

Министерство общего и профессионального образования РФ

---

Санкт-Петербургский государственный  
электротехнический университет

---

# ПРИБОРЫ И ТЕХНИКА РАДИОИЗМЕРЕНИЙ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Санкт-Петербург  
1996

# **1. ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАНОРАМНЫМ МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ ИЗМЕРИТЕЛЕМ Х1-53**

В лабораторной работе изучаются методика проведения измерений и особенности различных режимов работы панорамного измерителя амплитудно–частотных характеристик (АЧХ) радиоэлектронных устройств Х1-53.

## **1.1. Принцип действия и структурная схема измерителя АЧХ Х1-53**

Принцип действия аналоговых панорамных измерителей АЧХ состоит в следующем [1]. На вход исследуемого устройства подают гармонический сигнал с постоянной амплитудой и изменяющейся во времени частотой  $f(t)$ . Чаще всего используется периодически–линейный (пилообразный) закон изменения частоты. Временная зависимость амплитуды сигнала на выходе исследуемого устройства повторяет зависимость модуля комплексного коэффициента передачи устройства  $k$  от частоты,  $k(f)$ , т.е. совпадает с его АЧХ. После амплитудного детектирования огибающая выходного напряжения поступает на канал вертикального (Y) отклонения осциллографического индикатора. На канал горизонтального (X) отклонения подают напряжение  $u(t)$ , совпадающее по форме с законом изменения частоты  $f(t)$ . На экране индикатора появляется кривая, соответствующая  $k(f)$  исследуемого устройства.

В микропроцессорном панорамном измерителе АЧХ Х1-53 используют цифровые методы управления прибором и процессом обработки результатов. Измерение и вывод АЧХ на экран индикатора (дисплея) осуществляет микропроцессорная система (МПС), включающая 12-разрядный микропроцессор, оперативное и постоянное запоминающие устройства (ОЗУ, ПЗУ) и другие компоненты. Кроме кривой АЧХ, на экране отображаются цифровая и знаковая информация о режиме работы прибора и текущие данные измерений. Диапазон частот  $\Delta f$ , или диапазон качания частоты, в котором исследуется  $k(f)$ , разбивается на 511 интервалов, что дает 512 дискретных частотных точек (рис.1.1). АЧХ измеряется в каждой частотной точке за время  $\Delta t$ . Установившееся к концу интервала  $\Delta t$  значение амплитуды выходного напряжения преобразуется в цифровой код и в виде яркостной точки

выводится на экран. Таким образом, МПС формирует кривую АЧХ на экране 512 точками за время  $T_{\text{ц}} = 511\Delta t$ , и в основном режиме работы прибора кривая воспринимается как сплошная.

МПС расширяет возможности прибора Х1-53 по сравнению с анало-

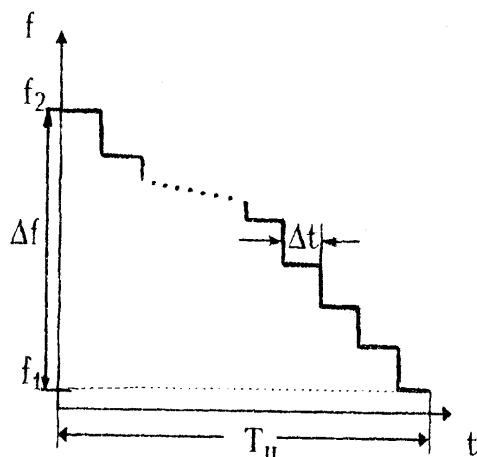


Рис.1.1. Закон изменения частоты выходного сигнала генераторного блока

говыми панорамными измерителями АЧХ. В частности, устранены погрешности, связанные с неравномерностью масштаба изображения по оси частот, повышена точность измерений, так как реализуется цифровой отсчет частоты и уровня АЧХ. Могут устанавливаться логарифмический и полулогарифмический масштабы индикации кривой АЧХ. Введен режим запоминания исследуемой кривой с возможностью последующего воспроизведения ее одновременно с исследованием другого устройства. Структурная схема прибора Х1-53 приведена на рис.1.2.

Прибор состоит из генераторного (БГ) и измерительного (БИ) блоков. В состав БГ входят: генератор гармонического сигнала с электронной дискретной перестройкой частоты, выходной дискретный аттенюатор, электронно-счетный частотомер ЭСЧ, устройство управления и сопряжения с микропроцессорной системой. Выходной аттенюатор применяют для регулировки выходного сигнала при исследовании усилительных устройств с  $k_{\text{ус}} > 1$ . В состав БИ входят: усилитель, амплитудный детектор, АЦП, МПС с устройством сопряжения и осциллографический индикатор – растровый дисплей. Усилитель обеспечивает необходимую чувствительность БИ; дискретный коэффициент усиления устанавливается вручную или автоматически. Аналоговый выходной сигнал детектора преобразуется АЦП в цифровой код и поступает в МПС через устройство сопряжения. МПС управляет работой всех блоков, производит обработку измерительной информации и выводит результаты измерения на экран дисплея.

Оператор управляет прибором с помощью кнопок фиксированного и однократного действия, расположенных на передних панелях БГ и БИ. Кнопками фиксированного действия вводят команды, которые действуют до отмены, производимой вторичным нажатием (выключением) кнопки. Эти кнопки снабжены подсветкой, сигнализирующей о приеме или отмене команды. Информация о приеме или отмене команд выводится в некоторых случаях на экран. Кнопками однократного действия вводят команды,

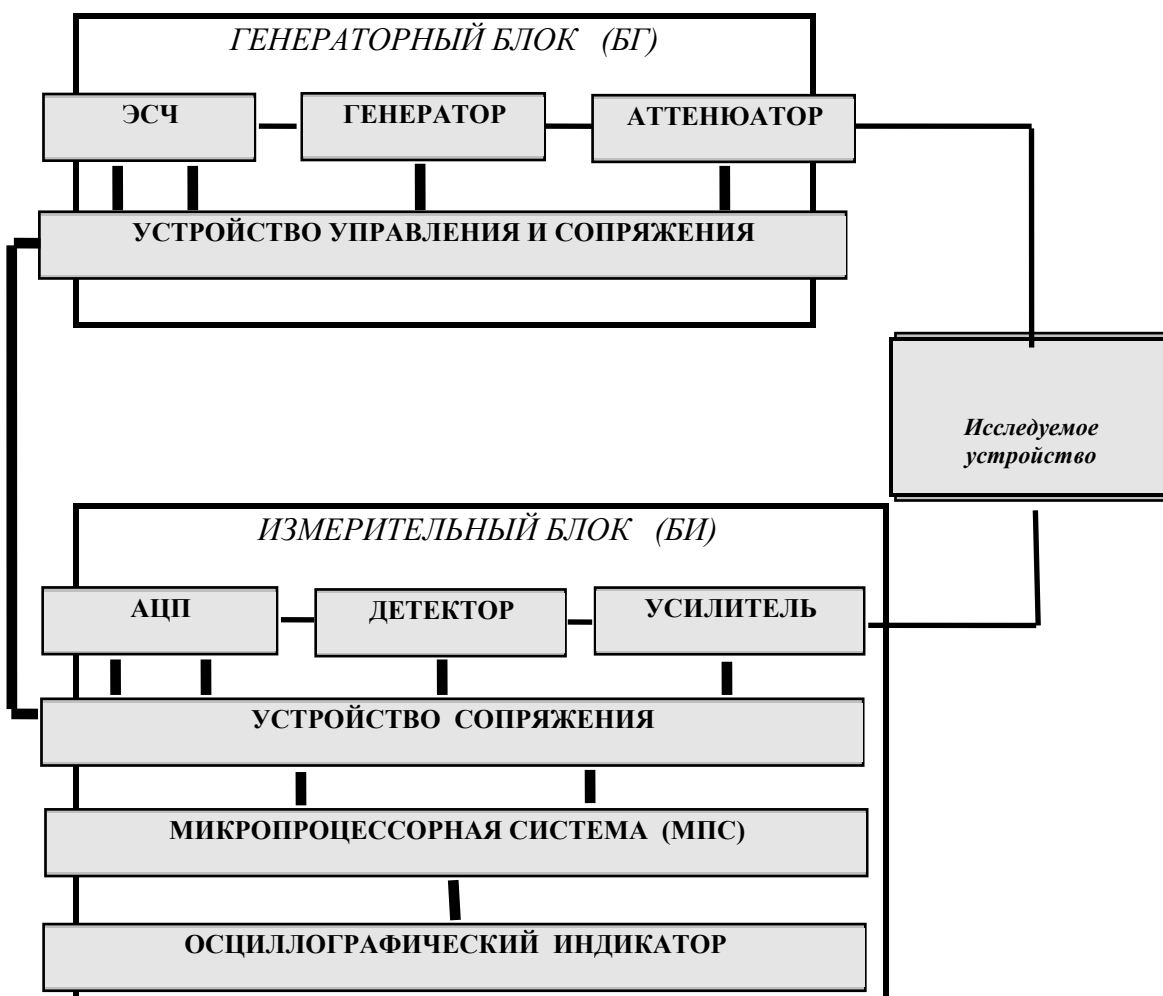


Рис.1.2. Структурная схема измерителя АЧХ X1-53

для выполнения которых МПС необходимо время одного цикла качания частоты. В течение  $T_c$  кнопку удерживают в нажатом положении. Справа на панели БИ размещена цифровая клавиатура, используемая при подаче некоторых команд. Сведения по обозначению и назначению кнопок и органов управления приведены в табл. 1.1 - 1.3.





Таблица 1.1

Кнопки управления БГ

Обозначение	Назначение (команда)
<b>R</b>	Включение внутренней нагрузки 600 Ом
ОСЛАБЛЕНИЕ dB	
<b>12</b>	Ослабление уровня выходного сигнала БГ
<b>24</b>	
<b>36</b>	

Таблица 1.2

Органы и кнопки управления БИ



Обозначение МЕТКА	Назначение (команда)
	РЕЖИМ (ручное или автоматическое управление усилителем БИ )
ПРЕДЕЛЫ dB	
	Ручное управление усилителем БИ
	Индикация автоматического управления усилителем БИ
	

### Технические данные прибора Х1-53

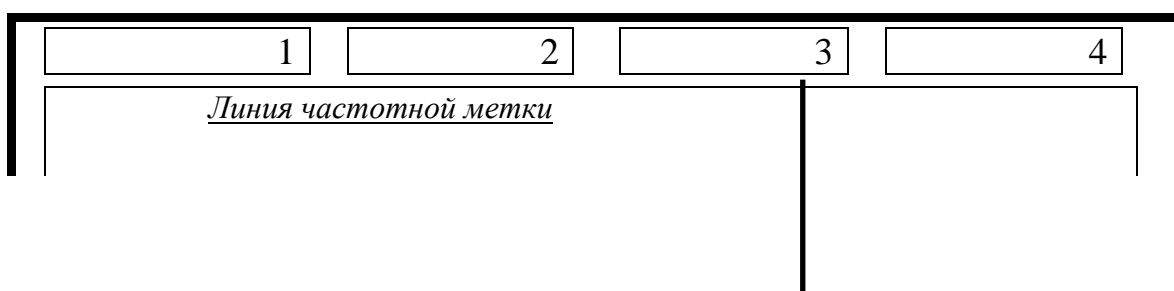
- \* Рабочий диапазон частот:
  - поддиапазон I, кГц.....0,02...20
  - поддиапазон II, кГц.....0,2...200
- \* Диапазон воспроизведения АЧХ по уровню:
  - в линейном масштабе, дБ, не более.....24
  - в логарифмическом масштабе, дБ, не более.....72
- \* Диапазон измерения АЧХ по уровню, дБ, не менее.....150
- \* Абсолютная погрешность измерения уровня АЧХ:
  - в линейном масштабе, дБ..... $\pm(0,25 + 0,094 A)$ ,
 где  $A$  - измеренный относительный уровень АЧХ,
  - в логарифмическом масштабе, дБ..... $\pm 1,5$
- \* Точность аналого-цифрового преобразования.....0,02%
- \* Абсолютная погрешность измерения частоты, Гц,
  - не более ..... $\pm(10^{-4}f + 0,02\Delta f)$ ,
 где  $f$  – измеряемая частота, Гц,  
 $\Delta f$  – установленный диапазон качания частоты, Гц
- \* Неравномерность собственной АЧХ прибора при максимальном диапазоне качания частоты:
  - в линейном масштабе, дБ, не более.....0,25
  - в логарифмическом масштабе, дБ, не более.....0,5
- \* Выходное сопротивление БГ измерителя АЧХ, Ом,..... $600 \pm 60$
- \* Входное сопротивление БИ измерителя АЧХ, кОм,
  - не менее.....200
- \* Входная емкость БИ измерителя АЧХ, пФ, не более.....30

Таблица 1.3

Основные кнопки управления МПС

Обозначение		Назначение (команда)
		Включение I или II поддиапазонов качания частоты
		Установка границ диапазона качания частоты $f_1$ и $f_2$
		Коррекция граничных частот $f_1$ и $f_2$
		Измерение абсолютного значения напряжения на входе БИ, В
		Измерение АЧХ в относительных единицах
		Запись АЧХ в память прибора
		Воспроизведение данных, записанных в память
		Индикация и измерение разности между исследуемой АЧХ и данными памяти
 ОБЩ		ОБЩИЙ СБРОС - выход на начало программы
	 	Установка логарифмического масштаба - по частоте - по уровню АЧХ
		КАЛИБРОВКА прибора
		ВЫВОД контрольных линий КА1 и КА2 ( по уровню АЧХ )
		ВЫВОД контрольных линий KF1 и KF2 ( по частоте )
		Усреднение
		Увеличение $\Delta t$ (времени измерения)
		СБРОС неверно набранного числа
		ОСТАНОВКА частоты
		ВВОД команды

На рис. 1.3 показано расположение выводимой на экран графической и числовой информации. Экран условно разбит на зоны; зона 8 предназначена для индикации АЧХ и линии частотной метки; положение



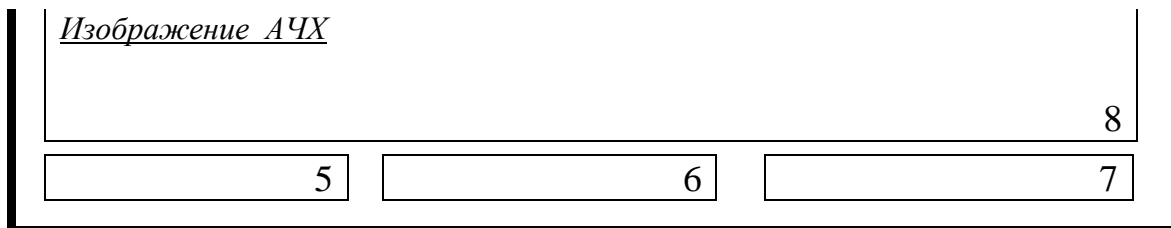


Рис.1.3. Изображение АЧХ и расположение зон для вывода информации на экране дисплея

последней регулируют ручкой "МЕТКА". В зону 1 выводится значение  $f_m$ , соответствующее положению линии частотной метки, в зону 2 - значение уровня АЧХ в этой точке, измеряемое в дБ или в относительных единицах. В зонах 5 и 7 в процессе измерения сохраняются значения нижней  $f_1$  и верхней  $f_2$  частот установленного диапазона качания частоты  $\Delta f$ . В зону 6 выводится текущая информация о выполнении операции калибровки. В зонах 3 и 4 появляется информация о включении и характеристиках специальных режимов измерения.

## 1.2. Режимы работы прибора

### 1.2.1. Режим подготовки

В этом режиме нажатием кнопки "ОБЩИЙ СБРОС" приводят прибор Х1-53 в исходное состояние и устанавливают диапазон качания частоты. В измерителе Х1-53 предусмотрена возможность установки фиксированных I или II поддиапазонов качания частоты или произвольного диапазона качания частоты  $\Delta f = f_2 - f_1$ .

Для изменения установленного диапазона частоты необходимо нажатием кнопки "ОБЩИЙ СБРОС" вновь перейти в режим подготовки. Другая возможность изменения установленного диапазона качания частоты предоставляется командой коррекции граничных частот "КОРР". При использовании процедуры коррекции нет необходимости выходить из рабочего режима или обращаться к режиму калибровки, что упрощает работу с прибором. После установки диапазона качания прибор переходит в режим калибровки.

### 1.2.2. Режим калибровки

Выход БГ и вход БИ соединяют напрямую. При этом необходимо предусмотреть отключение исследуемого устройства от линии соединения и обеспечить предусмотренную режимом калибровки работу генераторного блока на согласованную с выходным сопротивлением БГ нагрузку 600 Ом. Для этого можно использовать внутренний резистор нагрузки БГ, включа-

емый кнопкой "R" на передней панели БГ. По команде "КАЛИБРОВКА" МПС фиксирует опорный уровень АЧХ  $k_0(f)$  в каждой из 512 частотных точек установленного диапазона качания. Эти данные будут использованы в режимах измерения для отсчета значения  $k(f)$ . Время калибровки составляет один цикл перестройки частоты  $T_{\text{ц}}$ . После выполнения команды "КАЛИБРОВКА" подают команду "ВВОД". МПС выводит на экран горизонтальную линию собственной АЧХ прибора X1-53  $k_0(f)$ . Одновременно в зону 1 выводится значение частоты  $f_m$ , на которую указывает линия частотной метки, а в зону 2 – значение  $k_0(f_m)$ . Последнее, с учетом погрешности уровня АЧХ и неравномерности собственной АЧХ прибора, может незначительно отличаться от 0 дБ (или 1). После калибровки прибор переходит в основной режим измерения.

### 1.2.3. Основной режим измерения

Исследуемое устройство включают между выходом БГ и входом БИ измерителя АЧХ X1-53 как показано на рис.1.2. На экране появится изображение АЧХ; в зоне 2 - значение уровня АЧХ  $k(f_m)$ . Исследование АЧХ состоит в наблюдении зависимости  $k(f)$  и измерениях значений  $k(f_m)$ , которые осуществляют, перемещая частотную метку с помощью ручки "МЕТКА". Отсчет уровня АЧХ ведут в логарифмических (кнопка "А" выключена) или в относительных (кнопка "А" включена) единицах.

Если динамический диапазон (отношение максимального и минимального уровней исследуемой АЧХ) превышает 24 дБ, то полученное в основном режиме измерения изображение на экране искажается (ограничивается) в области максимальных или минимальных значений  $k(f)$ . При этом данные измерения АЧХ остаются достоверными, но наблюдение искаженной АЧХ неудобно. В этих случаях используют выходной аттенюатор БГ (кнопки "ОСЛАБЛЕНИЕ dB"), ручную или автоматическую регулировку усиления БИ (кнопки "РЕЖИМ" и "ПРЕДЕЛЫ dB"). Регулировка усиления обеспечивает попадание измеряемого (лежащего в окрестности линии метки) участка АЧХ в рабочую зону экрана.

### 1.2.4. Специальные режимы измерения

Специальные режимы расширяют возможности основного режима измерения. Переход в специальный режим измерения осуществляют после установки основного режима подачей дополнительной команды. В измерителе АЧХ X1-53 предусмотрена возможность одновременного использования двух и более специальных режимов измерения.

Различают следующие специальные режимы измерения:

- \* Режим логарифмических (команды "lg A", "lg F") масштабов индикации соответственно по уровню АЧХ и (или) по частоте. Использование логарифмического масштаба по уровню увеличивает динамический диапазон воспроизведения АЧХ до 72 дБ и дает возможность детально изучить



фрагменты АЧХ в области малых значений  $k(f)$ , при этом АЧХ наблюдается полностью, от  $k_{\min}$  до  $k_{\max}$ . Логарифмический масштаб по частоте используется с целью детального изучения фрагментов АЧХ в области нижних частот при наблюдении кривой  $k(f)$  в установленном диапазоне качания частоты полностью.

\* Вывод контрольных линий КА по уровню АЧХ и контрольных линий КF по частоте (команды "ВЫВОД КА1", "ВЫВОД КА2"; "ВЫВОД КF1", "ВЫВОД КF2"). Этот режим позволяет повысить точность и удобство измерения таких параметров АЧХ, как полоса пропускания, коэффициент прямоугольности, неравномерность (уровень пульсаций)  $k(f)$  в полосе пропускания. На экран могут быть выведены контрольные линии по произвольно заданным значениям уровней и частот.

\* Режим увеличения времени измерения (команда "Т×N"). Используется при исследовании АЧХ узкополосных устройств. N-кратное увеличение интервала  $\Delta t$  (длительности цикла  $T_{\text{ц}}$ ) позволяет при перестройке генератора на каждое следующее дискретное значение частоты завершиться переходным процессом в исследуемом устройстве и, тем самым, уменьшает или устраняет динамические искажения, свойственные панорамным измерителям АЧХ. Число N задаётся оператором с помощью цифровой клавиатуры (до 9999).

\* Режим усреднения (команда " $\Sigma/N$ "). Используется для снижения влияния на результаты измерений собственных шумов прибора и внешних помех при малом уровне сигнала на входе БИ. В основе режима лежит N-кратное увеличение времени измерения (аналогичное команде "Т×N") и N-кратное на каждом из 511 частотных интервалов взятие отсчетов АЧХ с последующим вычислением средних значений  $k(f)$ .

\* Режимы памяти: запись АЧХ в память прибора (команда "X→П"), воспроизведение данных, записанных в память (команда "П"), индикация и измерение разности между исследуемой АЧХ и данными памяти (команда "П/X"). Записанная АЧХ неограниченное число раз может быть воспроизведена на экране как отдельно, так и совместно с исследуемой в данный момент. Эти режимы удобны при настройке радиоэлектронных устройств, для сравнительного анализа АЧХ, при исследовании динамических АЧХ и контроле динамических искажений и т.п.

\* Режим остановки частоты (команда "ОСТАНОВКА"). В этом режиме качание частоты генератора прекращается и он генерирует гармонический сигнал с постоянной частотой – именно той, на которую указывала частотная метка перед подачей команды. Режим используется для контроля данных, полученных в режимах с качанием частоты, так как позволяет измерять (но не наблюдать) статическую АЧХ. Особенно полезен режим остановки частоты при исследовании узкополосных радиоэлектронных цепей и устройств.

### 1.3. Лабораторная установка

В установку входят панорамный микропроцессорный измеритель амплитудно–частотных характеристик Х1-53 и лабораторный макет, содержащий пассивные частотно–избирательные четырехполюсники (LC-фильтры): фильтр нижних частот (ФНЧ), полосно–пропускающий (ППФ) и полосно–заграждающий (ПЗФ) фильтры. Расчетные АЧХ фильтров близки по форме к прямоугольным. Реальные же характеристики фильтров соответствуют расчетным только при выходном сопротивлении генератора  $R_r$  и сопротивлении нагрузки  $R_n$  фильтра, принятых при проектировании фильтра. Установленные в макете фильтры рассчитаны на  $R_r = R_n = 600$  Ом. Если значения этих сопротивлений заметно отличаются от расчетных (рассогласование), то АЧХ фильтра искажается. В макете обеспечены требуемые значения  $R_r$  и  $R_n$  и возможность их изменения для исследования искажений АЧХ, связанных с рассогласованием (переключатели П2 и П3). В макете предусмотрены переключатель П4 и кнопка К, которые независимо друг от друга соединяют в положении "КАЛИБРОВКА" входной и выходной разъемы макета, т.е. выход БГ и вход БИ. При этом исследуемый фильтр от разъемов макета отключается. Переключатель П4 используется для проведения собственно калибровки после установки или изменения диапазона качания частоты. Кнопку К используют для контроля положения линии  $k_0(f)$  в процессе измерения.

### 1.4. Задание и указания к выполнению работы

#### 1.4.1. Подготовка прибора к работе

##### и установка диапазона качания частоты

Включите оба блока (БГ и БИ) прибора Х1-53. После прогрева прибора нажмите кнопку "ОБЩИЙ СБРОС". В зоне 8 экрана появится сплошная засветка, а в зонах 5 и 7 - надписи "F=?". В настоящей работе, в основном, используется II поддиапазон качания частоты. Установите его, для чего нажмите кнопку "II", а затем кнопку "ВВОД".

В зонах 5 и 7 появятся надписи "F=0.2" и "F=200" (значения нижней и верхней частот II поддиапазона в кГц). Двигаясь справа налево, исчезает засветка зоны 8, появляются линия развертки и вертикальная линия частотной метки. В зоне 6 высвечивается значение частоты  $f_m$ , на которую указывает положение метки.

\* Замечание. При выполнении отдельных пунктов задания потребуются установка произвольного диапазона качания частоты  $\Delta f$ . В этом случае после нажатия кнопки "ОБЩИЙ СБРОС" и появления надписи "F=?" включите кнопку "F1", наберите требуемое значение частоты  $f_1$  в кГц на цифровой клавиатуре (число фиксируется на экране вместо знака "?") и нажмите кнопку "ВВОД". Для коррекции неправильно набранного значе-

ния (до подачи команды "ВВОД") используйте команду "СБРОС". Аналогично и независимо вводят значение  $f_2$ . Эти процедуры могут при необходимости многократно повторяться.

#### 1.4.2. Калибровка прибора Х1-53

После установки диапазона качания частоты прибор необходимо калибровать.

\* Замечание. Прибор калибруется только в случае точного выполнения всех перечисленных ниже действий. Завершение калибровки подтверждается появлением на экране ровной линии собственной АЧХ прибора  $k_0(f)$  и близким к нулевому значением  $k_0(f_m)$  в зоне 2.

Поставьте переключатели П2 и П3 в положение "600", переключатель П4 в положение "КАЛИБРОВКА". Выключите кнопку "R" и все три кнопки "ОСЛАБЛЕНИЕ dB" на панели БГ. Включите кнопку РЕЖИМ" (ручное управление коэффициентом усиления) и отключите все три кнопки "ПРЕДЕЛЫ dB" на панели БИ. Нажмите кнопку "КАЛИБРОВКА" и удерживайте ее до появления в зоне 6 экрана надписи "КАЛИБР". Затем нажмите кнопку "ВВОД" и удерживайте ее до завершения цикла перестройки и исчезновения надписи "КАЛИБР". Горизонтальная линия на экране указывает опорный уровень отсчета АЧХ, значение  $k_0(f_m)$  выводится в зону 2.

Прибор готов к измерениям.

#### 1.4.3. Измерение АЧХ фильтра нижних частот (ФНЧ) и полосно-пропускающего фильтра (ППФ)

Переключателем П1 лабораторного макета включите в схему ФНЧ. Переключатель П4 поставьте в положение "ИЗМЕРЕНИЕ". Проведите измерение появившейся на экране АЧХ фильтра.

\* Замечание. Измерять АЧХ с помощью панорамного прибора – значит, последовательно фиксировать значения  $f_m$  и  $k(f_m)$ , перемещая линию метки с помощью ручки "МЕТКА" по экрану. При выборе значений  $f_m$  (20-25 точек) следует учитывать особенности АЧХ: на участках быстрого изменения  $k(f)$  (например, скатах кривой) интервалы между значениями  $f_m$  брать меньше; обязательно измерить значения  $k$  в характерных точках (локальных максимумах и минимумах). Значения уровня АЧХ фиксируйте в дБ и в относительных единицах (значения  $k$  в относительных единицах выводятся в зону 2 экрана при включённой кнопке "А").

$$k = k(f) = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}; \quad k_{\text{дБ}} = k_{\text{дБ}}(f) = 20 \lg (U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}).$$

Рассчитайте используемый наряду с  $k(f)$  коэффициент ослабления фильтра D:

$$D = D(f) = 1/k, \quad D_{\text{дБ}} = D_{\text{дБ}}(f) = 20 \lg D.$$

Включите в схему ППФ и, действуя аналогично, измерьте его АЧХ.

Результаты измерений и расчетов занесите в таблицу по форме 1 (см. приложение).

#### **1.4.4. Измерение полосы пропускания и неравномерности АЧХ ФНЧ и ППФ**

Полосой пропускания, полосой прозрачности или рабочей полосой обычно называют диапазон частот, в котором уровень АЧХ ФНЧ или ППФ не ниже некоторого (заданного относительно  $k_{\max}$ ) уровня. Иногда указанный уровень задают относительно  $k_0$ . Границы полосы пропускания называют частотами среза фильтра по заданному уровню. Чаще всего полоса пропускания фильтров отсчитывается по уровню  $0,707 k_{\max}$  (уровень  $-3$  дБ).

Для точного измерения частот среза и полосы пропускания фильтра используют контрольные линии по уровню АЧХ.

\* Для установки контрольной линии по уровню АЧХ  $-3$  дБ измерьте значение максимального уровня АЧХ  $k_{\text{дБ max}}(f)$ . Включите кнопку "ВЫВОД КА1". В зоне 1 экрана появится надпись "КА = ?", в зоне 3 - надпись "КА". На клавиатуре наберите число ( $|k_{\text{дБ max}}| + 3$ ), которое будет зафиксировано на экране вместо знака "?" и нажмите кнопку "ВВОД". На экране появится горизонтальная линия, соответствующая уровню  $-3$  дБ относительно  $k_{\max}(f)$ . Надписи в зонах 1 и 3 экрана исчезнут.

Действуя аналогично, введите вторую линию по уровню  $-20$  дБ. Устанавливая линию частотной метки в точки пересечения контрольных линий и кривой АЧХ, измерьте частоты среза и определите полосы пропускания фильтра по этим уровням, т.е.  $\Delta f_{-3 \text{ дБ}}$  и  $\Delta f_{-20 \text{ дБ}}$  соответственно. Рассчитайте коэффициент прямоугольности

$$K_{\text{п}} = \Delta f_{-3 \text{ дБ}} / \Delta f_{-20 \text{ дБ}}.$$

Исследуемые фильтры имеют АЧХ с пульсациями в пределах полосы пропускания. Для измерения неравномерности или уровня пульсаций АЧХ фильтра в полосе пропускания используют контрольные линии по частоте, помещая их на частоты среза по уровню  $-3$  дБ.

\* Для установки контрольной линии по частоте поместите частотную метку на нижнюю частоту среза и нажмите кнопку "ВЫВОД KF1". В зоне 3 появится надпись "KF". Нажмите кнопку "ВВОД" и удерживайте ее до исчезновения надписи "KF". Действуя аналогично, установите контрольную линию на верхнюю частоту среза. Перемещая частотную метку между контрольными линиями, определите минимальное  $k_{\text{дБ min}}$  и максимальное  $k_{\text{дБ max}}$  значения АЧХ, исключая значения на граничных частотах. Рассчитайте неравномерность АЧХ фильтра  $\delta k_{\text{дБ}}$  как модуль разности этих значений.

#### **1.4.5. Измерение фрагмента АЧХ с повышенной точностью**

В приборе Х1-53 измерения ведутся на фиксированных 512 значениях частоты. Как следствие, точность измерений при установке максимального диапазона качания иногда (на определенных участках кривой АЧХ) недостаточна. Измерьте такой фрагмент (скат) АЧХ ФНЧ или ППФ (по своему выбору), растянув его изображение.

Установите уменьшенный диапазон качания частоты, используя процедуру коррекции граничных частот диапазона качания.

\* Для коррекции граничной частоты диапазона качания нажмите кнопку "КОРР". В зоне 3 экрана появится надпись "КОР". Установите частотную метку в положение, соответствующее выбранной новой нижней или верхней частоте диапазона. Включите кнопку ввода соответствующей ("F1" или "F2") частоты, затем нажмите кнопку "ВВОД", удерживая последнюю до момента перезаписи частоты метки в зону 5 или 7 экрана. Надпись "КОР" в зоне 3 исчезает. На экране появится растянутое изображение фрагмента АЧХ. Другая граничная частота (при необходимости) корректируется аналогично.

\* Замечание. Преимуществом процедуры коррекции по сравнению с процедурой установки нового диапазона качания является возможность продолжения работы без повторной калибровки (команда "ОБЩИЙ СБРОС" не используется). Данные калибровки сохраняются в ОЗУ МПС, хотя в зоне 6 экрана и появляется надпись "НЕКАЛИБР".

Результаты измерений и расчетов занесите в таблицу по форме 1.

#### **1.4.6. Измерение АЧХ полосно-заграждающего (режекторного) фильтра**

Вновь установите II поддиапазон качания частоты и проведите калибровку прибора Х1-53 (см. 1.4.1 и 1.4.2). Включите в схему полосно-заграждающий фильтр. Особенностью АЧХ ПЗФ является большое (более 24 дБ) ослабление, вносимое фильтром в полосе заграждения. Поэтому некоторые фрагменты АЧХ в основном рабочем режиме на экране не наблюдаются (ограничены снизу), однако данные измерений уровня АЧХ в зоне 2 экрана достоверны, по крайней мере до значений порядка –30 дБ.

Проведите измерения АЧХ фильтра (20–25 точек) в дБ, выбирая:

– линейный масштаб по уровню,  $k_{yc}=1$  (кнопка "РЕЖИМ" включена, кнопки "ПРЕДЕЛЫ УСИЛЕНИЯ" выключены). Метку устанавливайте и на не наблюдаемые участки АЧХ;

– линейный масштаб по уровню, ручная регулировка  $k_{yc}$  (кнопка "РЕЖИМ" включена, используются кнопки "ПРЕДЕЛЫ УСИЛЕНИЯ"). Выбирайте  $k_{yc}$  БИ так, чтобы ограниченные снизу фрагменты АЧХ попа-

дали в рабочую зону экрана (наблюдались). Метку устанавливайте на те же частоты, что и в предыдущем случае;

– линейный масштаб по уровню, автоматическая регулировка  $k_{yc}$  (кнопка "РЕЖИМ" выключена). Повторите измерения на тех же частотах;

– логарифмический масштаб по уровню,  $k_{yc}=1$  (кнопка "РЕЖИМ" включена, кнопки "ПРЕДЕЛЫ УСИЛЕНИЯ" выключены, кнопка "lg A" включена). В этом режиме динамический диапазон прибора увеличивается до 72 дБ и вся кривая АЧХ размещается в рабочей зоне экрана без ограничений. Повторите измерения на тех же частотах.

Результаты измерений занесите в таблицу по форме 2.

#### **1.4.7. Измерение полосы заграждения и неравномерности АЧХ ПЗФ**

Полосой заграждения (режекции) или рабочей полосой называют диапазон частот, в котором уровень АЧХ ПЗФ не превышает некоторый заданный относительно  $k_0$  уровень. Реже используют определение полосы относительно максимального вносимого фильтром ослабления (значения  $k_{дБ\ min}$ ). Границы полосы заграждения называют также частотами среза ПЗФ.

Проведите измерения полосы заграждения в основном рабочем режиме и линейном масштабе по уровню, с ручной регулировкой  $k_{yc}$  (кнопка "lg A" выключена, кнопка "РЕЖИМ" включена, используются кнопки "ПРЕДЕЛЫ УСИЛЕНИЯ"). Используйте контрольные линии КА1 и КА2, установив их по абсолютным (т.е. относительно 0 дБ) уровням –20 дБ и –3 дБ. (см. 1.4.4).

Установив удобный для наблюдения  $k_{yc}$ , измерьте частоты среза по этим уровням и определите полосы  $\Delta f_{20\ дБ}$  и  $\Delta f_{3\ дБ}$ . Рассчитайте коэффициент прямоугольности АЧХ ПЗФ

$$K_{\Pi} = \Delta f_{20\ дБ} / \Delta f_{3\ дБ}.$$

При измерении неравномерности АЧХ ПЗФ установите:

– контрольные линии KF1 и KF2 на частотах среза по уровню –20 дБ (см. 1.4.4),

– значения  $k_{yc}$ , удобные для наблюдения и измерения  $k_{дБ\ min}$  и  $k_{дБ\ max}$  в полосе заграждения. Определите  $k_{дБ\ min}$  и  $k_{дБ\ max}$ , исключая значения АЧХ на частотах среза. Рассчитайте неравномерность АЧХ ПЗФ  $\delta k_{дБ}$  как модуль разности этих значений.

#### **1.4.8. Сравнительные исследования АЧХ**

В основном рабочем режиме и линейном масштабе по уровню, при  $k_{yc}=1$  (кнопка "РЕЖИМ" включена, кнопки "ПРЕДЕЛЫ УСИЛЕНИЯ" выключены), нажмите кнопку К лабораторного макета. На экране появится линия опорного уровня АЧХ  $k_0$ . Запишите её изображение в ОЗУ, включив кноп-

ку "X→П". Отпустите кнопку К. На экране вновь появится изображение АЧХ ПЗФ. Включите кнопку "П". На экране одновременно с АЧХ ПЗФ воспроизводится линия опорного уровня.

Включая переключателем П1 в схему исследованные фильтры, наблюдайте и зарисуйте взаимное расположение их АЧХ и линии  $k_0$ .

Выключите кнопки "П" и "X→П". Включите в схему исследованный ранее ФНЧ или ППФ. Запишите изображение АЧХ фильтра в ОЗУ. Поставьте переключатель "R<sub>н</sub>" макета в положение "200 кОм".

При этом на экране появится АЧХ, отличная от расчетной из-за рассогласования фильтра и нагрузки. Кнопкой "П" включите режим воспроизведения записанной АЧХ, сравните кривые и зарисуйте полученное изображение.

Для сравнения АЧХ иногда удобно использовать режим индикации разности между исследуемой АЧХ и данными памяти. Войдите в этот режим, выключив кнопку "П" и включив кнопку "X/П". Полученное изображение зарисуйте.

### **Содержание отчета**

Отчет должен содержать структурную схему измерителя АЧХ Х1-53, таблицы, графики, рисунки, результаты расчетов, выводы.

### **1.5. Контрольные вопросы**

1. Объясните принцип действия панорамных измерителей АЧХ.
2. Сформулируйте и объясните преимущества микропроцессорного измерителя АЧХ в сравнении с "аналоговым" панорамным измерителем.
3. Почему в БИ Х1-53 предусмотрен электронно-счетный частотомер?
4. Объясните, почему в числе прочих технических данных прибора Х1-53 указывают значения входного импеданса БИ и выходного сопротивления БГ.
5. Как следует учитывать при работе с прибором Х1-53 входное сопротивление БИ и выходное сопротивление БГ?
6. Для чего в БГ измерителя Х1-53 предусмотрена возможность включения и выключения внутренней нагрузки?
7. Используя прибор Х1-53, можно производить измерение частотных характеристик импедансов двухполюсников. Предложите способ включения двухполюсника в схему установки.
8. В каких случаях необходимо применение режимов усреднения (" $\Sigma/N$ ") и увеличения времени измерения (" $T \times N$ ")?
9. В каких случаях при изменении диапазона качания частоты следует (не следует) заново калибровать прибор Х1-53?
10. Как следует действовать при настройке радиоэлектронного устройства по образцовой АЧХ?

11. В каких случаях целесообразно использование логарифмических масштабов по уровню АЧХ и по частоте?
12. Дайте определение полосы прозрачности ППФ и полосы заграждения ПЗФ.

### Список рекомендуемой литературы

1. Винокуров В.И., Каплин С.И., Петелин И.Г. Электрорадиоизмерения.—М.: Высш. шк., 1986. — С.274-289.
2. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы.—М.: Сов.радио, 1963. — С.329-335, 680-684.

### Приложение

#### Рекомендуемые формы таблиц

Форма 1

f, кГц	$f_1$	$f_2$	...	...	$f_n$
$k_{дБ}$					
$k$					
$D_{дБ}$					
$D$					

Форма 2

f, кГц	$f_1$	$f_2$	...	$f_n$
$k_{дБ}$ (масшт.лин., $k_{ус} = 1$ )				
$k_{дБ}$ (масшт.лин., $k_{ус}$ ручн. рег.)				
$k_{дБ}$ (масшт.лин., $k_{ус}$ авт. рег.)				



$k_{дБ}$ (масшт. lg, $k_{yc} = 1$ )				
-------------------------------------	--	--	--	--

Форма 3

Установка		Эксперимент			Параметр	
$\Delta f$	N	$f_p$	$u_0$	$\Delta f_0$	V	$\mu$
$\Delta f_I$	1				$2 \cdot 10^3$	$\mu_I$
$\Delta f_I$	1				$V_I$	$\mu_I$
...	1				...	...
$\Delta f_k$	1				$V_k$	$\mu_k$
$\Delta f_k$	$N_I=2$				$V_{kI}$	$\mu_{kI}$
...	...				...	...
$\Delta f_k$	$N_n=2^n$				$V_{kn}$	$\mu_{kn}$
“ОСТАНОВКА”					0	0

Форма 4

$\mu$	Относительная погрешность					
	Эксперимент			Расчет		
	$\Delta u/u_0$	$\delta f_0/f_p$	$\delta \Delta f_0/f_p$	$\Delta u/u_0$	$\delta f_0/f_p$	$\delta \Delta f_0/f_p$
$\mu_I$						
...						
$\mu_{kn}$						

## СОДЕРЖАНИЕ

### 1. ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

ПАНОРАМНЫМ МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ ИЗМЕРИТЕЛЕМ Х1-53.....	3
1.1.Принцип действия и структурная схема измерителя АЧХ Х1-53.....	3
1.2.Режимы работы прибора.....	8
1.3.Лабораторная установка.....	11
1.4.Задание и указания к выполнению работы.....	12
1.5.Контрольные вопросы.....	17
2. ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСКАЖЕНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ АЧХ ПАНОРАМНЫМ ИЗМЕРИТЕЛЕМ.....	18
2.1.Искажения статической АЧХ, связанные с динамическим режимом работы прибора .....	18
2.2.Лабораторная установка.....	21
2.3.Задание и указания к выполнению работы.....	21
2.4.Контрольные вопросы.....	26
Список рекомендуемой литературы.....	26
Приложение	
Рекомендуемые формы таблиц.....	27

Редактор Э.К. Долгатов  
Лицензия ЛР № 020617 от 10.08.92

Подписано в печать 31.12.96. Формат 60×84 1/16. Бумага тип. №2.  
Печать офсетная. Усл.печ.л. 1,62. Уч.-изд.л. 1,75.  
Тираж 100 экз. Заказ  
Издательско-полиграфический центр ГЭТУ

197376

, С.-Петербург, ул.Проф.Попова, 5