

Министерство образования и науки
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет “ЛЭТИ”

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторной работы по дисциплине
“Микроволновая техника”

ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ СВЧ СИГНАЛОВ МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ ЭЛЕКТРОННО-СЧЕТНЫМ ЧАСТОТОМЕРОМ
ЧЗ-66

Санкт-Петербург
2008

В лабораторной работе студенты знакомятся с микропроцессорным частотомером ЧЗ-66, устройством и режимами его работы, методикой измерения частоты сигналов СВЧ-диапазона.

1. Электронно-счетные частотомеры диапазона СВЧ.

В диапазоне СВЧ наиболее распространены два метода измерения частоты. Традиционный резонансный метод в настоящее время имеет вспомогательный характер и применяется в основном в частотомерах измерительных генераторов СВЧ. Второй метод – метод дискретного счета – используется в электронно-счетных частотомерах СВЧ (ЭСЧ).

Его принцип заключается в подсчете за известный (образцовый) интервал времени $T_{\text{сч}}$ (временные ворота) числа импульсов N , сформированных из входного сигнала неизвестной частоты f_x . Тогда измеряемую частоту (точнее, ее среднее значение за время $T_{\text{сч}}$) можно определить по формуле $f_x \approx N/T_{\text{сч}}$. Метод дискретного счета является разновидностью метода сравнения - результат показывает, во сколько раз неизвестная частота больше известной эталонной, из которой формируют интервал $T_{\text{сч}}$. Значение N соответствует целому числу периодов $T_x = 1/f_x$, укладывающихся в интервале $T_{\text{сч}}$.

Приборы, основанные на методе дискретного счета, называют электронно-счетными частотомерами (ЭСЧ, electronic counters). Современные ЭСЧ — это многофункциональные приборы для измерения частотно-временных параметров сигналов (частоты, периода, числа импульсов, временных интервалов и пр.). ЭСЧ различаются количеством измеряемых параметров, диапазоном и точностью измерений.

Обобщенная структурная схема ЭСЧ в режиме измерения частоты представлена на рис. 1.

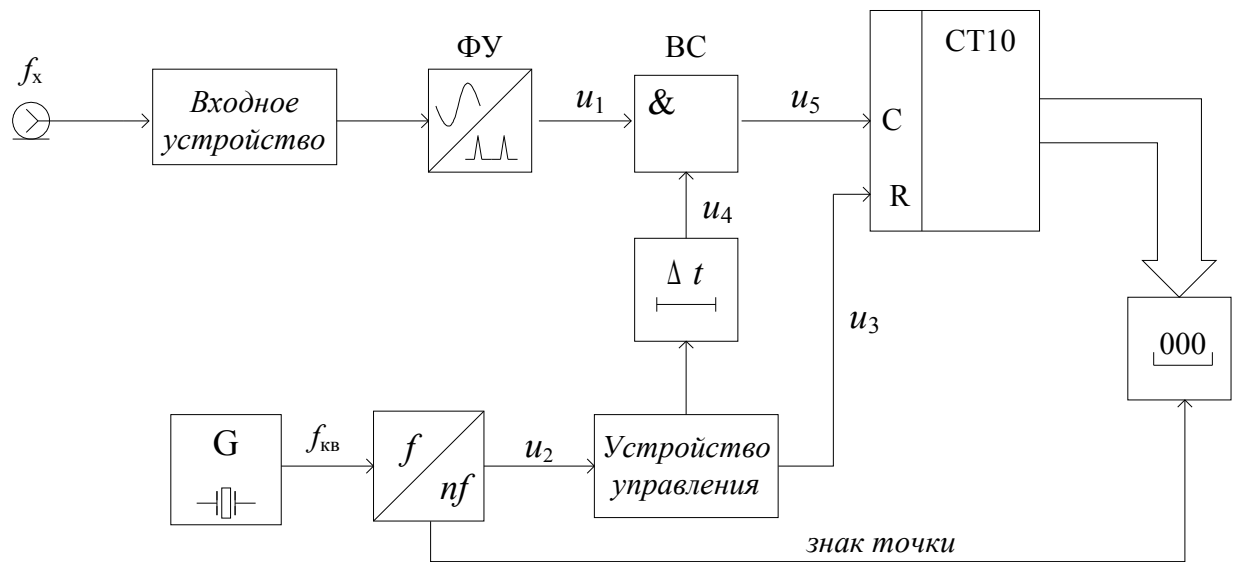


Рис.1. Структурная схема электронно-счетного частотомера

Сигнал неизвестной частоты f_x подают на вход ЭСЧ. Сигнал образцовой частоты $f_{\text{кв}} = 1/T_{\text{кв}}$ вырабатывается высокостабильным кварцевым генератором. Входное устройство содержит аттенюатор, схему автоматической регулировки усиления и подавитель внешних помех (сглаживающий фильтр). Обычно ЭСЧ имеет большое входное сопротивление (порядка 1 МОм), но для ВЧ-измерений используют стандартное входное сопротивление 50 или 75 Ом.

Формирующее устройство (ФУ) представляет собой преобразователь формы сигнала. Оно содержит усилитель-ограничитель с регулируемым порогом срабатывания, дифференцирующую цепочку и импульсный диодный ограничитель. Задача устройства — преобразовать входной сигнал синусоидальной или другой формы в короткие импульсы u_1 , частота повторения которых равна частоте входного сигнала (рис. 2).

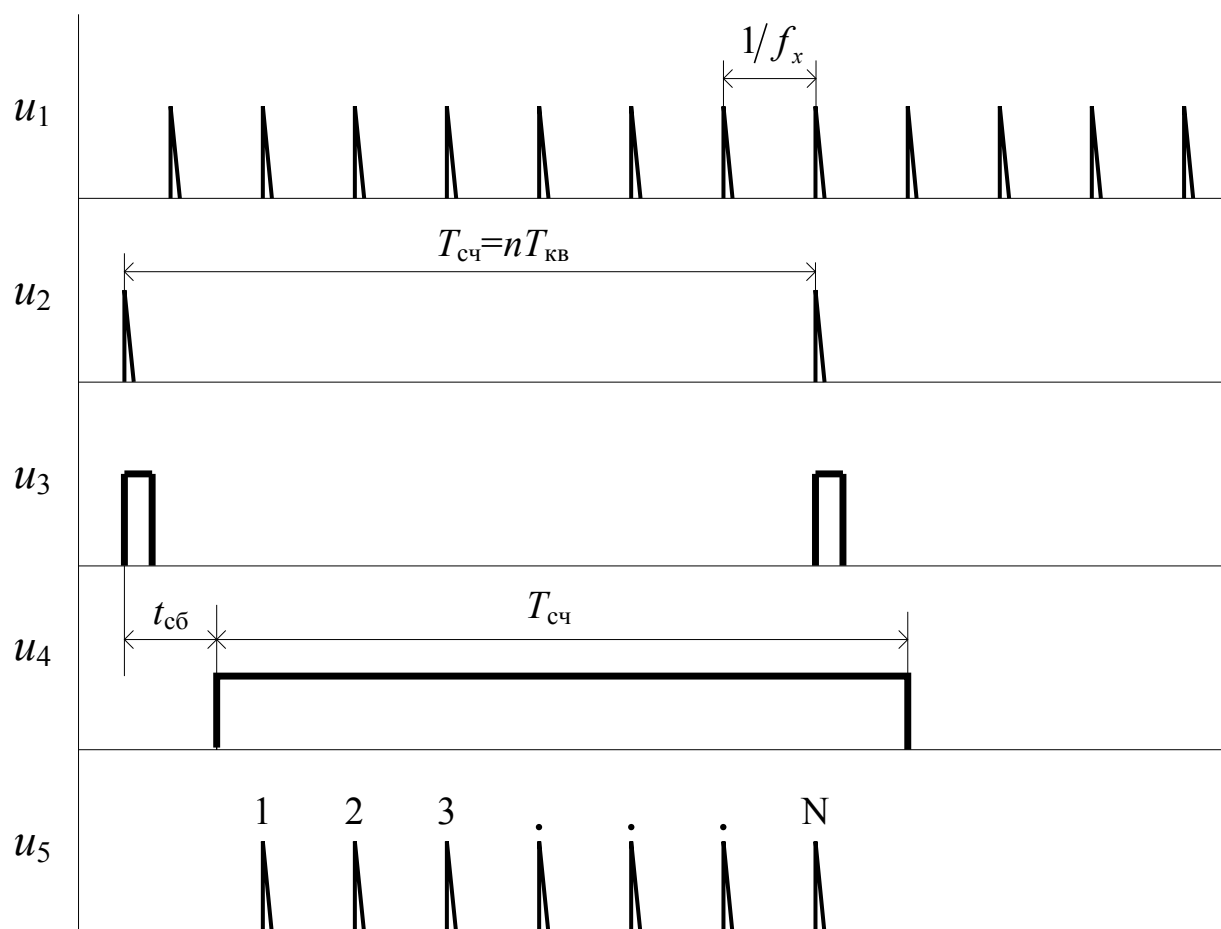


Рис.2. Осциллограммы сигналов ЭСЧ в режиме измерения частоты

Так как именно эти импульсы в дальнейшем поступают на счетчик, то их называют счетными импульсами. Вид формирующего устройства определяет чувствительность ЭСЧ – минимальный уровень сигнала, частоту которого можно измерить без ошибок. Для повышения чувствительности в частотомерах иногда предусматривают входной широкополосный усилитель.

Временной селектор (ВС) — это логический элемент "И", который выделяет из входной последовательности пачку N импульсов, укладываемых в образцовый интервал $T_{сч}$ – временные ворота. Длительность ворот $T_{сч}$ формируют делением частоты сигнала кварцевого генератора. В ЭСЧ используют термостатированные генераторы с кварцевой стабилизацией частоты. Работа термостата контролируется по индикатору на лицевой панели прибора. Установку $T_{сч}$ производят делением частоты $f_{кв}$ с помощью декадного делителя частоты. Коэффици-

ент деления выбирают из соотношения $n = 10^k$, $k = 0, 1, 2, \dots$. При этом $T_{сч} = nT_{кв} = T_{кв} 10^k$.

Выбор временных ворот $T_{сч}$ определяет интервал усреднения частоты, поскольку ЭСЧ измеряет среднюю частоту. Обычно применяют временные ворота в пределах 1 мс ... 10 с. Меньшее время увеличивает погрешность дискретности (см. ниже), а большее время (10 с и более) – снижает быстродействие измерений.

Устройство управления позволяет выбрать режим работы ЭСЧ.

Типовым является режим периодического запуска, когда измерение повторяется через регулируемый интервал времени (иногда его называют временем индикации). В ряде случаев используют одиночный запуск - измерение выполняется при поступлении на вход внешнего запуска импульса. Ручной запуск осуществляют нажатием кнопки на приборе.

В начале измерения на счетчик из устройства управления посылается импульс сброса u_3 . Одновременно триггером устройства управления формируется прямоугольный строб-импульс длительностью $T_{сч}$. Этот импульс сдвигается во времени в устройстве задержки на время $t_{сб}$, необходимое для сброса счетчика. После задержки импульс u_4 (временные ворота) подается на селектор и открывает его. Число импульсов u_5 , проходящих через временной селектор на счетчик, равно: $N = \text{int} [f_x T_{сч}]$, где $\text{int} []$ означает целую часть числа.

Процесс измерения сводится к подсчету числа импульсов N , укладываемых во временные ворота $T_{сч}$, дешифрации показаний счетчика и индикации его состояния на цифровом табло. Если выбрать частоту кварцевого генератора в виде $f_{кв} = 10^p$ [Гц], где p - целое число, то с учетом коэффициента деления $n = 10^k$ получим $f_x = 10^{(p-k)}N$ [Гц]. Таким образом, число сосчитанных импульсов пропорционально измеряемой частоте с коэффициентом, кратным 10. Это позволяет упростить масштабирование результатов измерения. На цифровом индикаторе предусматривают знак десятичной точки, положение которой связано с коэффициентом деления частоты кварцевого генератора. Кроме этого на индикаторе высвечиваются обозначения производных единиц (кГц, МГц, ГГц). Таким образом,

ЭСЧ дает прямые показания измеряемой частоты, выраженной в системных единицах.

Погрешность измерения частоты методом дискретного счета включает две составляющие: погрешность установки частоты кварцевого генератора $\delta_{\text{кв}} = \pm \Delta f_{\text{кв}} / f_{\text{кв}}$ и погрешность дискретности счета $\delta_{\text{д}}$

$$\delta f = \pm (\delta_{\text{кв}} + \delta_{\text{д}}).$$

Первая составляющая является погрешностью меры и определяется нестабильностью частоты кварцевого генератора, а также погрешностью его калибровки. Типовые значения нестабильности термостатированного генератора ЭСЧ составляют $\pm (1 \cdot 10^{-7} \dots 5 \cdot 10^{-9})$ за сутки.

Погрешность дискретности является погрешностью сравнения. Она возникает из-за того, что длительность временных ворот $T_{\text{сч}}$ в общем случае не совпадает с целым числом периодов измеряемого сигнала. Максимальная ошибка при подсчете количества периодов составляет ± 1 , что соответствует единице последнего разряда счетчика. Абсолютная погрешность дискретности равна $\pm 1/T_{\text{сч}}$, а относительная погрешность $\delta_{\text{д}} = \pm 1/(f_x T_{\text{сч}}) = \pm 1/N$. Таким образом, при фиксированном $T_{\text{сч}}$ погрешность дискретности обратно пропорциональна измеряемой частоте и определяет разрешающую способность ЭСЧ (возможность различать близко расположенные значения измеряемой частоты). На низких частотах погрешность дискретности является основной составляющей, определяющей точность измерений частоты методом дискретного счета. На высоких частотах (более сотни МГц) она становится меньше нестабильности частоты опорного генератора и ею часто можно пренебречь.

Верхняя граница измеряемых частот определяется быстродействием основных элементов схемы, и прежде всего, счетчика. Для большинства ЭСЧ эта граница составляет несколько сотен МГц. Для расширения рабочего диапазона частот в область СВЧ применяют преобразование сигнала на более низкую частоту. Наиболее часто используются следующие типы преобразователей :

1. Быстродействующие делители входной частоты. Они позволяют уменьшить частоту входного сигнала в целое (обычно от 2 до 16 раз).

Расширение диапазона измерений в таких устройствах невелико (до нескольких ГГц). Достоинством такого способа является простота и надежность.

2. Переносчики частоты с ФАПЧ.

В настоящее время чаще применяют автоматизированные переносчики частоты с фазовой автоподстройкой частоты (рис.3), аналогичные преобразователям частоты в векторных анализаторах цепей СВЧ .

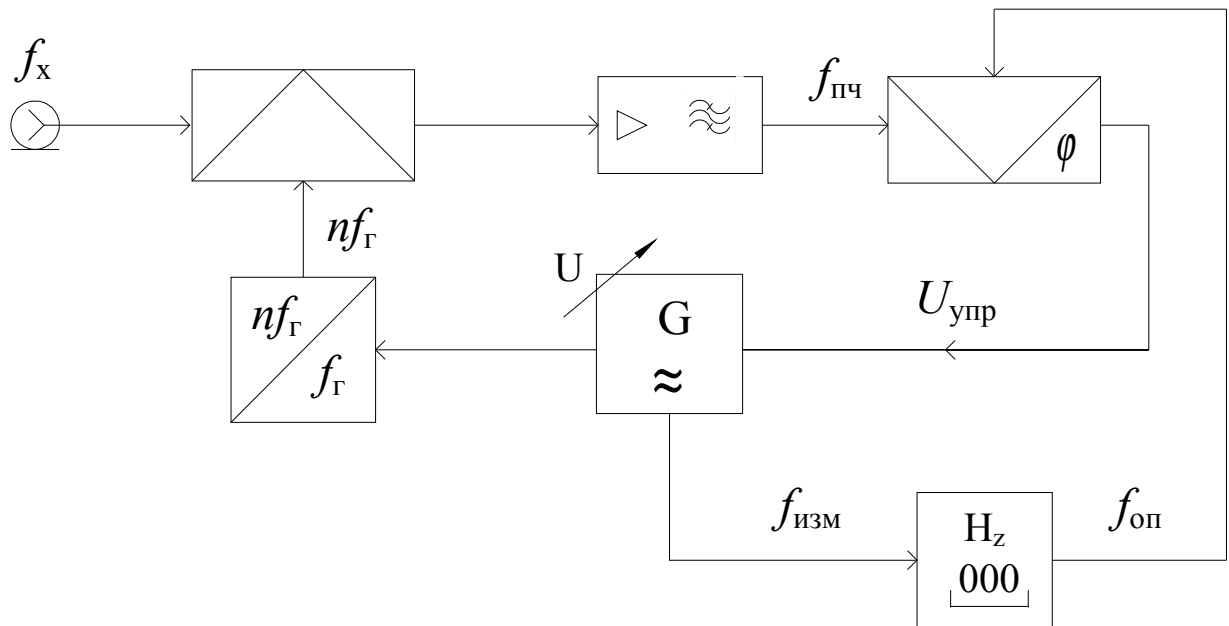


Рис.3. Преобразователь частоты СВЧ с ФАПЧ

Гетеродин, управляемый напряжением, вырабатывает сигнал с частотой f_{Γ} . Генератор гармоник создает на выходе набор гармонических составляющих этого сигнала, которые селектируются узкополосным фильтром. Смеситель преобразует входной сигнал и n -ную гармонику гетеродина в гармонический сигнал промежуточной частоты $f_{ПЧ}$. Он поступает на фазовый детектор, на который подают также сигнал опорной частоты с кварцевого генератора ЭСЧ. На выходе фазового детектора вырабатывается управляющее напряжение системы ФАПЧ, которое подстраивает гетеродин до наступления синхронизации (захвата частоты) по какой-либо гармонике гетеродина. При захвате выполняется условие $f_x - nf_{\Gamma} = f_{оп}$,

где $f_{оп}$ – известная опорная частота, а частота гетеродина $f_z = f_{изм}$ измеряется с помощью ЭСЧ.

Если ориентировочное значение измеряемой частоты неизвестно, то номер используемой гармоники требуется определить по двум измерениям. Для этого ручной перестройкой гетеродина добиваются захвата частоты по двум соседним гармоникам с номерами n и $n+1$. Получают два значения частоты гетеродина

$f_x - nf_{z1} = f_{он}$ и $f_x - (n+1)f_{z2} = f_{он}$. Отсюда определяют номер гармоники

$$n = \frac{f_{z2}}{(f_{z1} - f_{z2})}. \text{ Входная частота тогда равна}$$

$$f_x = \frac{f_{zem1}f_{zem2}}{(f_{zem1} - f_{zem2})}.$$

Другой способ состоит в измерении неизвестной частоты на прямом ($f_x - nf_{z1} = f_{он}$) и зеркальном ($nf_{z2} - f_x = f_{он}$) каналах переносчика. В этом случае номер гармоники рассчитывается по формуле:

$$f_x = \frac{2f_{он}}{(f_{z1} - f_{z2})}$$

Такие процедуры устранения неоднозначности выбора номера гармоники могут быть реализованы как в ручном, так и в автоматическом режимах работы переносчика.

Достоинством переносчиков частоты является возможность измерения несущей частоты импульсно-модулированных (ИМ) сигналов. Система ФАПЧ обладает инерционностью и позволяет сохранить синхронизацию гетеродина в промежутках между импульсами. При этом на ЭСЧ подается сигнал гетеродина постоянной частоты. В случае коротких импульсов, когда захват ФАПЧ в автоматическом режиме настройки затруднен, используют ручной режим поиска гармоники по осциллографическому или стрелочному индикатору, включенному на выходе фазового детектора. Для этого при разомкнутой петле ФАПЧ перестраивают гетеродин до тех пор, пока на осциллографе не получится картина нулевых биений несущей частоты импульса с частотой гармоники гетеродина.

Преимуществом преобразователей частоты по сравнению с обычным ЭСЧ является довольно высокая чувствительность ($-30 \dots -35$ дБм). Она определяется большим коэффициентом усиления УПЧ в петле ФАПЧ. Динамический диапазон преобразователя определяется линейностью входного смесителя и достигает 40-50 дБ. Частотный диапазон современных частотомеров СВЧ с преобразователями частоты достигает 40 ГГц и выше.

2. Краткие технические данные частотомера ЧЗ-66 и его структурная схема

Прибор предназначен для автоматического измерения частоты СВЧ сигналов как без модуляции (непрерывная генерация - НГ), так и с импульсной модуляцией (ИМ). Прибор имеет три диапазона работы и соответствующие им три входа (А, Б, В). Вход А имеет частотный диапазон 10 Гц...120 МГц. По этому входу прибор измеряет частоту НГ сигналов методом дискретного счета (рис.1, 2) напрямую, без преобразования частоты. Второй вход Б предназначен для сигналов 120 МГц ...2 ГГц. В схеме по входу Б используется преобразователь частоты, поэтому прибор может измерять НГ и ИМ сигналы. Вход В содержит специальный разъем для подключения внешних смесителей и предусматривает коаксиальный вход для диапазона частот 2 ...12,5 ГГц и волноводные – для диапазонов 12,5..17,44 ГГц, 17, 44...25, 95 ГГц и 25, 95...37, 5 ГГц. В этом режиме осуществляется тройное преобразование частоты входного сигнала с НГ и ИМ.

Частотомер ЧЗ-66 обеспечивает следующие технические и метрологические параметры:

- Частотный диапазон прибора 10 Гц...37,5 ГГц с разбивкой на указанные выше поддиапазоны;
- Входной минимальный уровень сигнала по входу А – 50 мВ, максимальный – 1 В.
- Минимальная мощность сигнала на входе Б – 0, 02 мВт (0,1 мВт в ИМ режиме), максимальный уровень 1 мВт;

- Минимальная мощность сигнала на входе В – 0, 02..0,1 мВт (0,1 .. 0,2 мВт ИМ режиме), максимальный уровень 1 мВт;
- Пределы допускаемой относительной погрешности измерения НГ

сигналов $\delta_{i\bar{a}} = \pm \left(|\delta_0| + \frac{1}{f_x T_{\bar{n}^{\pm}}} \right)$, где δ_0 – относительная нестабильность генератора опорных частот (не превышает $\pm 5 \cdot 10^{-7}$), $T_{\text{сч}}$ – время счета = 10^{-n} с, $n=0,1,2,3..$

- Пределы допускаемой относительной погрешности измерения ИМ

сигналов при их длительности $\geq 0,3$ мкс $\delta_{\bar{e}i} = \pm \left(|\delta_0| + \frac{1}{f_x T_{\bar{n}^{\pm}}} + |\delta_{\bar{a}ai}| + \frac{\Delta f_{\bar{n}^{\pm}}}{f_x} \right)$,

где $\delta_{\text{ген}}$ – относительная нестабильность внутреннего гетеродина (не превышает $\pm 2 \cdot 10^{-6}$), $\Delta f_{\text{сл}}$ – погрешность сличения частот по нулевым биениям (10...100 кГц) .

Упрощенная структурная схема СВЧ частотомера ЧЗ-66 представлена на рис. 4.

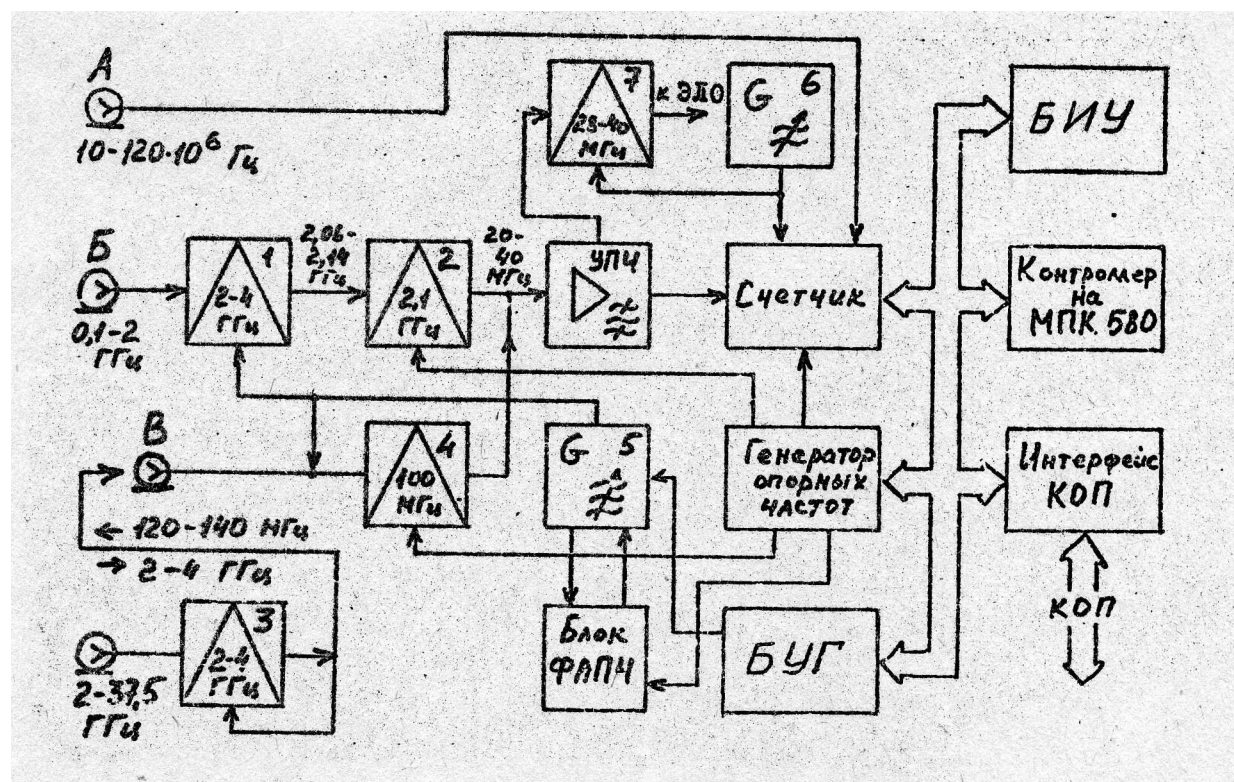


Рис.1. Структурная схема частотомер ЧЗ-66

Схема работы прибора по входу А не отличается от рис.1 – сигнал после преобразования в импульсы подается на счетчик, данные с которого поступают в микропроцессорную систему (МПС). Стробирование входных импульсов осуществляется временным селектором в счетчике. Импульс времени счета формируется из сигнала генератора опорных частот (ГОЧ). Время счета (и обратное ему величину – разрешающую способность прибора по частоте) устанавливают в пределах 10^n , $n=0, -1, -2, -3$ с. Для этого используют кнопку разрешающей способности прибора « 10^n Hz» и цифровые клавиши 0, 1, 2, 3.

При работе по входу Б в приборе предусмотрено двойное преобразование входной частоты 0, 12 ..2 ГГц. Используется два кольцевых смесителя, обозначенные на схеме 1 и 2. Первый смеситель использует сигнала от гетеродина, перестраиваемого в пределах 2-4 ГГц системой ФАПЧ. На выходе смесителя выделяется сигнал первой ПЧ в диапазоне 2,06 ...2,14 ГГц. То есть первое преобразование частоты делается вверх. Это позволяет эффективно подавить зеркальный канал приема паразитных сигналов. Второй смеситель использует постоянный сигнал гетеродина 2,1 ГГц, подаваемого с ГОЧ. Вторая ПЧ составляет 20..40 МГц. Сигнал с этой частотой фильтруется, усиливается и подается на счетчик, где и производится измерение. МПС обрабатывает результат измерения $f_{изм}$ по формуле преобразования частоты f_b входного сигнала

$$f_A = f_5 \cdot 10^6 - 2,1 \cdot 10^9 + f_{\text{всч}}, \text{ Гц},$$

где f_5 – частота первого гетеродина, МГц. Этот гетеродин в режиме НГ с помощью МПС перестраивается в диапазоне 2-4- ГГц с дискретом 1 МГц до тех пор, пока сигнал второго ПЧ не попадет в область 20 -30 МГц. После этого осуществляется поддержание частоты гетеродина системой ФАПЧ. Значение f_5 при этом сохраняется в МПС и используется при расчете и выводе результата измерения.

В диапазоне частот от 2 до 37 ГГц измеряемый сигнал подают на выносной смеситель 3, подключаемый к входу В. Через разъем Б на смеситель поступает сигнал гетеродина (от генератора 5). Выходной сигнал промежуточной частоты поступает через тот же вход на второй преобразователь частоты. Преобразование входного сигнала в смесителе 3 производится в диапазоне 2... 4 ГГц на основной гармонике перестраиваемого генератора 5. В диапазоне 4...8 ГГц используется вторая гармоника, третья – в диапазоне 8...12 ГГц и т.д., вплоть до десятой – на частотах 36...37, 5 ГГц. Преобразованный сигнал промежуточной частоты в диапазоне 120...140 МГц подают на смеситель 4. На него поступает от ГОЧ сигнал гетеродина 100 МГц. На выходе формируется сигнал ПЧ в диапазоне 20... 40 МГц, который затем поступает на счетчик. Номер гармоники вводят либо вручную (кнопка ГАРМОНИКА и набор номера на цифровой панели), либо он определяется автоматически. В этом режиме НГ осуществляется быстрая линейная перестройка частоты генератора 5 последовательно с несколькими скоростями $\Delta f / \Delta t = V_0, V_0 / 2, V_0 / 4, \dots, V_0 / 10$. В результате преобразования входного сигнала на выходе узкополосного УПЧ (частота 30 МГц) образуются два отклика, соответствующих прямому и зеркальному каналам $f_{\text{изм}} - N \cdot f_{5-1} = f_{\text{ПЧ0}} = 30 \text{ МГц}$ и $N \cdot f_{5-2} - f_{\text{изм}} = f_{\text{ПЧ0}}$. Здесь f_{5-1} и f_{5-2} – частоты генератора 5 при настройке на прямом и зеркальном каналах, N – номер определяемой гармоники.

Временной интервал между откликами зависит от скорости перестройки частоты и номера гармоники $2 \cdot f_{\text{изм}} / (N \cdot V_0)$. Это время сравнивается со временем, равным $2 \cdot f_{\text{изм}} / V_0$. В момент равенства времен скорость перестройки равна $\Delta f / \Delta t = V_0 / N$ перестройка останавливается. Частота генератора 5 уменьшается до значения f_{5-1} , соответствующей настройке на прямой канал, и захватывается системой ФАПЧ. Номер гармоники индицируется на цифровом табло и учитывается при обработке результатов измерения по формуле

$$f_x = N \cdot f_5 \cdot 10^6 + f_{\text{сч}}$$

где f_5 – частота генератора 5, представляющая собой целое (2000-4000) число МГц, $f_{\text{изм}}$ – измеренное счетчиком значение промежуточной частоты.

В режиме измерения частоты коротких радиоимпульсов (ИМ) по входам Б и В возникают трудности в работе системы ФАПЧ. Захват системы подстройки частоты за время импульса оказывается невозможным. В этом случае используется ручная перестройка частоты генератора 5. Ручкой ▼ грубой перестройки с дискретом 1 МГц добиваются попадания выходного сигнала преобразователя в диапазон частот 20 -40 МГц. Затем используют дополнительный генератор 6, который перестраивают. Меняя частоту генератора, добиваются появления на стрелочном индикаторе и на подключенном осциллографе сигнала нулевых биений на выходе смесителя 7. При этом наблюдается характерный вид сигнала, близкого по частоте к нулю.

Момент появления нулевых биений соответствует следующему соотношению частот

$$f_x = f_5 \cdot 10^6 - 2,1 \cdot 10^9 + f_{\text{всг}} \quad \text{для измерения по входу Б и}$$

$$f_x = N \cdot f_5 \cdot 10^6 + 100 \cdot 10^6 + f_{\text{всг}} \quad \text{для измерения по входу В}$$

Здесь $f_{\text{изм}}$ - частота перестраиваемого генератора 6, которая измеряется счетчиком. Номер гармоники определяют при последовательном измерении частоты на соседних гармониках или задают вручную.

3. Задание и указания к выполнению лабораторной работы

В лабораторной установке используется частотомер ЧЗ-66 со сменным коаксиальным смесителем на входе В для диапазона 2-12,5 ГГц, генератор СВЧ (например, Г4-83), импульсный генератор и электронно-лучевой осциллограф.

1. Подготовка установки к работе

Установите в генераторе СВЧ режим непрерывной генерации (НГ), ослабление выходного аттенюатора 40-50 дБ, частота - в середине рабочего диапазона генератора.

Установите на частотомере ручки ВРЕМЯ ИНД. И «►» (усиление в тракте ПЧ) в крайнее левое положение. Подключите коаксиальным кабелем калиброван-

ный выход генератора ко входу смесителя входа В. Включите генератор и частотомер тумблерами СЕТЬ.

Через несколько секунд после включения частотомер автоматически переходит в режим самотестирования. Его завершение индицируется выводом на цифровой табло результата измерения опорной частоты 1 МГц. На индикаторе ТЕСТ загорается цифра 5, индикатор ПЧ должен мигать. Нажмите кнопку калибровки «▲». Прибор переходит в режим самоконтроля и на табло должно индицироваться значение частоты кварцевого генератора 5 МГц (5 000 000 Гц).

Лабораторная установка готова к измерению частоты.

2. Измерение частоты НГ сигнала СВЧ

Включите вход В соответствующей кнопкой. При этом включится подсветка кнопок В и НГ, загорится индикатор « \neq ». Табло должно погаснуть, а индикатор ГАРМОНИКА - циклически высвечивать номер гармоники от 1 до 9. Поворачивайте ручку до тех пор, пока не зажжется индикатор и не погаснет индикатор « \neq ». Это означает, что номер гармоники гетеродина 5 автоматически определен (он выводится на индикатор ГАРМОНИКА). На табло выводится результат измерения частоты входного сигнала. Если по каким-либо причинам автоматический поиск результатов не дает, можно использовать ручной ввод номера гармоники (кнопка ГАРМОНИКА и цифровые кнопки 1-9), исходя из приблизительной оценки измеряемой частоты.

Произведите градуировку по частоте генератора СВЧ, взяв не менее 10 частотных точек по его шкале. В каждой точке проведите измерение выходной частоты (отметьте номер используемой гармоники). Рассчитайте абсолютную погрешность градуировки как разность измеренного значения и указателя шкалы. Результаты сведите в таблицу..

3. Измерение средней частоты сигнала генератора СВЧ.

Установите выбранное значение частоты генератора в его рабочем диапазоне. Измерьте частоту по приведенной выше методике.

Включите режим усреднения частоты, для чего нажмите кнопку включения звуковой сигнализации, кнопку ТЕСТ и цифровую кнопку 8. Показания на табло должны зафиксироваться.

Нажмите кнопку 3, что соответствует вводу усреднения результата по выборке из $2^3=8$ опытов. После этого должна зажечься цифра 8 на индикаторе ТЕСТ. Прибор переходит в режим усреднения. Каждое измерение частоты сопровождается кратковременным звуковым сигналом и миганием индикаторов, а после завершения серии опытов на табло появляется результат измерения – среднее за 8 опытов, сопровождаемое продолжительным звуковым сигналом. Запишите 20 последовательных результатов измерения и усреднения по 8 опытам.

Проведите аналогичные измерения по выборке из 32 (2^5) опытов. Для этого последовательно нажмите кнопки «▲», В, ТЕСТ, 8, 5. Запишите 5 последовательно появляющихся результатов измерения.

Постройте графики временной нестабильности генератора СВЧ. Для этого учтите, что время одного опыта (единичное измерения частоты) прибора ЧЗ-66 составляет примерно 2 с для разрешающей способности 1 Гц (2 с при разрешении 1000 Гц).

Выключите режим усреднения нажатием кнопки «▲» и выключите звуковую индикацию.

4. Измерение частоты заполнения импульсно-модулированного (ИМ) сигнала СВЧ

Для получения радиоимпульсов используется генератора СВЧ в режиме внешней импульсной модуляции. Подайте на генератор модулирующий сигнал от генератора импульсов положительной полярности с амплитудой порядка 5-10 В. Длительность импульса 20 мкс, частота повторения порядка 10 кГц.

Оцените ожидаемый номер гармоники генератора 5, на котором будет производиться измерения несущей по результатам измерений частоты в предыдущем пункте работы. Установите номер гармоники вручную (кнопка ГАРМОНИКА и необходимая цифровая клавиша) и режим импульсных измерений (кнопка «▲» - ИМ). Установите ручку дискретной перестройки генератора 5 «▼» в

крайнее левое положение, ручку ручной регулировки частоты генератора 6 «▼▼» в среднее положение, ручку усиления ПЧ «►» – в крайнее правое положение.

Медленно вращайте ручку «▼» вправо до получения отклонения стрелочного прибора ИНД НАСТР не менее 10 мкА. Это соответствует попаданию промежуточной частоты второго преобразователя частоты в диапазон 20 – 40 МГц. Запишите результат измерения частоты f_1 . Проверьте, является этот результат измерением по прямому каналу. Для этого перестраивая генератор 5 вручную вверх по частоте (вправо ручкой «▼»), получите результат измерения по зеркальному каналу, который должен быть на 330...370 МГц больше полученного значения f_1 . Далее медленно поворачивайте ручку влево и добейтесь отклонения стрелки индикатора не менее 10 мкА. Запишите значение результат измерения по зеркальному каналу f_2 . Рассчитайте разность частот $f_2 - f_1$. Если она находится в пределах 256...290 МГц, то f_1 – частота прямого канала, f_2 – зеркального. Тогда надо вернуть руку перестройки частоты в положение, при котором измеряется частота по прямому каналу. Если получить указанную разность частот не удастся, то проведите повторный поиск частот f_2 и f_1 , разность которых будет находится в указанных пределах.

Произведите точную настройку прибора. Нажмите кнопку - ИМ. Вращением ручек «▼» и «▼▼» добейтесь максимального отклонения стрелки ИНД НАСТР, которое должно быть не менее 10 мкА. Если индикатор зашкаливает, можно уменьшить усиление ПЧ ручкой «►». Подключите к частотомеру (выход «N») электронно-лучевой осциллограф. Получите на нем изображение низкочастотного сигнала разностной частоты. Медленным вращением ручки «▼▼» получите изображение нулевых биений на экране осциллографа и (или) максимального отклонения стрелочного индикатора.

На табло индицируется значение частоты заполнения радиоимпульса. Если генератор имеет заметную нестабильность частоты, то нулевые биения могут пропасть в процессе измерения. В этом случае следует повторить подстройку ге-

нератора 6 ручкой «▼ ▼», а – при сильном уходе частоты – и генератора 5 ручкой «▼».

Проведите измерение частоты заполнения радиоимпульсов с длительностью 1, 20, 50 мкс. Для каждой длительности установите три значения частот генератора в пределах его рабочего диапазона. Результаты запишите. Рассчитайте погрешность установки частоты.

Содержание отчета по лабораторной работе

Отчет должен содержать структурную схему установки, таблицы данных и графики измеренных зависимостей.

Контрольные вопросы

1. Укажите назначение автоматизированного частотомера ЧЗ-66. Для чего прибор имеет три входа?
2. Какие элементы входят в структурную схему частотомера? Для чего используются преобразователи частоты входов Б и В?
3. Как производится автоматическое определение номера гармоники гетеродина, на которой проводится измерение?
4. В каких случаях используют ручную установку номера гармоники?
5. В чем отличие работы прибора ЧЗ-66 по входам Б и В?
6. Опишите методику измерения частоты заполнения радиоимпульсов.
7. Для чего в приборе используется дополнительный перестраиваемый генератор 6?
8. Для чего в частотомере используют усреднение показаний?
9. Что такое прямой и зеркальный каналы измерения частоты? Как их различить?

Список литературы

1. Данилин А.А. Измерения в технике СВЧ: Учеб. пособие для вузов.- М.: Радиотехника, 2008.-184с
2. Дворяшин Б.В. Метрология и радиоизмерения / Учеб. Пособие для студентов ВУЗов, -М.: Издательский центр «Академия», 2005. - 304с
3. Метрология и радиоизмерения / Учебник для ВУЗов. /Под ред. В.И.Нефедова, -М.: Высшая школа, 2003.
4. Винокуров В.И., Каплин С.И., Петелин И.Г. Электрорадиоизмерения. - М.: Высш. шк., 1986.
5. Измерения в электронике. Справочник /Под ред. В.А. Кузнецова. - М.: Энергоатомиздат, 1987.-512 с.

6. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине “Измерения на СВЧ”. А.А.Данилин, В.Н.Малышев, М.Л.Тылевич. -ЛЭТИ.- Л.:1990.- 28с.