УДК 621.396.677.45

О механизме искажения поляризационных характеристик антенн круговой поляризации, расположенных вблизи металлического экрана

Н. Г. Каньшин

Определяются соотношения комплексных токов во взаимно перпендикулярных вибраторах, образующих турникетную антенну круговой поляризации, которая расположена вблизи идеально проводящего экрана или облучается полем круговой поляризации другой антенны. Приведены зависимости отношений амплитуд и разностей фаз токов в вибраторах от расстояния между антенной и экраном или между активной и пассивной антеннами. На основе этой модели выясняется механизм искажений поляризационных характеристик антенн круговой поляризации (в частности, спиральных антенн) в присутствии экрана. Показано, что характеристики искажаются вследствие перераспределения тока на проводниках антенны за счет волны, отраженной от экрана.

Ключевые слова: антенны, круговая поляризация, спиральная антенна, модель, турникетная антенна, рефлектор, механизм искажений.

1. Введение

В настоящее время на практике весьма широкое распространение получили антенны эллиптической поляризации, которые достаточно полно описаны в литературе [1, 2]. Наиболее интересными из них являются плоские и конические спиральные антенны, отличающиеся широкополосностью не только по диаграммам направленности, но и по поляризационным характеристикам.

Частотной независимостью спиральные антенны обладают лишь при их расположении в свободном пространстве. При расположении вблизи металлических тел их низкочастотные характеристики претерпевают существенные изменения. Возможность улучшения их характеристик в значительной степени определяется пониманием тех физических процессов, которые в них происходят. Однако в настоящее время физическая сторона этих процессов по большей части остается невыясненной. В известной нам литературе механизм влияния отражающего экрана на характеристики спиральных антенн не рассматривался.

Строгий подход к решению задачи о спиральной антенне с несимметричным возбуждением, расположенной вблизи экрана, наталкивается на значительные математические трудности. Поэтому представляет интерес подход к решению этой проблемы исходя из более простых физических соображений, в то же время не теряющих общности полученных результатов.

Для выяснения механизма влияния экрана вместо спиральной антенны мы будем рассматривать антенну с вращающейся поляризацией, образованной двумя взаимно ортогональными полуволновыми вибраторами, поля излучения которых сдвинуты по фазе на некоторый угол. Такое упрощение, как будет показано ниже, связано с тем, что для выяснения механизма влияния экрана имеет основное значение одно принципиальное явление, которое свойственно всем антеннам вращающейся поляризации.

2. Антенна эллиптической поляризации вблизи экрана

Пусть имеем антенну A эллиптической поляризации, представляющую собой пару взаимно ортогональных вибраторов 1 и 2, питаемых от общей линии передачи со сдвигом фаз, равным kl, и пусть эта антенна расположена вблизи металлического экрана таким образом, что вибраторы параллельны ему (рис. 1). Требуется определить соотношение токов в вибраторах 1 и 2 в присутствии экрана.

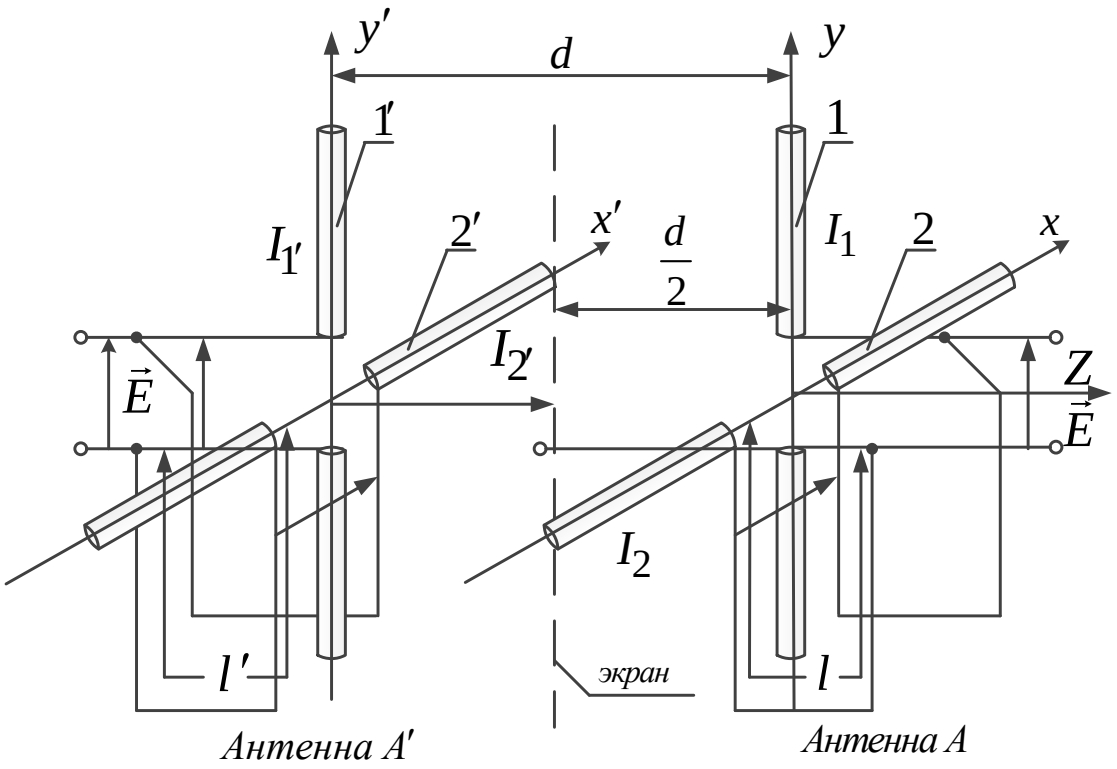

Рис. 1. Антенны эллиптической поляризации, представляющие собой пару взаимно ортогональных вибраторов

В соответствии с методом зеркальных изображений экран можно заменить такой же системой двух вибраторов (антенной A'), лишь с той разницей, что токи в них противоположны токам в вибраторах антенны A (рис. 1).

Будем считать, что антенны A и A' различные. Для антенны A составим эквивалентную схему (рис. 2).

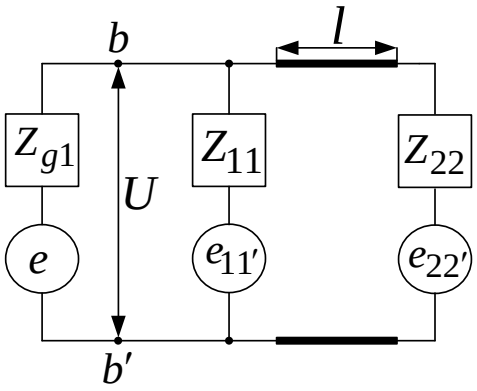

Рис. 2. Эквивалентная схема антенны A с отрезком линии

На этой схеме: Z_g – внутреннее сопротивление генератора, Z_{11} и Z_{22} – сопротивления вибраторов 1 и 2, e – ЭДС, приложенная к линии, а $e_{11}{}'$ и $e_{22}{}'$ – ЭДС, наведенные вибраторами $1'$ и $2'$ соответственно на вибраторы 1 и 2. Отрезок l линии передачи можно представить в виде Т-образной эквивалентной схемы [3], с учетом которой полные эквивалентные схемы обеих антенн будут выглядеть, как показано на рис. 3.

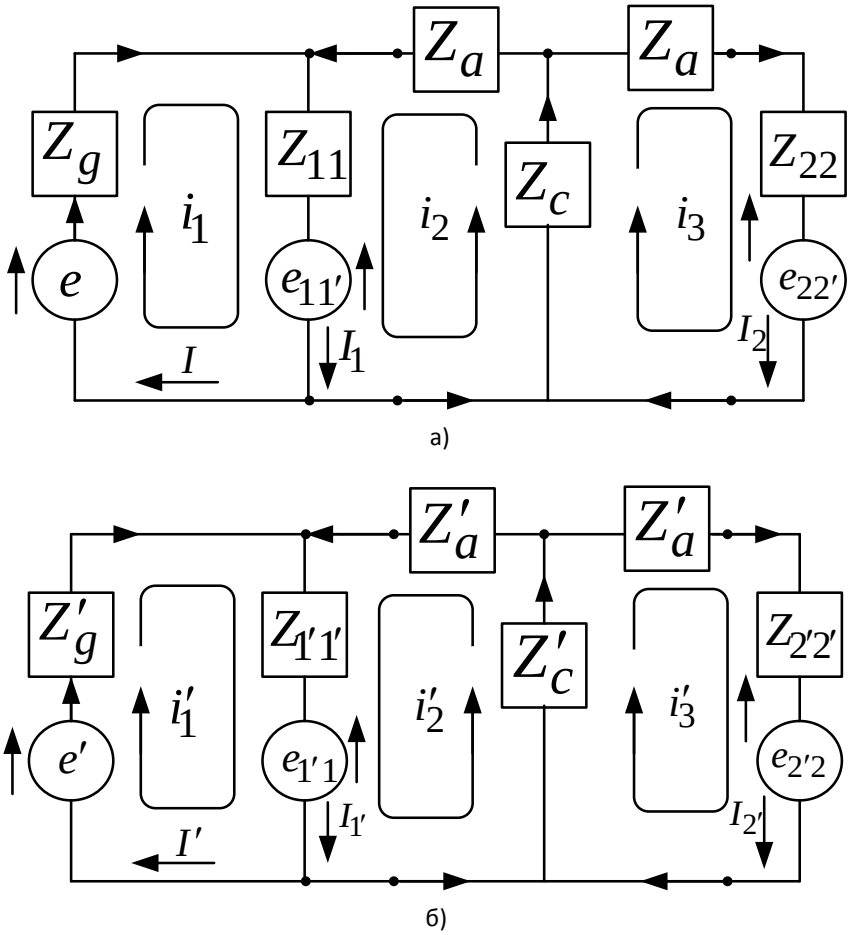

Рис. 3. Полная эквивалентная схема антенны A (а) и антенны A' (б)

$$Z_a = \frac{j(1-\cos kl)W}{\sin kl},\ Z_c = -\frac{jW}{\sin kl}; \tag{1}$$

где W – волновое сопротивление линии, $k = 2\pi/\lambda$ (λ – длина волны в линии), $j = \sqrt{-1}$. Зависимость от времени принимается в виде $\exp(jwt)$ и используется система единиц СИ. Заметим, что обозначения для антенны A' отличаются от обозначений для антенны A только штрихами.

Контурные уравнения для эквивалентных схем записываются следующим образом:

$$\bar{Z}_{11}i_1 + \bar{Z}_{12}i_2 = e - e_{11'}, \tag{2}$$

$$\bar{Z}_{21}i_1 + \bar{Z}_{22}i_2 + \bar{Z}_{23}i_3 = -e_{11'}, \tag{3}$$

$$\bar{Z}_{32}i_2 + \bar{Z}_{33}i_3 = -e_{22'}, \tag{4}$$

$$\bar{Z}'_{11}i'_1 + \bar{Z}'_{12}i'_2 = e' - e_{1'1}, \tag{5}$$

$$\bar{Z}'_{21}i'_1 + \bar{Z}'_{22}i'_2 + \bar{Z}'_{23}i'_3 = -e_{1'1}, \tag{6}$$

$$\bar{Z}'_{32}i'_2 + \bar{Z}'_{33}i'_3 = -e_{2'2}; \tag{7}$$

где

$$\left.\begin{aligned}
&\bar{Z}_{11} = Z_g + Z_{11},\ \bar{Z}_{12} = \bar{Z}_{21} = Z_{11},\ \bar{Z}_{22} = Z_{11} + Z_c + Z_a,\\
&\bar{Z}_{23} = \bar{Z}_{32} = Z_c,\ \bar{Z}_{33} = Z_{22} + Z_c + Z_a,\ e_{11'} = I_{1'}Z_{11'},\ e_{22'} = I_{2'}Z_{22'};\\
&\bar{Z}'_{11} = Z'_g + Z_{1'1},\ \bar{Z}'_{12} = \bar{Z}'_{21} = Z_{1'1'},\ \bar{Z}'_{22} = Z_{1'1'} + Z'_c + Z'_a,\\
&\bar{Z}'_{23} = \bar{Z}'_{32} = Z'_c,\ \bar{Z}'_{33} = Z_{2'2'} + Z'_c + Z'_a,\ e_{1'1} = I_1 Z_{1'1},\ e_{2'2} = I_2 Z_{2'2};
\end{aligned}\right\} \tag{8}$$

здесь e и e' – ЭДС сторонних генераторов, а e_{mn} – ЭДС на зажимах m-го вибратора, наводимая полем излучения n-го вибратора, i_k, i'_k – контурные токи, причем

$$\left.\begin{aligned}
&i_1 + i_2 = I_1, \quad i_3 = I_2;\\
&i'_1 + i'_2 = I_{1'}, \quad i'_3 = I_{2'};
\end{aligned}\right\}. \tag{9}$$

С учетом (8) и (9) уравнения (3), (4), (6) и (7) можно записать в виде

$$\bar{Z}_{22}I_1 + \bar{Z}_{23}I_2 + Z_{11'}I_{1'} = Ci'_1, \tag{10}$$

$$\bar{Z}_{23}I_1 + \bar{Z}_{33}I_2 + Z_{22'}I_{2'} = \bar{Z}_{23}i_1, \tag{11}$$

$$\bar{Z}'_{22}I_{1'} + \bar{Z}'_{23}I_{2'} + Z_{1'1}I_1 = C'i'_1, \tag{12}$$

$$\bar{Z}'_{23}I_{1'} + \bar{Z}'_{33}I_{2'} + Z_{2'2}I_2 = \bar{Z}'_{23}i'_1, \tag{13}$$

где $C = \bar{Z}_{22} - \bar{Z}_{12}, C' = \bar{Z}'_{22} - \bar{Z}'_{12}$.

Если антенна A расположена вблизи металлического экрана, то должно быть $I'_1 = -I_1$, $I'_2 = -I_2$, и, полагая $\bar{Z}'_{nm} = \bar{Z}_{nm}, Z_{nm'} = Z_{m'n}, i'_1 = -i_1, e' = -e,$ из уравнений (10) и (11) получаем

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{I_{2'}}{I_{1'}} = \frac{(\bar{Z}_{22} - Z_{11'})\bar{Z}_{23} - C\bar{Z}_{23}}{C(\bar{Z}_{33} - Z_{22'}) - \bar{Z}_{23}^2}. \tag{14}$$

При питании вибраторов антенны A со сдвигом фаз $kl = (2n+1)\pi/2$ (где n – целое число) из формулы (1) следует, что

$$Z_c = -j(-1)^n W, Z_c + Z_a = 0, \tag{15}$$

и формула (14) упрощается и принимает вид

$$\frac{I_2}{I_1} = -j(-1)^n \frac{Z_{11} - Z_{11'}}{W}. \tag{16}$$

Зная соотношение токов в вибраторах, по формуле (2) с учетом (11), (8) и (9) легко найти входное сопротивление антенны вращающейся поляризации между точками b и b' (рис. 2) в присутствии экрана:

$$Z_{вх} = \frac{U}{i_1} = \frac{e - Z_g i_1}{i_1} = (\bar{Z}_{12} - Z_{11'})\left(1 + \frac{\bar{Z}_{33} - Z_{22'}}{\bar{Z}_{23}}\frac{I_2}{I_1}\right)^{-1}.$$

В частном случае при выполнении условий (15) эта формула записывается в виде

$$Z_{вх} = \frac{W^2(Z_{11} - Z_{11'})}{W^2 + (Z_{11} - Z_{11'})(Z_{22} - Z_{22'})}.$$

3. Возбуждение антенны эллиптической поляризации полем излучения другой антенны

Предположим, что одна из антенн (например, антенна 1) является пассивной, то есть $e = 0$. Найдем токи на ее вибраторах. Для этого воспользуемся полученными выше контурными уравнениями.

Из уравнений (2) и (3) находим выражения для отношений токов $\xi' = \frac{I_{2'}}{I_{1'}}$ и $\xi = \frac{I_2}{I_1}$, которые в случае идентичных антенн, т.е. в случае, когда $Z_{2'2'} = Z_{1'1'} = Z_{22} = Z_{11}, Z_{2'2} = Z_{1'1} = Z_{22'} = Z_{11'} = Z_{12}$, и при выполнении условий

$$kl = (2n+1)\pi/2, Z_c = -j(-1)^n W, Z_c + Z_a = 0,$$

$$kl' = (2m+1)\pi/2, Z'_c = -j(-1)^m W, Z'_c + Z'_a = 0$$

записываются в виде:

$$\xi = \frac{Z_g(Z_{12}^2 - Z_{11}^2 - Z_c Z'_c)}{Z_g Z_{11}(Z_c + Z'_c) - Z_c^2 Z'_c}. \tag{17}$$

Полагаем также $Z_g = Z_{11} = W$:

$$\xi = \frac{I_2}{I_1} = j\frac{\left(\frac{Z_{12}}{W}\right)^2 + (-1)^{n+m} - 1}{2(-1)^m + (-1)^n}. \tag{18}$$

Подставляя выражение (18) для ξ в формулу для ξ', получим соотношение токов в возбуждающей антенне круговой поляризации с учетом взаимного влияния:

$$\xi' = \frac{I_{2'}}{I_{1'}} = -j\frac{3 - 2\left(\frac{Z_{12}}{W}\right)^2}{3(-1)^m + (-1)^n\left(\frac{Z_{12}}{W}\right)^2}. \tag{19}$$

Рассмотрим случай, когда взаимным влиянием можно пренебречь. Предположим, что антенна A является пассивной, и пусть на ее вибраторах 1 и 2 активной антенной A' наводятся ЭДС e_1 и e_2 соответственно. Эквивалентная схема пассивной антенны совпадает со схемой, приведенной на рис. 3а, где необходимо положить $e_{11'} = e_1, e_{22'} = e_2$ и $e = 0$.

Если пассивная антенна имеет круговую поляризацию, т.е. $\bar{Z}_{23} = Z_c = -j(-1)^n W$ и $Z_g = Z_{22} = Z_{11} = W$, то отношения токов в ее вибраторах для падающего поля с произвольной поляризацией в соответствии с (9) и формулами разд. 3 записываются в виде

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{\frac{e_2}{e_1} + j(-1)^n}{2 + j(-1)^n\frac{e_2}{e_1}}, \tag{20}$$

причем приняты во внимание формулы

$$\frac{i_1}{e_1} = \frac{-\left[1 - j(-1)^n\frac{e_2}{e_1}\right]}{3W}, \qquad \frac{i_2}{e_1} = \frac{-\left[1 + 2j(-1)^n\frac{e_2}{e_1}\right]}{3W}, \qquad \frac{i_3}{e_1} = \frac{-\left[\frac{e_2}{e_1} + j(-1)^n\right]}{3W}. \tag{21}$$

В частном случае падения на пассивную антенну волны с круговой поляризацией, когда $\frac{e_2}{e_1} = \frac{I_{2'}}{I_{1'}} = -j(-1)^m$, отношение токов равно выражению

$$\frac{I_2}{I_1} = j\frac{(-1)^{n+m} - 1}{2(-1)^m + (-1)^n}, \tag{22}$$

которое совпадает с выражением (18) при $Z_{12} = 0$. Напряжение на нагрузке $Z_н = Z_g = W$ в этом случае на основании (21) определяется соотношением:

$$U_н = i_1 Z_g = \frac{e_1}{3}\left[(-1)^{n+m} - 1\right]. \tag{23}$$

При более общих предположениях, а именно при требовании выполнения только двух условий: $Z_{11} = Z_{22} = W$ получаем формулы для токов i_1, i_2, i_3:

$$\frac{i_1}{e_1} = -\frac{1 + \frac{e_2}{e_1} e^{-jkl}}{2Z_g + W}, \tag{24}$$

$$\frac{i_2}{e_1} = \frac{-Z_g + (Z_g + W)\frac{e_2}{e_1} e^{-jkl}}{W(2Z_g + W)}, \tag{25}$$

$$\frac{i_3}{e_1} = \frac{I_2}{e_1} - \frac{-\frac{e_2}{e_1}\left[Z_g + \frac{W}{2}\left(1 + e^{-j2kl}\right)\right] - Z_g e^{-jkl}}{W(2Z_g + W)}. \tag{26}$$

Из формул (9), (24) – (26) находим отношение токов:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{\frac{e_2}{e_1}\left[Z_g + \frac{W}{2}\left(1 + e^{-j2kl}\right)\right] - Z_g e^{-jkl}}{(Z_g + W) - Z_g \frac{e_2}{e_1} e^{-jkl}}.$$

4. Анализ полученных результатов

Прежде чем переходить к обсуждению полученных в предыдущих разделах формул, сделаем одно замечание относительно направления вращения поляризации в эллиптически поляризованном поле. Известно, что если две взаимно перпендикулярные компоненты $\vec{E}_x$ и $\vec{E}_y$ электрического поля сдвинуты по фазе на некоторый угол ψ, то результирующее поле будет обладать эллиптической поляризацией. Однако вопрос об определении направления вращения поляризации часто вызывает путаницу; это связано, по-видимому, с тем, что направление поляризации определяется не только разностью фаз ψ между компонентами, но и взаимным расположением компонент относительно направления распространения. Кроме того, это объясняется отсутствием достаточно простого и четкого правила. А определение направления поляризации путем геометрических построений требует много времени и лишено общности. Чтобы заполнить этот пробел, мы приводим здесь следующее.

Правило. *Если имеем две взаимно перпендикулярные компоненты E_x и E_y электрического поля в прямоугольной системе координат хоу, лежащие в плоскости, нормальной направлению распространения вдоль оси z, то направление вращения эллиптической поляризации результирующего поля определяется по правилу правого буравчика следующим образом: поступательное движение буравчика при его вращении по часовой стрелке от компоненты E_x (или E_y) к компоненте E_y (или E_x) при условии поворота на наименьший угол между ними должно совпадать с направлением распространения волны; тогда, если $0 < \arg E_x - \arg E_y < \pi$ (или $0 < \arg E_y - \arg E_x < \pi$), то направление вращения поляризации – правое, если $-\pi < \arg E_x - \arg E_y < 0$ (или $-\pi < \arg E_y - \arg E_x < 0$), то направление вращения поляризации – левое.*

Проведем анализ формул, полученных в разд. 2. Рассмотрим формулу (16), характеризующую соотношение токов в вибраторах антенны эллиптической поляризации в присутствии экрана в зависимости от расстояния d между вибраторами антенны A и вибраторами зеркально отраженной в экране антенны A' (рис. 1). При условии согласования вибраторов с линиями передач ($Z_{11} = W$) и обозначении $Z_{11'} = Z_{12}$ формула (16) принимает вид $(n = 0)$:

$$\frac{I_2}{I_1} = -j\left(1 - \frac{Z_{12}}{W}\right).$$

На рис. 4 приведены кривые, рассчитанные по этой формуле[1], из которых следует, что при малых d $(d \le 0.15\lambda)$ эллиптичность антенны сильно ухудшается и в пределе при $d/\lambda \to 0$ поляризация антенны стремится к линейной. При удалении антенны от экрана вследствие уменьшения связи, как это и следует ожидать, амплитудное соотношение токов стремится к единице, а разность фаз токов – к $270°$.

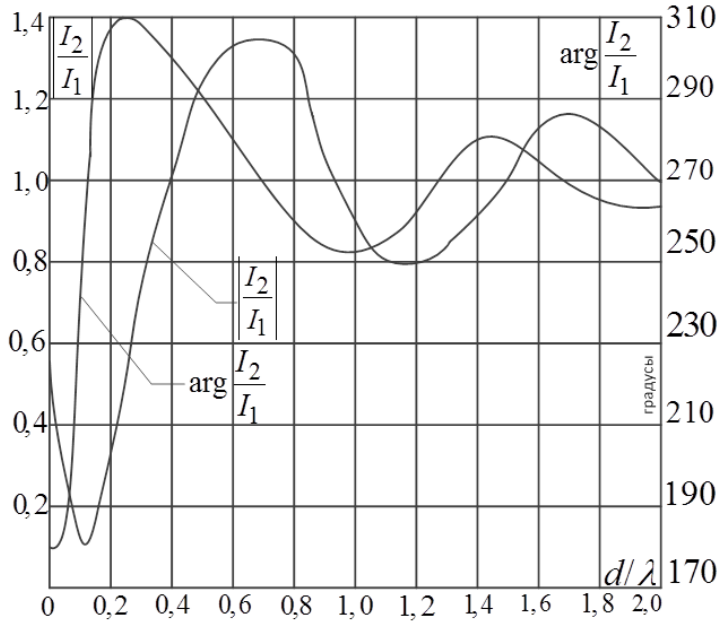

Рис. 4. Зависимость отношения амплитуд и разности фаз токов в вибраторах антенны круговой поляризации в присутствии экрана от d/λ

Для понимания механизма искажения поляризационных характеристик антенны круговой поляризации, расположенной вблизи экрана, необходимо отметить следующее. Волна, отраженная экраном, имеет такое же направление вращения поляризации, что и волна, излученная антенной в сторону от экрана. И при их суперпозиции не происходит изменения направления вращения поляризации. Поэтому отраженная волна непосредственно не может искажать поляризационные характеристики. Очевидно, что искажение этих характеристик происходит за счет дополнительного поля, излучаемого антенной при ее возбуждении волной, отраженной от экрана. Для выяснения механизма работы антенны вблизи экрана необходимо рассмотреть токи в пассивной антенне эллиптической (круговой) поляризации при облучении ее эллиптически поляризованной волной. Основные формулы для этого случая получены в разд. 3.

Анализируя формулу (18), характеризующую соотношение токов в вибраторах пассивной антенны, расположенной вблизи такой же активной антенны, следует различать два случая:

1) направления поляризаций приемной антенны и возбуждающей волны противоположны $(n = m = 0)$,

[1] В расчетах здесь и ниже вибраторы предполагались полуволновыми.

2) эти направления совпадают $(n=0, m=1)$. Для выяснения механизма работы антенны, расположенной вблизи экрана, основное значение имеет рассмотрение первого случая. Соответствующие кривые для этого случая приведены на рис. 6, откуда следует, что с увеличением расстояния d между антеннами отношение токов быстро стремится к нулю, а также следует, что при изменении электрического расстояния между антеннами, например, на $360°$, разность фаз токов в вибраторах 2 и 1 пассивной антенны меняется на $720°$. Эта зависимость более отчетливо проявляется, если воспользоваться ([5], стр. 197) асимптотическим выражением для взаимного сопротивления Z_{12} двух полуволновых вибраторов, справедливого при $d > \lambda$:

$$Z_{12} = j120\frac{e^{-jkd}}{kd}.$$

Действительно, подставляя это выражение в формулу (18), при $(n+m=0)$ получим

$$\frac{I_2}{I_1} = -j\frac{4800}{W^2}\frac{e^{-j2kd}}{(kd)^2}. \qquad (27)$$

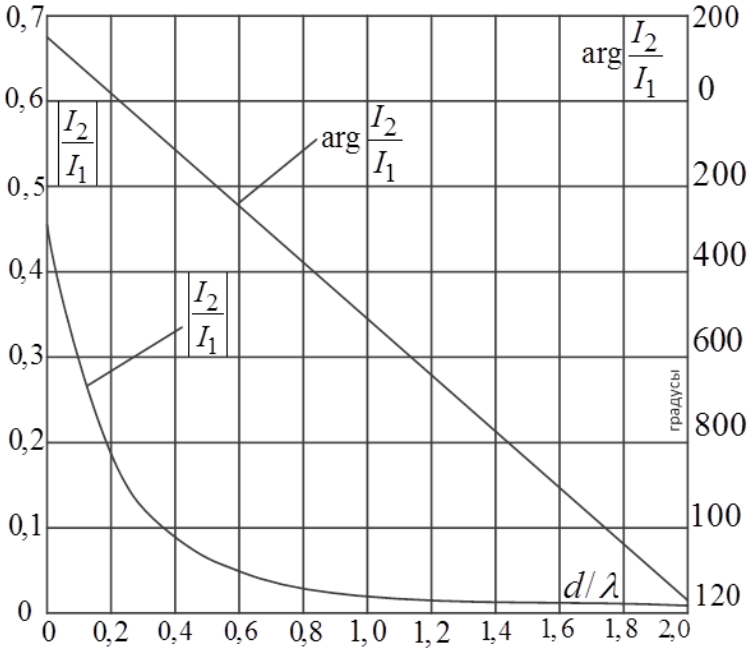

Рис. 5. Зависимость отношения амплитуд и разности фаз токов в вибраторах пассивной антенны круговой поляризации при облучении полем круговой поляризации противоположного направления вращения ($n=0$, $m=0$) от d/λ

Кривые для второго случая, когда направления поляризаций приемной антенны и возбуждающей волны совпадают, приведены на рис. 6. Из этого рисунка следует, что для малых расстояний между передающей и приемной антеннами поляризация поля, переизлученного последней антенной, близка к линейной. Однако при увеличении расстояния поляризация этого поля приближается к круговой, причем того же направления, что и поляризация падающей волны.

Для получения новых закономерностей и интерпретации результатов рассмотрим подробнее формулу (20), которая не учитывает взаимное влияние антенн. Соотношение токов, определяемое этой формулой, зависит от соотношения ортогональных составляющих e_2 и e_1 падающего поля.

В табл. 1 на основании формулы (20) приведены виды и направления поляризаций поля, переизлученного (рассеянного) пассивной антенной, в зависимости от вида поляризации возбуждающего поля.

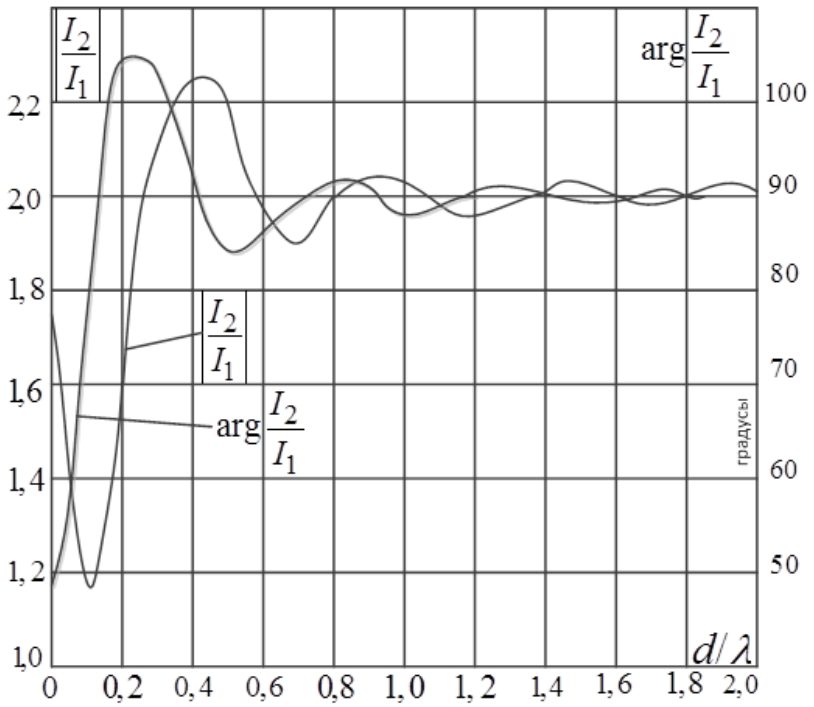

Рис. 6. Зависимость отношения амплитуд и разности фаз токов в вибраторах пассивной антенны круговой поляризации при облучении полем круговой поляризации совпадающего направления вращения ($n=0$, $m=1$) от d/λ

Таблица 1. Виды поляризации волн

	Вид поляризации волны, рассеянной пассивной антенной при распространении ее в направлении падающей волны для разных видов поляризации падающей волны				
Характеристика пассивной антенны	Круговая правая ($m=1$) $\frac{e_2}{e_1}=e^{j\frac{\pi}{2}}$	Круговая левая ($m=0$) $\frac{e_2}{e_1}=e^{-j\frac{\pi}{2}}$	Линейная вертикальная $\frac{e_2}{e_1}=0$	Линейная горизонтальная $\frac{e_2}{e_1}=\infty$	Линейная наклонная $\frac{e_2}{e_1}=e^{j\pi}$
Антенна правой круговой поляризации ($E_2/E_1=\exp(j\pi/2)$) при излучении в сторону активной антенны (антенна нагружена на сопротивление $Z_g=W$)	$\frac{E_2}{E_1}=2e^{j\frac{\pi}{2}}$	$\frac{E_2}{E_1}=0$	$\frac{E_2}{E_1}=0.5e^{j\frac{\pi}{2}}$	$\frac{E_2}{E_1}=0.5e^{-j\frac{\pi}{2}}$	$\frac{E_2}{E_1}=0.63e^{j162^\circ}$
То же, что и выше (антенна разомкнута, $Z_g=\infty$)	$\frac{E_2}{E_1}=\infty$	$\frac{E_2}{E_1}=0$	$\frac{E_2}{E_1}=e^{j\frac{\pi}{2}}$	$\frac{E_2}{E_1}=e^{-j\frac{\pi}{2}}$	$\frac{E_2}{E_1}=e^{j\pi}$
То же, что и выше (антенна короткозамкнута, $Z_g=0$)	$\frac{E_2}{E_1}=0$				

Из этой таблицы следует, в частности, что при облучении антенны круговой поляризации линейно поляризованной волной поляризация рассеянного поля меняется от линейной до круговой обоих направлений вращения в зависимости от положения электрического вектора падающей волны относительно антенны.

Рассмотрим несколько подробнее случай, когда на антенну, например, правой круговой поляризации, падает волна с круговой поляризацией. Как следует из табл. 1 и формул (18) и (17), при совпадающих поляризациях антенны и падающей волны рассеянное антенной поле имеет эллиптическую или круговую поляризацию (в зависимости от соотношения волнового сопротивления линии и сопротивления нагрузки) того же направления, что и в падающей волне. При противоположно направленных поляризациях антенны и падающей волны согласно формуле (23) мощность волны не воспринимается антенной. Это свойство антенны круговой поляризации хорошо известно [2, с. 29] и оно используется, например, в радиолокации для ослабления отражений от осадков. Однако вопрос о виде поляризации рассеянного антенной поля в этом случае в литературе не рассматривался, хотя он имеет большое значение в антенной технике. В связи с этим на основании полученных результатов (см. формулу (22)) представляется целесообразным теорему 5 работы [2, с. 29] для частного случая круговой поляризации дополнить и записать в следующем виде.

Теорема. *Если на антенну круговой поляризации одного направления вращения (например, правого вращения) падает волна с круговой поляризацией противоположного направления вращения (левого вращения), то принятая антенной мощность равна нулю и токи на проводниках антенны вызывают рассеянную волну линейной поляризации.*

Отсюда следует два важных вывода. Во-первых, так как результирующие токи вблизи входных клемм спиральной антенны равны нулю, то мощность падающей волны антенна не воспринимает, что находится в соответствии с хорошо известным свойством любых антенн круговой поляризации для рассматриваемого случая. Во-вторых, рассеянное спиральной антенной круговой поляризации с направлением вращения, противоположным вращению поляризации падающей волны, поле имеет линейную поляризацию.

5. Заключение

Полученные в настоящей работе результаты позволяют сделать заключение о том, что наблюдаемые на практике искажения поляризационных характеристик антенн круговой поляризации (например, спиральных), расположенных вблизи металлических экранов или в невыступающей полости (резонаторе), происходят вследствие перераспределения токов на проводниках антенны за счет волны, отраженной от экрана или от задней стенки резонатора. При достаточно большом удалении антенны от экрана рассеянное антенной поле в этом случае имеет линейную поляризацию; рассеянное поле, складываясь с полем, излученным антенной, и с полем, отраженным от экрана и прошедшим через антенну, приводит к искажению характеристик. При малом расстоянии между антенной и экраном, например, если антенна расположена в резонаторе и при значительном удалении ее от задней стенки (но для не слишком большого диаметра резонатора), за счет сильного взаимного влияния результирующее поле может иметь линейную поляризацию, несмотря на то что отдельная антенна имеет круговую поляризацию.

В данной работе мы в основном интересовались искажениями поляризационных характеристик. В заключение рассмотрим коротко вопрос об искажении амплитудных характеристик. Очевидно, результирующее поле антенны круговой поляризации, представляющей собой, например, пару ортогональных вибраторов и расположенной вблизи экрана, является суммой полей действительных вибраторов и зеркально отраженных в экране. Вследствие этого диаграммы направленности за счет отраженного поля будут искажаться; в частности, при расстоянии между антенной и экраном, приблизительно равном половине длины волны, диаграммы направленности будут раздваиваться аналогично тому, как это происходит при расположении

одиночного вибратора вблизи экрана на соответствующем расстоянии от него [5, с. 166]. Искажения диаграмм, обусловленные рассеянным на антенне полем, будут иметь второстепенное значение.

Аналогичным образом происходит искажение диаграмм направленности антенны, расположенной в невыступающей полости, за исключением того, что в этом случае поля в полости будут являться суммой определенных типов волн.

Показанная в настоящей работе возможность замены сложных антенн круговой поляризации, например, спиральных логарифмических антенн, более простыми для анализа вибраторными антеннами с целью выяснения особенностей работы реальных антенн вблизи экранов (и в резонаторах) позволяет в некоторых случаях получать важные количественные закономерности, справедливые для реальных антенных устройств.

Литература

1. Сверхширокополосные антенны / сб. переводов с англ. под ред. Л. С. Бененсона. М.: Мир, 1964. 416 с.
2. Антенны эллиптической поляризации / сб. переводов с англ. под ред. А. И. Шпунтова. М.: ИИЛ, 1961. 357 с.
3. *Дж. Хелзайн.* Пассивные и активные цепи СВЧ / перевод с англ. под ред. А.С. Галина. М.: Радио и связь, 1981. 200 с.
4. *Марков Г. Т.* Антенны. Л.: Госэнергоиздат, 1960. 534 с.
5. *R. McFee, T. M. Maher.* Effect of surface reflections on rain cancellation of circularly polarized radars // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 1959. V. 7, № 2. P. 199–201.
6. *Скороспелов Г. А., Каньшин Н. Г.* Ослабление отражения от осадков // Радиоэлектроника. 1958. № 12 (18). С. 50.

Статья поступила в редакцию 13.04.2017;
переработанный вариант – 23.06.2017.

Каньшин Николай Григорьевич

к.ф.-м.н., доцент кафедры систем мобильной связи Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики (630102, Новосибирск, ул. Кирова, 86), тел. (383) 2-698-263.

On the distortion mechanism of circularly polarized antennas placed near metallic screen (or inside a resonator)

N. Kan'shin

In this article, correlation of complex currents in mutually perpendicular vibrators, forming circularly polarized turnstile antenna, which is located near superconductive screen or is irradiated by another antenna's circularly polarized field is considered. Correlations of amplitude and current phases differences in vibrators with the distance between the antenna and the screen or between active and passive antennas are presented.

On the basis of this model, the mechanism of distortion of circularly polarized antenna (helical antennas in particular) characteristics in the presence of the screen is found out. It is shown that the characteristics are distorted as a result of the currents redistribution on antenna's conductors because of the wave being reflected from the screen.

Keywords: antennas, circular polarization, helical antenna, model, turnstile antenna, reflector, distortion mechanism.