

В. Я. СЕЛИН

ИЗМЕРИТЕЛИ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

по курсу

„ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ“

Для дневной и вечерней форм обучения

Утверждено
на заседании редсовета
2 декабря 1976 г.

МОСКВА — 1977

Глава I. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

1.1. Структурная схема и принцип действия измерителя амплитудно-частотных характеристик

Важнейшей характеристикой четырехполюсника, особенно часто используемой при анализе и синтезе радиотехнических цепей, является зависимость его коэффициента передачи от частоты

$$K(i\omega) = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1}, \quad (1.1)$$

где \dot{U}_1 и \dot{U}_2 — комплексные амплитуды входного и выходного напряжения четырехполюсника соответственно.

Коэффициент передачи удобно представить в следующей форме:

$$\dot{K}(i\omega) = K(\omega) e^{i\varphi(\omega)}. \quad (1.2)$$

Модуль $K(\omega)$ часто называют амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) четырехполюсника, аргумент $\varphi(\omega)$ — фазочастотной характеристикой четырехполюсника.

Экспериментально АЧХ можно получить следующим образом. На вход четырехполюсника подается синусоидальное напряжение известной частоты $f = \frac{\omega}{2\pi}$ и амплитуды $U_1(\omega)$. Измерив амплитуду выходного напряжения $U_2(\omega)$, можно вычислить значение АЧХ для частоты ω $K(\omega) = \frac{U_2(\omega)}{U_1(\omega)}$. Изменяя частоту и повторяя все операции, можно построить полную АЧХ четырехполюсника.

Процесс снятия АЧХ можно несколько упростить, если амплитуду подаваемого напряжения поддерживать одной и той же для всех частот. Тогда с точностью до постоянного множителя зависимость амплитуды выходного напряжения от частоты повторит АЧХ четырехполюсника.

Но и в этом случае процесс снятия характеристик весьма трудоемок и особенно неудобен при настройке четырехполюсника с целью получения заданной АЧХ, когда всю процедуру необходимо повторять после каждого изменения элемента настройки. Снижение трудоемкости и ускорение процесса снятия АЧХ достигается применением специальных приборов — измерителей частотных характеристик (ИАЧХ).

ИАЧХ — прибор, содержащий генератор качающейся частоты (ГКЧ) с плавным изменением частоты и осциллографический индикатор, обеспечивающий визуальное наблюдение АЧХ и измерение их параметров.

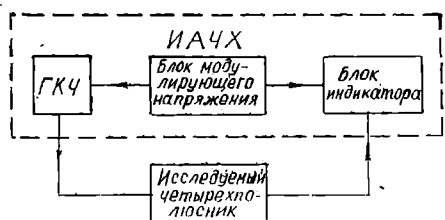


Рис. 1.1. Структурная схема измерения АЧХ четырехполюсника

синхронно с изменением частоты ГКЧ (рис. 1.2, а). Частотно-модулированное напряжение постоянной амплитуды $U_{вх}$ с ГКЧ (рис. 1.2, б) подается на вход исследуемого четырехполюсника. Каждому значению меняющейся частоты входного сигнала соответствует определенный коэффициент передачи, поэтому амплитуда

Структурная схема ИАЧХ представлена на рис. 1.1. Качание частоты ГКЧ осуществляется пилообразным напряжением, которое в простейшем случае совпадает по форме с напряжением горизонтального отклонения луча индикатора (рис. 1.2, д). Перемещение луча вдоль горизонтальной оси экрана происходит

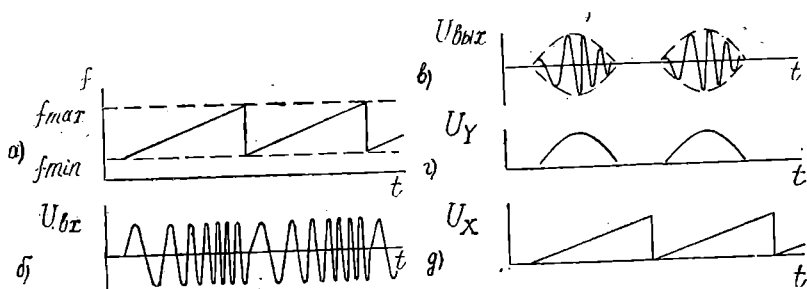


Рис. 1.2. Эпюры напряжений:

а — закон изменения частоты ГКЧ; б — напряжение на входе четырехполюсника; в — напряжение на выходе четырехполюсника; г — напряжение на Y-пластинах индикатора; д — напряжение на X-пластинах индикатора

выходного напряжения $U_{вых}$ изменяется в соответствии с его АЧХ (рис. 1.2, в). Напряжение с выхода четырехполюсника подается на вход вертикального канала осциллографического индикатора, и на экране вычерчивается амплитудно-частотно-модулированное колебание, огибающая которого повторяет форму АЧХ устройства.

Для получения на экране индикатора ИАЧХ амплитудно-частотной характеристики четырехполосника в виде односторонней кривой, более удобной для исследования, напряжение $U_{вх}$ предварительно детектируется амплитудным детектором и протектированное напряжение (см. рис. 1.2, г) подается на вертикально-отклоняющие пластины индикатора ИАЧХ.

На время обратного хода луча индикатора ГКЧ запирается и на экране видна горизонтальная линия нулевого уровня.

Таким образом, на экране прибора за время прямого хода луча автоматически вычерчивается АЧХ исследуемого четырехполосника, причем ось абсцисс индикатора ИАЧХ является осью частот.

Структурная схема на рис. 1.1 максимально упрощена и иллюстрирует лишь принципиальную возможность визуального наблюдения АЧХ. Современные ИАЧХ снабжены дополнительными вспомогательными блоками, позволяющими измерять амплитудные и частотные параметры исследуемых АЧХ. Более подробно структурные схемы ИАЧХ будут рассмотрены после ознакомления с принципами построения отдельных блоков ИАЧХ.

1.2. Генератор качающейся частоты

Колебания качающейся частоты создаются в автогенераторе, у которого периодически изменяется либо L или C в задающем контуре LC -генератора, либо R или C в фазосдвигающей цепи RC -генератора.

1. Автогенератор с варикапом в контуре

Наиболее перспективным и часто встречающимся в современных ИАЧХ способом качания частоты автогенератора является изменение емкости контура с помощью варикапа — полупроводникового диода с электрически управляемой емкостью. Варикап — диод, всегда работающий при обратном напряжении смещения. Емкость p - n -перехода зависит от величины напряжения смещения следующим образом [2]:

$$C = \frac{A}{(U + \varphi_k)^n}, \quad (1.3)$$

где A — постоянная величина, определяемая геометрией и физическими свойствами перехода; φ_k — контактная разность потенциалов перехода; U — внешнее напряжение, приложенное к переходу; в нашем случае оно состоит из модулирующего и высокочастотного напряжений; n — показатель, определяемый концентрацией и распределением примесей в переходе и в большинстве случаев равный $\approx \frac{1}{2} + \frac{1}{3}$.

Типичные схемы включения варикапа в контур показаны на рис. 1.3. Схема 1.3, а обеспечивает максимальный коэффициент перекрытия рабочего диапазона частот. Но при таком способе включения на достаточно высоких частотах добротность всей колебательной системы может определяться сравнительно низкой добротностью варикапа. Схема 1.3, б, реализуя меньший коэффициент перекрытия по частоте, уменьшает влияние потерь варикапа на добротность колебательной системы генератора.

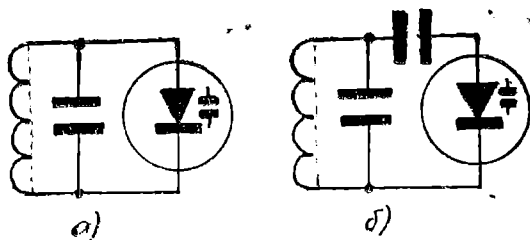


Рис. 1.3. Способы включения варикапов

Следует обратить внимание на особенности работы автогенератора, перестраиваемого варикапом при достаточно большом уровне генерируемого сигнала, когда соизмеримы величины высокочастотных колебаний и модулирующего напряжения. В этом случае изменение емкости с частотой генерируемых колебаний становится соизмеримым с величиной средней емкости варикапа, что приводит к существенному искажению формы генерируемых колебаний (особенно при небольших значениях начальной емкости контура). Кроме того, из-за нелинейной зависимости емкости варикапа от управляющего напряжения смещается среднее значение емкости контура, что снижает стабильность средней частоты генератора. Эти эффекты начинают проявляться, когда переменная составляющая достигает трети постоянной.

Допустимый уровень переменной составляющей можно увеличить использованием для модуляции двух варикапов, включенных, как показано на рис. 1.4. Варикапы включены по модулирующему сигналу параллельно, а по переменной (высокочастотной) составляющей последовательно. В результате переменное напряжение, подводимое к каждому варикапу, уменьшается вдвое. Кроме того, благодаря встречному включению мгновенные изменения емкости варикапов в такт с высокочастотным напряжением теперь противоположны

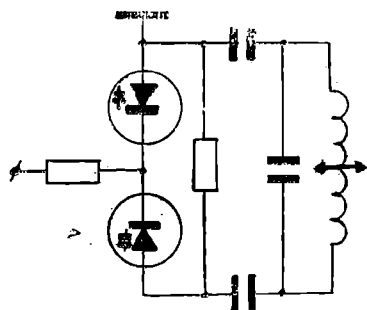


Рис. 1.4. Встречное включение варикапов

в такт с высокочастотным напряжением теперь противоположны

по знаку. Это, во-первых, уменьшает нелинейные искажения генерируемого колебания, во-вторых, увеличивает стабильность средней частоты. И, наконец, следует отметить, что модуляционная характеристика (зависимость частоты от подводимого напряжения) в ЧМ-генераторах с варикапами — нелинейная.

2. Автогенератор с управляемым ферритом в контурной катушке

Из других возможных способов качания частоты рассмотрим особенности построения ГКЧ с использованием ферритовых модуляторов. Такие ГКЧ имеют меньшую стабильность частоты, но обеспечивают более широкие полосы качания при сравнительно простом способе управления [3]. Упрощенная принципиальная схема такого ГКЧ приведена на рис. 1.5. Автогенератор собран на лампе Л1 по схеме емкостной трехточки. Катушка L2 контура

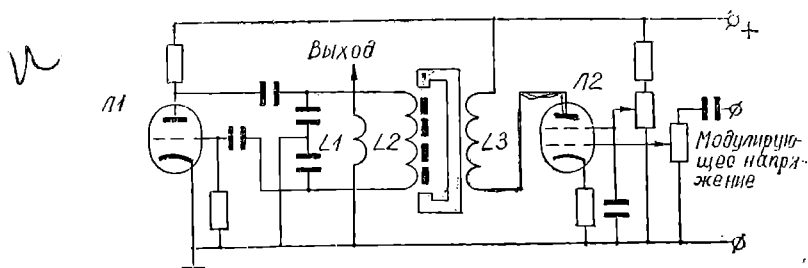


Рис. 1.5. ГКЧ с ферритовым частотным модулятором

автогенератора намотана на ферритовом сердечнике. Этот сердечник помещен между полюсами электромагнита. При изменении тока, протекающего по индуктивности L3, изменяется поле между полюсами электромагнита и, следовательно, изменяется проницаемость ферритового сердечника и индуктивность контурной катушки L2. Таким образом, необходимое изменение частоты автоколебания получается управлением тока электромагнита L3. Полоса качания определяется уровнем модулирующего напряжения, а средняя частота качания — потенциалом второй сетки Л2.

На сверхвысоких частотах частотно-модулированное колебание получают подачей пилообразного напряжения на отражатель клистрона (узкая полоса) или механически перестраивая резонатор (широкая полоса). Широкополосным генератором с электрическим качанием частоты служит генератор на лампе обратной волны, на ускоряющий электрод которой подается модулирующее напряжение.

3. ГКЧ с использованием преобразователей частоты

С увеличением отношения полосы качания к средней частоте ЧМ-колебаний ГКЧ, выполненного по схеме автогенератора с пе-

рестраиваемым элементом задающего контура, растет паразитная амплитудная модуляция. Для уменьшения уровня этой модуляции в ИАЧХ приходится либо предусматривать схему автоматической регулировки амплитуды (АРА) выходного напряжения ЧМ-генератора, либо выполнять ГКЧ с использованием преобразования частоты. Применение преобразования частоты дополнительно позволяет создавать широкую полосу качания, не зависящую от средней частоты автогенератора.

Структурная схема такого ГКЧ приведена на рис. 1.6. На смеситель подаются два колебания: с диапазонного генератора (частота f_d) и с автогенератора частотно-модулированных колебаний (частота $f_{чм}$).

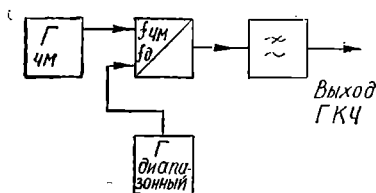


Рис. 1.6. Структурная схема ГКЧ

Взаимодействие этих напряжений на нелинейном элементе смесителя приводит к появлению на выходе преобразователя сложного спектра частот. В общем случае в нем присутствуют частоты смешиваемых колебаний, их гармоники, а также различного рода комбинационные частоты. Фильтр нижних частот выделяет составляющие спектра с частотами $|f_{чм} - f_d|$. Полоса качания теперь определяется девиацией частоты ЧМ-автогенератора, а средняя частота — частотой диапазонного генератора.

Следует отметить, что в рассмотренной схеме построения ГКЧ появляется дополнительный источник паразитных колебаний — неотфильтрованные гармоники и комбинационные частоты. Но в таких ГКЧ применением сложных схем преобразователей (балансных и кольцевых) удастся обеспечить зависимость выходного напряжения ГКЧ только от амплитуды генератора фиксированной частоты, стабильность которой выше, чем у ЧМ-генератора.

1.3. Линеаризация частотного масштаба в ИАЧХ

Поскольку в ИАЧХ изменение частоты ГКЧ и развертка луча электронно-лучевой трубки индикатора осуществляется одним и тем же модулирующим напряжением, то выбор формы этого напряжения несуществен. Для получения линейного частотного масштаба важно обеспечить линейную зависимость между отклонением луча индикатора и изменением частоты ГКЧ.

Отклонение частотного масштаба от линейного определяется нелинейностью модуляционной характеристики ГКЧ, нелинейными искажениями усилителя горизонтального канала и нелинейностью отклоняющей системы индикатора. Нелинейность частотного масштаба приводит к искажению формы АЧХ на экране индикатора и является источником погрешности определения частоты какой-либо точки АЧХ, находящейся между частотными метками.

В современных ИАЧХ для управления частотой ГЧЧ формируется модулирующее напряжение специальной формы. Форма подбирается такой, чтобы с учетом реальной модуляционной характеристики примененного модулятора и формы отклоняющего напряжения обеспечивался заданный частотный масштаб (линейный или логарифмический). Для этого создается четырехполюсник с динамической характеристикой $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ специальной формы. При подаче на его вход горизонтально-отклоняющего напряжения U_x на выходе получается модулирующее ГЧЧ напряжение U_m такой формы, что связь между частотой выходного сигнала ГЧЧ и отклонением луча является заданной (линейной или логарифмической).

При технической реализации фактически вырабатывается кусочно-линейная аппроксимация требуемой формы модулирующего напряжения. При этом заранее оговоренный интервал значений аргумента заданной функциональной зависимости $f(U_x)$ разбивают на ряд подынтервалов, на которых $f(U_x)$ заменяется кусочно-линейной функцией $\Phi(U_x)$.

На рис. 1.7, а функция $\Phi(U_x)$ выбирается так, чтобы ошибка аппроксимации, оставаясь на каждом участке одного знака, не превосходила по абсолютной величине предельного значения Δ_m .

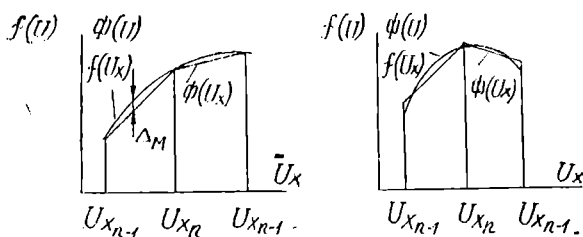


Рис. 1.7. Кусочно-линейная аппроксимация функций

Аппроксимация $\Phi(U_x)$, приведенная на рис. 1.7, б, допускает любой знак погрешности Δ на каждом участке, лишь бы $|\Delta| \leq \Delta_m$. При таком выборе построения аппроксимирующей функции увеличивается допустимая длина подынтервалов и, следовательно, уменьшается общее количество интервалов аппроксимации.

Рассматриваемый способ создания модулирующего напряжения сравнительно просто реализуется с помощью пассивных кусочно-линейных диодных функциональных преобразователей (КЛДФП) [4].

На рис. 1.8, а приведен пример КЛДФП воспроизведения монотонной функции с положительной убывающей производной (рис. 1.8, б). Постоянное напряжение с помощью делителя $r1 \div r(N+1)$ (пороговой цепочки) запирает диоды Д1 ÷ ДN опорными напряжениями $U_{01}, U_{02}, \dots, U_{0,N}$ соответственно. Пороговая цепочка полагается низкоомной, т. е. $r_n \ll R_n$.

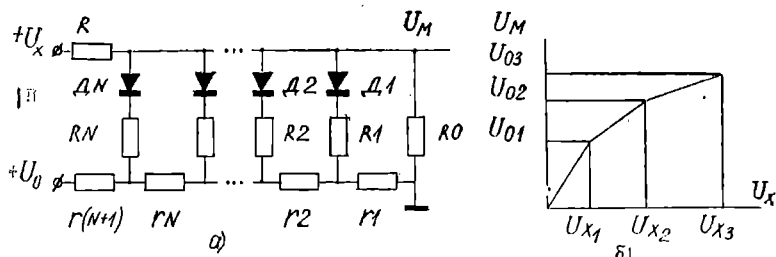


Рис. 1.8. Моделирование монотонной функциональной зависимости с убывающей положительной производной

Выходное напряжение U_m на каждом i -м подынтервале $U_{0(i-1)} \div U_{0i}$ является линейной функцией входного напряжения U_x . $U_m = k_i U_x$. Величина коэффициента k_i определяется выбором сопротивлений $R1 \div Ri$.

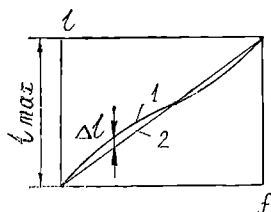


Рис. 1.9. Отклонение частотного масштаба от заданного: 1 — реальный закон; 2 — заданный

Погрешность воспроизведения моделируемой зависимости с помощью КЛДФП определяется погрешностью линейной аппроксимации Δ_m и инструментальной погрешностью $\Delta_{ин}$, обусловленной неточностью изготовления отдельных элементов преобразователя.

Степень близости реального частотного масштаба к требуемому (линейному или логарифмическому) в соответствии с ГОСТ 17023—71 характеризуется величиной K_m (отклонения частотного масштаба от заданного), определяемой по формуле

$$K_m = \pm \frac{\Delta l}{l_{\max}} \cdot 100,$$

где Δl — максимальное отклонение реального от заданного закона частотного масштаба в мм (рис. 1.9);

l_{\max} — рабочая ширина экрана индикатора, соответствующая заданной полосе качания, мм.

В современных ГКЧ, использующих КЛДФП для линейризации, отклонение частотного масштаба от заданного не более $\pm 5\%$.

1.4. Основные источники погрешностей измерения относительной амплитуды АЧХ

В соответствии с ГОСТ 17023—71 относительная амплитуда — это амплитуда любой отдельной точки наблюдаемой АЧХ, взятая

относительно амплитуды определенной точки АЧХ или напряжения, заданных технической документацией на прибор. Чаще всего относительная амплитуда отсчитывается относительно максимума АЧХ. Наиболее просто относительную амплитуду можно определить через результаты прямых измерений ординат $K(\omega_1)$ и $K(\omega_2)$ наблюдаемой АЧХ (рис. 1.10)

$$A = 20 \lg \frac{K(\omega_1)}{K(\omega_2)} \text{ дБ.} \quad (1.4)$$

Погрешность измерения A определяется погрешностями измерения отдельных ординат, которые обусловлены неравномерностью выходного напряжения ГЧЧ, нелинейностью амплитудных характеристик детектора и усилителя вертикального отклонения индикатора, паразитной частотной модуляцией ГЧЧ и отличием динамической (наблюдаемой) АЧХ от статической. Рассмотрим отдельные составляющие этих погрешностей.

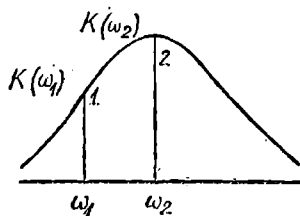


Рис. 1.10. АЧХ, наблюдаемая на экране индикатора

1. Неравномерность выходного напряжения

Величина выражается в децибелах и определяется соотношением (ГОСТ 17023—71).

$$\sigma = \pm 20 \lg \frac{U_{\max}}{U_{\min}} \text{ дБ,} \quad (1.5)$$

где U_{\max} и U_{\min} — соответственно амплитуды выходного напряжения ГЧЧ в полосе качания или в диапазоне частот.

Она непосредственно пересчитывается в погрешность измерения относительной амплитуды. Действительно,

$$A = 20 \lg \frac{K(\omega_1) U_{\text{вых}}(\omega_1)}{K(\omega_2) U_{\text{вых}}(\omega_2)} = A_{\text{ист}} + 20 \lg \frac{U_{\text{вых}}(\omega_1)}{U_{\text{вых}}(\omega_2)}, \quad (1.6)$$

где $A_{\text{ист}}$ — истинное значение относительной амплитуды $K(\omega_1)$ относительно $K(\omega_2)$, а второе слагаемое определяет погрешность измерения, обусловленную непостоянством выходного напряжения ИАЧХ.

2. Нелинейность амплитудной характеристики детектора

Эта нелинейность искажает выходное напряжение исследуемого четырехполюсника, и поэтому приводит к погрешности в измерении относительного ослабления. Например, положение точки 1 на АЧХ (см. рис. 1.10) теперь определяется напряжением $U_{\text{вых}}(\omega_1) K(\omega_1) \text{ tg } \alpha_1$, а точки 2 — $U_{\text{вых}}(\omega_2) K(\omega_2) \text{ tg } \alpha_2$, где α_1 и

α_2 определяются характеристикой детектора (рис. 1.11). Следовательно, погрешность измерения Δ_d , обусловленная нелинейностью характеристики детектора, может быть вычислена по формуле

$$\Delta_d = 20 \lg \frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \alpha_2} \quad (1.7)$$

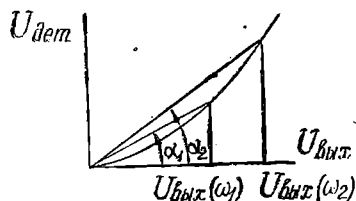


Рис. 1.11. Амплитудная характеристика детектора

Эта погрешность будет особенно велика при малых уровнях детектируемого напряжения.

3. Нелинейность амплитудной характеристики усилителя

Аналогичное воздействие на погрешность измерения относительной амплитуды оказывает нелинейность (или отклонение от заданного закона изменения) амплитудной характеристики усилителя. В ИАЧХ оговаривают допустимую величину K_l отклонения характеристики от заданного закона

$$K_l = \pm \frac{\Delta l_{\max}}{l_{\text{раб}}} \cdot 100\%,$$

где Δl_{\max} — наибольшее отклонение реальной характеристики от заданной; $l_{\text{раб}}$ — рабочая высота экрана индикатора.

4. Интегральная оценка влияния неравномерности выходного напряжения, нелинейности амплитудных характеристик детектора и усилителя

Суммарная погрешность от этих источников оценивается параметром σ' — неравномерностью собственной амплитудно-частотной характеристики. Его величина, выраженная в децибелах, определяется по формуле

$$\sigma' = \pm 20 \lg \frac{U'_{\max}}{U'_{\min}}, \quad (1.8)$$

где U'_{\max} и U'_{\min} — соответственно максимальная и минимальная амплитуды выходного напряжения ГКЧ в полосе качания (или в диапазоне частот), измеренные на собственном индикаторе прибора ИАЧХ, т. е. в этом случае выход ИАЧХ подается на вход усилителя либо через встроенный, либо через выносной детектор,

входящий в комплект ИАЧХ; в современных ИАЧХ $\sigma' = 0,15 \div 1,5$ дБ.

Следует отметить, что неравномерность выходного напряжения, нелинейность амплитудных характеристик детектора и усилителя вертикального канала, искажая соотношение амплитуд АЧХ, затрудняют ее визуальное восприятие. Поэтому, когда из-за особенностей схемы или методики измерений, не все из перечисленных погрешностей влияют на точность измерения относительной амплитуды АЧХ, все равно оговаривают предельно допустимые значения величин σ' и K .

5. Влияние паразитной частотной модуляции

Паразитная ЧМ — это результат самопроизвольного, нежелательного воздействия на частоту сигнала, вызываемого паразитными наводками, фоном и т. д. Наличие паразитной ЧМ приводит к колебаниям АЧХ на экране индикатора вдоль оси частот (рис. 1.12), что резко ухудшает качество воспроизведения АЧХ, особенно наиболее крутых ее участков. Величина этой составляющей погрешности $\Delta_{\text{пар}}$ измерения ординаты АЧХ определяется полосой $\Delta F_{\text{пар}}$ паразитной ЧМ и крутизной S АЧХ четырёхполюсников

$$\Delta_{\text{пар}} \approx S \cdot \Delta F_{\text{пар}} \quad (1.9)$$

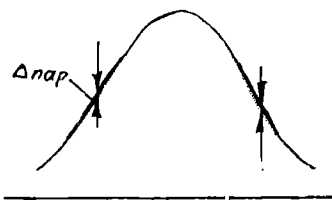


Рис. 1.12. Вид АЧХ исследуемого контура при наличии паразитной ЧМ

Задавая предельно допустимое значение этой погрешности и оговаривая максимально возможное значение крутизны АЧХ, можно определить допустимую полосу $\Delta F_{\text{пар}}$ паразитной ЧМ. В современных ИАЧХ в соответствии с ГОСТ 17023—71 допустимая полоса паразитной ЧМ не должна превышать $0,02 \div 0,05$ полосы качания.

6. Отличие динамической характеристики от статической.

При анализе АЧХ по отдельным точкам измерение ординат производится сравнительно долго. Во всяком случае переходные процессы в системе, связанные с перестройкой частоты от точки к точке, успевают закончиться, т. е. в статическом режиме измеряют «истинные» АЧХ. При автоматическом измерении АЧХ частота перестраивается гораздо быстрее. И если это изменение происходит достаточно быстро, начинает сказываться инерционность анализируемого фильтра. Наиболее интенсивные колебания развиваются не тогда, когда частота внешнего напряжения совпадает с частотой, соответствующей максимуму АЧХ, а несколько позже; максимальная амплитуда развиваемых колебаний меньше

величины резонансного напряжения в статическом режиме. Чем уже полоса и круче скаты наблюдаемой АЧХ, тем сильнее проявляются эти явления. Получаемая частотная характеристика, называемая динамической амплитудно-частотной характеристикой (ДАЧХ), может существенно отличаться от статической.

Простых формул, определяющих погрешность автоматического измерения АЧХ для любых четырехполюсников, пока нет. Наиболее наглядно об отличиях ДАЧХ от статической характеристики можно судить по результатам исследования одиночного колебательного контура, приведенных в [1], [5]. Отличия этих характеристик

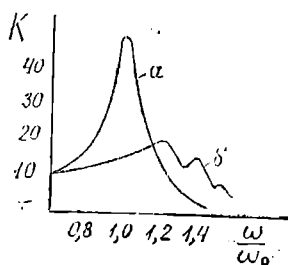


Рис. 1.13. Статическая (а) и динамическая (б) характеристики колебательного контура

(рис. 1.13) сводятся к следующему: при увеличении скорости перестройки частоты увеличивается сдвиг ДАЧХ в сторону изменения частоты, уменьшается амплитуда характеристики, кривая становится асимметричной, полоса пропускания увеличивается. Чтобы ДАЧХ одиночного колебательного контура мало отличалась от статической, скорость изменения частоты β — отношение разности пределов перестройки частоты ко времени, за которое происходит эта перестройка — должна выбираться из условия $\beta \leq 0,1 \div 0,3 \Delta f_{0,7}^2$. Это соотно-

шение может быть использовано для проверки наличия возможных динамических искажений при анализе АЧХ более сложной формы.

Возможен также другой эмпирический способ проверки отсутствия динамических искажений. Уменьшая полосу (или, если возможно, частоту) качания ГКЧ, наблюдаем за поведением АЧХ на экране индикатора. Если при этом максимум АЧХ не меняется, то динамическое искажение мало.

В ИАЧХ последних моделей для обеспечения выбора режима работы с малыми динамическими искажениями предусмотрена возможность изменения периода качания частоты. Кроме того, современные измерители АЧХ снабжаются стоп-меткой — меткой, образованной кратковременной остановкой качания частоты. Эту метку также можно использовать для проверки наличия динамических искажений и оценки их величины. А именно, устанавливаем стоп-метку на участок наибольшего наклона АЧХ. Если наблюдаемый участок АЧХ является восходящим по направлению движения луча и динамические искажения имеют место, то во время образования стоп-метки луч переместится вертикально вверх. Расстояние, на которое переместится луч, обусловлено отличием статической характеристики (она должна была бы пройти выше) от динамической. Если же стоп-метку разместить на участке с отрицательным наклоном (относительно движения луча), то во время ее образования луч сместится вниз на величину динами-

ческих искажений. Уменьшая полосу или период качания, можно выбрать оптимальный режим анализа АЧХ.

1.5. Методы измерения относительной амплитуды АЧХ

Рассмотрим наиболее употребительные методы измерения относительной амплитуды, позволяющие устранить (или существенно уменьшить) некоторые из перечисленных погрешностей.

На рис. 1. 14, а приведена структурная схема измерения относительной амплитуды, исключающая влияние нелинейности характеристик детектора и усилителя на результирующую погрешность измерения. Измерение производится с помощью калиброванного аттенюатора, который включается между выходом ИАЧХ и входом исследуемого четырехполюсника. Вначале при нулевом ослаблении аттенюатора на экране индикатора ИАЧХ отмечается горизонталь, на которой находится интересующая исследователя точка АЧХ. Затем введенным ослаблением калиброванного аттенюатора совмещаем вершину АЧХ с отмеченной горизонталью. Относительная амплитуда отсчитывается непосредственно по шкале калиброванного аттенюатора. При таком измерении требуется дополнительное согласование входа и выхода аттенюатора с трактом. Именно так измеряют относительную амплитуду в ИАЧХ типа XI-7Б.

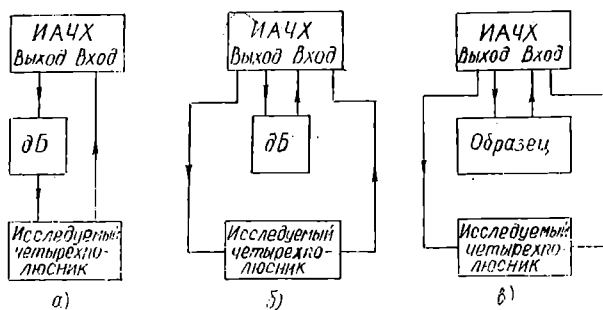


Рис. 1. 14. Структурная схема измерения относительной амплитуды

Структурная схема рис. 1. 14, б иллюстрирует методику измерения, которая в отличие от предыдущей дополнительно исключает влияние непостоянства выходного напряжения ГКЧ на точность измерения. Идея методики состоит в одновременной индикации АЧХ четырехполюсника и собственной амплитудно-частотной характеристики ИАЧХ. Отсчет ординат АЧХ четырехполюсника ведется относительно собственной АЧХ измерителя, поэтому ее неравномерность не влияет на точность измерения. Для реализации такой методики измерения ИАЧХ должен иметь два идентичных выхода ГКЧ и два одинаковых входных канала вертикального отклонения индикатора. С первого выхода ГКЧ колебания подаются

ся на исследуемый четырехполосник, выход которого подключен к первому входу ИАЧХ. Со второго выхода ГКЧ напряжение через калиброванный аттенюатор подается на второй вход ИАЧХ. Для увеличения идентичности входные каналы ИАЧХ, как правило, различаются только входными цепями, которые через коммутатор поочередно подключаются к одному и тому же усилителю. Поэтому на индикаторе одновременно видны обе АЧХ. Вначале устанавливается такое ослабление аттенюатора, чтобы обе характеристики совпадали в точке максимума АЧХ. Затем изменяется ослабление аттенюатора так, чтобы обеспечивалось совпадение характеристик в точке АЧХ четырехполосника, относительную амплитуду которой требуется измерить. Разность показаний аттенюатора и определит искомую величину.

Наличие двух каналов в ИАЧХ позволяет осуществить очень полезную в инженерной практике возможность настройки АЧХ исследуемого четырехполосника по АЧХ образцового. Для этого во второй канал ИАЧХ вместо калиброванного аттенюатора включается образцовый четырехполосник (см. рис. 1.14, в). В результате на экране индикатора одновременно наблюдаются две АЧХ — образцового и настраиваемого четырехполосников. До начала настройки следует проверить и отрегулировать идентичность усиления каналов.

1.6. Способы получения отметок частоты

Для измерения частоты выбранных точек наблюдаемой характеристики в ИАЧХ вырабатываются частотные метки, которые путем яркостной модуляции электронного луча или амплитудной модуляции видеосигнала воспроизводятся на АЧХ.

1. Использование АЧХ образцового четырехполосника в качестве частотной метки

Частотную метку можно получить, пропуская сигнал ГКЧ в блоке формирования меток через полосовой фильтр (рис. 1.15). Продетектированное выходное напряжение фильтра и используется в качестве частотной метки. На рис. 1.16, а представлены эпюры напряжений на входе и выходе фильтра (точки 1 и 2 соответственно) и на выходе детектора (точка 3). Первая эпюра — это форма выходного напряжения ГКЧ. Выходное напряжение фильтра (эпюра 2) — имеет и частотную и амплитудную модуляцию. Частотная модуляция определяется законом изменения частоты входного колебания в полосе фильтра, амплитудная — формой динамической амплитудно-частотной характеристики полосового фильтра. Местоположение метки на оси частот определяется резонансной частотой f_r фильтра. При подаче модулирующего напряжения метки в блок индикатора и использовании амплитудной модуляции для создания меток, на наблюдаемой АЧХ появится «всплеск» на

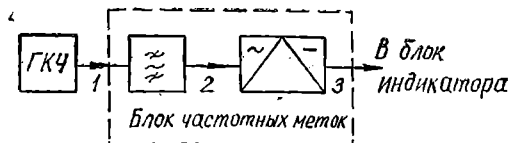


Рис. 1.15. Структурная схема получения частотной метки

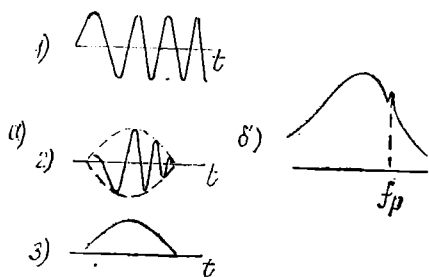


Рис. 1.16. Эпюры напряжений при формировании частотных меток

частоте f_p , форма которого определяется ДАЧХ фильтра (см. рис. 1.16, б). Изменяя частоту настройки фильтра, можно перемещать частотную метку вдоль АЧХ. Такой способ создания меток используется в панорамных измерителях СВЧ-диапазона.

2. Формирование частотных меток с использованием преобразования частоты

Наиболее часто в ИАЧХ метки получаются методом смешения колебаний ГКЧ и генератора калибровочной (опорной) частоты (рис. 1.17). Напряжение с выхода смесителя поступает в устройство формирования метки — в простейшем случае фильтр нижних частот (ФНЧ), т. е. блок-схема такого способа получения меток совпадает с блок-схемой построения ГКЧ с преобразованием частоты. Отличия формы выходного напряжения ГКЧ и формирователя меток определяются взаимным расположением (по оси частот) калибровочной частоты f_k и спектра $f_{\text{чм}}$ частотно-модулированного колебания, а также более узкой полосой ФНЧ в схеме генератора меток. Так, при формировании меток рассматриваемым способом частота f_k обязательно находится «внутри» полосы качания ЧМ-колебаний (рис. 1.18, а). В широкополосных ГКЧ такой случай также может встретиться (пример будет рассмотрен ниже), но все-таки чаще частота диапазонного генератора f_d ниже наименьшей частоты ГКЧ (рис. 1.18, б). Влияние взаимного расположения f_k и полосы качания $f_{\text{чм}}$ на форму выходного напряжения рассмотрим в предположении, что полоса ФНЧ выбрана так, как это делается в ГКЧ — чтобы пропускаться весь спектр разностных частот $|f_{\text{чм}} - f_k|$, а все другие комбинационные частоты подавлялись.

Закон изменения разностной частоты и форма выходного напряжения представлены на рис. 1.19, а и б для случаев $f_k > f_{\text{мин}}$ и $f_k < f_{\text{мин}}$ соответственно. В первом случае разностная частота линейно нарастает от $f_{\text{мин}} - f_k$ до $f_{\text{пик}} - f_k$. Выходное колебание — это ЧМ-колебание с постоянной амплитудой и линейным законом изменения частоты (см. рис. 1.19, б).

В случае $f_k > f_{\text{мин}}$, который и имеет место при создании частотных меток, разностная частота вначале уменьшается от $|f_{\text{мин}} - f_k|$ до нуля, а затем увеличивается до $|f_{\text{макс}} - f_k|$. Выходное колебание состоит как бы из двух ЧМ-колебаний (рис. 1.19, а) — вначале до сечения А с линейно падающей частотой, а после этого сечения — с линейно нарастающей. В момент совпадения текущего значения частоты ГКЧ с частотой калиброванного генератора можно создать частотную метку, если сузить полосу ФНЧ настолько, чтобы пропустить лишь колебания с частотой, близкой к нулю. Такой выбор полосы приведет к существенному изменению формы выходного напряжения — появится еще и амплитудная модуляция. Рассмотрим подробнее процесс формирования выходного напряжения. На

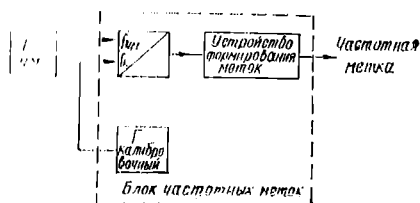


Рис. 1.17. Структурная схема формирования частотной метки

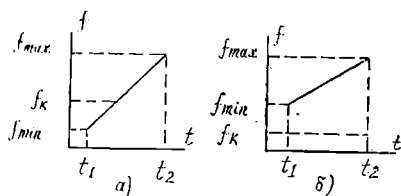


Рис. 1.18. Взаимное расположение спектра ЧМ и частоты калиброванного генератора

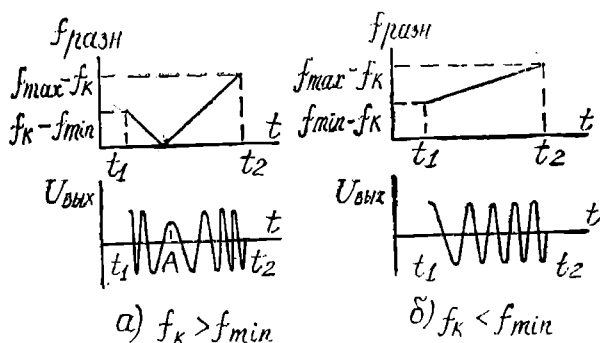


Рис. 1.19. Закон изменения разностной частоты и форма выходного напряжения

рис. 1.20, а представлены АЧХ используемого ФНЧ и условное обозначение мгновенного значения разностной частоты $f_{\text{разн}} = |f_{\text{см}} - f_{\text{к}}|$. Форма выходного напряжения (форма частотной метки) для случая медленного изменения частоты приведена на рис. 1.20, б. Вначале, до тех пор пока разностная частота, уменьшаясь от $|f_{\text{мин}} - f_{\text{к}}|$ до нуля (перемещаясь справа налево вдоль оси частот на рис. 1.20, а), остается больше частоты среза АЧХ фильтра, напряжение на выходе отсутствует (участок 0-1 на рис. 1.20, б). После того как разностная частота попадает в полосу прозрачности фильтра, на выходе генератора меток появляется колебание с амплитудной и частотной модуляцией. Пока разностная частота не достигла нулевого значения, закон изменения амплитуды является зеркальным отображением АЧХ ФНЧ. После достижения нулевого значения разностная частота увеличивается (перемещается слева направо на рис. 1.20, а) и амплитуда выходного напряжения повторяет АЧХ фильтра. При увеличении скорости перестройки частоты в ГКЧ закон изменения амплитуды выходного напряжения определится динамической амплитудно-частотной характеристикой ФНЧ (рис. 1.20, в).

Такой способ формирования частотных меток позволяет сравнительно просто создать набор неподвижных высокостабильных меток с фиксированным частотным масштабом. Для этого в качестве генератора калиброванной частоты используют кварцевый генератор с обогащенным спектром гармоник. Каждый раз, когда частота ГКЧ совпадает с частотой какой-либо гармоники кварцевого генератора, на выходе формирователя меток появляются импульсы «нулевых биений» — частотные метки. В результате на экране индикатора создается серия частотных меток, отстоящих друг от друга по частоте на расстоянии $f_{\text{кварца}}$.

Выравнивание спектра гармоник кварцевого генератора достигается тем, что коллекторная нагрузка усилителя калибровочных частот выполняется частотно-зависимой. Так, например, в анализаторе XI-40 опорные частоты передаются на смеситель через CLR-цепочку, как показано на рис. 1.21, а.

Для обогащения опорного напряжения гармониками, часть анодной нагрузки может шунтироваться нелинейным сопротивлением — диодом (например, как в ИАЧХ типа XI-7Б — рис. 1.21, б).

Рассматриваемый метод формирования частотных меток с использованием преобразования частоты позволяет создавать метки, частотное расстояние между которыми легко контролируется. Это особенно важно при настройке узкополосных устройств, когда затруднительно создание мелкого масштаба неподвижных меток.

Для этого напряжение калибровочного генератора (см. структурную схему рис. 1.17) модулируется по амплитуде колебанием с частотой $f_{\text{м}}$. В результате на смеситель поступает несущая частота $f_{\text{к}}$ и две боковые составляющие с частотами $f_{\text{к}} - f_{\text{м}}$ и $f_{\text{к}} + f_{\text{м}}$. Таким образом, на исследуемой АЧХ будут воспроизведены центральная метка с частотой $f_{\text{к}}$, отсчитываемой по шкале калибро-

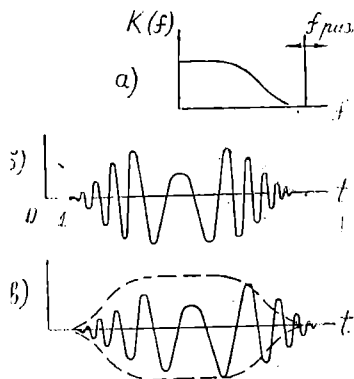


Рис. 1.20. ЛЧХ ФНЧ и форма метки

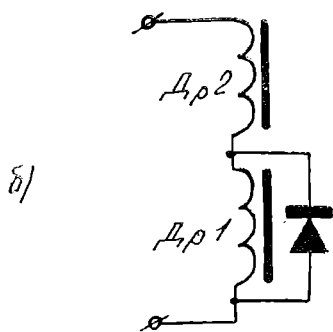
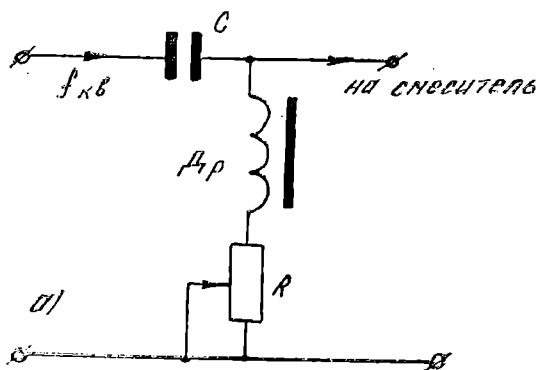


Рис. 1.21. Нагрузка усилителя гармоник кварца

кварцевого генератора, и две боковые метки (иногда называемые «метки полосы»), частотный интервал между которыми определяется по шкале генератора низкой частоты.

1.7. Погрешности измерения частотных параметров АЧХ

Эти погрешности складываются из неточности определения частоты в точках, отмечаемых меткой, и ошибок пересчета, когда интересующая нас точка АЧХ находится между частотными метками.

В рассмотренных способах формирования меток первая погрешность определяется величиной скорости качания частоты β (или полосой качания ΔF при фиксированном времени анализа) и погрешностью измерения (выставления) частоты калибровочного генератора.

Частоту, соответствующую метке, как правило отождествляют с местоположением максимального значения нагряжения метки. Огибающая этого напряжения при достаточно высокой скорости изменения частоты определяется динамической характеристикой ФНЧ. Следовательно, положение метки смещается на некоторую величину Δ_d в сторону изменения частоты относительно момента совпадения частот калибровочного генератора и ГКЧ. Кроме того, из-за конечной полосы АЧХ ФНЧ можно ошибиться в определении местоположения метки на величину Δ_n , равную примерно половине полосы ФНЧ в первом из рассмотренных методов формирования метки и полосе ФНЧ — во втором. Эта составляющая погрешности может быть уменьшена использованием специальных формирующих схем меток после ФНЧ. Например, можно уменьшить и ограничить снизу выходное напряжение фильтра. В результате остается короткий импульс, отмечающий вершину резонансной кривой.

Погрешность измерения частоты калибровочного генератора неподвижных меток существенно уменьшается использованием кварцевого генератора в качестве опорного. Для уменьшения подобной погрешности подвижных меток в современных ИАЧХ предусматривают разделение выхода внешнего генератора: одна часть выходного напряжения подается в блок частотных меток ИАЧХ, а другая — на частотомер.

Погрешность пересчета (интерполяционная погрешность) обусловлена отклонением закона изменения частоты от заданного. При линейном законе изменения частоты ГКЧ частота f_x анализируемой точки АЧХ определяется по формуле

$$f_x = f_1 + \frac{f_2 - f_1}{L} l, \quad (1.10)$$

где f_1 и f_2 — значение частоты меток, между которыми находится измеряемая частота; L — расстояние между метками; l — расстояние от начальной метки f_1 до измеряемой точки.

Погрешность измерения определяется погрешностью измерения f_1 , величиной отклонения Δf_d реального закона изменения частоты от линейного и погрешностью измерения относительного расстояния $\frac{l}{L}$. Для уменьшения последней составляющей рекомендуется метки f_1 и f_2 устанавливать на крайних вертикалях экрана. В ИАЧХ погрешность измерения частоты не должна превышать величины $\pm(10^{-3}f + 0,2\Delta F)$, где f — частота в измеряемой точке, Гц; ΔF — полоса качания прибора ИАЧХ, Гц (ГОСТ 17023—21).

1.8. Методы уменьшения погрешностей измерения частоты АЧХ

В современных измерителях для существенного уменьшения всех отмеченных погрешностей измерения частоты предусматривается создание стоп-метки — частотной отметки, получаемой остановкой качания частоты ГКЧ. Это может быть обеспечено, например, подключением к зарядной емкости C генератора пилообразного напряжения на некоторое время T_m дополнительной емкости C_m достаточно большой величины (рис. 1.22, а). Подключение емкости C_m (момент времени t_1 на рис. 1.22, б) резко уменьшает скорость нарастания отклоняющего напряжения, так, что на отрезке от t_1 до $t_1 + T_m$ это напряжение можно считать постоянным. Значит, будет постоянным и модулирующее напряжение, определяющее частоту ГКЧ.

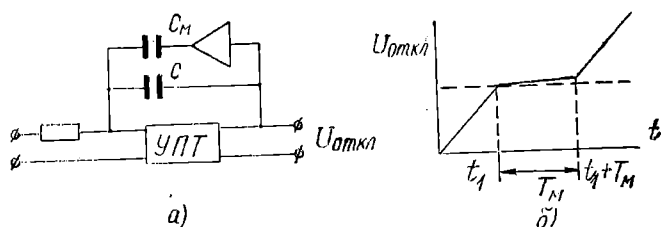


Рис. 1.22. Генератор стоп-метки (а) и линейно-ступенчатое напряжение развертки (б)

Таким образом, в течение времени T_m частота ГКЧ не меняется и луч на экране индикатора неподвижен. При этом на АЧХ образуется яркостная частотная метка, размеры которой определяются толщиной сфокусированного луча.

На время T_m к выходу ГКЧ подключают цифровой частотомер. Момент образования частотной метки и время, на которое подключен частотомер, определяются параметрами усилителя в цепи обратной связи (см. рис. 1.22, а). Перемещая метку по экрану индикатора, можно измерить частоту любой точки АЧХ исследуемого четырехполюсника.

При измерении частотных параметров с помощью стоп-метки отсутствуют погрешности, обусловленные ДАЧХ ФПЧ, и погрешность, вызванная отклонением закона изменения частоты ГКЧ от заданного. И результирующая погрешность измерения частоты стоп-меткой определяется лишь погрешностью используемого частотомера и разрешающей способностью трубки, определяемой соотношением толщины сфокусированной линии и рабочей ширины экрана и полосой качания ΔF .

Глава 2. ПРИМЕРЫ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

2.1. Приборы для настройки телевизоров — ИАЧХ типа XI-7A

С помощью прибора XI-7A можно осуществлять следующие операции:

1. Производить настройку усилителей высокой частоты телевизионных приемников на любом из 12 каналов телевизионного вещания.

2. Производить настройку усилителей промежуточной частоты каналов звука и изображения.

3. Настраивать частотный детектор и контролировать настройку ограничителя в канале звука.

4. Производить согласование кабеля с антенной и входными цепями телевизионного приемника.

Технические характеристики прибора

1. Диапазоны анализируемых частот, МГц: $0,4 \div 15$; $27 \div 60$; $55 \div 102$; $174 \div 232$.

2. Выходное напряжение не менее 50 мВ эфф.

3. Неравномерность выходного напряжения при полосе качания 10 МГц не превышает на первом диапазоне 10%; на втором 15%; на третьем 20% и на четвертом 30%.

4. Отклонение от линейного закона изменения частоты в полосе качания 10 МГц не более 45% на первом диапазоне и 60% на остальных.

5. Чувствительность усилителя вертикального отклонения не менее 0,4 мм/мВ эфф.

6. Чувствительность прибора от входа детектора не менее 0,15 мм/мВ эфф.

1 Структурная схема НАЧХ типа XI-7A (рис. 2.1)

ГКЧ первого поддиапазона выполнен по схеме преобразования частоты. ЧМ-колебания получают смещением частоты ЧМ-гене-

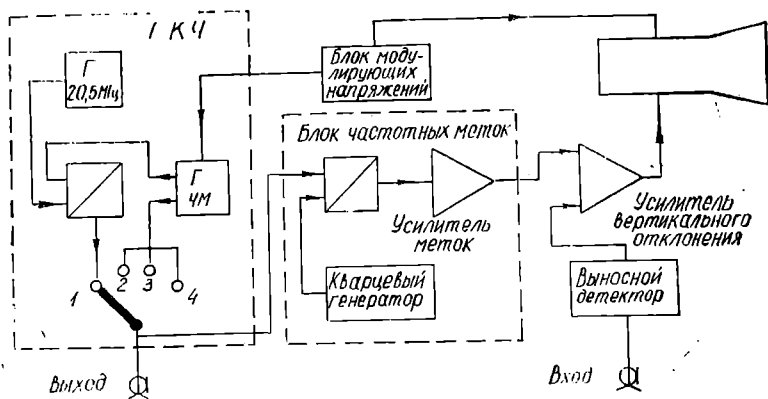


Рис. 2.1. Структурная схема XI-7A

ратора, перестраиваемой в полосе 20 МГц — 35 МГц, с фиксированной частотой 20,5 МГц; во втором, третьем и четвертом поддиапазонах ГКЧ — просто автогенератор частотно-модулированных колебаний.

Частотная модуляция на всех четырех поддиапазонах осуществляется периодическим изменением индуктивности ЧМ-автогенератора с помощью ферритового модулятора. Как отклоняющее, так и модулирующее напряжение — это напряжение сети.

Частотные метки, расстояние между которыми 1 или 10 МГц, формируются методом смещения колебаний ГКЧ с набором гармоник кварцевого генератора. Эти метки после предварительного усиления передаются в усилитель вертикального отклонения (УВО) индикатора, где они складываются с выходным напряжением выносного детектора, пропорциональным АЧХ исследуемого четырехполюсника.

2. Генератор качающейся частоты первого диапазона

Рассмотрим упрощенную принципиальную схему ГКЧ первого диапазона (рис. 2.2). ЧМ-генератор (20—35 МГц) собран на правой половине лампы Л1 по схеме емкостной трехточки. Колебательный контур образован элементами L_2 , $C_{ак}$, $C_{ск}$, C_8 , C_{10} , C_{12} . Катушка индуктивности L_2 ЧМ-генератора, намотанная на ферритовом сердечнике, помещена в зазор электромагнита Др2 ферритового модулятора. Генератор фиксированной частоты собран на правой половине лампы по схеме индуктивной трехточки. С контура L_4 , C_{21} через емкость C_{16} колебания частоты 20,5 МГц

подается на управляющую сетку Л2 (левая половина) — смесителя. На эту же сетку через конденсатор С17 подается ЧМ-колеба-

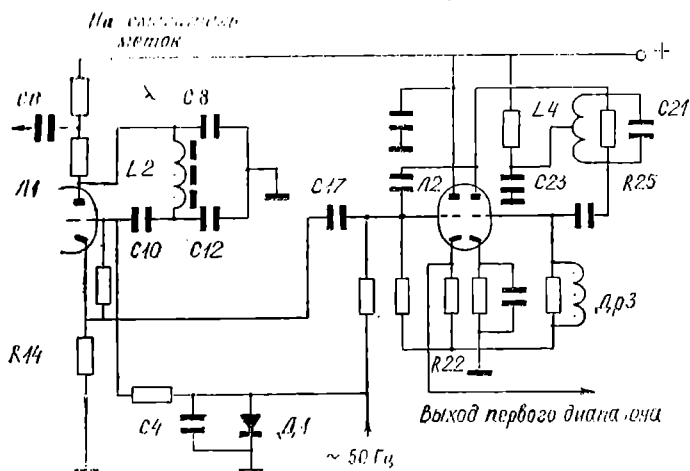


Рис. 2.2. ГКЧ первого диапазона

ние. Напряжением разностной частоты $0 \div 15$ МГц, выделяемое на сопротивлении $R22$, через регулятор уровня подается на выход прибора. На время обратного хода луча генератор ЧМ и смеситель запираются отрицательной полуволной синусоидального напряжения, снимаемого с сетевого трансформатора. В результате на экране индикатора вычерчивается «нулевая» линия, от которой отсчитываются ординаты АЧХ.

3. Принципиальная схема модулятора (рис. 2.3)

Модулятор представляет собой усилительный каскад, собранный на лучевом тетраде с индуктивной нагрузкой в анодной цепи — электромагнит $Др2$. На вход усилителя подается модулирующее напряжение — гармоническое колебание с частотой сети. Уровень входного напряжения (регулировка «Девияция») определяет переменную составляющую поля в сердечнике электромагнита, а значит, и пределы изменения индуктивности $L2$ (полосу качания ГКЧ). Постоянная составляющая анодного тока определяет среднее значение $L2$, а значит, и среднюю частоту качания, Величина постоянной составляющей определяется напряжением экранной сетки тетрода (регулировка «частота»).

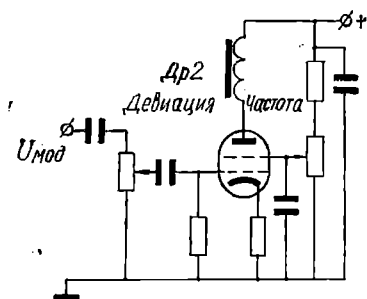


Рис. 2.3. Модулятор

Величина постоянной составляющей определяется напряжением экранной сетки тетрода (регулировка «частота»).

4. Формирователь меток

На рис. 2.4 приведена принципиальная схема смесителя формирователя меток. На первый вход смесителя (т. 1) подаются гармоники кварцевого генератора, основная частота которого 1 или 10 МГц. Нелинейный делитель D_2 , R_{42} , R_{43} обогащает спектром опорных частот. На второй вход (т. 2) поступает напряжение с ГКЧ. Нулевые биения частотных меток через фильтр нижних частот R_{45} , C_{36} подаются в усилитель меток.

5. Детектор

Выносной детектор ИАЧХ выполнен по схеме детектора с закрытым входом (рис. 2.5). Нагрузкой детектора служит резистор

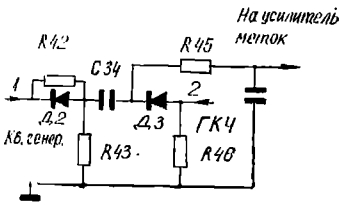


Рис. 2.4. Смеситель формирователя меток

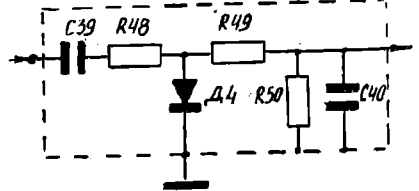


Рис. 2.5. Выносной детектор

R_{50} . Конденсатор C_{40} и резистор R_{49} образуют фильтр нижних частот. Резистор R_{48} включен для подавления возможного резонанса входной цепи.

6. Усилитель вертикального отклонения

Продетектированное выходное напряжение исследуемого четырехполюсника усиливается двухкаскадным усилителем вертикального отклонения индикатора (рис. 2.6). С нагрузки R_{53} первого каскада усиленное напряжение через емкость C_{45} подается на управляющую сетку левой половины лампы Л7. Сюда же через емкость C_{45} подается усиленное напряжение частотных меток. Оба эти напряжения через катодную нагрузку R_{74} противофазно подаются на сетку правой половины лампы Л7. С анодных нагрузок R_{71} и R_{72} конечного каскада усилителя напряжение подается на вертикально отклоняющие пластины ЭЛТ.

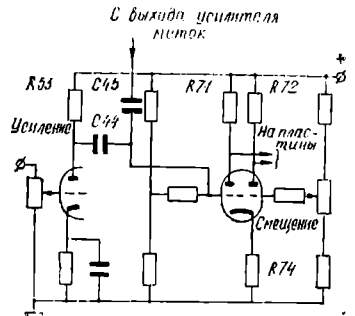


Рис. 2.6. Усилитель вертикального отклонения

7. Основные процессы в ИАЧХ типа XI-7A

Рассмотрим семейство эпюр управляющих напряжений ИАЧХ, иллюстрирующее особенности получения колебаний качающейся частоты в XI-7A (рис. 2.7).

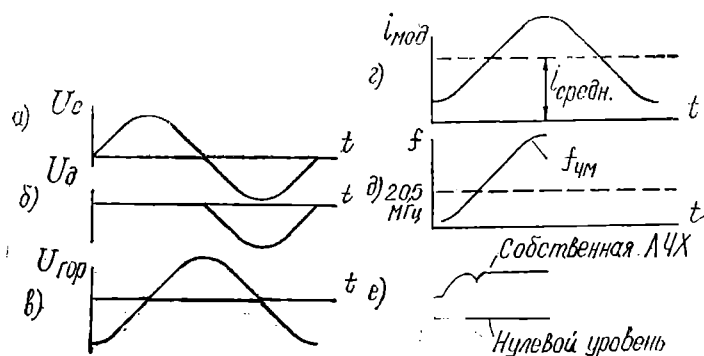


Рис. 2.7. Осциллограммы напряжений в узловых точках XI-7A

Эюра *a* — это напряжение сети, определяющее периодичность качания и длительность рабочего хода; эюра *б* — напряжение на диоде Д1, запирающее ГКЧ и смеситель на время обратного хода луча. Отклоняющее напряжение представлено эюрой *в*. Это напряжение, как и переменная составляющая анодного тока модулятора (эюра *г*), сдвинуто на четверть периода по сравнению с запирающим напряжением, что обеспечивает работу на восходящем участке синусоидального напряжения.

На рис. 2.7, *д* показан закон изменения частоты ЧМ-генератора относительно частоты 20,5 МГц опорного генератора, и, наконец, на рис. 2.7, *е* приведена собственная амплитудно-частотная характеристика ИАЧХ. На участке *ОА* существуют только колебания опорного генератора. В точке *А* модулирующее напряжение достигает такой величины, когда выполняются условия устойчивой генерации ЧМ-генератора. На участке от *А* до *В* частота ГКЧ меньше 20,5 МГц и разностная частота уменьшается. В точке *В* частоты ГКЧ и опорного генератора совпадают и начинается рабочий участок индикатора ИАЧХ (отрезок *ВС*). Местоположение точек *А* и *В* на экране индикатора зависит от взаимного расположения полосы качания ЧМ-генератора и опорной частоты. При уменьшении разности между самой низкой частотой ЧМ-генератора и частотой 20,5 МГц точки *А* и *В* смещаются влево по оси абсцисс экрана индикатора. В частности, когда минимально возможная частота ЧМ-генератора больше 20,5 МГц, их вообще не окажется на экране.

В заключение следует обратить внимание на такие особенности в технических характеристиках прибора, как значительная неравномерность выходного напряжения и большая нелинейность частотного масштаба. Но прибор XI-7А предназначен только для настройки телевизоров, причем для каждого типа телевизионного приемника завод-изготовитель оговаривает методику измерения АЧХ узлов, амплитудные и частотные параметры АЧХ, наблюдаемых именно на приборе XI-7А, т. е. по существу производится настройка АЧХ по характеристике образцового четырехполосника.

2.2. Прибор для исследования амплитудно-частотных характеристик XI-7Б

ИАЧХ типа XI-7Б предназначен для исследования и настройки четырехполосников, а также для настройки узлов телевизионных приемников.

Технические характеристики

1. Диапазон частот разбит на два поддиапазона: I — 0,4 ÷ 235 МГц; II — 430 ÷ 980 МГц.

2. Погрешность измерения частоты в точках, отмечаемых метками:

кварцованными, кратными 1 и 10 МГц не более $\pm (3 \cdot 10^{-4} f + 0,05 \Delta F + 0,05)$ МГц;

внешней меткой не более $\pm (\Delta + 0,02 \Delta F + 0,01)$ МГц, где f — центральная частота; ΔF — полосу качания; Δ — абсолютная погрешность внешнего генератора.

3. Полоса качания частоты плавно регулируется от минимальной (не более 500 КГц) до максимальной: 15 МГц в первом поддиапазоне и 20 МГц во втором.

4. Неравномерность собственной амплитудно-частотной характеристики не более $\pm 1,5$ дБ.

5. Отклонение частотного масштаба от линейного при полосе качания 10 МГц не превышает $\pm 6\%$.

Структурная схема и принцип действия прибора

Напряжение качающейся частоты первого поддиапазона получается смешиванием в балансном смесителе сигналов ЧМ-генератора (430—980 МГц) и генератора фиксированной частоты 550 МГц (рис. 2.8). Напряжение разностной частоты через фильтр нижних частот и аттенюатор поступает на выход ГКЧ.

Колебательная система ЧМ-генератора представляет собой отрезок полосковой линии. Средняя частота генератора перестраивается изменением действующей длины линии, а частотная модуляция осуществляется изменением емкости варикапа, подключен-

ного к линии. Этот ЧМ-генератор является генератором качающейся частоты второго диапазона.

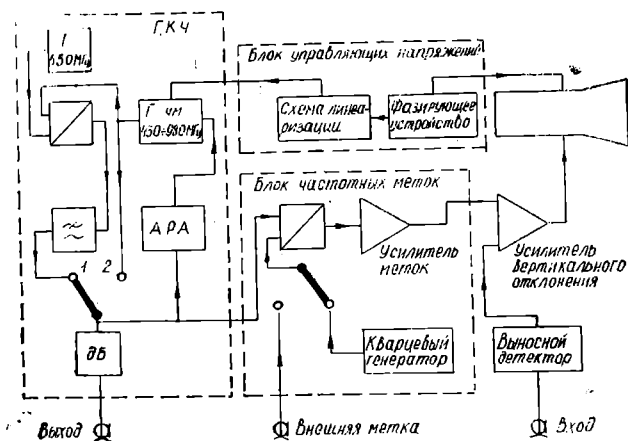


Рис. 2.8. Структурная схема ИАЧХ XI-7Б

Для уменьшения неравномерности амплитуды выходного напряжения ГКЧ применяется система автоматической регулировки амплитуды (АРА), которая состоит из детектора АРА и усилителя АРА. Детектор выделяет огибающую выходного напряжения ГКЧ. Усилитель формирует и усиливает «сигнал ошибки» — разность между текущим значением огибающей и опорным напряжением. Сигнал ошибки в обратной полярности подается на анод генератора ЧМ.

Частотные метки формируются смешиванием ЧМ-колебаний ГКЧ со спектром гармоник кварцевого генератора (основная частота которого 1 или 10 МГц) или с напряжением внешнего генератора (внешняя метка). Напряжение частотных меток подается на УВО, где оно смешивается с протестированным выходным напряжением исследуемого четырехполюсника. На горизонтально отклоняющие пластины трубки подается синусоидальное напряжение с частотой 50 Гц. Это же напряжение через схему линейаризации частотного масштаба — кусочно-линейный диодный функциональный преобразователь подается на варикал.

Контрольные вопросы

1. Поясните идею получения изображения АЧХ четырехполюсника на экране индикатора ИАЧХ.
2. Нарисуйте структурную схему ИАЧХ и объясните взаимодействие узлов.

3. Расскажите о возможных способах построения генераторов качающейся частоты.

4. Объясните по принципиальной схеме работу генератора качающейся частоты и модулятора ИАЧХ типа М 7А.

5. Перечислите и проанализируйте основные методы измерения амплитуды наблюдаемой АЧХ.

6. Расскажите, каким образом создается частотный масштаб на осциллографическом индикаторе ИАЧХ. Линейзации частотного масштаба.

7. Приведите структурные схемы возможных способов получения частотных меток. Нарисуйте и объясните форму этих меток.

8. Объясните расширение возможностей ИАЧХ, в которых предусмотрено создание «стоп-метки».

9. Объясните причины, по которым АЧХ, наблюдаемая на экране индикатора, может отличаться от реальной характеристики четырехполюсника.

10. Приведите структурную схему ИАЧХ типа М 7Б и объясните особенности работы этого измерителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы. «Советское радио», 1971.
2. Дулин В. П. Электронные приборы. «Энергия», 1969.
3. Адоменас П. Ю., Аронсон Я. А., Бирманас Е. М., Улявичус Т. Ю. Измерители амплитудно-частотных характеристик. «Связь», 1968.
4. Смолон В. Б. Диодные функциональные преобразователи. «Энергия», Л., 1967.
5. Харкевич А. А. Спектры и анализ. Физматгиз, 1962.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	2
Глава 1. Общие вопросы построения измерителей амплитудно-частотных характеристик	3
1.1. Структурная схема и принцип действия измерителя амплитудно-частотных характеристик	3
1.2. Генератор качающейся частоты	5
1.3. Линеаризация частотного масштаба в ИАЧХ	8
1.4. Основные источники погрешностей измерения относительной амплитуды АЧХ	10
1.5. Методы измерения относительной амплитуды АЧХ	15
1.6. Способы получения отметок частоты	16
1.7. Погрешности измерения частотных параметров АЧХ	22
1.8. Методы уменьшения погрешностей измерения частоты АЧХ	23
Глава 2. Примеры измерителей амплитудно-частотных характеристик	24
2.1. Приборы для настройки телевизоров — ИАЧХ типа XI-7А	24
2.2. Прибор для исследования амплитудно-частотных характеристик XI-7Б	29
Литература	31

Виктор Яковлевич Селин

ИЗМЕРИТЕЛИ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Редактор *Л. М. Коршунова*

Техн. редактор *К. П. Барановская*

Л 80046 13/VII-1977 г.

Объем 2 уч.-изд. л. 2 печ. л.

Заказ 383/8377

Цена 8 коп.

Тираж 1500

Типография МАИ