

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ С РАЗЛИЧНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

Цель работы:

- изучение параметров, описывающих поляризацию монохроматических электромагнитных волн;
- изучение способов преобразования поляризации электромагнитных волн;
- изучение методов измерения поляризационных параметров электромагнитных волн.

### СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Рассмотрим понятие поляризации на примере плоской монохроматической электромагнитной волны.

Для плоской электромагнитной волны распространяющейся в положительном направлении оси  $Z$  декартовой системы координат, решение волнового уравнения Гельмгольца для комплексных амплитуд имеет вид:

$$\begin{aligned}\dot{E}_x &= E_{x0} \exp[j(-kz + \varphi_x)] \\ \dot{E}_y &= E_{y0} \exp[j(-kz + \varphi_y)]\end{aligned}\tag{1}$$

где  $E_{x0}$ ,  $E_{y0}$  - амплитудные значения напряженностей электрического поля;  $k$  - волновое число;  $\varphi_x$ ,  $\varphi_y$  - начальные фазы напряженностей электрического поля.

Составляющие напряженностей магнитного поля волны можно вычислить, пользуясь (1), по уравнению Максвелла.

Суммарный вектор напряженности электрического поля очевидно равен

$$\vec{E} = E_{x0} \exp[j(-kz + \varphi_x)] \vec{x}_0 + E_{y0} \exp[j(-kz + \varphi_y)] \vec{y}_0 \tag{2}$$

а его мгновенное значение при каком-либо значении координаты  $z$  (для удобства полагаем  $z=0$ ) имеет вид:

$$\vec{E} = E_{x0} \cos(\omega t + \varphi_x) \vec{x}_0 + E_{y0} \cos(\omega t + \varphi_y) \vec{y}_0 \tag{3}$$

где  $\omega$  - угловая частота электромагнитной волны.

Мгновенное значение напряженности поля электромагнитной волны в фиксированной плоскости на пути распространения волны является функцией времени и зависит также от амплитуд и фаз ортогональных составляющих напряженности электрического поля. С течением времени будут периодически изменяться величины ортогональных составляющих  $E_x$  и  $E_y$ , а так же соотношения между ними, за счет этого будет изменяться величина суммарного вектора напряженности и его направление в плоскости  $z=0$ . Поэтому конец вектора  $\vec{E}$  будет описывать на плоскости фигуру, которая является годографом вектора  $\vec{E}$ . Исключая из (3) время, можно получить уравнение годографа  $\vec{E}$  (1) в виде

$$\frac{E_x^2}{E_{x0}^2} + \frac{E_y^2}{E_{y0}^2} - 2 \frac{E_x E_y}{E_{x0} E_{y0}} \cos \Delta \varphi = \sin^2 \Delta \varphi \quad (4)$$

где обозначено  $\Delta \varphi = \varphi_x - \varphi_y$ . В общем случае это соотношение является уравнением эллипса, а в частных случаях вырождается в уравнение отрезка линии прямой и окружности.

Под поляризацией понимают свойство векторных электромагнитных монохроматических волн при произвольном фиксированном значении расстояния закономерно описывать концом векторов  $\vec{E}$  или  $\vec{H}$  какую - то определенную фигуру. Непосредственно по виду годографа различают эллиптическую, линейную и круговую поляризации. Вид годографа, а следовательно и вид поляризации в соответствии с (4) определяется лишь соотношением между амплитудами  $E_{x0}$ ,  $E_{y0}$  ортогональных составляющих волны и разностью фаз между ними. Рассмотрим различные возможные случаи.

1.  $\Delta \varphi = 0$  или  $\Delta \varphi = \pi$ .

Тогда из (4) получаем

$$\frac{E_x^2}{E_{x0}^2} + \frac{E_y^2}{E_{y0}^2} \pm 2 \frac{E_x E_y}{E_{x0} E_{y0}} = 0 \quad (5)$$

или

$$\frac{E_x}{E_{x0}} \pm \frac{E_y}{E_{y0}} = 0 \quad (6)$$

Это соотношение представляет собой уравнение прямой линии.

Таким образом годографом вектора  $\vec{E}$  будет являться отрезок прямой линии и поляризация будет линейной. Ориентация отрезка прямой линии относительно координат  $X$ ,  $Y$  зависит от амплитудных соотношений ортогональных составляющих волны. Линейная поляризация очевидно будет получаться и в случаях, когда  $E_{x0} = 0$  или  $E_{y0} = 0$ , тогда вектор  $\vec{E}$  будет совпадать с отличной от нуля компонентой. При линейной поляризации вектор  $\vec{E}$ , изменяясь по величине, колеблется вдоль линии, являющейся годографом с частотой волны  $f = \omega/2\pi$ .

$$2. \Delta\varphi = \pm\pi/2, E_{x0} = E_{y0} = E_0.$$

Из (4) получаем

$$E_x^2 + E_y^2 = E_0^2 \quad (7)$$

Это соотношение является уравнением окружности, а поляризация в этом случае является круговой. Следовательно, для получения круговой поляризации необходимо существование двух ортогональных в пространстве, сдвинутых по фазе на  $90^\circ$ , имеющих равные амплитуды линейно - поляризованных когерентных волн, распространяющихся в одном направлении. При круговой поляризации вектор  $\vec{E}$  оставаясь неизменным по величине и равным амплитудам ортогональным составляющих, вращается в пространстве с угловой частотой  $\omega$ . Направление вращения зависит от знака  $\Delta\varphi$ .

$$3. \Delta\varphi = \pm\pi/2, E_{x0} \neq E_{y0}.$$

В этом случае получаем из (4)

$$\frac{E_x^2}{E_{x0}^2} + \frac{E_y^2}{E_{y0}^2} = 1 \quad (8)$$

Соотношение (8) является уравнением эллипса, оси которого совпадают по направлению с осями декартовой системы координат  $x$ ,  $y$ . Поляризация при этом будет эллиптической. Вектор  $\vec{E}$  вращается в плоскости  $xOy$  со средней частотой  $\omega$ , изменяясь по величине. Направление вращения зависит от знака  $\Delta\varphi$ . Эллиптическая поляризация будет также наблюдаться в случаях.

$$E_{x0} = E_{y0}, \Delta\varphi \neq n\pi/2;$$

$$E_{x0} \neq E_{y0}, \Delta\varphi \neq n\pi/2;$$

где  $n$  - 0 или целое число.

При этом годограф  $\vec{E}$  имеет вид поляризационного эллипса, повернутого относительно осей координат (рис.1).

Для количественного определения вида поляризации электромагнитной волны вводят следующие параметры:

а)  $r$  - коэффициент эллиптичности, равный отношению малой оси поляризационного эллипса к большой оси, в обозначениях рис.1

$$r = \frac{b}{g} \quad (9)$$

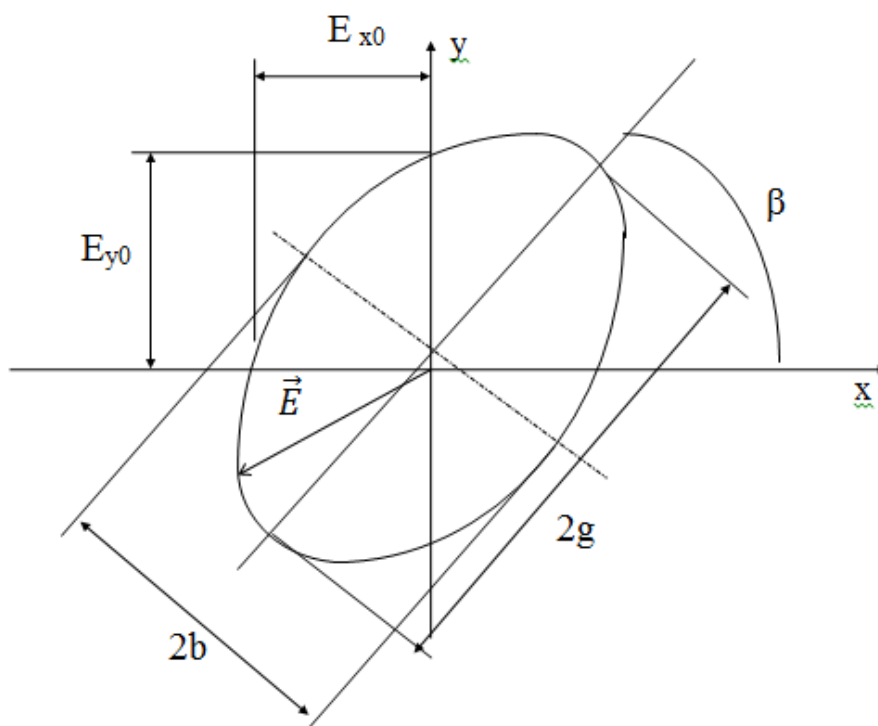


Рис.1. Поляризационный эллипс.

для линейной поляризации  $r=0$ , для круговой  $r=1$ , а для эллиптической поляризации  $0 < r < 1$ ;

б)  $\beta$  - угол ориентации поляризационного эллипса, равный углу между осью абсцисс и большой осью поляризационного эллипса, для линейной эллиптической поляризации угол  $\beta$  лежит в пределах  $0 - 180^\circ$ ; а для круговой поляризации  $\beta$  является неопределенным;

в) направление вращения вектора  $\vec{E}$  в плоскости  $XOY$ . Если при наблюдении распространения волны вектор  $\vec{E}$  обходит поляризационный эллипс по часовой стрелке, то волна называется правополяризационной, если же вращение вектора  $\vec{E}$  происходит против часовой стрелки, то волна называется

левополяризационной. Направление вращения вектора  $\vec{E}$  определяется лишь для эллиптической и круговой поляризации. Формально направление вращения учитывают знаком перед коэффициентом эллиптичности, для левополяризованной волны  $+r$ , а для правополяризованной -  $r$ .

Все поляризационные параметры связаны с амплитудами и разностью фаз ортогональных составляющих  $E_x$  и  $E_y$ . Если обозначить  $E_{y0}/E_{x0}=P$ , то выполняются следующие соотношения (2):

$$P = \left( \frac{r^2 + tg^2\beta}{1 + r^2tg^2\beta} \right)^{1/2}, \Delta\varphi = \arctg \left[ \frac{2r}{(1 - r^2) \sin 2\beta} \right] \quad (10)$$

Как было показано, электромагнитные волны с эллиптической и круговой поляризацией можно математически представить в виде суперпозиции волн линейной поляризации (2). Это правило можно расширить так, что волна, описываемая любой комбинацией поляризационных параметров может быть представлена в виде суперпозиции волн, имеющих другие поляризационные параметры, например, линейно - поляризованная волна может быть представлена в виде комбинации волн круговой поляризации следующим образом:

$$\begin{aligned} \vec{E} &= E_0 \exp(-jkz) \vec{x}_0 = \frac{E_0}{2} \exp(-jkz) \vec{x}_0 + \frac{E_0}{2} \exp(-jkz) \vec{x}_0 + \\ &+ \frac{E_0}{2} \exp \left[ j \left( -kz + \frac{\pi}{2} \right) \right] y_0 - \frac{E_0}{2} \exp \left[ j \left( -kz + \frac{\pi}{2} \right) \right] y_0 = \\ &= \left\{ \frac{E_0}{2} \exp(-jkz) \vec{x}_0 + \frac{E_0}{2} \exp \left[ j \left( -kz + \frac{\pi}{2} \right) \right] y_0 \right\} + \\ &+ \left\{ \frac{E_0}{2} \exp(-jkz) \vec{x}_0 - \frac{E_0}{2} \exp \left[ j \left( -kz + \frac{\pi}{2} \right) \right] y_0 \right\} \end{aligned} \quad (11)$$

Выражения, заключенные в фигурные скобки, представляют собой две волны круговой поляризации с равными амплитудами но с противоположными направлениями вращения.

Понятие поляризации, введенное для плоской электромагнитной волны распространяется и на волны, имеющие другую структуру. Необходимо отметить, что в волнах простой структуры плоской, сферической, цилиндрической вид

поляризации одинаков для векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$ . В волнах сложной структуры поляризация векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  может отличаться (например, в полях волн в волноводах), кроме того, вид поляризации может изменяться при перемещении точки наблюдения по фронту волны.

Электромагнитные волны, распространяющиеся в свободном пространстве и имеющие определенную поляризацию, создаются антеннами соответствующего вида поляризации. Так антеннами линейной поляризации часто являются рупорные антенны, имеющие прямоугольный раскрыт. Но поскольку другие виды поляризации представляются через суперпозицию волн линейной поляризации, то и антенны линейной поляризации могут быть преобразованы в антенны эллиптической или круговой поляризации. Для этого используются устройства, размещаемые в свободном пространстве перед антеннами, называемые поляризационными решетками или устройствами, располагаемые в фидерном тракте антенн, называемые поляризаторами (2).

Поляризационная решетка простейшей конструкции состоит из тонких металлических пластин ориентированных параллельно друг другу на расстоянии  $a$ , имеющих ширину  $d$  (рис.2).

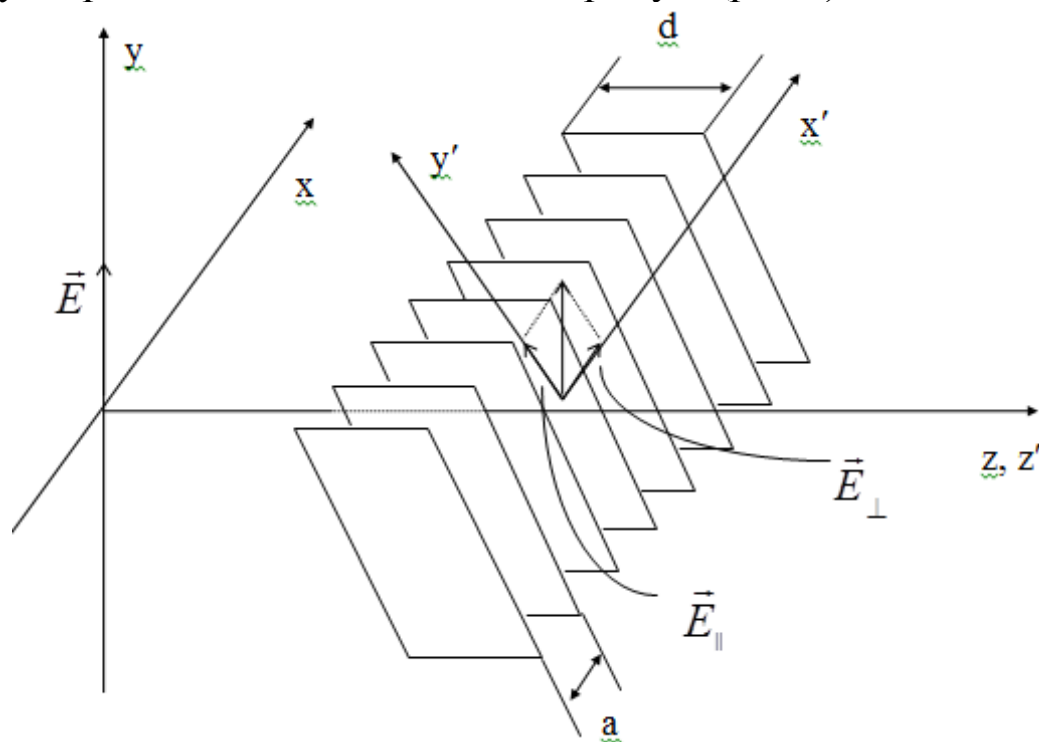


Рис.2. Поляризационная решетка.

При падении на решетку линейно - поляризованной плоской волны, вектор  $\vec{E}$  которой ориентирован перпендикулярно пластинам, происходит небольшое уменьшение амплитуды проходящей волны по сравнению с падающей за счет затухания и отражения от пластин решетки, фазовая скорость волны при распространении в решетке не отличается от фазовой скорости в свободном пространстве и на выходе решетки волна имеет дополнительный фазовый сдвиг, равный:

$$\varphi_{\perp} = \frac{360^{\circ}a}{\lambda_0} \quad (12)$$

где  $\lambda_0$  - длина волны в свободном пространстве.

Если вектор  $\vec{E}$  падающей волны ориентирован параллельно пластинам решетки, то кроме уменьшения амплитуды волны происходит изменение фазовой скорости волны, при распространении в решетке, за счет этого дополнительный фазовый сдвиг равен:

$$\varphi_{\parallel} = \frac{360^{\circ}a}{\lambda_0} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{2a}\right)^2} \quad (13)$$

Фазовая скорость в этом случае определяется как фазовая скорость в плоско - параллельной линии. Расстояние между пластинами решетки должно выбираться из условия существования между пластинами волны основного типа, при этом  $\lambda_0/2 < a < \lambda_0$ .

Если линейно - поляризованная электромагнитная волна падает нормально к решетке так, что вектор  $\vec{E}$  составляет с пластинами решетки угол  $\psi$ , то волна разлагается на две ортогональные составляющие:

$$E_{0\parallel} = E_0 \cos \psi$$

$$E_{0\perp} = E_0 \sin \psi \quad (14)$$

которые распространяются в решетке с различными фазовыми скоростями. Поляризация волны на выходе решетки в системе координат  $(x', y', z')$  удовлетворяет в соответствии с (4), соотношению:

$$\frac{E_{\perp}^2}{(E_0 \sin \psi)^2} + \frac{E_{\parallel}^2}{(E_0 \cos \psi)^2} - 2 \frac{E_{\perp}^2}{(E_0 \sin \psi)^2} \frac{E_{\parallel}^2}{(E_0 \cos \psi)^2} \times \\ \times \cos(\varphi_{\perp} - \varphi_{\parallel}) = \sin^2(\varphi_{\perp} - \varphi_{\parallel}) \quad (15)$$

здесь  $E_{\perp} = E_{x'}$ ,  $E_{\parallel} = E_{y'}$  и в общем случае будет эллиптической.

Поляризационная решетка изготавливается таким образом, что на частоте  $f_0$   $|\varphi_{\perp} - \varphi_{\parallel}| = 90^\circ$ . В этом случае:

$$\frac{E_{\perp}^2}{(E_0 \sin \psi)^2} + \frac{E_{\parallel}^2}{(E_0 \cos \psi)^2} = 1 \quad (16)$$

Из (16) видно, что поляризация на выходе решетки имеет следующие параметры:

$$r = \left| \frac{\sin \psi}{\cos \psi} \right| = |tg \psi|, \quad \text{при } 0^\circ \leq \psi \leq 45^\circ \quad (17)$$

$$r = \left| \frac{\cos \psi}{\sin \psi} \right| = |ctg \psi|, \quad \text{при } 45^\circ \leq \psi \leq 90^\circ \quad (17.1)$$

$$\beta = 90^\circ - \psi, \quad \text{при } 0^\circ \leq \psi \leq 45^\circ \quad (18)$$

$$\beta = 180^\circ - \psi, \quad \text{при } 45^\circ \leq \psi \leq 90^\circ \quad (18.1)$$

Условия (18) и (18.1) изменяются при изменении направления отсчета угла  $\psi$ . При этом также изменяется направление вращения вектора  $\vec{E}$ , то есть знак поляризации. При  $\psi=45^\circ$  достигается круговая поляризация, в соответствии с (16). Но при выходе (16) не учитывались дополнительные затухания волн, распространяющихся в поляризационной решетке. С учетом дополнительных затуханий соотношение (16) преобразуется в следующее

$$\frac{E_{\perp}^2}{(E_0 \sin \psi)^2} + \frac{E_{\parallel}^2}{(E_0 L \cos \psi)^2} = 1 \quad (19)$$

где  $L$  - отношение амплитуд электромагнитного поля на выходе решетки в случаях, когда пластины ориентированы



параллельно и перпендикулярно вектору  $\vec{E}$  падающей линейно - поляризованной волны.

Из (19) следует, что круговая поляризация будет достигаться при угле  $\psi$  равном

$$\psi = \arctg L. \quad (20)$$

Поляризаторы, устанавливаемые в фидерном тракте антенн работает по принципу, аналогичному описанному выше. Часто поляризаторы представляют собой тонкую диэлектрическую пластину, размещенную вдоль цилиндрического волновода с волной основного типа под углом  $45^0$  к плоскости, в которой находится максимум  $\vec{E}$  поля в волноводе (рис. 3). Для преобразования вида поляризации так же используются турникетные устройства и щелевые излучатели, расположенные на широкой стенке прямоугольного волновода с волной основного типа (2).

Для определения поляризационных параметров электромагнитных волн применяются несколько методов измерения (2) основными из которых являются:

- метод поляризационной диаграммы;
- компенсационный метод;
- метод разложения волны на ортогонально - поляризованные компоненты;
- модуляционный метод;
- метод нескольких антенн.

В данной работе используется метод поляризационной диаграммы с приемной антенной линейной поляризации. В общем случае, принятый сигнал на выходе антенны эллиптической поляризации при падении на нее эллиптически поляризованной волны равен:

$$E_0 = A \left[ 1 \pm \frac{2r_1}{(1+r_1^2)} \frac{2r_2}{(1+r_2^2)} + \frac{(1-r_1^2)(1-r_2^2)}{(1+r_1^2)(1+r_2^2)} \cos 2\alpha \right]^{1/2} \quad (21)$$

где  $A$  - постоянный коэффициент;  $\alpha = \beta_2 - \beta_1$ ;  $r_1, \beta_1$  - коэффициент эллиптичности и угол ориентации поляризационного эллипса волны, которую излучала бы приемная антенна при работе на передачу;  $r_2, \beta_2$  - коэффициент эллиптичности и угол ориентации поляризационного эллипса падающей волны.

Здесь следует брать знак (+), когда принимаемая волна и волна, излучаемая приемной антенной в режиме передачи, имеют одинаковое направление вращения, и знак (-) в обратном случае.

При использовании приемной антенны линейной поляризации принятый сигнал равен

$$E_0 = A \left[ 1 + \frac{1 - r_1^2}{1 + r_2^2} \cos 2\alpha \right]^{1/2} \quad (22)$$

Если приемную антенну поворачивать вдоль оси и строить в полярных координатах график зависимости выходного сигнала от угла  $\beta_1$ , то получим поляризационную диаграмму, которая в общем случае имеет вид, показанный на рис.4.

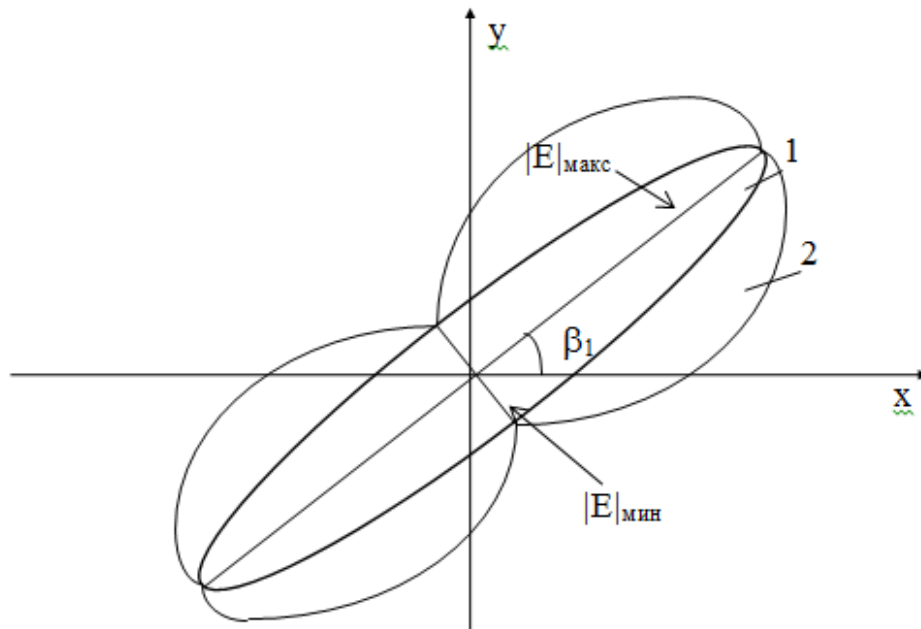


рис. 4. 1 - Поляризованный эллипс; 2 - поляризованная диаграмма.

Поляризационная диаграмма позволяет определить  $r_2$ ,  $\beta_2$ . Действительно, из (22) получается

$$r_2 = \frac{E_{0\text{макс}}}{E_{0\text{мин}}}, \quad \beta_2 = \beta_1, \quad \text{при } E_0 = E_{0\text{макс}} \quad (23)$$

где  $E_{0\text{макс}}$  - максимальная величина принятого сигнала;  $E_{0\text{мин}}$  - минимальная величина принятого сигнала.

На основе поляризационной диаграммы можно построить поляризационный эллипс.

Поляризация является важной характеристикой электромагнитных волн, позволяющей например, получить

дополнительную информацию о цели в радиолокации. Процессы, происходящие при распространении электромагнитных волн в намагниченных ферритах и плазме, также могут быть пояснены лишь при рассмотрении поляризации распространяющихся волн.

Не монохроматические электромагнитные поля кроме названных видов поляризации могут быть не поляризованными и частично поляризованными.

## ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Установка для исследования электромагнитных полей с различной поляризацией состоит из передающей, приемной частей и поляризационной решетки, расположенной в плоскости, перпендикулярной к направлению распространения электромагнитной волны. Функциональная схема установки показана на рис.5.

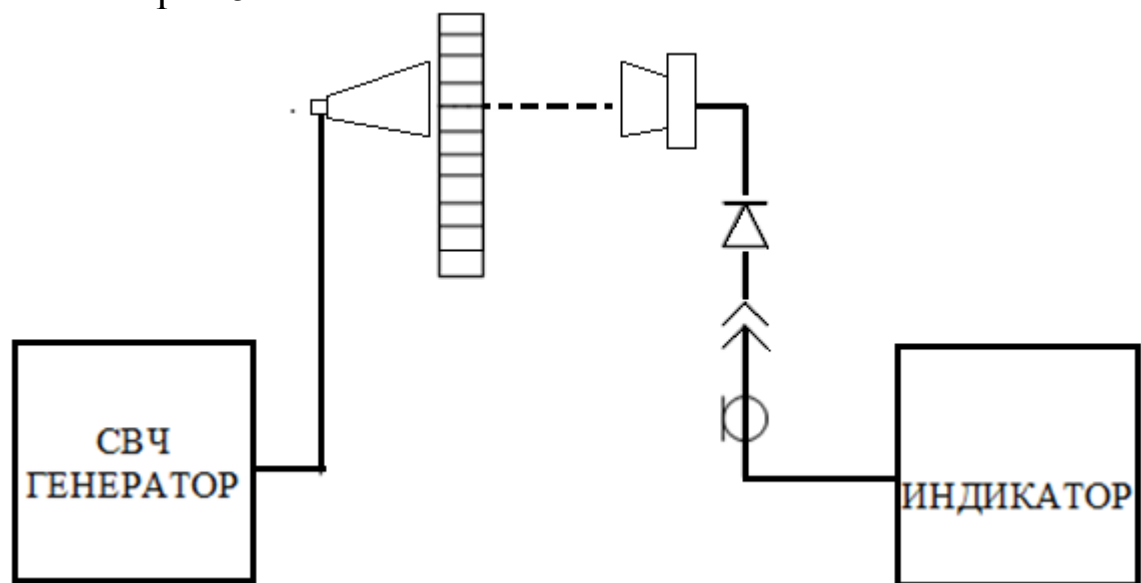


Рис.5. Функциональная схема лабораторной установки.

Передающая часть содержит СВЧ генератор 3-см диапазона длин волн, работающий в режиме внутренней модуляции, волноводный фидерный тракт, рупорную антенну. Передающая антенна является антенной линейной поляризации с вертикальной ориентацией вектора излучаемого поля.

Приемная часть содержит рупорную антенну линейной поляризации, которую можно поворачивать вокруг оси, совпадающей с направлением на передающую антенну. При этом по шкале можно отсчитывать значение угла  $\beta_1$ . СВЧ сигнал,

принятый антенной, подается на детекторную секцию, где происходит выделение низкочастотной составляющей, по частоте совпадающей с частотой внутреннего модулятора генератора.

Низкочастотный сигнал подается на индикатор, отклонение стрелки которого пропорционально величине мощности принятой антенной (это определяется тем, что детектор секции работает на квадратичном участке характеристики).

Поляризационная решетка может поворачиваться вокруг оси и устанавливаться на произвольный угол. Она состоит из набора тонких металлических пластин с размерами  $a=30\text{мм}$  и  $d=24\text{мм}$ .

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Включить аппаратуру установки согласно инструкциям по эксплуатации используемых приборов, прогреть аппаратуру в течение 10 - 15 минут. Настроить СВЧ генератор на частоту  $f_0$ , при которой  $(\varphi_{\perp}-\varphi_{\parallel})=90^{\circ}$ , для используемой поляризационной решетки. Численное значение частоты  $f_0$  определить расчетным путем с использованием формул (12) и (13). На частоте  $f_0$  настроить генератор на максимальную выходную мощность. Убедиться, что при этом показания индикаторного прибора зависят от уровня СВЧ мощности.

### 1. Исследование относительного затухания волн в поляризационной решетке

1.1. Установить приемную антенну в положение  $\beta_1=90^{\circ}$ .

1.2. Установить поляризационную решетку в положение  $\psi=0^{\circ}$ .

Отсчитать по индикатору показания, соответствующие этому случаю  $U_1$ , и записать их.

1.3. Установить поляризационную решетку в положение  $\psi=90^{\circ}$ .

Отсчитать и записать показания индикатора  $U_2$  соответствующие такому положению решетки.

1.4. Вычислить значение относительного затухания

$$L = \left( \frac{U_1}{U_2} \right)^{1/2} \quad (24)$$

и по формуле (20) определить значение угла  $\psi_{\text{кр}}$ , при котором возможно получение круговой поляризации.

## 2. Исследование электромагнитного поля с круговой поляризацией

2.1. Установить поляризационную решетку в положение  $\psi_{кр}$ , определенное в п.1.4.

2.2. Снять зависимость показаний индикатора  $U_3$  от положения приемной антенны  $\beta_1$ , поворачивая приемную антенну вдоль оси с интервалом  $15^\circ$ . Результаты измерений занести в таблицу 1.

2.3. По данным таблицы нарисовать поляризационную диаграмму.

Таблица 1

$\beta_1$	$0^\circ$	$15^\circ$	$30^\circ$	.....	$180^\circ$
$U_3$				.....	
$(U_3/U_{\text{макс}})^{1/2}$				.....	

2.4. Пользуясь диаграммой, определить коэффициент эллиптичности  $\gamma_2$  и угол ориентации  $\beta_2$  поляризационного эллипса.

**Примечание:** в результате погрешностей изготовления поляризационной решетки при выполнении п.2 коэффициент эллиптичности может быть менее 1.

## 3. Исследование электромагнитного поля с линейной поляризацией

3.1. Установить поляризационную решетку в положение  $\psi=90^\circ$ .

3.2. Выполнить пункты 2.2-2.4. Данные измерений занести в таблицу 2.

Таблица 2

$\beta_1$	$0^\circ$	$15^\circ$	$30^\circ$	.....	$180^\circ$
$U_3$				.....	
$(U_3/U_{\text{макс}})^{1/2}$				.....	

## 4. Исследование электромагнитного поля с эллиптической поляризацией.

4.1. Установить поляризационную решетку в положение  $\psi=15^\circ$ .

4.2. Выполнить пункты 2.2-2.4. Данные измерений занести в таблицу 3.

Таблица 3

$\beta_1$	0°	15°	30°	.....	180°
$U_3$				.....	
$(U_3/U_{\text{макс}})^{1/2}$				.....	

4.3. Установить поляризационную решетку в положение  $\psi=30^\circ$ .

4.4. Поворачивая приемную антенну вдоль оси отсчитать минимальное и максимальное показания индикатора. По данным измерения, пользуясь (23) определить поляризационные параметры.

4.5. Выполнить п. 4.4. для положения поляризационной решетки  $\psi=45^\circ$ ,  $\psi=60^\circ$ ,  $\psi=75^\circ$ .

4.6. Данные измерений по п.2.4., п.3.2, п.п.4.2. - 4.4. занести в таблицу 4.

Таблица 4

$\psi$	0°	15°	30°	.....	90°
$r_2$				.....	
$\beta_2$				.....	

По данным таблицы 4 построить графики зависимостей  $r_2(\psi)$  и  $\beta_2(\psi)$ . При этом также привести расчетные графики, построенные по (17) – (18.1).

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Функциональная схема установки.
3. Таблицы с экспериментальными результатами и расчетами.
4. Диаграммы по таблицам 1 – 3.
5. Графики по таблице 4, а также расчетные по (17) – (18.1).
6. Выводы по проделанной работе.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что понимается под поляризацией электромагнитных волн?
2. Какими параметрами определяется поляризация?
3. Какие устройства применяются для преобразования поляризации и как они работают?

4. Какие методы применяются для определения поляризационных параметров электромагнитных полей и в чем они заключаются?
5. Каким образом можно представить математически волны круговой, линейной и эллиптической поляризации?
6. Определить поляризационные параметры волны, полученной наложением волн  $E_x = E_0 \cos(\omega t - kz)$  и  $E_y = E_0 \cos(\omega t - kz + \pi/3)$ .
7. Антенны какого вида поляризации целесообразно использовать для радиосвязи между неподвижными объектами, между подвижными объектами?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Никольский В.В. Электродинамика и распространение радио волн. М., «Наука», 1973.
2. Конарейкин Д.Б., Потехин В.А., Павлов Н.Ф. Поляризация радиолокационных сигналов. М., «Советское радио», 1966.
3. Антенны эллиптической поляризации, пер. с англ. под ред. Шпунтова П. И. М., «Иностранная литература», 1961.