

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»
Филиал «Минский радиотехнический колледж»

Учебный предмет
«Электрические измерения»

Инструкция
по выполнению лабораторной работы №20
«Измерение амплитудно-модулированных сигналов с помощью электронного осциллографа»

Минск 2022 г.

Лабораторная работа №20

Тема работы: «Измерение амплитудно-модулированных сигналов с помощью электронного осциллографа»

1 Цель работы

Изучение осциллографических методов измерения глубины модуляции (М) амплитудно-модулированных (АМ) сигналов и приобретение практических навыков измерения глубины модуляции АМ-сигналов с использованием осциллографа.

2 Задание

Изучить осциллографические методы измерения глубины модуляции (М) амплитудно-модулированных (АМ) сигналов, снять показания модулированного сигнала, рассчитать коэффициент модуляции, погрешности измерений.

3 Оснащение работы

Генератор стандартных сигналов Г4-18А, осциллограф двухканальный широкополосный С1-97.

4 Краткие теоретические сведения

Амплитудно-модулированными колебаниями называются такие высокочастотные колебания, амплитуда которых изменяется по закону управляющего низкочастотного сигнала, рисунок 20.1.

$$U = U_0 + \Delta U \cdot \cos \omega t = U_0 \cdot \left(1 + \frac{\Delta U}{U_0} \cos \omega t \right) = U_0 \cdot (1 + M \cos \omega t). \quad (20.1)$$

где $M = \frac{\Delta U}{U_0}$ – коэффициент модуляции, характеризующий глубину изменения модуляции.

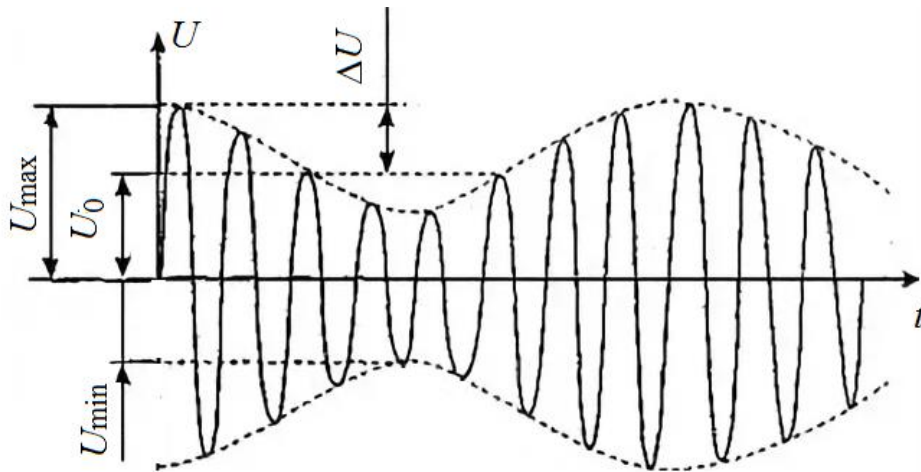


Рисунок 20.1 – График амплитудно-модулированного колебания

Коэффициентом глубины модуляции называется отношение максимального приращения амплитуды колебаний высокой частоты к амплитуде этих колебаний до модуляции (формула 20.2):

$$M = \frac{\Delta U}{U_0} \cdot 100\%. \quad (20.2)$$

Для определения коэффициента модуляции осциллографическим методом можно пользоваться тремя способами развертки: линейной, синусоидальной и эллиптической.

При линейной развертке в канал вертикального отклонения подается высокочастотное модулированное колебание, а частота развертки устанавливается в 2–3 раза ниже модулирующей частоты.

На экране появляется осциллограмма модулированного колебания в виде графика зависимости $U = f(t)$.

Измерив при помощи масштабной сетки максимальное отклонение луча А и минимальное В, получим (формула 20.3):

$$M = \frac{A - B}{A + B} \cdot 100\%, \quad (20.3)$$

где $A = U_{\max}$;

$B = U_{\min}$.

Для получения неподвижной осциллограммы генератор развертки синхронизируется модулирующим напряжением.

В канал вертикального отклонения можно подать детектированное модулированное колебание, т.е. напряжение его огибающей. Если осциллограф предназначен для наблюдения постоянного тока, то на его экране появится осциллограмма, по которой определяется коэффициент модуляции. Размеры А и В измеряются относительно линии развертки. Для определения коэффициента модуляции при синусоидальной развертке в канал вертикального отклонения подаются модулированное высокочастотное колебание, а в канал горизонтального отклонения – модулирующее напряжение. Верхняя огибающая модулированного колебания, вызывающая отклонение луча в вертикальном направлении, определяется выражением 20.4:

$$y = U_m (1 + M \cos \omega t). \quad (20.4)$$

Отклонение в горизонтальном направлении получается в результате воздействия модулирующего напряжения (формула 20.5):

$$x = U_m \cos \omega t. \quad (20.5)$$

Исключив $\cos \omega t$, получаем (формула 20.6):

$$y = U_m + Mx. \quad (20.6)$$

Верхний и нижний края изображения ограничены прямыми линиями, наклон которых зависит от значения М. На экране получается осциллограмма в виде светящейся плоскости трапецеидальной формы, рисунок 20.2.

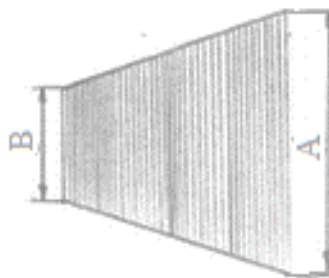


Рисунок 20.2 – Осциллограмма трапецеидальной формы

Прямые, ограничивающие плоскость, являются фигурами Лиссажу, получающимися за счет взаимодействия огибающих модулированного колебания с модулирующим напряжением при отсутствии фазового сдвига между ними.

Размеры A и B соответствуют максимальному и минимальному значениям модулированного напряжения, поэтому коэффициент модуляции вычисляется по формуле 20.3.

Если источник модулирующего напряжения недоступен, то на вход горизонтального отклонения осциллографа подается протестированное моделированное колебание.

Напряжение предпочтительно подавать непосредственно на отклоняющие пластины, так как усилители осциллографа могут создать фазовый сдвиг, и осциллограмма примет следующий вид, рисунок 20.3.

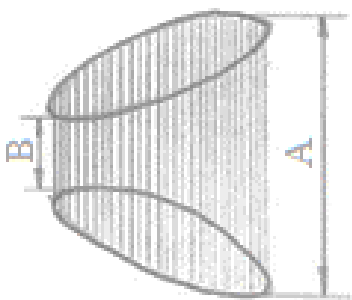


Рисунок 20.3 – Осциллограмма с фазовым сдвигом

Здесь вместо прямых, ограничивающих фигуру, появились эллипсы. Такая осциллограмма может свидетельствовать и о том, что в исследуемом устройстве между огибающими модулированного колебания и модулирующим напряжением возникает фазовый сдвиг. Коэффициент модуляции вычисляется так же, как и раньше, только размеры A и B определяются по касательным к местам максимального и минимального отклонений лучей. О наличии нелинейных искажений в одном из колебаний или о возникновении их в процессе детектирования модулированного колебания свидетельствует следующая осциллограмма, рисунок 20.4.

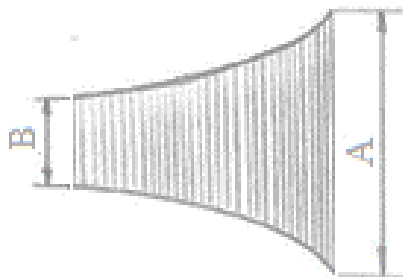


Рисунок 20.4 – Осциллограмма с нелинейными искажениями

Значения этих искажений по осциллограмме определить невозможно. По виду фигуры, получающейся на экране осциллографа при отсутствии искажений и фазового сдвига, способ синусоидальной развертки часто называют способом трапеции.

При определении коэффициента модуляции способом эллиптической развертки модулированное колебание через фазорасщепляющую цепь подается на оба входа осциллографа при включенном генераторе развертки.

На экране появляется светящаяся эллипсоидальная фигура, внутренние и внешние размеры которой зависят от глубины амплитудной модуляции измеряемого колебания. Коэффициент модуляции вычисляется также по формуле 20.3, а размеры A и B измеряются так, как показано на рисунке 20.5.

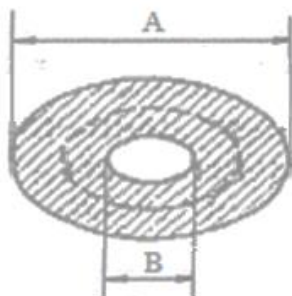


Рисунок 20.5 – Осциллограмма эллиптической развертки

Эллипс, обозначенный пунктирной линией, получается при отсутствии модуляции.

Осциллографический метод прост, нагляден и удобен. Применяется он при исследованиях и испытаниях модулируемых генераторов или передатчиков, когда модуляция осуществляется одним синусоидальным напряжением в заданном диапазоне звуковых частот. Несущие частоты ограничиваются полосой пропускания усилителей применяемого осциллографа, поэтому напряжение лучше подавать непосредственно на отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки.

Соединение источника модулированных колебаний со входом осциллографа должно быть выполнено очень тщательно.

На несущих частотах 10 МГц согласование не влияет на качество осциллограммы. На высоких частотах длина соединительной линии должна быть немного меньше четверти длины волны. При большей длине соединительной линии ее волновое сопротивление должно быть, по крайней мере, в 10 раз меньше реактивного сопротивления входной емкости осциллографа.

Осциллографическим методом можно измерять коэффициент модуляции от 0 до 100%, а также наблюдать перемодуляцию.

Точность этого метода невелика, она зависит от качества фокусировки и тщательности измерения размеров А и В, погрешность измерения – от 8 до 10 %.

5 Технические данные приборов

Генератор Г4-18А

Генератор стандартных сигналов типа Г4-18А предназначен для проверки и настройки радиоприемной аппаратуры.

Он имеет следующие технические данные.

Диапазон частот от 100 кГц до 35 МГц, перекрываемый шестью поддиапазонами.

Погрешность установки частоты не более ± 1 %.

Режимы работы:

- непрерывная генерация (НГ);
- внутренняя и внешняя амплитудная модуляция (АМ);
- режим максимального выхода – с напряжением на выходе около 2 В только при НГ.

АМ осуществляется синусоидальным напряжением с частотами 400 Гц и 1000 Гц с погрешностью ± 5 % при внутренней АМ и от 50 Гц до 15 кГц – при внешней модуляции.

Коэффициент глубины модуляции как при внутренней, так и при внешней АМ, регулируется от 10 до 95 % при частотах модуляции от 50 Гц до 10 кГц и от 10 до 50 % – при частотах модуляции от 10 кГц до 15 кГц.

Погрешность измерения коэффициента глубины модуляции не превышает ± 5 % от номинала шкалы (100 %) при измерении глубины модуляции до 50 % и не более ± 10 % от измеряемой величины – при модуляции от 50 до 80 %.

Питание осуществляется от сети переменного тока частотой $(50 \pm 0,5)$ Гц напряжением $220 \text{ В} \pm 10$ %.

Передняя панель генератора Г4-18А приведена на рисунке 13.6.

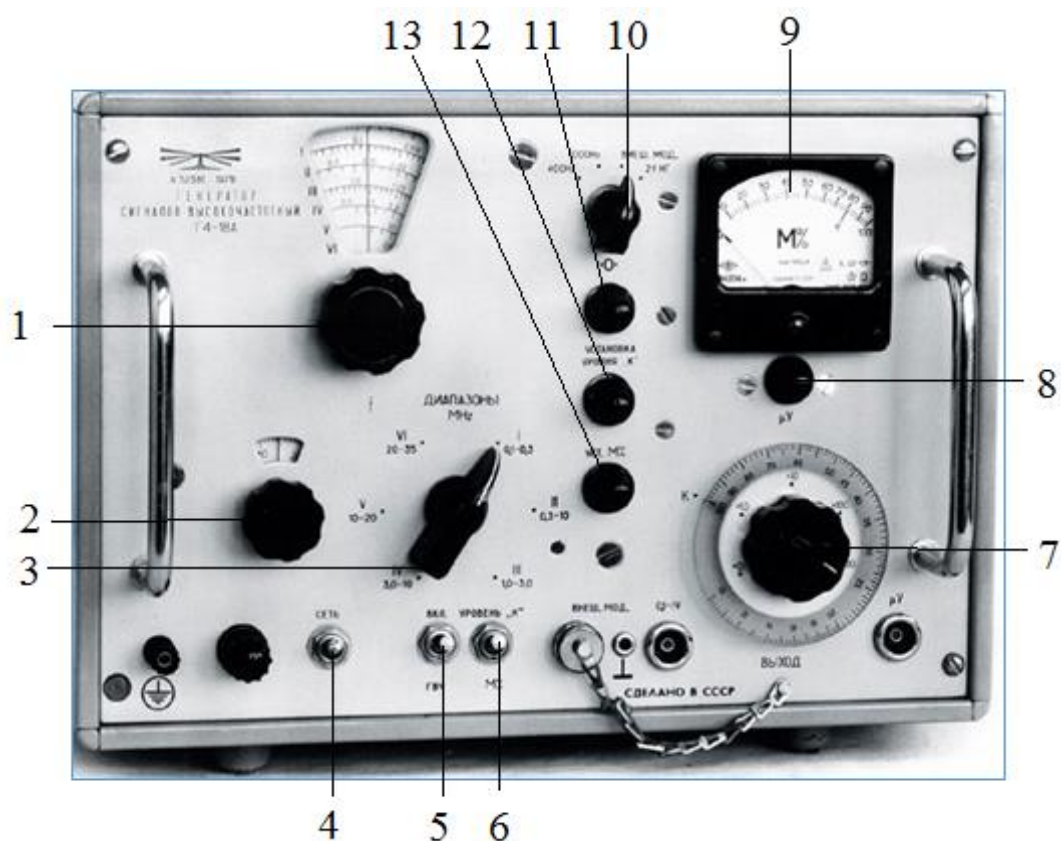


Рисунок 20.6 – Передняя панель генератора Г4-18А

Органы управления

- 1 – ручка настройки частоты;
- 2 – ручка верньера;
- 3 ДИАПАЗОНЫ МГц – ручка переключателя поддиапазонов;
- 4 СЕТЬ – выключатель сети;
- 5 ГЕН. ВЧ. – выключатель генератора высокой частоты;
- 6 – тумблер переключения УРОВЕНЬ «К» – М%;
- 7 – ручки аттенюаторов;
- 8 μV – ручка плавной регулировки выходного напряжения;
- 9 – стрелочный измеритель (контроль уровня М%);
- 10 – переключатель рода работ;
- 11 – ручка установки нуля стрелочного измерителя;
- 12 УСТАНОВКА УРОВНЯ «К» – ручка установки выхода;
- 13 УСТ. М% – ручка установки глубины модуляции.

Осциллограф двухканальный широкополосный С1-97

Осциллограф двухканальный широкополосный С1-97 предназначен для исследования формы периодических, редкоповторяющихся и однократных сигналов с амплитудами от 15мВ до 40В и длительностями от 5нс до 1с. Прибор соответствует 3 классу точности.

Он имеет следующие технические данные:

Диапазон частот от 0 до 350 МГц.

Параметры входов обоих каналов:

а) согласованного входа:

– входное активное сопротивление 50 Ом;

– коэффициент отражения не более 0,1;

б) несогласованного входа:

– входное активное сопротивление с активным пробником – (100 ± 5) кОм;

– входная емкость с активным пробником – не более 4 пФ;

– входное активное сопротивление с активным пробником и делителем 1:10 – $(1 \pm 0,05)$ МОм;

– входная емкость с активным пробником и делителем 1:10 не более 2,5 пФ.

Диапазон напряжений исследуемого сигнала не менее: от 1мВ до 4 В при непосредственном входе, от минус 0,4 до 0,4 В для пробника, от минус 4 до 4 В для пробника с делителем 1:10.

Допустимое постоянное напряжение на входе каждого канала:

– при непосредственном входе не более 3 В;

– с активным пробником не более 15 В;

– с активным пробником и делителем 1:10 не более 40 В.

Осциллограф С1-97 обеспечивает следующие режимы работы развертки:

– автоколебательный;

– ждущий;

– однократный.

Основная погрешность коэффициента развертки в диапазоне от 5 нс/см до 0,1с/см не более 4 %, основная погрешность коэффициентов развертки 1,2 нс/см – не более 6 %.


Питание осциллографа от сети переменного тока напряжением (220 ± 22) В, частотой $(50 \pm 0,5)$ Гц.

Мощность, потребляемая прибором от сети при номинальном напряжении, не превышает 140 В·А.


Передняя панель осциллографа двухканального широкополосного С1-97 приведена на рисунке 13.7.

Органы управления

СЕТЬ – переключатель включения прибора.

 – ручка регулирования яркости.

 – ручка регулирования фокусировки.

 – ручка регулирования освещения шкалы.

 – ручка перемещения луча по горизонтали.

 – ручка перемещения луча по вертикали.

V/cm – переключатель коэффициентов отклонения каналов А и Б.

РЕЖИМ – переключатель режима работы вертикального тракта:

А – кнопка включения канала А;

Б – кнопка включения канала Б;

→ → – кнопка включения поочередной работы;

- - - – кнопка включения прерывистой работы;

А+Б – кнопка одновременной работы каналов А и Б.

СИНХРОНИЗАЦИЯ – переключатель синхронизации развертки внутренним сигналом:

А – Б – кнопка включения синхронизации от канала А/Б;

А + Б – кнопка одновременной синхронизации от каналов А и Б.

НОРМ. ИНВЕРТ. – переключатель НОРМАЛЬНО – ИНВЕРТИРОВАНО.

РЕЖИМ – переключатель вида запуска развертки:

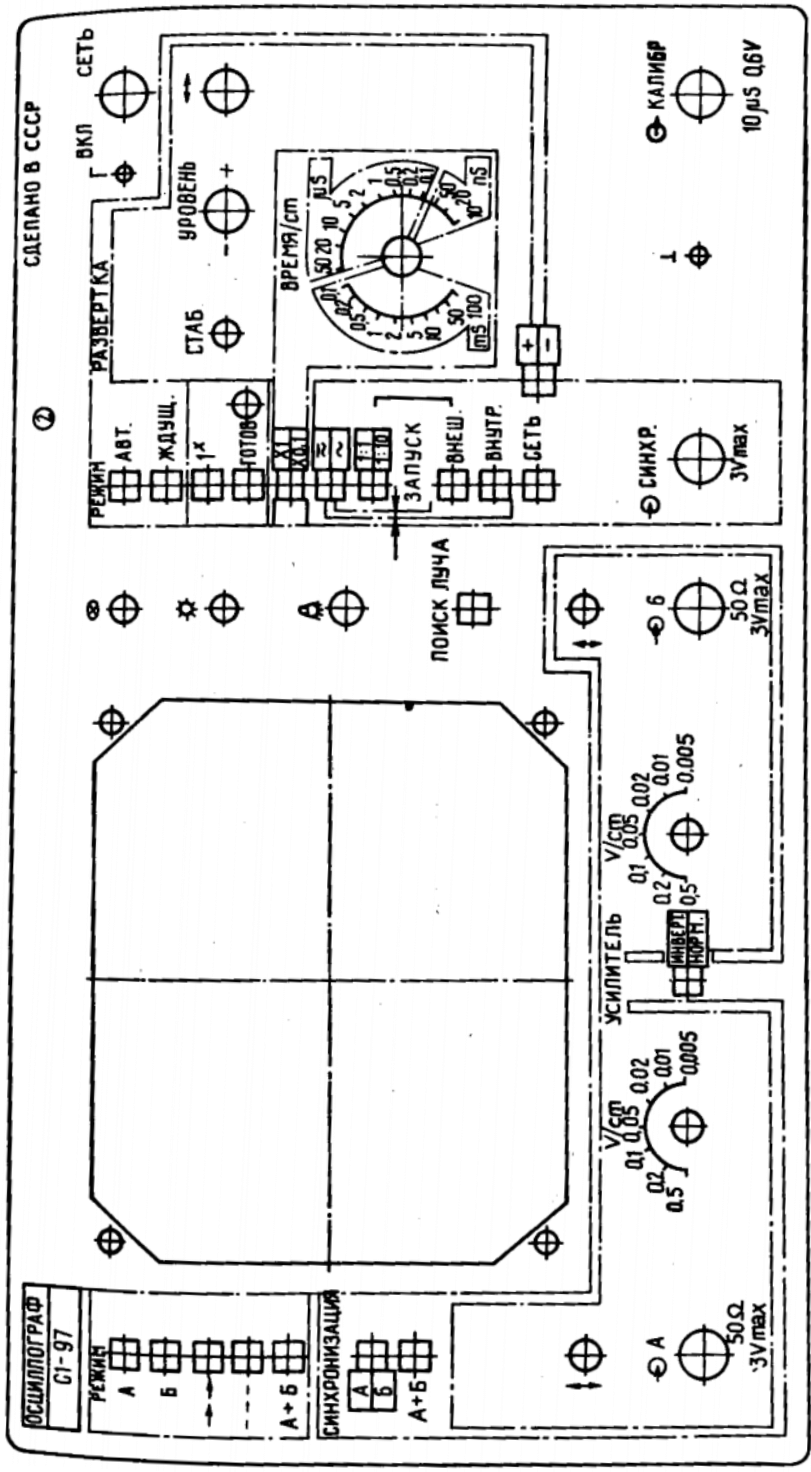



Рисунок 20.7 – Передняя панель осциллографа С1-97

1:1 – 1:10 – кнопка делителя входа синхронизации;
АВТ. – кнопка автоколебательного режима работы развертки;
ЖДУЩ. – кнопка ждущего режима работы развертки;
– 1^X – кнопка включения однократного запуска;
– x1 – x0,1 – кнопка включения растяжки развертки;
–  – кнопка переключения открытого и закрытого вход синхронизации.

ЗАПУСК – переключатель вида запуска синхронизации развертки:

ВНЕШ. – кнопка внешнего запуска;

ВНУТР. – кнопка внутреннего запуска;

СЕТЬ – кнопка запуска от сети.

ВРЕМЯ/cm – переключатель коэффициентов развертки.

СТАБ. – ручка регулирования стабильности изображения.

УРОВЕНЬ – ручка регулирования уровня синхронизации.

ПОИСК ЛУЧА – кнопка выведения изображения луча в рабочую часть экрана ЭЛТ.

6 Порядок выполнения работы

Методика работы осциллографом С1-65

Включение прибора

Вилку шнура включить в сеть. Ручки регуляторов лицевой панели установить в следующие положения:

– регулятор яркости – в крайнее правое положение, регулятор фокусировки – в среднее положение, переключатель вертикального входа – в нулевое положение, переключатель диапазона развертки ВРЕМЯ/ДЕЛ – в положение «0,2 μ S».

Выключатель СЕТЬ переключить в верхнее положение, при этом должна загореться сигнальная лампочка.

Через 1–2 минуты после включения прибора на экране должна появиться яркая горизонтальная линия. Если линия на экране не появилась, то это обычно является следствием слишком большого отклонения луча за пределы экрана. В этом случае ручкой смещения луча по вертикали установить линию в центре экрана.

Переключатель входа осциллографа перевести в положение закрытого входа.

Методика работы с генератором Г4-18А

Подготовка прибора и работе

Перед включением генератора в сеть его следует заземлить. Ручки управления установить в начальные положения:

- ручку УСТАНОВКА УРОВНЯ влево до отказа;
- визир «V» при помощи «μV» (сверху) – в крайнее левое положение;
- выключатели СЕТЬ и ГЕН.ВЧ – в нижние положения.

После всего этого кабель питания может быть включен в сеть.

Работа прибора в режиме непрерывной генерации

Выключатель питания СЕТЬ установить в положение ВКЛ. При этом должна загореться индикаторная лампочка. Тумблер УРОВЕНЬ «К»-М% установить в положение УРОВЕНЬ «К».

Вставить в гнездо «0,1-1 V» штекер с кабелем.

Включить выключатель анодного напряжения генератора ГЕН.ВЧ.

Тумблер УРОВЕНЬ «К»-М% установить в верхнее положение.

Установить переключатель ДИАПАЗОНЫ МГц в положение, соответствующее требуемому диапазону.

Установить нужную частоту в пределах диапазона прибора и более плавно отрегулировать ее верньерной ручкой (ручка с нониусными делениями).

Вращением ручки УСТАНОВКА УРОВНЯ «К» установить стрелку измерителя на риску «К». Визир «μV» установить влево до отказа. Поворотами ручек делителя и визира «μV» совместить нужное деление на лимбе с риской визира. При повороте ручки «μV» стрелка индикатора уровня отклоняется влево, при этом уровень «К» поправлять нельзя.

Установить необходимый множитель декадного деления. Манипулируя ручками аттенюатора, ручной «μV» делителя, можно получить требуемую величину выходного напряжения в пределах от 0,1 мкВ до 0,1 В.

Пример 1. Схема подключена к зажиму «0,1» на выносном делителе. Декадный аттенюатор находится в положении «X10», риска визира «К» совмещена с делением «10» лимба аттенюатора. Тогда напряжение на зажимах выносного делителя составит: $10 \cdot 10 \cdot 0,1 = 10$ мкВ.

Для получения напряжения свыше 0,1 В прибор типа Г4-18А имеет второе выходное гнездо «0,1-1 V», напряжение на которое поступает с декадного аттенюатора с коэффициентом ослабления через 2 дБ. При помощи этого аттенюатора и ручки «μV» можно регулировать величину снимаемого напряжения. Выходное напряжение с гнезда «0,1-1 V» выводится кабелем, придаваемым к прибору, не имеющим на конце делителя. Выходное сопротивление этого выхода около 100 Ом.

Работа генератора в режиме внутренней амплитудной модуляции

При снятом модулирующем напряжении и верхнем (УРОВЕНЬ «К») тумблера УРОВЕНЬ «К»-М% производится установка стрелки измерителя уровня выходного сигнала на контрольную риску (визир « μV » при этом в левом крайнем положении). Затем установить переключатель рода работ в положение «400 Гц» или «1000 Гц», тумблер УРОВЕНЬ «К»-М% – в положение «М%» и непосредственно по стрелочному измерителю установить требуемый процент глубины модуляции в пределах от 10 до 95% с помощью ручки УСТ.М%.

Примечание: при плавной регулировке выходного напряжения (ручка « μV ») необходимо выставлять требуемую глубину модуляции ручкой УСТ.М%.

Измерить глубину модуляции сигналов генератора Г4-18А методом линейной развертки (таблица 20.1).

Таблица 20.1 (20.2) – Результаты измерений и вычислений

Параметр	Значение М по генератору Г4-18А, %							
	10	20	30	40	50	60	70	90
U_{\max} , В								
U_{\min} , В								
M_{CP} , %								
δ_M , %								
Δ_M , %								

Произвести осциллографические измерения глубины модуляции выходного сигнала Г4-18А методом синусоидальной развертки.

Определить средний коэффициент модуляции (формула 20.7):

$$M = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}} \cdot 100. \quad (20.7)$$

Определить абсолютную погрешность измерения по формуле 20.8:

$$\Delta_M = \Delta_U \frac{2}{(U_{\max} + U_{\min})^2} \sqrt{U_{\max}^2 + U_{\min}^2}, \quad (20.8)$$

где Δ_U – абсолютная погрешность измерения амплитудного значения напряжения.

Примечание: из нормативной документации для осциллографа 3-го класса точности в рабочих условиях $\delta_U = 5\%$, тогда

$$\Delta_U = \frac{\delta_U \cdot U_{\text{ИЗМ.}}}{100}. \quad (20.9)$$

Результаты расчетов записать в таблицу 20.1.

Измерить глубину модуляции выходного сигнала методом синусоидальной развертки (метод трапеции). Расчеты аналогичны что и для линейной развертки.

Результаты записать в таблицу 20.2, аналогичную таблице 20.1.

7 Форма отчета о работе

Лабораторная работа № ____

Номер учебной группы _____

Фамилия, инициалы учащегося _____

Дата выполнения работы _____

Тема работы: _____

Цель работы: _____

Оснащение работы: _____

Результат выполнения работы: _____

Таблицы с исходными данными и результатами расчетов в соответствии с вариантом.

Расчеты.

Ответы на контрольные вопросы.

Выводы по работе.

8 Контрольные вопросы и задания

- 1 Какие колебания называются амплитудно-модулированными?
- 2 Чем характеризуется глубина изменения амплитуды?
- 3 Что называется коэффициентом амплитудной модуляции?
- 4 Перечислите методы измерения модуляции.
- 5 Сущность метода осциллограммы.
- 6 Сущность метода трапеции.
- 7 Сущность метода двукратного детектирования.

9 Рекомендуемая литература

Бабер, А.И. Электрические измерения: учеб. пособие / А.И. Бабер, Е.Т. Харевская. - Минск: РИПО, 2019.

Нефедов В.И., Электрорадиоизмерения / В.И. Нефедов, А.С. Сигов, В.К. Битюков, Е.В. Самохина. — М.: Издательство «Форум» Инфра-М, 2018.

Новикова Н.В., Электрические измерения. Лабораторный практикум / Н.В. Новикова, В.О. Афонько. Минск : РИПО, 2018.

Шишмарев, В.Ю. Электрорадиоизмерения: учеб. для средн. проф. образования/ Шишмарев, В.Ю., Шанин В.И. 3-е изд. - М.: Изд-во «Юрайт», 2019.