

УДК 539.143.539.183

Е. В. Волхонская, М. А. Никишин

МОДЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕДУРЫ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛОГОПЕРИОДИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ С-ДИАПАЗОНА

48

Исследована процедура оптимизации конструктивных параметров логопериодической антенны С-диапазона, разработанной в патенте № 2571607 «Микрополосковая логопериодическая антенна». Выполнена разработка электродинамической модели логопериодической антенны микрополоскового типа для С-диапазона.

An optimization procedure for constructive parameters of the log-periodic C-band antenna developed in the patent No. 2571607 "Microstrip logoperiodic antenna" is investigated. The electrodynamic model of the log-periodic microstrip-type antenna for the C-band has been developed.

Ключевые слова: логопериодическая антенна, оптимизация, конструктивные параметры, симметричные вибраторы, диаграмма направленности.

Key words: logoperiodic antenna, optimization, design parameters, symmetrical vibrators, directional diagram.

Логопериодические антенны (ЛПА) представляет собой достаточно распространенный тип антенн, форма диаграммы направленности которых почти неизменна, а характеристики постоянны в широком частотном диапазоне. Логопериодические антенны используются для приема телевизионного сигнала; в сотовой связи — в качестве донорных антенн при строительстве репитеров и т. п. Диаграмма направленности логопериодической антенны представляет собой нечто среднее между широкой диаграммой панельной антенны и игольчатой диаграммой параболической антенны. Это свойство позволяет устанавливать связь с нужной базовой станцией (БС) без точной настройки пролета, как это требуется для антенны радиорелейной линии (РРЛ), причем расстояние до сервирующей БС может достигать нескольких километров.

ЛПА имеют широкий рабочий частотный диапазон: значение максимальной длины волны сигнала приема может на порядок превышать минимальную длину волны. На всем диапазоне частот отмечается хорошее согласование ЛПА с фидером, при этом коэффициент усиления остается практически неизменным [1]. Данное изобретение относится к антенной технике и может быть использовано в качестве широкополосного облучателя зеркальных антенн при организации спутниковой связи и радиомониторинга С-диапазона [2].



Выполним модельные исследования процедуры оптимизации конструктивных параметров логопериодической антенны С-диапазона.

Антенна содержит ряд симметричных вибраторов, питаемых от симметричного распределительного фидера, являющегося нагрузкой для возбуждающего коаксиального фидера, при этом каждый последующий симметричный вибратор в антенне запитан противофазно предшествующему, а отношение длин плеч соседних вибраторов и отношение расстояний между ними выбраны по соотношениям образования оптимальной логопериодической вибраторной структуры [3].

Симметричные вибраторы и симметричный распределительный фидер выполнены в виде полосковых проводников, расположенных с двух сторон диэлектрического основания, причем отношение волнового сопротивления симметричного распределительного фидера W_{π} к волновому сопротивлению возбуждающего коаксиального фидера W_{ϕ} выбрано из соотношений $1,21 \leq \frac{W_{\pi}}{W_{\phi}} \leq 1,42$ при условии, что $W_{\phi} = 50$ Ом,

или $1,33 \leq \frac{W_{\pi}}{W_{\phi}} \leq 1,68$ при условии, что $W_{\phi} = 75$ Ом, а отношение длины

l_n плеча n -го симметричного вибратора логопериодической структуры к эквивалентному радиусу полоскового проводника вибратора a_n выбрано удовлетворяющим условию $18,5 \leq \frac{l_n}{a_n} \leq 50$, где $n = 1, \dots, N$ [4].

Данное техническое решение имеет ограничение, заключающееся в том, что авторами патента для обеспечения значений коэффициента стоячей волны (КСВ) в возбуждающем коаксиальном фидере 1,3–1,7 в диапазоне рабочих частот с коэффициентом перекрытия больше 2 при достижении значений коэффициента направленного действия (КНД) в нижнем и верхнем пределах 6–7,5 дБ и 10–11,5 дБ соответственно предлагается выбирать строго определенные значения пары параметров τ и σ , оптимизированные под два из возможных стандартных значений волнового сопротивления возбуждающего коаксиального фидера $W_{\phi} = 50$ Ом $W_{\phi} = 75$ Ом. Кроме того, значения активной и реактивной составляющих входного сопротивления антенны не являются постоянными, а колеблются с достаточно большой амплитудой в пределах рабочего диапазона частот. В качестве недостатка данного технического результата следует отметить то, что оптимизационная процедура направлена лишь на снижение КСВ без существенного увеличения КНД антенны.

Логопериодическая вибраторная антенна (рис.) содержит ряд симметричных вибраторов 1, присоединенных к симметричному распределительному фидеру 2, которые выполнены в виде полосковых проводников с двух сторон диэлектрического основания 3. Возбуждающий коаксиальный фидер 4 проложен по одному из проводников симметричного распределительного фидера 2. Оплетка 5 возбуждающего коаксиального фидера 4 имеет контакт с одним из проводников симмет-



ричного распределительного фидера 2 в месте подключения наименьшего из вибраторов, а центральная жила 6 возбуждающего коаксиального фидера 4 имеет контакт с противоположным проводником симметричного распределительного фидера 2. Со стороны наибольшего из вибраторов проводники симметричного распределительного фидера 2 соединены между собой короткозамкнутым шлейфом 7 [4].

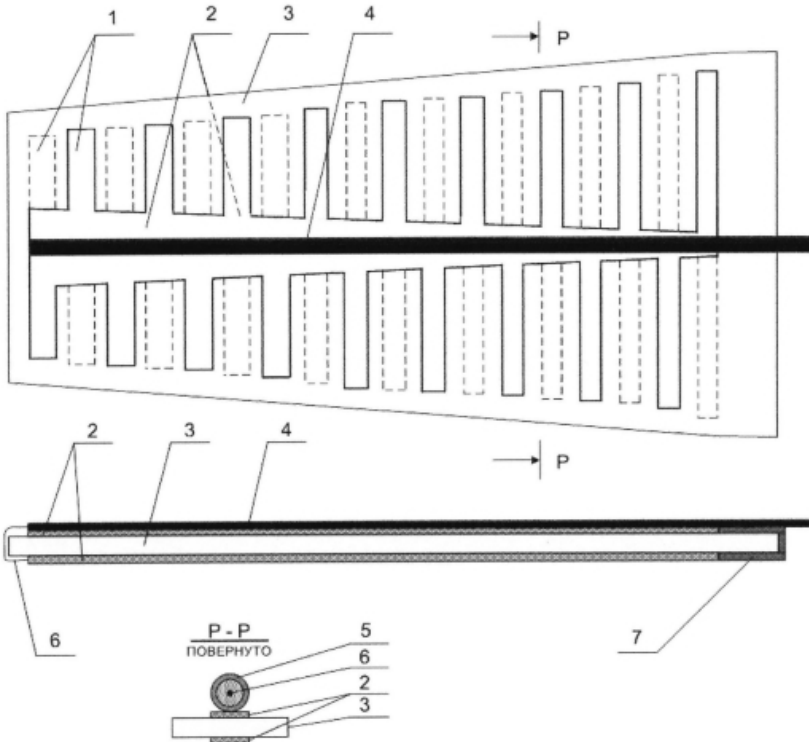


Рис. Три проекции конструкции логопериодической вибраторной антенны

Расчет ширины симметричного распределительного фидера производился в соответствии с выражением [5]

$$W_{\pi} = W_{\phi} = \begin{cases} \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{\text{эф}}}} \left(\ln \frac{8h}{b_0} + 0,25 \frac{b_0}{h} \right), & \frac{b_0}{h} < 1 \\ \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{\text{эф}}}} \left(\frac{b_0}{h} + 1,393 + 0,667 \ln \left(\frac{b_0}{h} + 1,4444 \right) \right)^{-1}, & \frac{b_0}{h} \geq 1, \end{cases}$$

где $\epsilon_{\text{эф}} = \frac{\epsilon + 1}{2} + \frac{\epsilon - 1}{2\sqrt{1 + 12\frac{h}{b_0}}}$ – эффективное значение диэлектрической

проницаемости; h – толщина диэлектрической пластины; $\epsilon = 2,9$ – относительная диэлектрическая проницаемость (для выбранного в качестве диэлектрика материала подложки ФЛАН-2,8).



В предложенной авторами методике расчета клеммных токов вибраторов согласно методу наведенных ЭДС клеммный ток i -го вибратора определяется выражением

$$\dot{I}_i = \sum_{j=0}^{N-1} Z_{ij}^{-1} \dot{U}_j, \quad i = 0, \dots, N-1.$$

Клеммные напряжения определяются рекуррентным соотношением вида

$$\frac{\dot{U}_{i-1}}{\dot{U}_i} = \frac{Z_{\text{вх}i}}{Z_{\text{вх}i} \operatorname{ch}(\gamma S_{i-1}) + W_{\pi} \operatorname{sh}(\gamma S_{i-1})}.$$

51

Входящее в данное рекуррентное соотношение комплексное входное сопротивление определяется выражением вида

$$Z_{\text{вх}i} = \frac{Z_{\text{вх}i}^{\Phi} Z_{\text{вх}i}^{\text{виб}}}{Z_{\text{вх}i}^{\Phi} + Z_{\text{вх}i}^{\text{виб}}}, \quad i = 0, \dots, N-1,$$

Комплексное входное сопротивление i -го вибратора задано следующим выражением:

$$Z_{\text{вх}i}^{\text{виб}} = \sum_{j=0}^{N-1} Z_{ij} \frac{I_j}{I_i}, \quad i = 0, \dots, N-1,$$

где комплексное входное сопротивление сечения симметричного распределительного фидера определяется рекуррентным соотношением вида

$$Z_{\text{вх}i}^{\Phi} = W_{\pi} \frac{Z_{\text{вх}i-1} + W_{\pi} \operatorname{th}(\gamma S_{i-1})}{W_{\pi} + Z_{\text{вх}i-1} \operatorname{th}(\gamma S_{i-1})}.$$

Математическая модель поля излучения ЛПВА в дальней зоне представляет собой сумму комплексных амплитуд напряженностей электрического поля от всех элементов антенны в предположении бесконечной малости радиуса элемента ЛПВА, малости зазора между клеммами и соосности плеч элемента. Комплексная амплитуда напряженности электрического поля отдельного элемента ЛПВА определяется выражением

$$\dot{E}_i(\theta, \varphi) = \frac{60 j \dot{I}_i}{\sin(\beta l_i)} \cdot \frac{\cos(\beta l_i \sin(\theta) \sin(\varphi)) - \cos(\beta l_i)}{\sqrt{1 - (\sin(\theta) \sin(\varphi))^2}} \cdot \frac{\exp(-j\beta R_1)}{R_1},$$

а комплексная амплитуда напряженности электрического поля ЛПВА в дальней зоне

$$\dot{E}(\theta, \varphi) = \sum_{i=1}^N \dot{E}_i(\theta, \varphi).$$



Коэффициент усиления антенны в направлении максимального излучения может быть рассчитан в соответствии с выражением

$$G_{\max} = \frac{4\pi E_{\max}^2}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} |\dot{E}(\theta, \varphi)|^2 \sin \theta d\theta d\varphi},$$

где E_{\max} — максимальное значение амплитуды напряженности электрического поля антенны.

Поляризационная диаграмма и коэффициент эллиптичности антенны определяются следующими выражениями:

$$P(\phi) = \left| \dot{E}\left(\frac{\pi}{2}, \phi\right) \right|,$$
$$K_{\text{эл}} = P\left(\frac{\pi}{2}\right) / P(0).$$

52

Данная электродинамическая модель была положена в основу модельных исследований направленных и поляризационных свойств, а также электрических характеристик запатентованной антенны в среде MathCAD. В дальнейших исследованиях предполагается разработать алгоритм оптимизационных процедур и оптимизировать конструктивные параметры ЛПА.

Список литературы

1. Петров Б. М. Логопериодические вибраторные антенны. М., 2005.
2. Кочержевский Г. Н. Антенно-фидерные устройства. М., 1989.
3. Карл Ротхаммель. Антенны. Лайт ЛТД, 2007. Т. 1.
4. Патент Российской Федерации № 2571607, МПК H01Q 11/10, опубликован 20.12.2015.
5. Проектирование полосковых устройств СВЧ : учебное пособие. Ульяновск, 2001.

Об авторах

Елена Вячеславовна Волхонская — д-р техн. наук, проф., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.
E-mail: EVolkhonskaya@kantiana.ru

Максим Александрович Никишин — магистрант, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.
E-mail: MNikishin@kantiana.ru

About the authors

Prof. Elena Volkhonskaya — I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.
E-mail: EVolkhonskaya@kantiana.ru

Maxim Nikishin — student, I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.
E-mail: MNikishin@kantiana.ru