

Министерство образования и науки
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет “ЛЭТИ”

А.А.Данилин

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторной работы по дисциплине
“Микроволновая техника ”

ИССЛЕДОВАНИЕ БАЛАНСНОГО СВЧ СМЕСИТЕЛЯ

Санкт-Петербург
2009

В лабораторной работе студенты знакомятся с работой балансного смесителя СВЧ диапазона, методикой измерения его параметров с помощью анализатора спектра (АС).

1. СВЧ смесители и их параметры

В радиоприемниках СВЧ, в измерительных приборах (анализаторах спектра, частотомерах и пр.) входной сигнала с помощью *преобразователя частоты* переносится на более низкую *промежуточную частоту* (ПЧ). На этой частоте осуществляется основное усиление сигнала и измерение его параметров. Таким образом, от параметров преобразователя частоты зависит степень искажения исходного сигнала и погрешности его измерения.

Структурная схема преобразователя частоты представлена на рис. 1.

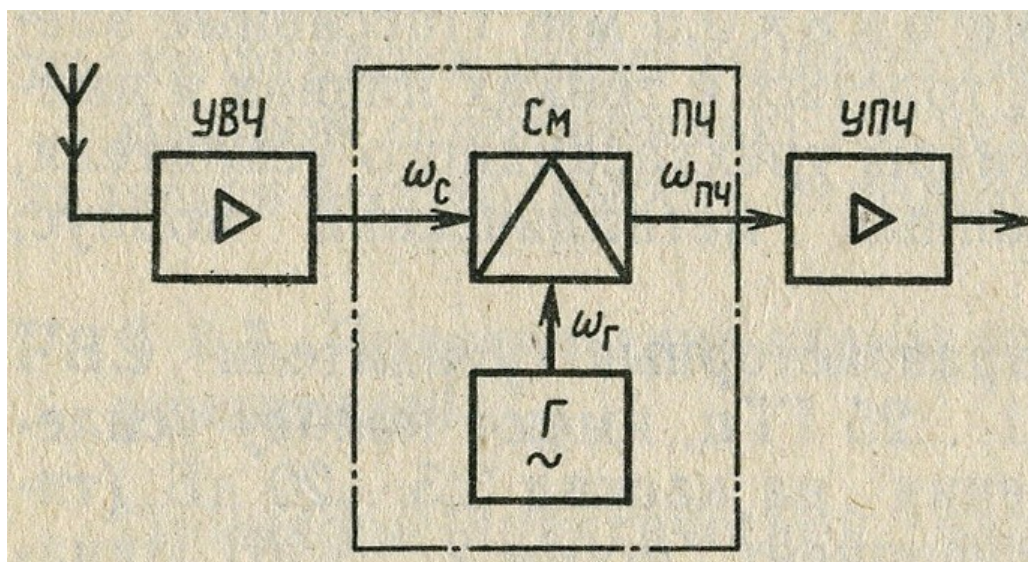


Рис.1. Структурная схема преобразователя частоты

Преобразователь частоты состоит из смесителя СВЧ (обычно на основе СВЧ диода) и гетеродина - маломощного генератора СВЧ, а также фильтра, выделяющего из выходной смеси сигнал, имеющий нужную промежуточную частоту. Мощность сигнала гетеродина значительно выше мощности входного сигнала. Преобразование частоты сигнала происходит за счет нелинейности характеристик смесительного диода, в качестве которого используют точечно-контактные диоды (ТКД) и диоды с контактом Шотки (ДШ). Последние обладают более крутой ВАХ, лучшей электрической и механической прочностью, однако требуют значительной мощности гетеродина. Иногда в смесителях используют обращенный туннельные диоды (ОД), у которых используется обратная ветвь ВАХ (рис.2)

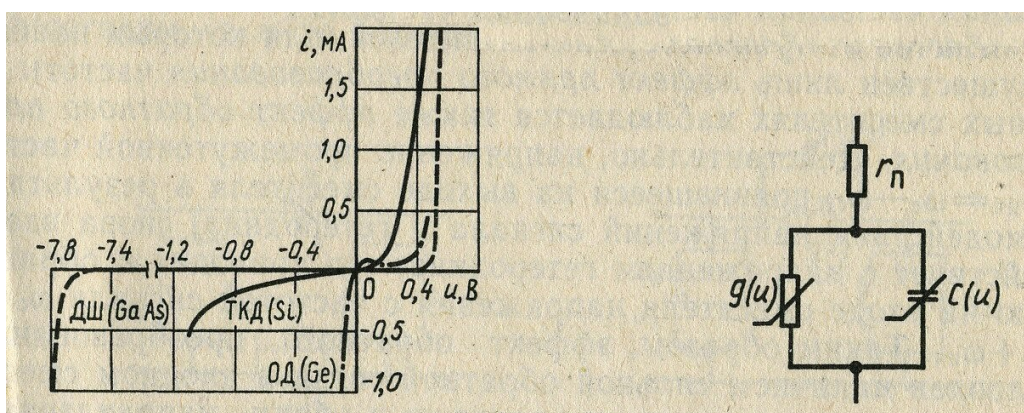


Рис.2. Вольтамперные характеристики смесительных диодов и их эквивалентная схема

Упрощенная эквивалентная схема смесительного диода содержит сопротивление потерь r_n , нелинейную паразитную емкость $C(u)$ и нелинейную проводимость барьерного слоя диода $g(u)$. Эффект преобразования частоты связан с этой проводимостью, поэтому смесительные диоды по сути являются *варисторами* – нелинейными резисторами.

Схема простейшего одноконтурного СВЧ смесителя приведена на рис 3 а, а эквивалентная схема – на рис.3 б.

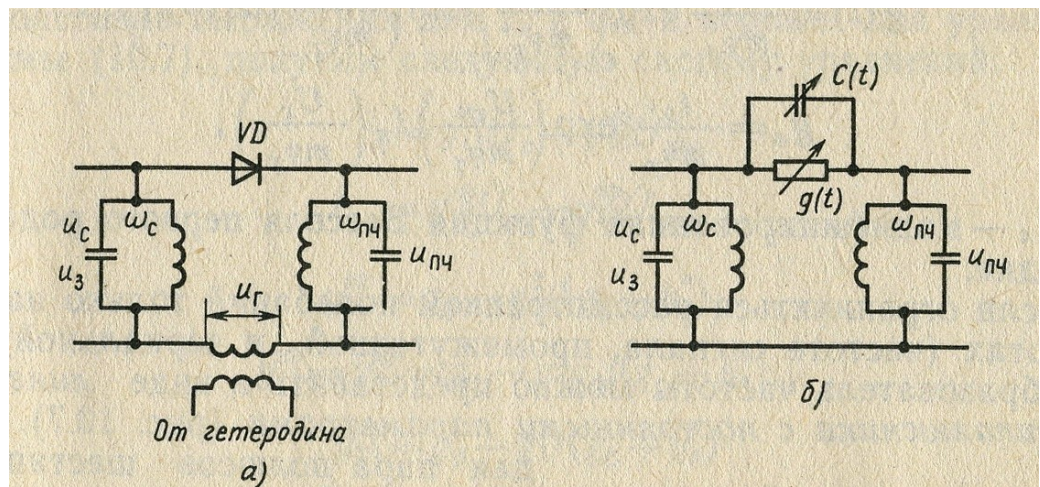


Рис.3. Электрическая (а) и эквивалентная (б) схемы смесителя

Колебания сигнала и гетеродина суммируются и подаются на смесительный диод. ВАХ диода можно аппроксимировать степенным рядом. Поскольку для входного сигнала диод представляет собой параметрическое устройство, смеситель осуществляет линейное преобразование спектра. В спектре тока диода имеется постоянная составляющая I_0 , а также многочисленные комбинационные составляющие $\pm m\omega_c \pm n\omega_r$, где m и n – целые числа. На выходе смесителя фильтр выделяет основной продукт преобразования – разностную промежуточную частоту $\omega_{ПЧ} = \omega_c - \omega_r$. Такой вариант смесителя называют «смеситель с верхней боковой полосой». Возможен и другой вариант – выделение частоты $\omega_{ПЧ} = \omega_r - \omega_c$ (смеситель с нижней боковой полосой).

Кроме полезного сигнала ПЧ, в спектре тока диода примерно такую же амплитуду будет иметь компонента суммарной частоты $\omega_{\Sigma} = \omega_r + \omega_c$ (рис.4).

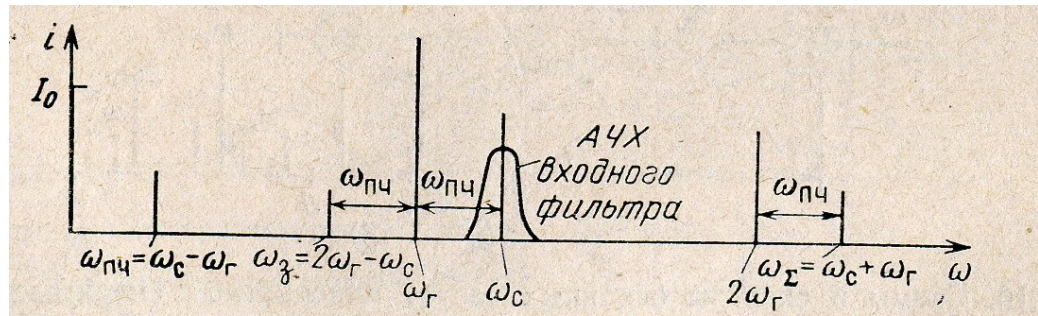


Рис.4. Спектр комбинационных составляющих смесителя с верхней боковой полосой

Кроме этой составляющей, которую относительно просто отфильтровать на выходе, в спектре присутствует зеркальная частота $\omega_3 = 2\omega_r - \omega_c$. Она образуется в результате взаимодействия сигнала с удвоенной частотой гетеродина. Отметим, что зеркальная частота совпадает с частотой «зеркального» канала приема преобразователя частоты. Сигнал зеркальной частоты образуется на входе смесителя также в результате обратного преобразования $\omega_3 = \omega_r - \omega_{ПЧ}$ из-за взаимодействия сигнала ПЧ и сигнала гетеродина. Взаимодействие между колебаниями сигнальной и зеркальной частот оказывает существенное влияние на потери преобразования диодного смесителя.

Характеристики преобразования улучшаются при подавлении зеркальной частоты. Подавление внешних сигналов зеркального канала позволяет улучшить избирательность преобразователя, подавление комбинационных составляющих самого смесителя уменьшает потери преобразования и снижает уровень паразитного излучения гетеродина. Если на входе смесителя присутствует узкополосный фильтр-преселектор, настроенный на частоту сигнала, то на зеркальной частоте его входная проводимость мнимая. В результате не поглощается мощность на зеркальной частоте и несколько увеличивается коэффициент преобразования смесителя. Кроме того, эффективно подавляются помехи на частоте зеркального канала. Если же входная цепь смесителя относительно широкополосна (полоса больше $2\omega_{ПЧ}$), то условия для основной и зеркальной частоты примерно равны и подавления зеркального канала не происходит.

В сантиметровом диапазоне одноконтные смесители имеют потери преобразования 7...10 дБ. Главным недостатком одноконтных смесителей является преобразование шумов гетеродина на частоту ПЧ. Составляющие спектра шума гетеродина с частотами основного и зеркального каналов, взаимодействуя в смесительном диоде с колебаниями гетеродина, попадают в полосу пропускания УПЧ.

Для уменьшения влияния шумов гетеродина применяются балансные смесители различного типа: двухдиодные, двойные балансные, кольцевые и двойные кольцевые. Рассмотрим двухдиодный балансный смеситель (рис.5)

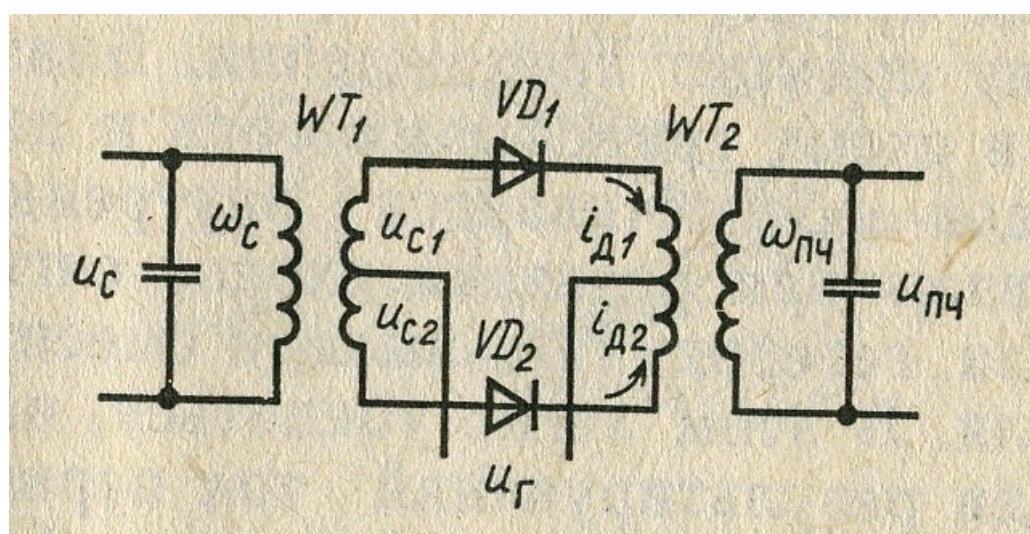


Рис.5. Двухдиодный смеситель

Он содержит два диода, которые включены таким образом, что токи их в первичной обмотке выходного трансформатора направлены встречно. Напряжение гетеродина подается на диоды синфазно, а напряжение сигнала - противофазно. Токи сигнала ПЧ поэтому тоже противофазны и их магнитные потоки складываются в выходном трансформаторе. Составляющие с частотой гетеродина создают противофазные потоки и на выходе взаимнокомпенсируются.

Балансная схема имеет меньший коэффициент шума, вся мощность гетеродина поступает на диоды, что позволяет уменьшить уровень сигнала гетеродина. Схема обеспечивает малые потери входного сигнала в цепях гетеродина из-за высокой развязки мостовых схем и имеет типовые потери преобразования в преде-

лах 5...8 дБ. Интересно, что при выходе из строя одного диода схема остается работоспособной, только падает уровень выходного сигнала.

Более высокой избирательностью по прямому каналу имеют кольцевые смесители (рис.6)

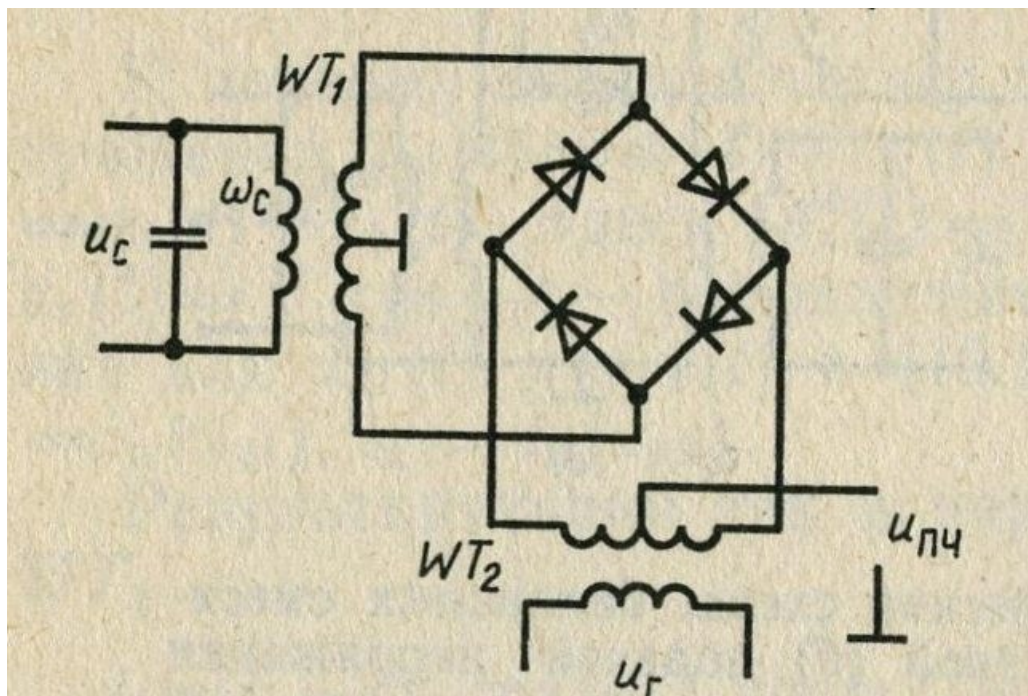


Рис.6. Кольцевой балансный смеситель

Благодаря симметрии трансформаторов и диодов обеспечивается высокая развязка входов сигнала, гетеродина и выхода ПЧ, малый уровень потерь сигнала и гетеродина, подавление зеркального канала приема. Есть варианты схем, позволяющие реализовать фазовое подавление сигнала зеркальной частоты (двойной кольцевой смеситель). При этом удастся получить такие же низкие потери преобразования, что и в обычной кольцевой схеме, но в гораздо большей полосе частот.

2. Анализаторы спектра СВЧ радиосигналов

В диапазоне СВЧ наблюдение формы сигнала (зависимости его во времени) не позволяет получить полную информацию о нем. Так, осциллограмма радиосигнала с частотной модуляцией практически мало отличим от синусоидального сигнала, наличие в составе сигнала дополнительных гармонических составляющих маскируется большой величиной гармоники несущей частоты и пр. Анализ спектральных характеристик радиосигналов в диапазоне СВЧ более информативен и позволяет измерить его мощность, частоту, коэффициент модуляции и пр. Практически анализатор спектра в СВЧ диапазоне является таким же универсальным прибором для исследования радиосигналов, каким на низких частотах является осциллограф.

Напомним спектральные характеристики радиосигнала. Для сигнала $u(t)$ вводят *спектральную функцию* (или *спектральную плотность*), определяемую прямым преобразованием Фурье

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t)e^{-i\omega t} dt$$

Эта функция комплексная, имеет размерность В/Гц и представляет распределение амплитуд и фаз гармонических составляющих по частотной оси. Спектральная функция – это функционал уже закончившегося процесса (интеграл берется до «бесконечного» времени). В реальных условиях измерять можно только *текущий частотный спектр*

$$S(\omega, t) = \int_{-\infty}^t u(t)e^{-i\omega t} dt ,$$

характеризующий незаконченный процесс. Чаще измеряют модуль этого выражения – его называют *амплитудной спектральной функцией* или *амплитудным спектром* сигнала.

Для периодических сигналов спектральная функция представляет собой последовательность дельта-функций, смещенных друг относительно друга на частоту повторения сигнала. Для этого случая используют спектральное представление сигналов с периодом T в виде ряда Фурье:

$$u(t) = U_0 + \sum_{n=1}^{\infty} U_n \cos\left(n \frac{2\pi}{T} t + \varphi_n\right),$$

Ряд Фурье представляет собой совокупность гармонических колебаний с кратными частотами. Составляющая с нулевой частотой U_0 является постоянной составляющей сигнала. Последовательности амплитуд U_n и начальных фаз φ_n гармоник представляют собой *амплитудный* и *фазовый спектры* периодических сигналов.

Особый класс сигналов, который исследуется в спектральном представлении - это шумовые и случайные сигналы. Важной характеристикой шумового сигнала является его спектральная плотность мощности:

$$W(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{|S(\omega, T)|^2}{T}.$$

Здесь $S(\omega, T)$ – спектральная плотность реализации случайного процесса на интервале $[-T/2, T/2]$. Размерность спектральной плотности мощности $[B^2 \cdot c]$ совпадает с размерностью энергии сигнала.

Таким образом, спектральный анализ сигналов в диапазоне ВЧ и СВЧ сводится к определению амплитуд и частот гармонических составляющих периодических сигналов, измерению амплитудной спектральной функции непериодических сигналов и спектральной плотности мощности случайных сигналов.

Стандартные анализаторы спектра СВЧ диапазона строятся преимущественно по принципу последовательного анализа. Спектральные составляющие выделяют узкополосным фильтром. Фактически такой прибор является узкополосным селективным вольтметром с супергетеродинным методом перестройки по частоте. Используют электронную перестройку частоты и панорамный принцип индикации результата. На выходе фильтра ставят измеритель уровня (линейный и квадратичный детектор). Результат измерения подают на отсчетное устройство - осциллографический индикатор или растровый дисплей.

Структурная схема прибора с последовательным методом анализа представлена на рис. 7.

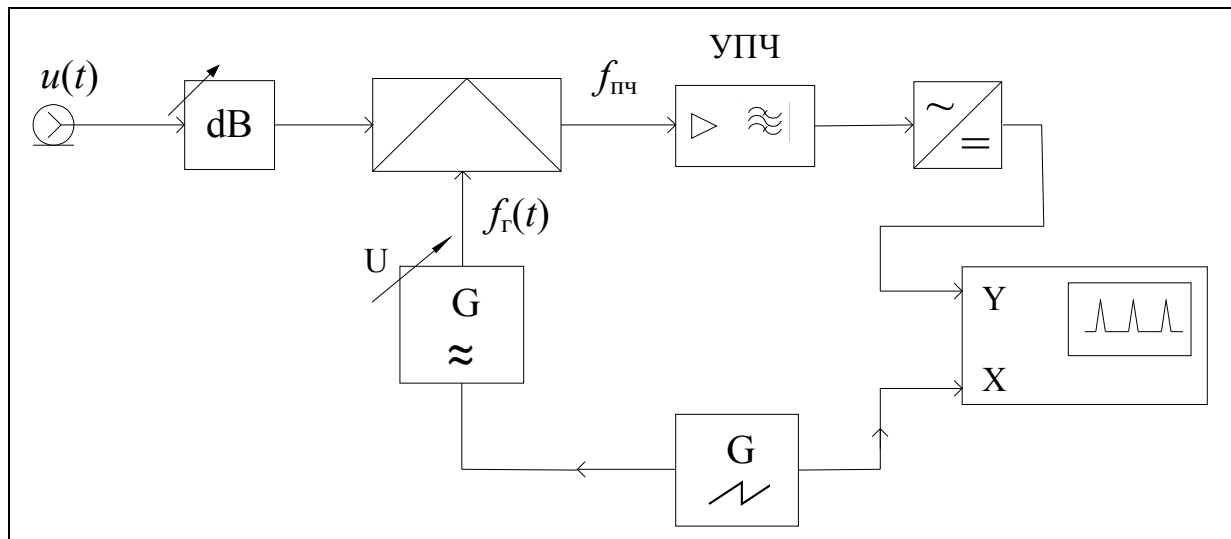


Рис.7. Структурная схема анализатора спектра последовательного типа.

Управление перестройкой частоты гетеродина производится генератором пилообразного напряжения $u_{\text{упр}}(t)$. Он задает время анализа T_a , то есть время, за которое анализатор сканирует заданный диапазон частот спектра (полосу анализа Δf_a). Этим же напряжением производят горизонтальное отклонение луча осциллографического индикатора. Гетеродин является генератором качающейся частоты (ГКЧ) с постоянной амплитудой и меняющейся по линейному закону частотой

$$f_c(t) = f_{c_n} + \Delta f_a \frac{u_{\text{упр}}(t)}{U_{\text{упр max}}}.$$

Сигнал с гетеродина поступает на смеситель. Если на вход анализатора подан синусоидальный сигнал с частотой f_c , то на выходе смесителя возникают колебания с комбинационными частотами, в том числе с частотой $f_c - f_r(t)$. Сигнал с разностной (и меняющейся во времени) частотой подают на вход узкополосного УПЧ, который и производит процедуру частотного анализа спектра. Закон изменения частоты от времени показан на графике рис.2, где для наглядности ось вре-

мени повернута вниз.

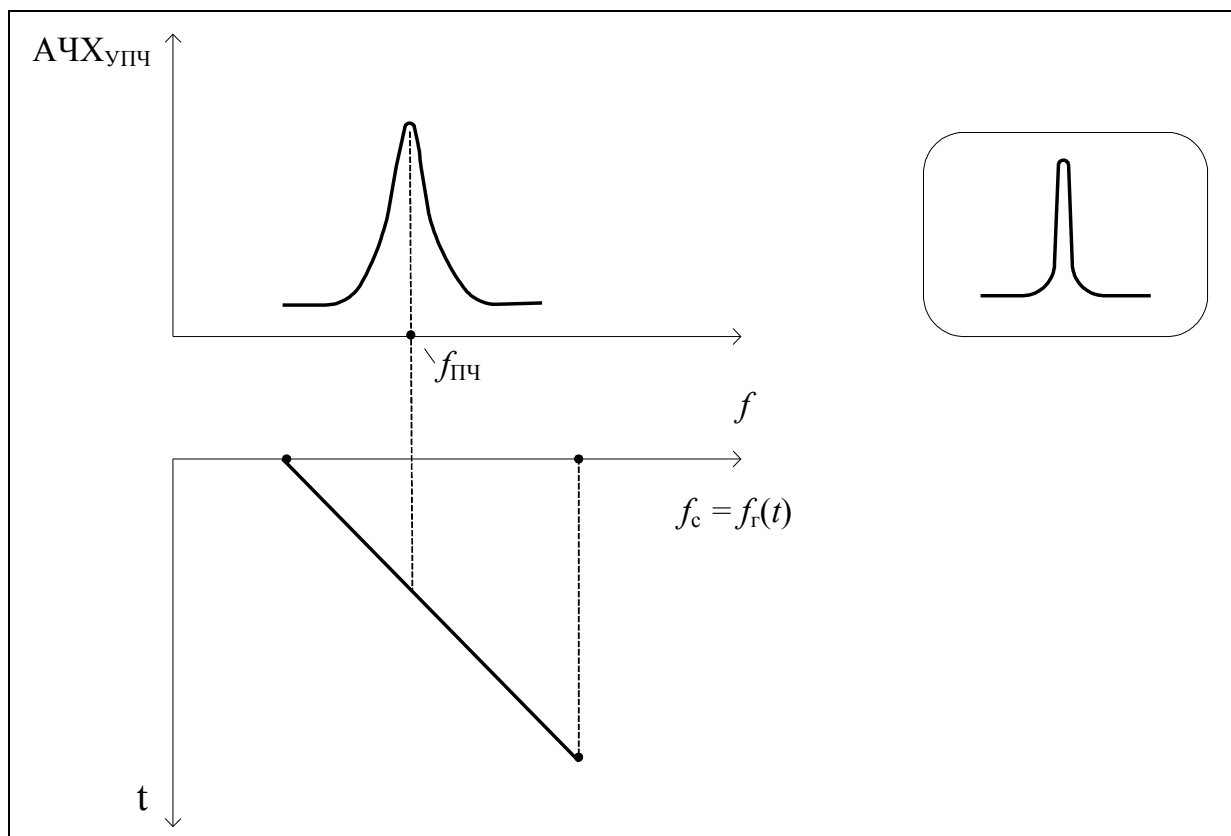


Рис.8. Принцип действия последовательного анализатора спектра

В момент t_0 , когда выполняется $f_c - f_c(t_0) = f_{ПЧ}$, на выходе УПЧ появляется радиоимпульс. Его огибающая повторяет форму АЧХ фильтра УПЧ. Детектор выделяет напряжение (видеоимпульс), повторяющее его огибающую. Этот сигнал поступает на осциллографический индикатор. При наличии в составе спектра сигнала нескольких гармоник, процесс формирования видеоимпульса происходит аналогично, но в разные моменты времени. Совокупность откликов спектроанализатора на каждую гармоническую составляющую входного сигнала называют

спектрограммой. Величины откликов пропорциональны амплитудам входных гармоник, расположение откликов на оси X соответствует частотам гармонических составляющих входного сигнала.

Отклик повторяет форму АЧХ УПЧ только в статическом режиме, когда изменение частоты происходит медленно по сравнению со скоростью переходных процессов в фильтре. На практике приходится учитывать искажение отклика за счет динамических искажений выходного напряжения фильтра. Степень искажений описывают коэффициентом динамических искажений

$$\mu = \frac{\Delta f_a}{A \cdot (\Delta f_{\text{УПЧ}})^2 T_a},$$

где $A=1..2$ – коэффициент, зависящий от формы АЧХ фильтра, – его полоса пропускания, Δf_a и T_a – полоса обзора и время анализа спектроанализатора. Считают приемлемым режим работы анализатора с $\mu \sim 1$. Отсюда вытекает важное условие неискаженной спектрограммы, устанавливающее связь между временем анализа, полосой анализа и полосой пропускания УПЧ:

$$T_a \geq \frac{\Delta f_a}{A \cdot (\Delta f_{\text{УПЧ}})^2}.$$

При широкой полосе анализа и узкой полосе пропускания требуемое время анализа может достигать десятков секунд и более. Поэтому в анализаторах спектра применяют запоминание спектрограмм. Полоса пропускания УПЧ делается регулируемой, что позволяет подобрать оптимальное соотношение между временем анализа и формой отклика спектроанализатора. Аналогичные проблемы могут возникнуть при слишком узкой полосе пропускания видеополосового фильтра (сглаживающего сигнал после детектора). Поэтому выбор времени анализа, полосы УПЧ (радиополосового фильтра) и полосы видеополосового фильтра при заданной полосе обзора спектра – задача компромиссная и требующая определенного опыта.

Искажают спектрограмму помехи, которые попадают на выход анализатора по зеркальному каналу. Напомним, что для преобразования частоты характерно наличие паразитного зеркального канала прохождения сигнала. Кроме полезного сигнала с разностной частотой $f_c - f_r(t) = f_{\text{УПЧ}}$, в полосу пропускания УПЧ попадает сигнал с частотой, ниже частоты гетеродина на значение промежуточной частоты

$f_i(t) - f_c = f_{\text{упч}}$. Этот канал является «зеркальным» для анализатора спектра. Гармоника с частотой зеркального канала создаст паразитный отклик, накладывающийся на полезный.

Для исключения паразитных сигналов необходимо осуществлять фильтрацию сигнала на входе анализатора. Это можно сделать электрически перестраиваемым фильтром, настроенным на частоту полезного сигнала (преселектор). В диапазоне СВЧ такой фильтр реализуют на ЖИГ-резонаторах с электронной перестройкой. Требования к таким фильтрам достаточно жесткие – синхронность перестройки с гетеродином, постоянство коэффициента передачи при перестройке, малый уровень шумов, высокая линейность. Чаще используют неперестраиваемые полосовые фильтры, пропускающие весь рабочий диапазон частот спектроанализатора. При этом для лучшего частотного разделения полезного и зеркального каналов выбирают высокое значение промежуточной частоты. Однако на высоких ПЧ трудно получить узкие полосы пропускания фильтра. Выход из этого противоречия - использование двойного или тройного преобразования частоты. Частота первой ПЧ выбирается, исходя из требований подавления зеркального канала, частота последней ПЧ – с точки зрения простоты реализации узкополосного фильтра.

Измерение параметров спектра производят по спектрограмме. Амплитуды (уровни) спектральных составляющих измеряют обычно методом калиброванных шкал (аналогично осциллографу). Вертикальная калибруется в единицах напряжения (мощности), относительного или абсолютного уровня в дБ. Для точного измерения частоты гармоник метод калиброванных шкал не подходит из-за низкой стабильности установки частотного диапазона спектроанализатора. Вместо этого используют метод частотных меток. На вход анализатора вместе с исследуемым сигналом от встроенного или внешнего калибратора подают радиоимпульсы, частота повторения которых стабилизирована кварцем. Спектр импульсов содержит гармоники, расстояние между которыми равно образцовой частоте повторения. Отклики на эти гармоники образуют частотные метки на экране анализатора. Меняя частоту несущей радиосигнала, можно перемещать спектр сигнала ка-

либратора в пределы полосы обзора. Сравнивая исследуемый и образцовый сигналы, по масштабной сетке проводят измерение частот гармоник.

Другой способ – подать на вход синусоидальный сигнал с известной частотой. На экране он создаст одиночную частотную метку. Перемещая ее по изображению, добиваются совпадения метки с исследуемыми гармониками сигналом. В ряде случаев используют метод стоп-метку со встроенным электронно-счетным частотомером.

Цифровые анализаторы спектра СВЧ диапазона выполнены по такой же схеме, что и аналоговые. Закон изменения частоты гетеродина делают ступенчато-нарастающим с малым дискретом. Сигнал после детектирования подвергается аналого-цифровому преобразованию. В современных СВЧ анализаторах спектра быстродействующий АЦП ставят до детектора (после фильтра). В этом случае выделение огибающей делается программным способом, что позволяет избежать погрешностей характеристики детектора. Цифровой сигнал используют при построении спектрограммы на экране дисплея и для отсчета амплитуд спектра с помощью меток.

3. Краткие технические данные анализатора спектра GSP -827 и его структурная схема

В лабораторной работе используется СВЧ анализатор GSP -827, который имеет рабочий диапазон частот $0 \dots 2,7$ ГГц. Прибор имеет малые габариты, массу около 4,5 кг, работает как от сети, так и от батарей (рис.9).



Рис. 9. Анализатор спектра GSP -827

В приборе использован высококонтрастный ЖКИ с разрешением 640X480. Сохранение данных и дистанционное управление прибором возможно с компьютера по интерфейсам RS-232 или GPIB (КОП).

Основные параметры анализатора спектра GSP-827 приведены в таблице 1.

Таблица 1

| Наименование параметра | Значение | Погрешность |
|--|-------------------------------------|---|
| Диапазон частот | 9 кГц - 2,7 ГГц | Определяется опорным источником частоты |
| Полоса обзора | 0 Гц, 2 кГц - 2,5 ГГц | Определяется опорным источником частоты |
| Опорный источник частоты | 10 МГц | 0,001% |
| Полоса пропускания | 3 кГц, 30 кГц, 300 кГц, 4 МГц | ±15% |
| Входное сопротивление | 50 Ом | КСВН не более 1,5 |
| Диапазон входных уровней сигнала | -100...+20 дБмВт | Неравномерность АЧХ: ±1,5 дБ Линейность шкалы: ±1,5 дБ |
| Спектральная плотность шумов | -130 дБмВт/Гц | |
| Интермодуляционные и негармонические искажения | Менее (-60 дБ) относительно несущей | |

Вход ВЧ имеет разъем N-типа; 50 Ом; КСВН < 1,5 при относительном опорном уровне 0 дБм. Максимальный уровень входного сигнала +30 дБм, постоянное напряжение не более 25 В. Относительный опорный уровень может быть установлен в пределах -30...20 дБм.

Анализатор GSP-827 способен проводить сканирование полосы обзора от 9 кГц до 2,7 ГГц. Время анализа регулируется в пределах 100 мс...25,6 с. Полоса пропускания УПЧ – от 3 кГц до 4 МГц (меняется дискретно). Полоса видеочастотного фильтра регулируется в пределах 10 Гц...1 МГц.

Прибор имеет низкий уровень собственных фазовых шумов. Плотность фазовых шумов составляет -85 дБс/Гц на частоте 1 ГГц при отстройке от несущей на 20 кГц. Уровень вносимых гармонических искажений < -60 дБ при входном уровне не превышающем – 40 дБм и интермодуляционных искажений 3-го порядка < -70 дБ при входном уровне –40 дБм.

Прибор обеспечивает дополнительные функциональные возможности:

- Измерение мощности в канале и соотношения мощностей в смежных каналах, измерение пропускной способности канала связи;
- Разделение окна для одновременного измерения при двух различных полосах обзора;
- Обработку спектрограмм (поиск пикового значения; накопление; замораживание; математическую обработку);
- Маркерные измерения (до 10 маркеров);
- Анализ по шаблону: задание верхней/нижней границы с индикацией «Годен – Негоден»;
- Запись результатов и профилей установок в энергонезависимую память (до 100 спектрограмм и профилей);

Анализатор спектра GSP-827 предназначен для исследования спектров периодически повторяющихся радиоимпульсов и непрерывных сигналов:

- Определение уровня и частоты гармонических сигналов;
- Наличие паразитных амплитудной и частотной модуляции;

- Определение соотношения гармонических составляющих в спектрах сигналов сложной формы;
- Для импульсных сигналов: измерение частоты несущей и ширины лепестков спектра, оценку длительности импульса и искажения его формы по виду спектра.

4. Описание лабораторной установки

Исследуемый смеситель (рис.10) представляет собой гибридную интегральную схему производства фирмы Mini-Circuits (www.minicircuits.com) типа

SYM-25DHW.

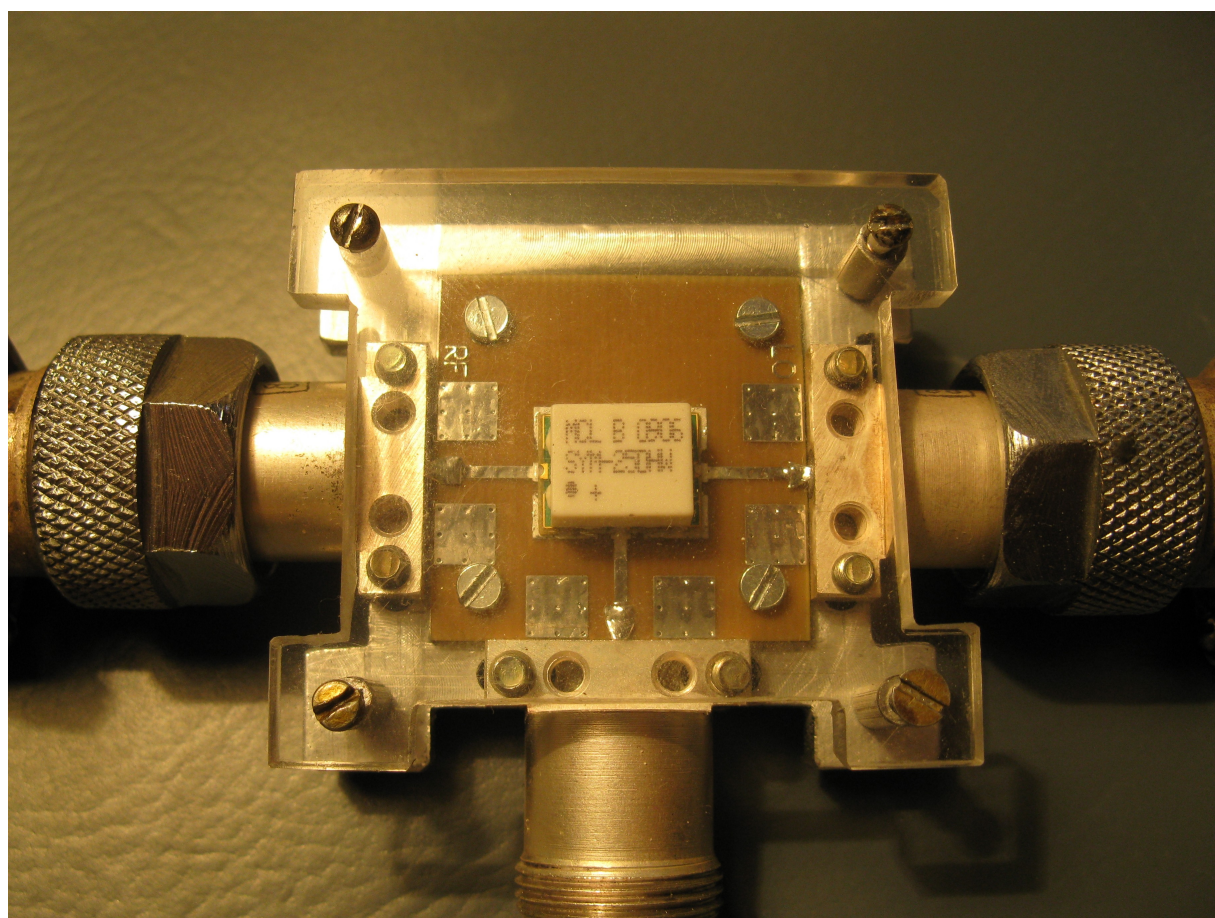


Рис. 10. СВЧ смеситель – общий вид

Этот смеситель имеет широкий рабочий диапазон входного сигнала (80 ... 2500 МГц), выбор частоты ПЧ в пределах - 0...1000 МГц, малые потери преобразования (6,4 ...9 дБ), высокую линейность (коэффициент IP3 порядка 30 дБм). Развязка входной цепи (RF) и гетеродина (LO) - 25...46 дБ, гетеродина и выхода

ПЧ – порядка 36 дБ, КСВН входа RF – не хуже 2. Номинальный уровень мощности гетеродина 17 дБм (около 50 мВт).

Электрическая схема соответствует двойному балансному смесителю с двумя диодными мостами и симметрирующими трансформаторами (рис.11)

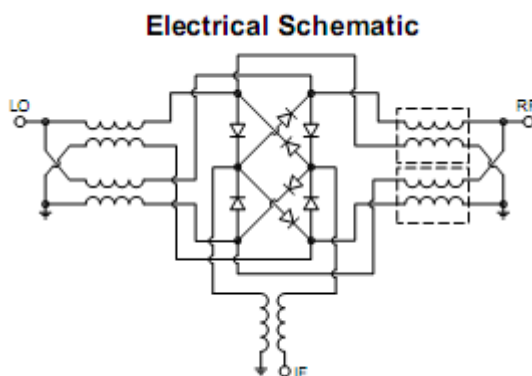


Рис. 11. СВЧ смеситель – электрическая схема

Для фильтрации входных и выходных сигналов используются внешние селективные цепи. В лабораторной работе для выделения сигнала ПЧ используется коаксиальный фильтр низкой частоты с частотой среза 800...900 МГц. Для исследования смесителя используется два измерительных СВЧ генератора и анализатор спектра GSP-827.

5. Задание и указания к выполнению лабораторной работы

1. Измерение полного спектра комбинационных составляющих

Соедините кабелем ВЧ вход анализатора с разъемом выхода промежуточной частоты смесителя. Подключите генератор сигнала гетеродина к разъему LO, а генератор входного сигнала – к разъему RF смесителя.

Включите анализатор длительным нажатием кнопки СЕТЬ. Установите следующие параметры спектроанализатора: полоса обзора – полный диапазон (Full Span), полоса пропускания фильтра УПЧ (RBW) = 4 МГц, полоса видео-фильтра (VBW) = 30 кГц, отсчетный уровень спектрограммы (RefLevel) = 0 dBm,

шкала спектрограммы (Unit) в логарифмических единицах мощности относительно 1 мВт (dBm), цена деления (Scale) – 10 dBm.

Подайте от гетеродина сигнал с частотой 900 МГц и уровнем +17 дБм. Установите частоту входного сигнала 1000 МГц, уровень 0 дБм, что соответствует работе смесителя с верхней боковой полосой. На выходе ПЧ, кроме преобразованного сигнала с частотой 100 МГц, появятся и комбинационные составляющие типа $\pm m \cdot f_c \pm n \cdot f_r$.

Амплитудный спектр полного сигнала в диапазоне до 2,7 ГГц можно наблюдать на экране спектроанализатора. Зарисуйте вид спектра. По калиброванной шкале уровня сигнала оцените величины его гармонических составляющих. Результаты занесите в таблицу по форме 1. С помощью маркера (электронной метки) проведите точное измерение мощностей и частот гармоник. Для этого включите одиночный маркер (Marker – ON, MM mode- OFF), режим маркера – Normal. На экране появится один маркер, обозначенный точкой в кружочке. Переведите его на пик спектра (Поиск Пика -To Peak). При необходимости подстройте положение маркера на максимум отклика колесом прокрутки. Частота и уровень спектра в точке расположения маркера выведены в правой верхней части экрана. Запишите частоту гармоник и уровень мощности в дБм и занесите полученные результаты в таблицу 1. Определите индексы комбинационной частоты m,n для каждой гармонической составляющей спектра.

Повторите измерения амплитудного спектра комбинационных составляющих для режима работы смесителя с нижней боковой полосой. Для этого подайте от гетеродина сигнал с частотой 1100 МГц, которая выше частоты сигнала на величину ПЧ=100 МГц, и проведите описанные выше измерения.

2. Измерение коэффициента ослабления смесителя в диапазоне частот

Измерьте коэффициент преобразования смесителя на частотах 500... 2500 МГц.

Подключите на выход смесителя фильтр НЧ для подавления высших комбинационных составляющих. Получите на экране отклик сигнала ПЧ = 100 МГц в крупном масштабе. Для этого установите метку на отклик сигнала $f = 100$ МГц и

сделайте его частоту центральной частотой полосы обзора (Mkr->Center). Установите следующие параметры спектроанализатора: полоса обзора (Span) – 10 МГц, полоса пропускания фильтра УПЧ (RBW) = 30 кГц, полоса видеофильтра (VBW) = 3 кГц.

Установите маркер на вершину отклика ПЧ и измерьте его уровень. Учитывая, что уровень входного сигнала 0дБм, уровень отклика будет равен коэффициенту преобразования смесителя.

Проведите измерение коэффициента преобразования на частотах сигнала 500, 1000, 1500, 2000, 2500 МГц. На каждой частоте сигнала устанавливайте частоту гетеродина дважды: на 100 МГц больше и меньше, чем частота сигнала. Результаты измерений сведите в таблицу по форме 2. Постройте график зависимости коэффициента преобразования от частоты для режимов верхней и нижней боковых полос.

3. Исследование преобразования частоты модулированных сигналов

Установите следующие параметры спектроанализатора: полоса обзора (Span) – 100 МГц, полоса пропускания фильтра УПЧ (RBW) = 3 кГц, полоса видеофильтра (VBW) = 3 кГц.

Установите на генераторе СВЧ сигнала режим амплитудной модуляции 100%, частота модуляции – 20 кГц. Получите на экране спектр АМ сигнала на ПЧ=100МГц и измерьте амплитуды гармонических составляющих. Рассчитайте коэффициент АМ преобразованного сигнала.

Установите режим ЧМ преобразованного сигнала с девиацией 20 кГц и частотой модуляции 1 кГц. Измерьте ширину спектра ЧМ колебания по его огибающей. Для этого удобно использовать режим фиксации максимального значения спектрограммы (Об.спектра->PkHold->On). Зарисуйте вид огибающей спектра ЧМ сигнала.

4. Содержание отчета по лабораторной работе

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

5. Контрольные вопросы

1. Сформулируйте измерительные задачи, решаемые анализатором спектра последовательного типа.
2. Какие особенности имеет измерение спектров в СВЧ диапазоне?
3. Для чего в анализаторах спектра используют двойное или тройное преобразование частоты?
4. Поясните структурную схему последовательного анализатора спектра. Укажите назначение основных блоков прибора.
5. Что такое рабочий диапазон частот и полоса обзора спектроанализатора и чем они отличаются?
6. Как производят измерение амплитуд спектральных составляющих в спектроанализаторах последовательного типа?
7. Как выполняется измерение частоты гармоник в анализаторе спектра ?
8. Какие параметры анализатора спектра определяет полоса пропускания УПЧ? В каких случаях ее необходимо подбирать?
9. Что такое прямой и зеркальный каналы спектроанализатора?

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. Микроэлектронные устройства СВЧ: Учеб. Пособие /Под ред. Г.И.Веселова, - М.: Высшая школа, 1988-280с.
4. Винокуров В.И., Каплин С.И., Петелин И.Г. Электрорадиоизмерения. - М.: Высш. шк., 1986-351с.
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.

Рекомендуемые формы таблиц

Форма 1

| Параметр | обозначение комбинационной частоты | | | | |
|-------------------------------|------------------------------------|--|--|--|--|
| | | | | | |
| Оценка уровня гармоник, дБм | | | | | |
| Частота гармоник, МГц | | | | | |
| Мощность гармоник P_n , дБм | | | | | |

Форма 2

| Частота сигнала, МГц | Коэффициент преобразования, дБм (верхняя боковая полоса) | Коэффициент преобразования, дБм (нижняя боковая полоса) |
|----------------------|---|--|
| 500 | | |
| 1000 | | |
| ... | | |