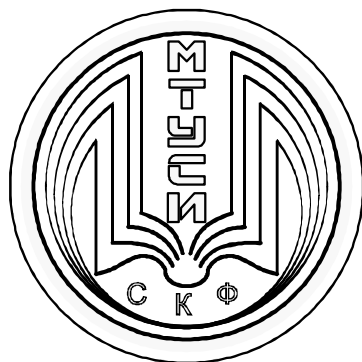


**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФИЛИАЛ
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СВЯЗИ И
ИНФОРМАТИКИ»**



КАФЕДРА ОБЩЕНАУЧНОЙ ПОДГОТОВКИ

Бородин А.В.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ И ВОЛНЫ

Методические указания
по выполнению лабораторных работ
для студентов направления подготовки
11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи.

Ростов-на-Дону

2019 г.

А.В. Бородин. Электромагнитные поля и волны. Методические указания по выполнению лабораторных работ. Ростов-на-Дону: Северо-Кавказский филиал МТУСИ. 2019. – 21 с.

Методические указания предназначены для освоения студентами дисциплины «Электромагнитные поля и волны», физических основ электродинамики, распространения электромагнитных волн в различных средах, особенностей структуры электромагнитного поля в линиях передачи электромагнитной энергии. К каждой лабораторной работе представлены краткие теоретические сведения, цель работы, оборудование, схема лабораторной установки, порядок выполнения работы, содержание отчета и контрольные вопросы.

Рецензент: Заведующий кафедрой ИТСС СКФ МТУСИ,
к.т.н., доцент Юхнов В.И.

Рассмотрено и одобрено
на заседании кафедры Общенаучной подготовки
Протокол от 26 августа 2019 г. № 1

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 1. Измерение полных сопротивлений на СВЧ | 4 |
| 2. Исследование регулярной линии передачи | 7 |
| 3. Исследование собственных волн прямоугольного волновода | 10 |
| 4. Исследование потерь в прямоугольном волноводе | 13 |
| 5. Исследование вынужденных колебаний в объемном резонаторе | 16 |
| 6. Исследование скин-эффекта в металлической пластине | 20 |

1. Измерение полных сопротивлений на СВЧ

1.1 Цель работы.

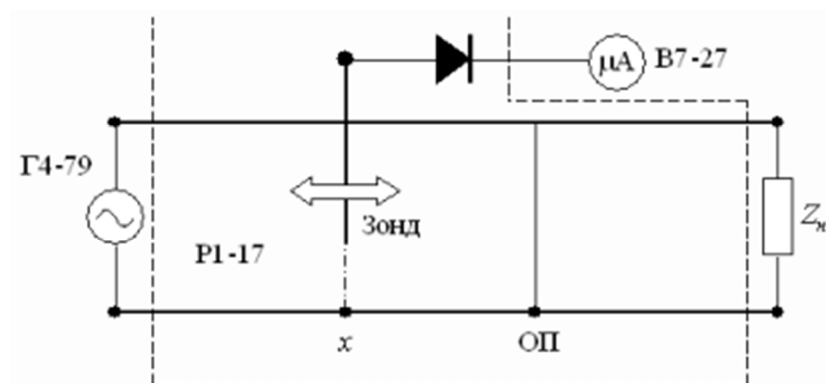
- Изучение методик калибровки СВЧ детектора, измерения коэффициента стоячей волны и полного сопротивления нагрузки при различных степенях рассогласования в линии.
- Приобретение практических навыков по исследованию электромагнитного поля в измерительной линии.

1.2 Материалы и оборудование.

Для проведения лабораторной работы на реальном оборудовании необходимы следующие приборы:

- измерительная линия Р1-17;
- генератор СВЧ Г4-79;
- набор нагрузок.

1.3 Порядок выполнения работы.



- Схема виртуальной лабораторной установки изображена на рисунке. Подготовить к работе генератор СВЧ и микроамперметр нажатием кнопки Сеть.
- Произвести калибровку детектора 1-м методом. Измерения необходимо начать от узла стоячей волны и перемещать каретку в сторону пучности. Между узлом и пучностью (в интервале $\lambda / 4$) необходимо измерить ток детектора минимум в 10 точках с равным интервалом.

- При каждом измерении тока детектора необходимо устанавливать такой предел индикатора микроамперметра, чтобы отображались три значащие цифры! При этом достигается максимальная точность измерения.
- Произвести калибровку детектора 2-м методом при десяти уровнях мощности генератора в диапазоне от -55 dB до -20 dB.
- По экспериментальным результатам определить область квадратичности детектора измерительной головки.
- По экспериментальным результатам построить график зависимости показателя степени n от мощности генератора.
- Определить положение опорной плоскости (ОП).
- Устанавливая последовательно нагрузки, реализующие малый, большой и очень большой КСВ, для каждой определить: расстояние d от ОП до ближайшего минимума и КСВ по соответствующей методике, используя полученные ранее результаты.
- Рассчитать полное сопротивление нагрузок по результатам эксперимента.

1.4 Содержание отчета.

- Название и цель работы.
- Вспомогательный график для калибровки детектора 1-м методом.
- График зависимости показателя степени n от мощности генератора.
- Описание эксперимента по определению области квадратичности детектора, расчетные формулы, результаты расчетов, включая результаты промежуточных расчетов, оформленные в виде таблицы.
- Вспомогательный график для определения области квадратичности детектора.
- Описание эксперимента по определению опорной плоскости и длины волны в линии и результаты измерений.
- Описание эксперимента по определению полного сопротивления нагрузок. Таблица результатов измерений. Расчетные формулы с пояснениями и результаты расчетов полных сопротивлений нагрузок,

включая результаты промежуточных расчетов, оформленные в виде таблицы.

По каждому методу калибровки детектора должны быть приведены:

- четкое описание и схема эксперимента;
- экспериментальные результаты, оформленные в виде таблицы;
- расчетные формулы с пояснениями;
- результаты расчетов по экспериментальным данным, включая результаты промежуточных расчетов, оформленные в виде таблицы.

1.5 Контрольные вопросы.

1. Особенности поля в измерительной линии. Влияние зонда. Почему в качестве опорных точек выбирают минимумы поля?
2. Эквивалентная схема зонда. Согласование зонда с линией, выбор глубины погружения.
3. Что называется опорной плоскостью и как ее определяют.
4. Метод определения координаты узла стоячей волны. Измерение длины волны в линии.
5. Чем обусловлена необходимость калибровки детектора. В чем состоит калибровка.
6. Обоснование и процедура первого метода калибровки.
7. Обоснование и процедура второго метода калибровки.
8. Какой из двух методов калибровки более точен и почему.
9. Что называют областью квадратичности детектора. Как определить область квадратичности.
10. Как классифицируют КСВ по величине. Измерение малых КСВ.
11. Почему большие КСВ нельзя измерить методом максимума-минимума.
12. Обоснование и процедура метода измерения больших КСВ.
13. Обоснование и процедура метода измерения очень больших КСВ.
14. Процедура измерения полного сопротивления нагрузки.
15. Как определить Z_n по результатам эксперимента.

2. Исследование регулярной линии передачи

2.1 Цель работы.

- Исследование распространения электромагнитных волн в регулярной направляющей структуре, работающей на нагрузку.
- Изучение режимов работы линии передачи и их основных параметров.

2.2 Материалы и оборудование.

Для проведения лабораторной работы необходимо следующее оборудование:

- Измерительная линия Р1-17.
- Генератор сигналов СВЧ Г4-79.
- Вольтметр В7-27.
- Набор нагрузок.
- Отрезок коаксиальной линии с короткозамыкающим поршнем.

2.3 Порядок выполнения работы.

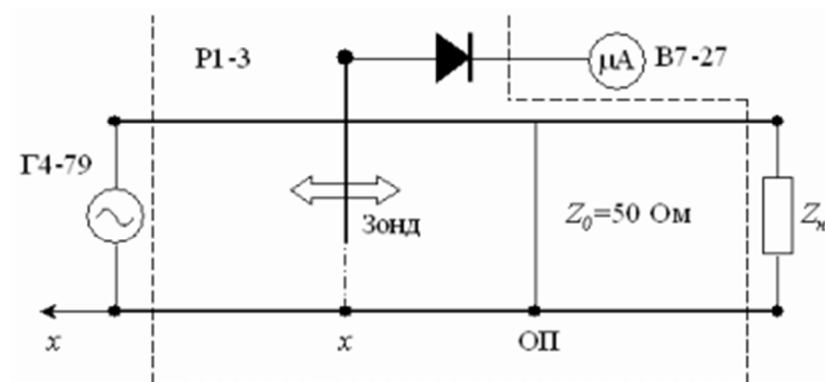


Схема лабораторной установки.

- Сигнал от генератора подается в измерительную линию, нагруженную на сопротивление Z_n . Ток детектора измеряется микроамперметром.
- Определить положение опорной плоскости и длину волны λ в линии. За опорную плоскость принимается положение ближайшего к нагрузке минимума при коротком замыкании (Замыкание, $Z_n=0$).
- Снять распределение амплитуды колебаний напряжения вдоль линии на отрезке длиной λ для следующих нагрузок: Активная, Малый КСВ, Средний КСВ, Большой КСВ. Расстояние x отсчитывается от опорной

плоскости ОП. Шаг перемещения каретки измерительной линии $\Delta x = 0.1\lambda$.

- Рассчитать длины короткозамкнутых отрезков линии, реализующих на входе заданные значения емкостного и индуктивного сопротивлений при рабочей частоте генератора.
- Снять распределение амплитуды колебаний напряжения вдоль линии при емкостной и индуктивной нагрузках. В качестве нагрузки использовать отрезок линии передачи с подвижным короткозамыкающим поршнем - КЗ поршень. Длина короткозамкнутой линии устанавливается в соответствии с рассчитанными величинами.
- Для каждой измеренной нагрузки построить диаграммы распределения амплитуды колебаний напряжения вдоль линии и отметить на каждой положение опорной плоскости. Расстояние на диаграммах указывать в долях длины волны.
- Для каждой диаграммы рассчитать величину полного сопротивления каждой исследованной нагрузки и величину эквивалентной емкости и индуктивности для короткозамкнутых отрезков линии.

2.4 Содержание отчета.

- Название и цель работы.
- Расчет длин отрезков короткозамкнутых линий с емкостным и индуктивным входными сопротивлениями.
- Краткое описание и схему каждого из экспериментов.
- Таблицы результатов каждого из экспериментов.
- Диаграммы распределения амплитуды колебаний напряжения вдоль линии для каждой нагрузки.
- Расчеты полного сопротивления для каждой нагрузки и эквивалентной емкости и индуктивности для короткозамкнутых отрезков линии.

2.5 Контрольные вопросы.

1. Что называется регулярной линией передачи? Привести примеры реальных линий передачи.

2. В каком случае можно говорить о токе и напряжении в линии передачи, когда - нельзя. Как определяются величины тока и напряжения и эквивалентные ток и напряжение.
3. Дать определения основным параметрам, характеризующим линию передачи.
4. Чем отличается волновое сопротивление линии передачи от волнового сопротивления Т-волны?
5. Режимы работы линии передачи. Дать определение параметрам, характеризующим режимы работы.
6. Как связаны коэффициент отражения и коэффициент стоячей волны?
7. Как связано сопротивление в произвольной точке линии с коэффициентом отражения и с КСВ?
8. Как связано сопротивление в произвольной точке линии с сопротивлением нагрузки?
9. Входное сопротивление нагруженной полуволновой и четвертьволновой линии. Где находят применение такие линии?
10. Для чего необходимо согласовывать линию передачи с нагрузкой и как реализуется согласование?
11. Входное сопротивление короткозамкнутого отрезка линии. Как зависит входное сопротивление от длины отрезка? Понятие о распределенных реактивностях и их применении.
12. Свойства полуволнового и четвертьволнового короткозамкнутых отрезков линии. Для чего и как используются такие отрезки?
13. Вывести формулу для сопротивления в точке минимума амплитуды поля в линии.
14. Распределение амплитуды колебаний в линии при активной, индуктивной, емкостной нагрузке. Как зависит положение минимума от характера и величины нагрузки?
15. Чем, кроме погрешности измерений, можно объяснить отличие между заданными значениями входных сопротивлений короткозамкнутых отрезков линии и полученными в результате измерений.

3. Исследование собственных волн прямоугольного волновода

3.1 Цель работы.

- Исследование частотной зависимости коэффициента затухания в запердельном волноводе.
- Исследование частотной зависимости длины волны в волноводе для основного типа волны.

3.2 Оборудование.

- Генераторы сигналов СВЧ Г4-82, Г4-83.
- Измерительная линия волноводная Р1-28.
- Подвижная короткозамкнутая нагрузка НКП-7.
- Микроамперметр.

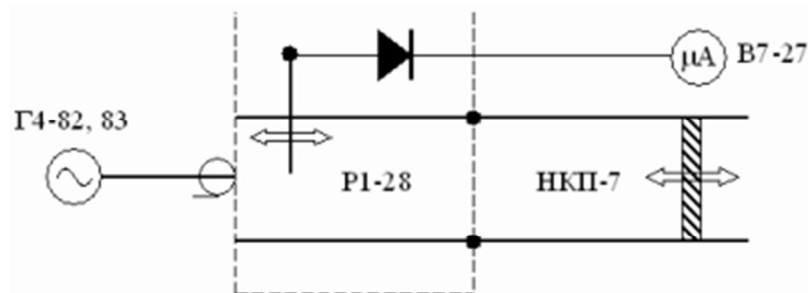


Схема лабораторной установки.

3.3 Порядок выполнения работы.

- Схема виртуальной лабораторной установки представлена на рисунке. Произвести подготовку приборов к работе включением кнопок Сеть.
- На заданных частотах снять распределения амплитуды электрического поля вдоль волноводной измерительной линии в режиме запердельного волновода. При этом на каждой частоте, регулируя выходную мощность генератора, необходимо устанавливать одно и то же показание индикаторного прибора в ближайшем к генератору положении зонда (т.е. в начале отсчета).
- В режиме бегущей волны на заданных частотах измерить длину волны основного типа H_{10} в ПВ при коротком замыкании на выходе (КЗ).
- Построить распределение амплитуды электрического поля E_0 вдоль волновода в запердельном режиме на каждой частоте. При этом надо

учитывать квадратичность детектора измерительной линии: $I \sim (E_0)^2$, где I - показания индикаторного прибора, т.е. строить зависимость \sqrt{I} от координаты.

- На каждой частоте по полученным распределениям амплитуды электрического поля E_0 определить коэффициент затухания α и построить зависимость α от частоты. В качестве E_{02} принять амплитуду поля в начале отсчета.
- Для каждой из частот рассчитать коэффициент затухания для волны H_{10} - α_{10} и построить частотную зависимость на том же графике, что и экспериментальная. Размеры волновода 23x10 мм.
- По экспериментальным результатам п. 6.3.2 построить зависимость длины волны Λ от частоты.
- Для каждой из экспериментальных частот рассчитать длину волны H_{10} - Λ и построить частотную зависимость на том же графике, что и экспериментальная. Размеры волновода 23x10 мм.

3.4 Содержание отчета.

- Название и цель работы.
- Краткое описание и схему каждого из экспериментов.
- Таблицы результатов каждого из экспериментов.
- Графики распределения амплитуды поля в запердельном волноводе с построениями, необходимыми для расчетов коэффициента затухания.
- Расчет коэффициентов затухания в запердельном режиме.
- Графики теоретической и экспериментальной зависимости коэффициента затухания от частоты.
- Графики теоретической и экспериментальной зависимости длины волны в волноводе от частоты.

3.5 Контрольные вопросы.

1. Что такое прямоугольный волновод? Области применения ПВ в технике СВЧ.
2. Преимущества и недостатки ПВ по сравнению с другими линиями передачи СВЧ.

3. Что называется собственной волной ПВ?
4. Постановка задачи для нахождения полей собственных волн ПВ.
5. Метод решения задачи для нахождения полей собственных волн ПВ.
6. Классификация собственных волн ПВ.
7. Метод определения полей электрических и магнитных волн ПВ.
8. Какими выражениями описываются продольные компоненты электрических и магнитных волн?
9. Что называется постоянной распространения, поперечным волновым числом и фазовой скоростью собственных волн ПВ и как они связаны с размерами ПВ и типом волны?
10. Что называется критической частотой, как она связана с размерами ПВ и типом волны?
11. Каковы условия распространения данного типа волны в ПВ и что происходит при невыполнении этих условий.
12. Что такое затухающие волны, коэффициент затухания и как он связан с размерами ПВ и типом затухающей волны?
13. Что называется основным типом волны и высшими типами волн?
14. Основная волна ПВ. Связь ее критической частоты и длины волны с размерами ПВ.
15. Что называется длиной волны, фазовой и групповой скоростями собственных волн ПВ и как они зависят от частоты?
16. Чем, кроме погрешности эксперимента, можно объяснить различие величин экспериментального коэффициента затухания и теоретического?
17. Что называется запертым волноводом? Электромагнитное поле в запертом волноводе.

4. Исследование потерь в прямоугольном волноводе

4.1 Цель работы.

- Исследование частотной зависимости коэффициента затухания в волноводе с потерями.
- Исследование частотной зависимости погонной мощности потерь в волноводе.
- Приобретение навыков экспериментального исследования потерь в СВЧ структурах.

4.2 Оборудование.

- Генератор сигналов СВЧ Г4-83.
- Измерительная линия волноводная Р1-28.
- Короткозамкнутый отрезок волновода сечением 23х10 мм.
- Микроамперметр.

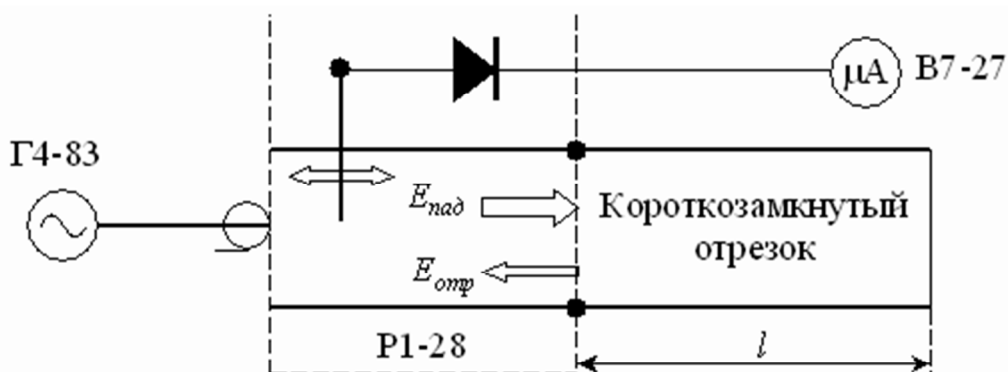


Схема лабораторной установки.

4.3 Экспериментальное определение коэффициента затухания.

На входе короткозамкнутого отрезка реального волновода существуют две волны: падающая $E_{пад}$ и отраженная $E_{отр}$. При отсутствии потерь амплитуды этих волн будут одинаковы, и при наложении они образуют стоячую волну. Однако наличие потерь приводит к затуханию волны, распространяющейся в отрезке волновода. Ее амплитуда будет уменьшаться по закону $e^{-\alpha z}$. Волна в отрезке проходит расстояние l до короткого замыкания и такое же расстояние

на обратном пути. Пренебрегая потерями при отражении, можно считать, что амплитуды волн на входе отрезка связаны выражением:

$$|E_{omp}| = |E_{nad}| e^{-\alpha 2l}.$$

Тогда модуль коэффициента отражения на входе:

$$|\Gamma| = \frac{|E_{omp}|}{|E_{nad}|} = e^{-2\alpha l}.$$

$|\Gamma|$ можно определить по измеренному значению коэффициента стоячей волны ρ (п. 3.2.4):

$$|\Gamma| = \frac{\rho - 1}{\rho + 1} = e^{-2\alpha l}$$

Откуда легко получить выражение для коэффициента затухания через измеренные величины:

$$\alpha = \frac{1}{2l} \ln \left(\frac{\rho - 1}{\rho + 1} \right)$$

4.4 Порядок выполнения работы.

- Схема виртуальной лабораторной установки представлена на рисунке. Произвести подготовку приборов к работе нажатием кнопок Сеть.
- Рассчитать граничные частоты одномодового диапазона для волновода сечением 23x10 мм.
- В пределах одномодового диапазона на 10 частотах с равным интервалом измерить КСВ на входе короткозамкнутого волноводного тракта с потерями (нагрузка - Тракт). Необходимо использовать метод измерения очень больших КСВ!
- Определить по соответствующим индикаторам длину короткозамкнутого волноводного тракта l и мощность на выходе генератора в mW.
- На каждой частоте по измеренным величинам рассчитать коэффициент затухания α и построить зависимость α от частоты.
- Для каждой из частот рассчитать погонную мощность потерь в волноводе используя полученные результаты.
- Построить зависимость погонной мощности потерь от частоты.

- Для каждой из экспериментальных частот рассчитать погонную мощность потерь и построить частотную зависимость на том же графике, что и экспериментальная. Размеры волновода 23x10 мм.

4.5 Содержание отчета.

- Название и цель работы.
- Расчет граничных частот одномодового диапазона и мощности генератора.
- Краткое описание и схему эксперимента.
- Таблица результатов эксперимента.
- Расчет КСВ по измеренным величинам с пояснениями, таблица результатов расчета.
- Расчет коэффициентов затухания в волноводе с пояснениями, таблица результатов расчета.
- График экспериментальной зависимости коэффициента затухания от частоты.
- Расчеты теоретической и экспериментальной погонной мощности потерь в волноводе с пояснениями, таблица результатов расчета.
- Графики теоретической и экспериментальной зависимостей погонной мощности потерь в волноводе от частоты.

4.6 Контрольные вопросы.

1. Потери в прямоугольном волноводе. Погонная мощность потерь и метод ее расчета. Виды потерь.
2. Потери в стенках волновода. Метод расчета погонной мощности потерь в стенках.
3. Вывод формулы для погонной мощности потерь в стенках волновода в одномодовом режиме.
4. Потери в диэлектрике. Метод расчета погонной мощности потерь в диэлектрике.
5. Закон изменения амплитуды волны в волноводе с потерями. Коэффициент затухания и его связь с погонной мощностью потерь.
6. Экспериментальный метод определения коэффициента затухания.

7. Обосновать экспериментальный метод определения коэффициента затухания.
8. Чем объяснить различия между теоретическими и экспериментальными значениями погонной мощности потерь?

5. Исследование вынужденных колебаний в объемном резонаторе

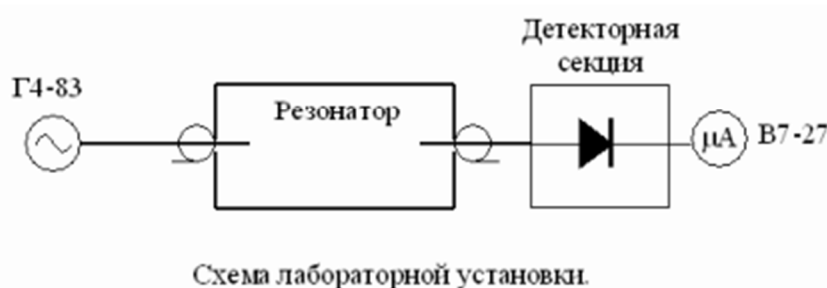
5.1 Цель работы.

- Определение нагруженной добротности объемного резонатора.
- Приобретение навыков экспериментального исследования объемных резонаторов СВЧ.

5.2 Оборудование.

- Генератор сигналов СВЧ Г4-83.
- Измерительная линия волноводная Р1-28.
- Объемный резонатор.
- Коаксиальная детекторная секция.
- Микроамперметр.

5.3 Экспериментальное определение нагруженной добротности.



Наиболее простой метод определения добротности резонатора – **метод передачи** основан на снятии вблизи резонанса частотной зависимости сигнала, наведенного во встроенном в резонатор зонде. Этот сигнал выпрямляется детекторной секцией и измеряется микроамперметром. Резонатор возбуждается сигналом другого зонда, соединенного с генератором СВЧ.

Из-за наличия устройств связи резонатора с внешними структурами его резонансная частота и добротность изменятся. Убывание электромагнитной энергии в резонаторе будет обусловлено его собственными потерями и потерями в связанных с ним устройствах. Этот процесс характеризуется нагруженной добротностью резонатора Q_H . Если известен коэффициент

связи резонатора в зондом η , то нагруженную добротность можно выразить через собственную добротность резонатора Q_0 :

$$Q_H = \frac{Q_0}{1 + \eta} \quad (9.1)$$

Перепишем это выражение в виде:

$$\frac{1}{Q_H} = \frac{1}{Q_0} + \frac{\eta}{Q_0} = \frac{1}{Q_0} + \frac{1}{Q_{Bн}},$$

где введено обозначение $Q_{Bн} = \eta / Q_0$ – внешняя добротность резонатора. Из этого равенстве можно заключить, что $Q_{Bн}$ описывает потери во внешних устройствах, связанных с резонатором, Q_0 – собственные потери резонатора.

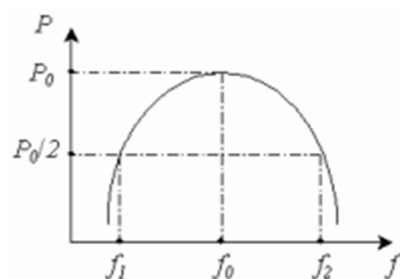


Рисунок 9.2 – Определение Q_H .

Метод передачи позволяет определить нагруженную добротность резонатора, однако при слабой связи $\eta \approx 0$ из (9.1) следует, что $Q_H \approx Q_0$. По снятой вблизи резонанса зависимости мощности от частоты (при квадратичном детекторе его сигнал пропорционален мощности в резонаторе) определяются частоты f_1, f_2 , соответствующие расстройкам при половинной мощности – рисунок 9.2. Нагруженная добротность рассчитывается по формуле:

$$Q_H = \frac{f_0}{f_2 - f_1} \quad (9.2)$$

5.4 Порядок выполнения работы.

Схема виртуальной лабораторной установки представлена на рисунке. Произвести подготовку приборов к работе включением кнопок Сеть.

- При низкой, средней и высокой добротностях резонатора последовательно произвести следующие измерения:

1. Изменяя частоту генератора, определить резонансную частоту f_0 по максимуму показаний микроамперметра.
2. Снять частотную зависимость мощности в генераторе вблизи резонансной частоты. При этом максимальная расстройка должна соответствовать уменьшению мощности в 10 раз!
- По полученным результатам построить графики зависимостей мощности в генераторе от частоты при разных добротностях.
- В соответствии с рисунком 9.2, определить частоты расстроек при половинной мощности и рассчитать нагруженные добротности по формуле (9.2).

5.5 Содержание отчета.

- Название и цель работы.
- Краткое описание и схему эксперимента.
- Таблица результатов эксперимента.
- Графики экспериментальной зависимостей мощности в генераторе от частоты с необходимыми построениями для расчетов нагруженной добротности.
- Расчеты нагруженных добротностей резонатора.

5.6 Контрольные вопросы.

1. Понятие объемного резонатора. Общие свойства резонаторов.
2. Отрезок линии передачи как объемный резонатор.
3. Вывод условия существования колебаний в объемном резонаторе.
4. Собственные колебания объемного резонатора и их связь с собственными волнами линии передачи. Типы колебаний. Основной тип колебаний.
5. Вывод формулы для собственных частот объемного резонатора. Спектр колебаний резонатора.
6. Потери в резонаторе. Виды потерь и добротность резонатора. Парциальные добротности.
7. Вывод закона затухания колебаний в резонаторе.
8. Метод расчета парциальной добротности, связанной с потерями в диэлектрике резонатора. Как она зависит от резонансной частоты?

9. Метод расчета парциальной добротности, связанной с потерями в стенках резонатора. Как она зависит от резонансной частоты?
10. Прямоугольный резонатор. Типы собственных колебаний, собственные частоты. Вырожденные колебания.
11. Классификация типов колебаний прямоугольного резонатора и ее особенности. Основной тип колебаний. Как определить его частоту по заданным размерам резонатора?
12. Нагруженная добротность резонатора и метод ее экспериментального определения.

6. Исследование скин-эффекта в металлической пластине

1 Цель работы.

- Изучение закономерностей распространения электромагнитных волн в проводящих средах.
- Исследование скин-эффекта в проводнике конечных размеров.

2 Оборудование.

- Работа выполняется с использованием имитационной модели металлической пластины, находящейся в переменном электромагнитном поле.
- IBM PC; Microsoft Windows 9x, Windows 2000, Windows XP и выше.

3 Порядок выполнения работы.

3.1 Для медной, стальной, латунной и оловянной пластин определить толщину $2d$, при которой в пластине наблюдается скин-эффект:

- установить измерительный зонд на расстоянии 0.7 мм от края пластины;
- с помощью манипулятора "мышь" подобрать толщину пластины $2d$ так, чтобы при дальнейшем её увеличении напряженность электрического поля в месте нахождения зонда не изменялась;

3.2 Для каждой пластины по результатам п. 3.1 установить соответствующую толщину $2d$ и снять распределение напряженности электрического поля, перемещая зонд в пределах от 0 до d .

3.3 По полученным результатам построить графики зависимостей напряженности электрического поля в пластинах от расстояния до края.

3.4 По графикам определить глубину проникновения поля (толщину скин-слоя) и рассчитать удельную проводимость материала для каждой пластины.

3.5 Для медной, стальной, латунной и оловянной пластин при толщине 10 мм снять распределение напряженности электрического поля, перемещая зонд в пределах от 0 до 5 мм.

3.6 По результатам п. 3.5 построить графики зависимостей напряженности электрического поля в пластинах от расстояния до края в одних

координатных осях. Сделать выводы о наличии скин-эффекта в каждой из пластин.

4 Содержание отчета.

- Название и цель работы.
- Краткое описание и схема эксперимента.
- Таблица результатов эксперимента.
- Графики экспериментальных зависимостей напряженности электрического поля в пластинах от расстояния до края с необходимыми построениями для определения толщины скин-слоя.
- Расчеты удельных проводимостей материала для каждой пластины.

5 Контрольные вопросы.

- 5.1 Поле внутри проводника конечных размеров как суперпозиция прошедших волн (на примере пластины конечной толщины).
- 5.2 Условия, при которых в проводнике конечных размеров наблюдается скин-эффект.
- 5.3 Что называют глубиной проникновения поля в проводник (толщиной скин-слоя).
- 5.4 Как определяется толщина скин-слоя.
- 5.5 Приведите обоснование методики определения толщины пластины, при которой наблюдается скин-эффект (п. 3.1).
- 5.6 Приближенные граничные условия Щукина-Леонтовича и границы их применимости.
- 5.7 Физическая сущность электромагнитного экранирования.
- 5.8 Какие параметры экрана определяют коэффициент экранирования?
- 5.9 Как оценить толщину экрана на заданной частоте?