

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Промышленная электроника»

Н. И. Вяхирев, В. Н. Гарбуз

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

**по одноименной дисциплине для студентов
специальности 1-36 04 02 «Промышленная электроника»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2011

УДК 621.37(075.8)
ББК 22.313я73
В99

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
факультета автоматизированных и информационных систем
ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 7 от 28.02.2011 г.)*

Рецензент: зав. каф. «Физика» ГГТУ им. П. О. Сухого д-р физ.-мат. наук, проф. *П. А. Хило*

Вяхирев, Н. И.

В99 Техническая электродинамика : лаборатор. практикум по одноим. дисциплине для студентов специальности 1-36 04 02 «Промышленная электроника» днев. и заоч. форм обучения / Н. И. Вяхирев, В. Н. Гарбуз. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2011. – 55 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-535-003-4.

Содержит теоретические сведения об условиях возбуждения и распространения электромагнитных волн в линиях передачи и в свободном пространстве. рассматриваются характеристики электромагнитных излучений, волноводной и двухпроводной линии передачи.

Для студентов специальности 1-36 04 02 «Промышленная электроника» дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.37(075.8)
ББК 22.313я73

ISBN 978-985-535-003-4

© Вяхирев Н. И., Гарбуз В. Н., 2011
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2011

Лабораторная работа № 1

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

Цель работы: исследование полей элементарного электрического вибратора и элементарной электрической рамки.

1.1. Краткие сведения из теории

Элементарным называется излучатель, размеры которого малы по сравнению с длиной волны создаваемого им поля, и ток в каждый момент времени имеет одно и то же значение вдоль всего излучателя. Это элементарный электрический вибратор (диполь), элементарная электрическая рамка, элементарный щелевой излучатель и некоторые другие. В данной лабораторной работе изучаются элементарный электрический вибратор и элементарная электрическая рамка.

1.1.1. Элементарный электрический вибратор

Это идеализированный излучатель в виде прямолинейного проводника малой длины l и малого диаметра d : $d \ll l \ll \lambda$ (λ – длина волны). По проводнику вдоль оси течет сторонний ток с амплитудой I и начальной фазой $\psi = 0$. В зависимости от времени ток меняется по гармоническому закону.

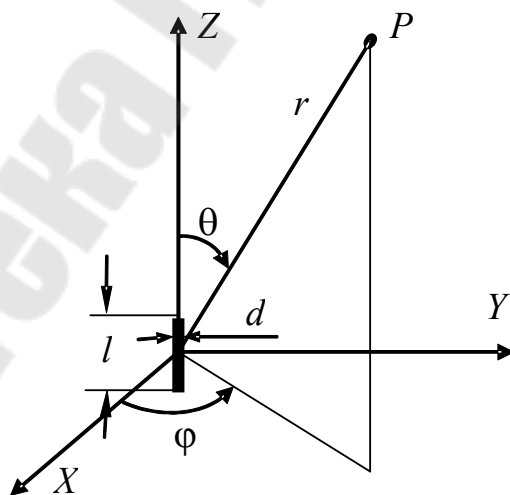


Рис. 1.1. Электрический диполь в сферической системе координат

Для представления электрических характеристик вибратора используется сферическая система координат r, θ, φ (рис. 1.1). Электромагнитное поле вибратора имеет следующие составляющие [2]:

$$\begin{aligned}
E_r &= \frac{IlW}{2\pi} \frac{e^{-jkr}}{r^2} \left(1 + \frac{1}{jkr} \right) \cos\theta; \\
E_\theta &= \frac{jkIlW}{4\pi} \frac{e^{-jkr}}{r} \left(1 + \frac{1}{jkr} - \frac{1}{k^2r^2} \right) \sin\theta; \\
H_\varphi &= \frac{Ilk^2}{4\pi} \left\{ j \frac{e^{-jkr}}{kr} + \frac{e^{-jkr}}{(kr)^2} \right\} \sin\theta.
\end{aligned} \tag{1.1}$$

Здесь обозначено: $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число, W – характеристическое сопротивление свободного пространства с диэлектрической проницаемостью ϵ , магнитной проницаемостью μ и удельной проводимостью среды σ . Другие составляющие поля вибратора равны нулю.

Эти выражения описывают комплексные амплитуды поля элементарного электрического вибратора, расположенного в однородной изотропной проводящей среде. Видно, что векторы поля \mathbf{E} и \mathbf{H} зависят от радиальной и угломестной координат точки наблюдения r , θ , от азимутальной координаты φ электромагнитное поле вибратора не зависит. Рассмотрим далее эту зависимость и выясним основные свойства поля.

Разделим пространство, в котором расположен вибратор, на три зоны:

- ближнюю, для которой $r \ll \lambda$ или $kr = 2\pi r/\lambda \ll 1$;
- дальнюю, для которой $r \gg \lambda$ или $kr \gg 1$;
- промежуточную, расположенную между ближней и дальней зонами.

Для ближней зоны $(1/kr)^3 \gg (1/kr)^2 \gg 1/kr$, что позволяет в выражениях (1.1) оставить слагаемые только с самой высокой степенью множителя $1/kr$:

$$\begin{aligned}
H_\varphi &\approx \frac{Il}{4\pi} \frac{e^{-jkr}}{r^2} \sin\theta; \\
E_r &\approx \frac{IlW}{2\pi} \frac{e^{-jkr}}{jkr^3} \cos\theta; \\
E_\theta &\approx \frac{IlW}{4\pi} \frac{e^{-jkr}}{jkr^3} \sin\theta.
\end{aligned} \tag{1.2}$$

Из (1.2) следует, что в ближней зоне векторы \mathbf{E} и \mathbf{H} взаимно перпендикулярны, сдвинуты по фазе на 90° и быстро убывают с ростом r (быстрее, чем $1/r$). Такое поле, как нетрудно показать, в среднем за период колебания мощности не переносит, т. к. для него:

$$\mathbf{P}_{\text{cp}} = \frac{1}{2} \operatorname{Re}[\mathbf{E}, \mathbf{H}^*] = 0,$$

и поэтому называется реактивным. В ближней зоне есть не только реактивное, но и активное поле, которое переносит мощность в дальнюю зону. Однако реактивное поле по амплитуде существенно превышает активное.

В дальней зоне $kr \gg 1$, поэтому $1/kr \gg 1/(kr)^2 \gg 1/(kr)^3$. Это позволяет упростить выражения для поля электрического вибратора (1.1), оставив в них слагаемые только с множителями $1/kr$. В результате получаем:

$$\left. \begin{aligned} H_\varphi &\approx \frac{jkIl}{4\pi r} e^{-jkr} \sin\theta; \\ E_\theta &\approx \frac{jkIlW}{4\pi r} e^{-jkr} \sin\theta. \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

Других составляющих поля вибратора в дальней зоне нет.

Из выражений (1.3) можно сделать следующие выводы:

1. Поле элементарного вибратора в дальней зоне представляет собой сферическую волну, о чем свидетельствует множитель e^{-jkr}/r . Фаза $\psi = kr$ постоянна на сфере $r = \text{const}$, которая является фронтом волны. Амплитуда векторов поля убывает по закону $1/r$ при удалении от вибратора.

2. Вектор \mathbf{E} лежит в меридианальных плоскостях, проходящих через ось диполя. Эти плоскости называются электрическими плоскостями (плоскостями \mathbf{E}). Перпендикулярные к оси диполя плоскости, в которых лежит вектор \mathbf{H} , называются магнитными плоскостями (плоскостями \mathbf{H}).

3. Векторы \mathbf{E} и \mathbf{H} синфазны. При этом среднее за период значение вектора Пойнтинга \mathbf{P}_{cp} отлично от нуля и равно

$$\mathbf{P}_{\text{cp}} = \frac{1}{2} \operatorname{Re}[\mathbf{E}, \mathbf{H}^*] = \left(\frac{Ilk}{4\pi r} \right)^2 \frac{W}{2} \sin^2 \theta \mathbf{r}_0. \quad (1.4)$$

То есть вектор Пойнтинга направлен перпендикулярно фронту волны.

4. Отношение амплитуд векторов \mathbf{E} и \mathbf{H} равно характеристическому сопротивлению среды. Для вакуума $\epsilon = \epsilon_0$, $\mu = \mu_0$ и $W = 120\pi = 377 \text{ Ом}$.

Зависимость векторов \mathbf{E} и \mathbf{H} от угловых координат точки наблюдения одинакова. Поэтому достаточно рассмотреть только зависимость вектора \mathbf{E} .

В общем случае для любой антенны зависимость $E(\theta, \varphi)$ при $r = \text{const}$ (или $H(\theta, \varphi)$ при $r = \text{const}$) называется диаграммой направленности (ДН) и обозначается $f(\theta, \varphi)$. Для удобства ДН нормируют к максимальному значению и обозначают такую ДН $F(\theta, \varphi)$:

$$F(\theta, \varphi) = \frac{E(\theta, \varphi)}{E_{\max}} \Big|_{r=\text{const}} = \frac{f(\theta, \varphi)}{E_{\max}}$$

Для элементарного электрического вибратора

$$f(\theta, \varphi) = E_{\max} \sin \theta, \quad F(\theta, \varphi) = \sin \theta,$$

где $E_{\max} = \frac{I l k}{4\pi r} W$. При $\theta = 0, \pi$, как видно, $f(\theta, \varphi) = 0$. При $\theta = \pi/2$ поле

максимально и равно E_{\max} , ДН имеет максимальное значение.

Пространственная ДН вибратора представляет собой тороид. Сечения пространственной ДН меридианальными и экваториальными плоскостями есть ДН в E и H плоскостях.

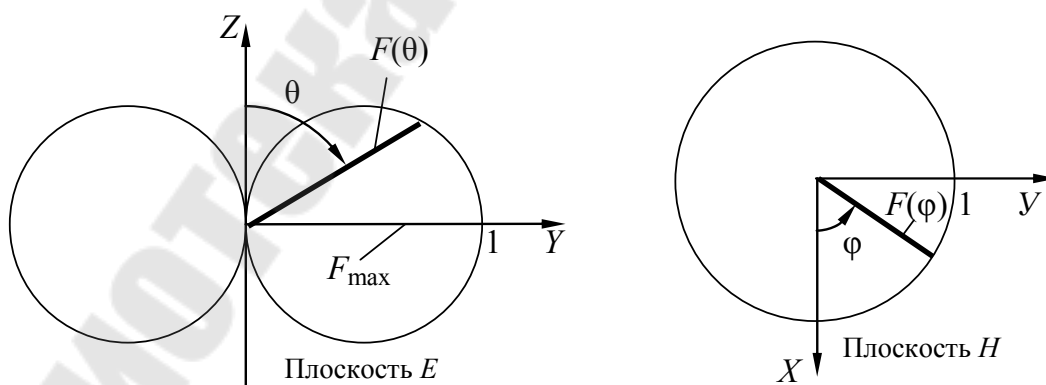


Рис. 1.2. Диаграмма направленности элементарного электрического вибратора

Диаграмму направленности изображают в виде кривой в полярной или прямоугольной системах координат (рис. 1.2).

1.1.2. Элементарная электрическая рамка

Элементарная рамка представляет собой кольцевой электрический ток, не меняющийся вдоль кольца. Расположим рамку в плоскости XOY (в плоскости $\theta = 90^\circ$ в сферической системе координат), а центр ее совместим с началом координат (рис. 1.3). Радиус рамки равен $a \ll \lambda$. Тогда в сферической системе координат рамка будет иметь только составляющую тока по координате φ .

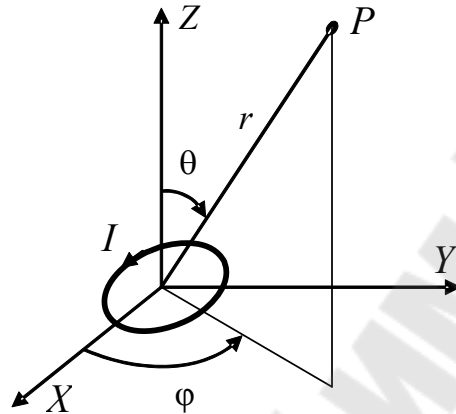


Рис. 1.3. Элементарная электрическая рамка

Электромагнитное поле рамки в дальней зоне имеет составляющие [3]:

$$\left. \begin{aligned} E_\varphi &= IW \frac{a^2 \pi^2}{\lambda^2} \sin \theta \frac{e^{-jkr}}{r}; \\ H_\theta &= -I \frac{a^2 \pi^2}{\lambda^2} \sin \theta \frac{e^{-jkr}}{r}. \end{aligned} \right\} \quad (1.5)$$

Рамка создает максимальное излучение в своей плоскости и не излучает электромагнитную энергию вдоль своей оси ($\theta = 0$). Вектор напряженности магнитного поля \mathbf{H} лежит в меридиональных плоскостях, проходящих через ось рамки. Это электрические плоскости (плоскости E). Вектор напряженности электрического поля \mathbf{E} лежит в перпендикулярных к оси рамки плоскостях. Это магнитные плоскости (плоскости H).

Диаграмма направленности элементарной электрической рамки аналогична диаграмме направленности элементарного электрического вибратора

$$F(\theta, \varphi) = \sin \theta. \quad (1.6)$$

На практике находит применение электрическая рамка, выполненная из нескольких последовательно включенных витков. Если число витков равно n и ток одного витка равен nI , то суммарный излучающий ток рамки будет nI . Электромагнитное поле такой многовитковой рамки будет определяться с помощью формул (1.5), в которых ток I заменен на nI . Нормированная диаграмма направленности многовитковой электрической рамки по-прежнему будет определяться с помощью формулы (1.6).

1.2. Описание экспериментальной установки

В работе экспериментально исследуется многовитковая электрическая рамка. Измеряется диаграмма направленности и продольное распределение поля рамки.

Измерительный стенд состоит из генератора сигналов 1, вспомогательной антенны 4, измерительного усилителя 6, испытываемой антенны 5, соединительных кабелей (2) и опорно-поворотных устройств 7 и 8 (рис. 1.4).

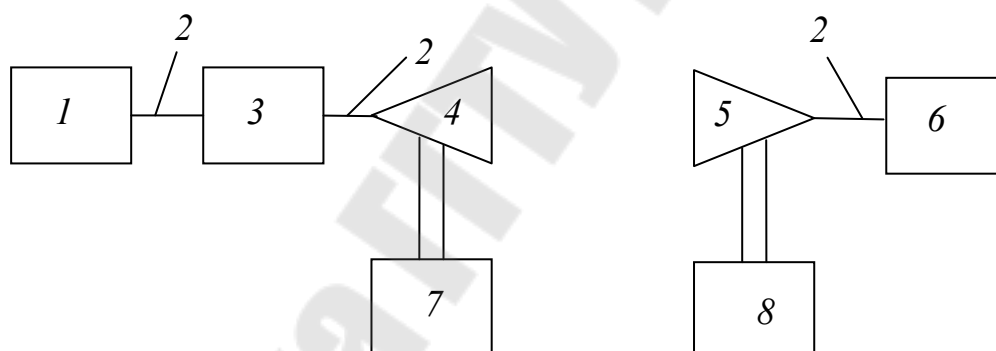


Рис. 1.4. Блок-схема измерения ДН антенны

Стенд работает в низкочастотном диапазоне волн. Передающей является многовитковая рамочная антенна, устанавливаемая на опорно-поворотном устройстве 7. Рамка может устанавливаться горизонтально или вертикально. Аналогичная приемная рамка – исследуемая антенна (также многовитковая) устанавливается на опорно-поворотном устройстве 9. В работе используются два одинаковых макета приемной рамки: один для измерения диаграммы направленности в плоскости H , другой – в плоскости E .

В качестве генератора используется генератор низкой частоты ГЗ-112, работающий в режиме формирования синусоидального сигнала.

В генераторе предусмотрена плавная и ступенчатая перестройка частоты и уровня выходной мощности, имеется встроенный частотомер.

В качестве измерителя используется селективный вольтметр В6-9, работающий в режиме узкой или широкой полосы пропускания. Вольтметр измеряет переменные напряжения величиной от 1 мкВ и выше и частотой от 20 Гц до 200 кГц. В режиме узкой полосы пропускания усилитель имеет плавную настройку на частоту входного сигнала. В усилителе предусмотрена плавная и ступенчатая перестройка чувствительности.

Отсчет радиального положения и угла поворота исследуемой антенны выполняется по шкалам опорно-поворотного устройства 8.

1.3. Задание на предварительный расчет

1. Изучить литературу (п. 1.7) и ответить на контрольные вопросы (п. 1.6).

2. Записать формулы для расчета диаграммы направленности элементарного электрического вибратора и элементарной рамки в свободном пространстве.

3. Рассчитать нормированные диаграммы направленности элементарных излучателей в E и H плоскостях.

4. Построить полученные диаграммы направленности в декартовой системе координат (по одной на каждом рисунке) при изменении угла от 0 до 180° с шагом 5° .

5. Построить графики $1/r$, $1/r^2$ и $1/r^3$ для r , меняющегося в пределах от 30 до 120 см. Значения при $r = 120$ см принять за единицу.

1.4. Порядок выполнения работы

1. Собрать стенд для измерения характеристик элементарной рамки. Включить измерительные приборы и дать им прогреться. Установить частоту сигнала на выходе генератора, заданную преподавателем.

2. Установить передающую и приемную рамки вертикально так, чтобы их оси совпадали. Установить приемную рамку на расстоянии 120 см от передающей. Подобрать чувствительность вольтметра с тем, чтобы его показания были удобны для считывания.

3. Измерить диаграмму направленности элементарного рамочного излучателя в плоскости H , поворачивая приемную рамку в горизонтальной плоскости от 0 до 180° с шагом 5° .

4. Установить передающую и приемную рамки так, чтобы их плоскости были горизонтальны. Поворачивая приемную рамку в го-

ризонтальной плоскости от 0 до 180° с шагом 5° , измерить диаграмму направленности элементарного рамочного излучателя в плоскости E .

5. Измерить продольное распределение поля элементарной рамки, изменяя положение приемной рамки в пределах от 30 до 120 см относительно передающей рамки.

6. Построить экспериментальные диаграммы попарно с расчетными для аналогичных условий.

1.5. Содержание отчета

Цель работы, описание стенда измерения, таблицы с измеренными данными, диаграммы направленности вибраторного (расчетные) и рамочного излучателей (расчетные и экспериментальные), продольные распределения поля, выводы.

1.6. Контрольные вопросы

1. Что такое элементарный электрический излучатель?
2. Что такое элементарная рамка?
3. Что такое вектор Пойнтинга?
4. Как определяется направление вектора Пойнтинга?
5. Дать понятие ближней и дальней зон элементарного излучателя.
6. Каковы особенности полей в ближней и дальней зонах?
7. Что такое диаграмма направленности?
8. Каковы диаграммы направленности элементарных излучателей в E и H плоскостях?
9. Как зависит напряженность электрического поля элементарного вибратора от расстояния точки наблюдения до него?
10. Как зависит напряженность электромагнитного поля рамочной антенны от числа витков рамки?
11. Как зависит диаграмма направленности рамочной антенны от числа витков рамки?

1.7. Литература

1. Конспект лекций по курсу «Техническая электродинамика».
2. Марков, Г. Т. Электродинамика и распространение радиоволн / Г. Т. Марков, Б. М. Петров, Г. П. Грудинская. – М. : Совет. радио, 1979.
3. Марков, Г. Т. Антенны / Г. Т. Марков, Д. М. Сазонов. – М. : Энергия, 1975.
4. Никольский, В. В. Электродинамика и распространение радиоволн / В. В. Никольский, Т. И. Никольская. – М. : Наука, 1989.

Лабораторная работа № 2

МАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ В ПРЯМОУГОЛЬНОМ ВОЛНОВОДЕ

Цель работы: исследование волны основного типа H_{10} в прямоугольном волноводе, изучение приемов измерения основных характеристик волны.

2.1. Краткие сведения из теории

В прямоугольном волноводе могут существовать электромагнитные волны двух типов: ТМ(E) – поперечно-магнитные (волны электрического типа) и ТЕ(H) – поперечно-электрические (волны магнитного типа). Первый из указанных типов волн характеризуется отсутствием продольной составляющей напряженности магнитного поля, второй – отсутствием продольной составляющей напряженности электрического поля.

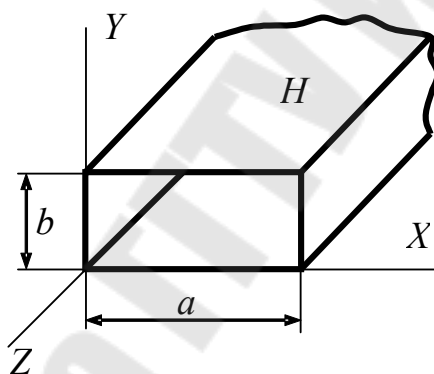


Рис. 2.1. Прямоугольный волновод

Структура и свойства E - и H -волн полностью определяется продольной компонентой соответственно напряженности электрического или магнитного поля. В случае регулярных прямоугольных волноводов (рис. 2.1) задача расчета магнитных волн сводится к решению волнового уравнения [2]:

$$\frac{\partial^2 H_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H_z}{\partial y^2} + g^2 H_z = 0, \quad (2.1)$$

где $g^2 = k^2 - \beta^2$, g – поперечное волновое число; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – постоянная распространения в среде, заполняющей волновод; λ – длина волны в этой среде; β – коэффициент распространения волны в волноводе:

$$\beta = k \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{\text{кр}}} \right)^2}, \quad (2.2)$$

где $\lambda_{\text{кр}}$ – критическая длина волны. Длина волны в волноводе равна:

$$\lambda_{\text{в}} = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{\text{кр}}} \right)^2}}. \quad (2.3)$$

Решение уравнения (2.1) для волновода без потерь с граничным условием $E_{\text{tg}} = 0$ на идеально проводящих стенках дает следующие составляющие поля в прямоугольном волноводе (рис. 2.1):

$$\begin{aligned} E_z &= 0; & H_z &= A \cos \frac{n\pi}{a} x \cos \frac{m\pi}{b} y e^{-j\beta z}; \\ E_x &= \frac{-j\omega\mu}{g^2} \frac{\partial H_z(x, y)}{\partial y} e^{-j\beta z}; & H_x &= \frac{-j\beta}{g^2} \frac{\partial H_z(x, y)}{\partial x} e^{-j\beta z}; \\ E_y &= \frac{j\omega\mu}{g^2} \frac{\partial H_z(x, y)}{\partial x} e^{-j\beta z}; & H_y &= \frac{-j\beta}{g^2} \frac{\partial H_z(x, y)}{\partial y} e^{-j\beta z}, \end{aligned} \quad (2.4)$$

где ω – круговая частота; μ – магнитная проницаемость среды, заполняющей волновод; A – константа, определяемая амплитудой возбуждающего тока и поперечное волновое число принимает значения:

$$g = \sqrt{\left(\frac{n\pi}{a} \right)^2 + \left(\frac{m\pi}{b} \right)^2},$$

где n и m – целые числа. Знак « \rightarrow » в показателе степени экспонент показывает, что волна распространяется в положительном направлении оси Z . Каждой паре чисел n и m соответствует определенный тип волны H_{nm} (магнитная волна, или H – волна типа nm). Каждому типу волны соответствует своя критическая длина волны. В соответствии с (2.2), если выполняется условие $\lambda < \lambda_{\text{кр}}$, волна является распространяющейся. В этом случае длина волны в волноводе больше, чем в

среде, что следует из (2.3). Если $\lambda > \lambda_{кр}$, волна затухает в продольном направлении.

Поля, возбуждаемые сторонними источниками в волноводе, в общем случае представляются в виде бесконечной суммы волн различных типов. Только конечное число типов волн с наименьшими индексами n и m являются распространяющимися. Бесконечное число типов волн с наибольшими индексами n и m являются затухающими. Поля этих типов существуют вблизи возбуждающего источника и на некотором достаточно большом расстоянии от источника затухают настолько, что ими можно пренебречь. Тогда можно считать, что поле в этих удаленных точках наблюдения определяется только распространяющимися типами волн.

В большинстве случаев используется один низший тип волны H_{10} ($n = 1, m = 0$). Эта волна имеет наибольшую критическую длину:

$$\lambda_{кр} = \frac{2\pi}{g} = 2a.$$

Волна H_{10} имеет составляющие напряженности электрического и магнитного поля (положим, $A = 1$): $g_{10} = \frac{\pi}{a}$, $\beta = \sqrt{k^2 - g_{10}^2}$,

$$\begin{aligned} E_{z10} &= 0; & H_{z10} &= \cos \frac{\pi}{a} x e^{-j\beta z}; \\ E_{y10} &= \frac{-j\omega\mu a}{\pi} \sin \frac{\pi}{a} x e^{-j\beta z}; & H_{y10} &= 0; \\ E_{x10} &= 0; & H_{x10} &= \frac{j\beta a}{\pi} \sin \frac{\pi}{a} x e^{-j\beta z}. \end{aligned} \quad (2.5)$$

В структуре поля волны H_{10} отсутствуют компоненты E_x , E_z и H_x , а присутствуют E_y , H_x и H_z . Причем, как видно из формул, поле не зависит от координаты Y , на вертикальных стенках волновода составляющие E_y и H_x равны нулю, а в центре – максимальны. Силовые линии магнитного поля лежат в плоскости XOZ и замкнуты. Направление силовых линий магнитного поля соответствует передаче мощности в направлении оси Z .

Другие типы волн в прямоугольном волноводе называются высшими, они используются реже основной волны. Высшие типы волн имеют меньшую критическую длину волны (рис. 2.3). От них

всегда пытаются избавиться для того, чтобы в волноводе существовал одномодовый режим. Для этого длина волны должна быть в диапазоне от $\lambda_{\text{кр}20}$ до $\lambda_{\text{кр}10}$. Нетрудно посчитать, что отношение этих величин равно

$$\frac{\lambda_{\text{кр}10}}{\lambda_{\text{кр}20}} - \frac{2a}{a} = 2,$$

т. е. теоретически одномодовый режим существует в двухкратном диапазоне частот. Практически этот диапазон меньше, что связано с возможным преобразованием волн на неоднородностях волновода, а также большими потерями вблизи критической длины волны.

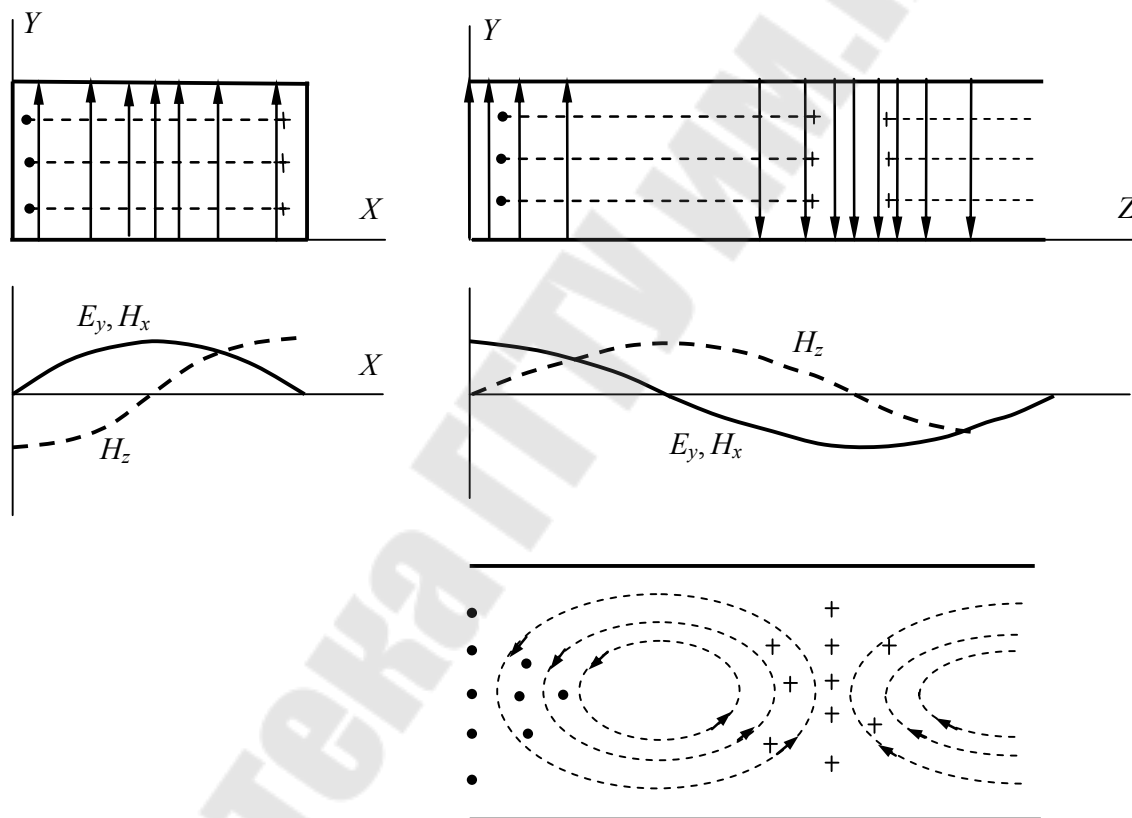


Рис. 2.2. Волна H_{10} в прямоугольном волноводе

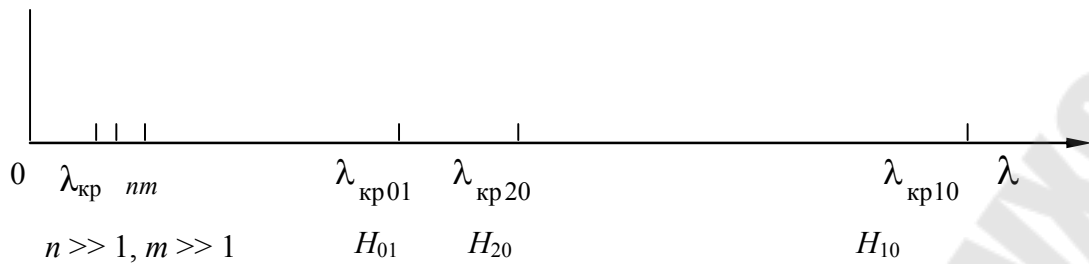


Рис. 2.3. Критические длины волн в прямоугольном волноводе

2.2. Описание лабораторной установки

Установка позволяет исследовать распределение электромагнитного поля в прямоугольном волноводе. Блок-схема экспериментальной установки приведена на рис. 2.4. Сигнал от высокочастотного генератора ГС через коаксиальный кабель поступает на аттенюатор, с помощью которого ослабляется влияние последующей части стенда на генератор. Далее высокочастотный сигнал поступает на волноводную секцию с несколькими рядами контрольных отверстий. На выход волноводной секции могут подключаться различные нагрузки: короткозамкнутая, согласованная и переменная реактивная нагрузка.

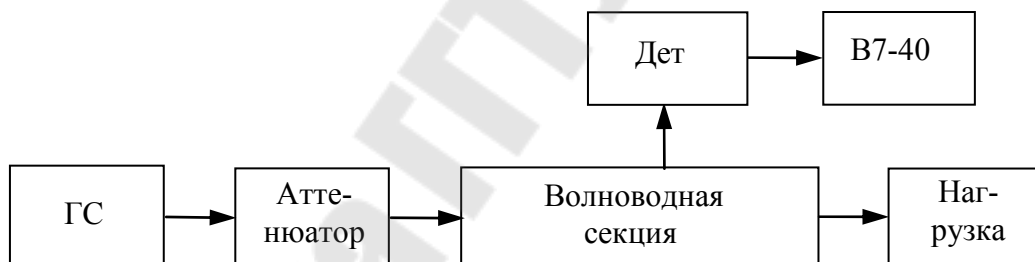


Рис. 2.4. Структурная схема измерительной установки

Волноводная секция имеет один продольный ряд и три поперечных ряда контрольных отверстий. Продольный ряд служит для измерения продольного распределения поля в волноводе, поперечные ряды – распределения поля перпендикулярно широкой стенке волновода. В контрольные отверстия вставляется зонд, на котором наводится ЭДС, функционально связанная с напряженностью электрического поля. Далее сигнал детектируется, усиливается и измеряется вольтметром постоянного или переменного тока.

2.3. Задание на подготовку к лабораторной работе

Для подготовки к лабораторной работе изучить рекомендуемую литературу (п. 2.7) и ответить на контрольные вопросы (п. 2.6).

Изучить инструкции по эксплуатации измерительных приборов лабораторного стенда.

2.4. Порядок выполнения работы

1. Собрать лабораторную установку согласно структурной схеме. Включить измерительные приборы, дать им прогреться. Далее использовать: режим работы генератора – непрерывная генерация, вольтметра – измерение постоянного напряжения.

2. Установить на генераторе заданную преподавателем частоту сигнала. По размерам поперечного сечения волновода рассчитать длину волны в волноводе λ_v .

3. Снять распределение напряженности электрического поля по длине волновода в режиме короткого замыкания. Убедиться, что в короткозамкнутом волноводе устанавливается стоячая волна. По измеренному распределению поля определить длину волны в волноводе.

4. Исследовать продольное распределение поля в волноводе с согласованной нагрузкой.

5. Переставляя зонд в контрольные отверстия поперечных рядов для нагрузок из пп. 3 и 4, измерить поперечные распределения поля в волноводе.

6. Построить полученные зависимости. Градуировочную характеристику детектора считать квадратичной.

7. Подключить секцию волновода с переменной реактивной нагрузкой.

8. Снять продольные распределения поля при двух различных положениях короткозамыкающего поршня. Первое положение поршня соответствует нулевой отметке шкалы, второе – четверти длины волны в волноводе. Убедиться, что узлы и пучности напряженности поля смещаются при перемещении сечения короткого замыкания.

2.5. Содержание отчета

Цель работы, описание стенда измерения, таблицы с измеренными данными, продольные и поперечные распределения поля в волноводе с различными нагрузками, выводы.

2.6. Контрольные вопросы

1. Приведите волновое уравнение для электромагнитного поля в прямоугольном волноводе и его решение.
2. Каковы особенности основного типа волны в прямоугольном волноводе?
3. Каковы фазовая и групповая скорости волны H_{10} ? Как они связаны со скоростью распространения волны в среде, заполняющей волновод?
4. Как измерить длину волны в волноводе?
5. Чем отличаются структуры поля волны H_{10} в режимах короткого замыкания и бегущей волны, как определить направление распространения волны?
6. Каковы должны быть зонды для измерения распределения поля в волноводе через отверстия в широкой и узкой стенках?
7. Чем обеспечивается квадратичная градуировочная характеристика детектора?
8. Как связаны режимы работы генератора и вольтметра измерительной установки?

2.7. Литература

1. Конспект лекций по курсу «Основы технической электродинамики».
2. Марков, Г. Т. Электродинамика и распространение радиоволн / Г. Т. Марков, Б. М. Петров, Г. П. Грудинская. – М. : Совет. радио, 1979.
3. Фальковский, О. И. Техническая электродинамика / О. И. Фальковский. – М. : Связь, 1978.
4. Сазонов, Д. М. Устройства СВЧ / Д. М. Сазонов, А. Н. Гридин, Б. А. Мишустин. – М. : Высш. шк., 1981.

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯ ИЗЛУЧАТЕЛЯ, ПОДНЯТОГО НАД ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Цель работы: изучить особенности распространения радиоволн над земной поверхностью, характерные для метрового и сантиметрового диапазонов.

3.1. Краткие сведения из теории

При расчете радиолинии небольшой протяженности можно пренебречь сферичностью Земли и считать Землю однородной плоской поверхностью. Модель плоской земли справедлива, если протяженность радиолинии r много меньше, чем расстояние прямой видимости r_0 ($r < r_0$).

На рис. 3.1 изображена схема линии связи, когда передающая и приемная антенны подняты над плоской поверхностью на высоты h_1 и h_2 . На практике обычно расстояние между антеннами намного превышает h_1 и h_2 , поэтому для расчета радиолинии достаточно вычислить поле в дальней зоне передающей антенны. При этом направление в точку приема для первичной волны и волны, отраженной от плоской поверхности, можно считать параллельными (рис. 3.2).

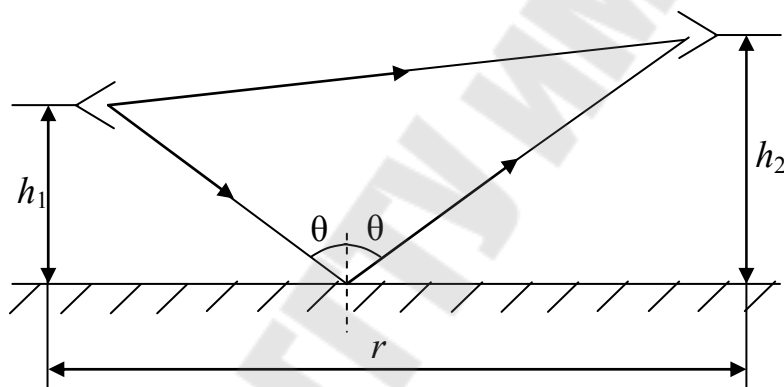


Рис. 3.1. Схема линии связи

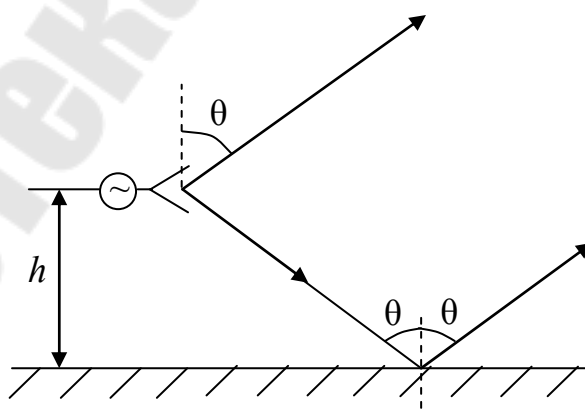


Рис. 3.2. К расчету ДН излучателя, расположенного над плоской поверхностью

Складывая поля указанных волн, получим для диаграммы направленности излучателя, расположенного над плоской поверхностью, интерференционную формулу [2]:

$$F(\theta) = |F_0(\theta)| \cdot \left(1 + |R|^2 + 2|R| \cos(2kh \cos \theta + \varphi)\right)^{\frac{1}{2}}, \quad (3.1)$$

где $F_0(\theta)$ – нормированная диаграмма направленности излучателя в свободном пространстве; θ – угол наблюдения, отсчитываемый от вертикали; h – высота расположения излучателя; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число; λ – длина волны; $R = |R|e^{-j\varphi}$ – коэффициент отражения от плоской поверхности, который для горизонтальной поляризации определяется формулой

$$R_{\Gamma} = \frac{\cos \theta - \sqrt{\tilde{\varepsilon} - \sin^2 \theta}}{\cos \theta + \sqrt{\tilde{\varepsilon} - \sin^2 \theta}}, \quad (3.2)$$

а для вертикальной поляризации – формулой

$$R_{\text{В}} = \frac{\tilde{\varepsilon} \cos \theta - \sqrt{\tilde{\varepsilon} - \sin^2 \theta}}{\tilde{\varepsilon} \cos \theta + \sqrt{\tilde{\varepsilon} - \sin^2 \theta}}, \quad (3.3)$$

где $\tilde{\varepsilon} = \varepsilon - j60\lambda\sigma$ – комплексная диэлектрическая проницаемость поверхности (ε – диэлектрическая проницаемость и σ – удельная проводимость почвы).

Для суши и пресной воды в диапазоне метровых и более коротких волн токи смещения преобладают над токами проводимости ($60\lambda\sigma \ll \varepsilon$), что позволяет считать $\tilde{\varepsilon}$ действительной величиной. Для дециметровых и более длинных волн влажную почву и морскую воду можно считать идеальным проводником ($60\lambda\sigma \gg \varepsilon$).

Для идеально проводящей плоскости $R_{\text{В}} = 1$, $R_{\Gamma} = -1$, тогда интерференционная формула (3.1) упрощается и принимает вид:

– для горизонтальной поляризации

$$F_{\Gamma}(\theta) = 2F_{0\Gamma} |\sin(kh \cos \theta)|; \quad (3.4)$$

– для вертикальной поляризации

$$F_{\text{В}}(\theta) = 2F_{0\text{В}} |\cos(kh \cos \theta)|, \quad (3.5)$$

где $F_{0Г}$ и $F_{0В}$ – диаграммы направленности антенны в свободном пространстве, соответственно, для горизонтальной и вертикальной поляризации.

Для всех указанных случаев поле в точке приема, удаленной на расстояние r от излучателя, выражается через диаграммы направленности излучателя следующим образом:

$$|E(\theta)| = \frac{\sqrt{60PD}}{r} \cdot |F(\theta)|, \quad (3.6)$$

где P – полная излучаемая мощность; D – КНД излучателя в свободном пространстве в направлении максимума излучения.

В важном для практики случае пологих лучей ($\theta \rightarrow 90^\circ$, $R_B = R_T \cong -1$) применима интерференционная формула Введенского:

$$|E| = \frac{\sqrt{60PD}}{r^2} \cdot \frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda}, \quad (3.7)$$

где h_1, h_2 – высоты расположения антенн.

3.2. Описание экспериментальной установки

Лабораторная установка (рис. 3.3) состоит из СВЧ генератора 1, модели земной поверхности 4, измерительного приемника 6, приемной 2 и передающей 5 антенн, поворотного устройства 3.

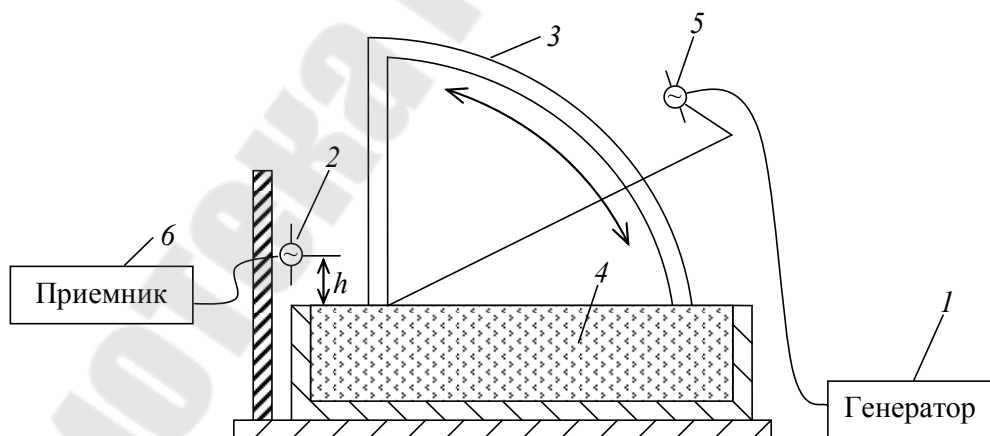


Рис. 3.3. Блок-схема лабораторной установки

Передающая антенна перемещается по дуге в пределах от 5° до 85° с шагом 5° (отсчет ведется от вертикали), приемная антенна может устанавливаться на различной высоте над поверхностью. Антенны могут быть ориентированы для получения волны с горизонталь-

ной и вертикальной поляризацией. Каждая антенна представляет собой симметричный вибратор с плоским круглым рефлектором. Рабочая длина волны – около 15 см (частота порядка 1,7–2,1 ГГц).

Модель земной трассы представляет собой ящик длиной 100 см, заполненный песком. Для получения идеально проводящей поверхности на песок накладывается металлический лист.

Диаграммы направленности антенны при горизонтальной и вертикальной поляризациях приведены на рис. 3.4. Отсчет угла ведется от вертикали. Изменение поляризации волны осуществляется поворотом антенн (передающей и приемной одновременно) на 90° . Исследуемая антенна 2 (рис. 3.3) работает в приемном режиме, вспомогательная – в передающем. Высота приемной антенны изменяется ее перемещением на вертикальной стойке в пределах от 4 до 17 см. Высоту приемной антенны следует устанавливать по положению центра вибратора.

Излучение создается передающей антенной 5, перемещаемой по окружности. Углы отсчитываются по шкале на поворотном устройстве 3. Генератор СВЧ может работать в режиме непрерывной генерации или внутренней модуляции.

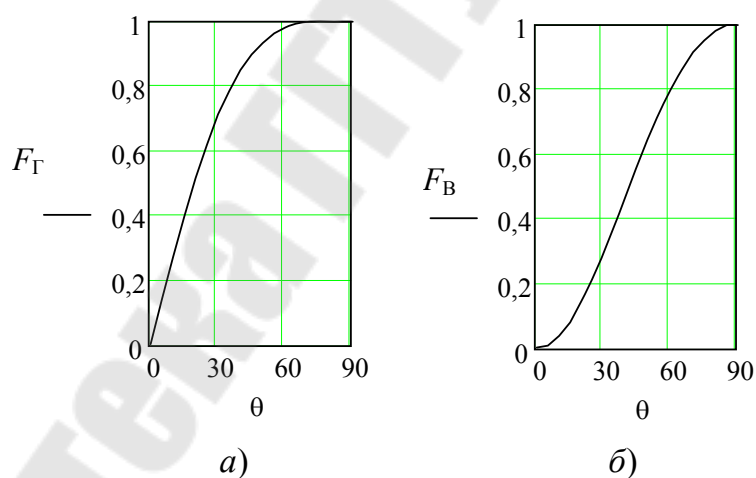


Рис. 3.4. Диаграммы направленности излучателя в свободном пространстве (отсчет ведется от вертикали):

a – горизонтальная поляризация; *б* – вертикальная поляризация

Установка позволяет измерять диаграмму направленности антенны для двух вариантов земной поверхности:

а) сырая почва или морская вода, имитируемые сплошным металлическим листом;

б) сухая почва, имитируемая слоем песка.

3.3. Задание на предварительный расчет

1. Изучить рекомендованную литературу (п. 3.7) и ответить на контрольные вопросы (п. 3.6).
2. Записать формулы для диаграммы направленности излучателя над идеально проводящей плоскостью при вертикальной и горизонтальной поляризациях.
3. Записать аналогичные формулы для излучателя, расположенного над плоской землей с диэлектрической проницаемостью ϵ и проводимостью σ .
4. Рассчитать нормированные диаграммы направленности излучателя, поднятого над металлом и плоской землей, для обеих поляризаций поля. Частота, высота излучателя над плоскостью и параметры ϵ и σ указываются преподавателем. Нормировку проводить по величине поля в первом (ближайшем к горизонтальной плоскости) максимуме. Высота излучателя над землей отсчитывается по центру вибратора.
5. Построить полученные диаграммы направленности в декартовой системе координат (по одной на каждом рисунке).

3.4. Экспериментальное задание

1. Включить усилитель и генератор, после прогрева откалибровать усилитель. Установить необходимую частоту и режим работы генератора.
2. Установить высоту приемной антенны над плоскостью такую же, которая была задана в расчетном задании. Передающая и приемная антенны должны быть согласованы по поляризации.
3. Снять диаграммы направленности антенны при наличии на поверхности металлического листа (влажная почва) и при его отсутствии (сухая почва). В обоих случаях измерения проделать для вертикальной и горизонтальной поляризаций поля. Характеристику детектора считать квадратичной.
4. Построить результаты на тех же графиках, где и построены расчетные диаграммы направленности.
5. Объяснить причины расхождения результатов измерений с теорией.

3.5. Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Блок-схему установки.

2. Расчетные формулы с необходимыми пояснениями.
3. Графики с изображением рассчитанных и измеренных ДН.
4. Выводы по работе. В выводах необходимо указать, как влияет земля на ДН антенны, объяснить наличие максимумов и минимумов в ДН, указать причины расхождения результатов эксперимента с теорией.

3.6. Контрольные вопросы и задания

1. Отражение плоских волн от земной поверхности. Свойства коэффициентов отражения при различных параметрах почвы и различных частотах.
2. Как на основании точных граничных условий проводится вывод формул для R_V и R_H ?
3. Поле излучателей, поднятых над плоской земной поверхностью.
4. Как влияют свойства земли на диаграмму направленности электрических вибраторов?
5. Нарисовать диаграммы направленности над песком и над металлом при $h = 3\lambda, 4\lambda, 5\lambda$ для горизонтального и вертикального вибраторов.
6. Укажите условия применимости интерференционной формулы (3.1).
7. В каких случаях можно пользоваться упрощенной интерференционной формулой Введенского?
8. Метод зеркальных изображений для вибраторов над идеально проводящей поверхностью.
9. В каких режимах могут работать генератор и индикатор лабораторной установки?
10. Как в лабораторной установке устанавливается необходимая поляризация поля?

3.7. Литература

1. Конспект лекций по курсу «Основы технической электродинамики».
2. Грудинская, Г. П. Распространение радиоволн / Г. П. Грудинская. – М. : Высш. шк., 1975.
3. Марков, Г. Т. Электродинамика и распространение радиоволн / Г. Т. Марков, Б. М. Петров, Г. П. Грудинская. – М. : Совет. радио, 1979.

Лабораторная работа № 4

СОГЛАСОВАНИЕ АКТИВНЫХ НАГРУЗОК С ПОМОЩЬЮ КОРОТКОЗАМКНУТЫХ ШЛЕЙФОВ

Цель работы: изучить методику и технику согласования нагрузок в линии передачи, экспериментально исследовать возможности согласования с помощью короткозамкнутого параллельного шлейфа.

4.1. Краткие сведения из теории

Согласование – это процесс, назначением которого является обеспечение в линии передачи режима бегущей волны ($K_{БВ} = 1$). Если нагрузка линии отличается от ее волнового сопротивления, то $K_{БВ}$ в линии отличается от единицы. Следовательно, для обеспечения согласования сопротивление нагрузки необходимо преобразовать в сопротивление, равное волновому.

Для этого между нагрузкой и линией передачи включается согласующий четырехполюсник (рис. 4.1). Четырехполюсник преобразовывает комплексное сопротивление нагрузки в такое, что оно будет согласовано с линией передачи. Чтобы в согласующем четырехполюснике отсутствовали потери мощности, он, как правило, выполняется реактивным.

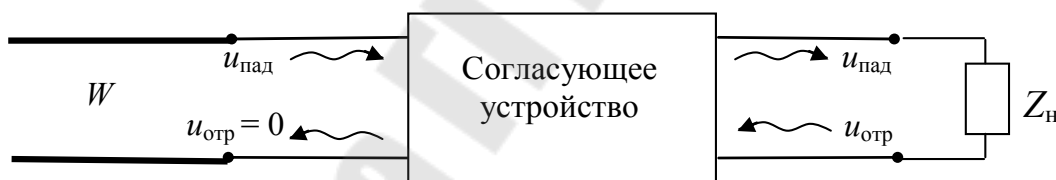


Рис. 4.1. Согласующий четырехполюсник

Различают узкополосное и широкополосное согласование. В узкополосном согласовании обеспечивается режим бегущей волны на одной частоте. Широкополосное согласование в заданной полосе частот обеспечивает уровень $K_{БВ}$ не меньше некоторого заданного значения. Для согласования на одной частоте можно набрать большое количество схем. Но для широкополосного согласования очень часто не существует и одной схемы. В этой работе изучаются только схемы узкополосного согласования. На практике применяются согласующие устройства в виде отрезка линии с измененным волновым сопротивлением, в виде одной или нескольких параллельных или последовательных реактивностей.

Способ согласования с помощью параллельной согласующей реактивности (шлейфа) получил наиболее широкое распространение. В качестве реактивности чаще всего бывает короткозамкнутый отрезок линии передачи (рис. 4.2).

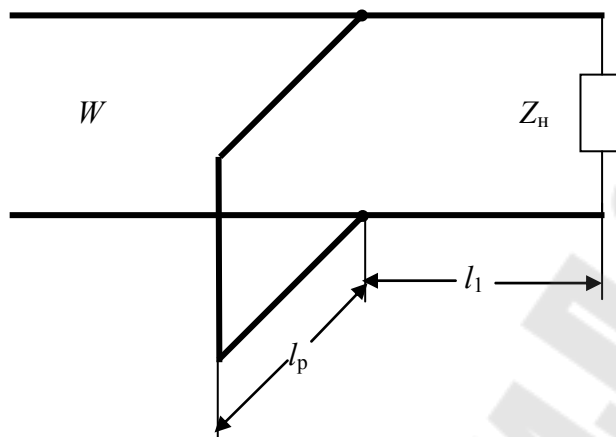


Рис. 4.2. Согласование с помощью параллельного короткозамкнутого шлейфа

Для настройки на режим бегущей волны следует выбрать место включения согласующей реактивности (l_1) и ее величину (волновое сопротивление и длину короткозамкнутого отрезка).

Волновое сопротивление реактивности выбирается из конструктивных соображений и чаще всего совпадает с волновым сопротивлением фидера W . Для двухпроводной симметричной линии передачи волновое сопротивление вычисляется по формуле [2]

$$W = 276 \lg \frac{2D}{d}, \quad (4.1)$$

верной при условии $D \gg d$. Здесь обозначено: D – расстояние между проводами линии; d – их диаметр.

Короткозамкнутый согласующий отрезок имеет чисто реактивную входную проводимость:

$$Y_p = \frac{1}{jX_p}, \quad X_p = W \operatorname{tg} \beta l_p, \quad (4.2)$$

где $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$ – фазовая постоянная; λ – длина волны в линии.

Условие согласования: в месте включения согласующей реактивности сумма проводимостей ее и отрезка фидера длиной l_1 с сопротивлением Z_H равняется $\frac{1}{W}$:

$$Y_{\text{вх}} + Y_p = \frac{1}{W}; \quad Y_{\text{вх}} = \frac{j \frac{Z_H}{W} \operatorname{tg} \beta l_1 + 1}{Z_H + jW \operatorname{tg} \beta l_1}. \quad (4.3)$$

Это комплексное уравнение. Оно распадается на два действительных:

$$\operatorname{Re}(Y_{\text{вх}}) = \frac{1}{W}, \quad \operatorname{Im}(Y_{\text{вх}}) = \frac{1}{X_p}. \quad (4.4)$$

Из первого уравнения определяем место включения согласующей реактивности – получается квадратное уравнение относительно $\operatorname{tg} \beta l_1$. Из второго уравнения находим длину l_p , также получается квадратное уравнение относительно $\operatorname{tg} \beta l_p$.

В силу периодичности $\operatorname{tg} \beta l_1$ и $\operatorname{tg} \beta l_p$ l_1 и l_p могут выбираться неоднозначно. На практике следует стремиться к наиболее близкому расположению согласующей реактивности к нагрузке и к наименьшей ее длине. В этом случае в несогласованном участке фидера от нагрузки до реактивности и в самой реактивности запасается наименьшее количество электромагнитной энергии и эквивалентная добротность нагрузки вместе с согласующим устройством получается наименьшей, а полоса согласования – наибольшей.

4.2. Описание лабораторной установки

Установка позволяет осуществить согласование активной нагрузки с двухпроводной линией посредством короткозамкнутого шлейфа. Блок-схема экспериментальной установки приведена на рис. 4.3. Сигнал от высокочастотного генератора сигналов ГС через коаксиальный кабель поступает на рефлектометр, с помощью которого измеряется коэффициент отражения на его выходе. Высокочастотный сигнал далее через симметрирующий трансформатор (СМУ) поступает в двухпроводную симметричную линию, а затем к нагрузке. Симметрирующий трансформатор служит для осуществления перехода от коаксиальной линии к двухпроводной.

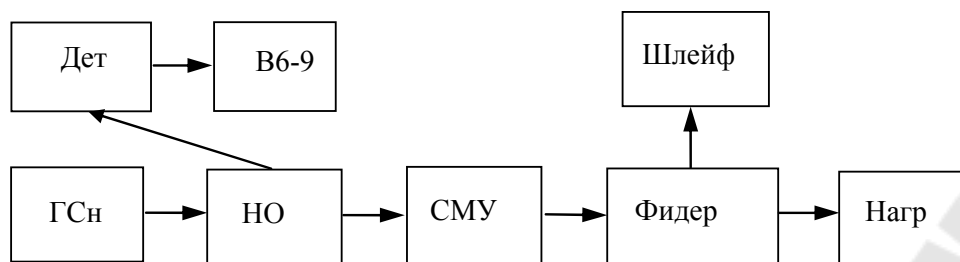


Рис. 4.3. Структурная схема измерительной установки

Рефлектометр представляет собой направленный ответвитель со слабой связью основного и вспомогательного каналов. На один из выходов вспомогательного канала поступает сигнал, отраженный от нагрузки рефлектометра. На этот выход включается детекторная секция, осуществляющая амплитудное детектирование сигнала. Продетектированный сигнал усиливается и измеряется вольтметром переменного напряжения.

Двухпроводная симметричная линия выполнена из проводов диаметром 8 мм, расположенных на расстоянии друг от друга 40 мм. К концу линии с помощью винтов подключается нагрузка – резистор того или иного номинала. Конструкция согласующего шлейфа позволяет плавно изменять его положение и длину.

4.3. Задание на предварительный расчет

1. Изучить теоретический материал по теме и ответить на контрольные вопросы.

2. Рассчитать волновое сопротивление двухпроводной линии передачи (диаметр проводников $d = 8$ мм, расстояние между центрами проводников $D = 40$ мм).

3. Для заданной преподавателем нагрузки рассчитать точку подключения короткозамкнутого шлейфа и его длину. Частота сигнала в линии 300 МГц. Из получаемых при расчете значений необходимо выбирать наименьшие. При этом следует также учесть, что из конструктивных параметров измерительного стенда минимальная длина шлейфа должна превышать 30 мм, а минимальное расстояние между нагрузкой и точкой подключения шлейфа – 62 мм.

4.4. Порядок выполнения работы

1. Изучить инструкции по эксплуатации измерительных приборов лабораторного стенда. Собрать лабораторную установку согласно структурной схеме (рис. 4.3). Подключить к выходу двухпроводной

линии заданную преподавателем нагрузку. Включить измерительные приборы, дать им прогреться. Далее использовать: режим работы генератора – внутренняя амплитудная модуляция, вольтметра – измерение переменного напряжения.

2. Установить на генераторе частоту сигнала 300 МГц.

3. Определить коэффициент бегущей волны (КБВ) в двухпроводной линии без согласующего шлейфа. Для этого отключить согласующий шлейф от линии и снять показание вольтметра $u_{отр}$. Далее на выход направленного ответвителя включить короткозамкнутую нагрузку. Теперь показание вольтметра будет пропорционально падающей мощности $u_{пад}$. При условии квадратичности градуировочной характеристики детектора модуль коэффициента отражения от нагрузки двухпроводной линии равен (при отсутствии потерь в линии):

$$|\Gamma| = \sqrt{\frac{u_{отр}}{u_{пад}}}. \text{ Тогда КБВ} = \frac{1-|\Gamma|}{1+|\Gamma|}.$$

4. Подключить согласующий шлейф к двухпроводной линии. Установить расчетные значения длины шлейфа и его расстояния от нагрузки. Определить КБВ в линии. Меняя точку подключения шлейфа, добиться наилучшего согласования нагрузки с питающей линией. Снять зависимость КБВ от частоты в пределах 200–400 МГц с шагом 20 МГц. Построить график зависимости КБВ от частоты.

5. Перемещая короткозамыкатель вниз и вверх в пределах 50 мм с шагом 5 мм, определить значения КБВ. Построить график зависимости КБВ от длины шлейфа и определить оптимальную длину как обеспечивающую максимум КБВ.

6. Сравнить экспериментально полученные значения длины шлейфа и точки его подключения с расчетными.

7. Для оптимальных значений длины шлейфа и точки его подключения снять зависимость КБВ от частоты в пределах 200–400 МГц с шагом 20 МГц. Построить график зависимости КБВ от частоты. Определить полосу согласования по уровню $\text{КБВ} \geq 0,3$ в МГц и в %-х по отношению к центральной частоте полосы согласования.

4.5. Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Блок-схему установки.
2. Расчетные формулы с необходимыми пояснениями.

3. Графики с изображением рассчитанных и измеренных характеристик.

4. Выводы по работе. В выводах необходимо указать причины расхождения результатов эксперимента с теорией.

4.6. Контрольные вопросы и задания

1. Какими параметрами характеризуется режим в линии передачи?

2. Каково распределение поля в согласованной и несогласованной линии передачи?

3. Каково распределение поля в линии передачи с устройством согласования?

4. Как зависит сопротивление от сечения наблюдения в линии передачи?

5. В чем заключается способ согласования нагрузки с помощью реактивных шлейфов?

6. Составьте и решите уравнения для определения длины параллельного короткозамкнутого согласующего шлейфа и точки его подключения.

7. Составьте и решите уравнения для определения длины параллельного разомкнутого согласующего шлейфа и точки его подключения.

8. Составьте и решите уравнения для определения длины последовательного короткозамкнутого согласующего шлейфа и точки его подключения.

9. Составьте и решите уравнения для определения длины последовательного разомкнутого согласующего шлейфа и точки его подключения.

4.7. Литература

1. Конспект лекций по курсу «Основы технической электродинамики».

2. Сазонов, Д. М. Устройства СВЧ / Д. М. Сазонов, А. Н. Гридин, Б. А. Мишустин. – М. : Высш. шк., 1981.

3. Фальковский, О. И. Техническая электродинамика / О. И. Фальковский. – М. : Связь, 1978.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Руководство по использованию лабораторного оборудования

МИКРОВОЛЬТМЕТР СЕЛЕКТИВНЫЙ В6-9

Микровольтметр селективный В6-9 предназначен для измерения среднеквадратичных значений синусоидальных напряжений.

Технические характеристики прибора

1. Диапазон измеряемых микровольтметром напряжений:
 - в селективном режиме работы от 1 мкВ до 1 В;
 - в широкополосном режиме работы от 30 мкВ до 10 В.
2. Диапазон частот, измеряемых прибором напряжений в селективном режиме работы от 20 Гц до 100 кГц;
Диапазон частот, измеряемых прибором напряжений в широкополосном режиме работы от 20 Гц до 200 кГц.
3. Пределы допускаемой основной погрешности прибора, выраженные в процентах от конечного значения установленного поддиапазона измерения, в нормальных условиях не превышают:
 - в селективном режиме $\pm 15\%$ на поддиапазоне 3 мкВ, $\pm 10\%$ на поддиапазоне 10 мкВ и $\pm 6\%$ на остальных поддиапазонах;
 - в широкополосном режиме $\pm 6\%$.
4. Микровольтметр имеет выход усилителя на коаксиальное гнездо. То есть прибор может использоваться как усилитель.
5. Ширина полосы пропускания на уровне минус 3 дБ должна быть $5 \pm 3\%$ от частоты настройки.
6. Уровень собственных шумов микровольтметра в селективном режиме работы не превышает 0,7 мкВ.
7. Активное входное сопротивление микровольтметра 1 МОм $\pm 20\%$ на всех поддиапазонах измерения.
8. Входная емкость микровольтметра не превышает 70 пФ на всех поддиапазонах измерения.

Органы управления прибором и их назначение

На передней панели микровольтметра (рис. П.1.1) расположены:

1. Ручка резистора калибровки – ручка регулировки чувствительности.
2. Входное гнездо.
3. Ручка грубой настройки частоты.
4. Выключатель калибровки.

5. Переключатель частотных поддиапазонов.
6. Переключатель входного делителя ($\times 10/+20\text{ dB}$).
7. Ручка точной настройки частоты.
8. Переключатель режимов работы.
9. Ручка переключателя поддиапазонов измерения.
10. Индикатор множителя напряжений.
11. Показывающий прибор.
12. Выходное гнездо.
13. Корректировка нуля показывающего прибора.
14. Тумблер сети.
15. Клемма заземления.

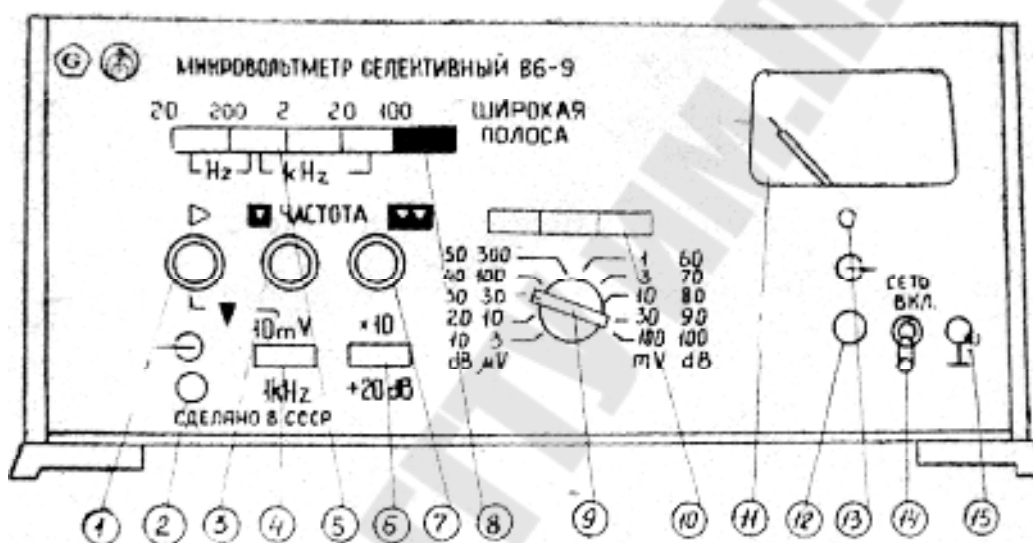


Рис. П.1.1. Внешний вид передней панели В6-9

Включение широкополосного режима кнопкой 8 приводит к ухудшению чувствительности прибора в 10 раз (на 20 дБ).

В условиях лаборатории «Технической электродинамики», «Устройств СВЧ» и «Антенно-фидерных устройств» измеряются относительные значения напряжений. В этом случае микровольтметр не калибруется, а ручка 1 используется для регулировки чувствительности.

Подготовка к измерению

Перед началом работы необходимо:

1. Переключатель входного делителя 6 и переключатель режимов работы установить в нажатое положение.
2. Ручку переключателя поддиапазонов 9 установить в положение 100 mV, а ручку 1 – в крайнее левое положение.
3. Кнопку включателя калибровки 4 отжать, при этом ручка 1 может быть использована для регулировки чувствительности прибора.

4. Включить микровольтметр тумблером включения сети 14, при этом должна загореться лампа индикатора множителей « $\times 100/+40$ dB».

5. Прогреть микровольтметр в течение 15 мин.

Проведение измерений

1. С помощью коаксиального кабеля подключите источник сигнала ко входу микровольтметра 2.

2. Первоначальное обнаружение сигнала проводите в широкополосном режиме работы, на самом нечувствительном поддиапазоне 10 В, в противном случае наличие больших сигналов в измеряемой цепи может привести к недопустимой перегрузке и порче прибора.

3. Включайте входной делитель напряжения ($\times 10/+20$ dB) только при измерении напряжений от 1 В до 10 В в широкополосном и от 100 мВ до 1 В в селективном режиме работы.

4. Так как чувствительность микровольтметра в селективном режиме в 10 раз выше, чем в широкополосном, переключение режимов с широкополосного на селективный производится только после уменьшения чувствительности микровольтметра ручкой 9 или включением кнопки 6, если ручка 9 установлена в положение «30 mV» или «100 mV».

5. После переключения в селективный режим работы с помощью ручек грубой (3) и точной (7) настройки частоты настройтесь на частоту входного сигнала, добившись максимальных показаний индикатора. При этом, чтобы стрелка индикатора не зашкаливала, пользуйтесь ручкой регулировки чувствительности прибора 1. После настройки микровольтметра ручками 1, 3 и 7 далее их положение уже не изменять.

6. Измеренное значение напряжения снимается со стрелочного индикатора. Верхние две шкалы показывают значение в линейном масштабе, нижняя шкала – в децибелах (дБ) по отношению к максимальному значению линейной шкалы на выбранном поддиапазоне.

7. При измерении малых напряжений необходимо соблюдать следующие правила:

– тщательно экранировать источник сигнала, т. к. отсутствие экранировки ведет к увеличению внешних помех на входе прибора и, следовательно, к увеличению погрешности;

– заземлять микровольтметр и измерительную аппаратуру и соединять их клеммы заземления друг с другом;

– микровольтметр соединять с источником сигнала только через экранированные кабели с коаксиальными разъемами.

ГЕНЕРАТОР СИГНАЛОВ ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ Г4-144

Генератор сигналов высокочастотный Г4-144 предназначен для настройки, регулировки и контроля различных радиотехнических устройств дециметрового диапазона волн. Генератор может применяться в качестве источника некалиброванного по уровню высокочастотного сигнала для питания измерительных линий, высокочастотных мостов, антенн, фильтров и т. д.

Генератор Г4-144 предназначен для работы в лабораторных, заводских и полевых условиях.

Рабочие условия эксплуатации:

– температура окружающей среды от 263 до 323 К (от -10 до $+50$ °С);

– относительная влажность 95 ± 3 % при температуре окружающего воздуха 303 К ($+30$ °С);

– напряжение питающей сети 220 ± 22 В, частотой $50 \pm 0,5$ Гц содержанием гармоник до 5 % или напряжением $115 \pm 5,75$ В (220 ± 11 В) частотой 400 ± 12 Гц содержанием гармоник до 5 %.

Технические характеристики прибора

1. Прибор обеспечивает следующие виды работ:

– непрерывная генерация;
– внутренняя модуляция меандром частотой 1000 Гц (ВНУТР);
– внешняя модуляция импульсами положительной или отрицательной полярности (ВНЕШ. $\square\square\square\square$).

2. Диапазон частот генератора 400–820 МГц.

3. Запас по частоте на краях диапазона не менее 2 %.

4. Основная погрешность установки частоты по шкале в диапазоне частот не более ± 1 %.

5. Дополнительная погрешность установки частоты от изменения температуры окружающего воздуха на каждые 10 °С в диапазоне температур от 10 до 50 °С не должна быть более $\pm 0,2$ % или $\pm 0,5$ % в диапазоне температур от -10 до $+10$ °С.

6. Нестабильность частоты генератора в режиме НГ за любые 15 мин после часового самопрогрева или через 15 мин после перестройки частоты при неизменных внешних условиях не превышает $2,5 \cdot 10^{-4} f_n$, где f_n – номинальное значение частоты в Гц.

7. Расстройка частоты от установленного значения не менее 100 кГц (остальные данные приведены в техническом описании и инструкции по эксплуатации).

Органы управления прибором и их назначение

На передней панели генератора расположены органы управления прибором (рис. П.1.2).

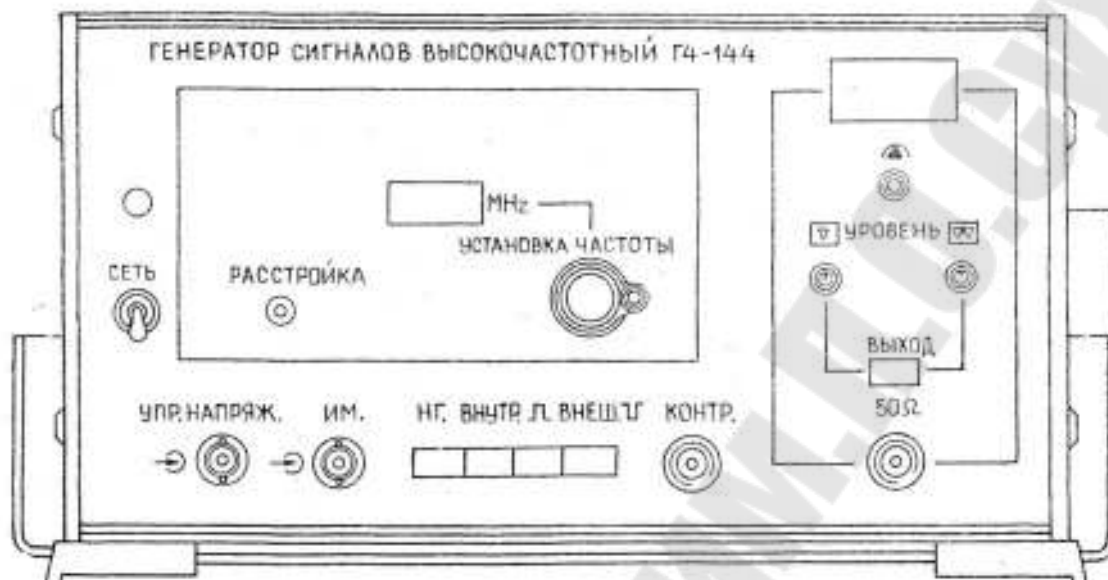


Рис. П.1.2. Внешний вид прибора Г4-144

Подготовка к измерению

Перед включением прибора в сеть необходимо проверить надежность заземления и соответствие положения переключателя напряжения сети с параметрами сети питания.

1. Время установления рабочего режима прибора 1 ч.
2. При подготовке прибора к проведению измерений не требуется никакой предварительной регулировки.

Для проверки работоспособности прибора необходимо:

- включить питание прибора тумблером СЕТЬ (при этом должна загореться индикаторная лампочка);
- ручку \triangle (чувствительность индикатора) повернуть вправо до отказа;
- нажать кнопки НГ и ВЫХОД.

В этом положении при вращении ручек ∇ и $\nabla\nabla$ влево и вправо до отказа показания индикатора должны изменяться от 0 до 25 мкА (не менее).

Проведение измерений

1. Генератор Г4-144 обеспечивает следующие режимы работы:
 - непрерывная генерация (НГ);

– внутренняя импульсная модуляция напряжением формы «мекандр» (ВНУТР.);

– внешняя импульсная модуляция (ВНЕШ.).

2. Проведение измерений включает три основные операции:

– установка требуемого режима работы;

– установка частоты;

– установка уровня мощности выходного сигнала.

3. Установка требуемого режима работы производится нажатием соответствующих кнопок переключателя рода работ.

4. Установка частоты производится ручкой УСТАНОВКА ЧАСТОТЫ МГц. Кроме того, в приборе предусмотрена возможность расстройки частоты генератора в пределах не менее 100 кГц в любой точке диапазона с помощью ручки РАССТРОЙКА.

5. Установка уровня выходного сигнала на основном выходе генератора производится ручками УРОВЕНЬ грубо и плавно.

6. Для включения режима внутренней импульсной модуляции следует нажать кнопку ВНУТР.

Прибор используется в лабораторных работах по изучению распределений напряжения и эквивалентных сопротивлений вдоль линии передачи при различных нагрузках. Для настройки генератора на требуемый режим при проведении измерений необходимо выбрать: непрерывную генерацию (нажать кнопку НГ), установить заданную преподавателем частоту (ручкой УСТАНОВКА ЧАСТОТЫ МГц), установить уровень выходного сигнала (ручками УРОВЕНЬ грубо и плавно). Все остальные кнопки на приборе не должны быть нажаты.

ГЕНЕРАТОР СИГНАЛОВ ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ Г4-218

Генератор сигналов высокочастотный Г4-218 предназначен для генерирования немодулированных колебаний, колебаний с различными видами модуляции. Генератор обеспечивает измерение амплитудно-частотных характеристик различных устройств, работающих в режиме немодулированных колебаний (НК), амплитудной модуляции (АМ), частотной модуляции (ЧМ).

Технические характеристики генератора

1. Диапазон рабочих частот от 200 кГц до 1000 МГц.

2. Генератор может работать в следующих режимах:

а) непрерывная генерация (немодулированные колебания);

б) внутренняя амплитудная модуляция синусоидальным напряжением;

в) внешняя амплитудная модуляция синусоидальным напряжением;

г) внутренняя частотная модуляция синусоидальным напряжением;

д) внешняя частотная модуляция синусоидальным напряжением.

3. Дискретность установки частоты 1 Гц.

4. Нестабильность частоты за любой 15-ти минутный интервал времени работы, после 30-ти минутного самопрогрева не более $1 \cdot 10^{-7}$.

5. Выходная мощность на нагрузке 50 Ом устанавливается в диапазоне от минус 127 дБм до 13 дБм.

6. Дискретность установки выходной мощности 0,1 дБ.

7. Нестабильность уровня выходной мощности за любой 15-ти минутный интервал времени работы, после 30-ти минутного самопрогрева не более 0,1 дБ.

8. Амплитудная модуляция выходного сигнала осуществляется:

– от внутреннего источника модулирующего сигнала, обеспечивающего установку частоты в диапазоне от 10 Гц до 20 кГц;

– от внутреннего источника модуляции с фиксированными частотами 400 Гц, 1 кГц, 3 кГц;

– от внешнего источника модуляции с частотами в диапазоне от 50 Гц до 10 кГц.

9. Коэффициент амплитудной модуляции выходного сигнала, не превышающего 7 дБм, дискретно устанавливается в пределах от 0 до 100 %. Дискретность установки 0,1 %.

10. Волновое сопротивление выходного высокочастотного разъема генератора 50 Ом сечением 7/3 мм.

11. Прибор обеспечивает свои технические характеристики в пределах норм по истечении времени установления рабочего режима, равного 15 мин, кроме параметров основной погрешности установки частоты, нестабильности частоты и нестабильности опорного уровня выходного сигнала, для которых время установления составляет 30 мин.

Органы управления прибором и их назначение

В лабораторных работах используются органы управления, расположенные на передней панели генератора (рис. П.1.3).

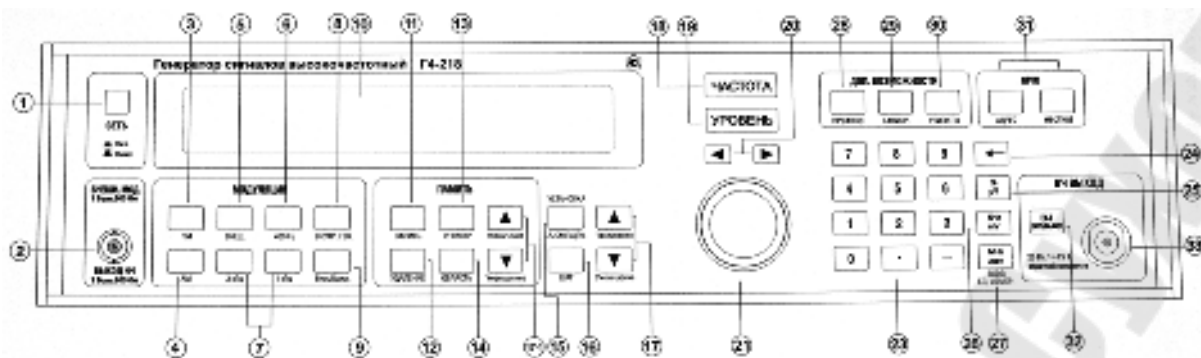


Рис. П.1.3. Внешний вид передней панели Г4-218

К органам управления прибором относятся следующие:

- кнопка 1 «СЕТЬ» – Сетевой выключатель, имеет два фиксированных положения – ВКЛ и ВЫКЛ. Генератор включается нажатием на кнопку СЕТЬ. При этом начинает светиться индикатор 10. **Внимание: время перед повторным нажатием на кнопку СЕТЬ должно быть не менее 2 с, в противном случае возможен выход генератора из строя;**

- кнопка 4 «АМ» – Кнопка выбора режима АМ;

- кнопки 6 и 7 «400 Гц», «1 кГц» и «3 кГц» – Кнопки установки частоты внутреннего модулирующего генератора;

- кнопка 9 «Вкл/Выкл» – Кнопка включения или выключения режима АМ и ЧМ;



- кнопка 10 «Индикатор» – Газоразрядный индикатор, отображающий текущее состояние генератора (установленные частоты, выходной уровень, вид модуляции и т. д.);

- кнопка 16 «ШАГ» – Кнопка выбора установки шага изменения выбранного параметра генератора (выходного уровня или выходной частоты). Для задания шага необходимо предварительно нажать кнопку «ЧАСТОТА» или «УРОВЕНЬ», нажать кнопку «ШАГ» и на наборном поле набрать необходимое значение шага и нажать кнопку единиц размерности. Для пошагового изменения в сторону увеличения или уменьшения используются кнопки «17»;

- кнопки 17 ∇ и \blacktriangle – Кнопки управления пошаговым изменением частоты, уровня выходного сигнала и глубины модуляции. Кратковременное нажатие на одну из этих кнопок приводит к изменению выбранного параметра с установленным шагом;


- кнопка 18 «ЧАСТОТА» – Кнопка выбора установки частоты выходного сигнала;


– кнопка 19 «УРОВЕНЬ» – Кнопка выбора установки уровня выходного сигнала;

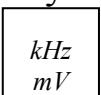
– кнопки 20  и  – Кнопки управления курсорами. На индикаторе курсор отображается символом «_» под десятичной цифрой. Подсвеченный разряд возможно изменить в сторону увеличения или уменьшения одним из доступных способов (кнопками «17» или вращающимся регулятором «21»);


– регулятор 21 – Вращающийся регулятор для изменения выходных параметров генератора или параметров модуляции. Изменению подлежит разряд, подсвеченный курсором;

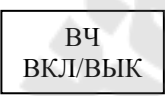
– кнопки 23 – Цифровое наборное поле для прямого набора необходимых цифровых значений, включая десятичную точку и знак минус;

– кнопка 24  – Кнопка удаления последней цифры при ошибке набора с цифрового поля;

– кнопка 25  – Кнопка ввода размерности мкВ выходного уровня и значения глубины модуляции в %;

– кнопка 26  – Кнопка ввода размерности мВ выходного уровня и размерности частоты кГц при вводе значения частоты выходного сигнала и частоты внутреннего модулирующего сигнала;

– кнопка 27  – Кнопка ввода размерности дБм выходного уровня и размерности частоты МГц при вводе значения частоты выходного сигнала;

– кнопка 32  – Кнопка отключения или включения высокочастотного выхода генератора. При отключенном выходе во второй строке индикатора появляется надпись «ВЧ ВЫКЛ»; при включенном выходе на индикаторе присутствует надпись «ВЧ ВКЛ»;

– разъем 33 – Высокочастотный выход генератора с волновым сопротивлением 50 Ом.

Остальные регулировки на передней панели, а также разъемы на задней панели генератора в лабораторных работах не используются.

Подготовка к измерению

Перед началом работы необходимо:

1. Включить генератор, нажав кнопку «СЕТЬ».
2. Прогреть прибор в течение 15 мин.

Проведение измерений

1. С помощью коаксиального кабеля подключите генератор ко входу исследуемого устройства.

2. Установите необходимую частоту. Для этого нажмите кнопку «ЧАСТОТА», на индикаторе в поле установки частоты будет мигать курсор. Выберите размерность частоты с помощью кнопок 26 и 27.

3. С помощью кнопок управления курсором 20 выберите дискретность изменения частоты, при этом разряд, в котором будет происходить изменение частоты, будет подсвечен. Вращением регулятора 21 по часовой стрелке (или против) увеличивайте или уменьшайте частоту выходного сигнала. Изменение частоты будет происходить синхронно с изменением частоты на индикаторе.

4. Установите уровень выходного сигнала. Для этого нажмите кнопку «УРОВЕНЬ», на индикаторе в поле установки уровня будет мигать курсор. Выберите размерность частоты с помощью кнопок 26 и 27.

5. С помощью кнопок управления курсором 20 выберите дискретность изменения уровня, при этом разряд, в котором будет происходить изменение уровня, будет подсвечен. Вращением регулятора 21 по часовой стрелке (или против) увеличивайте или уменьшайте уровень выходного сигнала. Изменение уровня выходного сигнала будет происходить синхронно с изменением уровня на индикаторе.

6. С помощью кнопок в поле «МОДУЛЯЦИЯ» выберите режим работы генератора и частоту модулирующего сигнала. В лабораторных работах используется режим АМ, т. е. нажмите кнопки «Вкл/Выкл», «АМ» и одну из кнопок 6 и 7. На индикаторе в поле установки коэффициента модуляции будет мигать курсор. Нажмите кнопку 25 размерности глубины модуляции.

7. Установите необходимый коэффициент модуляции. Это можно сделать с помощью вращающегося регулятора 21 и кнопки перемещения курсора 20 аналогично описанному методу установки частоты и уровня выходного сигнала.

8. Включите сигнал на высокочастотном выходе генератора, нажав кнопку

ВЧ ВКЛ/ВЫК

, и выполните измерения.

9. Далее частоту, уровень сигнала и коэффициент модуляции изменяйте не выключая высокочастотный выход генератора. Кнопкой

ВЧ ВКЛ/ВЫК

 необходимо пользоваться лишь при отключении коаксиального кабеля от разъема ВЧ ВЫХОД генератора или по окончании измерений.

ГЕНЕРАТОРЫ КАЧАЮЩЕЙСЯ ЧАСТОТЫ ГКЧ-53, ГКЧ-54

Генераторы качающейся частоты (ГКЧ) ГКЧ-53, ГКЧ-54 предназначены для использования в качестве источников СВЧ сигнала.

Рабочие условия эксплуатации:

- температура окружающей среды от 278 до 313 К (от 5 до 40 °С);
- относительная влажность воздуха до 95 % при температуре 303 К (+30 °С);
- напряжение сети 220 ± 22 В, частотой $50 \pm 0,5$ Гц.

Технические характеристики прибора

1. Диапазон рабочих частот генератора ГКЧ-53 от 2,0 до 4,0 ГГц, ГКЧ-54 – от 8,15 до 12,05 ГГц.

2. ГКЧ обеспечивают работу:

- а) в режиме непрерывной генерации (НГ);
- б) в режиме внутренней амплитудной модуляции (АМ) меандром с частотой (100 ± 1) кГц и глубиной модуляции не менее 15 дБ.

3. В лабораторном практикуме ГКЧ используется в режиме ручной перестройки частоты.

4. Кратковременная нестабильность частоты ГКЧ за 5 мин и по истечении 5 мин после перестройки частоты в нормальных условиях не превышает $1 \cdot 10^{-3} f_{\max}$.

5. Выходная мощность ГКЧ при работе на согласованную нагрузку не менее 1 мВт.

Остальные технические характеристики приведены в техническом описании и инструкции по эксплуатации.

Органы управления прибором и их назначение

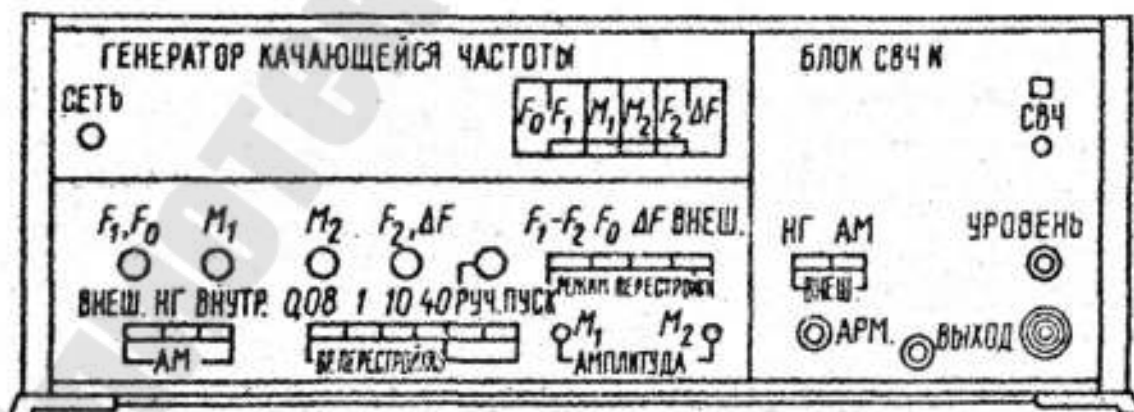


Рис. П.1.4. Внешний вид передней панели ГКЧ

Назначение органов управления, установленных на передней панели ГКЧ (П.1.4):

- тумблер СЕТЬ служит для включения сети питания;
- ручка F_1F_0 служит для установки частоты в режиме ручной перестройки частоты;
- переключатель АМ служит для установления режима непрерывной генерации или амплитудной модуляции;
- переключатель РЕЖИМ ПЕРЕСТРОЙКИ служит для установления режима работы ГКЧ;
- тумблер СВЧ служит для отключения СВЧ мощности на разъеме ВЫХОД генератора;
- разъем ВЫХОД служит для подачи мощности на внешний тракт.

Остальные органы управления в лабораторном практикуме не используются.

Подготовка к измерению и проведение измерений

1. Включите тумблер СЕТЬ и прогрейте ГКЧ в течение 15 мин.
2. Установите переключатель РЕЖИМ ПЕРЕСТРОЙКИ в положение F_0 , при этом загорится лампочка F_0 и на отсчетном табло появится значение частоты F_0 .
3. С помощью коаксиального кабеля подключите разъем ВЫХОД генератора к исследуемой схеме.
4. Ручкой F_0 , F_1 установите необходимую частоту сигнала на выходе ГКЧ.
5. Включите тумблер СВЧ и выполните измерения.
6. Далее частоту сигнала изменяйте с помощью ручки F_0 , F_1 не выключая тумблер СВЧ. Тумблер СВЧ необходимо выключать лишь при отключении коаксиального кабеля от разъема ВЫХОД генератора.

ИЗМЕРИТЕЛЬ ПАРАМЕТРОВ АНТЕНН ПК7-9

Измеритель параметров антенн модуляционный ПК7-9 предназначен для измерения параметров антенн радиоастрономическими методами, а также для измерения уровней слабых шумовых и синусоидальных сигналов.

Технические характеристики прибора

1. Диапазон рабочих частот измерителя от 1,07 до 2,14 ГГц.
2. Волновое сопротивление входа 50 Ом, коаксиал сечением 7/3 мм.
3. КСВ входа не более 1,5.

4. Пределы измерения мощности синусоидального сигнала от 10^{-15} до 10^{-6} Вт.

5. Погрешность измерения мощности сигнала от 10^{-6} до $3 \cdot 10^{-15}$ Вт $\pm 0,7$ дБ и от $3 \cdot 10^{-15}$ до 10^{-15} Вт $\pm 0,8$ дБ в нормальных условиях эксплуатации.



Рис. П.1.5. Внешний вид передних панелей блоков управления и индикатора измерителя параметров антенн ПК7-9

Состав прибора (в лаборатории «Технической электродинамики» и «Антенно-фидерных устройств»)

1. Блок высокой частоты.
2. Блок питания.
3. Блок управления.
4. Индикатор Я6П-29.
5. Коаксиальный кабель для передачи опорного напряжения из блока управления в индикатор.
6. Коаксиальный кабель для передачи сигнала ПЧ из блока высокой частоты в блок индикатора.
7. Коаксиальный кабель для подачи исследуемого сигнала на вход блока высокой частоты.
8. Два многожильных соединительных кабеля.

Органы управления прибором и их назначение

Блок высокой частоты имеет два входа, расположенных на боковых стенках блока. Входы переключаются с помощью кнопочного переключателя «Переключатель СВЧ» на лицевой панели блока управления. В лаборатории задействован вход 1.

Индикатор ЯБП-29 имеет схему слухового контроля работы.

В лабораторных работах используются следующие органы управления на передней панели блока управления:

– тумблер СЕТЬ для включения прибора и сигнальная лампочка прибора;

– тумблер ГШ для включения и выключения генератора шума (должен быть выключен);

– тумблер ПОЛОСА УЗК.–ШИР. для переключения полосы УПЧ;

– тумблер МОДУЛЯЦИЯ ВКЛ. для включения и выключения модулятора;

– кнопочный переключатель ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ СВЧ для подключения к первому входу прибора измеряемого сигнала и сигнальная лампочка контроля (должна быть нажата левая кнопка);

– кнопочный переключатель ОСЛАБЛЕНИЕ ПЧ для переключения аттенюатора ПЧ;

– ручка ЧАСТОТА МЕНЬШЕ–БОЛЬШЕ для перестройки прибора по диапазону и индикаторная лампочка для контроля настройки;

– счетчик для отсчета частоты;

– ручка ПОДСТРОЙКА ГЕТЕРОДИНА для точной настройки прибора на частоту сигнала;

– переключатель ΔT ШУМА (должен быть выключен) и ручки ПЛАВНО и ГРУБО для введения в тракт дополнительного шумового сигнала.

В лабораторных работах используются следующие органы управления на передней панели индикатора:

– тумблер СЕТЬ для включения индикатора и сигнальная лампочка;

– ручка ГРОМКОСТЬ для изменения усиления канала слухового контроля;

– микроамперметр для отсчета мощности измеряемого сигнала в линейном (верхние две шкалы) или в логарифмическом (нижняя шкала) масштабе;

– переключатель ОСЛАБЛЕНИЕ dB с положениями 0; 1; 2; 3; 4 и 5;

- переключатель ПОСТ. ВРЕМЕНИ S (в лабораторных работах используется значение $S = 0,1$);
 - переключатель РОД РАБОТЫ (в лабораторных работах используются положения МОДУЛ. ПЧ или ФАЗА+);
 - ручки ГРУБО и ПЛАВНО под общим названием КАЛИБРОВКА для изменения чувствительности прибора;
 - ручка НУЛЬ и связанная с ней кнопка для установки нуля индикатора (при установке нуля индикатора кнопка должна быть нажата, при измерении – отжата);
 - кнопочный переключатель ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ и связанные с ним шкалы для установки нужного предела измерений.
- Остальные органы управления на передних панелях индикатора и блока управления в лабораторных работах не используются.

Подготовка к измерению

Перед включением прибора в сеть все блоки должны быть соединены кабелями. Нельзя включать блок управления в сеть, не соединив его с блоком ВЧ, а последний с блоком питания. Индикатор Я6П-29 может включаться в сеть независимо от других блоков.

В блоке управления ручки поставить в следующие положения:

- тумблеры СЕТЬ, ГШ и МОДУЛЯЦИЯ поставить в выключенное положение;
- тумблер ПОЛОСА – в положение ШИР.;
- переключатель ΔT ШУМА – в положение ВЫКЛ.;
- кнопочный переключатель ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ СВЧ – в положение вх. I (в лабораторных работах входной сигнал подается на вход I блока высокой частоты);
- кнопочный переключатель ОСЛАБЛЕНИЕ ПЧ – в положение 60 дБ;
- ручки ПОДСТРОЙКА ГЕТЕРОДИНА, ГРУБО, ПЛАВНО и КАЛИБРОВКА – в среднее положение.

В индикаторе Я6П-29 ручки поставить в следующие положения:

- тумблер СЕТЬ поставить в выключенное положение;
- переключатель РОД РАБОТЫ – в положение ФАЗА+;
- переключатель ПОСТ. ВРЕМЕНИ S – в положение 0,1;
- переключатель ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ – в положение 30 дБ;
- переключатель ОСЛАБЛЕНИЕ dV – в положение 5 дБ;
- тумблер ОСЛАБЛЕНИЕ ПЧ на задней панели индикатора – в положение 5 дБ.

Поставьте тумблеры СЕТЬ блока управления и индикатора в положение ВКЛ. При этом на блоках загораются сигнальные лампочки сети.

Дайте прибору прогреться в течение 15 мин.

Проведение измерений

1. С помощью коаксиального кабеля подключите источник сигнала ко входу *I* измерителя параметров антенн.

2. Тумблер МОДУЛЯЦИЯ поставьте в положение ВКЛ.

3. Ручкой НУЛЬ индикатора и связанной с ней кнопкой установите нуль выходного стрелочного прибора индикатора.

4. Первоначальное обнаружение сигнала проводите на самом нечувствительном пределе (переключатели ОСЛАБЛЕНИЕ ПЧ, ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЯ – в отмеченных выше положениях), в противном случае наличие больших сигналов в измеряемой цепи может привести к недопустимой перегрузке и порче прибора.

5. С помощью ручки ЧАСТОТА МЕНЬШЕ–БОЛЬШЕ предварительно настройтесь на входной сигнал (по стрелке выходного стрелочного прибора на индикаторе), используя слуховой и визуальный контроль. При этом, чтобы стрелка не зашкаливала, пользуйтесь ручками регулировки чувствительности прибора ГРУБО и ПЛАВНО.

6. Тумблер ПОЛОСА поставьте в положение УЗК. и на медленной скорости настройтесь на сигнал. Ручкой ПОДСТР. ГЕТЕРОДИНА произведите окончательную настройку по максимуму выхода. После настройки измерителя положение ручек ЧАСТОТА МЕНЬШЕ–БОЛЬШЕ, регулировки чувствительности ГРУБО и ПЛАВНО и ПОДСТР. ГЕТЕРОДИНА не изменять.

7. Измеренное значение мощности сигнала снимается со стрелочного индикатора. Верхние две шкалы показывают значение в линейном масштабе, нижняя – в логарифмическом.

8. При измерении слабых сигналов необходимо соблюдать следующие правила:

– тщательно экранировать источник сигнала, т. к. отсутствие экранировки ведет к увеличению внешних помех на входе прибора и, следовательно, к увеличению погрешности;

– заземлять измеритель параметров антенн и измерительную аппаратуру и соединять их клеммы заземления друг с другом;

– измеритель параметров антенн соединять с источником сигнала только через экранированные кабели с коаксиальными разъемами.

ГЕНЕРАТОР КАЧАЮЩЕЙСЯ ЧАСТОТЫ Р2-102

Блок ГКЧ (генератора качающейся частоты) предназначен для использования в качестве источника СВЧ сигнала в составе панорамных измерительных приборов.

Технические характеристики прибора

1. Диапазон рабочих частот генератора качающейся частоты от 0,01 до 2,14 ГГц.

2. Максимальная полоса качания частоты не менее рабочего поддиапазона частот, минимальная частота не более 0,5 % от максимальной частоты рабочего диапазона частот.

3. Предел допускаемого значения погрешности отсчета и установки частоты не более ± 3 МГц в диапазоне частот 0,01–0,6 ГГц и $\pm 0,5$ % от текущей частоты – свыше 0,6 ГГц.

4. В приборе обеспечиваются следующие режимы перестройки и установки частоты:

а) периодический с периодом перестройки 0,08 и 1 с;

б) однократный с периодом перестройки 10 с;

в) ручной;

г) с наборного поля;

д) ручного качания частоты.

5. Нестабильность частоты в режиме F_0 за 15-минутный интервал времени по истечении 15 мин после перестройки частоты для ГКЧ не более 1×10^{-2} в диапазоне частот 0,01–0,3 ГГц, с улучшением не менее, чем до $2,5 \times 10^{-4}$ в диапазоне частот 1,0–2,14 ГГц.

6. Ширина спектра в режиме F_0 на уровне минус 10 дБ от амплитуды сигнала несущей частоты не превышает 1 МГц.

7. Уровень стабилизированной в полном рабочем диапазоне частот выходной мощности на согласованную нагрузку в режиме «НГ» АРМ, при работе от внутреннего преобразователя сигнала ошибки, не менее (среднее значение): 10 мВт, с неравномерностью относительно среднего значения не более $\pm 1,2$ дБ. Регулировка уровня стабилизированной выходной мощности ГКЧ не менее 15 дБ относительно максимального стабилизированного уровня.

8. Погрешность системы АРМ относительно частотной характеристики внешнего преобразователя сигнала ошибки не более $\pm 0,45$ дБ.

9. КСВН выхода в режиме АРМ от собственного преобразователя сигнала ошибки не более 1,5.

10. В ГКЧ обеспечиваются следующие режимы работы:

а) непрерывная генерация;
б) внутренняя амплитудная модуляция меандром частотой 100 кГц;
в) внешняя амплитудная модуляция сигналами частотой 0,1–250 кГц. Глубина внутренней амплитудной модуляции не менее 15 дБ.

11. Остаточная ЧМ в режиме « F_0 » на выходе ГКЧ не превышает 1 МГц.

12. Уровень гармонических составляющих на выходе ГКЧ не более 25 дБ.

13. ГКЧ обеспечивает свои характеристики по истечении времени установления рабочего режима, равного 15 мин.

14. ГКЧ сохраняет свои технические характеристики при питании его от сети переменного тока напряжением (220 ± 22) В, частотой (50 ± 1) Гц.

15. Прибор работает при температуре окружающей среды от 5 до 40 °С, относительной влажности до 98 % при 30 °С, может храниться при температуре от –55 до +50 °С. Условия эксплуатации, при которых реализуется погрешность прибора:

- а) напряжение питающей сети $220 \pm 4,4$ В;
- б) относительная влажность 30–80 %;
- в) окружающая температура 20 ± 5 °С;
- г) атмосферное давление 84–106 кПа (630–795 мм рт. ст.).

Органы управления прибором и их назначение

Расположение органов управления, подключения и устройств индикации показано на рис. П.1.6 и П.1.7.

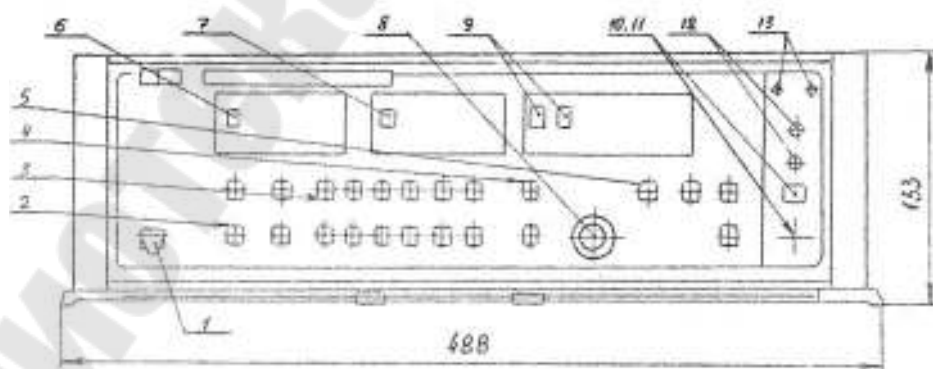


Рис. П.1.6. Внешний вид ГКЧ (вид спереди)

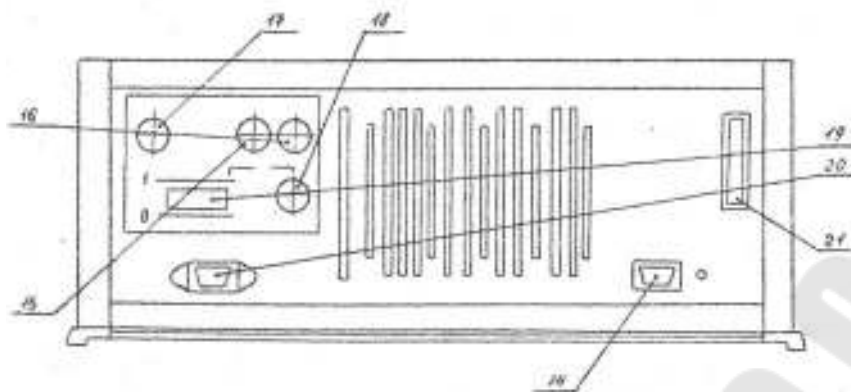





Рис. П.1.7. Внешний вид ГКЧ (вид сзади)

Сведения об органах управления, подключения и индикации приведены в табл. П. 1.

Таблица П.1.1

№ поз.	Маркировка	Назначение	Исходное положение
1	«Сеть»	Тумблер «Сеть» служит для включения сети питания	«Выкл.» нижнее положение
2	« F_0 », «РПЧ», « ΔF_{\max} », « F_1-F_2 »	Кнопочный переключатель режимов перестройки частоты служит для установки режима работы ГКЧ	Безразлично
3	«0»–«9», «#», «X»	Кнопки наборного поля «Установка частоты» служат для установки числовых значений начальной и конечной частоты качания в режиме F_1-F_2 и частоты генерации в режиме F_0 , кнопка «#» служит для ввода числового значения установленной частоты, кнопка «X» служит для осуществления повторной установки	»
4	«Старт» «Стоп»	Для перевода ГКЧ в заданный режим перестройки частоты. Для перевода в режим остановки	»
5	«0,08», «1», «10», «Пуск»	Кнопки переключателя «Перестройка S» служат для установки периода автоматического качания частоты. Запуск однократной автоматической перестройки с периодом 10 с происходит с нажатием кнопки «Пуск»	»

№ поз.	Маркировка	Назначение	Исходное положение
6	« F_1, F_0 »	Кнопка « F_1, F_0 » и индикатор служат для отображения частоты F_1 в режиме « F_1-F_2 » и частоты F_0 в режиме « F_0 »	»
7	« F_2 »	Кнопка и индикатор для отображения частоты F_2 в режиме « F_1-F_2 »	»
8	«М, РПЧ, РКЧ, F_1, F_2 »	Ручка управления служит для установки частоты метки в режимах работы ГКЧ	»
9	«М», «РКЧ»	Кнопка «М» служит для перевода функции ручки «М» в режим перестройки, а индикатором в режим отсчета частоты метки. Кнопка РКЧ для перевода функции ручки «М» в режим ручного качания частоты, а индикатора «М» в режим отсчета частоты ручного качания	»
10	«СВЧ» 	Для включения СВЧ мощности	»
11		Разъем подачи мощности во внешний тракт	»
12	«Уровень»	Ручка и индикатор служат для установки и индикации наличия СВЧ мощности на выход ГКЧ	влево до упора
13	«АМ», «АРМ»	Для индикации положения тумблеров «АМ», «АРМ», расположенных на задней панели ГКЧ	–
14	«Индикатор»	Для подключения индикатора при работе в составе комплекса	–
15	«АМ-НГ»	Для включения и выключения модуляции СВЧ сигнала меандром частотой 100 кГц	НГ (нижнее положение)
16	 НД	Вывод напряжения НД	–
17	 АРМ	Для подключения к системе АРМ внешнего датчика	–
18	«ЧМ»	Разъем для подключения сигнала внешней частотной модуляции	–

№ поз.	Маркировка	Назначение	Исходное положение
19		Переключатель КОП для включения интерфейса КОП и установки адреса ГКЧ	Переключатель «1» в нижнее положение
20	«КОП»	Разъем для подключения ГКЧ в АИС	—
21	220V, 50H, 160 VA	Для подключения сетевого кабеля. Контакты разъема служат держателями предохранителей	—

Кнопки управления образуют четыре переключателя с зависимыми кнопками:

1. « F_0 », «РПЧ», « ΔF_{\max} » и « F_1-F_2 ».
2. « F_2 », « F_1, F_0 », «М, РКЧ», «#» и «X».
3. «СТАРТ» и «СТОП»;
4. «0,08», «1» и «10».

При нажатии любой из кнопок переключателя автоматически выключаются все другие, зависимые от нее кнопки, признаком включения кнопки является появление световой индикации в центре кнопки.

Для кнопок без световой индикации «#» и «X», включению которых во всех режимах работы предшествует включение кнопки « F_1, F_0 » или « F_2 », признаком включения служит исчезновение индикации в кнопках « F_1, F_0 » или « F_2 », соответственно.

В режиме однократной автоматической перестройки с периодом 10 с запуска осуществляется нажатием кнопки «Пуск», при этом появляется световая индикация, которая по истечении периода перестройки исчезает.

Кнопки «0»–«9» образуют наборное поле частоты F_1, F_0 и F_2 , признаком включения кнопок является появление цифровой индикации на индикаторах.

Набор частоты производится последовательно, начиная со стороны старшего разряда, принимая во внимание, что все цифровые индикаторы лицевой панели имеют размерность 00,000 ГГц.

Разряд индикатора, в который должна заноситься очередная цифра числового значения частоты, гаснет.

Включение СВЧ осуществляется нажатием одноименной кнопки, при этом появляется световая индикация, повторным нажатием кнопки производится выключение.

Подготовка к измерению

1. Включите ГКЧ тумблером «Сеть». При этом должна появиться световая индикация в кнопках « ΔF_{\max} », «Стоп» и «0,08». Прогрейте ГКЧ в течение 10 мин.

2. Нажмите кнопку «Старт». Медленно вращая ручку «М» от упора до упора, убедитесь в том, что показания индикатора «М» соответствуют крайним значениям частот диапазона ГКЧ.

3. Нажмите кнопку «РПЧ». Медленно вращая ручку «М» от упора до упора, убедитесь в том, что показания индикатора «М» соответствуют крайним значениям диапазона частот ГКЧ.

4. Нажмите последовательно кнопки «Стоп», « F_1-F_2 », « F_1, F_0 », наберите числовое значение нижней частоты диапазона, нажмите кнопки «#», « F_2 », наберите числовое значение верхней частоты диапазона, нажмите кнопки «#», « F_2 », наберите числовое значение верхней частоты диапазона, нажмите кнопки «#», «Старт», «М». Медленно вращая ручку «М» от упора до упора, убедитесь в том, что показания индикатора «М» соответствуют установленным частотам.

5. В лабораторной работе требуется, чтобы генератор работал в режиме непрерывной генерации. (Режим « F_0 »). Для установки этого режима выполните следующие операции:

- а) нажмите кнопку «Стоп»;
- б) нажмите последовательно кнопки « F_1, F_0 », « F_0 »;
- в) установите числовое значение частоты генерации;
- г) нажмите кнопки «#», «Старт».

Установка генератора в другие режимы работы приводится в техническом описании и инструкции по эксплуатации.

ГЕНЕРАТОР КАЧАЮЩЕЙСЯ ЧАСТОТЫ Р2-41

Генератор качающейся частоты (ГКЧ) 42 (Р2-41) предназначен для использования в качестве источника СВЧ колебаний в составе панорамных измерителей коэффициента стоячей волны (КСВН).

Технические характеристики прибора

1. Диапазон рабочих частот генератора качающейся частоты от 3,86 до 7,15 ГГц.

2. Основная погрешность измерения частоты при помощи встроенного частотомера не превышает $\pm 0,2$ %.

3. Дополнительная погрешность измерения частоты при помощи встроенного частотомера от изменения температуры окружающего воздуха не превышает $\pm 0,1$ % на каждые 10 К изменения температуры.

4. Погрешность установки частоты по частотной шкале в режиме ручной перестройки частоты, начальной и конечной частот полосы качания в режиме качания не превышает $\pm 3\%$.

5. Прибор работает в следующих режимах перестройки частоты:

- а) ручная перестройка частоты;
- б) ручное качание в установленной полосе;
- в) периодическое качание частоты по пилообразному закону с длительностью периодов $0,08\text{ с} \pm 10\%$, $1\text{ с} \pm 10\%$, $10\text{ с} \pm 10\%$, длительностью обратного хода (5–15) % от длительности периода качания;
- г) медленное качание частоты с разовым запуском и длительностью периода $40\text{ с} \pm 20\%$.

6. Полоса качания частоты генератора:

- а) максимальная – полный диапазон частот генератора;
- б) минимальная – не более 1 % от минимальной частоты диапазона.

7. Генератор работает в следующих режимах работы:

- а) непрерывная генерация (НГ);
- б) амплитудная модуляция (АМ) меандром с частотой $100\text{ кГц} \pm 0,1\%$.

Органы управления прибором и их назначение

На передней панели генератора (рис. П.1.8) расположены:

а) к верхней части панели крепится верньер Уб с потенциометрами типа ПТП НАЧАЛЬНАЯ ЧАСТОТА и ПОЛОСА, при помощи которых выбирается необходимая начальная частота и полоса качания генератора;

б) в средней части передней панели справа размещен микроамперметр, используемый в качестве индикатора резонанса встроенного частотомера или наличия останковки частоты;

в) рядом с микроамперметром крепится устройство ВЧ (УЧ), в котором в один узел объединен частотомер, модулятор, регулятор мощности и возбуждающее устройство частотомера;

г) в правом верхнем углу передней панели генератора – тумблер включения сети В2 сеть и тумблер В3 ГЕНЕРАТОР, подключающий высокое напряжение для питания замедляющей системы генераторной лампы, ЛЗ – ЗАЩИТА – индикация неисправности в цепи накала генераторной лампы.

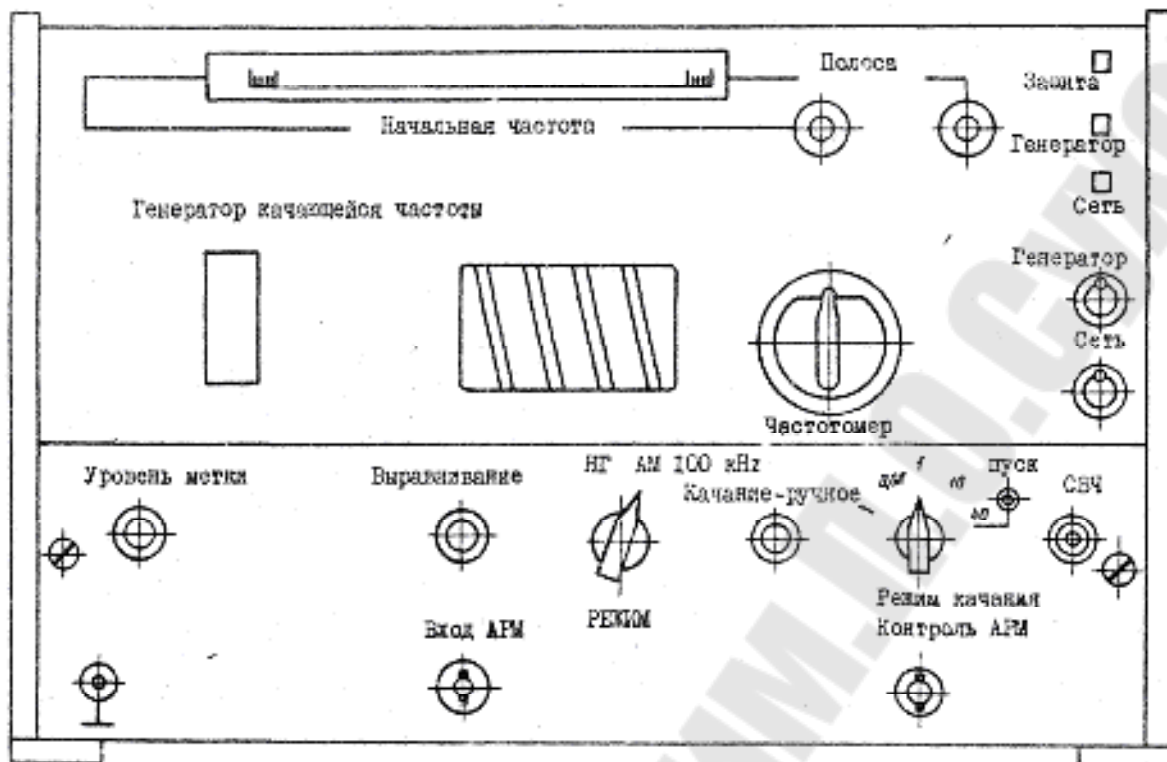


Рис. П.1.8. Внешний вид ГКЧ Р2-41

В лаборатории «Технической электродинамики», «Устройств СВЧ» и «Антенно-фидерных устройств» генератор входит в состав лабораторной установки для проведения лабораторной работы «Магнитные волны в прямоугольном волноводе».

Подготовка к работе

Перед началом работы необходимо:

1. Ручки управления на передней панели ГКЧ поставить в следующие положения:
 - а) ручки НАЧАЛЬНАЯ ЧАСТОТА и ПОЛОСА на крайние частоты рабочего диапазона ГКЧ по частотной шкале (f_{\min} и f_{\max} соответственно);
 - б) тумблеры СЕТЬ и ГЕНЕРАТОР – в нижнее положение;
 - в) ручки ВЫРАВНИВАНИЕ и КАЧАНИЕ – в крайнее левое положение;
 - г) ручку УРОВЕНЬ МЕТКИ – в среднее положение;
 - д) переключатель РЕЖИМ – в положение НГ.
2. Включите тумблер СЕТЬ. При этом должна загореться индикаторная лампочка СЕТЬ.
3. Через 1 мин включите тумблер ГЕНЕРАТОР. При этом должна загореться индикаторная лампочка ГЕНЕРАТОР.

4. ГКЧ прогрейте в течение 30 мин. После самопрогрева приступите к работе с генератором.

5. При нормальной работе ГКЧ индикаторная лампочка ЗАЩИТА не горит. Загорание лампочки ЗАЩИТА свидетельствует о неисправности в цепи питания накала генераторной лампы ГКЧ. Работа с генератором в этом случае запрещается.

Если после включения тумблера ГЕНЕРАТОР срабатывает реле защиты и прибор выключается, имеется неисправность в цепи питания анода генераторной лампы. Работать с генератором при срабатывающем реле защиты запрещается.

Так как данный ГКЧ входит в состав стенда, на котором выполняются лабораторные работы по изучению распределений напряжения и эквивалентных сопротивлений вдоль линии передачи при различных нагрузках, то настроить его следует в режим непрерывной генерации (тумблер «Режим» установить в положение «НГ», тумблер «Режим качания» – в положение «Ручное»). Ручку «Полоса» выкрутить в крайнее левое положение (установить минимальное значение качания частоты), вращая ручку «Начальная частота», установить на верхнем индикаторе значение заданной преподавателем частоты.

Уточнить значение установленной частоты можно по встроенному частотомеру. Для этого нужно, вращая ручку частотомера, следить за показаниями индикатора. Установив максимум показаний индикатора, считывают значение выходной частоты со шкалы частотомера.

Содержание

<i>Лабораторная работа № 1</i>	
Электромагнитные поля элементарных излучателей.....	3
<i>Лабораторная работа № 2</i>	
Магнитные волны в прямоугольном волноводе	11
<i>Лабораторная работа № 3</i>	
Исследование поля излучателя, поднятого над плоской поверхностью	17
<i>Лабораторная работа № 4</i>	
Согласование активных нагрузок с помощью короткозамкнутых шлейфов.....	24
Приложение	
Руководство по использованию лабораторного оборудования.....	30
Микровольтметр селективный В6-9.....	30
Генератор сигналов высокочастотный Г4-144	33
Генератор сигналов высокочастотный Г4-218	35
Генераторы качающейся частоты ГКЧ-53, ГКЧ-54.....	40
Измеритель параметров антенн ПК7-9	41
Генератор качающейся частоты Р2-102.....	46
Генератор качающейся частоты Р2-41	51

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

Вяхирев Николай Иванович
Гарбуз Вячеслав Николаевич

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

Лабораторный практикум
по одноименной дисциплине для студентов
специальности 1-36 04 02 «Промышленная электроника»
дневной и заочной форм обучения

Электронный аналог печатного издания

Редактор
Компьютерная верстка

А. В. Власов
Н. Б. Козловская

Подписано в печать 16.06.11.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 3,25. Уч.-изд. л. 3,1.

Изд. № 12.

E-mail: ic@gstu.by

<http://www.gstu.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:
Издательский центр учреждения образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0549424 от 08.04.2009 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48