

**МАТРИЧНЫЙ АНАЛИЗ
И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ПОЛОСКОВОЙ АНТЕННЫ
БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ С НАПРАВЛЕННЫМИ ОТВЕТВИТЕЛЯМИ
НА СВЯЗАННЫХ ЛИНИЯХ**

В. В. Комаров, В. Н. Дивий

Описываются результаты матричного анализа, машинного эксперимента и экспериментальных исследований полосковой антенны на кольцевых резонаторах бегущей волны с направленными ответвителями на связанных линиях. Выработаны методические рекомендации для создания антенны с максимально улучшенными характеристиками, которые были учтены при конструировании облучателя для солнечных наблюдений на РАТАН-600.

The results of matrix analysis, computer-aided design and experimental researches of the microstrip running wave antenna with the directional couplers at parallel coupled lines are described.

The methodical recommendations for creating the antenna with the most improved characteristics which were taken into account to design the primary feed for solar researches at the RATAN-600 radiotelescope.

Многие радиоастрономические задачи по наблюдению нестационарных процессов, особенно на Солнце, требуют одновременного анализа радиоизлучения в широкой полосе частот. Решение их может идти двояким путем. Либо использовать в качестве первичных облучателей для рефлекторных радиотелескопов сверхширокополосную (с октавной полосой или более) антенну, способную разделять левую и правую круговые поляризации, что необходимо для определения магнитного поля радиоисточника, — либо проводить одновременные наблюдения на нескольких радиотелескопах, имеющих в качестве первичного облучателя обычные (с полосой порядка 5—15 %) анализаторы поляризации, настроенные на соответствующие частоты. Если для малых зеркальных радиотелескопов можно использовать второй вариант, то для больших такие задачи можно решать, только применяя сверхширокополосный анализатор поляризации.

В силу особенности радиотелескопа РАТАН-600, являющегося антенной переменного профиля, для решения подобных задач используется квазиродновременный способ. Прием радиоизлучения предусматривает последовательное прохождение радиоисточника через входные тракты приемной аппаратуры (рупоры), расположенные на одной линии в фокальной плоскости. Но так как в фокусе может находиться только один рупор с соответствующей длиной волны, то для других регистрируемых волн возникают абберрационные искажения и, кроме того, исключается одновременность наблюдения во всем исследуемом диапазоне.

В солнечных наблюдениях на РАТАН-600 в дециметровом диапазоне используется многоволновый облучатель с единым фазовым центром. Он представляет собой набор вложенных друг в друга концентрических полосковых антенн на основе кольцевых резонаторов бегущей волны (РБВ) с направленными ответвителями на связанных линиях. Принцип работы такой системы описан в [1]. Полосковая кольцевая антенна на РБВ представлена на рис. 1. Антенна осуществляет простое разделение каналов левой и правой круговой поляризации,

позволяет определять параметры Стокса: интенсивность I и поляризацию V , необходимые для исследования радиоизлучения космических объектов.

При экспериментальных исследованиях облучателя на РБВ [2] встал вопрос о том, как влияют на работу антенны отклонения того или иного конструктивного размера, насколько критична антенна к своей геометрии. Экспериментальная проверка здесь очень трудоемка. Так, чтобы изменить какой-либо геометрический размер полосковой антенны, необходимо фактически создать новый вариант для исследования. Поэтому возникла необходимость более детального теоретического исследования полосковой антенны на кольцевых РБВ с учетом возможного разброса конструктивных размеров и их изменений в реальных условиях эксплуатации.

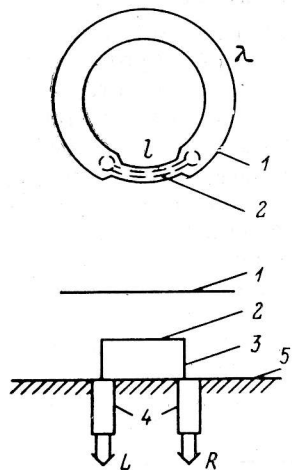


Рис. 1. Полосковая антенна на основе кольцевого резонатора бегущей волны.

1 — излучающее кольцо, собственно резонатор бегущей волны, выполненный в виде тонкого плоского кольца, длина которого равна λ ; 2 — возбуждающий полосок, выполненный в виде тонкой полосковой линии; 3 — токонесущие стойки, на которые опирается возбуждающий полосок 2; 4 — согласующие трансформаторы с соответствующими левым и правым выходами; 5 — экран; l — угловая длина участка связи.

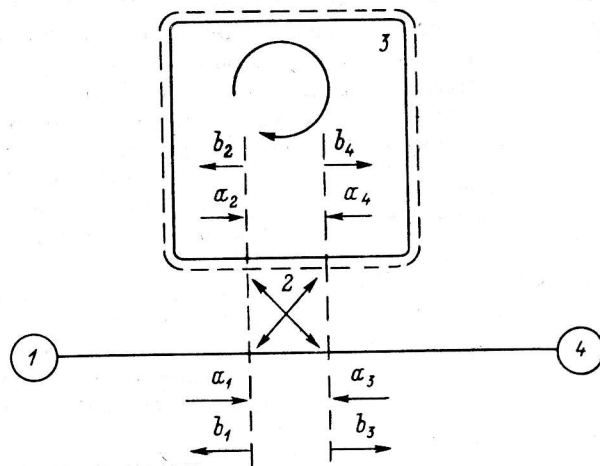


Рис. 2. Схема, показывающая принцип работы антенны на РБВ.

Кольцевой резонатор бегущей волны 3 представляет собой свернутую в кольцо длинную линию, связанную с генератором 1 и нагрузкой 4 при помощи направленного ответвителя 2; a_i — падающие волны; b_i — отраженные волны.

В настоящей работе приводятся результаты такого исследования, выполненного на основе матричного анализа. Был поставлен машинный эксперимент [3]. На ЭВМ по специально созданной программе рассчитывались оптимальные характеристики кольцевого РБВ с направленными ответвителями на связанных линиях и находилась для этого варианта оптимальная геометрия антенны. Затем задавалось отклонение того или иного конструктивного размера и определялись параметры уже для этого варианта. Таким образом было определено влияние возможного изменения геометрических размеров облучателя на его электродинамические характеристики. Здесь приводятся также результаты экспериментального исследования параметров некоторых вариантов полосковой антенны на РБВ для сравнения с теоретическими данными.

Матричный анализ. Связь излучающего кольца (рис. 1) с радиометром осуществляется с помощью направленного ответвителя (НО), образованного электромагнитным взаимодействием полосков на участке связи l . Принцип работы устройства показан на рис. 2. При подключении генератора к одному из входов возбуждающей линии в излучающем кольце возникает бегущая волна, распространяющаяся в направлении, противоположном движению волны по нижней линии. При этом поле, излученное по оси кольца, будет иметь круговую поляризацию соответствующего знака.

Наиболее простой вариант расчета и изготовления антенны предусматривает наличие одного НО, когда возбуждение излучающей линии осуществляется на каком-то одном участке. Направленный ответвитель является восьминолюс-

ником, который можно описать с помощью матрицы рассеяния $[S]$ с коэффициентом $s_{ij}=b_i/a_j$ [4]. Для идеально согласованного, противонаправленного ответвителя (рис. 2):

$$b_1 = a_2 = b_4 = a_3 = 0; \arg s_{12} = \arg s_{13} + \pi/2;$$

$$S = \begin{vmatrix} 0 & s_{12} & s_{13} & 0 \\ s_{12} & 0 & 0 & s_{13} \\ s_{13} & 0 & 0 & s_{12} \\ 0 & s_{13} & s_{12} & 0 \end{vmatrix}, \quad (1)$$

где $s_{ii}=0$ — волна, падающая на i -й вход, отражений не создает; $s_{ij}=s_{ji}$ — матрица рассеяния симметрична для идеально согласованного НО; $s_{12}=s_{34}$, $s_{13}=s_{24}$ — из этого же условия; $s_{14}=s_{41}=s_{23}=s_{32}=0$ — для противонаправленного ответвителя связь между входами 1—4, 2—3 отсутствует.

В силу того что система является резонансной (т. е. наилучшие условия работы выполняются на частоте резонанса и в небольшой узкой полосе порядка 5%), реализация более широкой полосы ухудшает круговую симметрию излучаемого поля из-за затухания волны, распространяющейся по кольцу. Это приводит к смещению фазового центра относительно геометрического. Рассматриваемая схема становится несимметричной.

Достижение симметрии путем использования двух участков возбуждения (рис. 3) привело к значительному уменьшению сдвига фазового центра, но это

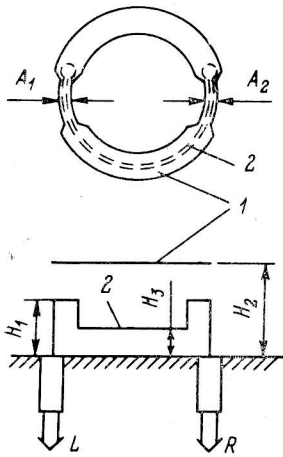


Рис. 3. Антенна на РВВ с двумя участками возбуждения, имеет два НО.

1 — излучающее кольцо; 2 — возбуждающая линия, имеющая сложную конфигурацию с перепадом высот.

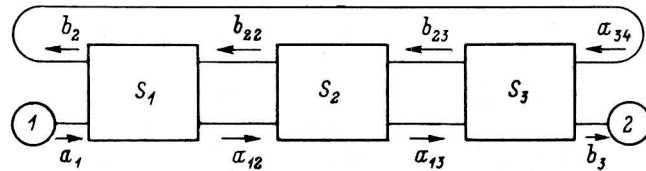


Рис. 4. Эквивалентная схема, описывающая антенну на РВВ с идеальными НО.

1 — задающий генератор; S_1, S_2, S_3 — матрицы рассеяния, описывающие идеальные восьмиполосники; 2 — согласованная нагрузка.

повлекло за собой и более сложный расчет параметров полосковой антенны на РВВ. В расчете система моделировалась как совокупность развернутых длинных линий с идеальным НО в режиме ТЕМ-колебаний. На практике линии свернуты и, к тому же, излучают, что эквивалентно отклонению геометрии сечения полосков ответвителя от идеального случая.

Для расчета антенны с идеальным НО рассматривалась эквивалентная схема, показанная на рис. 4. С точки зрения матричного анализа она представляет собой цепочку восьмиполосников, являющихся идеальными НО, которые описываются соответствующими матрицами рассеяния $[S_i]$.

Здесь отраженных волн не будет, а полосковые линии являются согласованными. В силу симметрии рассматриваемой задачи два участка возбуждения (рис. 3) имеют одинаковую геометрию, поэтому матрицы рассеяния, описывающие соответствующие НО, являются тождественными:

$$[S_1] = [S_3].$$

Для этого случая и определялись характеристики антенны и рассчитывались ее оптимальные геометрические размеры [1].

В случае неидеальных НО полосковые линии будут рассогласованы. Так как у каждой линии имеется свое вполне определенное волновое сопротивление W_i ,

то на стыке линии с различным W возникнут отраженные волны, изменится распределение токов в полосках и, следовательно, изменится характер излучения.

Чтобы определить параметры антенны с произвольной геометрией полосков, пришлось ввести дополнительные матрицы рассеяния, описывающие стыки полосков. Таким образом, эквивалентную схему антенны с произвольными полосками (рис. 5) можно описать каскадным соединением семи матриц рассеяния, из которых $[S_1]$ и $[S_2]$ остаются прежними. Выход последнего восьмиполосника также остается нагруженным на согласованную нагрузку, поэтому отраженной волны не будет.

Была решена задача по нахождению общей матрицы $[S]$, которая получается из преобразованной матрицы $[T]$ путем перемножения всех $[T_i]$. Для случая разомкнутого излучающего кольца (рис. 5)

$$T = T_4 \cdot T_1 \cdot T_5 \cdot T_2 \cdot T_1 \cdot T_7. \quad (2)$$

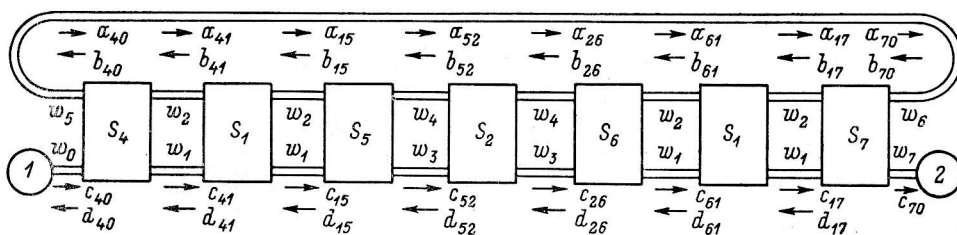


Рис. 5. Эквивалентная схема, описывающая антенну на РВВ с произвольной геометрией. 1 — генератор; 2 — согласованная нагрузка; a, b, c, d — падающие и отраженные волны; w_i — волновое сопротивление соответствующего участка полосковой линии.

С помощью матрицы можно определить величину волн и токов в полосках, по которым можно рассчитать характеристики излучения антенны. Система уравнений для отыскания так называемых внешних волн имеет следующий вид:

$$\begin{cases} d_{40} = s_{11} \cdot c_{40} + s_{12} \cdot a_{40} + s_{13} \cdot 0 + s_{14} \cdot b_{70}; \\ b_{40} = s_{12} \cdot c_{40} + s_{22} \cdot a_{40} + s_{24} \cdot b_{70}; \\ a_{70} = s_{14} \cdot c_{40} + s_{42} \cdot a_{40} + s_{44} \cdot b_{70}; \\ c_{70} = s_{31} \cdot c_{40} + s_{32} \cdot a_{40} + s_{43} \cdot b_{70}; \\ a_{40} = a_{70} \cdot l^{-\nu l}; \\ b_{70} = b_{40} \cdot l^{-\nu l}, \end{cases} \quad (3)$$

где $\nu = \alpha + jm$ — постоянная распространения волны в кольце, α — постоянная затухания, а

$$m = \omega/\theta_\Phi = 2\pi/\lambda. \quad (4)$$

«Внутренних» волн, как видно из рис. 5, много, но если перейти к рассмотрению токов, то нетрудно заметить, что токи слева и справа от стыка полосков с различными W_i измениться не могут. Это означает, что определив, к примеру, величину тока Ib_{15} (ток в конце верхнего полоска между $[S_1]$ и $[S_5]$), тем самым определим $Ib_{52} = Ib_{15}$ (ток в начале верхнего полоска между $[S_5]$ и $[S_2]$).

Величина тока находится из рассмотрения соответствующих падающих и отраженных волн:

$$\begin{aligned} Ib_i &= \frac{b_i - a_i}{\sqrt{W_i}}; \\ Ic_j &= \frac{c_j - d_j}{\sqrt{W_j}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Будем считать, что токи в нижней полосковой линии Ic_j распространяются слева направо (положительное направление), а в верхней полоске Ib_i — справа налево. Токи, протекающие в нижней линии, будут попарно равны:

$$\begin{aligned} Ic_{40} &= Ic_{41} & Ic_{26} &= Ic_{61} \\ Ic_{15} &= Ic_{52} & Ic_{17} &= Ic_{70}. \end{aligned}$$

Соответственно в верхней линии:

$$\begin{aligned} Ib_{40} &= Ib_{41} & Ib_{26} &= Ib_{61} \\ Ib_{15} &= Ib_{52} & Ib_{17} &= Ib_{70}, \end{aligned}$$

т. е. для нахождения параметров антенны достаточно определить из «внутренних» токов лишь четыре. Для этого рассмотрим эквивалентную схему на рис. 6. Считаем, что «внешние» волны известны из (3). Для определения

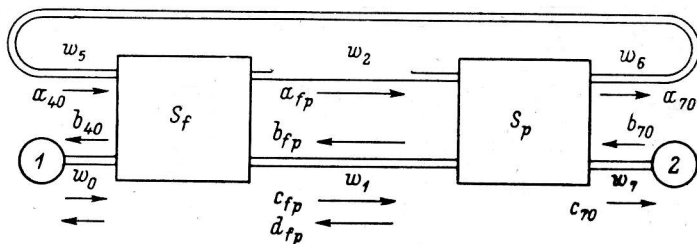


Рис. 6. Эквивалентная схема, образованная группировкой восьмиполосников, относящихся к первому $[S_f]$ и второму $[S_p]$ направленным ответвителям.

«внутренних» волн между $[S_1]$ и $[S_5]$ матрица $[S_f]$ будет преобразованной из $[T_f]$:

$$T_f = T_4 \cdot T_1. \quad (6)$$

Матрица $[S_p]$ преобразована из $[T_p]$:

$$T_p = T_5 \cdot T_2 \cdot T_6 \cdot T_1 \cdot T_7. \quad (7)$$

Падающие и отраженные волны:

$$\begin{aligned} a_{fp} &= a_{15}; & c_{fp} &= c_{15}; \\ b_{fp} &= b_{15}; & d_{fp} &= d_{15}. \end{aligned}$$

Тогда система уравнений для определения значения «внутренних» волн между $[S_1]$ и $[S_5]$ примет следующий вид:

$$\begin{cases} d_{15} = s_{p11} \cdot c_{15} + s_{p12} \cdot a_{15} + s_{p14} \cdot b_{70}; \\ b_{15} = s_{p21} \cdot c_{15} + s_{p22} \cdot a_{15} + s_{p24} \cdot b_{70}; \\ c_{15} = s_{f31} \cdot c_{40} + s_{f32} \cdot a_{40} + s_{f33} \cdot d_{15} + s_{f34} \cdot b_{15}; \\ a_{15} = s_{f41} \cdot c_{40} + s_{f42} \cdot a_{40} + s_{f43} \cdot d_{15} + s_{f44} \cdot b_{15}; \\ c_{40} = 1. \end{cases}$$

Для «внутренних» волн между $[S_6]$ и $[S_1]$ матрица будет преобразована из $[T_f]$:

$$T_f = T_4 \cdot T_5 \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot T_6.$$

Матрица $[S_p]$ преобразована из $[T_p]$:

$$T_p = T_1 \cdot T_7.$$

Система уравнений для нахождения волн между $[S_6]$ и $[S_1]$ записывается аналогично. Изменяется только значение матриц рассеяния $[S_f]$ и $[S_p]$ по вышеуказанному способу.

Теоретическое исследование характеристик излучения. Определив с помощью матричного анализа распределение тока на каждом участке полосковой антенны, можно перейти к расчету характеристик излучения.

Компоненты поля для какого-либо участка полосковой антенны на РВВ с угловой длиной l и высотой полоска h над экраном при радиусе кольца $R=1$ и известном распределении тока $I(\psi)$ на данном участке будут следующими:

$$H_\theta = \frac{me^{-imr}}{2\pi r} \sin(mh \cos \theta) \int_0^l I(\psi) e^{im \sin \theta \cos(\varphi-\psi)} \cos(\varphi-\psi) d\psi;$$

$$H_\varphi = \frac{me^{-imr}}{2\pi r} \cos \theta \sin(mh \cos \theta) \int_0^l I(\psi) e^{im \sin \theta \cos(\varphi-\psi)} \sin(\varphi-\psi) d\psi. \quad (9)$$

Для нахождения полного поля излучения антенны необходимо рассмотреть суперпозицию полей каждого участка как излучающего кольца, так и линии возбуждения, плюс поля, создаваемые «вертикальными» токами. Для пояснения термина «вертикальные» токи рассмотрим полосковую линию, показанную на рис. 7. Возбуждающая линия антенны с двумя НО имеет аналогичный вид. В местах перепада высот и появляются «вертикальные» токи I_1 и I_2 , которые также необходимо учитывать. Поле, создаваемое токами I_1 и I_2 , имеет φ -ю составляющую и является полем вертикального вибратора длиной $2(h_2-h_1)$ на участке I_1 и $2(h_2-h_3)$ для I_2 (с учетом зеркального отображения и равномерности I_1 и I_2).

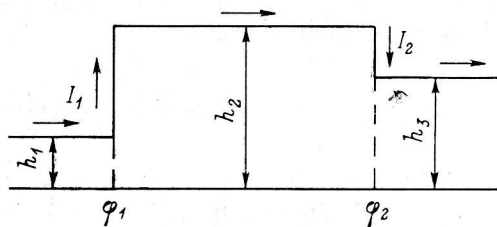


Рис. 7. К задаче о вертикальных токах в длинной линии, имеющей перепад высот над плоским экраном.

Таким образом, поле, создаваемое токами I_1 и I_2 , примет вид:

$$H_\varphi(I_1, I_2) = \frac{im}{\pi} \sin \theta (I_1(h_2-h_1) e^{im \sin \theta \cos(\varphi-\varphi_1)} - I_2(h_2-h_3) e^{im \sin \theta \cos(\varphi-\varphi_2)}). \quad (10)$$

Чтобы поле антенны соответствовало физической реальности, необходимо, чтобы в системе имел место энергетический баланс:

$$P_\Sigma = P_0 - (P_n + P_{\text{вх. отр}}). \quad (11)$$

Полная излученная мощность P_Σ должна быть равна разнице между подводимой P_0 и мощностями: P_n , теряемой в выходной нагрузке, и $P_{\text{вх. отр}}$, отраженной на вход.

Это означает, что все параметры, которые задаются (например, α , m , геометрические размеры), можно задавать произвольно и независимо. Если, к примеру, зафиксировать частоту (т. е. постоянную распространения m), длину связанных участков l и $[S]$, то фиксированными окажутся и относительные размеры полосков, так как одновременное одинаковое относительное изменение размеров не меняет погонных параметров линии. В этом случае излучаемая мощность P_Σ будет функцией затухания α .

Если в системе задана высота H_2 , то уравнение энергетического баланса (11) нужно решать относительно α — именно такое затухание будет иметь место в действительности.

Если задавать α (например, для того, чтобы выполнялось условие кольцевого резонанса и не было потерь в выходной нагрузке), тогда необходимо решать (11) относительно H_2 .

Интегралы, входящие в (9), могут быть вычислены лишь численно. Причем вычислять их нужно для многих точек пространства, с тем чтобы в дальнейшем

можно было проинтегрировать вектор Пойтинга по полусфере и рассчитать излученную мощность:

$$P_{\Sigma} = 377 \int_{2\pi} r^2 (|H_0|^2 + |H_{\varphi}|^2) d\Omega. \quad (12)$$

Машинный эксперимент. Для вычисления электродинамических характеристик полосковой антенны на РБВ по заданным геометрическим размерам была составлена программа их расчета на ЭВМ. Одновременно рассчитывался и сдвиг фазового центра для каждого варианта. Так как геометрические размеры полосков антенны задавались произвольно, то только с помощью машинного эксперимента можно было определить критичность антенны к своей геометрии, выбрать оптимальные размеры для реализации оптимальных поляризационных характеристик.

В программе по заданным размерам полосков, их высоте над экраном, по величине тока в начале и в конце полоска, а также при определенных величинах затухания и частоты вычисляются поля, создаваемые каждым полоском. Затем, когда рассчитаны компоненты для всех полосков, путем интегрирования по формулам (9) и (10) вычисляются составляющие магнитного поля в $8 \cdot 11 = 88$ точках пространства (через 45° по φ и через 9° по θ). В указанных 88 точках определяются $|rH_{\theta}|^2$ и $|rH_{\varphi}|^2$ и после преобразования (12) вычисляется величина излучаемой мощности:

$$P_{\Sigma} = 377 \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} (|rH_{\theta}|^2 + |rH_{\varphi}|^2) \sin \theta d\theta d\varphi. \quad (13)$$

Величина P_{Σ} подставляется в уравнение энергетического баланса (11), и далее, варьируя параметром, относительно которого решается (11) (либо затухание α , либо высота излучающего кольца H_2), путем многократного повторения всей процедуры в целом, с помощью «метода хорды» можно вычислить значение параметра, соответствующее равенству левой и правой частей (11). Полученные параметры антенны, для которых выполняется (11), считались оптимальными. Затем задавалось отклонение того или иного геометрического размера антенны от оптимального и определялись характеристики излучения уже для этого варианта. Машинный эксперимент проводился для антенн с одним НО и двумя НО при полосе пропускания 10 и 20 % для участков связи с угловой длиной l , равной 45 , 60 и 75° . Исследовалось влияние различных параметров (в частности, геометрических размеров) на поведение характеристик излучения с целью оптимизации поляризованных характеристик.

Полученные результаты и выводы. Машинный эксперимент позволил установить зависимость характеристик излучения полосковой антенны на РБВ от возможного изменения конструктивных размеров облучателя. Из расчетов следует, что коэффициент эллиптичности P наиболее критичен к изменению высот H_1 и H_2 (рис. 8, 9). Изменение величины ширины полосков, а также H_3 влияет на P намного слабее (рис. 10, 11). Так, например, для антенны с двумя НО отклонение величины A_1 от оптимального размера на 10 % уменьшает P на 1.5 %. При отклонении величины H_3 от оптимального на 10 % P уменьшается всего на 0.5 %.

Один из интересных выводов, вытекающих из исследования полосковой антенны на кольцевых РБВ с неидеальными НО, состоит в следующем. Путем изменения какого-либо конструктивного размера от оптимального [для которого удовлетворяется уравнение энергетического баланса (11)] на определенную величину (т. е. фактически при рассогласовании антенны) оказывается возможным улучшить поляризационные характеристики (рис. 8, 10, 11). При этом отношение амплитуд поля левой и правой круговой поляризации может сильно (в несколько раз) измениться в сторону уменьшения паразитного сигнала по избранному каналу, что приводит к улучшению развязки данных каналов (рис. 12, 13). Потери же на режекцию и отражение здесь являются настолько малой величиной (составляют менее 1 %), что ими можно пренебречь.

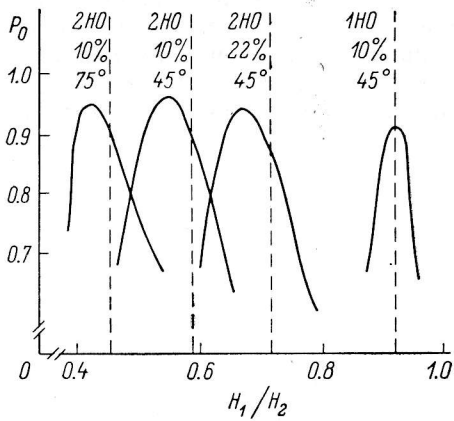


Рис. 8. Зависимость P_0 ($\theta=0^\circ$) от изменения H_1 для антенны с различной геометрией. Штриховой линией показано H_{1opt} , для которых выполняется (11).

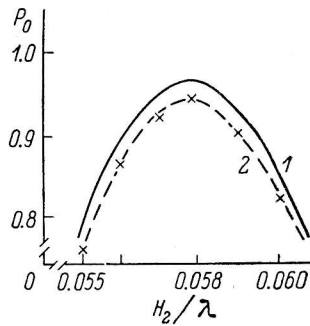


Рис. 9. Зависимость P_0 от изменения H_2 для антенны с двумя НО, угловой длиной участка связи $l=45^\circ$ и широкополосностью 10 %.

1 — теоретическая кривая, 2 — экспериментальная.

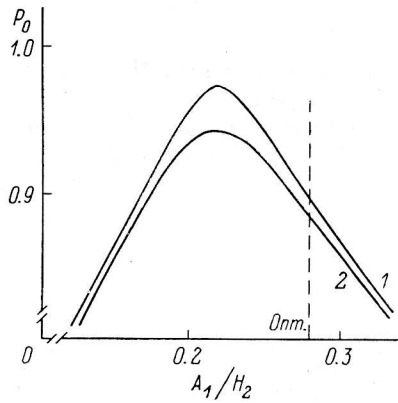


Рис. 10. Зависимость P_0 от изменения A_1 для антенны с двумя НО, угловой длиной участка связи $l=45^\circ$ и различной широкополосностью.

1 — 10 %, 2 — 20 %.

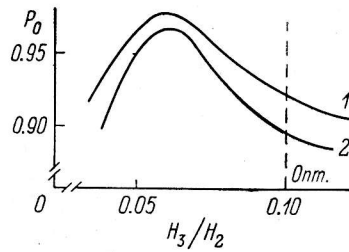


Рис. 11. Зависимость P_0 от изменения H_3 для антенны с двумя НО, широкополосностью 10 % и угловой длиной участка связи. $l=45^\circ$ (1) и 75° .

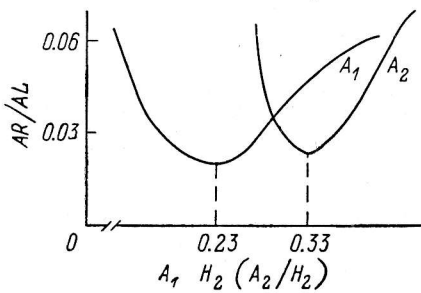


Рис. 12. Кривые, характеризующие развязку левого и правого канала при изменении ширины полосков A_1 и A_2 .

Отношение амплитуд поля левой AL и правой AR круговой поляризации характеризует эллиптичность антенны $P = (1 - AR/AL)/(1 + AR/AL)$.

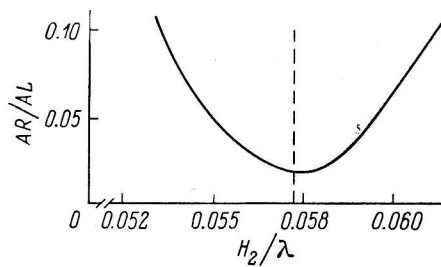


Рис. 13. Зависимость, характеризующая развязку левого и правого канала при изменении высоты H_2 .

Теоретические выводы нашли свое подтверждение при экспериментальном исследовании. На рис. 14 приводятся теоретическая и экспериментальная диаграммы направленности по мощности. Ширина экспериментальной диаграммы по уровню половинной мощности составляет 60° , что уже теоретической на 10 %. Разница здесь объясняется тем, что теоретическое рассмотрение велось для

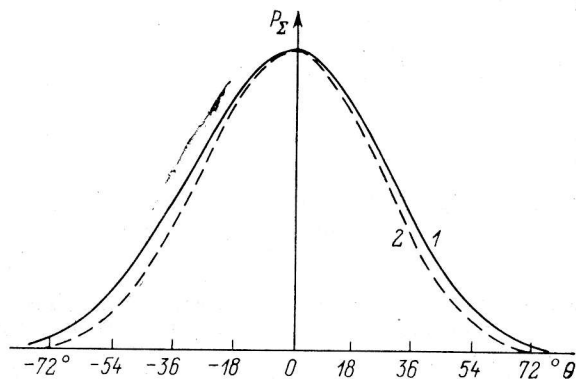


Рис. 14. Диаграмма направленности по мощности для антенны с двумя НО.

1 — теоретическая, 2 — экспериментальная кривая.

антенны, расположенной над бесконечным плоским экраном. При экспериментальном исследовании экран, естественно, был ограниченным.

На рис. 15 приводится диаграмма направленности по поляризации. Здесь совпадение результатов теории и эксперимента наблюдается в интервале $\theta = \pm 30^\circ$. Вне этого интервала экспериментальная величина P спадает быстрее теоретической, т. е. диаграмма оказалась уже. Объясняется это также конеч-

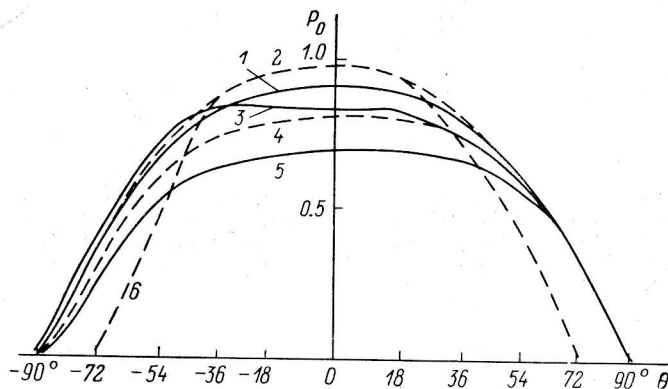


Рис. 15. Диаграмма направленности по поляризации для антенны с двумя НО, угловой длиной участка связи 45° , широкополосностью 10.4 % с различной высотой H_1 .

1 — $H_1=0.58$, 2 — 0.55, 3 — 0.49, 4 — 0.61, 5 — 0.64, 6 — экспериментальная, $H_1=0.55$.

ностью экрана при экспериментальном исследовании, для которого решение задачи с применением метода зеркального отображения ограничено в рамках определенных углов, зависящих от размеров экрана.

На рис. 9 показаны теоретическая и экспериментальная зависимости P от H_2 . Было подтверждено, что при определенном рассогласовании антенны (отклонение величины H_2 от $H_{2 \text{ опт}}$) улучшается ее поляризационная характеристика.

В результате теоретического исследования и машинного эксперимента найден оптимизированный вариант антенны для анализа интенсивности I и поляризации V космического радиоизлучения.

Рекомендации:

— антенна должна иметь два НО, для того чтобы сдвиг фазового центра был незначительным, а диаграммы направленности по мощности и поляризации — симметричными;

— угловую величину участка связи l желательно выбрать от 30° до 60° , поскольку при заданной широкополосности и $l < 30^\circ$ будет слишком малым требуемый зазор между излучающей и возбуждающей линиями, а при $l > 60^\circ$ антенна будет более критична к разбросу геометрических размеров полосков;

— оптимизированные геометрические размеры полосковой антенны на РБВ для $l=45^\circ$ при широкополосности 10 %:

$$H_2 = (0.056 \div 0.059) \lambda;$$

$$A_1 = (0.17 \div 0.28) H_2;$$

$$H_1 = (0.51 \div 0.58) H_2;$$

$$H_3 = (0.04 \div 0.12) H_2;$$

$$A_2 = (0.33 \div 0.35) H_2$$

— из условия, что P будет не хуже 0.9, а потери на отражение и режекцию составят менее 1 % от уровня подводимой мощности.

Заключение. По результатам проведенного исследования была сконструирована полосковая антенна на кольцевых РБВ с двумя НО на связанных линиях. Набор таких полосковых антенн на различные длины волн составил первичный облучатель с единым фазовым центром, который используется в штатных наблюдениях Солнца на радиотелескопе RATAN-600. Наблюдения проводятся на четырех волнах: 8, 12, 20 и 30 см [2]. Точность измерения поляризации от радиосточников составляет 0.5 %. С помощью полоскового облучателя с единым фазовым центром удалось значительно расширить полосу одновременного анализа солнечного радиоизлучения и получить в дециметровом диапазоне ряд важных астрофизических данных [5].

Л и т е р а т у р а

1. Многоволновый облучатель на резонаторе бегущей волны с единым фазовым центром для применения в радиоастрономии / В. М. Богод, В. Н. Дикий, Д. В. Корольков, В. Е. Сорель // Астрофиз. исслед. (Изв. САО). 1983. 17. С. 124—130.
2. Комагов В. В., Богод В. М., Дикий В. Н. Multiwave primary feed with the single focus for radioastronomical researches // Abstracts of paper at XVII-th YERAS. Leningrad, 1984. P. 63.
3. Дикий В. Н., Богод В. М., Комаров В. В. Анализ и оптимизация поляризационных характеристик кольцевых антенн бегущей волны // XIV Всесоюзная конференция по радиоастрономической аппаратуре: Тез. докл. Ереван, 1986. С. 220.
4. Альтман Дж. Устройства СВЧ. М.: Мир, 1968.
5. The structure of a Solar active region from RATAN-600 and very large Array observations / Sh. B. Akhmedov, V. M. Bogod, V. N. Borovik et al. // Astrophys. J. 1986. 301, nr 1. P. 460—464.

Поступила в редакцию
27 октября 1988 г.