

УДК 621.396.67

Ю.Н. Тыщук, ассистент;

О.О. Акимов, студент;

М.А. Стукалов, студент

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 99053

E-mail: y.tyschuk@gmail.com

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧЕНИЯ АНТЕНН
С ЛОГАРИФМИЧЕСКОЙ ПЕРИОДИЧНОСТЬЮ**

Предложен метод выбора геометрических параметров диапазонной антенны в виде плоской структуры с трапециевидными выступами. Представлены результаты численных расчётов диаграмм направленности в Е и Н плоскостях в заданном частотном диапазоне.

Ключевые слова: широкополосная антенна, логопериодическая последовательность.

В настоящее время в связи с интенсивным развитием наземных и космических систем радиосвязи повышенные требования предъявляются к диапазонным свойствам антенн, которые должны обеспечить постоянство электрических характеристик антенн в широкой полосе частот (5...15 кратном диапазоне).

Целью данной работы является разработка широкополосной антенны с логарифмической последовательностью, позволяющей работать с коэффициентом перекрытия по частоте не менее 5, при сохранении во всем рабочем диапазоне частот стабильных характеристик излучения и входных характеристик.

При построении антенны для работы в широком диапазоне частот необходимо учесть, что электрические характеристики (такие как входное сопротивление, диаграмма направленности, коэффициент направленного действия) сохраняются, если при изменении частоты соотношения между размерами антенны и длинами волн сохраняются постоянными.

Указанное требование можно выполнить, если воспользоваться принципом электродинамического подобия. Рассмотрим два симметричных полуволновых вибратора, один из которых возбуждается на частоте $f_1(\lambda_1)$, тогда отношение $\frac{l_1}{\lambda_1} = 0,25$; другой полуволновый вибратор возбуждается на частоте

$f_2(\lambda_2)$, тогда для него $\frac{l_2}{\lambda_2} = 0,25$; следовательно, можно записать соотношение $\frac{l_1}{\lambda_1} = \frac{l_2}{\lambda_2}$, или $l_1 \cdot \lambda_2 = l_2 \cdot \lambda_1$, или

$$l_1 \cdot f_1 = l_2 \cdot f_2. \quad (1)$$

Соотношения (1) выражают принцип электродинамического подобия, на основании которого можно перейти к построению частотно-независимой антенны. Для проектируемой антенны зададим максимальную частоту f_1 — соответствует $\lambda_{\min}$, тогда, если f_1 уменьшим в $\tau < 1$, то $f_2 = \tau \cdot f_1$. Переход к более низкой частоте $f_3 = \tau \cdot f_2$ или

$$\left. \begin{aligned} f_3 &= \tau^2 f_1 \\ f_4 &= \tau^3 f_1 \\ f_n &= \tau^{n-1} f_1 \end{aligned} \right\}. \quad (2)$$

Если прологарифмировать (2), то получим:

$$\ln f_n = (n-1) \cdot \ln \tau + \ln f_1,$$

отсюда

$$\ln f_n - \ln f_1 = (n-1) \cdot \ln \tau, \quad (3)$$

$$\tau = \sqrt[n-1]{\frac{f_n}{f_1}}.$$

Если определить $f_n = f_{\min}$, а $f_1 = f_{\max}$, то

$$\tau = \sqrt[n-1]{\frac{f_{\min}}{f_{\max}}} = \sqrt[n-1]{\frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{\min}}}. \quad (4)$$

На основини (3) можем представить распределение частот на рисунке 1.

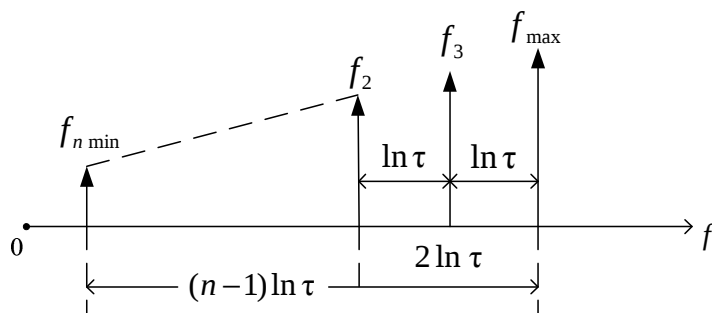


Рисунок 1 — Логарифмическая периодичность распределения частот от $f_{\max}$ до $f_{n \min}$

Таким образом определена величина τ , которая зависит от диапазона частот ($f_{\max}$, $f_{\min}$) и определяет в антенне количество резонирующих полуволновых вибраторов n .

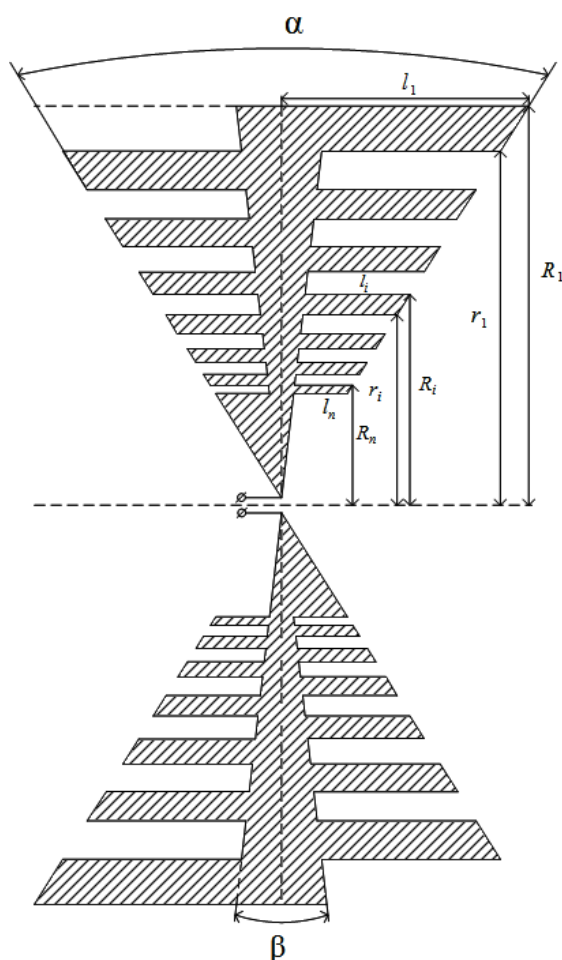


Рисунок 2 — Геометрические параметры антенны с трапецидальными плечами вибраторов

определяется соотношением: $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{l_1}{R_1}$.

Выбор вибратора l_n для максимальной частоты $f_{\max}$ ($\lambda_{\min}$) будет зависеть от расстояния R_1 и угла α .

Далее наряду с формулой (4), определяющей частотную периодичность τ , можно записать следующие соотношения (см. рисунок 2):

$$\tau = \frac{R_{i+1}}{R_i} = \frac{l_{i+1}}{l_i}; \quad \frac{r_i}{R_i} = \sqrt{\tau}, \quad \text{тогда} \quad r_1 = R_1 \sqrt{\lambda}. \quad (5)$$

Переходя к определению геометрических размеров антенны, которые будут в первую очередь определяться $f_{\min}$, т.е. $\lambda_{\max}$, тогда $f_{\max}$ выбирается исходя из длины осевого размера антенны, при этом $\lambda_{\min}$ будет определяться конструктивными особенностями, позволяющие обеспечить минимальное расстояние между вибраторами антенны.

Для выполнения принципа электродинамического подобия, необходимо выбрать не только длины плеч вибраторов разрабатываемой антенны, но и их волновые сопротивления, которые определяются толщиной вибраторов и их согласованием с возбуждающей линией передачи. Её волновое сопротивление также должно меняться в соответствии с волновым сопротивлением плеч вибраторов; только в этом случае входное сопротивление антенны будет сохранять своё значение в заданном диапазоне частот.

С учётом всего вышеизложенного предлагается плоская антенна с трапецидальными плечами вибраторов, которая изображена на рисунке 2.

На рисунке 2 показаны следующие геометрические параметры антенны: l_1 — длина плеча вибратора для $\lambda_{\max}$; R_1 — расстояние от верхней границы вибратора до плоскости, где расположены входные зажимы питающей линии, которая развёрнута на 180° и имеет расширение β ; угол α , как следует из рисунка 2,

Общий диапазон работы антенны будет определяться размерами $l_1 = \frac{\lambda_{\max}}{4}$ и $l_n = \frac{\lambda_{\min}}{4}$, при этом, чем больше τ , тем большее количество вибраторов в антенне при заданном R_1 . Величина τ может выбираться в пределах от 0,5 до 0,9.

При определении характеристик излучения антенны с логарифмической периодичностью необходимо принимать во внимание, что излучение происходит в области резонирующего вибратора. Тогда вибраторы, расположенные около этого элемента выполняют роль рефлектора и директора. С увеличением или уменьшением частоты резонансные вибраторы смещаются к вершине структуры или от неё, при этом режим работы антенны близок к режиму антенны с бегущей волной (АБВ) и максимум излучения будет направлен в направлении нормали к плоскости расположения антенны. Если половинки антенны (см. рисунок 2) развернуть под углом ψ друг к другу, то характеристики излучения становятся однонаправленными и максимум излучения направлен в сторону вершины антенны. На рисунке 3 представлена клинообразная ЛПА, полотна которой развернуты под углом ψ , при этом максимум излучения направлен вдоль оси y ($\varphi = \pi/2$).

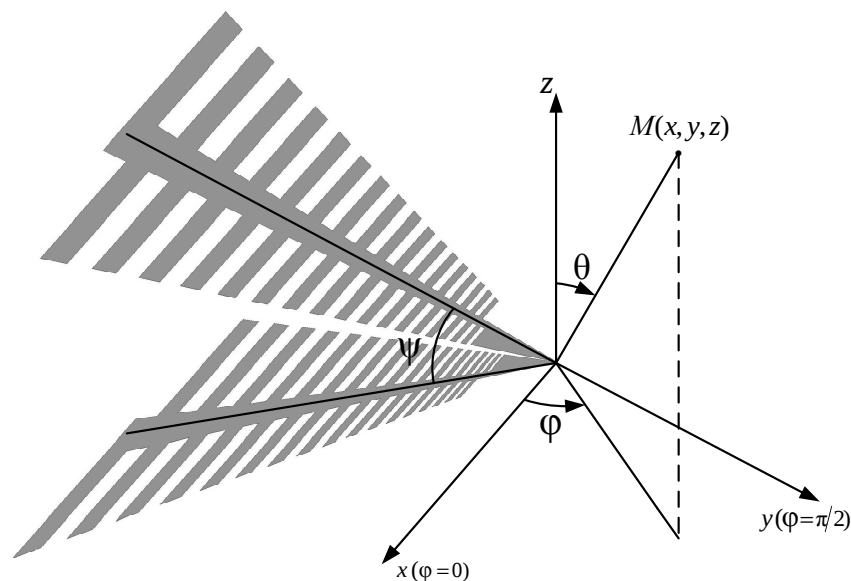


Рисунок 3 — Геометрия расположения ЛПА в декартовой системе координат, где плечи вибраторов ориентированы параллельно оси x

Геометрические параметры для ЛПА были выбраны в пределах: $\alpha = 60^\circ$, $\beta = 10^\circ$. Габаритные размеры определялись нижней границей частотного диапазона ($\lambda_{\max}$) и продольным размером

$$R_1 = \frac{l_1}{\operatorname{tg} 30^\circ} = \frac{\lambda_{\max}}{\operatorname{tg} 30^\circ}. \text{ Далее частотные свойства ЛПА зависят только от } \tau. \text{ Были рассмотрены два}$$

варианта построения ЛПА: принималось предельное значение $\tau = 0,9$ и значение $\tau = 0,85$; при этом $f_{\min} = 600$ МГц.

Для указанных значений τ были рассчитаны характеристики излучения и изготовлены две модели ЛПА, при этом исследовались частотные характеристики излучения в зависимости от количества резонирующих вибраторов в каждой ЛПА. Так при $\tau = 0,85$ ЛПА состояла из 8 вибраторов, а при $\tau = 0,9$ их количество увеличилось до 17. Следовательно, можно ожидать более широкий диапазон частот для $\tau = 0,9$.

Для получения однонаправленного излучения были проведены расчеты для углов: $\psi = 10^\circ$; $\psi = 20^\circ$; $\psi = 30^\circ$.

Максимальная частота для данных ЛПА была выбрана в равной 2 ГГц.

Проведенное исследование позволило установить частотные свойства ЛПА для значений $\tau = 0,85$ и $\tau = 0,9$. На рисунке 4 в качестве примера представлены ДН на двух крайних частотах рабочего диапазона для $\tau = 0,9$ и $\psi = 20^\circ$.

В таблице 1 представлены данные ширины ДН направленности в E - и H -плоскостях для выбранного частотного диапазона.

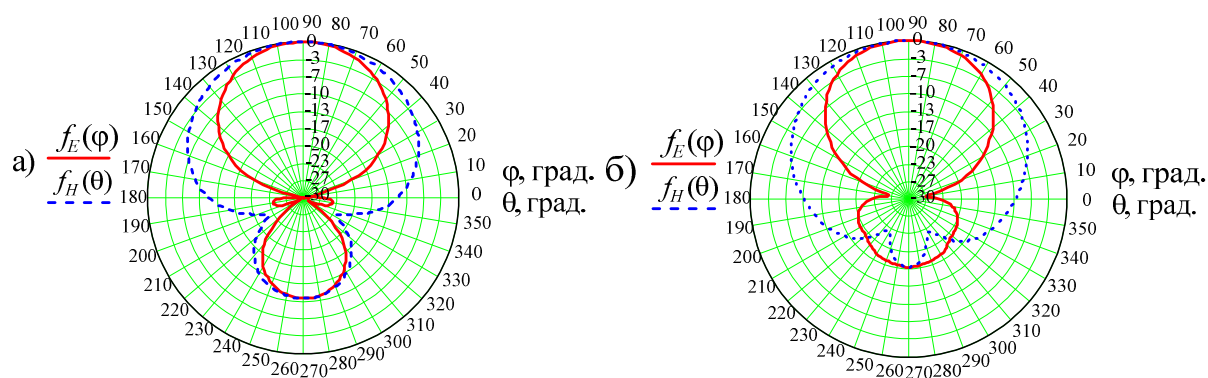


Рисунок 4 — Диаграммы направленности в плоскости E (плоскость XOY) и H (плоскость ZOY) на частотах: 0,6 ГГц (а) и 2 ГГц (б)

Как следует из рисунка 4, а также из таблицы 1, диаграммы направленности сохраняют свою форму в E плоскости (плоскость XOY) и H плоскости (ZOY).

Как следует из таблицы 1 для $f = 600$ МГц при увеличении τ – ширина ДН уменьшается. Особенно это заметно в H плоскости; так при $\tau = 0,85$ изменение ширины ДН происходит в пределах от 122° до 102° ; а при $\tau = 0,9$ от 111° до 96° ; при этом в E плоскости ширина ДН сохраняется. Из этого следует вывод: на нижней границе частот ширина ДН в обеих плоскостях сохраняет свое значение.

Таблица 1 — Зависимость ширины диаграммы направленности в E и H плоскости от частоты f

f , ГГц	$\tau = 0,85$						$\tau = 0,9$					
	$\psi = 10^\circ$		$\psi = 20^\circ$		$\psi = 30^\circ$		$\psi = 10^\circ$		$\psi = 20^\circ$		$\psi = 30^\circ$	
	E -пл	H -пл	E -пл	H -пл	E -пл	H -пл	E -пл	H -пл	E -пл	H -пл	E -пл	H -пл
0,6	68	122	68	119	70	102	65	111	64	102	65	96
0,7	70	120	67	105	68	100	66	112	65	102	65	95
0,8	68	118	66	102	66	98	68	116	65	104	65	95
0,9	65	118	62	108	63	100	67	119	66	106	65	97
1,0	72	116	70	119	70	100	68	120	66	107	66	97
1,2	74	138	72	120	72	108	67	110	65	101	65	92
1,4	76	133	72	117	70	103	68	120	67	108	66	96
1,6	67	113	66	101	66	90	64	114	62	102	64	90
1,8	89	180	82	160	84	138	65	102	65	98	62	88
2,0	108	218	112	220	116	170	67	114	66	105	65	92

Анализ ширины ДН на верхней частоте при $f = 2$ ГГц показал, что при $\tau = 0,9$ значение ширины ДН сохраняется во всем диапазоне, а вот при $\tau = 0,85$ при $f = 2$ ГГц – структура ДН нарушена как в E плоскости, так и в H плоскости, иными словами в данной ЛПА отсутствуют резонирующие вибраторы (их всего 8), в то время как в ЛПА при $\tau = 0,9$ вибраторов 17, что позволяет расширить ее частотный диапазон.

Особое внимание было обращено на уровень заднего излучения, результаты которого представлены в таблице 2.

Таблица 2 — Зависимость уровня поля заднего излучения от частоты f

f , ГГц	$\tau = 0,85$			$\tau = 0,9$		
	$\psi = 10^\circ$	$\psi = 20^\circ$	$\psi = 30^\circ$	$\psi = 10^\circ$	$\psi = 20^\circ$	$\psi = 30^\circ$
0,6	-13,6	-10,8	-9,1	-12,5	-10,5	-10,2
0,7	-17,7	-16,1	-14,7	-16,75	-16	-14
0,8	-18,9	-16,5	-14,5	-19	-17	-15
0,9	-18	-15,7	-14,5	-19	-17,5	-16,5
1,0	-18	-16,4	-13,9	-19	-18	-16,25
1,2	-17,8	-15,1	-13	-20	-19	-17
1,4	-17,5	-14,5	-12,5	-19	-17	-16
1,6	-17,1	-13	-12,1	-19	-17,5	-16,25
1,8	-15,2	-12,3	-10	-21	-18	-16,5
2,0	-14,7	-11	-8,3	-21	-17,25	-16

Из таблицы 2 следует, что уровень поля заднего излучения как для $\tau = 0,85$, так и для $\tau = 0,9$ при $\psi = 10^\circ$ принимает наименьшие значения во всем частотном диапазоне от 0,6 ГГц до 2 ГГц. При этом сохраняются значения ширины ДН; с увеличением ψ до 30° наименьший уровень поля имеет место для $\tau = 0,9$.

Было проведено исследование КНД ЛПА в заданном выше частотном диапазоне. Численные результаты расчета КНД в зависимости от частоты представлены в таблице 3.

Таблица 3 — Зависимость КНД от частоты f

f , ГГц	$\tau = 0,85$			$\tau = 0,9$		
	$\psi = 10^\circ$	$\psi = 20^\circ$	$\psi = 30^\circ$	$\psi = 10^\circ$	$\psi = 20^\circ$	$\psi = 30^\circ$
0,6	7,4	7,6	7,7	7,9	8	8,2
0,7	7,4	7,9	8,2	7,8	8	8,4
0,8	7,7	8,1	8,5	7,5	7,9	8,3
0,9	7,7	7,9	8,2	7,4	7,8	8,2
1	6,8	7,3	7,7	7,3	8	8,15
1,2	6,5	7	7,4	7,6	8	8,5
1,4	6,6	7	7,6	7	7,6	7,9
1,6	7,8	8,2	8,5	7,7	8	8,6
1,8	4,9	5,3	5,7	8	8,2	8,7
2	3,8	4,1	4,5	7,8	8,2	8,7

Анализ полученных данных значений КНД показал, что при увеличении параметра ψ от 0,85 до 0,9, а также при увеличении угла ψ между полотнами ЛПА КНД увеличивается в диапазоне частот от 0,6 ГГц до 2 ГГц.

На основании проведенного исследования было установлено следующее:

- 1) увеличение параметра τ до предельных значений равных 0,9 позволяет создать диапазонную антенну с логарифмической периодичностью с коэффициентом перекрытия до 4;
- 2) выбор угла ψ между полотнами ЛПА в значительной степени влияет на величину ширины ДН в H плоскости, при этом почти не изменяется ширина ДН в E плоскости, однако уровень заднего излучения на 5...6 дБ ниже при $\psi = 10^\circ$ и возрастает с увеличением ψ ;
- 3) результаты исследования ЛПА позволяют создать антенные решетки с коэффициентом перекрытия диапазона частот 10...15.

В дальнейших исследованиях планируется экспериментальное исследование разработанных антенн, а также разработка широкополосных антенн решеток на базе разработанной антенны с $\tau = 0,9$.

Бібліографічний список використаної літератури

1. Рамзей В. Частотно независимые антенны / В. Рамзей. — М.: Мир, 1968. — 175 с.
2. Фрадин А.З. Антенно-фидерные устройства / А.З. Фрадин. — М.: Связь, 1977. — 440 с.

Поступила в редакцию 13.02.2012 г.

Тишук Ю.М., Акімов О.О., Стукалов М.О. Дослідження характеристик випромінювання антен з логарифмічною періодичністю

Запропоновано метод вибору геометричних параметрів діапазонної антени у вигляді плоскої структури з трапецієдними виступами. Представлені результати чисельних розрахунків діаграм спрямованості в E і H площинах у заданому частотному діапазоні.

Ключові слова: широкосмугова антена, логоперіодична послідовність.

Tyschuk Y.N., Akimov O.O., Stukalov M.A. Investigation of radiation characteristics of antennas with logarithmic periodicity

A method for selecting the geometric parameters of the antenna range-bound in the form of a flat structure with trapezoidal protrusions is present. The results of numerical calculations of radiation patterns in E and H planes at a given frequency range are presented.

Keywords: broadband antenna, log-periodic sequence.