

ОБОБЩЕНИЕ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ ТРАКТОВКИ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОЛЯ ВЫСОКОПОДНЯТЫХ АНТЕНН

Д. т. н. Л. Г. Корниенко

Харьковский национальный университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба
Украина, г. Харьков
leonat086@gmail.com

Проведено обобщение отражательной трактовки для расчета поля высокоподнятых над земной поверхностью антенн, в которых фазовый центр либо отсутствует, либо не совпадает с началом выбранной для расчета поля системы координат. Проанализировано влияние фазовой характеристики антенны на угловое распределение поля над плоской земной поверхностью.

Ключевые слова: отражательная трактовка, интерференционный множитель, прямая и отраженная волны, фазовая характеристика, фазовый центр, фронт волны.

Для расчета поля антенн, высота установки которых значительно превышает длину волны λ над гладкой плоской однородной землей, используется отражательная трактовка [1, 2], в соответствии с которой поле в точке наблюдения является результатом интерференции прямой и зеркально отраженной волн. При этом отраженная от земной поверхности волна определяется полем зеркально изображенной антенны, умноженном на комплексный коэффициент отражения $\Gamma' = \Gamma \exp(j\beta)$ плоской волны от плоской поверхности. В современных радиотехнических системах для формирования специальных диаграмм направленности (ДН) применяются довольно сложные антенны, которые излучают волны с несферическим фронтом относительно начала выбранной для расчетов системы координат, что не учитывается в [1, 2]. В таких антеннах фазовый центр либо отсутствует, либо не совпадает с началом системы координат.

Целью настоящей работы является распространение методики отражательной трактовки для расчета поля высокоподнятых антенн, которые излучают несферический фронт волны относительно начала выбранной системы координат, и оценка влияния фазовой характеристики антенны на ее диаграмму направленности.

Комплексная амплитуда напряженности электрического поля антенны в дальней зоне на расстоянии r [3]

$$E'_A(\theta) = (\sqrt{60PG} / r) F_A(\theta) \exp[j(\varphi_A(\theta) - kr)] \quad (1)$$

зависит от мощности P на входе и коэффициента усиления G нормированной (к своему максимальному значению) амплитудной ДН $F_A(\theta)$ антенны в свободном пространстве, ее фазовой характеристики (ФХ) $\varphi_A(\theta)$, длины волны λ ($k = 2\pi/\lambda$). Если антенна имеет фазовый центр и начало координат совмещено с ним, то ее ФХ неизменна в пределах каждого лепестка ДН и изменяется скачком на π при переходе из одного лепестка к другому. В противном случае ФХ изменяется в пределах лепестков ДН, излучаемые поднятой антенной волны в направлениях точек отражения и наблюдения имеют разные начальные фазы, разность этих фаз ξ влияет на результат интерференции прямой и отраженной волн, что должно быть учтено при расчете поля. Используя выражение (1) и методику отражательной трактовки [2], получим для дальней зоны антенны и ее зеркального изображения следующее выражение для амплитудной ДН антенны в угломестной плоскости

$$F(\theta) = F_A(\theta) \sqrt{1 + B^2(\theta) + 2B(\theta) \cos(2kh \sin \theta - \beta - \xi)} \quad (2),$$

где h — высота подъема начала координат на антенне; $B(\theta) = \Gamma(\theta) F_A(-\theta) / F_A(\theta)$ — отношение амплитуд отраженной и прямой волн в точке наблюдения. Формула (2) отличается от аналогичной формулы в [1, 2] тем, что в ней в разнице фаз прямой и отраженной волн (аргумент косинуса) помимо набега фазы на разности хода волн и скачка фазы β при отражении учитываются также и разность фаз ξ , возникшая вследствие излучения антенной несферического фронта волны. Для иллюстрации влияния

разности фаз ξ на форму ДН рассмотрим две двухэлементные вертикальные антенные решетки А1 и А2, соответственно, с излучателями в виде горизонтального и вертикального полуволновых вибраторов с плоским рефлектором. Высота установки верхнего h_B и нижнего h_H излучателей и их возбуждение выберем из условия обеспечения компромисса между глубиной провалов в ДН и величиной поля в максимуме ее приземного лепестка. Пусть $h_B = 4,5\lambda$, $h_H = 3\lambda$. Подведем 60% мощности к нижнему и 40% к верхнему излучателям, фаза тока верхнего на $0,5\pi$ опережает фазу тока нижнего излучателя.

На рис. 1 показаны ДН $F_A(\theta)$ решеток А2 (сплошная кривая) и А1 в свободном пространстве, на рис. 2 их ФХ $\varphi_A(\theta)$ в пределах главного лепестка, максимум которого смещен в сторону земли. Дифракционные лепестки придавлены ДН излучателей. ФХ относительно начала координат в центре решеток непостоянна, имеет разный знак по обе стороны от горизонтального направления ($\theta=0$), так что разность фаз $\xi \neq 0$. На рис. 3 приведены ДН решеток с горизонтальной (сплошная кривая) и вертикальной поляризациями над плоской однородной землей в виде сухого грунта. Основная энергия поля сосредоточена в пределах полуширины ДН отдельного излучателя. Глубокие провалы в ДН возникают в тех направлениях, где поля имеют близкие по величине амплитуды и складываются в противофазе или в которых минимумы интерференционных множителей для излучателей совпадают. Амплитуда поля вертикальной поляризации уменьшается из-за меньшего значения коэффициента отражения.

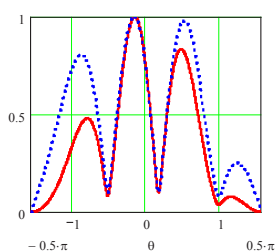


Рис. 1

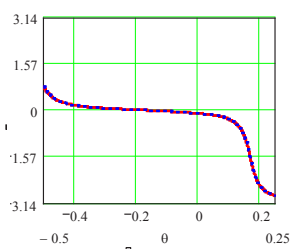


Рис. 2

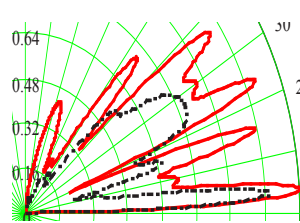


Рис. 3

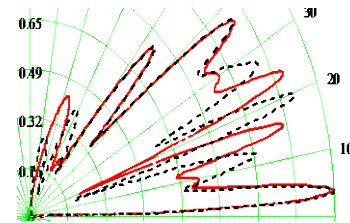


Рис. 4

На рис. 4 изображены ДН решетки А1 с учетом ФХ (сплошная кривая) и без ее учета. Видно, что лишь в области малых углов θ допустимо пренебрежение ФХ антенны. Результаты получены при выборе начала координат в центре решеток на высоте $h = 0,5(h_B + h_H)$. Выберем теперь начало координат на нижнем излучателе. Тогда аргумент косинуса в (2) имеет вид $2kh_H \sin\theta - \beta - \bar{\xi}$, где $\bar{\xi} = \bar{\varphi}_A(-\theta) - \bar{\varphi}_A(\theta)$, а ФХ относительно нового начала координат $\bar{\varphi}_A(\theta) = \varphi_A(\theta) + 0,5k(h_B - h_H)\sin\theta$ [3]. Аргумент косинуса после подстановки выражения для $\bar{\xi}$ приобретает первоначальный (как в (2)) вид. Таким образом, изменение начала координат на антенне не изменяет результата расчета амплитудной ДН, если высота антенны определяется высотой начала координат.

Итак, получена формула, позволяющая применять отражательную трактовку для расчета поля высокоподнятых антенн, не имеющих фазового центра или при несовпадении начала координат на антенне с ее фазовым центром. Рассмотренный пример иллюстрирует важность учета фазовой характеристики антенны для правильного расчета ее диаграммы направленности над поверхностью земли. Приведенные результаты могут быть использованы для расчета характеристик РТС с высокоподнятыми антеннами, например зон обнаружения РЛС метрового диапазона, в которых отражения от земной поверхности используются для увеличения дальности действия в определенных направлениях.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Справочник по радиолокации / Под ред. М. Скольника. Том1.— Москва: Сов. радио, 1976.
2. Черный Ф.Б. Распространение радиоволн.— Москва: Сов.радио, 1972.
3. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ.— Москва: Высш.шк., 1988.

L. G. Kornienko

Generalization of the reflection interpretation to calculate the field of high elevated antennas

The reflection interpretation has been generalized to calculate the field of high elevated antennas with either an absent phase center or a center that does not coincide with the coordinate system origin chosen for the calculation field. The authors analyze the influence of antenna's phase characteristics on field's angular distribution over the flat surface.

Key words: reflection interpretation, interference factor, direct and reflected waves, phase characteristics, phase center, wave front.