

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Д. М. ВЫСОКОВСКИЙ

**АМПЛИТУДНО-ФАЗОВЫЕ СООТНОШЕНИЯ ТОКОВ В ВИБРАТОРАХ
АНТЕННЫ «ВОЛНОВОЙ КАНАЛ»**

(Представлено академиком М. А. Леонтовичем 1 IV 1954)

При теоретическом рассмотрении антенн «волновой канал» часто постулируют равенство амплитуд токов во всех вибраторах и разности фаз токов между соседними вибраторами. Такая схема распределения амплитуд и фаз, конечно, очень удобна, и поэтому в некоторых работах ^(1,2) ее стараются подкрепить указаниями на то, что якобы в настроенных антеннах такое распределение действительно имеет место, хотя никаких экспериментальных или расчетных данных в подтверждение этого не приводится.

Результаты количественного расчета систем вибраторов различной длины ⁽³⁾ показывают, что для настроенных систем, имеющих значительную направленность, эти упрощения не оправдываются.

В табл. 1 приведены величины амплитуд A_m и фаз $\varphi_{m-1} - \varphi_m$ токов, а также усиление по напряженности поля в главном и обратном направлениях $\varepsilon(0)$ и $\varepsilon(\pi)$ для антенн из 6 вибраторов ($2l$ — длина вибраторов).

Таблица 1

$2l/\lambda$	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	$\varphi_0 - \varphi_1$	$\varphi_1 - \varphi_2$	$\varphi_2 - \varphi_3$	$\varphi_3 - \varphi_4$	$\varphi_4 - \varphi_5$	$\varepsilon(0)$	$\varepsilon(\pi)$
0,40	0,0103	0,0029	0,0015	0,0013	0,0014	0,0012	161	123	103	134	128	1,67	0,97
0,41	0,0113	0,0029	0,0015	0,0018	0,0019	0,0017	161	100	140	129	134	1,84	1,07
0,42	0,0120	0,0051	0,0032	0,0027	0,0031	0,0028	168	142	117	133	141	2,30	1,06
0,43	0,0170	0,0083	0,0047	0,0054	0,0070	0,0053	178	137	104	145	148	2,58	1,79
0,44	0,0172	0,0079	0,0080	0,0112	0,0118	0,0078	190	120	143	162	153	2,09	1,62
0,45	0,0232	0,0204	0,0187	0,0158	0,0119	0,0068	211	172	168	164	150	0,92	1,47
0,46	0,0146	0,0101	0,0053	0,0025	0,0009	0,0006	244	182	170	173	160	0,41	1,65

Индексы A_0 , φ_0 соответствуют активному вибратору, A_1 , φ_1 — первому директору и т. д. Разности фаз даны в градусах. Амплитуды A вычислены для эдс, равной единице. Из этой таблицы видно, что в антеннах с максимальной направленностью (0,42—0,43 λ) амплитуды и фазы распределены неравномерно вдоль антенны, причем в распределении имеется известная периодичность. Особенно не соответствует предположению о равной величине амплитуд и фаз большая величина A_0 и $\varphi_0 - \varphi_1$ по сравнению с этими величинами в остальных вибраторах. Более плавное аperiodическое распределение амплитуд и фаз имеет место для расстроенных антенн (0,45—0,46 λ) или для антенн с сильно укороченными директорами (0,40—0,41 λ).

Поэтому рассмотрение, основанное на постулировании равенства амплитуд и фаз без учета их действительного распределения, имеет

лишь характер качественных соображений и не может дать количественного вывода зависимостей, полученных экспериментально. С другой стороны, сложный характер распределения амплитуд и фаз крайне затрудняет, даже после выполнения трудоемкого расчета по вычислению этих величин, вывод общих закономерностей для параметров антенн этого типа.

Можно, однако, ввести равные амплитуды и разности фаз путем усреднения действительного распределения этих величин, полученных из расчета. При введении усредненных амплитуд и фаз гарантируется получение такого же усиления в главном направлении, как при действительном их распределении. При увеличении числа вибраторов усредненные величины A и φ (без индексов) убывают (табл. 2).

Таблица 2

Число вибраторов	$2l/\lambda$					
	0,435		0,430		0,420	
	A	φ	A	φ	A	φ
2	0,0120	192°	0,0110	186°	0,0084	169°
4	0,0107	186	0,0084	151	0,0058	143
8	0,0095	169	0,0067	135	0,0042	132

$$A = \frac{1}{n+1} \sum_{m=0}^n A_m; \quad \varphi = \frac{1}{n} \sum_{m=0}^{n-1} (\varphi_m - \varphi_{m+1}); \quad n - \text{число директоров.}$$

Постепенное уменьшение средней амплитуды тока в вибраторах при увеличении их числа вызывает уменьшение величины усиления, приходящегося на один вибратор антенны. Это уменьшение усиления компенсируется в некоторой степени уменьшением средней величины фазового угла, что улучшает условия сложения полей и при увеличении числа вибраторов обеспечивает получение большего усиления, чем можно было бы ожидать по степени уменьшения амплитуд. Учет знака и порядка величины изменения усредненных величин амплитуд и фаз позволяет вывести зависимость усиления в главном направлении от числа директоров. По усредненным величинам амплитуд и разностей фаз токов A и φ можно вывести выражение для результирующей амплитуды вектора поля в главном направлении

$$A_{\text{рез}} = A \frac{\cos \frac{n-1}{2} \psi}{\operatorname{tg} \frac{n\psi}{2}} \frac{\sin \frac{n\psi}{2}}{\sin \frac{\psi}{2}}, \quad (1)$$

где $\psi = \varphi - kd$, $k = 2\pi/\lambda$, d — расстояние между вибраторами, n — число директоров.

При увеличении числа вибраторов до $n+1$ с учетом приращения усредненных величин A и φ

$$A_{\text{рез}(n+1)} = (A - \Delta A) \frac{\cos \frac{n}{2} (\psi - \Delta\psi)}{\operatorname{tg} \frac{n+1}{2} (\psi - \Delta\psi)} \frac{\sin \frac{n+1}{2} (\psi - \Delta\psi)}{\sin \frac{(\psi - \Delta\psi)}{2}}. \quad (2)$$

Отношение последних множителей в (2) и (1) при значительном $n \geq 4$ и выполнении дополнительного условия для фаз

$$n\psi \approx \frac{\pi}{2} \quad (3)$$

изменяется монотонно и будет близко к $(n+1)/n$. Отношение вторых сомножителей изменяется периодически и близко к единице. Тогда

$$\frac{A_{\text{рез}(n+1)}}{A_{\text{рез}(n)}} = C \left(1 + \frac{1}{n}\right) \left(1 - \frac{\Delta A}{A}\right), \quad \text{где } C \approx 1. \quad (4)$$

Из этого выражения выявляется зависимость усиления как от изменения фаз (первый сомножитель), так и от изменения амплитуд при увеличении числа вибраторов. При отсутствии последнего сомножителя (т. е. при постоянной амплитуде) усиление антенны было бы пропорционально числу вибраторов. Для определения действительного вида этой зависимости по выражению (4) необходимо иметь оценку величины $\Delta A/A$.

В рассматриваемой области настройки, где выполняется условие (3), усредненные значения A дают, например, при $n=6$:

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{4}{50} = \frac{1}{12,5} \approx \frac{1}{2n}.$$

Таким образом,

$$\frac{A_{\text{рез}(n+1)}}{A_{\text{рез}(n)}} = C \left(1 + \frac{1}{n}\right) \left(1 - \frac{1}{2n}\right) \approx C \left(1 + \frac{1}{2n}\right). \quad (5)$$

Такое соотношение как раз соответствует экспериментально установленной зависимости для коэффициента усиления в главном направлении

$$\varepsilon_n(0) = a \sqrt{n}, \quad (6)$$

так как при такой зависимости

$$\frac{\varepsilon_{n+1}(0)}{\varepsilon_n(0)} = \sqrt{\frac{n+1}{n}} = \sqrt{1 + \frac{1}{n}} \approx 1 + \frac{1}{2n}. \quad (7)$$

Из указанного вывода следует также, что коэффициент a для рассматриваемой области настройки близок к единице.

Необходимо отметить, что если введение усредненных значений амплитуд и фаз гарантирует получение такого же усиления в главном направлении, как при действительном распределении этих величин, то в отношении диаграммы направленности это не выполняется.

Для направления, составляющего с главным направлением угол α , фазовый угол в векторном полигоне, получаемом при сложении векторов поля, будет

$$\psi_\alpha = \varphi - kd \cos \alpha. \quad (8)$$

При увеличении α угол ψ_α возрастает ($\psi_\alpha > \psi_0$) и полигон векторов становится все более замкнутым. Первое значение α , при котором полигон образует минимальный результирующий вектор, соответствует первому минимуму диаграммы направленности и определяет ее ширину. Это получается при

$$n\psi_\alpha = 2\pi. \quad (9)$$

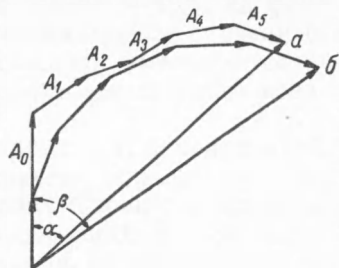


Рис. 1. Векторные полигоны для действительных (а) и усредненных (б) значений амплитуд и фаз $\alpha = 48^\circ$, $\beta = 55^\circ$

По векторным диаграммам (при $\alpha = 0$) для действительных и усредненных значений (см. рис. 1) видно, что в первом случае результирующий вектор поля сдвинут по отношению к вектору поля активного вибратора на меньший угол. Полигон векторов для действительного распределения амплитуд и фаз оказывается менее замкнутым, и такой полигон образует минимальный результирующий вектор при большей величине угла α . Таким образом, имеющееся в действительности неравномерное распределение амплитуд и фаз приводит в общем к некоторому уширению диаграммы направленности по сравнению с той, которая получается для усредненных значений.

Поступило
12 I 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ D. Reid, JIEE, 93, III, A, 564 (1946). ² R. M. Fishenden, E. R. Wible, Proc. IEE, 96, III, 39, 5 (1949). ³ Д. М. Высоковский, ДАН, 89, № 1, 41 (1953).