z; ЭЛТ- электронно- лучевая трубка; 1- аттенюатор; 2- предварительный усилитель; 3- линия задержки; 4- оконечный усилитель; 5- селектор синхронизации; 6- триггер развертки; 7- генератор развертки ; 8- усилитель развертки; 9- схема управления лучом ЭЛТ; 10- калибратор; 11 - схема синхронизации; 12 - схема блокировки; 13 - узел питания.

4. ПОДГОТОВКА ОСЦИЛЛОГРАФА К ВКЛЮЧЕНИЮ

Перед включением прибора в сеть предварительно установить органы управления в следующее положение:
 ручки "Яркость I", "Яркость II", "Фокус I" "Фокус II",
 "Астигм. I", "Астигм. II", "Уровень" - среднее
 "Стаб." - крайнее правое
 тумблеры усилителей Y1, Y2, «~», «~»
 - в положение «~»

тумблер входа синхронизации «~», «~»

- в положение «~»

тумблер "+", "-" - в положение "+"

ручку синхронизации "Внеш.", "Внутр. I", "Внутр. II", "Вход X"

- в положение "Внутр. I"

ручки "Вольт/дел" - в положение "0,01"

ручку "Длительность Время/дел" - в положение "0,1 ms"

тумблер "x1", "x0,2" - в положение "x1"

5. ПОРЯДОК РАБОТЫ

Соединить прибор соответствующим шнуром с источником напряжения и тумблер "ВКЛ.ПИТАНИЕ" установить в верхнее положение. При этом должна загореться сигнальная лампочка. Через 2-3 мин. после включения прибора следует отрегулировать яркость и фокусировку линий разверток с помощью ручек "Яркость", "Фокус", "Астигм."

Если лучей ЭЛТ не будет на экране при максимальной яркости, то необходимо переместить лучи в пределы рабочей части экрана при помощи ручек "↓" и "↔", После 15-20-минутного прогрева осциллографа сбалансировать поочередно усилители УI и УII.

Для этого, не подавая сигнал на входы усилителей, ручками "↓" линию развертки переместить в среднее положение рабочей части экрана ЭЛТ и регулировкой "Баланс", выведенной шлицом на переднюю панель, добиться независимости положения линий развертки.

При подключении выносного делителя входное сопротивление прибора становится равным 10 МОм, с параллельной емкостью не более 15 пФ. Выносным высоковольтным делителем можно пользоваться при исследовании сигналов от 0,3 до 1500 В. При подключении высоковольтного делителя входное сопротивление прибора становится равным 10 МОм с параллельной емкостью не более 18 пФ. Для проведения необходимых наблюдений и измерений исследуемых сигналов изображение на экране прибора должно быть устойчивым и иметь величину, удобную для рассмотрения. Для этого требуется

установить необходимый режим работы развертки, вид синхронизации, ослабление входных аттенюаторов, род работы усилителей вертикального отклонения. Выбор нужных положений этих органов управления определяется формой и величиной исследуемого сигнала и особенностями исследуемой схемы. Ниже излагаются общие соображения, которыми следует руководствоваться при выборе режима работы.

Режим работы развертки (ждуший, автоколебательный) устанавливается ручкой "Стаб".

Поворотом ручки "Стаб" вправо до появления развертки получим автоколебательный режим развертки. Поворотом ручки влево на 5-10° от точки срыва развертки получим ждуший режим развертки.

Длительность развертки выбирается такой, чтобы можно было наблюдать форму исследуемого сигнала. Если длительность исследуемого сигнала известна, можно заранее установить переключатель длительности развертки " Длительность Время/дел. " и множитель развертки "x1", "x0,2" в требуемое положение.

Плавная регулировка длительностей развертки осуществляется потенциометром, спаренным с переключателем длительностей развертки, и обозначена на лицевой панели надписью "Плавно". Значения длительностей развертки, обозначенные на передней панели прибора, верны в крайнем правом положении ручки "Плавно". В этом положении ручка потенциометра имеет механическую фиксацию.

Синхронизировать развертку в большинстве случаев наиболее удобно исследуемым сигналом. Для этого ручку "Синхронизация" нужно установить в положение "Внутр. I" или "Внутр. II", в зависимости от того, сигналом какого канала желательно засинхронизировать развертку, от переключения ручек "Вольт/дел".

Установить ручки "Вольт/дел" в положение "0,05", а ручки "Усиление" ~ по часовой стрелке до отказа.

Ручку "V" калибратора установить в положение "0,2".

Тумблер " 2 кГц", "-" калибратора в положение " 2 кГц". При помощи прямого кабеля подать поочередно на входы усилителей УІ и УІІ калибрационное напряжение с гнезда "Выход".

Если изображение амплитуды калибровочного напряжения не равно четырем делениям шкалы ЭЛТ, то необходимо регулировкой "Корр.", выведенной шлицом на передней панели прибора, установить амплитуду калибрационного напряжения, равной четырем делениям шкалы.

После этого прибор готов к работе и можно приступить к выбору режима работы и проведению необходимых наблюдений и измерений. Осуществление необходимых измерений и наблюдений производится по экрану электронно-лучевой трубки. Экран электронно лучевой трубки снабжен прозрачной шкалой, используемой для измерений по вертикали и горизонтали. Шкала разделена на восемь шестимиллиметровых делений по вертикали и десять шестимиллиметровых делений по горизонтали. В центре шкалы каждое шестимиллиметровое деление разделено на 5 равных частей.

Ручкой "Шкала" устанавливают яркость подсвета делений, необходимую для проведения измерений. Для увеличения четкости изображения, а также для создания более приятного для глаза свечения экрана, прибор снабжен фильтром, который устанавливается перед шкалой ЭЛТ.

Исследуемые сигналы подаются на коаксиальные гнезда "Вход I МΩ 40 pF" усилителей УІ и УІІ . Для подключения исследуемого сигнала в комплект прибора входят три типа кабелей:

- прямой кабель;
- выносной делитель 1:10;
- выносной высоковольтный делитель 1:10.

Прямой кабель применяется для исследования сигналов с амплитудой от 30 мВ до 140В. При подключении прямого кабеля входное сопротивление прибора равно 1 МОм с параллельной емкостью, величина которой зависит от типа используемого прямого кабеля.

Выносным делителем можно пользоваться во всех случаях при исследовании сигналов с амплитудой от 0,3 до 300 В, а

также при необходимости увеличения входного сопротивления прибора и уменьшения входной емкости.

При внешней синхронизации следует источник внешнего синхронизирующего напряжения соединить с гнездом "Вход1: 1", либо "Вход 1:10" и ручку "Синхронизация" установить в положение "Внеш."

При выборе режима работы усилителей вертикального отклонения нужно руководствоваться следующими соображениями.

Режим усиления постоянного тока (открытый вход) предназначен для исследования входного сигнала, содержащего переменную и постоянную составляющие. Регулировка амплитуды входного сигнала производится входными аттенюаторами. Они обозначены на передней панели прибора надписью "Вольт/дел". Значения коэффициентов отклонения усилителей вертикального отклонения, обозначенные на передней панели, верны лишь при крайнем правом положении ручек "Усиление". Потенциометры "Усиление" спарены с переключателями входных аттенюаторов и имеют в крайнем правом положении механическую фиксацию.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ИЗМЕРИТЕЛЬ РАЗНОСТИ ФАЗ Ф2-16

1. Назначение

Измеритель разности фаз Ф2-16 предназначен для измерения разности фаз между двумя непрерывными синусоидальными сигналами одной частоты. Прибор имеет выходы на ЦПУ и на самописец.

2. Основные технические данные

2.1. Диапазон рабочих частот прибора от 0,02 до 2000 кГц перекрывается пятью поддиапазонами: 0,02-0,2; 0,2-2,0; 2,0-20,0; 20,0-200,0; 200,0-2000 кГц.

2.2. Диапазон входных напряжений от 0,002 до 200 В перекрывается двумя поддиапазонами от 0,002 до 2 В непосредственно и от 0,2 до 200 В с помощью внешнего делителя 1:100.

2.3. Пределы измерения разности фаз в рабочем диапазоне частот: $\pm 180^\circ$; 0- 360° .

2.4. Основная погрешность измерения разности фаз при нестабильности частоты сигнала не более 10 за 10 минут не превышает значений, указанных в табл. 1.

Таблица 1

Частота кГц	Погрешность, град	
	При разных уровнях сигналов	При неравенстве входных сигналов
От 0,02 до 200	$\pm (0,2 + 0,004_{\phi_x})^\circ$	$\pm (0,2 + 0,004_{\phi_x} + 0,05A)^\circ$
Свыше 200 до 2000		$\pm (0,2 + 0,004_{\phi_x} + 0,075KA)^\circ$

где А - численное значение отношения входных напряжений (в дБ), ϕ_x - измеряемая разность (в град); К=1 в диапазоне А=0-40 дБ; К=2 в диапазоне А=40-60 дБ.

2.5. Входное активное сопротивление прибора - не менее 1 МОм, входная емкость - не более 30 пФ.

2.6. Время установления режима (самопрогрев) прибора - 15 мин, при повышенной влажности - 1 ч.

2.7. Прибор сохраняет свои технические характеристики при питании от сети переменного тока напряжением 220 ± 22 В частотой $50 \pm 0,5$ Гц, содержанием гармоник до 5% или напряжением 220 ± 11 В частотой 400 ± 12 Гц, содержанием гармоник до 5%.

2.8. Прибор имеет выход на ЦПУ в двоично-десятичном коде 8-4-2-1.

Выходные кодовые сигналы соответствуют положительной логике и имеют следующие параметры:

- уровень логического нуля - от 0 до 0,4 В;
- уровень логической единицы - от 2,4 до 4,5 В.

Сигнал НАЧАЛО ПЕЧАТИ имеет длительность фронта не менее 10 мкс, крутизну фронта не менее 0,5 В/мкс.

3. Структурная схема.

Принцип действия прибора основан на преобразовании измеряемой разности фаз во временной интервал с последующим измерением постоянной составляющей импульсов тока, длительность которых равна этому интервалу. Структурная схема прибора приведена на рис.4, временные диаграммы – на рис. 5. Фазометр выполнен на двухполярной, триггерной, двухканальной схеме, измерительный и опорный каналы идентичны.

Напряжения сигналов U_1 и U_2 поступают через истоковые повторители на формирователи опорного и измерительного каналов. Истоковые повторители выполнены по дифференциальной схеме, что позволяет использовать фазометр для исследования мостовых схем.

Формирователи обеспечивают усиление и ограничение сигналов по уровню. Каждый из формирователей состоит из широкополосного усилителя - ограничителя и двух дискриминаторов уровня на туннельных диодах. При этом дискриминаторы опорного канала срабатывают при изменении выходного напряжения усилителя ограничителя от положительных значений к отрицательным.

С выходов формирователей ограниченные по уровню сигналы поступают на дискриминаторы фазового детектора (ФД), вырабатывающие остроконечные импульсы в момент переходов исследуемых сигналов через нуль. Повторное дискриминирование сигнала уменьшает влияние шумов и увеличивает стабильность работы фазометра при малом уровне входных сигналов.

Преобразование измеряемой разности фаз в пропорциональный интервал времени осуществляется в двух триггерах ФЛ. При этом триггер Т1 переключается положительным импульсом с дискриминатора опорного канала и отрицательным импульсом с дискриминатора измерительного канала. На триггер Т2 импульсы поступают со сдвигом на полпериода относительно запускающих импульсов триггера ТГ и соответствуют моментам перехода нисходящей ветви исследуемых сигналов через нуль.

Для уменьшения погрешности преобразования временного интервала в постоянное напряжение импульсы с триггеров поступают на фиксаторы уровня, где стабилизируются по амплитуде на уровне 6 В. С фиксаторов уровней импульсы через

сумматор поступают на фильтр нижних частот, осушветвляющий выделение их постоянной составляющей. Коэффициент передачи фильтра нижних частот по постоянному току подобран так, что крутизна выходной характеристики ФД равна 10 мВ/град.

Измерение постоянного выходного напряжения производится встроенным цифровым вольтметром, осуществляющим в данном случае регистрацию измеряемой разности фаз. Прибор имеет два предела измерения $\pm 180^\circ$, $0 - 360^\circ$, что позволяет обеспечить измерение фазовых сдвигов в пределах полного периода фазового угла.

Для расширения функциональных возможностей прибора в нем предусмотрен аналоговый выход на самописец и вход на ЦПУ.

4. Подготовка и порядок работы

4.1. Подготовка к проведению измерений.

4.1.1. Включите тумблер СЕТЬ и прогрейте прибор в течение 15 минут.

4.1.2. Определите уровни напряжений на входе и выходе исследуемого четырехполюсника. При напряжении сигнала выше 2 В подключите к прибору делители 1:5 или 1:100.

4.1.3. Установите необходимый частотный диапазон прибора переключателем (f) кГц..

4.1.4. Произведите калибровку прибора, используя наибольший из двух сигналов исследуемого четырехполюсника:

- установите переключатели входов в положение G;
- нажмите кнопку $\pm 180^\circ$ переключателя [Σ];
- нажмите кнопку ∇ ;
- подайте сигнал на канал Б , вход А замкните на корпус;
- установите потенциометром >O< показания цифрового индикатора равные $000,0 \pm 0,1$;
- подайте сигнал на канал А, вход канала Б замкните на корпус;
- установите потенциометром 360° показания цифрового индикатора $000,0$ и $-360,0$ с точностью до последнего знака;
- нажмите кнопку $_$;
- подайте сигнал на канал Б ,вход канала А замкните на корпус;

- установите потенциометром $\pm 180^\circ$ показания цифрового индикатора $\pm 180,0$;

- нажмите кнопку 0- 360° переключателя [__]Р;

- установите потенциометром + 360° показания цифрового индикатора $+360,0$.

4.1.5. Произведите установку нуля прибора:

- нажмите кнопку $\pm 180^\circ$ переключателя [__]Р;

- подключите оба канала прибора ко входу исследуемого устройства;

- установите потенциометром $>0<$ показания цифрового индикатора $000,0$.

4.2. Проведение измерений

4.2.1. Подайте на канал А входное, а на канал Б - выходное напряжение исследуемого устройства. Произведите отсчет измеряемой разности фаз. При работе в мертвой зоне наблюдаются неустойчивые показания цифрового индикатора прибора. Для исключения погрешностей измерения, обусловленных наличием мертвой зоны, перейдите на другой диапазон измерения фазы.