

Характеристики направленности антенн бегущей волны с двусторонним возбуждением

Н. Н. Горобец, Ю. Н. Горобец, В. М. Дахов

Харьковский государственный университет
310077, Харьков, пл.Свободы, 4

Статья поступила в редакцию 19 февраля 1998 г., после переработки 14 апреля 1998 г.

Исследованы характеристики направленности и частотные характеристики линейной системы излучателей, возбуждаемых двумя встречными бегущими волнами. Определена предельная полоса рабочих частот таких антенн для заданной электрической длины при выполнении двух критериев: увеличение ширины главного лепестка диаграммы направленности в два раза и уменьшение до уровня -3 дБ глубины провала нормированной диаграммы направленности в направлении нормали к плоскости решетки излучателей.

Досліджено характеристики напрямленості та частотні характеристики лінійної системи випромінювачів, що збуджуються двома зустрічними біжущими хвилями. Визначено граничну смугу робочих частот таких антен для заданої електричної довжини при виконанні двох критеріїв: збільшення ширини головної пелюстки діаграми напрямленості в два рази та зменшення до рівня -3 дБ глибини провалу нормованої діаграми напрямленості в напрямку нормалі до площини решітки випромінювачів.

Остронаправленные и слабонаправленные антенные решетки с последовательным возбуждением излучателей бегущей волной перспективны для применений на практике. Важнейшим их преимуществом по сравнению с другими типами антенн является возможность реализации плоских или конформных конструкций при обеспечении требуемых характеристик направленности. Принципиальным их недостатком является сканирование диаграммы направленности (ДН) при изменении частоты и узкая полоса рабочих частот, особенно в случае резонансных антенн. Для устранения этих недостатков можно использовать более сложное возбуждение плоских антенных решеток, например, в середине, с двух сторон одновременно или еще более сложные способы [1,2]. Рассмотрим характеристики направленности линейных антенн с двусторонней запиткой при изменении частоты.

Обсудим возможности увеличения широкополосности таких антенн. Формирование ДН антенны происходит аналогично случаю фазированной антенной решетки с питанием в середине магистрального фидера [3]. При изменении частоты от центральной, на которой главный максимум диаграммы направленности ориентирован в направлении нормали к антенне, диаграмма направленности по одному входу отклоняется на некоторый угол, а по второму входу отклоняется на тот же угол, но в другую сторону от нормали. В результате сложения волн от обоих входов суммарная диаграмма направленности будет иметь главный максимум, ориентированный в направлении нор-

мали к решетке, при изменении частоты в широких пределах.

Геометрия рассматриваемой задачи показана на рис. 1. Начало системы координат находится в середине решетки излучателей (при $X=0$ излучатель может и не быть), расположенных на расстоянии d друг от друга. Угол Θ отсчитывается от направления нормали к антенне. Вдоль антенны во встречных направлениях распространяются бегущие волны 1 и 2. При этом на любой частоте точка одинаковых фаз волн 1 и 2 имеет координату $X=0$. Линии ϕ_1 и ϕ_2 характеризуют собой фазовое распределение в системе излучателей от каждой из возбуждающих волн 1 и 2 соответственно.

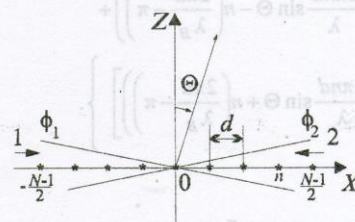


Рис. 1. Система координат, используемая в модели антенны

Рассмотрим характеристики направленности такой антенны со следующими предположениями и ограничениями:

- каждая из распространяющихся в антенне волн возбуждает излучатели независимо;
- связь излучателей между собой как по системе возбуждения, так и по свободному пространству, не учитывается;
- амплитудное распределение источников поля вдоль антенны одинаково для обеих волн и не зависит от частоты;
- диаграмма направленности отдельного излучателя не зависит от частоты.

Хотя данная модель и не учитывает многие реальные факторы, она позволяет исследовать влияние именно двусторонней запитки на характеристики направленности рассматриваемой антенны.

Отметим, что на практике данную модель антенны с двусторонней запиткой можно реализовать в виде двух расположенных рядом параллельных линейных систем излучателей (например, волноводно-щелевых, микрополосковых и др. с последовательным питанием бегущей вдоль них волной) с односторонним возбуждением. В этом случае амплитудно-фазовое распределение источников поля для волн 1 и 2 (на рис. 1) реализуется независимо друг от друга.

Рассмотрим далее результаты компьютерного моделирования исследуемых антенн. Диаграмма направленности антенны с двусторонним возбуждением при расположении N излучателей в шахматном порядке на расстоянии половины длины волны в волноводе или микрополосковой линии, что на центральной частоте f_0 обеспечивает синфазное возбуждение всех излучателей, имеет вид:

$$f(\lambda, \Theta) = f_1(\Theta) \left\{ \sum_{n=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} a_n \times \right. \\ \left. \times \left[\exp i \left(-\frac{2\pi nd}{\lambda} \sin \Theta - n \left(\frac{2\pi d}{\lambda_B} - \pi \right) \right) + \right. \right. \\ \left. \left. + \exp i \left(-\frac{2\pi nd}{\lambda} \sin \Theta + n \left(\frac{2\pi d}{\lambda_B} - \pi \right) \right) \right] \right\}$$

Исследуем подробно два варианта системы возбуждения излучателей: волноводный с волной основного типа H_{10} и микрополосковый без замедления с резонансным расстоянием d между излучателями. Для определенности амплитудное распределение источников поля вдоль антенны

примем равномерным. При этом входящие в выражение для диаграммы направленности величины принимают следующий вид:

- диаграмма направленности отдельного излучателя $f_1(\Theta) = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \sin \Theta\right)}{\cos \Theta}$;
- пьедестал амплитудного распределения $a_0=1$;
- длина волны в системе возбуждения излучателей $\lambda_B = \lambda$ для решетки микрополосковых излучателей и $\lambda_B = \lambda / \sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}$ для волновода, где λ - длина волны в вакууме, a - размер шириной стенки волновода;
- расстояние между соседними излучателями вдоль оси Ox $d = \lambda_{B0} / 2$ определяется на центральной частоте диапазона f_0 .

Как видно из приведенных выше выражений, характеристики направленности антенны с двусторонней запиткой при использовании волноводной системы возбуждения зависят от центральной частоты диапазона f_0 или отношения $\lambda_0/2a$, а для микрополосковых излучателей такой зависимости нет.

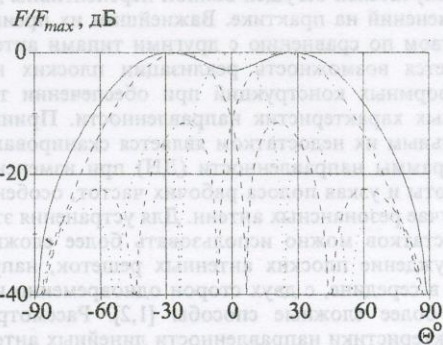


Рис. 2. Формирование суммарной F ДН микрополосковой антенны парциальными F_m и F_p ДН при расстройке частоты $\Delta f/f_0$. F_0 - ДН на центральной частоте f_0 рабочего диапазона:

..... F_0 ; — F ;
 - - - - F_p ; - - - - F_m ;
 $d = \lambda_0/2$; $L/\lambda_0 = 2$; $N = 5$; $\Delta f/f_0 = -32,4 \%$

На рис. 2 для микрополосковой антенны (МПА) приведены нормированные к единице диаграммы направленности F_0 на частоте f_0 , а также парциальные диаграммы направленности по обоим каналам F_m и F_p и суммарная диаграмма направленности антенны F при некоторой расстрой-

ке частоты Δf . При указанных выше условиях моделирования наблюдаются следующие особенности формирования диаграммы направленности рассматриваемых антенн при изменении частоты сигнала. На центральной частоте f_0 парциальные диаграммы направленности от каждой волны возбуждения совпадают, а направление главного максимума совпадает с нормалью к ней $\Theta=0$. При изменении частоты сигнала на Δf направления Θ_m главных максимумов парциальных ДН равны по величине и противоположны по знаку, причем $|\Theta_m|$ растет с увеличением Δf . Суммарная диаграмма направленности антенны до определенного значения расстройки частоты Δf будет иметь главный максимум при $\Theta=0$, но ширина его будет увеличиваться с ростом $|\Delta f|$. При дальнейшем увеличении Δf в направлении $\Theta=0$ амплитуда поля уменьшается и главный максимум диаграммы направленности приобретает двугорбый характер. Еще большая расстройка частоты Δf приводит к расщеплению главного максимума на два лепестка. Независимо от частоты f_0 и числа излучателей N для антенн с двусторонним возбуждением можно задать два критерия определения рабочего частотного диапазона: первый – наличие одного главного максимума диаграммы направленности или увеличение ширины $2\Delta\Theta$ главного лепестка диаграммы направленности по уровню -3 дБ в два раза; второй – образование в главном лепестке диаграммы направленности антенны провала до уровня -3 дБ в направлении нормали к плоскости

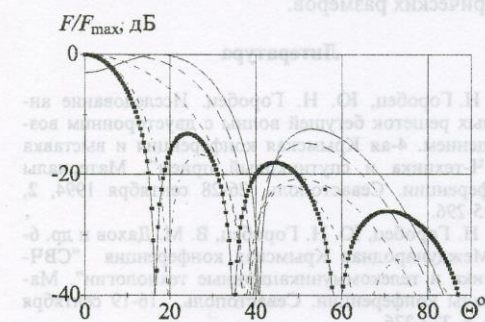


Рис. 3. Изменение суммарной ДН волноводно-целевой антенны с увеличением расстройки частоты $\Delta f/f_0$:

- $\Delta f/f_0=0$;
- $\Delta f/f_0=-5,9\%$;
- $\Delta f/f_0=-11,6\%$;
- $\Delta f/f_0=-13,2\%$;
- $\Delta f/f_0=-14,6\%$

решетки. Для иллюстрации изложенного на рис. 3 приведены диаграммы направленности антенны

на центральной, граничных по выбранным критериям и промежуточных частотах для волноводно-целевой антенны (ВЦА) с числом щелей $N=5$ и параметром $\lambda_0/2a=0,7$ (электрическая длина антенны на центральной частоте диапазона $L/\lambda_0=3,5$).

Следует отметить, что значения расстройки частоты Δf при выполнении выбранных критериев границ рабочего частотного диапазона различны для $\Delta f<0$ и $\Delta f>0$, причем при $\Delta f>0$ значение расстройки несколько больше по величине. При увеличении электрической длины антенны $L/\lambda_0=(N-1)\lambda_{в0}/2\lambda_0$ эти значения сближаются.

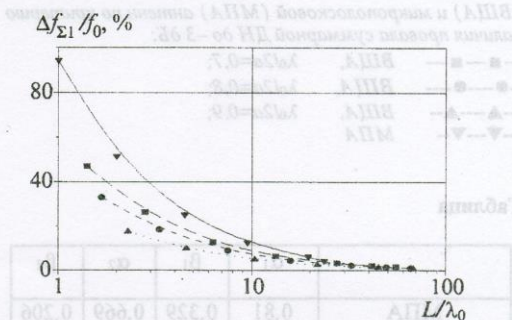


Рис. 4. Частотный диапазон $\Delta f_{\Sigma 1}/f_0$ волноводно-целевых (ВЦА) и микрополосковой (МПА) антенн по критерию удвоения ширины суммарной ДН:

- ВЦА, $\lambda_0/2a=0,7$;
- ВЦА, $\lambda_0/2a=0,8$;
- ▲--- ВЦА, $\lambda_0/2a=0,9$;
- ▼--- МПА

На рис. 4 приведены зависимости полного частотного диапазона $\Delta f_{\Sigma 1}/f_0$ от электрической длины антенны (от минимального до максимального значения частоты) при выполнении первого критерия для волноводной с $\lambda_0/(2a)=0,7; 0,8; 0,9$ и микрополосковой систем возбуждения, а на рис. 5 – аналогичные зависимости при выполнении второго критерия. В результате обработки рассчитанных значений частотного диапазона $\Delta f_{\Sigma 1}/f_0$ и $\Delta f_{\Sigma 2}/f_0$ получено, что их зависимость от электрической длины антенны L/λ_0 хорошо описывается выражениями

$$\Delta f_{\Sigma 1}/f_0[\%]=100/[\alpha_1(L/\lambda_0)+\beta_1] \quad \text{и}$$

$$\Delta f_{\Sigma 2}/f_0[\%]=100/[\alpha_2(L/\lambda_0)+\beta_2].$$

Значения коэффициентов $\alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2$ приведены в таблице.

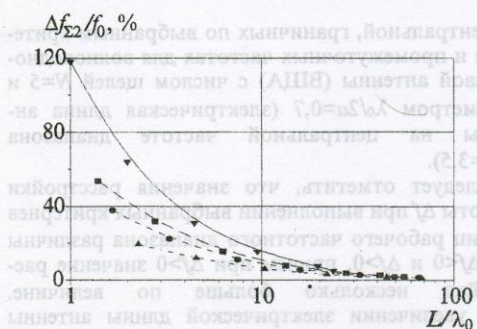


Рис. 5. Частотный диапазон $\Delta f_{\Sigma 2}/f_0$ волноводно-щелевых (ВЩА) и микрополосковой (МПА) антенн по критерию наличия провала суммарной ДН до -3 дБ:

- ВЩА, $\lambda_0/2a=0,7$;
- - -●- - - ВЩА, $\lambda_0/2a=0,8$;
- - -▲- - - ВЩА, $\lambda_0/2a=0,9$;
- - -▼- - - МПА

Таблица

	α_1	β_1	α_2	β_2
МПА	0,81	0,329	0,669	0,206
ВЩА, $\lambda_0/(2a)=0,7$	1,134	0,653	0,918	0,621
ВЩА, $\lambda_0/(2a)=0,8$	1,199	1,939	1,095	0,846
ВЩА, $\lambda_0/(2a)=0,9$	1,854	1,81	1,506	1,659

Для всех рассчитанных вариантов антенны общими особенностями зависимостей ширины $2\Delta\Theta$ главного лепестка диаграммы направленности, коэффициента направленного действия D и уровня U_m первого бокового лепестка от расстройки частоты Δf являются увеличение $2\Delta\Theta$ и уменьшение U_m при увеличении $|\Delta f|$. На рис. 6 приведены зависимости $2\Delta\Theta$, D и U_m для одного из вариантов микрополосковой антенны. Следует отметить, что для малых значений L/λ_0 все зависимости принимают явно выраженный асимметричный относительно $\Delta f=0$ вид.

Отметим также, что на центральной частоте диапазона f_0 направленные характеристики антенны с двусторонним возбуждением совпадают с характеристиками резонансной антенны с теми же электрическими размерами.

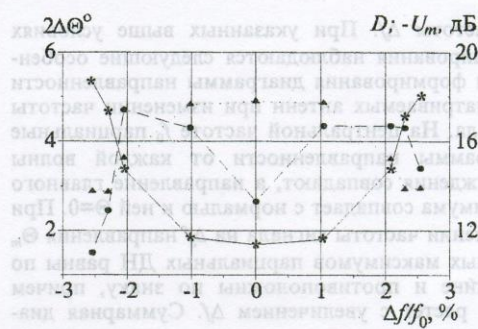


Рис. 6. Зависимости ширины ДН $2\Delta\Theta$, коэффициента направленного действия D и уровня первого бокового лепестка U_m микрополосковой антенны от расстройки частоты ($L/\lambda_0=29,5$; $N=60$):

- * - * - $2\Delta\Theta$;
- - -▲- - - D ;
- - -●- - - U_m

Таким образом, из результатов компьютерного моделирования антенных решеток с последовательным возбуждением излучателей бегущей волны при двусторонней запитке получено, что основным их преимуществом при использовании на практике является сохранение направления главного максимума диаграммы направленности в широком диапазоне частот. Предложены простые выражения для определения максимальных значений диапазона рабочих частот волноводно-щелевых и микрополосковых антенных решеток с двусторонним возбуждением в зависимости от их электрических размеров.

Литература

1. Н. Н. Горобец, Ю. Н. Горобец. Исследование антенных решеток бегущей волны с двусторонним возбуждением. 4-ая Крымская конференция и выставка "СВЧ-техника и спутниковый прием". Материалы конференции. Севастополь, 26-28 сентября 1994, 2, с. 295-296.
2. Н. Н. Горобец, Ю. Н. Горобец, В. М. Дахов и др. 6-ая Международная Крымская конференция "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии". Материалы конференции. Севастополь, 16-19 сентября 1996, с. 272-276.
3. Антенны и устройства СВЧ (Проектирование фазированных антенных решеток). Под ред. Д. И. Воскресенского. Москва, Радио и связь, 1981, 432 с.

Directional Characteristics of Travelling Wave Antennas with Two-Sided Excitation

N. N. Gorobets, Yu. N. Gorobets, V. M. Dakhov

The directional and frequency characteristics of the linear system of radiators, excited by two

travelling waves from opposite directions were investigated. The top working frequency bandwidth of such antennas of given electrical length is determined under following criteria: increasing pattern main lobe width two times and decreasing depth of gap in normalized pattern to level -3 dB at the direction of normal to the array plane.

Институт радиотехники и электроники ИАН Украины
Україна, Київ, Харків, вул. Північна, 13
e-mail: ngorobets@ukr.net

Статья посвящена исследованию характеристик направленности антенн бегущей волны с двусторонним возбуждением.

В работе рассмотрены антенны с двусторонним возбуждением. Для решения задачи был использован метод подбора параметров антенны. Для определения ширины главного лепестка диаграммы направленности использован метод подбора параметров антенны. Для определения глубины провала в нормализованной диаграмме направленности использован метод подбора параметров антенны. Исследованы частотные характеристики антенны с двусторонним возбуждением.

В роботі розглянуто антенни з двобічним збудженням. Для вирішення задачі був використаний метод підбору параметрів антенни. Для визначення ширини головного лепестка діаграми направленності використано метод підбору параметрів антенни. Для визначення глибини провалу в нормалізованій діаграмі направленності використано метод підбору параметрів антенни. Досліджено частотні характеристики антенни з двобічним збудженням.

Ураховуючи двобічне збудження другого боку. Вид зменшення BCNAV дозволяє аналітично передбачити, як такий об'єкт, що аналізується, впливає на результати дослідження. Для цього метод ефективного покриття, що для даного методу відомий, використовується BCNAV з контрольною точністю, що передбачає збільшення параметрів. Зокрема, дослідження характеристик антенни, виконані з метою оптимізації методу підбору параметрів з метою моделювання системи з двобічним збудженням, що дозволяє збільшити точність моделювання.

Выводы

Рассмотрены антенны с двусторонним возбуждением. Для решения задачи был использован метод подбора параметров антенны. Для определения ширины главного лепестка диаграммы направленности использован метод подбора параметров антенны. Для определения глубины провала в нормализованной диаграмме направленности использован метод подбора параметров антенны. Исследованы частотные характеристики антенны с двусторонним возбуждением.

В роботі розглянуто антенни з двобічним збудженням. Для вирішення задачі був використаний метод підбору параметрів антенни. Для визначення ширини головного лепестка діаграми направленності використано метод підбору параметрів антенни. Для визначення глибини провалу в нормалізованій діаграмі направленності використано метод підбору параметрів антенни. Досліджено частотні характеристики антенни з двобічним збудженням.