

УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

При выполнении лабораторных работ студенты обязаны соблюдать следующие правила техники безопасности:

1. Не включать силовые осветительные установки, рубильники без разрешения преподавателя или лаборанта.

2. Не допускать включения в сетевые розетки каких-либо проводов без штепсельных вилок.

3. В случае обнаружения неисправностей в сетевой проводке не делать исправлений своими силами.

4. Если при прикосновении к корпусу или шасси лабораторной установки или измерительного прибора ощущается действие тока, выключить установку или прибор и заявить об этом преподавателю или лаборанту.

5. Все переключения и изменения в схемах, смену предохранителей производить только при выключенном напряжении.

6. В случае неисправности установки необходимо немедленно отключить напряжение и сообщить о происшедшем лаборанту.

7. В случае поражения работающего электрическим током последний должен быть немедленно освобожден от соприкосновения с токоведущими частями отключением энергии. Если пострадавший находится в бессознательном состоянии, следует немедленно применить искусственное дыхание, вызвать врача.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИБОРА НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Приобретение практических навыков учета влияния внутреннего сопротивления прибора на результаты измерения

КОМПЛЕКТ ОБОРУДОВАНИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА

1. Источник постоянного напряжения УНИП-5
2. Магазин сопротивлений Р-33
3. Вольтметр М 366
4. Миллиамперметр АВО–5М

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

В зависимости от величины сопротивления делятся на 3 группы:

- 10 Ом и меньше - малые сопротивления,
- от 10 Ом до 0,1 кОм - средние сопротивления,
- от 0,1 кОм и выше - большие сопротивления.

Поскольку сопротивление приборов имеет конечную величину ($R_A \neq 0$, $R_V \neq \infty$), то их подключение влияет на результаты измерения.

Чтобы уменьшить влияния сопротивления измерительного прибора на результаты измерения, необходимо выбрать одну из схем подключения измерительных приборов (рис. 1) в зависимости от величины измеряемого сопротивления

Схема (рис. 1а) применяется, когда R_x велико по сравнению с сопротивлением амперметра в 100 и более раз. В этом случае падением напряжения на амперметр можно пренебречь вследствие его малости.

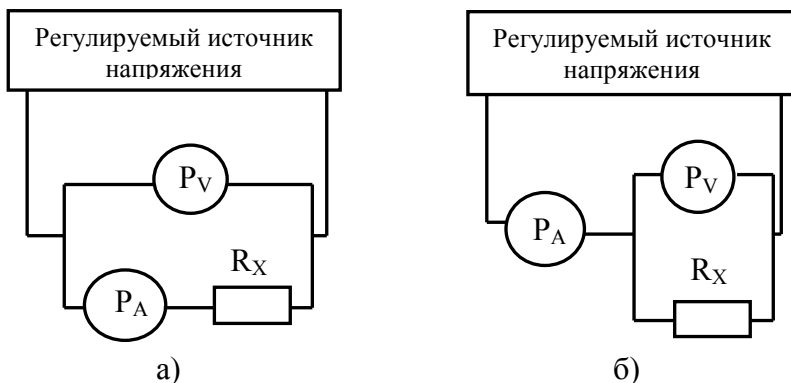


Рисунок 1

Схемы (рис. 1б) применяется, когда R_X мало по сравнению с сопротивлением вольтметра в 100 и более раз. В этом случае ток через вольтметр мал, по сравнению с током через R_X , и им можно пренебречь.

Для грубого определения неизвестного сопротивления нужно воспользоваться законом Ома:

$$R'_X = \frac{U_V}{I_A} \quad (1)$$

где U_V , I_A - показания вольтметра и амперметра соответственно.

Однако при таком подсчете допускается значительная неточность, т.к. не учтены сопротивления приборов. В схеме рис. 1а вольтметр измеряет напряжение, равное сумме напряжений на сопротивлении R_X и на амперметре, т.е. $U_V = U_X + U_A$. С учетом этого истинное значение сопротивления R_X определяется как:

$$R''_X = \frac{U_X}{I_X} = \frac{U_V - U_A}{I_A} = \frac{U_V - I_A R_A}{I_A} = \frac{U_V}{I_A} - R_A \quad (2)$$

где R_A - сопротивление амперметра, указанное на шкале прибора или в его паспорте.

В схеме рис. 1б амперметр измеряет ток, равный сумме

токов через R_X и через вольтметр, т.е. $I_A = I_X + I_V$. С учетом этого истинное значение сопротивления R_X определяется как:

$$R_X'' = \frac{U_X}{I_X} = \frac{U_V}{I_A - I_V} = \frac{U_V}{I_A - \frac{U_V}{R_V}} \quad (3)$$

где R_V - сопротивление вольтметра, указанное на шкале прибора или в его паспорте.

Для уменьшения влияния случайных погрешностей на результат измерения нужно неизвестное сопротивление измерить несколько раз в одинаковых условиях, т.е. изменяя только величину тока или напряжения. Наиболее вероятным значением неизвестного сопротивления будет среднее арифметическое, определяемое как:

$$R_{Xcp} = \frac{\sum_{i=1}^n R_{Xi}''}{n} \quad (4)$$

где n - количество измерений сопротивления одного номинала при различных уровнях напряжения в данной схеме включения.

Для выполнения работы собирается схема (рис. 2).

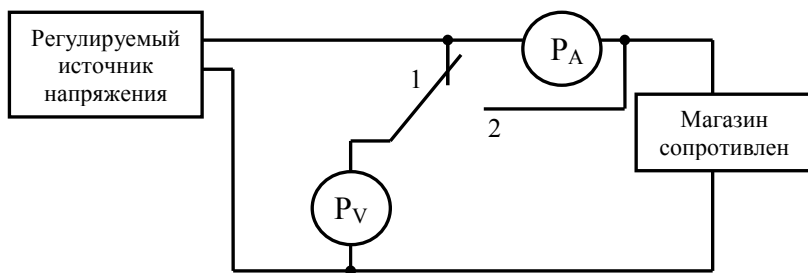


Рисунок 2

Напряжение от источника и величину R_X на магазине сопротивлений устанавливать в соответствии с данными, указанными в таблице 1 .

Результаты измерений и вычислений занести в таблицу1.

Погрешность определения величины R_x с учетом влияния сопротивления приборов рассчитывается по формуле:

$$\gamma\% = \frac{R_{xcp} - R_x}{R_x} \cdot 100\% \quad (5)$$

Таблица1

Сопротивление на магазине R_x (Ом)	Положение переключ. (рис.2)	Результаты измерения		Результаты вычисления			Погрешность Изм - я $\gamma\%$
		U_V (В)	I_A (мА)	По ф-ле (1) R_x^I (Ом)	По ф-ле (2 или 3) R_x^{II} (Ом)	R_{xcp} по ф-ле (4) (Ом)	
10	1	3					
		2					
	2	3					
		2					
100	1	3					
		2					
	2	3					
		2					
1000	1	3					
		2					
	2	3					
		2					

СОДЕРЖАНИЕ ОТСЧЕТА

1. Представить результаты измерений и вычислений.
2. Сделать письменно вывод по предпочтительной схеме измерения для сопротивлений 10, 100 и 1000 Ом соответственно.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему величина измеряемого сопротивления влияет на выбор схемы измерения?
2. В чем заключается отличие схем включения приборов при измерении больших и малых сопротивлений?
3. По результатам измерений пояснить влияние сопротивления приборов на результаты измерений.
4. Как можно учесть влияние сопротивления приборов на

результаты измерения?

5. Влияние статистической обработки результатов на точность измерения.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ И СОПРОТИВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ КОМБИНИРОВАННОГО ПРИБОРА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Ознакомление с принципом работы комбинированного прибора в режиме измерения постоянного и переменного напряжений, сопротивления.

2. Приобретение практических навыков работы с комбинированным прибором в режиме измерения постоянного и переменного напряжений, сопротивления.

3. Приобретение практических навыков учета основных и дополнительных погрешностей при измерении.

КОМПЛЕКТ ОБОРУДОВАНИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА.

1. Источник постоянного напряжения УНИП-5
2. Измерительный генератор звуковой частоты ГЗ-109
3. Комбинированный прибор АВО-5М
4. Магазин сопротивлений

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Измерение постоянного напряжения

Очень важной характеристикой прибора является его класс точности. Согласно ГОСТ 8.401 классом точности называют обобщенную характеристику средств измерений, определяемую пределами допускаемых основных (абсолютной или относительной) погрешностей. Для электроизмерительных приборов класс точности выражается через предельную приведенную относительную погрешность.

$$\gamma_{\text{прив}}\% = \frac{\Delta_{\text{пред}}}{U_{\text{пред}}} \cdot 100\% \quad (1)$$

где $\Delta_{\text{пред}}$ - предельная абсолютная погрешность данного прибора,

$U_{\text{пред}}$ - нормирующее (предельное) значение шкалы прибора.

Следовательно, класс точности прибора характеризует его свойства в отношении точности, но не является непосредственным показателем точности измерения.

Для проверки этого положения необходимо произвести измерение нескольких значений напряжения на одном пределе прибора, но отсчет должен производиться в разных участках шкалы (в начале, середине и конце). Измеряемые значения напряжения задаются на источнике постоянного напряжения в соответствии с табл. 1.

Для проведения измерений приборы соединить по структурной схеме рис. 1.



Рисунок 1

На источнике постоянного напряжения установить измеряемые значения напряжения (по усмотрению студента) в соответствии с заданным нормирующим значением (табл. 1) исследуемого комбинированного прибора. Результаты измерений занести в табл. 1.

По полученным данным рассчитать относительную погрешность для каждого измерения.

$$\gamma\% = \frac{\Delta_{\text{пред}}}{U} \cdot 100\% \quad (2)$$

где $\Delta_{\text{пред}}$ - находится из формулы (1)

$$\Delta_{\text{пред}} = \gamma_{\text{прив}} \cdot \frac{U_{\text{пред}}}{100\%} \quad (3)$$

где $\gamma_{\text{прив}}$ - класс точности прибора, указанный на шкале.

Таблица 1

Нормирующее значение шкалы $U_{\text{пред}} (В)$	Деления на шкале источника напряжения	Результаты измерений $U (В)$	Предельная абсолютная погрешность $\Delta_{\text{пред}} (В)$	Относительная погрешность $\gamma\%$
3				
12				

2. Измерение переменного напряжения.

Погрешности средств измерения, возникающие при использовании их в нормальных условиях, называются основными. При отклонении условий эксплуатации от нормальных возникают дополнительные погрешности (температурные, частотные и др.). В данном случае при измерении переменного напряжения прибором АВО-5М необходимо учесть частотную дополнительную погрешность ($\gamma_{\text{доп}}$), указанную в техническом описании прибора.

Для проведения измерений приборы соединить по схеме рис. 2.



Рисунок 2

Измеряемые значения напряжения устанавливать на

выходе генератора в соответствии с данными табл. 2. По результатам измерений произвести расчет основной (3) и (4) дополнительной погрешностей.

$$\Delta_{\text{доп}} = \frac{\gamma_{\text{доп}} \cdot U}{100\%} \quad (4)$$

Истинное значение измеряемого напряжения запишется как $U_{\text{ист.}} = U \pm (\Delta_{\text{пред}} + \Delta_{\text{доп}})$

Результаты измерений и вычислений занести в табл. 2

Таблица 2

Измеряемое напряжение по прибору генератора (В)	Показания АВО-5М U (В)	Основная абсолютная погрешность $\Delta_{\text{пред}}$ (В)	Дополнительная абсолютная погрешность $\Delta_{\text{доп}}$ (В)	Истинное значение напряжения $U_{\text{ист}}$ (В)
2,5				
7				
25				

3. Измерение сопротивлений

Принцип измерения сопротивления комбинированным прибором заключается в измерении тока через неизвестное сопротивление, который возникает при подключении внутреннего источника E. (Рис. 3)

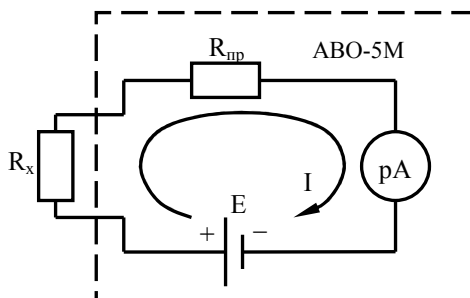


Рисунок 3

В соответствии с законом Ома возникающий в цепи ток

обратно пропорционален измеряемому сопротивлению. Поэтому шкала для отсчета неизвестного сопротивления является обратной.

В соответствии с инструкцией по эксплуатации ампервольтметра АВО-5М подготовить прибор к измерению сопротивлений. Подключить магазин сопротивлений. Произвести измерения малых ($<10 \text{ кОм}$) и больших ($>30 \text{ кОм}$) сопротивлений. Предельную абсолютную погрешность рассчитать по формуле (3). Истинное значение измеренного сопротивления запишется как

$$\text{Рист} = R \pm \Delta_{\text{пред}} \quad (5)$$

Результат измерений и вычислений занести в табл. 3

Таблица 3

Измеряемое сопротивление на магазине R (Ом)	Показания АВО-5М R (Ом)	Предельная абсолютная погрешность $\Delta_{\text{пред}}$ (Ом)	Истинное значение сопротивления Рист (Ом)

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Привести результаты измерений и вычислений.
2. Сделать выводы по каждому пункту работы.
3. По полной принципиальной схеме прибора АВО-5М составить упрощенные схемы, поясняющие принцип измерения постоянного, переменного напряжений и сопротивления комбинированным прибором.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Принцип классификации погрешностей.
2. Учет основных и дополнительных погрешностей.
3. Принципы измерения постоянного и переменного напряжений комбинированным прибором.

4. Способы расширения пределов измерения по постоянному току и напряжению.

5. Принцип измерения сопротивления комбинированным прибором АВО-5М.

6. Особенности измерения больших сопротивлений.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Проверить соответствие параметров выходного сигнала измерительного генератора техническим требованиям.

2. Научиться использовать измерительный генератор для контроля параметров радиоэлектронных устройств.

КОМПЛЕКТ ОБОРУДОВАНИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА

1. Измерительный генератор звуковой частоты ГЗ-102

2. Электронный вольтметр ВЗ-13

3. Электронный осциллограф С1-55

4. Измеритель нелинейных искажений 13ЧН-400-003

5. Проверяемый генератор ГЗ-109

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Определить частотную погрешность измерительного генератора по выходному напряжению

Для проведения измерений приборы соединить по структурной схеме рис. 1.

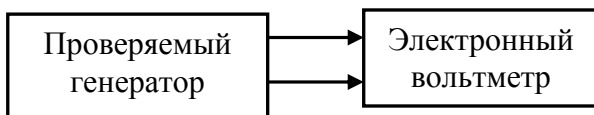


Рисунок 1.

Напряжение с гнезда ВЫХОД 1 генератора ГЗ-109 подать на вход электронного вольтметра. Переключатель НАГРУЗКА Ω установить в положение АТТ. Ручку аттенюатора «15 mV-15V» установить в положение «15V». С помощью потенциометра РЕГУЛИРОВКА ВЫХ. установить по вольтметру генератора напряжение $U_{1000}=10V$.

С помощью ручки плавной установки частоты и переключателя МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ установить $F_0=1000$ Гц. Изменяя частоту генератора (согласно табл. 1.), отсчитывать показания внешнего электронного вольтметра U_f .

По результатам измерения определить относительную частотную погрешность:

$$\gamma\% = \frac{U_{1000} - U_f}{U_f} \cdot 100\% \quad (1)$$

где U_{1000} - выходное напряжение генератора на частоте 1000 Гц,

U_f - выходное напряжение генератора на любой другой частоте.

Результаты измерений и вычислений занести в табл. 1.

По результатам измерений построить частотную характеристику вида $U = \varphi(F)$

Таблица 1

f (Гц)	20	100	500	10^3	2×10^3	5×10^3	10^4	2×10^4	5×10^4	10^5	2×10^5
U_f (В)											
$\gamma\%$											

2. Проверить коэффициент деления аттенюатора генератора

Аттенюатор «15mV-15V» генератора устанавливать поочередно на пределы: 15mV, 50mV, 150mV, 500mV, 1,5V,

5V, что соответствует определенным значениям коэффициента деления аттенюатора $\alpha_{\text{генер}}$ (60, 50, 40, 30, 20, 10 db соответственно). Стрелку индикатора генератора каждый раз устанавливать на предельное значение (конец шкалы). По электронному вольтметру отсчитать величину напряжения на выходе генератора. Действительное значение коэффициентов деления рассчитать по формуле:

$$\alpha = 20 \lg \frac{U_{\text{э}}}{U_0} (\text{db}) \quad (2)$$

где $U_{\text{э}}$ – показания электронного вольтметра;

U_0 – напряжение на выходе напряжения, при котором $\alpha_{\text{генер}}=0$, $U_0=15\text{В}$.

Результаты измерений и вычислений занести в табл. 2.

Таблица 2

$U_{\text{э}}$						
α (db)						
$\alpha_{\text{генер}}$ (db)	10	20	30	40	50	60

3. Проверить коэффициент нелинейных искажений выходного напряжения измерительного генератора

Для проведения измерений приборы соединить по структурной схеме рис. 2.

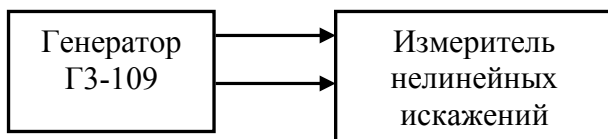


Рисунок 2.

Сигнал от генератора подать на вход "ИНИ" измерителя нелинейных искажений. На генераторе установить частоту $F=1000$ Гц. Предел выходного напряжения установить в соответствии с данными табл.3.

Измерение произвести в режиме однократного запуска, для чего должны быть нажаты (утоплены) клавиши "ИНИ", "Запуск однокр", "Диапазон 1%". Кнопка "ДУ" должна быть отжатой. Положение клавиши "Выходное напряжение" должно соответствовать выбранному пределу на генераторе. Регулируя выходное напряжение генератора ручкой "Рег. вых" добиться прекращения свечения индикаторов "Меньше - больше" измерителя, нелинейных искажений.

Для повышения точности произвести 5-6 кратное измерение коэффициента нелинейных искажений на каждом установленном пределе выходного напряжения генератора. Кнопка повторения измерения находится ниже кнопки "Запуск однокр". За истинное значение коэффициента нелинейных искажений принять среднеарифметическое из полученных результатов. Подобным образом произвести измерение коэффициента нелинейных искажений для уровней выходного напряжения генератора, указанных в табл. 3 соответственно переключая клавиши "Выходное напряжение" измерителя нелинейных искажений.

Результаты измерений и вычислений занести в табл. 3.

Таблица 3

Предел напряжения на генераторе	Значение коэффициента нелинейных					
	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_{CP}
0.3						
1						
3						
10						

4. Проверить градуировку шкалы частот проверяемого генератора методом фигур Лиссажу

Для проведения измерений приборы соединить по структурной схеме рис. 3.

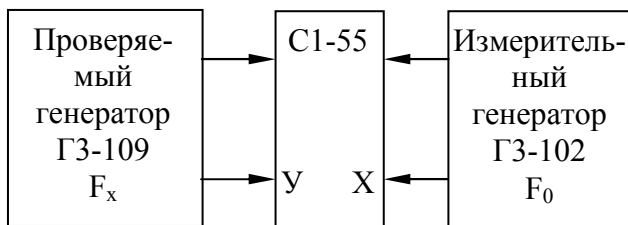


Рисунок 3

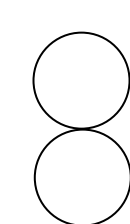


Рисунок 4

Установить на измерительном генераторе частоту $F_0=1000$ Гц. Выключить внутреннюю развертку осциллографа, для чего ручку «СИНХРОНИЗАЦИЯ» установить в положение «ВХОД Х», а напряжение с выхода измерительного генератора ГЗ-102 подать на гнездо «ВХОД 1:1». С выхода проверяемого генератора напряжения с частотой F_x подать на «ВХОД 1MΩ 40 pF» канала «УСИЛИТЕЛЬ У1» осциллографа. Уровень выходного напряжения генераторов выбрать таким, чтобы изображение фигуры Лиссажу на экране было удобным для измерений. Плавно подстраивая частоту F_0 в область 1000 Гц, добиться неподвижности фигуры Лиссажу на экране. Для определения значения проверяемой частоты мысленно провести к фигуре две касательные плоскости, параллельные осям координат (рис. 4). Отношение числа точек касания фигуры Лиссажу к плоскостям дает соотношение частот:

$$\frac{F_0}{F_x} = \frac{m}{n}, \text{ отсюда } F_x = F_0 \cdot \frac{m}{n}$$

где n - количество точек касания фигуры Лиссажу с плоскостью, соответствующей оси, по которой действует напряжение с частотой F_x ;

m - количество точек касания фигуры Лиссажу с плоскостью, соответствующей оси, по которой действует напряжение с частотой F_0 ;

F_0 — значение частоты, отсчитанное по шкале генератора ГЗ-102 в момент получения неподвижного изображения фигуры Лиссажу на экране осциллографа.

Измерение частоты провести на всех диапазонах проверяемого генератора по заданию преподавателя. Результаты измерений и вычислений занести в табл. 4.

Таблица 4

Соотношение частот по фигуре Лиссажу	m/n				
Измеренное значение частоты F_x (кГц)					
Частота проверяемого генератора (кГц)					

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Представить результаты измерений и расчетов.
2. Сделать выводы по результатам работы.
3. Привести функциональную схему генератора ГЗ-109.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Требования, предъявляемые к измерительным генераторам звуковой частоты.
2. По результатам проведенных измерений сделать заключение о соответствии выходных параметров проверяемого генератора требованиям, предъявляемым к приборам этой группы.
3. Принцип работы двухкаскадного RC-генератора.
4. Принцип стабилизации уровня выходного напряжения, применяемый в двухкаскадных RC-генераторах.
5. Функциональная схема ГЗ-102.
6. Методы измерения нелинейных искажений.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛЛОГРАФА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Приобретение практических навыков по измерению

временных и энергетических параметров сигнала с помощью электронного двухлучевого осциллографа.

КОМПЛЕКТ ОБОРУДОВАНИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА.

1. Электронный осциллограф С1 - 55
2. Измерительный генератор звуковой частоты ГЗ - 109
3. Измерительный импульсный генератор Г5 - 15

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Измерение напряжения

1.1. Измерение синусоидального напряжения

Подготовить осциллограф С1-55 к работе по каналу «УСИЛИТЕЛЬ У1», для чего большую ручку переключателя «ВОЛЬТ/ДЕЛ» установить в положение «0,2», малую ручку «УСИЛЕНИЕ» на оси переключателя установить в среднее положение, ручкой $\updownarrow$ установить линию развертки в центре экрана, большую ручку переключателя вида синхронизации установить в положение «ВНУТР. I», тумблер «х1», «х0,2» установить в положение «х1», большую ручку переключателя «ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ВРЕМЯ/ДЕЛ» установить в положение 20 μ S.

Исследуемый сигнал с выхода генератора ГЗ-109 подать на «ВХОД 1М Ω 40 pF» канала «УСИЛИТЕЛЬ У1» (рис. 1). Частоту выходного напряжения генератора установить в пределах $f = 1 \dots 2$ кГц. Уровень выходного напряжения задан в табл. 1.

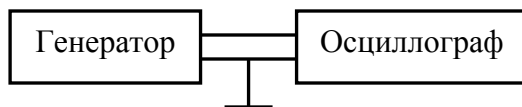


Рисунок 1

Переключателями ВОЛЬТ/ДЕЛ (К) канала А и ВРЕМЯ/ДЕЛ получить на экране осциллографа удобные для наблюдения размеры изображения. Ручку «УСИЛЕНИЕ» установить в крайнее правое положение. При помощи ручек

«↕» и «↔» изображение сигнала совмещается с нужными делениями шкалы экрана. Визуально определить линейные размеры изображения $2U_m$ (рис.2) в делениях шкалы экрана ЭЛТ (α).

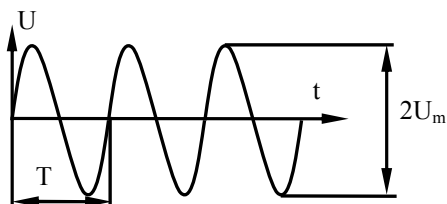


Рисунок 2

Действующее значение измеряемого напряжения определить из соотношения:

$$U_{\text{изм}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{\alpha \cdot K}{2 \cdot \sqrt{2}} \quad (1)$$

Погрешность измерения рассчитать по формуле:

$$\gamma\% = \frac{U - U_{\text{изм}}}{U_{\text{изм}}} \cdot 100\% \quad (2)$$

Результаты измерений и вычислений занесите в табл. 1.

Таблица 1

Напряжение на выходе ГЗ-109 (В)	0.1	0.3	2	5
Положение переключателя осциллографа ВОЛЬТ/ДЕЛ (К)				
Размеры изображения на экране (α)				
Измеренное значение напряжения ($U_{\text{изм}}$)				
Погрешность измерения ($\gamma\%$)				

1.2. Измерение импульсного напряжения

Исследуемый сигнал от генератора г5-15 с гнезда «Делитель» (коэффициент деления установить 10^2) подать на «ВХОД $1\text{M}\Omega$ 40 pF» канала «УСИЛИТЕЛЬ У1» осциллографа С1-55. Переключатель осциллографа «ДЛИТЕЛЬНОСТЬ

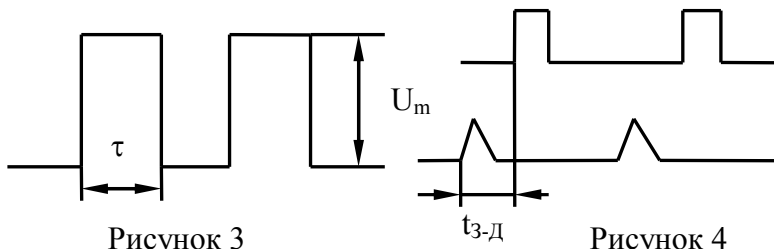
ВРЕМЯ/ДЕЛ» установить в положение 10 μS . Ручку «ПЛАВНО» установить в крайнее правое положение. Переключатель «ВОЛЬТ/ДЕЛ» установить в положение 0,2.

Частоту выходного напряжения генератора установить в пределах $f=2\ldots 8$ кГц. Уровень выходного напряжения задан в табл. 2.

Органами управления осциллографа установить удобные для наблюдения размеры изображения исследуемого колебания. Визуально определить линейные размеры амплитуды импульсного напряжения U_m (рис. 3.) в делениях шкалы экрана ЭЛТ(α).

Амплитудное значение измеряемого напряжения определяется из соотношения:

$$U_{\text{ИЗМ}} = U_m = \alpha K \quad (3)$$



Погрешность измерения рассчитать по формуле:

$$\gamma\% = \frac{U_m - U_{\text{ИЗМ}}}{U_{\text{ИЗМ}}} \cdot 100\% \quad (4)$$

Результаты измерений и вычислений занести в табл. 2.

Таблица 2

Напряжение на выходе Г5-15 (U_m)	10В	15В	25В	30В
Положение переключателя осциллографа ВОЛЬТ/ДЕЛ (К)				
Размеры изображения на экране (α)				
Измеренные значения напряжения ($U_{\text{ИЗМ}}$)				
Погрешность измерения ($\gamma\%$)				

2. Измерение временных интервалов

2.1. Измерение частоты синусоидального напряжения

Уровень выходного напряжения генератора ГЗ-109 установить равным 2В. Значение измеряемой частоты задано в табл. 3.

Переключателем осциллографа ВРЕМЯ/ДЕЛ (К) получить на экране ЭЛТ изображение 1-3х периодов исследуемого колебания. Ручку «ПЛАВНО» установить в крайнее правое положение. Визуально определить линейные размеры периода Т исследуемого колебания (рис 2) в делениях шкалы экрана ЭЛТ (ℓ).

Значение измеряемой частоты определяется из соотношения:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{K \cdot \ell} \quad (5)$$

Погрешность измерения рассчитать по формуле:

$$\gamma\% = \frac{f - f_{\text{изм}}}{f_{\text{изм}}} \cdot 100\% \quad (6)$$

Результаты измерений и вычислений занести в табл. 3.

Таблица 3

Частота выходного напряжения ГЗ-109 (кГц)	0,5	1	5	20
Положение переключателя ВРЕМЯ/ДЕЛ осциллографа (К)				
Размеры периода исследуемых колебаний на экране осциллографа (ℓ)				
Измеренное значение частоты ($f_{\text{изм}}$)				
Погрешность измерения ($\gamma\%$)				

2.2. Измерение длительности импульса

Измерение длительности импульса τ проводится аналогично измерению периода. С гнезда «Делитель» генератора Г5-15 на вход осциллографа канала «УСИЛИТЕЛЬ

УІ» подать исследуемый сигнал $U = 15 \text{ В}$ частотой $f=5 \text{ кГц}$. Переключатель «ВРЕМЯ/ДЕЛ» установить в положение $5 \mu\text{S}$. Значение измеряемой длительности выходного импульса генератора задано в табл. 4.

Таблица 4

Длительность импульса выходного напряжения генератора Г'5-15 (τ)	3 мкс	5 мкс	7 мкс	10 мкс
Положение переключателя ВРЕМЯ/ДЕЛ осциллографа (К)				
Размеры длительности импульса на экране осциллографа (l)				
Измеренное значение длительности импульса ($\tau_{\text{изм}}$)				
Погрешность измерения ($\gamma\%$)				

Значение τ определяется как $\tau = K \ell$,

где ℓ - линейные размеры длительности импульса в делениях шкалы экрана ЭЛТ (рис 3),

K - положение переключателя ВРЕМЯ/ДЕЛ.

Погрешность измерения рассчитать по формуле:

$$\gamma\% = \frac{\tau - \tau_{\text{изм}}}{\tau_{\text{изм}}} \cdot 100\% \quad (7)$$

Результаты измерений и вычислений занести в табл. 4

2.3. Измерение времени задержки

Для проведения измерений сигнал с выхода импульсного генератора Г5-15 с гнезда «Делитель» подать на вход канала «УСИЛИТЕЛЬ УІ» осциллографа, а напряжение синхронизации с импульсного генератора Г5-15 подать на вход канала «УСИЛИТЕЛЬ УІІ» осциллографа. Переключатель генератора ВРЕМЕННОЙ СДВИГ установить в положение 10-50. Переключателями ВОЛЬТ/ДЕЛ и ВРЕМЯ/ДЕЛ (К) каналов УІ и УІІ и ручками « Φ » установить

удобные для наблюдения размеры изображения двух импульсных сигналов на разных линиях развертки, которые не обязательно совмещать. Визуально определить размеры (d) измеряемого параметра - времени задержки $t_{3-д}$ (рис.4).

Измеренное значение времени задержки будет равно:

$$t_{3-д} = K d \quad (8)$$

Погрешность измерения рассчитать по формуле

$$\gamma\% = \frac{t_{3-д} - t_{3-д(изм)}}{t_{3-д(изм)}} \cdot 100\% \quad (9)$$

Результаты измерений и вычислений занести в табл. 5.

Таблица 5

Время задержки выходного напряжения генератора Г5-15 ($t_{3-д}$)	2 мкс	4 мкс	7 мкс	10 мкс
Положение переключателя ВРЕМЯ/ДЕЛ осциллографа (К)				
Размеры времени задержки на экране осциллографа (d)				
Измеренное значение времени задержки ($t_{3-д(изм)}$)				
Погрешность измерения ($\gamma\%$)				

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Представить результаты измерений и вычислений.
2. Привести структурную схему двухлучевого осциллографа.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Различия между двухканальным и двухлучевым осциллографами.
2. Принцип измерения напряжения с помощью осциллографа.
3. Принцип измерения временных интервалов (Т, τ , $t_{3-д}$) с помощью осциллографа.
4. Принцип измерения частоты с помощью осциллографа.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

АНАЛИЗ СПЕКТРА СИГНАЛА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Ознакомление с принципом работы анализатора спектра супергетеродинного типа С4-25.

2. Приобретение навыков определения частоты спектральных составляющих исследуемого сигнала различной формы с помощью анализатора спектра.

КОМПЛЕКТ ОБОРУДОВАНИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА

1. Анализатор спектра С4 – 25

2. Генератор сигналов ВЧ Г4 – 42

3. Генератор сигналов ВЧ программируемый Г4 – 164

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. В соответствии с указаниями по эксплуатации подготовить анализатор спектра к работе.

1.1 Перед включением прибора установить органы управления в исходное положение, указанное в таблице 1.

Таблица 1

Наименование органов управления	Исходное положение
ЯРКОСТЬ	Крайнее левое положение
τ ДЕТЕКТОР mS ручка	0,03
РАЗВЁРТКА S Сдвоенная ручка	0,1 среднее
ВХОД ПРИБОРА	Вход 50Ω
ОТСЧЕТ АМПЛИТУД dB	0
ПОЛОСА ПРОПУСКАНИЯ kHz тумблер	300
МЕТКИ MHz	Выкл.
ВЕРТ. МАСШТАБ	Лин.

Продолжение таблицы 1	
ОБЗОР MHz	Крайнее правое
ЦЕНТР. ЧАСТОТА	Крайнее левое
ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ручка	Крайнее правое

1.2 Включить тумблер СЕТЬ. Прогреть прибор в течение 30 минут.

Внимание!!! Ручку ЯРКОСТЬ вводить не раньше, чем через 3 минуты после включения прибора.

1.3 С помощью ручек СМЕЩЕНИЕ $\leftrightarrow$ $\updownarrow$, РАЗМЕР $\leftrightarrow$ линию развёртки совместить с нижней линией масштабной сетки ЭЛТ и установить длину линии развёртки 80 мм.

1.4 Ручками ФОКУС и ЯРКОСТЬ установить желаемую яркость и ширину линии развёртки.

1.5 Вращением ручки ЦЕНТР. ЧАСТОТА по часовой стрелке получить на экране изображение начального отклика, соответствующего нулю частотного диапазона и установить его в начале линии развёртки.

1.6 Ручками БАЛАНС произвести балансировку начального отклика.

Для этого предварительно ручку МЕТКИ MHz установить в положение «1MHz», ручку ОТСЧЕТ АМПЛИТУД db установить в положение «-10». С помощью ручек БАЛАНС амплитуду «начального» отклика уменьшить до минимального уровня.

Если вершина «начального» отклика находится за пределами экрана ЭЛТ, необходимо ручкой СМЕЩЕНИЕ $\updownarrow$ опустить линию развертки так, чтобы была видна вершина «начального» отклика. После балансировки линию развертки установить на уровень линии развертки.

2. Проведение измерений

2.1 Измерение частоты сигнала по предварительно

откалиброванной масштабной сетке

Откалибровать масштабную сетку необходимо с помощью калибрационных меток прибора, для чего с помощью переключателя **МЕТКИ MHz** установить частоту метки в соответствии с таблицей 2. Тумблер **ПОЛОСА ПРОПУСКАНИЯ kHz** и переключатель **ОБЗОР MHz** устанавливать в соответствующие положения.

Плавным изменением полосы пропускания и полосы обзора получить на экране ЭЛТ не менее 10 откликов калибрационных меток по частоте. При частоте меток 0,1 MHz и 1 MHz для получения четкого изображения откликов калибрационных меток воспользоваться регулятором **НЕСУЩАЯ МЕТОК MHz**. В процессе регулировки анализатора спектра по количеству меток в пределах размера обзора на экране регулятором **ЦЕНТР. ЧАСТОТА** поддерживать изображение начального отклика в начале линии развертки.

Уровень меток желательно получить в пределах 0,5-2 деления масштабной сетки по вертикали с помощью регуляторов **АМПЛИТУДА** и **ОТСЧЕТ АМПЛИТУД dB**.

Регуляторами **ЦЕНТР. ЧАСТОТА** и **ОБЗОР MHz** установить отклики гармоник калибрационных меток в пределах экрана так, чтобы они занимали всю ширину линии развертки. Полосу пропускания уменьшать до получения необходимого разрешения откликов по частоте.

При каждом новом значении частоты метки регулятором **РАЗМЕР↔** установить желательный масштаб, т.е. интервал между калибрационными метками, в пределах 0,5-2 деления масштабной сетки по горизонтали. Устанавливаемый масштаб контролировать в центральной части экрана.

Установив желаемый масштаб, необходимо отключить калибрационные метки, для чего: либо переключатель **МЕТКИ MHz** установить в положение **ВЫКЛ**, либо регулятор **АМПЛИТУДА** вывести в крайнее левое положение.

На вход анализатора спектра (**ВХОД 50Ω**) подать исследуемый немодулированный сигнал с генератора Г4-164 с

уровнем выходного сигнала 50-100 мВ.

Внимание!!! Во избежание повреждения прибора максимальное допустимое напряжение переменного тока по входу прибора на коаксиальный разъем (ВХОД 50Ω) не должно превышать 1 В.

Для установки необходимого уровня выходного напряжения на генераторе Г4-164 необходимо:

- на клавиатуре установки параметров генератора нажать кнопку Выход;
- на цифровом поле набрать нужное значение напряжения в мВ;
- на клавиатуре команд нажать кнопку mV.

Заданное значение выходного напряжения будет отражено на цифровом индикаторе генератора Выход.

На генераторе устанавливать поочередно значения проверяемых частот из табл. 2.

Для установки на генераторе необходимого значения частоты необходимо:

- на клавиатуре установки параметров генератора нажать кнопку f;
- на цифровом поле набрать нужное значение частоты;
- на клавиатуре исполнительных команд нажать кнопку kHz или MHz соответственно.

Заданное значение частоты будет отражено на цифровом индикаторе ЧАСТОТА MHz.

Уровень полученных на экране ЭЛТ откликов сигнала от генератора по амплитуде изменять регуляторами ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ и ОТСЧЕТ АМПЛИТУД dB анализатора спектра С4-25.

Определить значение измеряемой частоты по предварительно откалиброванной масштабной сетке.

Результаты измерений занести в табл. 2.

При переходе на новое значение частоты метки желательно отключить сигнал от генератора,

воспользовавшись кнопкой ОТКЛ. на генераторе Г4-164.

Таблица 2

Частота метки МГц	Полоса пропускания кГц	Обзор МГц	Установленный масштаб МГц/дел	Значения частоты МГц	
				На Г4-164	По С4-25
10	3-70	3-50		5	
				12	
				33	
1	3-70	0-3		1,5	
				5	
				12	
0,1	3-70	0-3		0,4	
				0,8	
				1,5	

2.2 Изменение частоты составляющих спектра АМ - сигнала

2.2.1 Измерение спектральных составляющих АМ - сигнала по предварительно откалиброванной масштабной сетке

Осуществить внешнюю амплитудную модуляцию сигнала генератора Г4-164. В качестве источника модулирующего сигнала использовать генератор Г4-42. Для выполнения задания произвести соединение приборов в соответствии со структурной схемой (рис. 1).

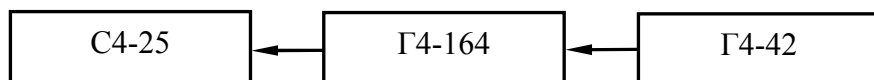


Рисунок 1

Значение несущей частоты f_n устанавливать на генераторе Г4-164, а значение модулирующей частоты – на

генераторе Г4-42 в соответствии с данными из табл. 3.

Таблица 3

f_n , МГц	F_m , кГц	Полоса пропускани я кГц	F метки, МГц	Обзо р МГц	f_n , МГц	$f_{\delta 1}$, МГц	$f_{\delta 2}$, МГц	F_m , кГц
По генератору		По анализатору			Результаты измерения			
3	100		0,1	0-3				
	200		0,1					
10	200		1	3-50				
	500		1					

Сигнал от генератора Г4-42 с разъема μV уровнем 50мВ подать на разъем внешней модуляции Г4-164, на котором задать режим АМ-внешняя. Установить глубину АМ модуляции 30%.

Сигнал с генератора Г4-164 подать на анализатор спектра ВХОД 50Ω. Регуляторами ПОЛОСА ПРОПУСКАНИЯ kHz и ОБЗОР MHz получить четкое изображение спектра АМ колебания с возможностью раздельного отсчета значения несущей частоты f_n и частот боковых составляющих f_δ исследуемого спектра. Измерение частот f_n и f_δ осуществить с помощью калибрационных меток анализатора спектра.

Частота модуляции F_m определяется по расстоянию между метками, соответствующими боковыми частотами $f_{\delta 1}$, $f_{\delta 2}$ и несущей f_n :

$$F_m = f_n - f_{\delta 1} = f_{\delta 2} - f_n \quad (1)$$

Результаты измерения f_n , $f_{\delta 1}$, $f_{\delta 2}$ и F_m занести в табл. 3.

2.2.2 Измерение спектральных составляющих АМ – сигнала с помощью калибрационные меток

Для выполнения задания соединение приборов производить в соответствии со структурной схемой,

представленной на рис. 1.

На генераторе Г4-164 устанавливается значение несущей частоты f_n в соответствии с таблицей 4. Определить значение f_n с помощью предварительно откалиброванной масштабной сетки (как в п. 2.1), отключив калибрационные метки анализатора.

Результаты измерения занести в табл. 4.

Подключить источник модулирующего сигнала Г4-42 к входу в нижней модуляции Г4-164, на котором выбрать режим АМ-внешняя. Установить глубину АМ модуляции 30%. Значения модулирующей частоты F_m устанавливать в соответствии с табл. 4.

На экране ЭЛТ получить изображение спектра АМ-колебаний. Регуляторами ЦЕНТР, ЧАСТОТА, ОБЗОР MHz и ПОЛОСА ПРОПУСКАНИЯ kHz установить расстояние между откликами f_{δ} и f_n не менее одной клетки масштабной сетки.

Включить калибрационную метку 0,1 МГц. Установить амплитуду меток не менее 2х клеток масштабной сетки. С помощью регулятора НЕСУЩАЯ совместить изображение основной калибрационной метки с откликом несущей f_n АМ – сигнала. Используя изображения откликов гармоник калибрационной метки, определить значения частот боковых составляющих $f_{\delta 1}$ и $f_{\delta 2}$ АМ – сигнала.

Результаты измерений занести в табл. 4.

Таблица 4.

f_n , МГц		F_m , кГц		$f_{\delta 1}$	$f_{\delta 2}$
Г4-164	С4-25	Г4-42	С4-25	С4-25	

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Представить результаты измерений и вычислений.
2. Сделать выводы по результатам работы.

3. Привести структурную схему анализатора спектра супергетеродинного типа.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Принцип работы супергетеродинного анализатора спектра С4-25.

2. Способ калибровки масштабной сетки.

3. Как можно изменить разрешающую способность анализатора спектра С4-25?

4. Как можно изменять масштаб (размеры) представления исследуемого спектра?

5. Перечислить методы измерения частоты составляющих исследуемого спектра с помощью анализатора спектра С4-25.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦЕПЕЙ С ПОМОЩЬЮ КУМЕТРА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Ознакомление с принципом работы куметра Е9-4.

2. Приобретение практических навыков измерения добротности, индуктивности, собственной емкости катушки; емкости, тангенса угла диэлектрических потерь конденсатора с помощью куметра.

КОМПЛЕКТ ОБОРУДОВАНИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА

1. Куметр Е9-4

2. Набор катушек индуктивности, конденсаторов

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Измерить индуктивность катушки

1.1 Без учета собственной емкости

Перед началом измерений подготовить прибор Е9-4 к

работе, для чего проверить нуль индикаторов и калибровку.

Катушку подключить к соответствующим клеммам. Поскольку значения измеряемой индуктивности можно отсчитать по шкале L только на определенных частотах, указанных в таблице на передней панели прибора, то на выходе генератора куметра необходимо установить частоту из таблицы, входящую в диапазон частот катушки. При помощи эталонного конденсатора куметра контур настроить в резонанс по максимальному отклонению стрелки прибора "Q". Значение индуктивности отсчитать по шкале "L", находящейся на одном лимбе со шкалой "C", с учетом множителя шкалы согласно таблицы частот. Результаты измерений занести в табл. 1.

1.2 С учетом собственной емкости катушки

Необходимо предварительно измерить собственную емкость катушки, например методом удвоения частоты. При настройке контура в резонансе в пункте 1.1 отметить значение f_1 и C_1 . Затем установить частоту $f_2=2f_1$ и после настройки контура в резонансе отметить значение C_2 . Собственная емкость катушки вычисляется по формуле:

$$C_K = \frac{C_1 - 4 \cdot C_2}{3} \quad (1)$$

Соответственно индуктивность с учетом собственной емкости будет равна:

$$L_X = \frac{2.53 \cdot 10^{10}}{f_1^2 (C_1 - C_K)} \quad (2)$$

где L_x - в мкГн, f - в кГц, C - в пФ.

Погрешность определения индуктивности катушки рассчитывается по формуле:

$$\gamma\% = \frac{L - L_X}{L_X} \cdot 100\% \quad (3)$$

Результаты измерений и вычислений занести в табл. 1.

1.3 Измерение индуктивности катушки с неизвестным диапазоном рабочих частот

Измерения произвести в соответствии с пунктами 1.1 и

1.2, предварительно определив рабочий диапазон частот катушки экспериментально. Результаты измерений и вычислений занести в табл. 1.

Таблица 1

Частота f (кГц)	Собственная емкость C_k (пФ)	Добротность Q	Индуктивность (мкГн)		Погрешность измерения $\gamma\%$
			Без учета собственной емкости L	С учетом собственной емкости L_x	

2. Измерить добротность катушки

Добротность, как и индуктивность, измеряется чисто резонансным методом. Отсчет добротности производится по шкале прибора, измеряющего напряжение на реактивном элементе контура, при условии установки определенного уровня напряжения на выходе генератора ($U_{\Gamma} = \text{const}$), т.к. $Q = U_{L,C} / U_{\Gamma}$. Для чего при настройке контура в резонанс на частоту f ручкой "Уст. уровня" поставить стрелку прибора "Уровень" на красную риску и только после этого по шкале "Q" отсчитать значение добротности. Результаты измерений занести в табл. 1.

3. Измерить емкость и угол диэлектрических потерь конденсатора

Измерение емкости произвести резонансным методом совместно с методом замещения.

3.1 Измерение малых емкостей

Емкости до 430 пФ измеряются при параллельном подключении исследуемого конденсатора к конденсатору куметра.

К клеммам "Lx" подключить катушку. Установить емкость конденсатора куметра $C_{Э1} = 450 \text{ пФ}$. Изменением частоты контур настроить в резонанс по максимальному показанию прибора "Q". Отсчитать значение $C_{Э1}$ и Q_1 . Затем к

клеммам "Сх" подключить исследуемый конденсатор и контур снова настроить в резонанс, но только с помощью Сэ. Отсчитать значение Сэ2 и Q2. Сх и tgδ определяются по формулам:

$$C_x = C_{э1} - C_{э2} \quad \text{tg}\delta = \frac{C_{э1} \cdot (Q_1 - Q_2)}{(C_{э1} - C_{э2}) \cdot Q_1 \cdot Q_2} \quad (4;5)$$

Результаты измерений и вычислений занести в табл. 2.

3.2 Измерение больших емкостей

Емкости более 430 пФ измеряются при последовательном подключении исследуемого конденсатора Сх к контуру куметра.

Методика измерения такая же, как в 3.1. До подключения Сх желательно установить Сэ1=250пФ. Изменением частоты контур настроить в резонанс и отсчитать значение Сэ1 и Q1. Затем подключить исследуемый конденсатор, для чего необходимо воспользоваться приспособлением, позволяющим осуществить последовательное соединение Сх и катушки куметра. Контур снова настроить в резонанс и отсчитать значение Сэ2 и Q2. Сх и tgδ определяются по формулам:

$$C_x = \frac{C_{э1} \cdot C_{э2}}{C_{э2} - C_{э1}} \quad \text{tg}\delta = \frac{C_{э1} \cdot Q_1 - C_{э2} \cdot Q_2}{(C_{э2} - C_{э1}) \cdot Q_1 \cdot Q_2} \quad (6;7)$$

Результаты измерений и вычислений занести в табл. 2.

Таблица 2

№ измерения	Сэ1 (пФ)	Сэ2 (пФ)	Сх (пФ)	Q1	Q2	tgδ
1.						
2.						

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Представить результаты измерений и вычислений.
2. Привести упрощенную схему куметра.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Методы измерения параметров цепей с сосредоточенными постоянными.
2. Резонансный метод измерения L, C, Q .
3. Измерение L, C резонансным методом с замещением.
4. Особенности измерения больших и малых C .
5. Особенности измерения больших и малых L .
6. Какие погрешности устраняются при предварительной калибровке куметра?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

ИЗМЕРЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ КОАКСИЛЬНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЛИНИИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Изучение устройства коаксиальной измерительной линии.
2. Приобретение навыков измерения частоты, коэффициента стоячей волны, полного сопротивления нагрузки, фазового угла коэффициента отражения с помощью измерительной линии.

КОМПЛЕКТ ОБОРУДОВАНИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА

1. Генератор стандартных сигналов ГК4-52
2. Измерительная линия PI-2
3. Микроамперметр М194
4. Набор различных типов нагрузки
5. Круговая диаграмма Вольперта

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Проверить градуировку шкалы частот генератора в трех точках в интервале от 1800 до 2000 МГц
Так как в приборе М194 используется световой указатель, то необходимо микроамперметр включить в сеть.

Для выполнения работы собрать схему (рис.1)

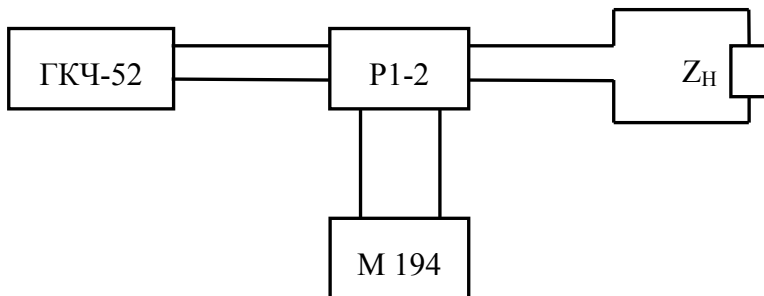


Рисунок 1

При измерении длины волны линия не нагружается на Z_n , т.е. разомкнута на конце. На генераторе качающейся частоты ГКЧ-52 и сменном блоке СВЧ клавишами установить режим непрерывной генерации (НГ). Включит ручной РЕЖИМ ПЕРЕСТРОЙКИ частоты F_0 . Установив проверяемую частоту генератора, индикаторную головку линии настроить на эту частоту по максимальному отклонению светового "зайчика" прибора М 194, выбирая уровень напряжения на выходе генератора таким, чтобы световой указатель индикатора не зашкаливал. Перемещая индикаторную головку вдоль линии, отсчитать по масштабной линейке расстояние между соседними пучностями (или узлами) ℓ (рис. 2).

При этом $\lambda = 2\ell$, $f = \frac{3 \cdot 10^8}{\lambda}$, где f и λ должны быть в основных единицах, т.е. в Гц и М соответственно.

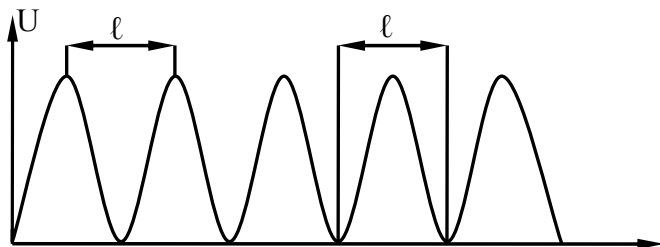


Рисунок 2

Результаты измерений и вычислений занести в табл 1.

Таблица 1

Частота генератора (МГц)	Длина волны (см)	Рассчитанное значение частоты (МГц)

2. Измерить коэффициент стоячей волны

Если линия нагружена на сопротивление Z_H , не равное волновому сопротивлению линии ρ , то часть энергии, распространяющейся вдоль линии, отражается от нагрузки и в общем случае в линии существует две бегущих волны, движущихся вдоль линии в противоположных направлениях (падающая и отраженная волны). В результате этого распределение амплитуд напряжения вдоль линии примет вид, представленный на рис. 3.

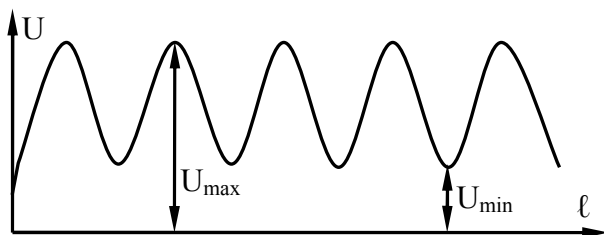


Рисунок 3

Определение КСВ заключается в предварительном измерении напряжения в пучностях ($U_{\max}$) и в узлах ($U_{\min}$) и последующем вычислении $KCB = U_{\max}/U_{\min}$. Так как КСВ величина безразмерная, то отношение напряжений можно заменить отношением делений (α), отсчитанных по шкале индикатора, т.е. $KCB = \alpha_{\max}/\alpha_{\min}$.

Измерение КСВ произвести для трех видов нагрузки.
Результаты измерений и вычислений занести в табл. 2.

Таблица 2

Вид нагрузки	КСВ	θ	Z_H	
			по диаграмме	по формуле
Активная				
Емкостная				
Без нагрузки				

3. Измерить фазовый угол коэффициента отражения.

В каждой точке линии сдвиг фаз между падающей и отраженной волной равен: $\varphi = \theta - 2\beta\ell$. В точке, где показания индикатора максимальны, $\varphi=0$. Тогда $\theta = 2\beta\ell_{\max}$,

где θ - угол сдвига фаз между падающей и отраженной волной на конце линии (фазовый угол коэффициента отражения);

β - фазовая постоянная линии, равная $\beta = 2\pi/\lambda$

$\ell_{\max}$ - расстояние от конца линии до первой пучности.

Определение фазового угла отражения производится путем измерения расстояния от точки подключения нагрузки до первой пучности в линии для всех видов нагрузки с последующим вычислением по формуле:

$$\theta = \frac{4 \cdot \pi}{\lambda} \cdot \ell_{\max}$$

Результаты вычислений занести в табл. 2.

4. Определить полное сопротивление нагрузки.
Определение сопротивления произвести двумя методами:

а) по формуле:

$$Z_H = \frac{КСВ - 0.5j(КСВ^2 - 1)\sin 2\theta}{КСВ^2 \sin^2 \theta + \cos^2 \theta} \cdot \rho$$

б) по круговой диаграмме Вольперта.

При пользовании диаграммой необходимо:

1) Установить конец вращающейся линейки диаграммы на значение фазового угла отражения (см. табл. 2), величина которого нанесена на периферии круговой диаграммы.

2) На шкале вращающейся линейки найти значение КСВ (см. табл. 2).

3) Через полученную на шкале линейки точку провести мысленно две ортогональные окружности, параллельные окружностям диаграммы и отсчитать значения R/ρ (на общем диаметре диаграммы) и X/ρ (на внешней окружности).

Полное сопротивление нагрузки будет равно

$$\frac{Z_H}{\rho} = \frac{R}{\rho} + j \frac{X}{\rho} \text{ или } Z_H = \sqrt{R^2 + X^2}$$

где ρ - волновое сопротивление линии, $\rho = 75 \text{ Ом}$.
Результаты расчетов занести в табл. 2.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Представить результаты измерений и вычислений.
2. Сделать вывод по результатам работы.
3. Привести упрощенную схему коаксиальной измерительной линии

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Особенности измерения в диапазоне СВЧ.
2. Устройство коаксиальной измерительной линии.
3. Измерения с помощью линии λ , КСВ, θ .
4. Зависимость величины КСВ от нагрузки.
5. Принцип построения круговой диаграммы Вольперта.
6. Определение Z_H с помощью круговой диаграммы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ИЗМЕРЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ МЕТОДОМ ПОДАВЛЕНИЯ ОСНОВНОЙ ГАРМОНИКИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Изучить технические характеристики и функциональную схему измерителя нелинейных искажений.
2. Приобрести практические навыки измерения нелинейных искажений (ИНИ).

КОМПЛЕКТ ОБОРУДОВАНИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА.

1. Измеритель нелинейных искажений С1-6
2. Измерительный генератор ГЗ-109
3. Четырехполюсник
4. Функциональная схема ИНИ.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

Изучить технические характеристики и функциональную схему ИНИ. Общий коэффициент гармоник определяется по формуле (1):

$$K = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}}{U_1} \quad (1)$$

где U_1 , U_2 , U_3 и т.д. – среднеквадратические значения гармоник. Величина K взята по отношению к основной частоте (первой гармонике).

Структурная схема прибора

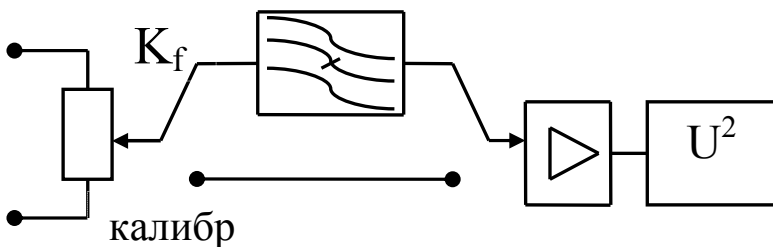


Рисунок 1

Напряжение, суммарный коэффициент гармоник которого измеряется, поступает на регулятор входа R (ручка “КАЛИБР” на панели прибора). С его помощью (переключатель режим работы в положении “КАЛИБР”)

устанавливают на шкале квадратичного вольтметра показания, соответствующие 100% отметка сигнала (переключатель “пределов” в положении 100%). Этим знаменатель в формуле приводится к единице. Затем включается заградительный фильтр З.Ф. (переключатель режима работы в положении “К_г”). З.Ф. подавляет первую гармонику измеряемого напряжения, т.е. выключает из числителя формулы напряжение первой гармоники U_1 .

Среднеквадратическое напряжение гармоник $\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}$ измеряется квадратичным вольтметром.

Шкала вольтметра имеет градуировку непосредственного в значениях К.

В процессе измерений необходимо подстраивать заградительный фильтр ручками “НАСТРОЙКА”, “ТОЧНО” до максимального подавления первой гармоники. Погрешность измерений при этом не превышает (5-10%).

Измерение нелинейных искажений четырехполосника.

Собрать измерительную схему, рис. 2.



Рисунок 2

Подготовить к работе приборы.

Включить приборы.

Установить с выхода ИГ: частоту 150,00 Гц; напряжение 1,0 В.

На передней панели ИНИ установить:

- нужный диапазон и частоту ручкой “НАСТРОЙКА”;
- переключатель “Режима работы” – Калибр;
- переключатель пределов измерений – 100% и ручкой “КАЛИБР” установить стрелку прибора в положение “▼”.

Перевести переключатель режима работы в положение “К_г”. Ручками “НАСТРОЙКА” и “ТРУБО”, затем “ТОЧНО” добиться минимальных показаний прибора. По мере

уменьшения показаний уменьшать пределы измерений прибора, не допуская зашкаливания стрелки. Измерить коэффициент нелинейных искажений четырехполюсника для напряжений с выхода ИГ $U_{\text{иг}}$. Результат измерений K записать в таблицу 1.

Таблица 1

$U_{\text{иг}}, \text{В}$	1	2,5	5	7,5	10	12,5
$K, \%$						

Измерить коэффициент нелинейных искажений четырехполюсника для данных, указанных в таблице 2.

Таблица 2

$f_{\text{иг}}, \text{Гц}$	80	120	150	200
$K, \%$				

Построить график зависимости коэффициента гармоник от напряжения $K_f \% = Y(U)$

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Краткие технические характеристики.
2. Структурная схема ИНИ.
3. Измерительная схема.
4. Результаты измерений.
5. Выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем состоит преимущество метода подавления основной гармоники?
2. Как определить коэффициент нелинейных искажений по амплитудной характеристике четырехполюсника?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Электрорадиоизмерения: учебник/ В.И. Нефедов, А.С. Сигов, В.К. Битюков и др.; под ред. проф. А.С. Сигова. – М.: ФОРУМ : ИНФА – М, 2004. – 384с.

2. Шишмарев В.Ю. Электрорадиоизмерения: учебник для сред. проф. образования/ В.Ю. Шишмарев, В.И. Шанин. -М.: Издательский центр «Академия». 2004. – 336с.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №1	5
Исследование влияния сопротивления прибора на результаты измерения	
Лабораторная работа №2	9
Измерение напряжения и сопротивления с помощью комбинированного прибора	
Лабораторная работа №3	14
Исследование измерительного генератора звуковой частоты	
Лабораторная работа №4	19
Измерение параметров сигнала с помощью электронного осциллографа	
Лабораторная работа №5	26
Анализ спектра сигнала	
Лабораторная работа №6	33
Измерение параметров компонентов цепей с помощью куметра	
Лабораторная работа №7	37
Измерения с помощью коаксиальной измерительной линии	
Лабораторная работа №8	41
Измерение нелинейных искажений методом подавления основной гармоник	
Библиографический список	45