

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
**«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ»
им.В.И.Ульянова (Ленина)»
(СПбГЭТУ)**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторной работы по дисциплинам
“ Измерения на СВЧ ”, “Микроволновая техника”

ИЗМЕРЕНИЕ МОДУЛЯ И ФАЗЫ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЕРЕДАЧИ СВЧ УСТРОЙСТВ С ПОМОЩЬЮ КОМБИНИРОВАННОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ФК2-18

Санкт-Петербург

2011

В данной лабораторной работе студенты знакомятся с измерителем параметров устройств СВЧ ФК2-18 и его использованием для измерения комплексных коэффициентов передачи. Изучается методика работы с прибором, его настройка и калибровка. В состав лабораторной установки входят также СВЧ генератор диапазона 8 -12 ГГц, коаксиально-волноводный переход и исследуемые волноводные устройства (аттенюатор и фазовращатель).

1. Основные технические данные измерителя ФК2-18.

Комбинированный измеритель разности фаз ФК2-18 является многофункциональным прибором для измерения модуля и фазы комплексных коэффициентов передачи СВЧ устройств на фиксированных частотах. При наличии внешнего генератора качающейся частоты (ГКЧ) и осциллографического индикатора прибор можно использовать также и для панорамного измерения АЧХ и ФЧХ в диапазоне частот.

Краткие технические данные прибора:

- диапазон рабочих частот – 0,11...12 ГГц;
- пределы измерения разности фаз $0^\circ \dots \pm 180^\circ$ с разбивкой на поддиапазоны $\pm 6^\circ$, $\pm 18^\circ$, $\pm 60^\circ$, $\pm 180^\circ$;
- пределы измерения модуля коэффициента передачи (ослабления) 0 – 60 дБ при мощности входного сигнала $10^{-3} \dots 10^{-11}$ Вт;
- Основная погрешность измерения разности фаз не превышает $\pm (1 + 0,036\phi_k + 0,075A_x)$, град, где ϕ_k - конечное значение шкалы установленного поддиапазона, A_x - ослабление исследуемого устройства.
- Основная погрешность измерения ослабления не более $\pm (0,5 + 0,02A_k + 0,03A_x)$, дБ, где A_k - предел шкалы измерения ослабления, A_x - измеряемое значение ослабления.

- Предел качания частоты в панорамном режиме (с внешним ГКЧ) не более 500 МГц при периоде качания не менее 0,08 с;
- Собственная неравномерность АЧХ и ФЧХ в полосе качания 500 МГц соответственно не более $\pm 0,5$ дБ и $\pm 2,5^\circ$ на частотах 0,11...4 ГГц, ± 1 дБ и $+5^\circ$ на частотах 4...12,05 ГГц.

2. Устройство и принцип действия измерителя ФК2-18.

Измеритель разности фаз ФК2-18 представляет собой двухканальный супергетеродинный СВЧ приемник-преобразователь с измерительным блоком. Принцип работы прибора - перенос сигнала СВЧ на более низкие частоты и определение его параметров низкочастотным измерительным блоком. Структурная схема СВЧ тракта прибора представлена на рис.1.

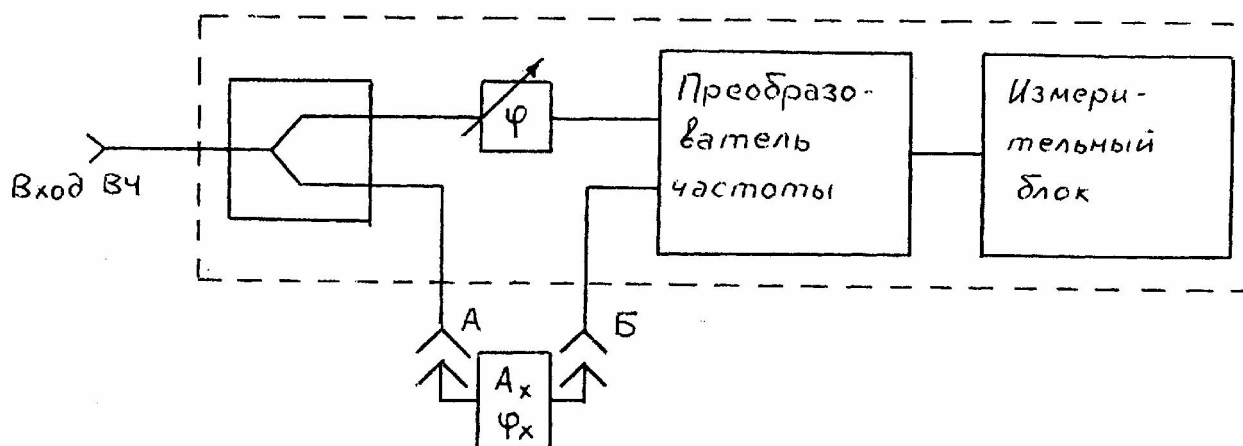


Рис.1. Структурная схема измерителя разности фаз ФК2-18

Сигнал, подаваемый на вход ВЧ прибора от внешнего генератора, разделяется на два канала в полосковом делителе мощности. Один из сигналов является опорным, другой поступает в измерительный канал. Для калибровки прибора по фазе в опорном канале предусмотрен образцовый фазовращатель (ФВ), представляющий собой коаксиальную линию переменной длины (тромбонный ФВ). Градуировка фазовращателя выполнена в единицах длины L (см), что позволяет

вычислить вносимый им фазовый сдвиг на любой частоте f (при длине волны $\lambda = 3 \cdot 10^8 / f$):

$$\Delta\varphi = kL = 360^\circ \cdot L \cdot f \cdot (3 \cdot 10^{-8}) = kL = 2\pi L/\lambda = 2\pi Lf \cdot (3 \cdot 10^{-8}).$$

В измерительный канал через разъемы, обозначенные, соответственно, А и Б, включают исследуемое устройство.

Структурная схема преобразователя частоты представлена на рис. 2.

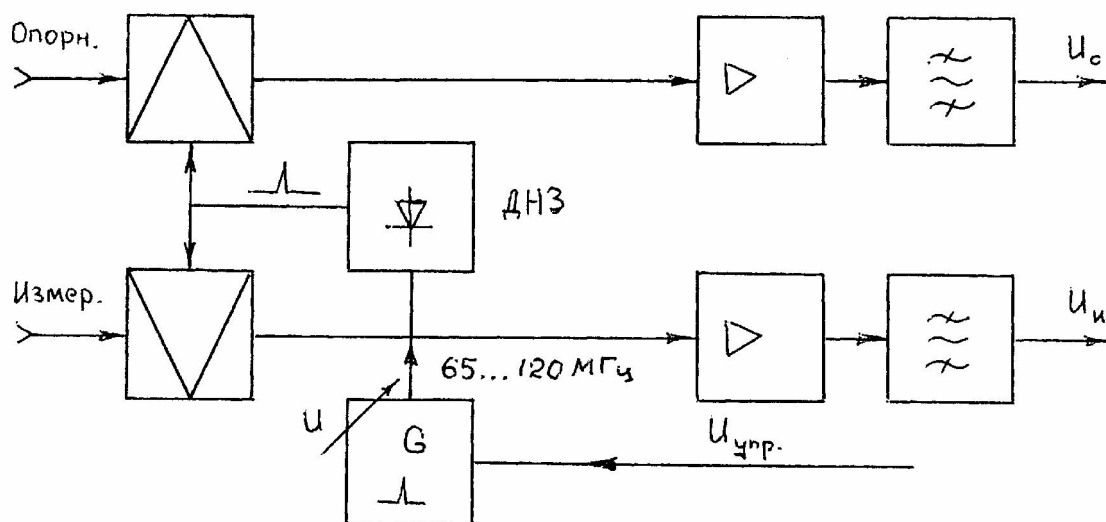


Рис.2. Структурная схема преобразователя частоты

Опорный и измерительный сигналы подают на идентичные смесители стробоскопического типа. Стробоскопический смеситель представляет собой электронный быстродействующий ключ, управляемый коротким строб-импульсом. Импульс вырабатывают путем дифференцирования перепада напряжения с малой ($< 0,1$ нс) длительностью нарастания. Этот перепад формируют подачей управляющего импульса на СВЧ диод с накоплением заряда.

Генератор управляющих импульсов перестраивается по частоте f_r управляющим напряжением в пределах 65...120 МГц. Перестройка заканчивается, когда выполняется условие захвата частоты входного сигнала:

$$f_{\text{вх}} - n f_r = f_{\text{пч1}} = 19,722 \text{ МГц.}$$

где n - номер одной из гармоник стробимпульса, $f_{\text{пч1}}$ - первая промежуточная частота. Выходной сигнал со смесителя фильтруют, усиливают и подают на низ-

Диапазон частот генератора переключают дискретно путем ступенчатого изменения крутизны пилообразного напряжения.

Сигналы опорного и измерительного каналов поступают на входы усилителей ПЧ1, охваченных цепью автоматической регулировки усиления (АРУ). Управляющий сигнал АРУ вырабатывается детектированием опорного сигнала, его величину можно контролировать по индикатору уровня. Второе частотное преобразование опорного и измерительного сигналов осуществляют смесителями, на которые подают сигнал фиксированного гетеродина 20 МГц. Вторая промежуточная частота $f_{ПЧ2}$ равна 278 кГц – на этой частоте производится измерение амплитуд и фаз сигналов с необходимой точностью. Сигнал опорного канала поступает на плавный фазовращатель, позволяющий регулировать фазу в пределах $\pm 40^\circ$ для установки нуля индикатора (калибровка по фазе). В измерительном канале сигнал разделяют на два. Один сигнал проходит через ступенчатый аттенюатор (дискрет 1 дБ, перестройка в пределах 0...60 дБ). Этот аттенюатор применяют в качестве образцового для измерения ослабления методом замещения. Второй сигнал подают на индикатор помимо аттенюатора и используют при измерении фазового сдвига.

Индикаторный блок прибора представляет собой комбинацию низкочастотного фазометра и амплитудного детектора (амплифазометр). Фазометр построен по принципу преобразования фазового сдвига во временной интервал; отсчет фазы ведут по стрелочному прибору. Амплитудный детектор преобразует сигнал измерительного канала в постоянное напряжение, поступающее на логарифмический усилитель и стрелочный прибор. Измеряемое ослабление отсчитывают в дБ.

3. Задание и указания к выполнению лабораторной работы

В установку входят измеритель разности фаз ФК2-18 и внешний СВЧ генератор с диапазоном частот, соответствующим рабочему диапазону волновода 23 x 10 мм (8 -12 ГГц). Удобно использовать блок ГКЧ54, входящий в панорамный измеритель КСВ Р2-61. При работе с другими типами генераторов необходимо контролировать уровень их выходной мощности, которая не должна превышать 5 мВт. В состав установки входит также исследуемые устройства - плавный волноводный фазовращатель и поглощающий переменный аттенюатор.

1. Подготовка установки к работе

Для работы с блоком ГКЧ54 в режиме фиксированной частоты его органы управления блока должны быть установлены в следующие положения: РЕЖИМ ПЕРЕСТРОЙКИ – F0, на индикаторе частоты – F0F1. АМ - НГ, на блоке СВЧ ВНЕШН. – НГ.

Выход генератора СВЧ должен быть соединен с разъемом ВЧ на задней панели прибора ФК2-18 через фиксированный аттенюатор 20 дБ, обеспечивающий необходимую развязку.

Включите прибор ФК2-18 и генератор СВЧ, дайте им прогреться в течение 15-20 мин. Переключатель ДИАПАЗОН ЧАСТОТ GHz установите в положение, соответствующее используемому диапазону частот. Установите на генераторе рабочую частоту, на которой будут выполняться измерения (по указанию преподавателя). Отрегулируйте уровень выходного сигнала так, чтобы индикатор ОПОРНЫЙ УРОВЕНЬ прибора ФК2-18 показывал бы ток в пределах 50...80 мкА (этим обеспечивается оптимальный режим работы системы ФАПЧ).

Лабораторная установка готова к работе.

2. Калибровка прибора ФК2-18

Задача калибровки - устранение систематической погрешности, связанной с наличием фазовых сдвигов в измерительном тракте и неодинаковыми коэффициентами передачи в опорном и измерительном каналах. Соедините разъемы А и Б отрезками коаксиальной линии и двумя волноводными переходами (калибровка коэффициента передачи «на проход»).

Проведите калибровку уровня нулевого ослабления. Для этого установите следующее положение органов управления:

- Переключатели ОСЛАБЛЕНИЕ dB – 20 дБ;
- Кнопочный переключатель «дБ-ф» – в положение 30 дБ;
- Переключатель ФАЗА ϕ - в положение 0.

Затем переключателем ОСЛАБЛЕНИЕ дБ (единицы) и ручкой АМПЛИТУДА измерителя прибора ФК2-18 установите нулевое показание стрелочного индикатора. Повторите установку нуля на пределах 10 дБ и 3 дБ переключателя «дБ-ф». Запишите калибровочное значение ослабления аттенюатора A_k (положение переключателя ОСЛАБЛЕНИЕ дБ). Прибор откалиброван для измерения модуля коэффициента передачи (ослабления).

Проведите калибровку нулевого фазового сдвига. На переключателе «дБ-ф» нажмите кнопку 180°. Ручками ДЛИНА ОПОРНОГО КАНАЛА (Cm) блока СВЧ и регулятором "ФАЗА" измерителя установите нулевое показание стрелочного индикатора. Повторите операцию на пределах 60°, 18° и 6° переключателе «дБ-ф». Прибор откалиброван для проведения фазовых измерений.

3. Измерение длины волны и частоты сигнала СВЧ

Наличие плавного калиброванного фазовращателя - линии переменной длины с равномерной ФЧХ - позволяет измерить длину волны и рассчитать частоту входного сигнала.

Запишите показания шкалы фазовращателя ДЛИНА ОПОРНОГО КАНАЛА (Cm), установленного при калибровке прибора по нулевому фазовому сдвигу. Затем на переключателе «дБ-ф» установите предел 180°. Вращая

ручку ДЛИНА ОПОРНОГО КАНАЛА в одну сторону, контролируйте положение стрелки индикатора (она должна монотонно отклоняться в одну сторону до предела шкалы, затем скачком перейти к другому пределу и плавно перейти к нулевому показанию).

Последовательно переходя на более узкие пределы (до 6^0), установите точное положение фазовращателя, соответствующее нулевому фазовому сдвигу. Запишите второе показание ДЛИНА ОПОРНОГО КАНАЛА (Cm). Разность зафиксированных показаний соответствует длине линии, обеспечивающей на рабочей частоте фазовый сдвиг 360^0 . Эта разность и есть длина волны λ входного колебания в свободном пространстве. Рассчитайте значение рабочей частоты f по формуле

$$f [\text{ГГц}] = 29,98 / \lambda [\text{см}].$$

Сравните полученный результат с установленным значением частоты на генераторе и рассчитайте погрешность установки.

4. Измерение модуля и фазы коэффициента передачи волноводного фазовращателя СВЧ.

Измерьте модуль и фазу коэффициента передачи волноводного фазовращателя. Он представляет собой диэлектрическую пластину, положение которой относительно узкой стенки волновода плавно регулируется. Указатель шкалы фазовращателя поставьте в положение "0". Подключите фазовращатель через коаксиально - волноводные переходы к разъемам А и Б измерителя ФК2 -18.

Проведите измерение начального фазового сдвига, вносимого фазовращателем. Для этого используйте минимальный диапазон измерения (предел – 6^0 установите переключателем «дБ-ф»). Если стрелка индикатора не вышла за пределы шкалы, то искомый фазовый сдвиг ϕ_x отсчитывается непосредственно по шкале ($\phi_x = \phi_{\text{шк}}$). В противном случае поставьте тумблер индикатора "±" в положение, соответствующее направлению "зашкаливания" стрелочного прибора. Затем переключением встроенного фазовращателя «ФАЗА ф» добейтесь возвращения стрел-

ки в пределы шкалы. Измеряемый фазовый сдвиг равен $\phi_x = \phi_{\text{шк}} + \phi_{\text{фв}}$, где $\phi_{\text{шк}}$ - показания стрелочного индикатора (с учетом знака), $\phi_{\text{фв}}$ - показание переключателя "ФАЗА Ф" с учетом знака тумблера "±". После измерения верните переключатель "ФАЗА Ф" в исходное (нулевое) положение.

Проведите градуировку фазовращателя, повторяя описанные выше измерения фазы на отметках шкалы 10, 20, 30 ...200 делений. Результаты сведите в таблицу.

Измерьте начальные потери фазовращателя, для чего установите нулевое показание по его шкале. Поставьте переключатель «дБ-ф» в положение 30 дБ и отсчитайте значение модуля коэффициента передачи (в дБ) по шкале прибора с учетом знака.

5. Измерение ослабления и вносимого фазового сдвига волноводного аттенюатора

Подключите с помощью волноводно-коаксиальных переходов аттенюатор к разъемам А и Б прибора. Указатель шкалы аттенюатора установите на отметку "0". Измерьте модуль коэффициента передачи (начальное ослабление) аттенюатора. Для этого сначала переключателем «дБ-ф» установите минимальный предел измерения ослабления 3 дБ и отсчитайте искомое значение непосредственно по шкале с учетом знака $A_x = A_{\text{шк}}$ (дБ). Если же прибор «зашкаливает», то следует увеличивать затухание $A_{\text{ОТС}}$ аттенюатора «ОСЛАБЛЕНИЕ dВ» блока СВЧ до тех пор, пока стрелка не установится в пределах шкалы. В этом случае величина модуля коэффициента передачи A_x определяется выражением

$$A_x = A_K - A_{\text{ОТС}} + A_{\text{шк}} \quad (\text{дБ}),$$

где A_K – калибровочное показание аттенюатора «ОСЛАБЛЕНИЕ dВ», установленное при калибровке; $A_{\text{ОТС}}$ – показание аттенюатора «ОСЛАБЛЕНИЕ dВ»; $A_{\text{шк}}$ - показание стрелочного индикатора (с учетом знака).

Произведите калибровку шкалы аттенюатора, измеряя вносимое ослабление при следующих делениях шкалы 10, 20...100. Результаты сведите в таблицу.

После измерений ослабления установите на аттенюаторе «ОСЛАБЛЕНИЕ dB» величину калибровочного затухания A_K .

Измерьте фазовый сдвиг, вносимый аттенюатором на нулевой отметке шкалы.. Для этого на переключателе «дБ-ф» установите предел 180^0 и определите фазовый сдвиг непосредственно по шкале индикатора (с учетом знака).

Содержание отчета по лабораторной работе

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

Контрольные вопросы

1. Укажите назначение фазометра ФК2-18. Какие измерительные задачи можно решать с его помощью?
2. Для чего в состав фазометра включен плавный фазовращатель? Как с его помощью измеряют частоту входного сигнала?
3. Как производится калибровка фазометра по модулю и фазе коэффициента передачи?
4. Для чего в приборе используют стробоскопическое преобразование частоты? В чем преимущества такого способа по сравнению с традиционным?
5. Какие методом производят измерение фазового сдвига после преобразования частоты на НЧ?
6. В каких случаях используют метод замещения при измерении ослабления и фазового сдвига прибором ФК2-18?
7. Чем отличается фазометр СВЧ от измерителя комплексных коэффициентов передачи СВЧ устройств?
8. Чем определяется точность измерения фазового сдвига в приборе ФК2-18?
Проведите анализ погрешности измерения.

Список литературы

1. Данилин А.А. Измерения в технике СВЧ: Учеб. пособие для вузов.- М.: Радио-техника, 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.