

ГЕТЕРОДИННЫЙ ЧАСТОТОМЕР СУБМИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА РАДИОВОЛН

В. В. Шмидт, С. Ф. Дюбко, Р. А. Валитов

Харьков

В настоящее время промышленностью недостаточно выпускается частотно-измерительной аппаратуры субмиллиметрового диапазона радиоволн главным образом из-за трудностей, возникающих при индикации в этом диапазоне слабых сигналов классическими радиотехническими методами и при создании устройств калибровки частоты гетеродинов в коротковолновом участке миллиметрового диапазона. Разработка измерителей частоты субмиллиметрового диапазона требует совместного использования радиотехнических и квазиоптических элементов. При этом более простыми оказываются гетеродинные частотомеры с использованием интерполяционного метода отсчета, которые обеспечивают погрешность измерений порядка 10^{-5} — 10^{-6} в широком диапазоне частот. Использование метода последовательного понижения частоты и интерполяционных эталонов позволяет уменьшить погрешность измерений частоты до величины 10^{-7} — 10^{-8} , однако измерители указанных типов превращаются в сложные уникальные лабораторные установки для измерений в узкой полосе частот [1, 2].

Авторами разработан гетеродинный частотомер субмиллиметрового диапазона, имеющий следующие характеристики:

диапазон измеряемых частот 240—1000 Гц;

максимальная погрешность однократного измерения $\leq 10^{-5}$;

чувствительность во всем диапазоне не хуже 50 мквт.

Взаимодействие элементов гетеродинного частотомера иллюстрируется структурной схемой на рис. 1. Частотомер является двухканальным устройством.

Один канал используется для выделения и индикации биений частоты сигнала с соответствующей гармоникой СВЧ гетеродина лампы обратной волны, а второй — для получения калибруемой частотной развертки на экране осциллографического индикатора. Выбор схемы с частотно-модулированным гетеродином обусловлен простотой визуальной индикации при наличии частотной развертки. Применение какого-либо другого вида индикации намного усложняет конструкцию прибора.

Исследуемый сигнал f_x поступает на вход выносной смесительной головки и через предельный переход, который определяет нижнюю границу поддиапазона, попадает на точечный кристаллический смеситель. Предельный переход (0,7·0,35 или 0,5·0,2 мм) служит фильтром для выделения волны H_{10} . На другой вход выносной смесительной головки поступает СВЧ энергия гетеродина, частота которого модулирована линейно и синхронно с частотой развертки осциллографического индикатора модулятором. С выхода

смесительной головки через высокочастотный разъем по коаксиальному кабелю сигнал поступает на УВЧ сигнального канала приемника меток с частотой настройки $312,5 \text{ МГц}$, а затем — на смеситель приемника меток, где смешивается с частотой кварцевого гетеродина приемника 280 МГц .

Промежуточная частота $32,5 \text{ МГц}$ выделяется и усиливается в УПЧ с полосой пропускания 400 кГц . Усиленный и сформированный сигнал детектируется видеодетектором и после усиления

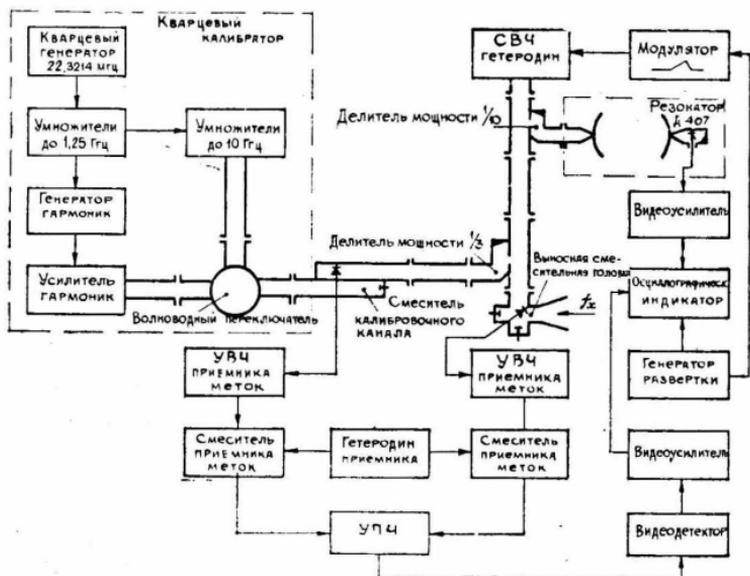


Рис. 1. Структурная схема гетеродинного частотомера.

видеоусилителем поступает на осциллографический индикатор, где индицируется в виде двух сигнальных меток, соответствующих основному и зеркальному каналу приемника. Для получения на частотной развертке калибровочных меток используется отдельный смеситель калибровочного канала, на который поступает СВЧ энергия гетеродинной ЛОВ и кварцевого калибратора. УВЧ калибровочного канала приемника меток и смеситель аналогичны соответствующим устройствам сигнального канала. УПЧ, видеодетектор, видеоусилитель, гетеродин приемника для упрощения конструкции выполнены общими.

Чувствительность обоих каналов приемника одинакова и соответствует $10^{-15} - 10^{-16} \text{ вт}$, что позволяет получить надежную индикацию калибровочных и сигнальных меток. Кварцевый калибратор позволяет формировать калибровочные метки двух достоинств. Он состоит из термостатировочного кварцевого генератора на $22,3214 \text{ МГц}$ с долговременной стабильностью частоты не хуже $5 \cdot 10^{-7}$,

умножителей его частоты до $1,25 \text{ Гц}$, умножителей частоты $1,25 \text{ Гц}$ до 10 Гц , генератора гармоник частоты $1,25 \text{ Гц}$, широкополосного усилителя полученной сетки гармоник и волноводного переключателя, с помощью которого производится подача на смеситель калибровочного канала либо монохроматического сигнала частоты 10 Гц , либо сложного сигнала, содержащего гармоники частоты $1,25 \text{ Гц}$.

Выбор частоты настройки приемника, равной $312,5 \text{ Мгц}$, позволяет использовать зеркальный канал последнего для получения дополнительных калибровочных меток, отстоящих от основных на 625 Мгц (удвоенная промежуточная частота). Частота гетеродина в интервале между кварцевыми калибровочными метками отсчитывается с помощью интерполятора на открытом резонаторе.

Подвижная интерполяционная метка на частотной развертке образуется при индикации продольных типов колебаний $\text{TEM}_{\text{оор}}$ открытого резонатора, частотный интервал между которыми для удобства работы с прибором выбран также 625 Мгц . Резонатор выполнен вакууммированным с базой из инваровых стержней для уменьшения влияния на стабильность его настройки параметров окружающей среды. Одно из зеркал последнего через сильфон связано с дифференциальным микрометрическим винтом, обеспечивающим его перемещение и установку с погрешностью не более $\pm 1 \text{ мкм}$. Добротность резонатора не менее $1,5 \cdot 10^5$, коэффициент передачи по мощности $8-12 \text{ дб}$.

Для возбуждения резонатора в неподвижном зеркале имеются два плавных перехода с основного сечения волновода $1,2 \cdot 2,4 \text{ мм}$ на параллельные щели $0,05 \cdot 2,4 \text{ мм}$. Одна из них расположена в центре апертуры и используется для возбуждения резонатора, другая — на расстоянии 8 мм от центра — служит для связи резонатора с детектором. Диаметр зеркал резонатора $2a = 72 \text{ мм}$ с радиусом кривизны $\rho = 400 \text{ мм}$. Расстояние между зеркалами $d = 240 \text{ мм}$. Выбор параметров резонатора, несколько отличающихся от оптимальных, продиктован его конструктивными особенностями. На вход резонатора через волноводный делитель мощности подводится часть СВЧ энергии гетеродинной ЛОВ и всякий раз, когда частота гетеродина совпадает с резонансной частотой одного из типов колебаний $\text{TEM}_{\text{оор}}$, на выходе резонатора появляется высокочастотный сигнал, огибающая которого соответствует резонансной кривой данного типа колебаний. Этот сигнал детектируется видеодетектором (Д-407) и усиливается видеоусилителем, после чего поступает на осциллографический индикатор. При перемещении зеркала резонатора интерполяционная метка перемещается вдоль частотной развертки. Ее положение определяется по показанию лимба микрометрического винта.

Отсчет частоты гетеродина в точке, соответствующей измеряемому сигналу, производится также по показанию лимба микрометрического винта интерполятора с учетом значения частоты опорной

кварцевой метки, к которой была осуществлена привязка интерполятора. Схематически частотная развертка гетеродинного частотомера изображена на рис. 2. Значение частоты измеряемого сигнала определяется по формуле

$$f_x = N \left(f_n + \frac{f_{n+1} - f_n}{l_{n+1} - l_n} l_x - f_{п.ч} \right) \pm f_{п.ч},$$

где f_x — частоты измеряемого сигнала; N — номер гармоники гетеродина; f_{n+1}, f_n — значения частот кварцевых калибровочных меток; l_{n+1}, l_n — показания, отсчитанные по лимбу интерполятора при совмещении его метки с метками кварцевого калибратора f_{n+1} и

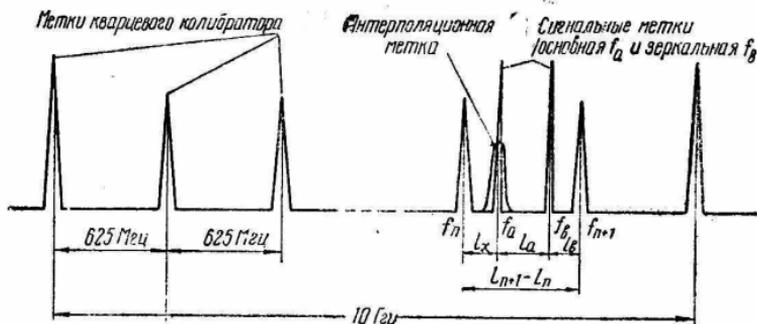


Рис. 2. Вид частотной развертки.

f_n соответственно; l_x — значение, отсчитанное по показанию лимба интерполятора при совмещении его метки с сигнальной меткой f_x ; $f_{п.ч}$ — промежуточная частота, равная 312,5 МГц.

Знак «+» или «-» в приведенном выражении зависит от того, относительно какой (основной либо зеркальной метки) производится отсчет. Номер гармоники гетеродина определяется по методу гетеродинного переноса как отношение интервала между кварцевыми калибровочными метками мелкого масштаба (625 МГц) к интервалу между основной и зеркальной сигнальными метками. Значения соответствующих частотных интервалов также отсчитываются по лимбу интерполятора.

Описанный гетеродинный частотомер использовался для определения частот переходов субмиллиметрового лазера на HCN, соответствующих волнам 0,337 и 0,311 мм, и оказался вполне работоспособным до частот порядка 1000 ГГц [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Нокер, Тавап. Ramachandra Rao, Frenkel, Sullivan. Appl. Phys. Zettlers, 10, № 5, 147, 1967.
2. Нокер, Тавап. Ramachandra Rao. Phys. Zettlers, 24, № 12, 690, 1961.
3. В. В. Шмидт, С. Ф. Любко, В. А. Свич, А. Н. Топков, Р. А. Валитов. «Радиотехника и электроника», XIV, № 9, 1969.