

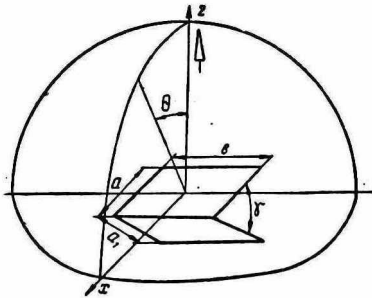
УСЛОВИЯ СТАБИЛИЗАЦИИ НАПРАВЛЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ПЕРИСКОПИЧЕСКИХ АНТЕНН

Перископические антенные системы широко используются в радиотехнических устройствах [1]. Основное их достоинство состоит в том, что сложный излучатель, помещенный на уровне или ниже основания антенной опоры, направляет энергию на переизлучатель, расположенный у вершины, где она переотражается в заданном направлении. При этом передача электромагнитной энергии от облучателя к переотражателю проходит по лучу без помощи фидерной линии.

Известно [1], что при использовании в качестве переизлучателя плоского зеркала его поворот на Ψ градусов ведет к отклонению максимума диаграммы направленности на угол Ψ или 2Ψ в зависимости от схемы антенной системы и плоскости поворота зеркала. В ряде случаев отклонение диаграммы направленности является неприемлемым. Таким образом, существует необходимость в построении переизлучателя, способного

переограждать электромагнитное поле в заданном направлении при его произвольных смещениях. В настоящей статье исследуются условия стабилизации направления максимального излучения перископической антенны.

Для анализа условий стабилизации отвлечемся от особенностей реальных конструкций переизлучателей и рассмотрим его модель, имеющую входной и выходной раскрывы [1]. Будем считать, что раскрывы представляют собой плоские прямоугольные поверхности, которые при среднем положении переизлучателя имеют одинаковые размеры и возбуждены синфазно. Кроме того, наложим на них следующие условия:



1. Раскрывы расположены параллельно или под некоторым углом друг к другу, как показано на рисунке.

2. Их линейные размеры значительно больше λ .

3. Расстояние между раскрывами не превосходит нескольких линейных размеров раскрыва.

Принятая нами модель близка к реальным конструкциям и условиям работы переизлучателей. Так, облучение входного раскрыва реального переизлучателя сфокусированным облучателем возбуждает его синфазно, а плоский выходной раскрыв определяется выбором ближайшей синфазной поверхности, возбужденной переизлученным полем. Таким образом, оправдан выбор плоских синфазно возбужденных поверхностей в качестве раскрывов модели переизлучателя.

В целях упрощения выкладок считаем, что оба раскрыва возбуждены равномерно. Отступление от принятого равномерного возбуждения в реальных условиях ведет к расширению основного лепестка диаграммы направленности. Наличие квадратичных фазовых искажений при параллельных смещениях может привести к повороту максимума диаграммы направленности. В данном исследовании эти явления не учитываются ввиду незначительности их влияния при условиях, наложенных на модель переизлучателя.

Пользуясь описанной моделью переизлучателя, найдем основные условия стабилизации направления максимума диаграммы направленности перископической антенны. Любое перемещение переизлучателя можно представить как перенос плоскостей раскрыва параллельно трем взаимно-ортогональным координатным осям с одновременным их поворотом.

Рассмотрим параллельное смещение переизлучателя на расстояние, малое по сравнению с размерами раскрывов при фиксированном положении облучателя системы. Параллельное смещение переизлучателя можно разложить на поперечное и продольное смещения раскрывов по отношению к направлению максимумов диаграмм направленности. Так как входной раскрыв не выходит за пределы фокальной области главного лепестка, а выходной возбуждается плоской волной, оба раскрыва при параллельном смещении останутся синфазно возбужденными, а их смещение не повлияет на направление максимального излучения всей системы.

Таким образом, анализ малых произвольных перемещений отражателя сводится к анализу его угловых перемещений. Назовем две точки на входном и выходном раскрывах, через которые проходит один луч, сопряженными. Пусть ось X при среднем положении переизлучателя параллельна стороне a выходного раскрыва (см. рисунок). Учитывая, что входной и выходной раскрывы образуют угол γ , а также приняв закон изменения электрического расстояния l между сопряженными точками раскрывов линейным, запишем выражение для изменения поля у выходного раскрыва:

$$E_2(x) = E_0 e^{i\varphi_1 \frac{2x_1}{a_1} + i\xi \frac{2x}{a_2} + i\varphi_2 \frac{2x}{a_2} + i\varepsilon \frac{2x}{a_2}}, \quad (1)$$

где E_0 — напряженность поля в центре раскрыва;

x — координата линии, вдоль которой изменяется фаза;

x меняется от $-\frac{a_2}{2}$ до $\frac{a_2}{2}$;

a_1 — размер входного раскрыва при отклонении переизлучателя от среднего положения на угол Ψ ;

φ_1 — максимальный фазовый сдвиг на краю входного раскрыва при отклонении переизлучателя от среднего положения на угол Ψ ;

$\bar{x}_1 = \bar{x} \cos \gamma$, x_1 меняется от $-\frac{a_1}{2}$ до $+\frac{a_1}{2}$, $a_1 = a$;

$\xi = f(\gamma)$ — максимальный фазовый сдвиг на краю выходного раскрыва, определяемый углом γ ;

γ — угол между раскрывами;

φ_2 — максимальный фазовый сдвиг на краю выходного раскрыва, определяемый углом Ψ ;

$\varepsilon = f(l)$ — максимальный фазовый сдвиг на краю выходного раскрыва, определяемый законом изменения электрической длины l между сопряженными точками раскрывов;

a_2 — размер выходного раскрыва при отклонении переизлучателя от среднего положения на угол Ψ .

Если оба раскрыва при среднем положении переизлучателя представляют собой излучающие поверхности, ограниченные размерами a и b , то $a_1 = a_2 = a$.

Теперь закон изменения поля у выходного раскрыва можно записать в следующем виде:

$$E_2(x) = E_0 e^{i(\varphi_1 + \varphi_2) \frac{2x}{a} + i\xi \frac{2x}{a} + i\varepsilon \frac{2x}{a}} \quad (2)$$

Подставим $E_2(x)$ в выражение для напряженности поля [2], формируемого выходным раскрывом в плоскости ZX (рисунок), перпендикулярной к излучающей поверхности и проходящей через ось X , получим

$$E = j \frac{E_0}{2r\lambda} \left(\cos \theta + \frac{W}{W_0} \right) e^{-jar} \times \\ \times \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} e^{jax \sin \theta + i(\varphi_1 + \varphi_2) \frac{2x}{a} + i\xi \frac{2x}{a} + i\varepsilon \frac{2x}{a}} dx dy. \quad (3)$$

Интегрируя правую часть уравнения (3), имеем

$$E = j \frac{E_0}{2r\lambda} \left(\cos \theta + \frac{W}{W_0} \right) e^{-jar} ab \times \\ \times \frac{\sin \left\{ \frac{aa}{2} \left[\sin \theta + \frac{2(\varphi_1 + \varphi_2)}{aa} + \frac{2\xi}{aa} + \frac{2\varepsilon}{aa} \right] \right\}}{\frac{aa}{2} \left[\sin \theta + \frac{2\varphi_1 + \varphi_2}{aa} + \frac{2\xi}{aa} + \frac{2\varepsilon}{aa} \right]}. \quad (4)$$

Проделав аналогичные преобразования для среднего положения отражателя, когда $\varphi_1 = \varphi_2 = 0$, получаем

$$E = j \frac{E_0}{2r\lambda} \left(\cos \theta + \frac{W}{W_0} \right) e^{-jar} ab \frac{\sin \left[\frac{aa}{e} \left(\sin \theta + \frac{2\xi}{aa} + \frac{2\varepsilon}{aa} \right) \right]}{\frac{aa}{2} \left(\sin \theta + \frac{2\xi}{aa} + \frac{2\varepsilon}{aa} \right)}. \quad (5)$$

В случае (4) угол поворота максимума диаграммы направленности относительно направления максимального излучения облучателя можно получить из уравнения [2]:

$$\sin \theta_1 + \frac{2(\varphi_1 + \varphi_2)}{aa} + \frac{2\xi}{aa} + \frac{2\varepsilon}{aa} = 0, \quad (6)$$

а в случае (5) среднего положения переизлучателя угол переотражения определится уравнением

$$\sin \theta_0 + \frac{2\xi}{aa} + \frac{2\varepsilon}{aa} = 0, \quad (7)$$

где θ_1 — угол переизлучения диаграммы направленности при отклонении переизлучателя на угол Ψ ;

θ_0 — угол переизлучения при среднем положении отражателя.

Очевидно, что направление максимума результирующей диаграммы направленности не зависит от качания переизлучателя, если $\theta_1 = \theta_0$. Решая совместно уравнения (6) и (7), находим:

$$\varphi_1 + \varphi_2 = 0, \quad \varphi_1 = -\varphi_2. \quad (8)$$

Знак минус перед φ_2 означает, что если фаза поля на краю входного раскрыва в точке $x = \frac{a_1}{2}$ опережает на угол φ фазу поля в точке $x = 0$, то на выходном раскрыве в точке $\frac{a_2}{2}$ фаза поля должна отставать на угол φ по сравнению с фазой в центре его.

Как видно из выражений (6) и (7), все слагаемые, определяющие фазовые искажения в плоскости выходного раскрыва, являются линейными, откуда следует, что при равных значениях ξ и ε их действие на результаты работы исследуемой модели антенны будет одинаковым.

Рассмотрим три случая, соответствующих условиям

$$1) \xi = \text{const}, \quad \varepsilon = 0;$$

$$2) \varepsilon = \text{const}, \quad \xi = 0;$$

$$3) \varepsilon = \xi = 0.$$

Первое условие соответствует реальному переотражателю, у которого электрическое расстояние l между любыми сопряженными точками раскрывов одинаково. При этом угол переотражения определяется углом γ между раскрывами.

Второе условие соответствует реальному переотражателю, у которого раскрывы параллельны, так как по условию $\gamma = 0$, а угол переотражения сохраняется постоянным за счет линейного закона изменения электрических расстояний между сопряженными точками раскрывов. Очевидно, что в обоих случаях выполняется условие (8) стабилизации результирующей диаграммы направленности.

При третьем условии, когда $\varepsilon = \xi = 0$, раскрывы параллельны, а электрические расстояния между любыми сопряженными точками раскрывов равны. Очевидно, что во всех трех случаях

для уравнений (6), (7) будет выполняться условие (8) в силу линейности и постоянства фазовых сдвигов, вносимых переизлучателем при распространении электромагнитного поля от одного раскрыва к другому как при среднем положении переизлучателя, так и при его отклонении на угол Ψ от среднего положения.

Из приведенного анализа следует, что при переотражении излученного поля в одном направлении за счет условий $\xi = \text{const}$, $\epsilon = 0$ или $\epsilon = \text{const}$, $\xi = 0$, в ортогональной плоскости достаточно условия $\epsilon = \xi = 0$, чтобы при выполнении соотношения (8) направление максимального излучения оставалось постоянным при угловых перемещениях отражателя в двух взаимно-ортогональных плоскостях. Параллельные смещения допускаются в пределах фокальной области главного лепестка диаграммы направленности. Результаты исследования можно использовать в радиодиапазоне и в оптическом диапазоне волн.

ВЫВОДЫ

1. Выбранная модель переизлучателя позволяет получить условия стабилизации направления максимального излучения. Эти условия определяют относительное расположение раскрывов и характер распространения электромагнитной волны от входного к выходному раскрыву.

2. Направление максимального излучения при угловых смещениях переотражателя можно стабилизировать при параллельном расположении его раскрывов и при постоянном угле между ними, в частности, при перпендикулярном расположении раскрывов относительно направлений максимальных излучений. Изменение направления излучения в первом случае происходит за счет условий распространения волны между раскрывами. Во втором случае — за счет угла между раскрывами при постоянстве электрических расстояний вдоль луча между ними.

3. В плоскости, ортогональной к плоскости стабилизации, рассмотренной в п. 2, условия стабилизации при угловых смещениях переотражателя достигаются при равенстве электрических и геометрических расстояний между раскрывами вдоль секущих плоскостей, параллельных к рассматриваемой плоскости.

4. Параллельные смещения переотражателя в пределах фокальной области главного лепестка диаграммы направленности при возбуждении его сфокусированным излучателем или плоским фронтом волны не влияют на направление максимального излучения системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Покрас А. М. Перископические антенны и беспроводные линии передачи. М., Связьиздат, 1963, 198 с.
2. Айзенберг Г. З. Антенны ультракоротких волн. М., Связьиздат, 1957. 699 с.