

Министерство образования и науки
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет “ЛЭТИ”

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторной работы по дисциплине
“Микроволновая техника”

ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КСВ И ОСЛАБЛЕНИЯ ПАНОРАМНЫМ АНАЛИЗАТОРОМ Р2-61

Санкт-Петербург
2008

В лабораторной работе студенты знакомятся с устройством и принципом действия скалярного измерителя параметров СВЧ трактов Р2-61. Изучаются методы использования его для исследования частотных характеристик устройств СВЧ.

Краткие технические данные панорамного измерителя Р2-61 и его структурная схема

Прибор Р2-61 предназначен для наблюдения на экране осциллографического индикатора частотных характеристик модулей параметров рассеяния волноводных двухполюсников и многополюсников СВЧ и измерения КСВ и ослабления.

Технические данные прибора:

1. Диапазон рабочих частот 8,24 ... 12,05 ГГц (волновод 23 x 10 мм);
2. Полоса качания частоты от 120 МГц до полного частотного диапазона.
3. Выходная мощность не менее 1 мВт.
4. Метрологические параметры: диапазон измерения КСВ 1,05 ... 5 с погрешностью $\pm(5 \cdot \text{КСВ}), \%$. Диапазон измерения ослабления A 0 ... 35 дБ с погрешностью $\pm(0,05 \cdot A + 0,5), \text{дБ}$. Погрешность установки частоты не хуже 240 МГц.

Прибор состоит из блока генератора (ГКЧ 61) и измерителя-индикатора Я2Р-67. В состав прибора входит комплект направленных ответвителей с детекторами СВЧ (Рис.1)

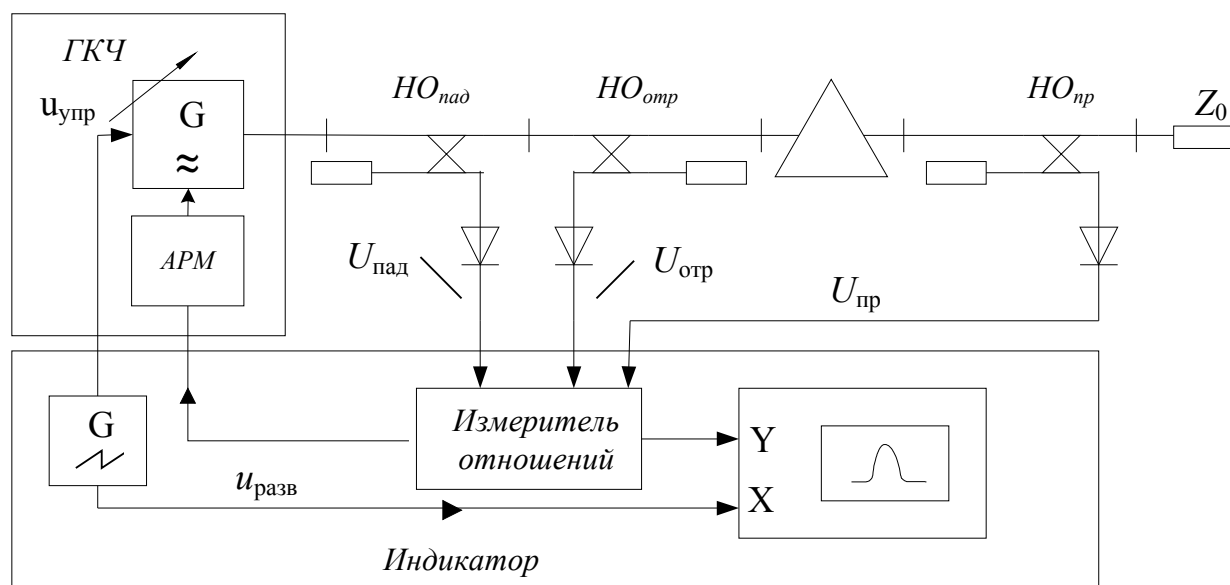


Рис.1. Структурная схема панорамного измерителя Р2-61

Направленность ответвителей порядка 37-38 дБ, коэффициент преобразования детекторов 2 мВ/мВт (с учетом ослабления НО) при токе смещения 50 мА.

Генератор качающейся частоты (ГКЧ) обеспечивает ручную перестройку и автоматическое качание частоты в пределах установленных границ F1, F2. Главные требования к ГКЧ анализатора цепей СВЧ – широкий диапазон перестройки частоты при минимальной вариации амплитуды, уровень выходной мощности не менее нескольких мВт, отсутствие побочных колебаний и гармоник. Эти требования противоречивы и ограничивают диапазон перестройки частоты ГКЧ до 40-60% на частотах порядка 10 ГГц и выше. ГКЧ управляется по частоте пилообразным напряжением развертки, по амплитуде – системой автоматической регулировки мощности (АРМ).

Обычно генератор качающейся частоты совместно с элементами измерительного тракта (переходами, аттенюаторами, блоком питания и пр.) выполняют в виде отдельного блока (рис.2).

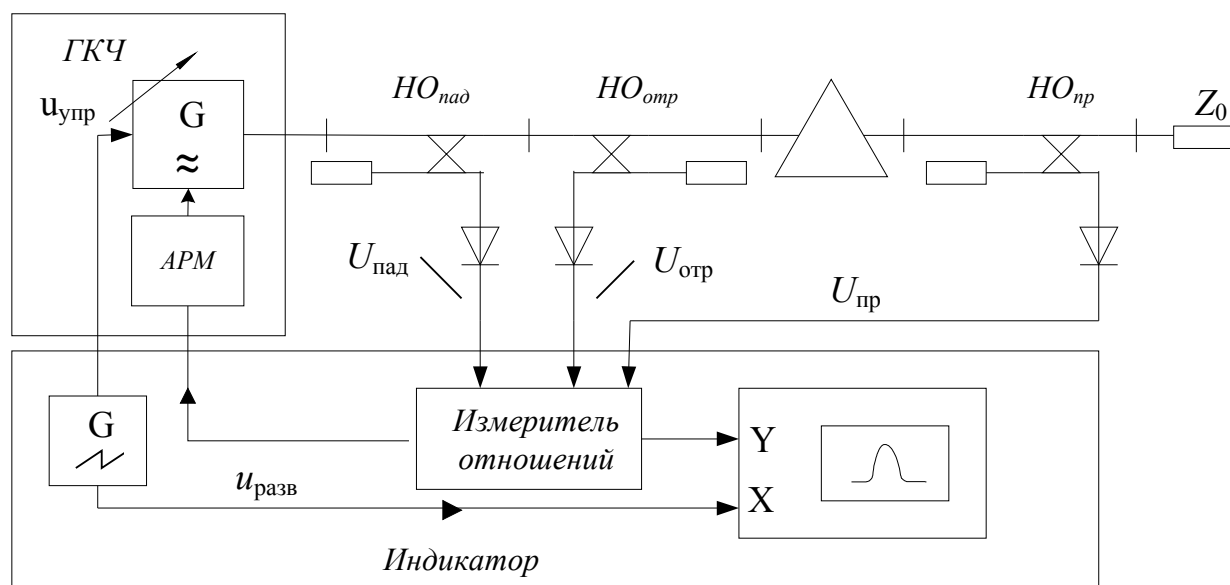


Рис.2. Структурная схема генераторного блока измерителя КСВН и ослабления Р2-61

В качестве автогенератора ГКЧ использован диод Ганна, включенный в ферродиеlectricкий резонатор (ЖИГ-сфера). Управление резонансной частотой ЖИГ-сферы производится изменением напряженности подмагничивающего поля, создаваемого пилообразным управляющим напряжением $U_{упр}$. Регулировка уровня выходного сигнала и стабилизация его амплитуды проводится системой автоматической регулировки мощности (АРМ). Сигнал ошибки для АРМ вырабатывается путем сравнения продетектированного сигнала падающей волны $U_{пад}$ и опорного напряжения $U_{оп}$. Регулирующим элементом АРМ является электрически управляемый полупроводниковый аттенюатор, устанавливаемый на выходе генераторного блока.

Контроль работы системы АРМ проводят, подавая на индикатор сигнал падающей волны. В случае правильной работы АРМ на экране индикатора должна получаться горизонтальная линия. Однако надо помнить, что система АРМ получает информацию об амплитуде генерируемого сигнала с НО падающей волны. Поэтому при неравномерности АЧХ этого ответвителя появится частотная зависимость амплитуды выходного сигнала. Она будет соответствовать инвертированному виду АЧХ НО падающей волны - там, где переходное ослабление НО уменьшается, система АРМ увеличит амплитуду – и наоборот. Вид этой зависи-

мости называют собственной АЧХ прибора. Для компенсации ее неравномерности используют измерители отношений продетектированных сигналов падающей и отраженной волн, а также стремятся использовать направленные ответвители с одинаковыми параметрами.

Регулировкой опорного напряжения АРМ можно управлять средней мощностью генератора. Уровень мощности сигнала ГКЧ обычно регулируют выходным аттенуатором, который выполняет также функции устройства развязки. Для работы низкочастотного индикаторного блока (усилителей и измерителей отношений) используют амплитудную модуляцию (манипуляцию) СВЧ сигнала. При этом проще усиливать выходные измерительные сигналы и фильтровать их от помех. Частоту модуляции выбирают порядка десятков кГц, форму сигнала модуляции – прямоугольные импульсы (меандр). Модуляцию выполняют с помощью полупроводникового коммутатора, установленного в тракт выходного сигнала генератора.

Низкочастотная часть измерителя – это индикаторный блок (рис.3).

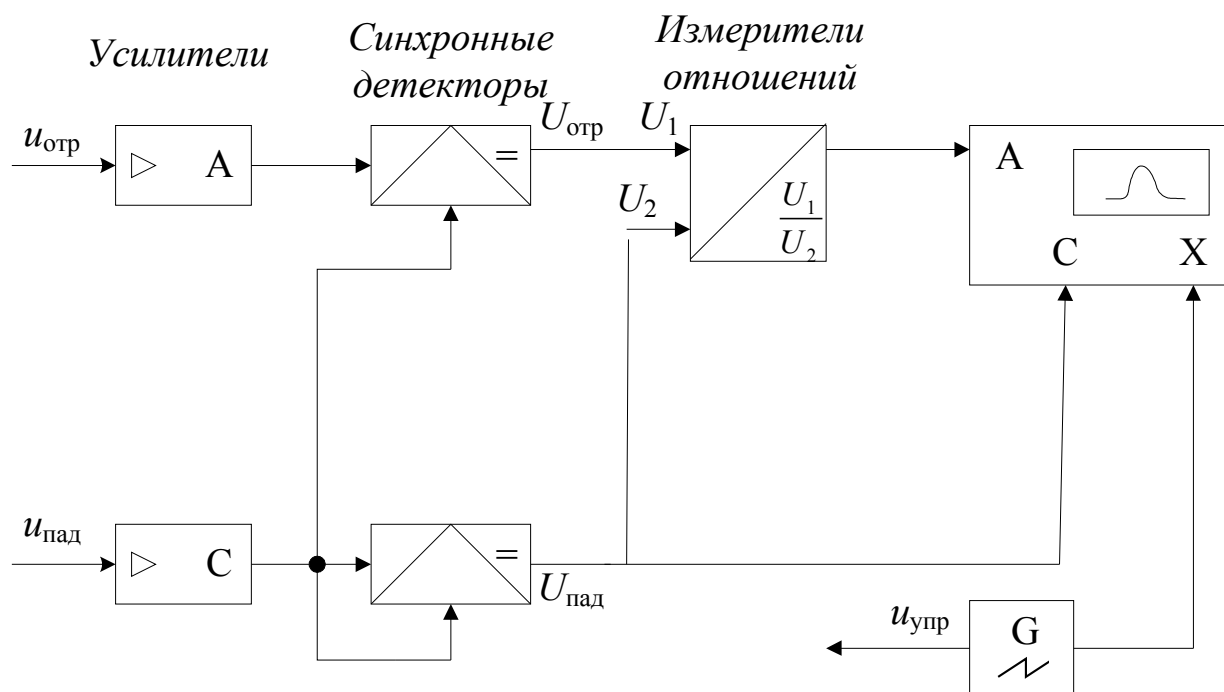


Рис.3. Измерительный блок анализатора КСВН и ослабления Р2-61

Он имеет общий измерительный канал для сигналов отраженной и проходящей волн (А), которые подают от НО в зависимости от измеряемого параметра.

Переключение режимов измерения тогда проводят перекоммутацией измерительного тракта. Дополнительный канал падающей волны (С) служит для контроля равномерности собственной АЧХ генератора и работы системы АРМ.

На измерительный блок подают продетектированные НЧ сигналы падающей, отраженной или проходящей волн. Эти сигналы поступают на узкополосные усилители и далее - на синхронные детекторы (СД). Последние позволяют получить постоянные напряжения, пропорциональные квадратам амплитуд (мощности) падающей $U_{пад} \sim P_{пад}$ и отраженной/проходящей волн ($U_{отр}$, $U_{пр}$). Синхронный детектор – это преобразователь частоты, в котором частота сигнала равна частоте гетеродина, а на выходе с помощью узкополосного ФНЧ выделяют сигнал разностной частоты - постоянное напряжение. Преимущество синхронных детекторов – их хорошие фильтрующие свойства и помехозащищенность. В качестве сигнала гетеродина СД используют усиленный сигнал падающей волны. Недостаток синхронных детекторов – зависимость выходного сигнала от фазового сдвига входных НЧ напряжений - в данном случае не сказывается.

Выделенные напряжения сигнала подают на измеритель отношения и - далее - на канал Y осциллографического индикатора. На канал X подают сигнал от генератора пилообразного напряжения, который обычно размещают также в индикаторном блоке. Длительность прямого хода пилообразного напряжения определяет время анализа частотной характеристики. В приборе используют стандартные значения 0,08с, 1 и 10 с. Выбор большего времени анализа осуществляют с целью исключения динамических погрешностей при исследовании узкополосных СВЧ устройств. Предусматривают режим работы от внешнего управляющего напряжения, а также режим ручной перестройки частоты. Последний превращает измеритель в одночастотный генератор со стабильной амплитудой и ручной перестройкой в диапазоне частот. Это дает возможность проводить особо точные измерения на фиксированных частотах с использованием внешних вольтметров и частотомеров.

Для показа частотных зависимостей в панорамных аналоговых приборах используют осциллографический индикатор. Фактически это упрощенный осцил-

логграф, в котором предусмотрены два канала (X – горизонтального отклонения и Y – вертикального отклонения) и электронно-лучевая трубка с увеличенным послесвечением. На канал X подают напряжение развертки, на канал Y – выходной сигнал с измерителя отношения, пропорциональный квадрату модуля коэффициента матрицы рассеяния. На канал Y также поступают сигналы частотных меток с блока управления ГКЧ. При этом на осциллограмме создаются их изображения в виде коротких импульсов. Частота ГКЧ каждой метки индицируется на цифровом табло ($M1$ или $M2$). Совмещая метку с интересующей точкой исследуемой характеристики, по табло отсчитывают ее частоту.

Вертикальная шкала осциллографического индикатора имеет размерность квадрата модуля коэффициента отражения/передачи. Это справедливо при нормировке амплитуды падающей волны к единице. Перед измерениями прибор калибруют по двум уровням. Первая калибровка – по нулевому уровню сигнала – обычно делается при настройке прибора. Совмещают осциллограмму в отсутствии измерительного сигнала (например, при установке согласованной нагрузки) с нулевой линией шкалы индикатора. Калибровка единичного уровня коэффициента отражения делается с короткозамыкателем. При этом совмещают кривую отраженной волны с линией единичного коэффициента отражения вертикальной шкалы индикатора (отметка $K_{CBH} = \infty$). Для проходных измерений калибровку делают по единичному коэффициенту передачи. Для этого соединяют НО падающей и проходящей волн напрямую и совмещают кривую проходящей волны с линией единичного коэффициента передачи (отметка $A = 0$ дБ). В англоязычной литературе такой вид калибровки обозначают аббревиатурой SLT – (Short - короткозамыкатель, Load – согласованная нагрузка, Through – прямое соединение). Вертикальная шкала измерителя после калибровки соответствует значениям $|S_{11}|^2$ или $|S_{21}|^2$. Чтобы не пересчитывать вручную эти величины в рабочие параметры – K_{CBH} и ослабление – используют электронный визир. В индикаторе предусматривают дополнительные шкалы K_{CBH} и ослабления (в дБ), связанные с управляемым вручную указателем – горизонтальной линией на экране (линией

электронного визира). Совмещая его с выбранными точками частотной характеристики, по шкалам отсчитываем результат измерения КСВН или ослабления.

Задание и указания к выполнению лабораторной работы

1. Подготовка установки к работе

По указанию преподавателя в лабораторной работе выполняется исследование либо четырехполосного устройства СВЧ, либо СВЧ нагрузки. Соберите измерительный тракт прибора, подключив направленный ответвитель для исследования частотных характеристик ослабления либо КСВ (см. рис.1).

Для измерения АЧХ ослабления соедините направленный ответвитель падающей волны и проходящей волны напрямую. При измерении КСВ нагрузки установите на НО отраженной волны короткозамыкающую нагрузку. При этом прибор должен показывать собственную АЧХ.

Установите исходное положение органов управления ГКЧ : АМ – ВНУТР., ВР.ПЕРЕСТРОЙКИ- 0,08, РЕЖИМ ПЕРЕСТРОЙКИ – F1 F2, ВНЕШ.-АМ отжата. На индикаторном блоке: ПРЕДЕЛЫ - ПАД., КОРРЕКТ,ЛОГ, -10 дБ – отжаты, , , переключатель полосы индикатора - широкая полоса. Включите тумблеры СЕТЬ ВКЛ и дайте прибору прогреться в течение 5-10 мин.

2. Исследование работы системы автоматической регулировки мощности (АРМ)

Установите максимальную полосу качания частоты. Поставьте регуляторы УРОВЕНЬ и ПАД. в крайнее левое положение. При этом система АРМ не работает (слабый сигнал). Зарисуйте АЧХ сигнала в измерительном канале. Затем отрегулируйте этими ручками режим работы АРМ так, чтобы получить равномерный сигнал падающей волны.

Определите динамический диапазон АРМ следующим образом. Используя регулировки УРОВЕНЬ и ПАД., найдите минимальный и максимальный уровни мощности ГКЧ, при котором сохраняется равномерность сигнала падающей волны. Измерение уровня мощности производите совмещением линии электронного

визира с линией АЧХ ручкой ОТСЧЕТ. По шкале отсчитайте значения напряжения на выходе детектора падающей волны и переведите его в величину мощности (2 мВ соответствует примерно 1 мВт выходной мощности). Отношение максимальной и минимальной мощностей, выраженной в дБ, является оценкой динамического диапазона АРМ. Для дальнейшей работы установите уровень мощности, соответствующий середине динамического диапазона.

3. Калибровка измерителя по образцовой нагрузке

Калибровка ослабления производится при непосредственном соединении НО падающей и проходящих волн ($A=0$ дБ). Поставьте переключатель ПРЕДЕЛЫ в положение 0 дБ. На экране воспроизводится вид АЧХ проходящей волны. Установите визир на отметку 0 дБ и ручкой КАЛИБР совместите АЧХ с линией визира.

Калибровка КСВ производится при короткозамыкающей заглушке ($KCB=\infty$) и положении переключателя ПРЕДЕЛЫ в положении 0 дБ. На экране будет воспроизводиться АЧХ, соответствующая мощности отраженной волны с учетом неидеальности АРМ и собственной АЧХ НО. Установите визир на отметку 0 дБ ($KCB=\infty$) и ручкой КАЛИБР отрегулируйте положение линии отраженной волны до примерного совпадения ее с линией визира.

В дальнейшем для сохранения калибровки прибора ручки ПАД., КАЛИБР., УРОВЕНЬ трогать нельзя. Измерьте неравномерность собственной АЧХ с помощью электронного визира по шкале дБ. Для уточнения отсчета можно применить режим ручной перестройки частоты. Зарисуйте вид собственной АЧХ.

4. Измерение диапазона перестройки частоты прибора в узкополосном режиме качания

В этом режиме регулируется центральная частота рабочего диапазона F_0 и полоса качания ΔF . Для установки этого режима нажмите клавишу ΔF переключателя РЕЖИМ ПЕРЕСТРОЙКИ, $F_2\Delta F$ на индикаторе и ручкой $F_2\Delta F$ установите

максимальную величину полосы качания. Аналогично ручкой F_0F_1 установите центральную частоту качания F_0 , равную 8,5 ГГц. Для ее вывода на табло надо нажать кнопку $F_0\Delta F$. С помощью меток M1 и M2 измерьте минимальную и максимальную частоты диапазона качания. Амплитуду меток регулируйте ручками АМПЛИТУДА M1 и M2 на генераторе и ручкой МЕТКА на индикаторе. Для этого ручками M1 и M2 разместите метки по краям экрана и, включая поочередно кнопки M1 и M2, отсчитайте на табло значения их частот. Измерьте полосу ΔF и сравните полученные данные. Повторите измерения для частот 10 ГГц и 11,5 ГГц.

5. Измерение частотных характеристик ослабления или КСВН исследуемого объекта

Установите в измерительный тракт исследуемое устройство. Включите режим перестройки $F1F2$ и максимальную полосу качания частоты. Получите удобный вид АЧХ, выбирая масштаб по уровню ручкой ПРЕДЕЛЫ. Зарисуйте вид графика. Измерьте АЧХ по точкам (10-12 точек), для чего используйте метки генераторного блока и электронный визир индикатора. При необходимости для уточнения отсчетов используйте ручной режим перестройки и узкополосное качание частоты. Результаты сведите в таблицу, по данным которой постройте графики исследуемых АЧХ.

Содержание отчета по лабораторной работе

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

Контрольные вопросы

1. Укажите назначение панорамных измерителей параметров цепей СВЧ типа Р2
2. какие элементы входят в измерительный тракт СВЧ прибора Р2-61: как их параметры влияют на точность измерения АЧХ?
3. Какие требования предъявляются к ГКЧ измерителя Р2-61?
4. Для какой цели сигнал ГКЧ модулируют по амплитуде НЧ сигналом? Какова форма сигнала модуляции? В каких случаях используют режим непрерывной генерации (НГ)?
5. Укажите назначение системы АРМ прибора Р2-61. Что такое динамический диапазон АРМ?

6. Что такое собственная АЧХ панорамного измерителя Р2-61? От чего зависит ее неравномерность?
7. Какие функции выполняет измерительный блок прибора Р2-61? Как он позволяет улучшить точность измерения АЧХ?
8. Для чего нужна калибровка прибора Р2-61? Как ее производят для измерения ослабления? для измерения КСВ?
9. Как производят оцифровку шкалы частот прибора Р2-61? Как устроен блок частотных меток?
10. В каком масштабе по вертикали выводится на экран график АЧХ? как производят отсчет измеренных значений ослабления и КСВ?

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. Электро- радиоизмерения. - М.: Высш. шк., 1986.
5. Измерения в электронике. Справочник/Под ред. В.А. Кузнецова. - М.: Энергоатомиздат, 1987.
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.