

Министерство образования и науки
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет “ЛЭТИ”

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторной работы по дисциплине
“Микроволновая техника”

ИЗМЕРЕНИЕ АЧХ СВЧ УСТРОЙСТВ МИКРОПРОЦЕССОР- НЫМ ПРИБОРОМ Р2-78

Санкт-Петербург
2008

В лабораторной работе студенты знакомятся с устройством и принципом действия микропроцессорных скалярных измерителей параметров СВЧ трактов типа Р2-73...Р2-82. Эти приборы построены по единой конструктивной схеме и отличаются диапазоном частот и измерительными трактами СВЧ. В работе их изучение проводится на примере прибора Р2-78, работающего в диапазоне частот 1,25 -5 ГГц. Изучаются методы их использования для исследования частотных характеристик устройств СВЧ.

1. Особенности микропроцессорных анализаторов цепей СВЧ

Микропроцессорные автоматизированные скалярные анализаторы цепей СВЧ обеспечивают лучшую точность измерения сигналов после детекторов и дополнительные функциональные возможности их обработки и индикации. Они отличаются от аналоговых приборов цифровыми методами измерения и обработки НЧ сигналов, а также программным принципом управления работой прибора. СВЧ тракты таких приборов принципиально не отличаются от традиционных аналоговых измерителей.

Наиболее важной особенностью цифровых измерителей является возможность частотной калибровки прибора в каждой точке измерения с запоминанием результатов в памяти микропроцессора. Фактически при калибровке измеряется собственная АЧХ прибора. Данные калибровки в дальнейшем используют как поправочный множитель при выводе результатов измерений. Такая калибровка исключает систематическую погрешность из-за неидеальной собственной АЧХ измерителя. При этом не надо регулировать параметры измерительных каналов и жестко стабилизировать амплитуду сигнала ГКЧ. Однако такая калибровка должна выполняться каждый раз при установке новой полосы качания частоты.

Цифровые анализаторы позволяют увеличить точность измерения уровней НЧ сигналов после детекторов, устранить субъективные погрешности и осуществить вывод результатов в цифровом виде. Каждый измерительный канал пред-

ставляет собой селективный цифровой вольтметр, точность которого определяется разрядностью АЦП. При программном управлении прибором предусматривают цифровую систему установки и измерения частоты ГКЧ. Рабочий диапазон частот при этом дискретизируют, закон изменения частоты делают ступенчато – нарастающим. Каждая ступенька соответствует дискретной частотной точке, в пределах которой в течение небольшого интервала времени частота не меняется. За это время проводится аналого-цифровое преобразование сигналов, а встроенный или внешний электронно-счетный частотомер измеряет частоту ГКЧ. Данные с АЦП и ГКЧ запоминаются в памяти микропроцессорной системы и, после обработки, выводятся на экран цифрового дисплея.

Цифровые приборы позволяют снизить погрешности преобразования СВЧ детекторов. Для этого предусматривают режим предварительной калибровки их характеристики и корректировки данных измерения. При калибровке на детектор последовательно подают сигнал с различной амплитудой и измеряют коэффициент преобразования. Зависимость коэффициента преобразования от амплитуды сигнала учитывается при выводе результатов измерения КСВН и ослабления.

2. Краткие технические данные панорамного измерителя Р2-78 и его структурная схема

Возможности микропроцессорных цифровых приборов проиллюстрируем на примере серии измерителей КСВН и ослабления Р2-78...82. Эти приборы измеряют КСВН и коэффициент передачи (ослабление) коаксиальных СВЧ-устройств с воспроизведением их частотных зависимостей на экране дисплея и цифровым отсчетом измеряемых величин. Приборы серии отличаются видами измерительного тракта (коаксиал 50 Ом - 3,5/1,5; 7/3; 16/6,95 мм, 75 Ом -16/4,6), а индикатор и генераторный блок выполнены по единой схеме, поэтому в дальнейшем будем рассматривать измеритель Р2-78.

Генератор качающейся частоты прибора включает в себя задающий генератор (ЗГ), выполненный на транзисторах и работающий в диапазоне 1,25...2,5-ГГц (рис.1). Электрическая перестройка ЗГ обеспечивается варикапами. Стабилизация амплитуды осуществляется полупроводниковым аттенуатором. Управляющий

сигнал на него поступает от усилителя автоматической регулировки мощности (АРМ). Амплитудная модуляция сигнала с частотой 100 кГц производится полупроводниковым коммутатором. Для перекрытия диапазона 2,5...5 ГГц используется удвоение частоты задающего генератора. Устройство управления ГКЧ преобразует код, поступающий от микропроцессорной системы, в напряжение, управляющее варикапами 3Г. Кроме того, оно выбирает необходимый диапазон частот, включая или выключая удвоитель частоты. ГКЧ содержит также блок частотных меток, вырабатывающий импульсы опорной частоты (1248 МГц), а также импульсы сетки частот в диапазоне 1,25...2,5 ГГц с дискретом 8 МГц. Эти импульсы используются для оцифровки шкалы частот на экране индикатора.

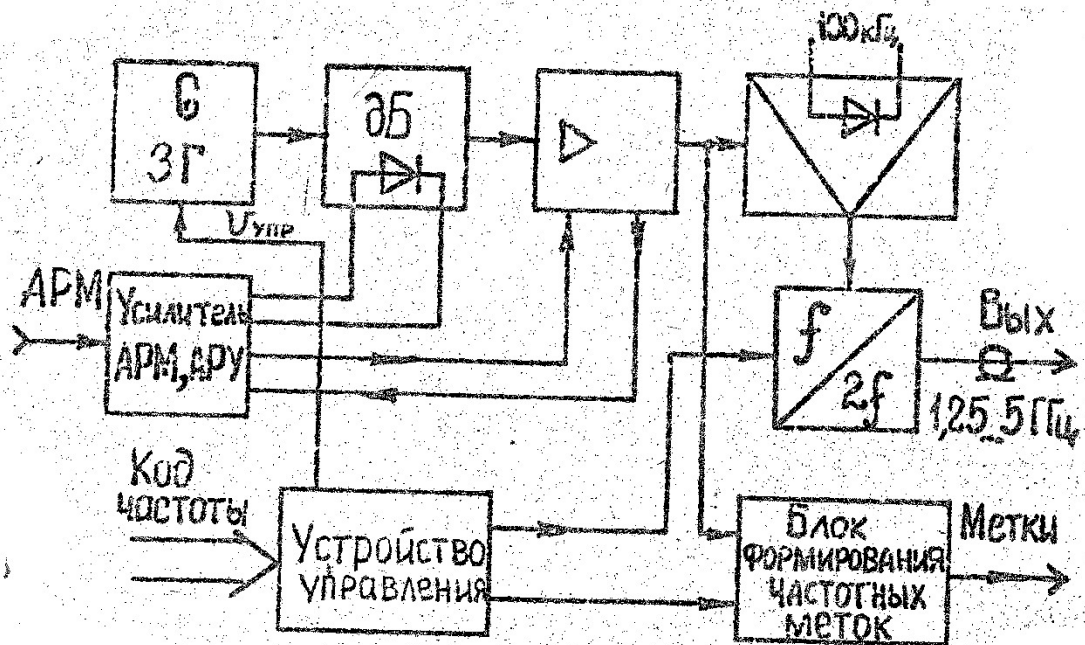


Рис.1. Структурная схема ГКЧ измерителя Р2-78

Измерительный тракт прибора включает три канала – падающей (С), отраженной (А) и прошедшей (В) волн (рис.2).

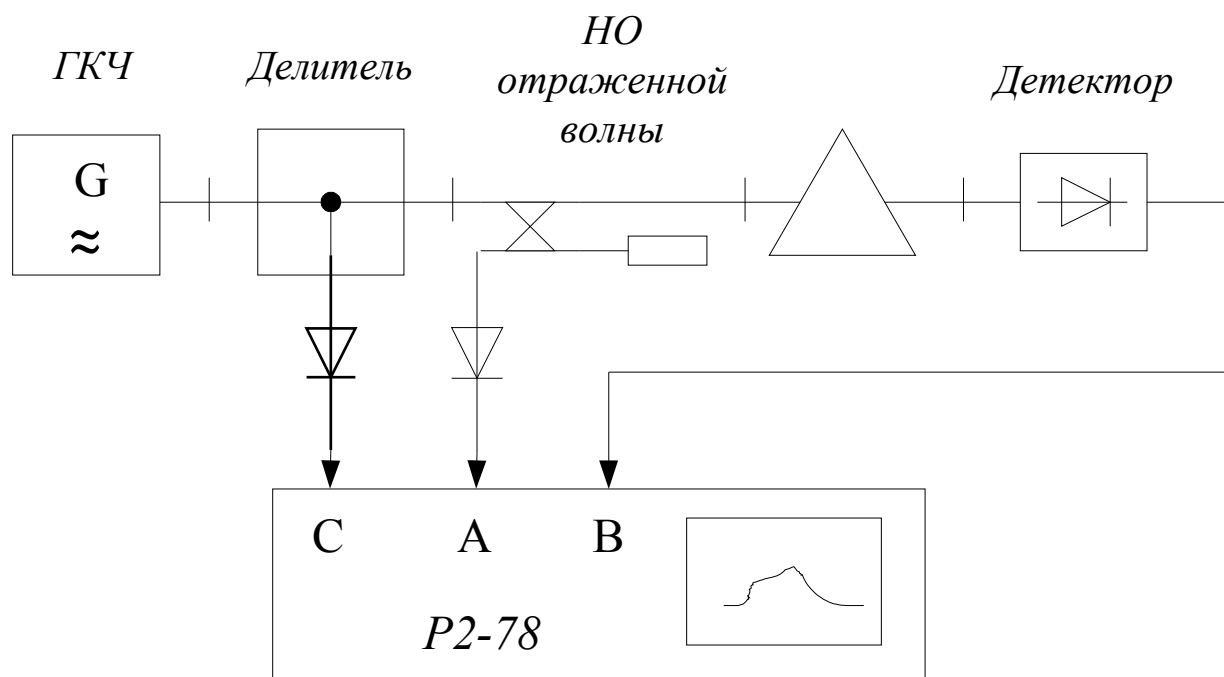


Рис.2. СВЧ тракт измерителя P2-78

Сигнал падающей волны выделяется с помощью широкополосного делителя мощности, установленного на выходе генератора. Сигнал отраженной волны в канале А формируется направленным ответвителем (использован гибридный мост), а сигнал проходящей волны в канале В – согласованной детекторной секцией. Сигналы поступают на индикаторный блок, который содержит аналоговые и цифровые блоки преобразования сигналов, а также микропроцессорную систему (МПС) (рис.3)

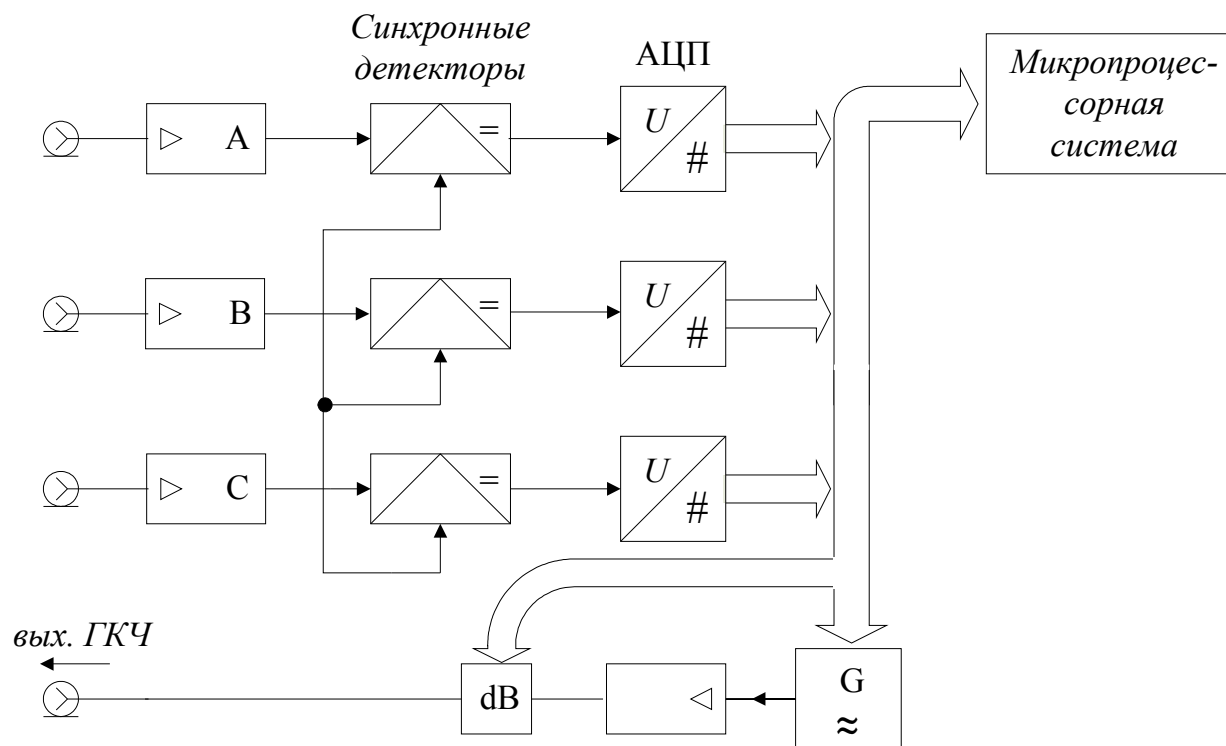


Рис.3. Структурная схема измерителя КСВН и ослабления P2-78

Прибор работает под управлением МПС по программам, хранящимся в ПЗУ емкостью 4Кслов (длина слова МПС – 12 бит). Результаты измерения размещаются в ОЗУ емкостью 8Кслов. Входной аналоговый преобразователь содержит усилители и синхронные детекторы. Кроме этого, предусмотрены электрически управляемые дискретные коммутаторы (шаг ослабления 5 дБ, управление как ручное, так и автоматическое – от МПС). Все управление прибором реализуется программным способом. Оператор переключает режимы работы с помощью кнопочного табло на передней панели прибора. Начальное состояние прибора устанавливают кнопкой ОБЩ. Х (Сброс). Алгоритм управления прибором заложен в программное обеспечение МПС и включает в себя следующие этапы: установку частотного диапазона (нижней и верхней граничных частот), автоматическую разбивку диапазона на 512 частотных точек, калибровку прибора и измерение параметров исследуемого устройства в этих точках. Первым калибруется канал опорного сигнала С – при этом устанавливают рабочий уровень сигнала генератора. Затем калибруют каналы отраженной волны А (образцовые нагрузки КЗ, ХХ)

и проходящей волны В (калибруют по прямому соединению генератора и входа В).

В процессе измерения микропроцессор подает на ГКЧ последовательность кодов частотных точек и получает информацию о реальной частоте ГКЧ от встроенного ЭСЧ. Одновременно производится аналого-цифровое преобразование всех трех сигналов, и результат записывается в оперативную память МПС. Там же хранится результат предварительно проведенной калибровки каналов. На индикатор подаются частотные зависимости КСВН, $|\rho|$, А (в дБ или в относительных единицах). Они рассчитываются по отношениям амплитуд сигналов в каналах с учетом калибровки. Цифровая информация АЧХ выводится на экран дисплея, причем выбор индицируемой точки осуществляется оператором с помощью частотной метки в виде перемещаемой вертикальной линии. Микропроцессорная система управляет также и выходным аттенуатором ГКЧ, регулируя уровень сигнала генератора.

Технические и метрологические параметры прибора:

- Частотный диапазон - 1,25 ... 5,0 ГГц, 512 частотных точек;
- Установка ширины качания частоты в пределах 50 МГц ... 3750 МГц с дискретом 5 МГц с разбивкой на 512 дискретов;
- Выходная нестабилизированная мощность ГКЧ 2...10 мВт, при стабилизации рабочий уровень мощности падающей волны можно устанавливать на малом ($<10^{-2}$ мВт) и среднем (до 0.5 мВт) уровнях мощности; прибор имеет функцию измерения мощности падающей волны;
- АЦП и микропроцессорная система имеет 12 двоичных разрядов, что соответствует разрешающей способности измерения уровня порядка 0,025%;
- Измерение ослабления $(-50 \div +30)$ дБ с абсолютной погрешностью в пределах $\Delta A = \pm (0.03Ax + 0,2)$ дБ.
- Измерение КСВН в диапазоне 1,04 ... 5,0 с относительной погрешностью $\delta KCBH = \pm (3 \cdot KCBH + 1)\%$;

- Точность измерения частоты $\delta f = \pm 0.2\%$.
- Выходное сопротивление 50 Ом, коаксиальный СВЧ тракт с разъемом 7/3.

Микропроцессорная система обеспечивает следующие функциональные возможности прибора:

- Управление процессами калибровки, измерений и обработки измерительных данных;
- Автоматическую и ручную установку пределов измерения;
- Логарифмический масштаб по вертикали (кнопка **lg**);
- Использование двух контрольных уровней **K1** и **K2**;
- Запоминание исследуемых характеристик и проведение сравнительных измерений;
- Накопление результатов (усреднение по многократным измерениям) для фильтрации шумов при малых сигналах (кнопка Σ / N). Этот режим используют при измерении больших ослаблений или малых КСВН;
- Коррекцию неквадратичности характеристик детекторов (калибровка характеристик преобразования);
- Контроль СВЧ-мощности генератора;
- Передачу результатов измерения АЧХ во внешний компьютер;
- Диалоговый режим при калибровке и измерениях, автоматическое обнаружение ошибок и неверных действий оператора.

Микропроцессорная система обеспечивает диагностику ошибок прибора.

Тип ошибки выводится на экран в виде ОШИБКА №:

- 1 -сбой при вводе частоты. Необходимо нажать ОБЩ.Х и повторить ввод.
- 2 – сбой генератора СВЧ. Необходимо нажать кнопку Х и можно продолжать работу.
- 3 - неверно введены частоты. Требуется повторить ввод частот.
- 5 – неверное положение аттенуаторов каналов в ручном режиме при калибровке. Нажать Х и повторить калибровку.
- 6 – переполнение АЦП. Нажать Х и повторить калибровку.

3. Задание и указания к выполнению лабораторной работы

1. Подготовка установки к работе

По указанию преподавателя в лабораторной работе выполняется исследование частотных характеристик четырехполюсного устройства СВЧ (фильтры, коммутаторы на полупроводниковых диодах, направленных ответвителей и др.).

Программа работы включает в себя установку частотного диапазона измерения, калибровку опорного канала С и установку рабочего уровня мощности, калибровку каналов А и В, измерение АЧХ устройства.

Отметим, что управление прибором осуществляется достаточно длительным нажатием кнопок на передней панели. Время реакции прибора достигает в ряде случаев единиц секунд. Не следует хаотически нажимать кнопки – это приводит к сбою в работе прибора. Все ошибочные ситуации, как правило, приводят к необходимости сброса прибора и, к сожалению, повторения всех этапов заново. Отметим, что многие операции управления (ввод численных значений частот, подтверждения установки образцовой нагрузки и др.) завершаются нажатием кнопки # (ВВОД).

Соберите измерительный тракт прибора, для исследования частотных характеристик ослабления либо КСВ (см. рис.2).

Нажмите СБРОС (ОБЩ.Х) и включите канал С. Для установки полной полосы качания нажмите ΔF_{\max} . (Если необходимо установить более узкую полосу, надо нажать кнопку F1, набрать требуемое значение частоты (в ГГц) и нажать ВВОД. Аналогично устанавливаются верхнюю граничную частоту F2.)

В лабораторной работе используется малый уровень мощности. Установите ручкой УРОВЕНЬ на ГКЧ такое значение выходного напряжения, чтобы сигнал в канале С составлял 2 мВ. Просмотрите АЧХ сигнала падающей волны в канале С. Нажмите ВВОД. При этом АЧХ падающей волны запоминается в ОЗУ и в дальнейшем используется для коррекции измеряемых характеристик.

Прибор готов для калибровки каналов А и В.

2. Калибровка измерительных каналов А и В

Откалибруйте канал А (канал отраженной волны) по сигналу холостого хода. На вход Zx ничего подключать не надо. Нажмите кнопку ▼ (КАЛИБРОВКА). В ответ на вопрос КАНАЛ? нажмите кнопку А. РЕЖИМ? – кнопку >|. Появится надпись КАЛИБР.ХХ. Нажмите ВВОД, просмотрите АЧХ ХХ и вторично нажмите ВВОД. Появится надпись КАЛИБР. КЗ. Подключите короткозамыкатель, нажмите ВВОД. Отключите канал, нажав кнопку А. Отсоедините КЗ нагрузку. Канал отраженной волны откалиброван.

По аналогичной методике калибруют и канал проходящей волны. Нажмите кнопку ▼ (КАЛИБРОВКА). В ответ на вопрос КАНАЛ? нажмите кнопку В. РЕЖИМ? – кнопку +. Подключите детекторную головку канала В к разъему Zx и нажмите ВВОД. Отключите канал, нажав кнопку В. Канал проходящей волны откалиброван.

3. Измерение АЧХ четырехполюсников СВЧ

Включите исследуемое устройство между разъемом Zx и детектором канала В. Нажмите кнопки А, В, и КСВН. При этом прибор работает в режиме одновременного измерения КСВН в канале А и ослабления в канале В.

Зарисуйте полученные графики АЧХ. Проведите измерение АЧХ КСВН и ослабления. Для этого перемещайте частотную метку по графику и записывайте частоту и измеренное значение в таблицу результатов. Значения КСВН (К) и ослабления А выводятся в верхнем левом углу экрана. Если график имеет области резкого изменения уровня, то использовать автоматический выбор масштаба по вертикали неудобно. В этом случае используйте ручной режим выбора масштаба (ручное управление аттенюаторами измерительного блока) или перевести индикатор в логарифмический масштаб по вертикали.

4. Измерение фрагмента АЧХ устройства

В случае узкополосного устройства для точного измерения АЧХ в полосе пропускания требуется изменить диапазон качания частоты. Для этого необходимо сбросить прибор в исходное состояние. Затем установите нижнюю F1 и верхнюю F2 частоты рабочего диапазона. Повторите процедуру калибровки прибора и измерьте фрагмент АЧХ для узкого диапазона качания частоты.

5. Исследование частотных характеристик с использованием контрольных уровней

Изучите работу с контрольными уровнями K1 и K2. При нажатии кнопок K1 или K2 на экране появляется плавно перемещающаяся горизонтальная линия уровня. Остановите линию в нужной точке, нажав кнопку ВВОД.

Измерьте полосу пропускания устройства по выбранному уровню (например, -3 дБ). Для этого, установив линию контрольного уровня, отсчитайте частоты точек пересечения его с АЧХ. Запишите результаты измерения.

6. Изучение режима сглаживания и накопления данных.

Изучите режим накопления результатов, исследуя фрагмент графика АЧХ с повышенным уровнем шума. Включите режим сглаживания и зарисуйте изменение графика. Аналогично исследуйте режим накопления.

Содержание отчета по лабораторной работе

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

Контрольные вопросы

1. Укажите назначение автоматизированных микропроцессорных измерителей параметров цепей СВЧ типа Р2.
2. какие элементы входят в измерительный тракт СВЧ прибора Р2-78: как их параметры влияют на точность измерения АЧХ?
3. Как устроен ГКЧ измерителя Р2-78? Как выполняется перестройка частоты в ГКЧ?

4. Для какой цели в ГКЧ установлен диодный модулятор НЧ? Какая частота модуляции в приборе Р2-78?
5. Укажите назначение системы АРМ прибора Р2-78. Как управляют мощностью выходного сигнала ГКЧ?
6. Для чего используют канал С прибора? Что выполняется в процессе его калибровки?
7. Какие функции выполняет измерительный блок прибора Р2-78? Какие меры увеличения точности предусмотрены в этом блоке?
8. Почему калибровка прибора Р2-78 является обязательным этапом измерений? Как ее производят для измерения ослабления? для измерения КСВ?
9. Что такое частотная метка микропроцессорного прибора Р2-78? Как производят оцифровку шкалы?
10. Какие виды масштабов по вертикали предусмотрены в приборе Р2-78? В каких случаях применяют тот или иной масштаб?
11. Какие дополнительные функциональные возможности реализованы в программном обеспечении прибора Р2-78?

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.