

*Любина Л.М., Сугак М.И.
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ»*

Характеристики низкопрофильных антенных решёток с соединёнными линейными излучателями

Представлены результаты электродинамического моделирования электрических характеристик низкопрофильных широкополосных антенных решёток (АР), выполненных на основе соединённых линейных щелевых и дипольных излучателей. Установлена связь между полосой рабочих частот и электрической толщиной АР. Моделирование проводилось как для двумерно бесконечных, так и для конечных АР.

Ключевые слова: антенная решётка, соединённые излучатели, полоса рабочих частот, ячейка Флоке.

В настоящее время наблюдается большой интерес к созданию низкопрофильных широкополосных антенных решёток с полосой рабочих частот в октаву и более. Такие характеристики достижимы при малом междуэлементном расстоянии и даже при полном соединении излучающих вибраторных [1] или щелевых [2] элементов (рис.1,2). Известные практические реализации АР такого рода подтверждают теоретические прогнозы о возможности достижения высоких электрических характеристик.

Предложенные в [3] и [4] математические модели для расчёта входного сопротивления вибраторного элемента в составе бесконечных АР из соединённых щелевых и вибраторных элементов с использованием функции Грина в спектральной области [2] позволили авторам определить геометрию АР, обладающих широкой полосой рабочих частот на основе вычисления областей с низким значением собственной добротности элементов. При этом режим, с полосой рабочих частот порядка октавы и более, достижим при малых (меньших 0.5λ) периодах АР в Е- и Н-плоскостях.

Вместе с тем остается открытым вопрос о влиянии электрической толщины таких АР на их полосовые свойства и оптимизации геометрии для них. Эти закономерности являются предметом исследования в данной работе.

На рисунках 3-4 показаны зависимости добротности от размеров ячейки Флоке для рассматриваемых типов излучающих элементов. Добротность вычислялась с использованием частотной зависимости входного импеданса элемента по известной методике [5]. Из приведенных кривых следует, что как для вибраторных, так и для щелевых элементов АР при уменьшении шага решётки b наблюдается снижение значений добротности. При этом, в случае вибраторных элементов эта область менее локализована, и, с уменьшением шага a , смещается в сторону более высоких значений h . Для щелевых излучателей с уменьшением шага решётки в Е-плоскости наблюдается смещение области пониженной добротности к малым расстояниям от решётки до экрана, что представляет интерес с точки зрения построения низкопрофильных АР.

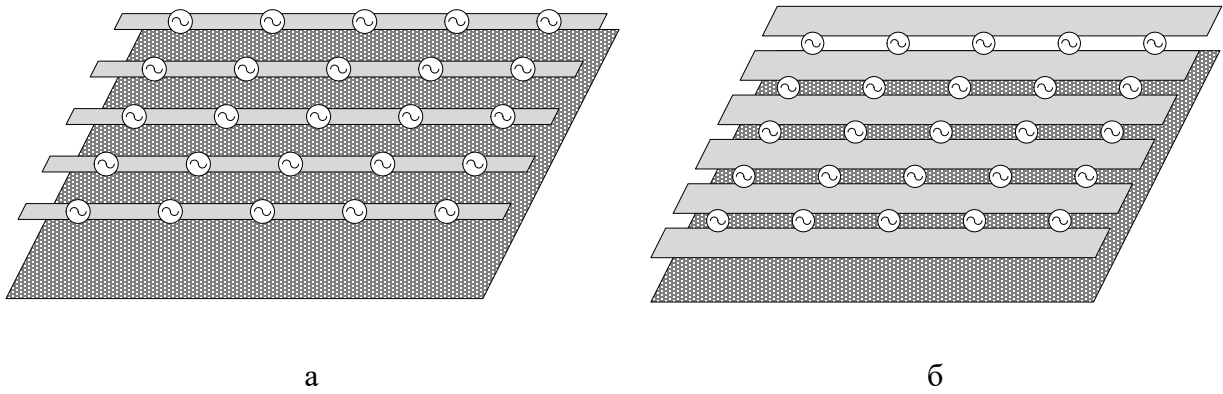


Рис. 1. Структура AP а) для соединённых вибраторных элементов, б) для соединённых щелевых элементов.

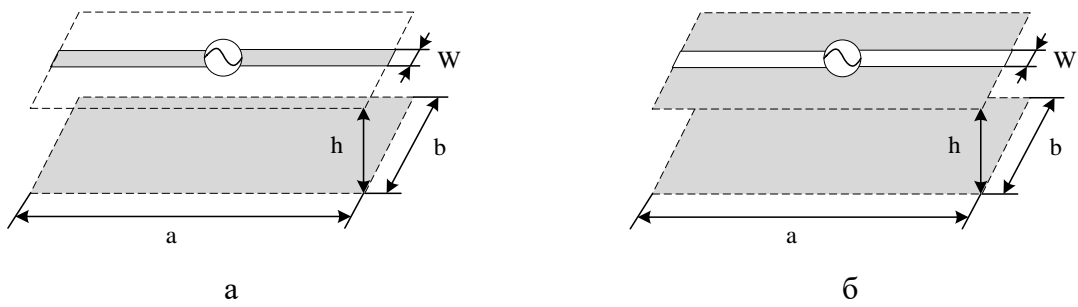


Рис. 2. Вид ячейки Флоке а) для соединённых вибраторных элементов, б) для соединённых щелевых элементов.

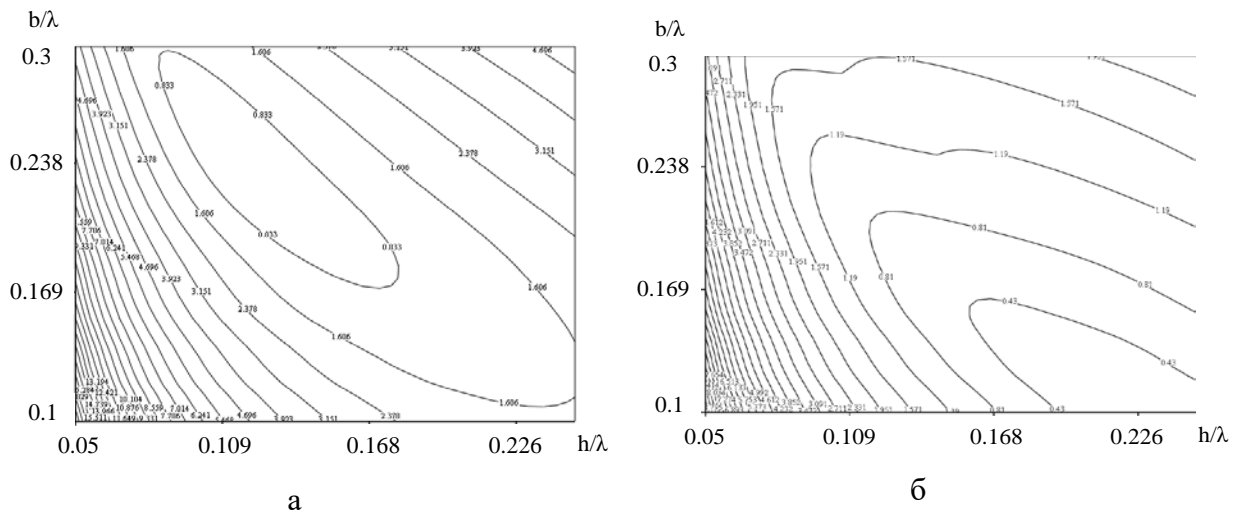


Рис.3. Зависимость добротности элемента от шага AP в E-плоскости и высоты решётки над экраном при ширине щелей $W=0.05\lambda$ при а) $a=0.7\lambda$, б) $a=0.35\lambda$.

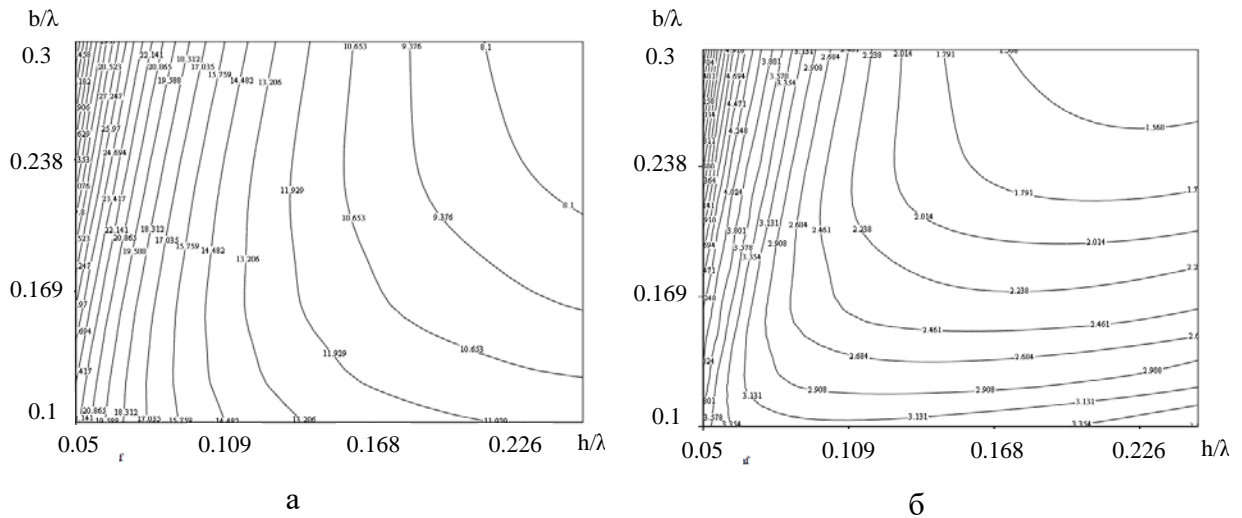


Рис.4. Зависимость добротности одиночного элемента от шага АР в Н-плоскости и высоты бесконечной решётки над экраном при ширине диполей $W=0.05\lambda$ при а) $a=0.7\lambda$, б) $a=0.35\lambda$.

Смещение области пониженных значений добротности при увеличении расстояния от щелевых элементов до проводящей поверхности можно наблюдать на рис.5. Из этих кривых видно, что для малых h низкие значения добротности характерны для шагов решётки в Н-плоскости, больших половины длины волны, тогда как с увеличением h этот же режим может быть реализован в плотноупакованных АР.

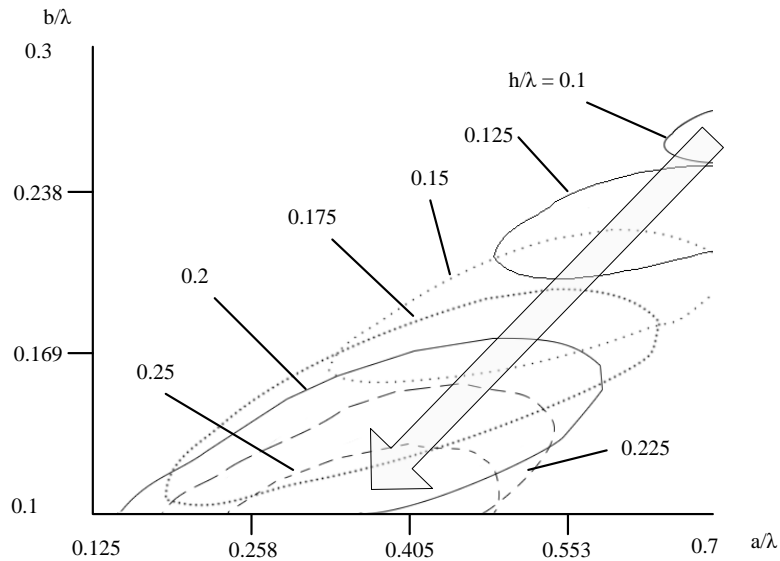


Рис. 5. Зависимость области значений $Q < 0.5$ от шага АР в Е- и Н-плоскостях при ширине щелевых элементов $W=0.05\lambda$ и различных расстояниях до проводящей поверхности

С помощью математической модели, построенной на основе данных работы [3] получены частотные зависимости коэффициента отражения S_{11} для излучателей в составе бесконечных и конечных АР (в этом случае ее размеры составляют $10\lambda \times 10\lambda$). Результаты расчета показывают высокую степень совпадения результатов, что свидетельствует об адекватности предложенной оценки полосовых свойств АР (рис.6). При этом, теоретически оказываются достижимы полосы рабочих частот, большие октавы, как видно из данных табл.1. В ней же прослеживается зависимость между малыми значениями добротности

элемента в составе ячейки Флоке и достигнутой широкой относительной полосы рабочих частот. Видно, что режим, характеризующийся расширенным частотным диапазоном, достигается при значениях h порядка $(0.1..0.2)\lambda$.

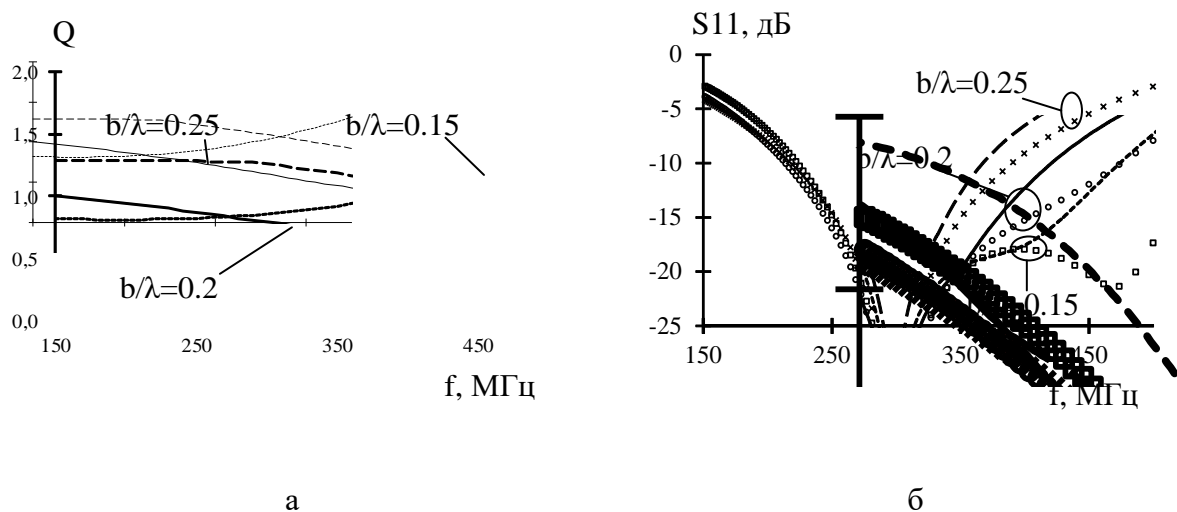


Рис.6. Частотные зависимости при $h=0.13\lambda$ а) добротности элемента в составе бесконечной щелевой АР б) S_{11} элемента в составе бесконечной (маркеры) и конечной (сплошные линии) АР.

Табл.1. Зависимость относительной полосы рабочих частот АР и добротности элемента в составе ячейки Флоке от высоты решётки над экраном.

h	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3
$a=0.7\lambda, b=0.3\lambda$						
Q	4.07	1.21	2.48	3.83	5.29	7.12
f/f₀	1.84	1.78	2.13	2.55	1.25	1.16
$a=b=0.35\lambda$						
Q	2.82	2.18	2.38	2.63	2.94	3.40
f/f₀	1.44	1.65	1.68	1.61	1.52	1.46

Таким образом, показано, что для низкопрофильных конечных АР, выполненных на основе соединённых щелевых и дипольных элементов при h меньших 0.25λ достижима октавная полоса рабочих частот. Установлена связь между полосой рабочих частот и электрической толщиной АР.

Библиографический список

1. R. C. Hansen Linear connected arrays [coupled dipole arrays] in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2004, Vol.3, P.154-156.
2. A. Neto, J. J. Lee Ultrawide-band properties of long slot arrays in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2006, Vol.54, № 2, P.534-543.
3. A. Neto, D. Cavallo, G. Gerini, G. Toso Scanning Performances of Wideband Connected Arrays in the Presence of a Backing Reflector in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2009, Vol.57, №10, P.3092-3102.
4. Сугак М. И., Шарапкина Ю. И. Конечная широкополосная ФАР с малым междуэлементным расстоянием // Электроника и микроэлектроника СВЧ: Сб. докл. Всероссийской конференции, Санкт-Петербург, 3–6 июня 2013 г. // URL: <http://mwelectronics.ru/2013/stend.html> (дата обращения: 01.04.2018).

5. Yaghjian A. D., Best S. R. Impedance, bandwidth, and Q of antenna in IEEE Antennas and Propagation, IEEE Transactions on. 2005. Vol.53, № 4. P.1298-1324.