

Министерство образования Республики Беларусь
Минский радиотехнический институт
Кафедра метрологии и стандартизации

Методические указания
к лабораторной работе Р.5А
АНАЛИЗ СПЕКТРА И ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ
МОДУЛЯЦИИ И НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ СИГНАЛОВ

для студентов радиотехнических
специальностей

Минск 1992

Методические указания к лабораторной работе Р.5А "Анализ спектра и измерение параметров модуляции и нелинейных искажений сигналов" для студентов радиотехнических специальностей содержат цель работы, краткие сведения из теории, описания лабораторных макетов и приборов, используемых при выполнении лабораторной работы, лабораторное задание и рекомендации по его выполнению, а также указания по оформлению отчета, контрольные вопросы и список рекомендуемой литературы. В них рассмотрены методы и приборы для анализа спектра и измерения параметров модуляции и нелинейных искажений сигналов, методики практического измерения этих параметров и использования соответствующих измерительных приборов. Предусматривается оценка точности полученных результатов.

Ил. 13, табл. 10, список лит. - 6 назв.
Составитель: В.Т.Ревин

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Изучение методов анализа спектра и нелинейных искажений сигналов.

1.2. Изучение методов измерения параметров модулированных сигналов.

1.3. Изучение устройства и принципа действия измерительных приборов СК4-58, СК3-43, С6-5, Г4-107 и приобретение практических навыков работы с ними.

2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

В радиотехнике, электронике, технике связи и других областях науки и техники анализ формы, спектра и нелинейных искажений электрических сигналов позволяет получить информацию о качестве радиоприборов, линий связи, технологических процессов и т.д. Для проведения такого анализа и измерения параметров спектра, модуляции и искажений электрических сигналов используются приборы подгруппы С (С2 и С3 - измерители параметров модуляции; С4 - анализаторы спектра; С6 - измерители нелинейных искажений сигналов).

АНАЛИЗ СПЕКТРА СИГНАЛОВ

В основе спектральных методов анализа лежит преобразование Фурье для временной функции, описывающей исследуемый сигнал. Преобразование Фурье позволяет представить сложный процесс множеством гармонических составляющих, описываемых рядом

$$\begin{aligned} U_x(t) &= A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin n\omega t + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \cos n\omega t = \\ &= \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cos(n\omega t + \theta_n), \end{aligned} \quad (1)$$

где $C_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2} = C_n(\omega)$ - амплитудный спектр,

$$\theta_n = \arctg \frac{A_n}{B_n} = \theta_n(\omega) - \text{фазовый спектр сигнала.}$$

Однако в большинстве случаев достаточно иметь информацию только об амплитуде и частоте составляющих спектра сигналов, а фазовый спектр не представляет интереса.

Из известных методов анализа спектра сигналов (метод фильтрации, дисперсионно-временной и рециркуляционный методы) в серийно

выпускаемых промышленностью анализаторах спектра чаще всего реализуется метод фильтрации. Сущность метода заключается в применении для выделения и анализа составляющих спектра селективных фильтров с узкой полосой пропускания. Наибольшее распространение получили фильтровые анализаторы спектра последовательного действия, позволяющие исследовать периодические и другие виды сигналов, спектры которых практически не изменяются во время измерения. Упрощенная структурная схема такого анализатора представлена на рис. I.



Рис. I

Генератор развертки вырабатывает пилообразное напряжение, которое воздействует на горизонтально отклоняющие пластины ЭЛТ вызывая отклонение луча по оси X. Кроме того, это же напряжение поступает на управляющий перестройкой частоты элемент частотно-модулированного генератора (ЧМ генератора), вызывая тем самым линейное изменение во времени частоты его колебаний. Постоянное по амплитуде напряжение ЧМ генератора вместе с исследуемым сигналом подается на преобразователь частоты, выходной сигнал которого будет содержать составляющую разностной частоты исследуемого сигнала и ЧМ генератора с амплитудой, пропорциональной спектральной составляющей исследуемого сигнала. Эта составляющая выделяется усилителем промежуточной частоты, содержащим узкополосный полосовой фильтр. При перестройке частоты ЧМ генератора спектральные составляющие исследуемого сигнала будут последовательно преобразовываться на фиксированную промежуточную частоту и выделяться полосовым фильтром с последующим квадратичным детектированием и подачей после усиления на вертикально отклоняющие пластины ЭЛТ.

Для отсчета частот спектральных составляющих необходимо знать масштаб по оси X, определяемый как приращение частоты ЧМ генератора, отнесенное к смещению луча по оси абсцисс. В анализаторах

спектра ось частот калибруется с помощью частотных меток или с помощью маркера. В простейшем случае для создания метки маркера используется генератор гармонического напряжения, частота которого устанавливается оператором и считывается со шкалы генератора. Это напряжение поступает на вход анализатора и вызывает выброс на экране ЭЛТ - частотную метку. Совмещая метку с соответствующими спектральными составляющими, можно измерять частоты последних.

Амплитуду спектральных составляющих можно измерять по масштабной сетке, помещенной перед экраном анализатора или по шкале аттенуатора анализатора спектра. Методика измерения амплитуды подробно рассмотрена в литературе /1-4/.

ИЗМЕРЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ

Под нелинейными искажениями понимается любое изменение формы сигнала, обусловленное нелинейностью тракта передачи. Номенклатура параметров, применяемых для количественной оценки нелинейных искажений, достаточно обширна. Однако на практике наиболее часто для оценки нелинейных искажений сигналов используют коэффициент гармоник (K_r), который характеризует отношение среднеквадратического значения напряжения возникающих гармонических составляющих к среднеквадратическому значению напряжения основной частоты (2).

Значение K_r может изменяться в пределах от нуля до бесконечности, что с практической точки зрения не удобно. Поэтому на практике для оценки нелинейных искажений пользуются видоизмененным коэффициентом гармоник K_r' , представляющим собой отношение среднеквадратического значения напряжения высших гармонических составляющих к среднеквадратическому значению искаженного сигнала (3)

$$K_r = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_l^2 + \dots + U_n^2}}{U_1} \quad (2)$$

$$K_r' = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_l^2 + \dots + U_n^2}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_l^2 + \dots + U_n^2}} \quad (3)$$

Значения K_r' изменяются уже в диапазоне от 0 до 1.

Практически во всех серийно выпускаемых измерителях нелинейных искажений сигналов реализуется так называемый метод подавля-

ния основной частоты. Он заключается в раздельном измерении среднеквадратического значения напряжения искаженного сигнала и среднеквадратического значения напряжения высших гармоник (без первой) этого же сигнала, т.е. реализуется измерение K_r' . Упрощенная схема измерителя, реализующего этот метод, приведена на рис.2.

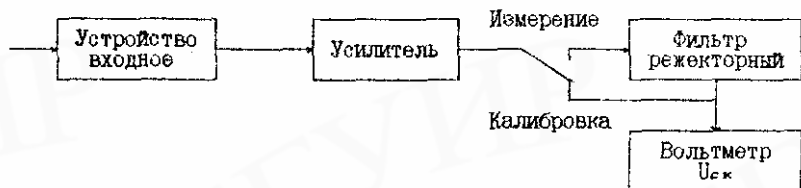


Рис. 2

Измерению K_r предшествует режим калибровки измерителя, в результате которой показания вольтметра, соответствующие среднеквадратическому значению искаженного сигнала, устанавливаются равными условной единице (100%). Тогда при подавлении сигнала основной частоты с помощью режекторного (заграждающего) фильтра измеренное среднеквадратическое значение высших гармоник будет пропорциональным K_r .

Основными источниками погрешностей измерения коэффициента гармоник являются характеристики вольтметра, а также неточность настройки режекторного фильтра на частоту основной гармоники и компенсации ослабления высших гармоник. Более подробно вопросы измерения нелинейных искажений сигналов освещены в литературе [1-4].

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДУЛЯЦИИ

Амплитудно-модулированный сигнал за период модуляции T имеет максимальное U_{max} и минимальное U_{min} значения амплитуды колебания (соответственно есть максимальное и минимальное значения огибающей сигнала). Величины M_a и M_v соответственно равны

$$M_a = \frac{(U_{max} - U_m)}{U_m} 100 \% = \frac{\Delta U_{max}}{U_m} 100 \%, \quad (4)$$

$$M_v = \frac{(U_m - U_{min})}{U} 100 \% = \frac{\Delta U_{min}}{U_m} 100 \%, \quad (5)$$

где U_m - среднее за период T значение амплитуды модулирующего сигнала и называются коэффициентом модуляции "ВВЕРХ" (M_v) и коэффициентом модуляции "ВНИЗ" (M_n). В частном случае модуляции гармоническим сигналом

$$M_v = M_n = M_{ср}. \quad (6)$$

При частотной модуляции изменению подвергается несущая частота сигнала. В случае модуляции гармоническим сигналом имеем

$$f(t) = f_0 + \Delta f \sin \Omega t, \quad (7)$$

где Δf - максимальное отклонение частоты модулированного сигнала от среднего значения f_0 , соответствующее амплитуде модулирующего сигнала U .

Переходя к круговой частоте, получим

$$\omega(t) = \omega_0 + \Delta \omega \sin \Omega t. \quad (8)$$

Величина $\Delta f = \Delta \omega / 2\pi$ называется девиацией частоты. Отношение $\beta = \Delta \omega / \Omega = \Delta f / F$ называется индексом частотной модуляции.

По своей структуре (рис.3) измеритель модуляции представляет собой измерительный приемник с преобразованием несущей частоты входного сигнала в промежуточную. В основе работы таких измерителей лежит осуществляемый на промежуточной частоте метод демодуляции сигнала, в процессе которой выделяется сигнал, соответствующий закону модуляции. Демодуляция (в зависимости от вида сигнала) производится с помощью амплитудных или частотных (фазовых) детекторов.

Основными требованиями к детектору, определяемыми задачей качественной демодуляции сигнала, являются линейность его характеристики и малый уровень шумов.

Демодулятор АМ сигнала, кроме основной функции, выполняет обычно еще функцию первичного преобразователя в системе автоматической стабилизации среднего уровня несущего сигнала U_m , что значительно упрощает процесс измерения коэффициента модуляции.

Действительно, в процессе детектирования модулированного сигнала двумя детекторами (входящими в состав демодулятора) выделяются постоянная U_m и переменная U_{min} или U_{max} составляющие огибающей. Постоянная составляющая используется для стабилизации уровня

несущего сигнала, а переменная составляющая (огibaющая) подвергается дальнейшей обработке, которая заключается в ее фильтрации и измерении пикового значения положительной и отрицательной полуволи огibaющей.

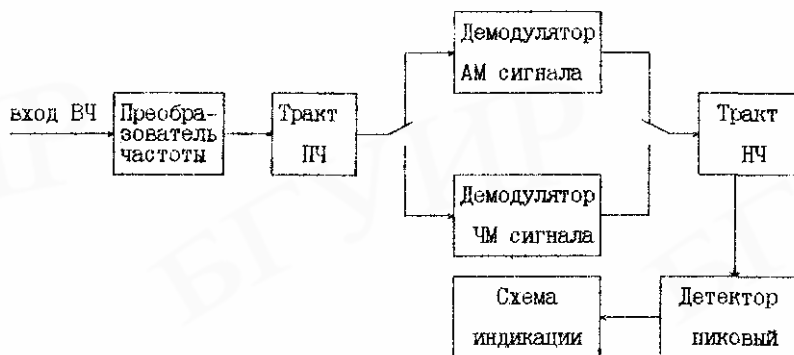


Рис. 3

Поскольку в процессе демодуляции производилась автоматическая стабилизация уровня несущего сигнала, измеренное положительное и отрицательное пиковые значения сигнала огibaющей представляются с помощью масштабного преобразователя непосредственно в единицах коэффициентов модуляции M_+ , M_- или $M_{ср}$.

В качестве частотных детекторов наиболее часто используются импульсные детекторы, отличающиеся высокой линейностью преобразования. В основе работы детектора лежит принцип преобразования ЧМ сигнала в последовательность видеоимпульсов со строго заданными амплитудой и длительностью, частота следования которых соответствует закону модуляции. Таким образом, ЧМ сигнал преобразуется в сигнал с частотно-импульсной модуляцией. Из полученного импульсного сигнала после амплитудного детектирования выделяются постоянная и переменная составляющие. Первая из них используется в качестве сигнала обратной связи в системе настройки на промежуточную частоту (ПЧ). Переменная составляющая (огibaющая) фильтруется и поступает в тракт НЧ для обработки и определения девиации частоты, которая полностью аналогична случаю измерения коэффициента амплитудной модуляции.

3. ПРИБОРЫ, ИСПОЛЪЗУЕМЫЕ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ

- 3.1. Анализатор спектра СК4-58.
- 3.2. Измеритель нелинейных искажений С6-5.
- 3.3. Измеритель модуляции СКЗ-43.
- 3.4. Генератор сигналов высокочастотный Г4-107.
- 3.5. Осциллограф электронный С1-68.

4. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторные макеты М1 и М2 представляют собой источники исследуемых сигналов, используемых при измерении коэффициента гармоник и параметров спектра. В состав макетов входят один задающий генератор импульсных сигналов прямоугольной формы с изменяющейся частотой повторения импульсов (для наблюдения спектрограмм и измерения параметров спектра сигналов) и набор полосовых фильтров различной добротности для выделения первой гармоники импульсных сигналов. Изменение частоты повторения и длительности импульсных сигналов, а также полосы пропускания полосовых фильтров осуществляется с помощью переключателя "ВАРИАНТ". Упрощенная схема макетов М1 и М2 представлена на рис. 4, а вид их лицевых панелей - на рис. 5.

5. ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

5.1. По рекомендуемой литературе детально изучить методы измерения параметров амплитудно- и частотно-модулированных сигналов, нелинейных искажений и анализа спектра сигналов.

5.2. По приложениям настоящих методических указаний изучить устройство, принцип действия и работу приборов СК4-58, СКЗ-43, С6-5 и Г4-107, применяемых при выполнении лабораторной работы, а также методику проведения измерений с его помощью и оценки погрешностей полученных результатов.

5.3. Сделать заготовку отчета (одну на бригаду) по лабораторной работе в соответствии с требованиями настоящих методических указаний (раздел 8).

5.4. Ответить на контрольные вопросы.

5.5. Решить задачу. Условие задачи: Гармонический сигнал частотой f МГц и амплитудой U_m был промодулирован синусоидальным сигналом, значения частоты F и амплитуды U которого приведены в табл. I. Определить коэффициент амплитудной модуляции, девиацию частоты и индекс частотной модуляции, если известно, что частота выходного сигнала частотного модулятора определяется следующей функциональ-

Номер точки

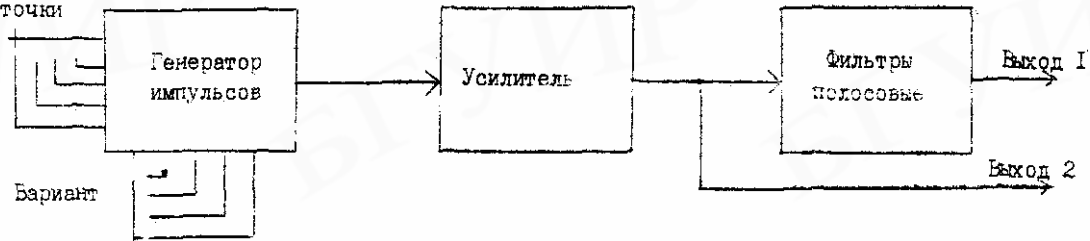


Рис. 4

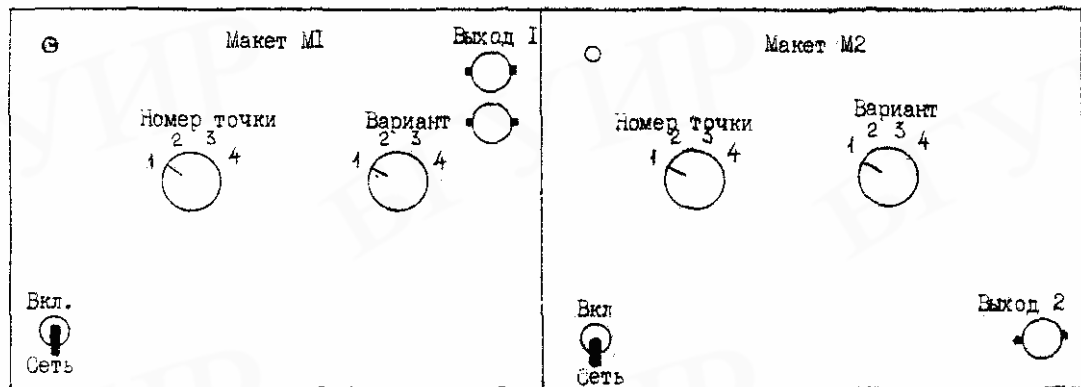


Рис. 5

ной зависимостью $F_{\text{мод}} = \pm(10 U + 0,01 F)$ кГц, где U - амплитуда модулирующего сигнала, В; F - частота модулирующего сигнала, кГц. Значения величины U_m для каждого варианта приведены в табл.1.

Таблица 1

Параметр	Вариант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_m, \text{ В}$	9	8	7	6	5	4	3	2	1	4
$F, \text{ кГц}$	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
$U, \text{ В}$	0,9	0,4	0,21	0,54	0,5	0,1	0,06	0,2	0,1	0,8

6. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

- 6.1. Провести анализ спектра сигналов и измерение их спектральных характеристик.
- 6.2. Провести наблюдение спектра сигналов на выходе исследуемых устройств и измерить их нелинейные искажения.
- 6.3. Провести измерение параметров амплитудно- и частотно-модулированных сигналов.

7. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

7.1. Выполнить измерения в соответствии с п.6.1 лабораторного задания. Измерения проводить в следующей последовательности.

7.1.1. Подготовить к проведению измерений анализатор спектра СК4-58 согласно п.4 приложения I настоящих методических указаний.

7.1.2. Переключателем "ВАРИАНТ" макета М1 установить номер варианта в соответствии с номером бригады согласно табл.2.

7.1.3. Руководствуясь методикой, изложенной в п. 4 приложения I настоящих методических указаний, получить на экране ЭЛТ анализатора спектра СК4-58 спектрограмму исследуемого сигнала. Осциллограмму исследуемого сигнала получить на экране осциллографа С1-78.

7.1.4. Руководствуясь методикой, изложенной в п.4.2 приложения I настоящих методических указаний, провести измерение частоты основной гармоники f_0 и разности частот ($f_+ - f_-$) между первыми боковыми спектральными составляющими анализируемых сигналов, номера которых указаны в табл.3 и выбираются переключателем "НОМЕР

ТОЧКИ" макета М1. Результаты измерений занести в табл. 4. Вид исследуемых сигналов и их спектрограммы привести в отчете по лабораторной работе.

ПРИМЕЧАНИЕ. Допускается измерение ширины основного лепестка спектрограммы вместо измерения разности верхней f_+ и нижней f_- частот спектра.

Таблица 2

Номер бригады	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номер варианта	1	2	3	4	4	3	2	1	2	4

Таблица 3

Параметр	Значение параметра			
	1	2	3	4
Частота основной гармоники, кГц	240	200	150	100

7.1.5. Провести измерение относительных уровней отдельных спектральных составляющих по отношению к уровню основной гармоники анализируемого сигнала. Для этого: регулировкой ослабления плавного аттенкуатора "НОМИНАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ ЛОГ" установить амплитуду основной гармоники анализируемого сигнала, равную 8 делениям масштабной сетки ЗЛГ;

регулировкой ослабления ступенчатого "ОСЛАБЛЕНИЕ дВ" и плавного "НОМИНАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ ЛОГ" аттенкуаторов добиться увеличения амплитуды выбранной спектральной составляющей до 8 делений масштабной сетки ЗЛГ.

Показания шкалы аттенкуаторов в первом и втором случае занести в табл. 4.

Определить относительный уровень спектральных составляющих анализируемого сигнала по показаниям плавного и ступенчатого аттенкуаторов.

ПРИМЕЧАНИЕ. Допускается измерение уровней первых боковых лепестков спектрограммы по отношению к основному лепестку вместо измерения уровней отдельных спектральных составляющих.

Параметр	Номер сигнала (положение переключателя)				Погрешность измерения			
	1	2	3	4	1	2	3	4
f_0 , кГц								
f_H , кГц								
f_B , кГц								
$f_B - f_H$, кГц								
Показания плавного аттенюатора, дБ								
Показания ступенчатого аттенюатора, дБ								
U_B , дБ								
U_H , дБ								

f_0 - частота основной гармоники спектра сигнала;

($f_B - f_H$) - ширина спектра (разность частот между первыми боковыми составляющими спектра сигнала);

U_B - уровень верхней боковой составляющей по отношению к основной;

U_H - уровень нижней боковой составляющей по отношению к основной;

7.1.6. Пользуясь техническими характеристиками анализатора спектра СК4-58, определить инструментальные погрешности измерения амплитудных и частотных параметров спектров сигналов. Результаты расчетов занести в табл. 4.

7.2. Выполнить измерения в соответствии с п. 6.2 лабораторного задания. Измерения проводить в следующей последовательности.

7.2.1. Подготовить к проведению измерений прибор С6-5 согласно п. 4 приложения 2 настоящих методических указаний.

7.2.2. Переключателем "ВАРИАНТ" макета М2 установить номер варианта в соответствии с номером бригады согласно табл. 2.

7.2.3. Руководствуясь методикой, изложенной в п. 5 приложения 2 настоящих методических указаний, измерить коэффициент нелинейных искажений сигналов для четырех положений переключателя "НОМЕР ТОЧ-

КИ" макета М2. Результаты измерений занести в табл. 5.

7.2.4. Пользуясь техническими характеристиками прибора С6-5, определить инструментальные погрешности измерения коэффициентов нелинейных искажений сигналов. Результаты расчетов занести в табл. 5.

7.3. Выполнить измерения в соответствии с п. 6.3 лабораторного задания. Измерения проводить в следующей последовательности.

7.3.1. Подготовить к проведению измерений измеритель модуляции СКЗ-43 и высокочастотный генератор сигналов Г4-107 согласно п. 4 приложений 3, 4 настоящих методических указаний.

7.3.2. Генератор Г4-107 установить в режим внутренней амплитудной модуляции, а прибор СКЗ-43 - в режим измерения амплитудной модуляции. Установить органы управления генератора Г4-107 в положения, соответствующие первой частотной точке (табл. 6).

Таблица 5

Параметр	Номер сигнала (положение переключателя) "Номер точки"			
	1	2	3	4
K_1' , %				
K_r' , дБ				
Погрешность измерения				

7.3.3. Руководствуясь методикой, изложенной в п. 5 приложения 3 настоящих методических указаний, измерить коэффициент амплитудной модуляции исследуемого сигнала.

7.3.4. Перевести генератор Г4-107 в режим внутренней частотной модуляции, а прибор СКЗ-43 - в режим измерения девиации частоты. Установить органы управления генератора Г4-107 в положения, соответствующие первой частотной точке (табл. 6).

7.3.5. Руководствуясь методикой п. 5 приложения 3 настоящих методических указаний, измерить девиацию частоты частотно-модулированного сигнала.

7.3.6. Повторить измерения коэффициента амплитудной модуляции и девиации частоты для остальных частотных точек, указанных в табл. 6. Результаты измерений занести в табл. 7.

Таблица 6

n варианта (n - номер бригады)										Частота по шкале генерато- ра Г4-107 МГц	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Положение переключателя "ГЛУБИНА МОД %" генератора Г4-107 при работе в режиме	AM	10	20	30	10	20	10	50	60	10	$110 + 2n$
		30	40	50	40	50	20	60	70	20	$82 + 1n$
		50	50	70	70	80	30	70	80	40	$160 + 4n$
		70	80	90	80	90	40	80	90	60	$50 + 3n$
	ЧМ	20	30	40	50	20	30	40	50	20	$120 + 5n$
		60	70	80	90	40	70	80	90	60	$67 + 7n$
		10	20	30	10	20	30	10	20	30	$170 + n$
		60	70	80	90	60	70	80	90	60	$60 + 3n$

Таблица 7

Параметр	Положение переключателя "Глубина М.%" Г4-107								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
М _н , %									
М _в , %									
Погрешность градуировки переключателя "Глубина М.%"									
Погрешность измерения КАМ									
$\Delta f+$, кГц									
$\Delta f-$, кГц									
β									
Погрешность измерения де- виации частоты									
Погрешность измерения β									

7.3.7. На основании результатов измерений девиации частоты рассчитать значение индекса частотной модуляции. Результаты расчетов занести в табл. 7.

7.3.8. Пользуясь техническими характеристиками измерителя модуляции СКЗ-43, определить инструментальные погрешности измерения коэффициентов амплитудной модуляции и девиации частоты. Рассчитать, пользуясь выражением (9), погрешность измерения индекса частотной модуляции как погрешность косвенного измерения. Результаты расчетов занести в табл. 7.

$$\Delta_m = \sqrt{\left[\frac{\partial \beta}{\partial (\Delta f)}\right]^2 \Delta(\Delta f)^2 + \left[\frac{\partial \beta}{\partial F}\right]^2 \Delta F^2}, \quad (9)$$

где $\Delta(\Delta f)$ - погрешность измерения девиации частоты, ΔF - погрешность установки частоты модулируемого сигнала по шкале генератора Г4-107.

7.3.8. Используя формулы для определения абсолютной и относительной погрешностей измерения, определить погрешность градуировки шкалы переключателя глубины амплитудной модуляции генератора Г4-107, считая показания прибора СКЗ-43 действительными значениями коэффициента амплитудной модуляции. Результаты расчетов занести в табл. 7.

8. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе оформляется на стандартных листах бумаги. Структурные схемы приборов, использованных при выполнении работы, вычерчиваются с необходимыми обозначениями и пояснениями. Результаты измерений и вычислений сводятся в таблицы, которые должны соответствовать приведенным в методических указаниях. Текст отчета должен содержать условие и ход решения задачи, приведенной в п. 5.5 настоящих методических указаний, а также всю информацию о проделанной работе и выводы по результатам выполнения каждого пункта лабораторного задания. Сведения об используемых измерительных приборах должны быть оформлены по форме, приведенной в табл. 8.

Таблица 8

Наименование прибора	Тип прибора	Заводской номер	Основные технические характеристики

9. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

I. Чем обусловлена необходимость исследования спектра сигнала-

лов? Дайте определение термину "спектрограмма".

2. Какие существуют методы и способы анализа спектра сигналов? Перечислите их и дайте краткую сравнительную характеристику.

3. Чем достигается автоматизация анализа спектра сигналов?

4. Какой метод анализа спектра сигналов положен в основу работы анализатора спектра СК4-58? В чем заключается сущность данного метода?

5. Каким образом осуществляется измерение амплитудных и частотных параметров спектра сигналов в приборе СК4-58?

6. Назовите основные источники погрешностей измерения амплитудных и частотных параметров спектра. Предложите пути их уменьшения или полного исключения.

7. Каково назначение генераторов ВЧ диапазона, какими основными параметрами характеризуются их выходные сигналы?

8. Коэффициент амплитудной модуляции (КАМ) амплитудно-модулированных сигналов определяется как

$$M = \frac{U_{\max} + U_{\min}}{U_{\max} - U_{\min}}, \quad M = \frac{\Delta U_{\max}}{U_{\max} - U_{\min}}, \quad M = \frac{\Delta U_{\max}}{U_m}, \quad M = \frac{U_{\min}}{\Delta U_{\min}}.$$

Укажите правильный ответ.

9. Перечислите методы измерения коэффициента амплитудной модуляции. Дайте их определение.

10. Какой метод измерения коэффициента амплитудной модуляции положен в основу работы прибора СКЗ-43?

11. Укажите основные источники погрешностей измерения коэффициента амплитудной модуляции. Укажите пути их уменьшения.

12. Девиация частоты частотно-модулированных сигналов определяется как:

минимальное значение частоты модулирующего сигнала;

максимальное значение частоты модулирующего сигнала;

максимальное отклонение частоты модулированного сигнала от среднего значения частоты;

минимальное отклонение частоты модулированного сигнала от максимального значения частоты модулирующего сигнала.

Укажите правильный ответ.

13. Индекс частотной модуляции определяется как: а) отношение частоты модулирующего сигнала к частоте модулируемого сигнала; б) отношение частоты модулируемого сигнала к частоте модулирующего сигнала; в) отношение максимального значения частоты к минимально-

му значению частоты модулируемого сигнала; г) отношение девиации частоты к частоте модулируемого сигнала.

Укажите правильный ответ.

14. Какие методы измерения девиации частоты используются в приборах для измерения параметров модулированных сигналов?

15. Какой метод измерения девиации частоты применен в приборе СКЗ-43? В чем сущность данного метода?

16. Использование каких методов измерения коэффициента амплитудной модуляции и девиации частоты дало возможность объединить измерение указанных параметров в одном измерительном приборе СКЗ-43?

17. Укажите основные источники возникновения погрешности измерения девиации частоты. Оцените результирующую погрешность измерения девиации частоты прибором СКЗ-43.

18. Коэффициент гармоник, используемый для оценки нелинейных искажений сигналов, определяется как: а) отношение среднего значения искаженного сигнала к среднему значению первой гармоники; б) отношение среднего квадратического значения высших гармоник к среднему квадратическому значению первой гармоники; в) отношение пикового значения высших гармоник к пиковому значению всего сигнала; г) отношение среднего квадратического значения искаженного сигнала к среднему квадратическому значению высших гармоник.

Укажите правильный ответ.

19. Почему при измерении нелинейных искажений сигналов вместо измерения коэффициента K_r переходят к измерению K_r' ?

20. Перечислите методы измерения коэффициента гармоник. Охарактеризуйте каждый из них.

21. Какой метод измерения коэффициента гармоник положен в основу работы прибора С6-5?

22. Каковы причины возникновения погрешностей измерения коэффициента гармоник в приборе С6-5?

10. ЛИТЕРАТУРА

1. Елизаров А.С. Электрорадиоизмерения. - Мн.: Выс. шк., 1986. - 320 с.

2. Метрология, стандартизация и измерения в технике связи. / Под ред. Б.П.Хромого. - М.: Радио и связь, 1986. - 424 с.

3. Мирский Г.П. Радиозлектронные измерения. - М.: Энергия, 1985. - 186 с.

4. Хромой Б.П., Моисеев Ю.Г. Электрорадиоизмерения. - М.: Радио и связь, 1985. - 288 с.

5. Измерения в электронике: Справочник / Под ред. В.А.Кузнецова. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 512 с.

6. Технические описания и инструкции по эксплуатации измерительных приборов СК4-58, СКЗ-43, С6-5, Г4-107 и С1-72.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

АНАЛИЗАТОР СПЕКТРА СК4-58

1. НАЗНАЧЕНИЕ

1.1. Анализатор спектра СК4-58 предназначен для измерения частоты и уровней периодических сигналов.

1.2. Основные области применения:

измерение параметров спектра периодических непрерывных колебаний сложной формы (АМ, ЧМ, ФМ), определение искажений модуляции по спектру, измерение паразитных и побочных спектральных составляющих, измерение ширины занимаемой полосы и внеполосных спектров, измерение уровней и частот составляющих сигналов и частотных интервалов между ними;

измерение нелинейных искажений четырехполосников по уровню гармоник и интермодуляционных искажений третьего порядка, измерение коэффициента передачи четырехполосников в диапазоне частот;

панорамное наблюдение спектра и амплитудно-частотных характеристик четырехполосников.

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

2.1. Диапазон рабочих частот анализатора спектра от 0,4 до 600 кГц перекрывается тремя поддиапазонами: 0,4 - 200 кГц; 200 - 400 кГц; 400 - 600 кГц.

2.2. Перестройка по частоте обеспечивается в двух режимах работы:

в режиме ручной перестройки частоты с помощью ручек "ЧАСТОТА ГРУБО, ПЛАВНО" (переключатель "ОБЗОР кГц" в положении 0);

в режиме автоматической перестройки по частоте с номинальной полосой обзора, регулируемой дискретно с шагом 1, 2, 5 от 200 Гц до 200 кГц (переключатель "ОБЗОР кГц" в положении "НА ДЕЛЕН.").

2.3. Конечное значение амплитудных шкал индикатора устанавливается ступенчато через 10 дБ в следующих пределах:

линейная шкала от 80 нВ до 80 мВ;

логарифмическая шкала от минус 80 дБ до плюс 10 дБ.

2.4. Погрешность измерения частоты входного сигнала в диапазоне частот 0,4 - 600 кГц не превышает величины

$$\pm \left(10^{-4} \cdot F + f + \frac{1}{T} \right),$$

где F - измеряемая частота, Гц; f - полоса пропускания, Гц, устанавливаемая переключателем "ПОЛОСА кГц"; T - время счета, с (определяется положением тумблера "ВРЕМЯ СЧЕТА, S" и составляет 1 или 0,1 с).

2.5. Составляющие погрешности измерения уровня входного сигнала не превышают значений, указанных в табл. 8.

Таблица 8

Составляющие погрешности	Значение погрешности
Погрешность относительного ослабления аттенкуатора "ОСЛАБЛЕНИЕ дБ", дБ	$\pm 0,25$ (3%)
Погрешность относительного ослабления аттенкуатора "НОМИНАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ", % для первых шести положений для седьмого и восьмого положения	± 4 ± 6
Погрешность относительного ослабления плавного аттенкуатора "НОМИНАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ" на оцифрованных отметках, %	± 12
Приведенная погрешность шкалы индикатора в линейном масштабе, %	± 4
Погрешность логарифмической шкалы в диапазоне амплитуд от 0 до минус 70 дБ, дБ	± 2

2.6. Полоса пропускания на уровне 3 дБ принимает значения 0,1; 0,3; 1,0; 3,0 кГц.

Погрешность номинальных значений полос пропускания 0,1; 0,3; 1,0 кГц не более $\pm 30\%$ и не более $\pm 40\%$ для полосы пропускания 3 кГц.

2.7. Анализатор обеспечивает три вида развертки:

2.7.1. Внутренняя развертка со следующими способами запуска:

"одинач." - одиночный запуск;

"авт" - автоматический запуск;

"сеть" - автоматический запуск с внутренней синхронизацией от сети.

2.7.2. Ручная развертка.

2.7.3. Внешняя развертка напряжением от 0 до 8 В обеспечивается подачей напряжения на разъем "РАЗВЕРТКА" индикатора.

2.8. Входное сопротивление 50 ± 5 Ом, 600 ± 60 Ом, 100 ± 10 кОм. Входная емкость не более 100 пФ.

2.9. В анализаторе обеспечиваются три режима индикации изображения на экране ЭЛТ, устанавливаемых переключателем "ПАМЯТЬ":

"ОТКЛ." - режим с отключением памяти. Индикатор работает в осциллографическом режиме (без запоминания);

"ПЕРИОД" - режим с периодической записью и стиранием изображения. Запись изображения происходит за время прямого хода развертки, стирание - во время обратного хода;

"ДЛИТ" - режим с длительной памятью. На экране непрерывно записывается и сохраняется изображение. Время хранения памяти не менее 100 с;

При нажатии кнопки "X" производится стирание записанного изображения.

2.10. Диаметр луча в пределах масштабной сетки экрана ЭЛТ при пониженной яркости свечения не более 1 мм.

2.11. Анализатор сохраняет технические характеристики после истечения времени установления рабочего режима, равного 1 ч.

3. ПРИНЦИП РАБОТЫ АНАЛИЗАТОРА

3.1. В анализаторе спектра СК4-58 реализуется метод фильтрации последовательного действия с двухкратным преобразованием частоты исследуемого сигнала.

Структурная схема, поясняющая принцип действия анализатора, приведена на рис. 6.

Входной сигнал $F_{\text{вх}}$ после предварительного усиления в блоке низкой частоты с помощью опорного кварцевого гетеродина преобразуется в преобразователе частоты в сигнал первой промежуточной частоты. Преобразование частоты "вверх" на первую промежуточную частоту позволяет избежать множества комбинационных составляющих, сопровождающих преобразование.

Второй гетеродин работает в блоке промежуточной частоты на частоте 47 МГц и может перестраиваться по частоте в пределах ± 100 кГц напряжением управления $E_{\text{уп}}$, что позволяет перестраивать ана-

лизатор спектра по частоте внутри поддиапазона. Выходной сигнал F_2 участвует в образовании следящего сигнала.

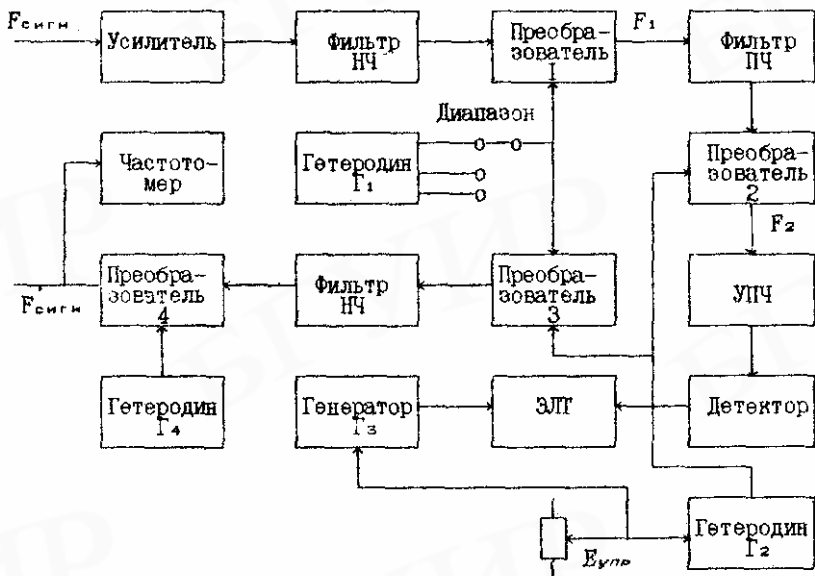


Рис. 6

Для образования следящего сигнала сигнал одного из опорных кварцевых генераторов G_1 с помощью второго гетеродина G_2 частоты $47 \pm 0,1$ МГц преобразуется в преобразователе 3 в сигнал частоты 3 - 3,6 МГц.

Кварцевый генератор G_4 работает на частоте 3 МГц, равной центральной частоте усилителя промежуточной частоты (УПЧ) блока ПЧ.

В преобразователе 4 в результате взаимодействия сигнала генератора G_4 и сигнала гетеродина частоты 3 - 3,6 МГц образуется сигнал, частота которого равна частоте настройки анализатора спектра по входу 0,4 - 600 кГц. После фильтрации и усиления следящий сигнал поступает на выходной разъем 0,4 - 600 кГц и блок измерения частоты. Сигнал следящего генератора используется для исследования амплитудно-частотных характеристик различных четырехполосников в динамическом диапазоне до 140 дБ. Он может быть использован и как сигнал генератора стандартных сигналов с калиброванным уровнем и частотой настройки.

В результате перестройки второго гетеродина G_2 сигналы первой промежуточной частоты в пределах включенного поддиапазона преобразуются в преобразователе 2 в сигнал второй промежуточной частоты. Для получения узких полос пропускания в анализаторе применено последующее преобразование на достаточно низкую вторую промежуточную частоту, равную 3 МГц. На второй промежуточной частоте осуществляется основное усиление сигнала и формирование полос пропускания.

Продетектированный входной сигнал и напряжение управления вторым гетеродином поступают на индикаторный блок. Напряжение управления вторым гетеродином G_2 с выхода генератора развертки G_3 прикладывается к пластинам горизонтального отклонения луча ЭЛТ. Изображение на экране ЭЛТ представляет собой зависимость амплитуды спектральных составляющих исследуемого сигнала от частоты.

Внешний вид прибора и расположение основных органов управления на передних панелях его блоков приведены на рис. 7.

4. ПОРЯДОК РАБОТЫ

4.1. Подготовка к проведению измерений

Установить органы управления и контроля в следующие положения:

Переключатель ОСЛАБЛЕНИЕ dB	50
Переключатель ОБЗОР kHz	НА ДЕЛЕН 5
Переключатель ПОЛЮСА kHz	3
Переключатель УРОВЕНЬ dBv	0
Ручка УРОВЕНЬ dBv плавно	КАЛИБР.
Тумблер ВНЕШН. ВНУТР.	ВНУТР
Ручка МЕТКА	крайнее правое
Тумблер ВРЕМЯ СЧЕТА, с	0.1
Переключатель входного сопротивления	100 кОм
Кнопки ПАМЯТЬ	ОТКЛ
Переключатель РАЗВЕРТКА СКОРОСТЬ	10 мс/ДЕЛ
Тумблер масштаба ЛИНЕЙН/ЛОГ	ЛИНЕЙН
Ручка НОМИНАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ	0 dB
Видеофильтр	ВЫКЛ.
Ручка ГАШЕНИЕ ЛИНИИ РАЗВЕРТКИ	крайнее левое положение
Переключатель ВИД	ВНУТР.
Переключатель ЗАПУСК	АВТ.

Остальные органы управления могут находиться в произвольном

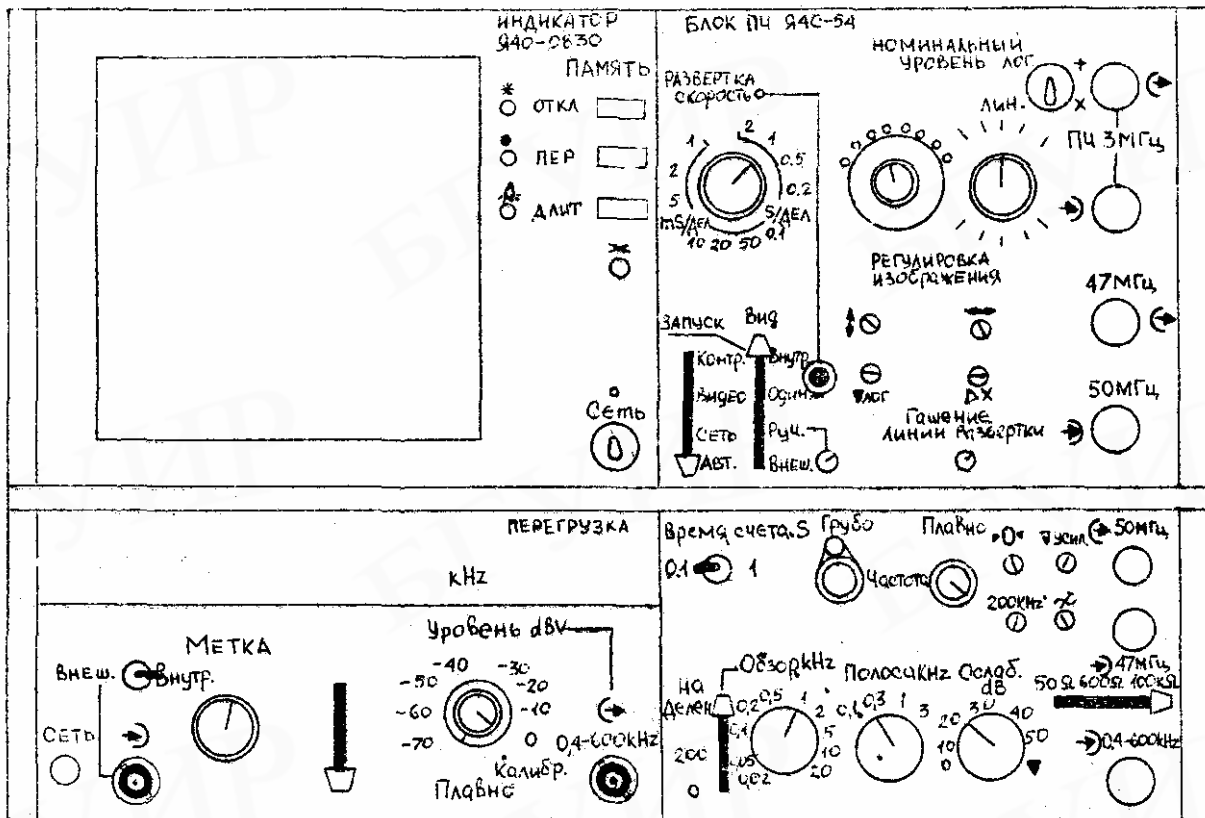


Рис. 7

положении.

4.2. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

4.2.1. Переключатель "ДИАПАЗОН kHz" установить в положение, соответствующее частоте основной гармоники анализируемого сигнала (табл.3). Вращением ручки "МЕТКА" яркостную метку на экране ЭЛТ установить в центр экрана.

4.2.2. Вращением ручки "ЧАСТОТА ГРУБО" установить на цифровом табло заданное значение частоты основной гармоники анализируемого сигнала (табл.3). Переключатель "ПАМЯТЬ" перевести в положение "ПЕРИОДИЧ."

4.2.3. Уменьшая ослабление ступенчатого аттенкатора "ОСЛАБЛЕНИЕ dB" (а при необходимости и плавного аттенкатора блока ПЧ "НОМИНАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ ЛОГ"), добиться появления на экране ЭЛТ спектрограммы анализируемого сигнала.

4.2.4. Переключатели "ПОЛЮСА kHz" и "РАЗВЕРТКА/СКОРОСТЬ" установить в положения 0,1 кГц и 0,2 s/ДЕЛ соответственно. Регулировкой ослабления ступенчатого "ОСЛАБЛЕНИЕ dB" и плавного "НОМИНАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ ЛОГ" аттенкаторов добиться, чтобы амплитуда основной гармоники анализируемого сигнала не превышала 8 делений на экране ЭЛТ.

4.2.5. Частота интересующего спектрального компонента определяется по встроенному частотомеру с использованием яркостной метки. При этом частотомер отсчитывает частоту того места линии развертки на экране индикатора, где находится метка.

4.2.6. Измерение частотных интервалов между спектральными компонентами можно производить непосредственно по экрану индикатора, где цена деления обозначена на переключателе "НА ДЕЛЕН."

Погрешность измерения в этом случае составляет $\pm 15\%$ от обозначенного значения. Для увеличения точности измерения временных интервалов необходимо использовать цифровой частотомер.

4.2.7. Относительная амплитуда интересующего спектрального компонента определяется по разнице показаний ступенчатого "ОСЛАБЛЕНИЕ dB" и плавного "НОМИНАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ ЛОГ" аттенкаторов.

Приложение 2

ИЗМЕРИТЕЛЬ МОДУЛЯЦИИ СКЗ-43

1. НАЗНАЧЕНИЕ

Измеритель модуляции СКЗ-43 предназначен для измерения пило-

вого значения девиации частоты и коэффициента амплитудной модуляции.

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

2.1. Диапазон несущих частот от 4 до 1000 МГц в режиме измерения девиации частоты и от 0,15 до 500 МГц в режиме измерения амплитудной модуляции.

2.2. Погрешность индикации частоты не превышает

$$\pm(0,005f_c + 100 + \text{ед.счета}),$$

где f_c - несущая частота сигнала, равная ($f_{гет}$ - 1 МГц);

$f_{гет}$ - частота гетеродина, отсчитываемая встроенным частотомером в МГц;

ед.счета - единица счета последнего разряда частотомера.

ПАРАМЕТРЫ В РЕЖИМЕ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕВИАЦИИ ЧАСТОТЫ

2.3. Пределы измерения девиации частоты от 1 до 500 кГц.

2.4. Основная погрешность измерения девиации частоты в килогерцах не превышает величин, определяемых формулами:

в диапазоне модулирующих частот от 0,4 до 5 кГц

$$\Delta_{осн} = \pm(0,05 \Delta f + f_n);$$

в диапазоне модулирующих частот от 0,03 до 0,4 кГц и от 5 до 20 кГц

$$\Delta_{осн} = \pm(0,08 \Delta f + f_n);$$

в диапазоне модулирующих частот от 20 до 60 кГц

$$\Delta_{осн} = \pm(0,15 \Delta f + f_n),$$

где Δf - измеренное значение девиации в кГц;

f_n - среднеквадратическое значение уровня собственного фона и шума измерителя в Гц.

2.5. Среднеквадратические значения уровней собственного фона и шума прибора в зависимости от частоты исследуемого сигнала приведены в табл. 9.

ПАРАМЕТРЫ В РЕЖИМЕ ИЗМЕРЕНИЯ АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИИ

2.6. Пределы измерения коэффициента амплитудной модуляции от 1 до 100%.

2.7. Основная погрешность измерения коэффициента амплитудной модуляции в процентах при коэффициенте AM от 1 до 80% не превышает

значений, определяемых формулами:

в диапазоне модулирующих частот от 0,4 до 6 кГц

$\Delta_{\text{осн}} = \pm(0,05 M + 0,5)$ при включенном фильтре 20 кГц;

$\Delta_{\text{осн}} = \pm(0,05 M + 1,0)$ при включенном фильтре 60 кГц;

в диапазоне модулирующих частот от 0,03 до 0,4 кГц и от 6 до 20 кГц

$\Delta_{\text{осн}} = \pm(0,08 M + 0,5)$ при включенном фильтре 20 кГц;

$\Delta_{\text{осн}} = \pm(0,08 M + 1,0)$ при включенном фильтре 60 кГц;

в диапазоне модулирующих частот от 20 до 60 кГц

$$\Delta_{\text{осн}} = \pm(0,1 M + 1,0),$$

где M - измеренное значение коэффициента АМ в процентах.

Таблица 9

Частота	Уровень входного сигнала	Полоса модулирующих частот	Среднеквадратическое значение уровня собственного фона и шума
МГц	мВ	МГц	Гц
от 4 до 100	30	0,03 - 20,0 0,03 - 60,0	50 150
от 100 до 250	30	0,03 - 20,0 0,03 - 60,0	100 300
от 250 до 500	50	0,03 - 20,0 0,03 - 60,0	250 750
от 500 до 1000	300	0,03 - 20,0 0,03 - 60,0	250 750

2.8. Основная погрешность измерения КАМ от 80 до 95 % в диапазоне модулирующих частот от 0,4 до 6 не превышает $\pm 0,05 M$ %. Погрешность измерения коэффициента АМ свыше 95 % не нормируется.

2.9. Промежуточная частота прибора в нормальных условиях (1000 ± 100) кГц.

2.10. Входное сопротивление прибора 50 Ом при КСГч не более 5 в диапазоне частот до 1000 МГц.

3. ПРИНЦИП РАБОТЫ ПРИБОРА

Измеритель модуляции предназначен для измерения девиации частоты в диапазоне несущих частот 4 - 1000 МГц и коэффициента амплитудной модуляции (КАМ) в диапазоне несущих частот 0,15 - 500 МГц. Структурная схема измерителя модуляции приведена на рис. 8.

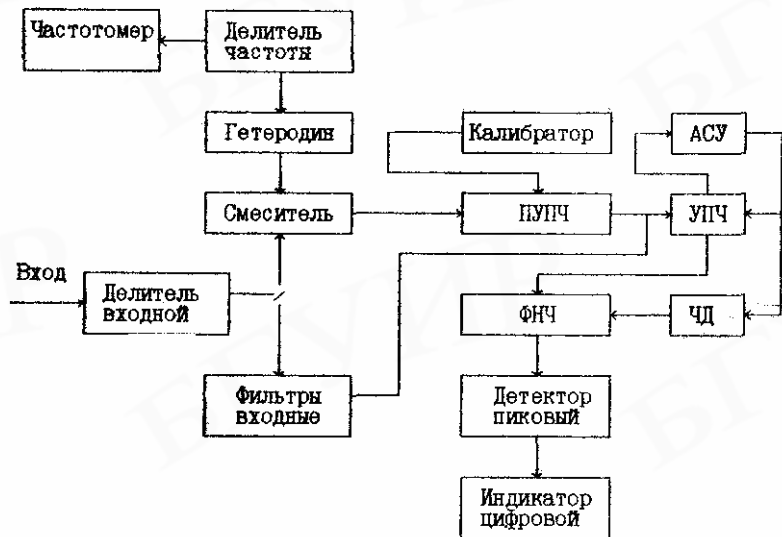


Рис. 8

В диапазоне несущих частот 4 - 1000 МГц измеритель модуляции работает по принципу супергетеродинного приемника с однократным преобразованием частоты сигнала в промежуточную частоту 1 МГц. В диапазоне несущих частот 0,15 - 4 МГц измеритель модуляции работает по принципу прямого усиления измеряемого сигнала.

Измерение девиации частоты основано на преобразовании модулированного по частоте сигнала промежуточной частоты в последовательность импульсов с постоянной амплитудой и длительностью, временное положение которых соответствует закону модуляции измеряемого ЧМ сигнала. Сигнал модуляции выделяется фильтром нижних частот, детектируется пиковым детектором и измеряется цифровым индикатором.

Измерение КАМ (М) основано на методе двух вольтметров: измерение отношения пикового (U_m) значения положительной (+) или отрицательной (-) полуволн протектированного АМ сигнала к среднему (U_{cp}) значению протектированного АМ сигнала, которое поддерживается постоянным (и равным условной единице) схемой автоматической стабилизации уровня

$$M(+)=\frac{\Delta U_m(+)}{U_{ср}}$$

$$M(-)=\frac{\Delta U_m(-)}{U_{ср}}$$

Сигнал модуляции протестированного АМ сигнала выделяется ФНЧ, детектируется пиковым детектором и измеряется цифровым индикатором.

Внутренний калибратор имитирует сигнал с калиброванной девиацией частоты, равной 500 кГц, и сигнал с коэффициентом АМ, равным 100%, по которым производится установка коэффициента усиления тракта измерения (калибровка прибора).

Индикация частоты гетеродина осуществляется с помощью встроенного частотомера.

Внешний вид измерителя модуляции и расположение основных органов управления на передней панели блока приведены на рис. 9.

4. ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К РАБОТЕ

4.1. Установить органы управления в следующие положения:

тумблер АПЧ - в нижнее положение;

переключатель "диапазоны МГц" - в положение 0,9 - 1,5.

Остальные органы управления могут находиться в произвольном положении.

4.2. Тумблер "СЕТЬ" установить в верхнее положение. При этом должны засветиться цифровые индикаторы прибора и индикаторная лампочка "МАЛО".

4.3. Настройка прибора на измеряемый сигнал производится следующим образом (независимо от режима работы):

подать на разъем 2,5 V МАКС измеряемый ВЧ сигнал с уровнем, не превышающим 2,5 В и не ниже чувствительности прибора;

поставить переключатель "ДИАПАЗОНЫ МГц" в нужное положение.

на участках 16 - 60 МГц и 170 - 1000 МГц настройка производится на гармониках гетеродина (при этом следует выбирать меньший номер гармоники). Вращением ручки "НАСТРОЙКА" против часовой стрелки от правого упора добиться засвечивания индикаторных лампочек "МАЛО", "МНОГО". При этом при нажатии кнопки "КОНТРОЛЬ ГЕТЕР." цифровые индикаторы должны высвечивать примерно частоту гетеродина, отличающуюся от частоты сигнала на 1 МГц. Продолжая медленное вращение ручки "НАСТРОЙКА", добиться засвечивания индикаторных лампочек "БЫШЕ", "НИЖЕ". При засвеченной лампочке "БЫШЕ" частоту

гетеродина необходимо уменьшить, а при засвеченной лампочке "НИ-ЖЕ" - увеличить.

5. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ С ПРИБОРОМ

ИЗМЕРЕНИЕ ДЕВИАЦИИ ЧАСТОТЫ

5.1. Выбрать нужную полосу по модулирующим частотам переключением тумблера "ПОЛОСА кГц 20, 60". Необходимо помнить, что максимальное количество воспроизводимых прибором гармоник равно целой части отношения 60 к частоте первой гармоники модулирующего сигнала.

5.2. Поставить тумблер "М%, f кГц" в положение "f кГц".

5.3. Поставить тумблер "МОДУЛ." в положение + или - в зависимости от необходимости измерения положительной или отрицательной полувольты модулирующего напряжения.

5.4. Отсчитать по цифровому индикатору измеренное значение девиации частоты.

ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИИ

5.5. Установить тумблер "М%, f кГц" в положение "М%".

5.6. Прodelать операции аналогично п.5.3 и отсчитать по цифровому индикатору коэффициент АМ.

Для уменьшения погрешности измерения малых значений КАМ (<5%) необходимо при выключенной модуляции измеряемого объекта установить уровень измеряемого сигнала таким, при котором отсчет ЦИМ будет минимальный.

Приложение 3

ИЗМЕРИТЕЛЬ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ С6-5

1. НАЗНАЧЕНИЕ

Измеритель нелинейных искажений С6-5 предназначен для измерения коэффициента гармоник.

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

2.1. Диапазон частот исследуемых сигналов при измерении коэффициента гармоник 20 Гц - 200 кГц, перекрываемый восемью поддиапазонами. Диапазон входных напряжений 0,1 - 100 В.

2.2. Диапазон измеряемых коэффициентов гармоник 0,03 - 100% с разбивкой на семь шкал.

2.3. Пределы основной погрешности измерения коэффициента гар-

ДИАПАЗОН ЧАСТОТ	Погрешность, %	
	при $K_f < 30\%$	при $K_f > 30\%$
20 Гц - 20 кГц	$\pm(0,05 K_{np} + 0,02)$	$\pm 0,15 K_f$
20 кГц - 200 кГц	$\pm(0,1 K_{np} + 0,1)$	$\pm 0,25 K_f$

K_{np} - значение предела соответствующей шкалы, %;

K_f - измеренное значение коэффициента гармоник, %.

3. ПРИНЦИП РАБОТЫ ПРИБОРА

Принцип работы прибора основан на измерении среднеквадратического значения напряжения исследуемого сигнала и среднеквадратического значения напряжения высших гармоник этого же сигнала. Упрощенная структурная схема прибора приведена на рис. 10.

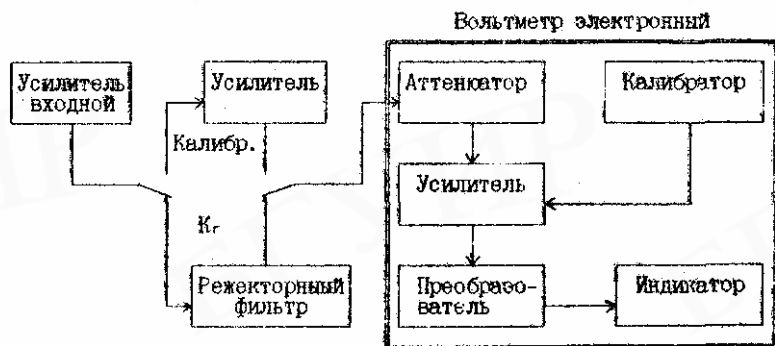


Рис. 10

Раздельное измерение напряжений исследуемого сигнала и его высших гармоник обеспечивается с помощью избирательного усилителя, содержащего предварительный усилитель, режекторный фильтр (мост Вина) с цепями коммутации и усилитель гармоник.

Измерению напряжения всего сигнала соответствует режим калибровки прибора, когда усиленное предварительным усилителем напряжение непосредственно подается на вход электронного вольтметра, стрелка которого устанавливается на отметку, условно принимаемую за единицу (отметка 10 на шкале 100 %). При измерении высших гар-

мощный сигнал дополнительно проходит через режекторный фильтр и усилитель гармоник, после чего подается на вход вольтметра. Для подавления напряжения основной гармоники во всем диапазоне частот исследуемых сигналов предусмотрена схема коммутации элементов моста Вива, обеспечивающая переключение поддиапазонов частот и плавную настройку (балансировку моста) в пределах каждого поддиапазона.

Внешний вид измерителя нелинейных искажений и расположение органов управления на передней панели приведены на рис. II.

4. ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К РАБОТЕ

4.1. Соединить прибор с источником исследуемых сигналов при помощи кабеля и установить органы управления прибором в следующие положения:

- переключатель рода работ - в положение "КАЛИБР.>";
- переключатель пределов измерения - в положение 100% по шкале K_r , %;
- переключатель "КАЛИБР." - в среднее положение;
- переключатели "ШКАЛА ЧАСТОТ" и "ДИАПАЗОН" - в положения, соответствующие номеру точки (табл. II).

Таблица II

Параметр	Значение параметра			
	1	2	3	4
Положение клавиши "ШКАЛА ЧАСТОТ"	нажата	отжата	нажата	отжата
Положение переключателя "Диапазон"	x I	x IO	x IO	x IOO

4.2. Включить прибор и произвести калибровку прибора. Для этого ручкой "КАЛИБР." установить стрелку прибора на отметку 10 шкалы 100 %.

5. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ С ПРИБОРОМ

5.1. Переключатель рода работ установить в положение "K.". Добиться минимального отклонения стрелки индикатора последовательной регулировкой ручек "ЧАСТОТА Гц" и "БАЛАНС", увеличивая с помощью переключателя пределов измерения чувствительность прибора. Полученное минимальное показание прибора соответствует значению K_r .

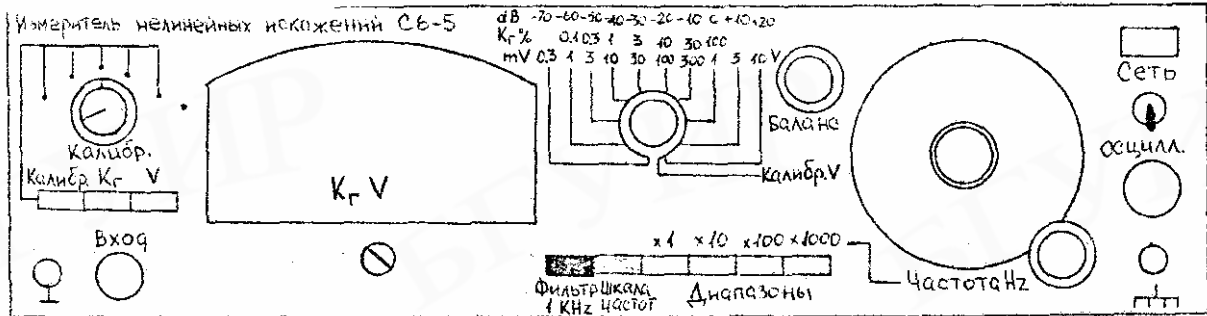


Рис. 9

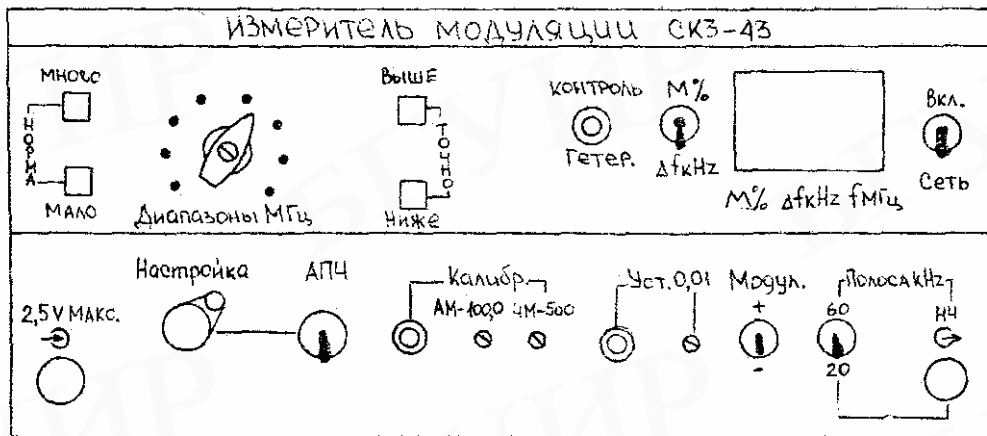


Рис. 11

в процентах.

5.2. Для получения отсчета K_r в дБ необходимо произвести перекалибровку прибора на отметку 0 дБ (нижняя шкала индикатора) при положении переключателя пределов измерения 0 дБ. После этого перейти в режим измерения путем нажатия клавиши "K_r" и, установив необходимый предел измерения, отсчитать измеренное значение коэффициента гармоник как сумму показаний шкал индикатора и переключателя пределов измерения в децибелах.

Приложение 4

ГЕНЕРАТОР СИГНАЛОВ ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ Г4-107

1. НАЗНАЧЕНИЕ

Генератор Г4-107 является источником немодулированных и модулированных сигналов высокой частоты и предназначен для использования при контроле, регулировке и настройке различных радиотехнических устройств.

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

2.1. Прибор обеспечивает следующие виды работ:

непрерывная генерация (НГ);

амплитудная модуляция синусоидальным напряжением (АМ);

частотная модуляция синусоидальным напряжением (ЧМ) без учета значения девиации частоты;

импульсная модуляция (ИМ).

2.2. Частотные параметры (F-параметры):

диапазон частот 12,5 - 400 МГц, покрываемый пятью поддиапазонами;

основная погрешность установки частоты не более $\pm 1\%$;

2.3. Параметры выходного напряжения (U-параметры) генератора в режиме "НГ":

выходное напряжение на согласованной нагрузке 50 ± 1 Ом, подключаемой через кабель к основному выходу генератора "dBV", регулируется в пределах $1 - 10^{-6}$ В;

основная погрешность установки опорного значения выходного напряжения не превышает ± 1 дБ;

регулировка выходного напряжения производится с помощью внутреннего аттенюатора от 0 до 119 дБ ступенями через 1 дБ и плавно в пределах каждой ступени;

основная погрешность ослабления внутреннего аттенюатора не

превышает $\pm 0,8$ дБ в диапазоне частот до 200 МГц и $\pm 1,5$ дБ в диапазоне свыше 200 МГц.

2.4. Параметры амплитудной модуляции (АМ-параметры):

амплитудная модуляция осуществляется сигналом частотой 1 кГц от внутреннего источника модуляции;

коэффициент амплитудной модуляции регулируется в пределах 0 - 90% ступенями через 10%;

основная погрешность установки коэффициента амплитудной модуляции не превышает $\pm 5\%$ при $10\% < M < 50\% \pm 10\%$ при $50\% < M < 90\%$;

выходное напряжение генератора в режиме "АМ" составляет 0,5 от уровня выходного напряжения в режиме "НГ".

2.5. Параметры частотной модуляции (FM-параметры):

частотная модуляция осуществляется сигналом частоты 1 кГц от внутреннего источника модуляции;

максимальное значение девиации частоты в режиме внутренней ЧМ не менее 8,16,32,64 и 128 кГц в соответствующих поддиапазонах частот;

уровень выходного напряжения в режиме ЧМ соответствует уровню напряжения в режиме "НГ".

3. ПРИНЦИП РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРА

Структурная схема генератора приведена на рис. 12 и состоит из четырех основных функциональных элементов, обеспечивающих установку и отсчет частоты сигнала, уровня выходного напряжения и коэффициента амплитудной модуляции.

Установка и отсчет частоты сигнала производится в задающем генераторе (ЗГ), который определяет все частотные параметры прибора.

Установка и отсчет уровня выходного напряжения обеспечивается с помощью широкополосного усилителя (ШУ), аттенкуатора (АТТ), детектора (Дет.) и дифференциального УПТ (диф.УПТ) с регулируемым опорным напряжением, расположенных в основном канале прибора. Выходной сигнал выпрямляется детектором и поступает на вход дифференциального УПТ. На второй вход УПТ подается сигнал от регулятора опорного напряжения. Усиленная разность этих сигналов изменяет сигнал на входе широкополосного усилителя, обеспечивая пропорциональность уровня выходного напряжения основного канала генератора опорному напряжению. Таким образом, при постоянном опорном напряжении обеспечивается стабилизация уровня выходного напряжения ге-

нератора, а при его изменении - плавная регулировка выходного напряжения в пределах 1 дБ. Ступенчатая регулировка через 1 дБ осуществляется с помощью выходного аттенуатора.

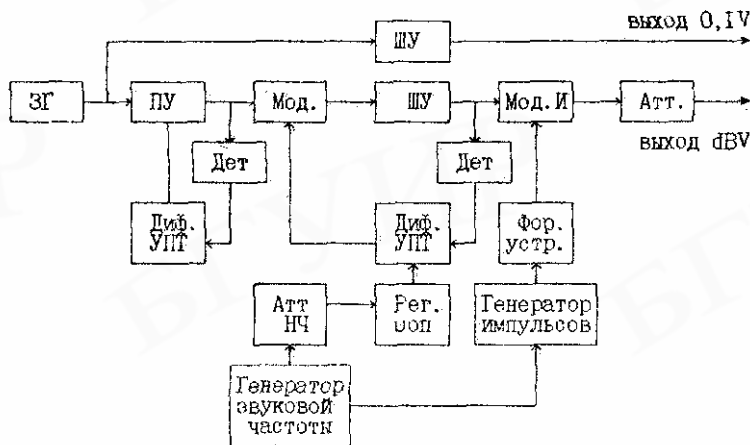


Рис. 12

Установка глубины амплитудной модуляции обеспечивается высокочастотным модулятором (аттенуатор на р-і-п диодах) и низкочастотными узлами, с помощью которых формируется калиброванный модулирующий сигнал: генератор звуковой частоты, регулятор напряжения с детектором, позволяющий с помощью индикаторного прибора установить определенное опорное значение модулирующего сигнала, и аттенуатор НЧ, обеспечивающий дискретную регулировку глубины модуляции ступенями через 10%.

Частотная модуляция сигнала генератора осуществляется путем электронной перестройки частоты задающего генератора с помощью варикапов, на которые подается модулирующий сигнал генератора звуковой частоты. Уровень этого сигнала, устанавливаемый регулятором напряжения и аттенуатором НЧ, определяет величину девиации частоты. Внешний вид прибора и расположение основных органов управления на передней панели приведены на рис. 13.

4. ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К РАБОТЕ

4.1. Включить генератор и прогреть его в течение 15 мин. На-

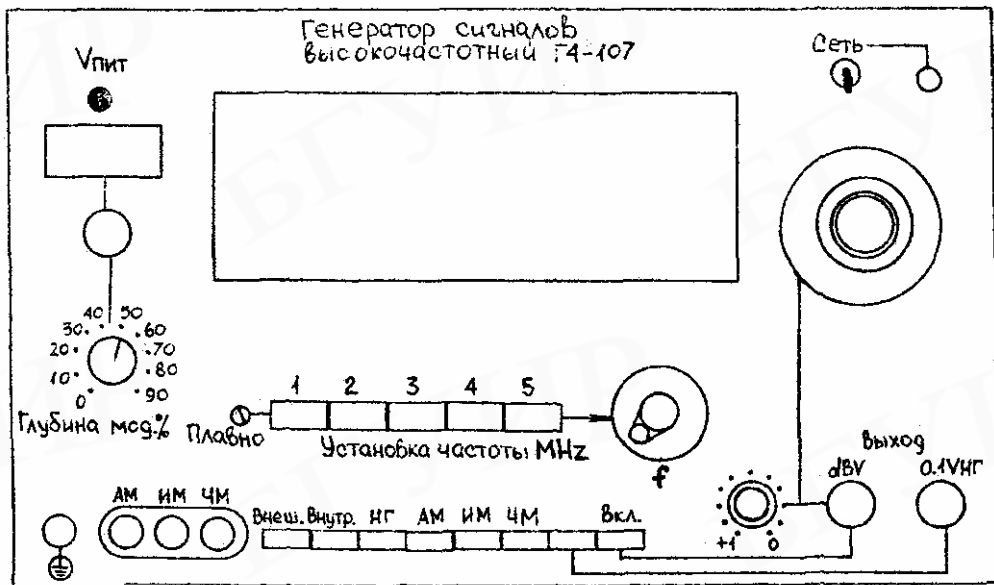


Рис. 13

жать кнопки "АМ" и "ВНУТР". Вращением ручки установки опорного значения модулирующего сигнала установить стрелку индикаторного прибора на деление 50 мкА.

4.2. Установите с помощью ручек регулировки ослабления ступенчатого и плавного аттенуаторов уровень выходного сигнала генератора 0 дБ.

5. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ С ПРИБОРОМ

5.1. Установка требуемого режима работы производится нажатием кнопок переключателя рода работ (АМ, ЧМ, ИМ).

5.2. Необходимое значение частоты устанавливается нажатием кнопки соответствующего поддиапазона и ручкой установки частоты "Г". При этом нижняя линейная шкала и деления на ободке ручки "Г" служат донусом для калибровки расстройки частоты относительно любой точки шкалы.

5.3. Установка глубины амплитудной модуляции производится переключателем "ГЛУБИНА МОД.%" ступенчато через 10% и плавно ручкой установки опорного уровня.

Составитель

Ревин Валерий Тихонович

Методические указания
к лабораторной работе Р5.А
АНАЛИЗ СПЕКТРА И ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ
МОДУЛЯЦИИ И НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ СИГНАЛОВ

для студентов радиотехнических
специальностей

Ответственный за выпуск В. П. Дегтев

Редактор А. Н. Быков

Корректор Е. Н. Батурчик

Подписано в печать 20.03.92 г.
Объем 2,2 усл. печ. л.; 1,7 уч.-изд. л.
Заказ 141

Формат 60x84 1/16
Тираж 200 экз.