

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Физический факультет

Губский Д.С., Кобрин К.В., Нойкин Ю.М., Нойкина Т.К.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
к специальному лабораторному практикуму
«Радиофизика и электроника СВЧ»

Часть XIV

ИЗМЕРЕНИЕ ПОЛНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ИПС–5

Ростов-на-Дону
2015

Кафедра прикладной электродинамики и компьютерного моделирования

Учебно-методическое пособие разработано:
канд. физ.-мат. наук, доцентом Губским Д.С.,
канд. физ.-мат. наук, доцентом Кобриным К.В.,
канд. физ.-мат. наук, доцентом Нойкиным Ю.М.,
канд. физ.-мат. наук, доцентом Нойкиной Т.К.

Ответственный редактор: док. физ.-мат. наук, профессор Заргано Г.Ф.

Компьютерный набор: Грибникова Е.И.
Графика и верстка в системе \LaTeX : Кобрин К.В.

Печатается в соответствии с решением кафедры ПЭКМ физического факультета ЮФУ, протокол №18 от 12 мая 2015 г.

Издание 2-е переработанное и дополненное.

ИЗМЕРЕНИЕ ПОЛНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ИПС–5

Цель работы — Изучить принцип действия, конструкцию и параметры коаксиальных измерителей полного сопротивления на примере ИПС–5 и измерить полные сопротивления неоднородностей.

Самостоятельная работа — занести в рабочую тетрадь название и цель работы, основные положения, формулы, рисунки, необходимые при ответе на контрольные вопросы.

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Линией передач (ЛП) называют устройство, ограничивающее область распространения электромагнитных колебаний и направляющее поток электромагнитной энергии в заданном направлении. С помощью ЛП осуществляется передача мощности от генератора к нагрузке. Широко распространение получили двухпроводные (воздушные), коаксиальные, волноводные и полосковые линии передачи. Линии передачи с поперечной волной (Т-волной), независимо от их конструкции, являются цепями с распределёнными параметрами и характеризуются индуктивностью L_1 , ёмкостью C_1 , сопротивлением R_1 , и проводимостью G_1 на единицу длины.

Короткие отрезки линий, с хорошим приближением, можно считать линиями без потерь, и тогда их удобно характеризовать волновым сопротивлением Z_0 и постоянной распространения волны β :

$$\beta = \omega\sqrt{LC} = \omega/V = 2\pi f/V, \quad (1)$$

где ω — круговая частота, V — скорость волны в линии.

Волновое сопротивление определяют как

$$Z_0 = U/I, \quad (2)$$

где U, I — амплитуды волн напряжения и тока, соответственно.

Z_0 может быть выражено через погонные индуктивность и ёмкость

$$Z_0 = \sqrt{L_1/C_1}, \quad (3)$$

а также через передаваемую мощность

$$Z_0 = 2P/I^2; Z_0 = U^2/2P. \quad (4)$$

Для линии с Т-волной все четыре формулы определения Z_0 дают одинаковые результаты. Значение Z_0 линии определяется только её конструкцией и не зависит от частоты. Эти утверждения не справедливы для линий передач с волнами, отличными от Т-волны. В этом случае Z_0 зависит от частоты, причём значение Z_0 , частотная зависимость Z_0 различны для разных способов определения Z_0 .

В практических конструкциях линий передач значение волнового сопротивления заключено в следующих пределах: в воздушных двухпроводных линиях 400 – 600 Ом; в коаксиальных 50 и 75 Ом; в волноводных 300 – 600 Ом; в симметричных полосковых 30 – 100 Ом, в несимметричных 20 – 75 Ом. Волновое сопротивление свободного пространства определяется формулой $\sqrt{\mu_0/\varepsilon_0} = 120\pi \approx 377$ Ом.

2 ОТРАЖАЮЩИЕ ПРЕПЯТСТВИЯ В СВЧ ТРАКТАХ

В дальнейшем под нерегулярностями (неоднородностями) мы будем понимать в широком смысле слова любое нарушение регулярности линий передачи как, например, изменение (в том числе и постепенное) формы или размеров линии, ее заполнения и т.п. В узком смысле под неоднородностью понимается резкое скачкообразное изменение любого параметра линии передачи: формы, размера, заполнения и т.п., которому можно сопоставить эквивалентную схему.

С необходимостью исследовать свойства неоднородностей столкнулись сразу же, как начали заниматься конструированием различных узлов линии передачи. Выяснилось, что любые нарушения регулярности в таких линиях приводят к появлению отражённых волн. По мере развития техники СВЧ становилось всё более ясно, что без знания свойств неоднородностей многие узлы создавать очень трудно, а некоторые и вообще невозможно. Таким образом, изучение неоднородностей стало необходимым для успешного внедрения СВЧ техники.

Наряду с паразитными нерегулярностями, неизбежно возникающими в процессе конструирования реального тракта (сочленения, повороты, переходы и т.д.) и ухудшающими его характеристики, в трактах существуют также полезные нерегулярности, которые используются как “строительные” элементы при выполнении согласующих устройств, резонаторов, фильтров и других узлов СВЧ.

3 РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ

Линия передачи конечной длины, нагруженная на сопротивление Z_n , характеризуется коэффициентом отражения Γ , коэффициентом стоячей волны (КСВН) ρ или бегущей волны (КБВ) κ_ϕ . Эти понятия вытекают из представления процесса распространения энергии от генератора к нагрузке в виде двух бегущих волн напряжения, движущихся в противоположных направлениях с одинаковой скоростью. Волну, движущуюся от генератора к нагрузке, называют падающей (U_n), волну, движущуюся от нагрузки к генератору — отражённой (U_o).

Коэффициент отражения характеризует степень согласования линии с нагрузкой и имеет вид

$$\Gamma = \frac{U_o}{U_n} = \left| \frac{U_o}{U_n} \right| e^{j\theta}, \quad (5)$$

где $\theta = 2\beta\ell_0$ — фазовый сдвиг между напряжениями падающей и отражённой волн;

ℓ_0 — расстояние от сечения линии, где включена нагрузка, до первого минимума напряжения в сечении линии по направлению к генератору;

β — постоянная распространения волны.

Вследствие противоположных направлений распространения падающей и отражённой волн и изменения фазового сдвига между ними вдоль линии устанавливается некоторое распределение напряжения (тока), амплитуды которого U_{\max} , а минимальные значения 0 или U_{\min} . Коэффициент стоячей волны напряжения будет $\rho = U_{\max}/U_{\min}$; коэффициент бегущей волны напряжения: $\kappa_\phi = U_{\min}/U_{\max} = 1/\rho$. В зависимости от характера и значения нагрузки в линии устанавливается один из трёх режимов: бегущей волны, стоячей волны и смешанных волн. Здесь и дальше полагаем, что в начале линии включён генератор синусоидального напряжения с выходным сопротивлением Z_Γ , равным волновому сопротивлению линии Z_0 .

Режим бегущей волны устанавливается при нагрузке линии активным сопротивлением, равным её волновому: $Z_n = R_n = Z_0$, т.е. когда осуществлено полное согласование. В этом режиме по линии распространяется поток энергии падающей волны, поглощаемый нагрузкой, отраженной волны нет. Напряжение и ток во всех сечениях линии изменяются по синусоидальному закону, и их амплитуды вдоль линии одинаковы (рисунок 1). В режиме бегущей волны $\Gamma = 0$; $\rho = \kappa_\phi = 1$.

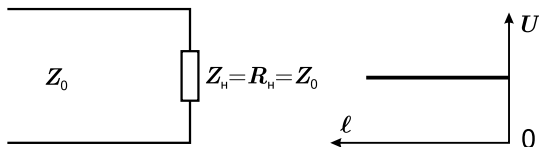
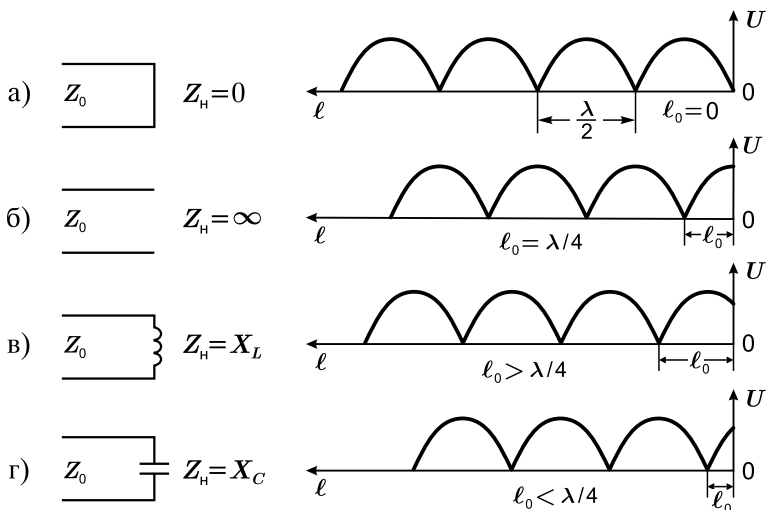


Рисунок 1 – Распределение напряжения вдоль линии в режиме бегущей волны

Режим стоячей волны устанавливается при коротком замыкании линии ($Z_n = 0$), при разомкнутой линии ($Z_n = \infty$) и при нагрузке линии реактивным сопротивлением X_L или X_C .

При коротком замыкании линии (рисунок 2,а) амплитуда отражённой волны напряжения равна амплитуде падающей, а фаза отражённой волны противоположна фазе падающей.



а — при коротком замыкании; б — при разомкнутой линии;
в — при индуктивной нагрузке; г — при ёмкостной нагрузке

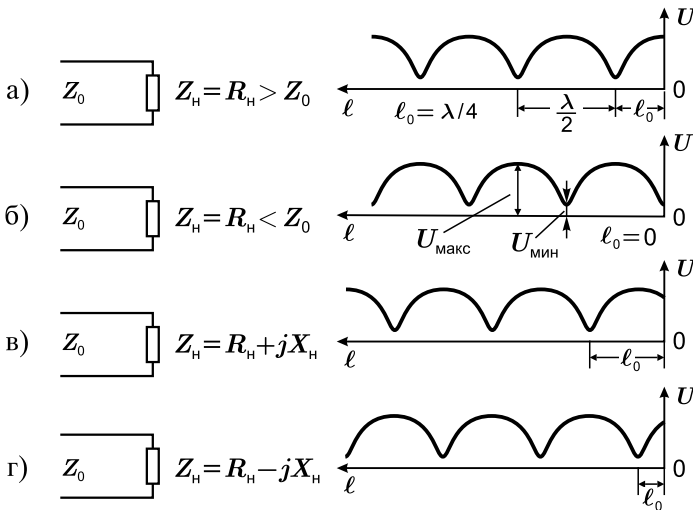
Рисунок 2 – Распределение напряжения в линии передачи в режиме стоячей волны

Вследствие чего напряжение и ток в любом сечении линии различны и принимают значения от нуля (узел напряжения), до некоторого максимума (пучность напряжения). В месте короткого замыкания об-

разуется первый узел напряжения. Затем узлы повторяются по длине линии в направлении к генератору через расстояния $\ell = \lambda/2$. Первая пучность возникает в сечении $\ell = \lambda/4$ и повторяется через $\ell = \lambda/2$. При разомкнутой линии (рисунок 2,б) картина аналогична предыдущей, с тем отличием, что в конце линии образуется пучность напряжения, а первый узел возникает в сечении $\ell_0 = \lambda/4$.

Если линия нагружена чисто реактивным сопротивлением, то при индуктивной нагрузке первый узел напряжения устанавливается на расстоянии $\ell_0 > \lambda/4$ от места включения нагрузки, а при емкостной — на расстоянии $\ell_0 < \lambda/4$ (рисунок 2в,г). В режиме стоячей волны $|T| = 1$; $\kappa_6 = 0$; $\rho = \infty$.

Режим смешанных волн устанавливается при нагрузке линии активным сопротивлением, не равным волновому сопротивлению линии, или произвольным комплексным сопротивлением. В этом режиме амплитуда падающей волны больше амплитуды отражённой, энергия переносится в сторону нагрузки и часть энергии в ней поглощается. В линии устанавливается распределение напряжения, показанное на рисунке 3 для различных нагрузок. Расстояние ℓ_0 от нагрузки до первого минимума напряжения в этом режиме зависит от характера и



а, б — при омической нагрузке; в — при индуктивной нагрузке;
г — при ёмкостной нагрузке;

Рисунок 3 – Распределение напряжения вдоль линии передачи в режиме смешанных волн

значения нагрузки. В режиме смешанных волн коэффициент отражения и КСВН могут принимать любые значения в следующих пределах: $0 < |\Gamma| < 1$; $1 < \rho < \infty$.

Коэффициент отражения удобно выразить через волновое сопротивление линии и сопротивление нагрузки:

$$\Gamma = \frac{Z_{\text{н}} - Z_0}{Z_{\text{н}} + Z_0}. \quad (6)$$

Модуль коэффициента отражения и КСВН связаны между собой соотношениями

$$|\Gamma| = \frac{\rho - 1}{\rho + 1}; \quad \rho = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}. \quad (7)$$

Из рассмотрения рисунков 1, 2 и 3 следует, что по виду распределения напряжения вдоль линии можно определить характер полного сопротивления нагрузки $Z_{\text{н}}$ и вычислить его значение из следующей формулы:

$$Z_{\text{н}} = R_{\text{н}} + jX_{\text{н}} = Z_0 \frac{\rho - 0.5j(\rho^2 - 1) \sin 2\beta\ell_0}{\rho^2 \cos^2 \beta\ell_0 + \sin^2 \beta\ell_0}. \quad (8)$$

Часто пользуются нормированным значением сопротивления нагрузки

$$\frac{Z_{\text{н}}}{Z_0} = \frac{R_{\text{н}}}{Z_0} + j \frac{X_{\text{н}}}{Z_0}. \quad (9)$$

Необходимые для вычисления сопротивлений значение КСВН и расстояние ℓ_0 определяют по графикам распределения напряжения вдоль линии, аналогичным приведённым на рисунках 2, 3. Данные для построения графиков получают в конкретной установке с помощью измерительной линии.

4 ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

4.1 Круговая диаграмма

Быстро и достаточной точностью можно определить полное сопротивление нагрузки с помощью круговой диаграммы, предложенной независимо друг от друга А.Ф. Вольпертом (СССР) и Ф.Х. Смитом (США).

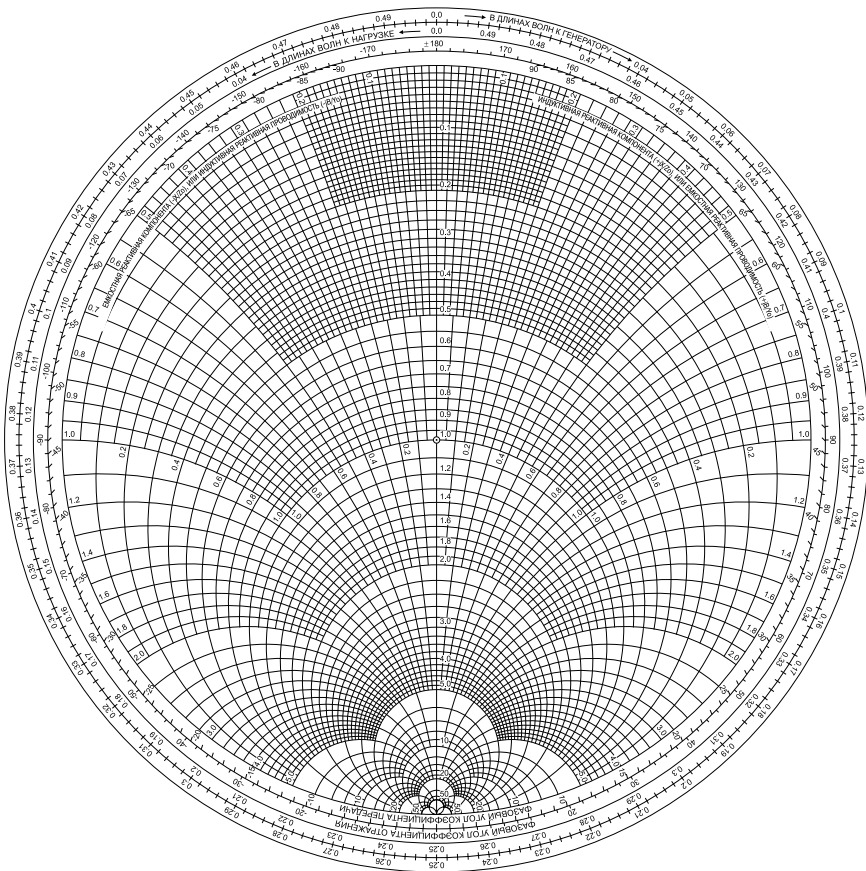


Рисунок 4 – Круговая диаграмма

Теория построения круговой диаграммы излагается в курсе “Основы теорий СВЧ цепей”; здесь даётся её описание и рассматривается применение. Круговая диаграмма (рисунок 4) представляет собой несколько концентрических окружностей для отсчёта фазового угла в направлении нагрузки или генератора в разных единицах. Внутри меньшей из окружностей расположены два семейства ортогональных дуг, представляющих собой нормированные сопротивления $R/Z_0 = const$ и $X/Z_0 = const$. Применение нормированных сопротивлений позволяет применять диаграмму для измерения полных сопротивлений, включённых в линии передачи с любым волновым

сопротивлением. На большей окружности по направлению движения часовой стрелки отложены безразмерные значения отношения ℓ_0/λ , пропорциональные фазовому углу, на меньшей окружности те же значения отложены против движения часовой стрелки. По вертикальному диаметру отложены значения R/Z_0 , соответствующие проходящим через них окружностям равных нормированных активных сопротивлений. В местах пересечения окружностей равных нормированных реактивных сопротивлений с внешней окружностью помещены значения X/Z_0 : в левой половине диаграммы отрицательные, в правой — положительные.

На диаграмме штриховой линией нанесены окружности, проходящие через деления шкалы R/Z_0 с центром в точке $R/Z_0 = 1$. По этим окружностям отсчитывают значения Γ и ρ , так как шкала нормированных активных сопротивлений от 0 до 1 на оси нулевых реактивных сопротивлений одновременно является шкалой Γ , а от 1 до ∞ — шкалой ρ .

На диаграмме отмечают точку пересечения прямой и окружности КСВН с двумя ортогональными окружностями R/Z_0 и X/Z_0 , соответствующие этому пересечению, после умножения на дают ответ на поставленную задачу, так как $Z_n = R + jX$.

4.2 Коаксиальный поляризационный измеритель полных сопротивлений

Выше уже говорилось, что в коаксиальных, волноводных и микрополосковых линиях передачи имеются электрические неоднородности, т. е. отклонения значения волнового сопротивления: технологические — в местах соединения строительных отрезков и возникающие в процессе эксплуатации — обрывы, короткие замыкания, нарушения изоляции и т. д. и технические — при конструировании различных устройств: тройников, фильтров и т. д. Для определения значения, характера и места расположения неоднородности по длине линии применяются различные методы.

Данный метод заключается в измерении параметров отраженной от неоднородности волны при импульсном воздействии на вход линии.

Значение неоднородности характеризуется коэффициентом отражения знак коэффициента отражения определяет характер неоднородности. При полном согласовании и отсутствии отражений (неоднородностей) $\Gamma = 0$. Если $\Gamma = +1$ — в линии обрыв; если $\Gamma = -1$ — линия замкнута накоротко.

Поляризационные измерители по принципу действия представляют собой аналоги измерительных линий. Основное преимущество их

перед измерительными линиями заключается в малых размерах, что особенно ощутимо в низкочастотной области СВЧ (300 МГц), где измерительные линии превращаются в громоздкие сооружения.

Коаксиальный вариант поляризационного измерителя представляет собой коаксиальный тройник, симметричные плечи которого нагружены с одной стороны на испытываемую нагрузку ИУ, а с противоположной на перестраиваемый конденсатор ПС (рисунок 5). Сигнал от генератора Г подаётся на несимметричное плечо. В центре тройника перпендикулярно к его плоскости расположен круглый волновод, возбуждаемый токами тройника.

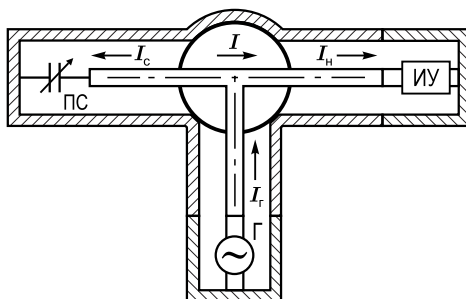


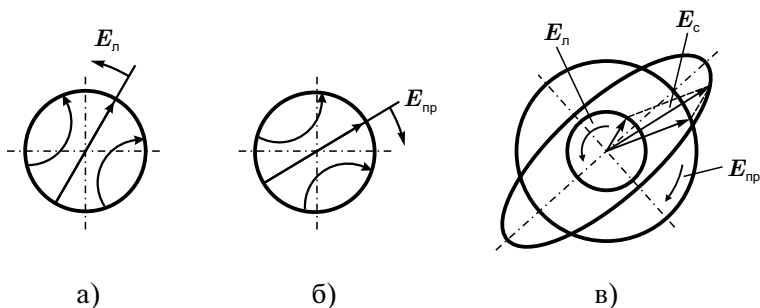
Рисунок 5 – Схематическое изображение коаксиального измерителя полных сопротивлений и принципа его работы

Отраженная от испытываемой нагрузки волна распространяется к генератору и также возбуждает в круглом волноводе волну H_{11} круговой поляризации, но противоположного вращения (рисунок 6).

В результате сложения волн обеих поляризации в круглом волноводе устанавливается эллиптически поляризованная волна, эллиптичность которой и несёт информацию о КСВН и фазе коэффициента отражения нагрузки. КСВН равен отношению большой оси эллипса к малой, а фаза коэффициента отражения нагрузки равна удвоенному углу поворота малой оси эллипса относительно начального.

В коаксиальном варианте поляризационного измерителя необходимый временной сдвиг $\pi/2$ одного из токов достигается с помощью перестраиваемого конденсатора, реактивное сопротивление которого перед измерением устанавливается равным характеристическому сопротивлению коаксиальной линии.

При произвольной нагрузке, подключённой к измерителю, в круглом волноводе возбуждается эллиптически поляризованная волна H_{11} . Степень эллиптичности измеряется с помощью вращающейся



а — с левым вращением плоскости поляризации; б — правым вращением плоскости поляризации; в — распределение суммарной амплитуды поля вокруг оси волновода

Рисунок 6 – Электрическое поле волны H_{11}

петли связи. Конструкция петли обеспечивает постоянную связь с полем волны H_{11} круглого волновода при повороте петли вокруг оси. Если сопротивление исследуемой нагрузки равно характеристическому сопротивлению линии, то в круглом волноводе устанавливается волна H_{11} с круговой поляризацией. В этом случае, при повороте петли показания индикатора в цепи детекторной секции будут постоянными. Если же вместо согласованной нагрузки к измерителю подключить короткозамыкатель, то в круглом волноводе возникает линейно поляризованная волна. Соответственно, при повороте петли показания индикатора будут изменяться от 0 до максимального значения.

В общем случае при любой другой нагрузке волна эллиптически поляризована, и отношение осей эллипса однозначно определяет КС-ВН.

5 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Для экспериментального изучения различных неоднородностей используется установка, схема которой приведена на рисунке 7.

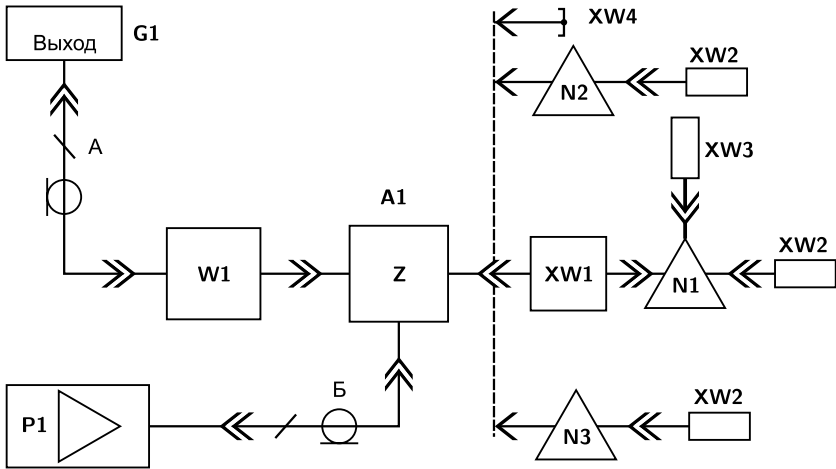


Рисунок 7 – Структурная схема измерительной установки

На рисунке 7 обозначены:

- A1 – изучаемый измеритель полных сопротивлений ИПС-5;
- G1 – генератор высокочастотный Г4-37А;
- P1 – милливольтметр В6-9 или измеритель отношения напряжений В8-7;
- W1 – фильтр нижних частот;
- N2 – коаксиальная секция со штырём;
- N1 – коаксиальный тройник;
- N3 – коаксиальная ёмкостная секция;
- XW1 – коаксиальный переход типа “штырь – штырь”;
- XW2, XW3 – коаксиальные согласованные нагрузки;
- XW4 – короткозамыкатель (КЗ);
- А, Б – кабель соединительный коаксиальный.

Высокочастотный сигнал от генератора G1 через фильтр нижних частот W1 поступает на измеритель полных сопротивлений A1, к выходу которого поочередно подключаются три различные неоднородности: коаксиальный тройник N1, коаксиальная секция со штырём N2 и коаксиальная ёмкостная секция N3. К неоднородностям подключаются согласованные нагрузки XW2 и XW3. Индикатором служит измеритель отношений напряжений или микровольтметр P1.

6 УКАЗАНИЕ МЕР БЕЗОПАСНОСТИ

ВНИМАНИЕ!

При подготовке рабочего места необходимо выполнить правила, изложенные в “Инструкции по технике безопасности для студентов в учебной лаборатории”, предварительно изучив её. Изучить раздел “Указание мер безопасности” в “Техническом описании к инструкции по эксплуатации” (ТО и ИЭ) к каждому прибору, входящему в установку, и руководствоваться ими при работе.

7 ПОДГОТОВКА К ПРОВЕДЕНИЮ ИЗМЕРЕНИЙ

Включить генератор и установить требуемую частоту сигнала.

Установить на шкале образцового конденсатора частоту высокочастотного генератора.

Определить положение минимума при подключенном к выходу измерителя короткозамыкателе.

Вычислить фазу по методике, изложенной в п. 9.

Значение фазы должно быть не более $180^\circ \pm 6^\circ$. Если измеритель отвечает указанным требованиям, то он исправен и можно приступить к измерению параметров СВЧ элементов на любой частоте рабочего диапазона измерителя.

8 ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

8.1 Измерение КСВН

Присоединить к разъёму “нагрузка” измерителя изучаемую неоднородность.

Вращая шкалу приемной головки измерителя, по индикаторному прибору милливольтметра определить величину максимального и минимального показаний и подсчитать КСВН по формуле

$$\rho = \sqrt{\frac{n_{\max}}{n_{\min}}}. \quad (10)$$

При $\rho > 2.5$ вычисления КСВН производят по формуле

$$\rho = \frac{\sqrt{2 - \cos^2 \frac{\Delta\varphi}{2}}}{\sin \frac{\Delta\varphi}{2}}, \quad \Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_{\min}, \quad (11)$$

где $\Delta\varphi$ – смещение петли приёмной головки;

φ_{\min} – отсчёт по шкале приёмной головки, соответствующий минимальному значению выходного напряжения;

φ_1 – отсчёт по шкале приёмной головки, соответствующий удвоенному значению выходного напряжения.

Заменить изучаемую неоднородность на другую и вновь измерить КСВН.

8.2 Измерение фазы коэффициента отражения

Фаза коэффициента отражения связана с углом поворота петли следующим образом:

$$\varphi = \theta + \frac{4\pi L}{\lambda} + const, \quad (12)$$

где φ – фаза коэффициента отражения;

θ – пространственный угол поворота петли;

L – длина нагрузочного плеча тройника;

λ – длина волны.

Как видно из формулы, в правую часть равенства, кроме фазы коэффициента отражения, входит некоторая константа и величина набега фаз на длине нагрузочного плеча. Чтобы исключить из измерения указанные величины, нужно пользоваться разностным методом измерения.

Подключить вместо неоднородности короткозамыкатель ХВЗ.

Определить по индикатору милливольтметра положение минимума при использовании короткозамыкателя

$$\varphi_{\text{кз}} = \theta_{\text{мин кз}} + \frac{4\pi L}{\lambda} + const. \quad (13)$$

Записать отсчёт по шкале в градусах с учётом знака квадранта.

Подключить неоднородность и повторить измерения.

Тогда в случае неоднородности

$$\varphi_{\text{неодн}} = \theta_{\text{мин неодн}} + \frac{4\pi L}{\lambda} + const. \quad (14)$$

Найти величину фазы коэффициента отражения данной неоднородности, вычитая соответствующие части равенства друг из друга и учитывая, что $\varphi_{\text{кз}} = 0^\circ$

$$\varphi_{\text{неодн}} = \theta_{\text{мин неодн}} - \theta_{\text{мин кз}} \pm 180^\circ. \quad (15)$$

Пользуясь формулой (15), рассчитать $\varphi_{\text{неодн}}$.

ПРИМЕР. При короткозамыкателе минимум напряжения на индикаторе милливольтметра соответствует $\theta_{\text{мин кз}} = +120^\circ$ на шкале измерителя.

При измерении нагрузки $\theta_{\text{мин неодн}} = +140^\circ$.

Фаза коэффициента отражения

$$\varphi_{\text{неодн}} = +140^\circ - (+120^\circ) = +20^\circ. \quad (16)$$

После работы с измерителем необходимо разобрать схему соединения и надеть на СВЧ разъёмы измерителя заглушки.

9 УКАЗАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для оформления результатов необходимо выполнить следующее:

- 1) результаты измерений выполнить в виде таблицы;
- 2) вычислить КСВН и фазу неоднородностей;
- 3) рассчитать полное сопротивление $Z = R + jX$ с помощью круговой диаграммы.

10 УКАЗАНИЯ К ОТЧЁТУ

Отчёт должен содержать:

- 1) все пункты задания;
- 2) структурную схему лабораторной установки;
- 3) результаты измерения, представленные в виде таблиц и графиков;
- 4) выводы по работе и оценку полученных результатов (письменно).

11 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1) Что называется линией передачи?
- 2) Какими параметрами характеризуется линия передачи?
- 3) Какие существуют режимы работы линий передачи?
- 4) Как измерить полное сопротивление?
- 5) Что представляет собой круговая диаграмма?
- 6) Что представляют собой поляризационные измерительных полных сопротивлений?
- 7) Сущность метода возбуждения волн с круговой поляризацией в круглом волноводе.
- 8) Принцип действия ИПС-5.
- 9) Структурная схема измерительной установки.
- 10) Принцип действия приборов, входящих в установку.
- 11) Объясните результаты измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Измерители полных сопротивлений ИПС–2, ИПС–3, ИПС–4, ИПС–5. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
2. Лебедев, И.В. Техника и приборы СВЧ [Текст] : учеб. для студентов вузов по спец. “Электронные приборы”; под ред. академика Н.Д. Девяткова /И.В. Лебедев. –М.: Высш. шк. 1970. –440 с.
3. Воскобойник, М.Ф. Техника и приборы СВЧ [Текст]: учеб. для техникумов / М.Ф. Воскобойник, А.И. Черников. –М.: Радио и связь, 1982. –208 с.
4. Стариков, В.Д. Методы измерения на СВЧ с применением измерительных линий [Текст] / В.Д. Стариков. –М.: Сов. радио, 1972. –144 с.
5. Зайцев, А.Н. Измерения на сверхвысоких частотах и их метрологическое обеспечение [Текст]: учеб. пособие для средн. спец. учеб. заведений/ А.Н. Зайцев, П.А. Иващенко, А.В. Мыльников. –М.: Изд-во стандартов, 1989. –240 с.