

КОРОТКИЙ ТОЛСТЫЙ ВИБРАТОР С ЕМКОСТНОЙ НАГРУЗКОЙ В ВИДЕ ДИСКА

Предложен электростатический метод инженерного расчета эквивалентных схем коротких толстых вибраторов с емкостной нагрузкой в виде тонкого металлического диска. Рассмотрены вибраторы, длина плеч которых меньше 0.1 рабочей длины волны, а отношение длины плеча к радиусу цилиндрической поверхности находится в пределах от 2 до 20. Эквивалентная схема таких антенн представляется в виде четырехэлементного двухполюсника с потерями. Последовательный контур включает в свой состав емкость, образованную суммой емкостей кольца диска и цилиндрического вибратора. Для расчета реактивных элементов антенны вводятся понятия: эквивалентная длина вибратора (при расчете емкости цилиндрической поверхности вибратора) и действующие длины вибратора и нити тока диска (при расчете индуктивности антенны). Использование этих понятий позволяет учесть влияние толщины вибратора на значения реактивных элементов антенны.

Экспериментальные данные подтверждают результаты расчетов предложенным методом. Подтверждено, что сопротивление излучения короткого вибратора не зависит от его толщины. Диаграмма направленности несимметричного короткого вибратора с емкостной нагрузкой в виде металлического диска за счет экранировки диском сильнее прижата к земле, чем диаграмма направленности четвертьволнового вертикального вибратора.

Ключевые слова: вибраторная антенна, короткий толстый вибратор, вибратор нагруженный диском

1. Введение

Среди различных типов малогабаритных антенн [1], которые необходимы для миниатюризации радиоэлектронной аппаратуры в целом, важное место занимают вибраторные антенны, состоящие из коротких вибраторов с длиной плеч $l \leq 0.1\lambda$, где λ – рабочая длина волны. Короткие вибраторы, как тонкие, так и толстые, имеют небольшое сопротивление излучения и большую реактивную составляющую входного сопротивления (см., например, [2]). Под толстым вибратором, следуя [2], будем понимать вибратор, у которого $2 \leq l/r_0 \leq 20$, а под тонким – $l/r_0 > 20$. Здесь r_0 – радиус основания цилиндрической поверхности плеча вибратора. Подключение емкостной нагрузки к концу плеча короткого вибратора уменьшает реактивную составляющую входного сопротивления и выравнивает распределение тока по линейному вибратору. В результате возрастают сопротивление излучения, коэффициент усиления и уменьшается волновое сопротивление вибраторной антенны. На резонансной частоте короткого вибратора с емкостной нагрузкой коэффициент усиления примерно такой же, как и у обычной вибраторной антенны на частоте первого последовательного резонанса. Конструктивно вибраторы этих антенн выполняются в виде Г- или Т-образной форм, а также в виде зонтичных

антенн или антенн с диском на конце плеча вибратора (см., например, [3–6]).

Короткие вибраторы с диском, относящиеся к так называемым низкопрофильным антеннам, могут использоваться в многочастотных вибраторных антеннах (см., например, [7]). Ряд таких антенн, состоящих из толстых коротких вибраторов с диском, разработан и изготовлен в Радиоастрономическом институте НАН Украины и защищен патентами [8–10].

При разработке антенных элементов, в том числе и вибраторов с диском, необходимо уметь прогнозировать их характеристики. Так, в [11] приведена методика расчета параметров коротких проволочных ($r_0 \ll \lambda$) вибраторов, нагруженных тонким металлическим диском. В этой работе поверхностные электрические токи вибратора были заменены эквивалентным током в виде тонкой нити, расположенной вдоль оси вибратора, и использовалась непрерывность тока в точке соединения проволочного вибратора с диском. Для численного решения интегральных уравнений применялся метод Галеркина. У антенн, состоящих из толстых вибраторов с диском, имеют место прямые углы на стыке вибратора с диском и запитка диска осуществляется по периметру толстого вибратора. При применении метода моментов [12–14] необходимо заменить толстый вибратор и диск эквивалентной сеткой из тонких

проводов [13]. В обоих вариантах расчета на стыке толстого вибратора с диском возникает проблема острых кромок и точность расчета может быть недостаточной.

Нам неизвестны работы, посвященные расчету характеристик коротких толстых вибраторов, нагруженных тонким металлическим диском.

В настоящей работе рассматриваются короткие толстые вибраторы с длиной плеч меньше 0.1λ и толщиной $2 \leq l/r_0 \leq 20$ с емкостной нагрузкой в виде тонкого металлического диска. Такому вибратору ставится в соответствие эквивалентная схема, представляющая собой реактивный четырехэлементный двухполюсник с потерями. Параметры элементов этой эквивалентной схемы определяются разработанным авторами для короткого вибратора с диском электростатическим методом. Приводятся расчетные и экспериментальные данные исследований параметров коротких толстых вибраторов с диском.

2. Эквивалентная схема короткого вибратора с диском

Для инженерных расчетов параметров антенн хорошо зарекомендовал себя метод эквивалентных схем [15]. Входное сопротивление цепи эквивалентной схемы должно как можно лучше аппроксимировать входное сопротивление антенны в зависимости от ее размеров в требуемой полосе частот. Этот метод использовался, например, для тонких проволочных вибраторов с емкостной нагрузкой [6] в виде Г- и Т-образной форм.

На рис. 1. изображен несимметричный вибратор 1 с емкостной нагрузкой в виде диска, приподнятый на высоту h над проводящей плоскостью 2. Нижний конец вибратора высотой h_c , через который осуществляется запитка, может иметь форму конуса или цилиндра (штриховая линия). Запитка осуществляется в центре нижнего основания проводником 3. Высота короткого вибратора обозначена l , а радиус цилиндрической поверхности обозначен r_0 , причем $l \gg 2h_c$. Верхний конец вибратора соединен с тонким металлическим диском 4 диаметром $2R$ и толщиной $2t$, причем $t \ll R$ и $t \ll l$. Плечи симметричного вибратора с диском имеют такие же размеры, как и плечи несимметричного вибратора с разномом плеч на расстояние $2h$. В статье будет рассмотрен короткий толстый вибратор с емкостной нагрузкой в виде диска при запитке его через конус. Параметры короткого тол-

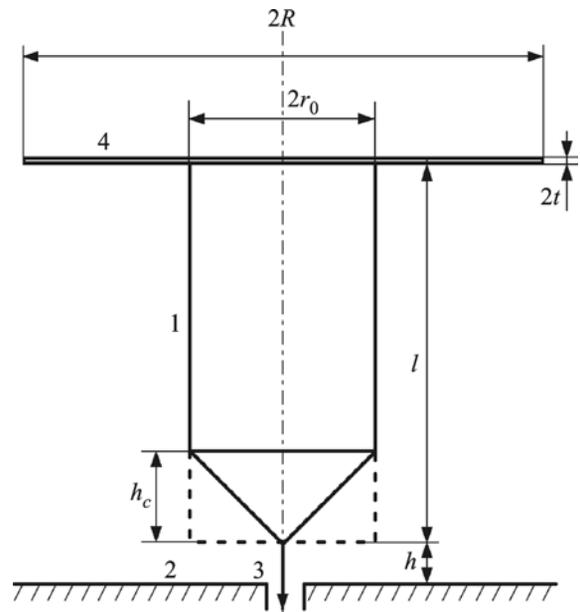


Рис. 1. Несимметричный короткий вибратор с емкостной нагрузкой в виде диска

стого вибратора с запиткой через центр основания цилиндра рассмотрены в [2].

Ток короткого вибратора с емкостной нагрузкой в виде диска можно разбить на элементарные нити тока бесконечно малого сечения, направленные вдоль образующих вибратора 1 и радиусов диска 4. На нижней стороне диска, обращенной к проводящей плоскости 2, нити тока направлены от поверхности линейного вибратора 1 к краю диска. На верхней стороне диска нити тока являются продолжением нитей тока нижней стороны диска и направлены по радиусу от края к центру диска.

При синусоидальном распределении тока вдоль нити действующая длина образующей плеча вибратора, введенная в [2], может быть оценена из выражения

$$l_d = \frac{\cos[k(2(R+t)-r_0)] - \cos(km)}{k \sin(km)},$$

а действующая длина нижней и верхней сторон диска из выражений

$$r_{1d} = \frac{\cos(k(R+t)) - \cos[k(2(R+t)-r_0)]}{k \sin(km)},$$

$$r_{2d} = \frac{1 - \cos(k(R+t))}{k \sin(km)}.$$

Здесь k – эквивалентное волновое число, $k = 2\gamma\pi/\lambda$, и $m \approx l_{\text{cyl}} + l_{\text{con}} + 2(R+t) - r_0$, где l_{cyl} , l_{con} – длины образующих цилиндра и конуса, соответственно, γ – поправочный множитель, $1 < \gamma < 1.05$ [2].

Частота первого резонанса может быть определена из равенства площадей распределения тока плеч короткого вибратора с емкостной нагрузкой и обычного линейного резонансного вибратора. Для короткого вибратора с диском площадь тока плеча вибратора $S_c = (1 - \cos(km))/k$, а обычного линейного резонансного вибратора $S_l = 2 \sin^2(kl/2)/k$. Для того чтобы импеданс линейного вибратора был чисто активным, длина его плеч должна быть несколько меньше $\lambda/4$ [3, 15]. Чем толще вибратор, тем больше необходимо укоротить плечи вибратора. При $\lambda/r_0 = 200$ необходимо укоротить плечи линейного вибратора [3] примерно на 10 %. Резонансную частоту вибратора с диском можно оценить из выражения

$$f_0 \approx 0.717c/(\pi m), \quad (1)$$

где c – скорость света.

Эквивалентная схема короткого вибратора с диском приведена на рис. 2 и подобна эквивалентной схеме обычного короткого вибратора [2].

Рассмотрим реактивные сопротивления эквивалентной схемы короткого вибратора с диском. В этом случае емкость C последовательного контура состоит из двух параллельно соединенных емкостей,

$$C = C_v + C_d, \quad (2)$$

где C_v – емкость короткого линейного вибратора, C_d – емкость диска.

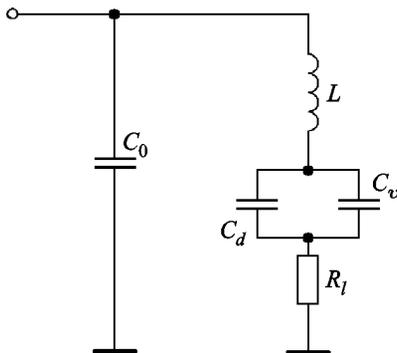


Рис. 2. Эквивалентная схема короткого вибратора с диском

Емкость C_v , входящая в состав последовательного контура четырехэлементного реактивного двухполюсника с потерями, можно определить электростатическим методом для емкости двух проводников [16] с учетом их толщины [2]. Вибратор является электронейтральной системой, поэтому для симметричного короткого вибратора

$$C_v = 0.5(\alpha_{11} - \alpha_{12})^{-1},$$

а для несимметричного короткого вибратора эта емкость в два раза больше. Здесь α_{11} – собственный потенциальный коэффициент определяется как

$$\alpha_{11} \approx \frac{1}{2\pi\epsilon_0 l_e} \left\{ \ln \left[\frac{l_e}{r_0} + \sqrt{1 + \left(\frac{l_e}{r_0} \right)^2} \right] + \frac{r_0}{l_e} - \sqrt{1 + \left(\frac{r_0}{l_e} \right)^2} \right\}, \quad (3)$$

где ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума, l_e – эквивалентная длина каждого плеча вибратора.

Взаимный потенциальный коэффициент определяется из выражения

$$\alpha_{12} \approx \frac{1}{4\pi\epsilon_0 l_e^2} \times \left\{ 2(l_e + h) \ln \frac{2(l_e + h)}{l_e + 2h} + h \ln \left[4h^2 (l_e + 2h)^{-2} \right] \right\}. \quad (4)$$

При определении емкости между цилиндрическими оболочками двух плеч вибратора для учета их толщины принят эквивалентный вибратор, который имеет цилиндрическую поверхность с длиной образующей $l_e = l - h_c + 0.5(r_0^2 + h_c^2)^{1/2}$ и радиусом r_0 . Длина l_e определена с учетом боковой поверхности конуса

Вторую емкость C_d можно оценить из выражения для емкости коаксиальных круговых колец [16]. Для симметричного вибратора, у которого обычно выполняется соотношение $R/r_0 > 1$, можно записать

$$C_d \approx 2\epsilon\pi R^2(l + h) + C_r/2,$$

где C_r – емкость уединенного кольца,

$$C_r = 8\epsilon R(1 - 0.03 r_0/R) \left[1 - 0.08 (r_0/R)^3 \right].$$

Для несимметричного вибратора емкость C_d будет в два раза больше.

В эквивалентной схеме (см. рис. 2) третья емкость C_0 шунтирует последовательный контур. При запитке вибратора через вершину конуса эта емкость образована емкостью монтажа, а при запитке через центр основания цилиндра она образована торцами вибратора и монтажом [2].

Индуктивность L в эквивалентной схеме короткого вибратора с емкостной нагрузкой (рис. 2), входящая в состав последовательного контура, включает индуктивности плеч короткого линейного вибратора L_m и взаимные индуктивности между нитями тока двух сторон диска M_{d_1} и M_{d_2} . Для симметричного вибратора с дисками индуктивность равна

$$L = 2(L_m + M_{d_1} + M_{d_2}). \quad (5)$$

В несимметричном вибраторе индуктивность L в два раза меньше, чем в симметричном. При этом индуктивность плеч короткого вибратора

$$L_m = L_{1,2} + M_{12,21}.$$

Здесь $L_{1,2}$ – собственная индуктивность первого или второго плеча вибратора и $M_{12,21}$ – взаимная индуктивность между ними.

Собственная индуктивность цилиндрических поверхностей плеча вибратора [2, 16, 17], расположенного в вакууме, равна

$$L_1 = L_2 \approx \epsilon_0 \mu_0 \alpha'_{11} (l'_d)^2. \quad (6)$$

где μ_0 – магнитная проницаемость вакуума.

Взаимная индуктивность между цилиндрическими поверхностями [2, 16, 17] плеч симметричного вибратора

$$M_{12} = M_{21} \approx \epsilon_0 \mu_0 \alpha'_{12} (l'_d)^2. \quad (7)$$

Здесь $\alpha'_{11} = \alpha'_{22}$ и $\alpha'_{12} = \alpha'_{21}$ – собственные и взаимные потенциальные коэффициенты цилиндрических поверхностей плеч симметричного вибратора с дисками. В этом случае в выражениях (3) и (4), (6) и (7) используется величина, пропорциональная действующей длине образующей плеча вибратора с диском, $l'_d = \xi l_d$, где ξ – поправочный коэффициент, определенный из эксперимента, $\xi \approx 0.9$.

Взаимная индуктивность между нитями тока внутренней стороны диска, где подсоединен вибратор, определяется [2] из выражения

$$M_{d_1} \approx 5.7 \cdot 10^{-2} \mu_0 r'_{d_1}. \quad (8)$$

Взаимная индуктивность между нитями тока внешней стороны диска определяется из выражения, аналогичного (8), но при действующей длине радиуса r_{2d} .

Сопrotивление потерь последовательного контура R_l зависит от сопротивления излучения R_r и потерь энергии на нагрев R_n вибратора, нагруженного диском, отнесенных к току в точках питания. Сопrotивление излучения такой антенны определяется сопротивлением излучения короткого вибратора [15], которое зависит от распределения тока вдоль вибратора, отношения l/λ и определяется полем в дальней зоне. Оно слабо зависит от толщины вибратора,

$$R_r = \chi \pi^2 \left(\frac{l}{\lambda} \right)^2. \quad (9)$$

Здесь χ – коэффициент, зависящий от формы распределения тока и типа вибратора (симметричный или несимметричный).

Для симметричных коротких вибраторов с дисками вблизи первого резонанса при равномерном распределении тока $\chi \approx 320$. В случае коротких несимметричных вибраторов значение коэффициента χ в два раза меньше, чем в случае симметричных.

Входное сопротивление симметричных и несимметричных коротких вибраторов [2, 15]

$$R_l = R_r \left[1 + q \lambda^{3/2} P^{-1} l^{-1} n \right]. \quad (10)$$

Здесь P – периметр сечения вибратора; $n = \sqrt{\mu_r/g}$ – коэффициент, зависящий от μ_r и g – относительной магнитной проницаемости и удельной проводимости материала вибратора соответственно; параметр q зависит только от закона распределения тока. При равномерном распределении тока получим $q \approx 2.2 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1/2}$.

Из выражения (10) видно, что при одинаковых КПД, λ и параметре q периметр сечения короткого вибратора обратно пропорционален длине его плеч. Для реализации КПД больше 0.99 необходимо удовлетворить условию $P/\lambda > nq\lambda^{1/2}l^{-1}$. Здесь при равномерном распределении тока $nq \approx 4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^{1/2}$.

3. Расчетные и экспериментальные данные

Экспериментальные исследования проводились на 12 моделях несимметричных коротких толстых вибраторов с диском (рис. 1) с запиткой через конус. Модели отличались высотой l , радиусом r_0 и радиусом диска R . Высота над проводящей плоскостью $h = 2$ мм, высота конуса $h_c = 5$ мм и толщина диска $2t = 2$ мм оставались постоянными во всех экспериментах. Отношение l/r_0 для моделей коротких вибраторов с диском составляло 2.3, 4.6, 4.8 и 9.6. Радиус диска R был равен 50, 75 и 100 мм. Измерения параметров моделей антенн проводились измерителями комплексных коэффициентов передачи Р4-11 и “Обзор-103”. Проводящая плоскость 2 располагалась на земле и имела вид круга радиусом 5 м, что удовлетворяло требованиям [18].

В табл. 1 приведены размеры 12 моделей, экспериментальные значения резонансной частоты f_{0e} и значения резонансной частоты f_{0c} , вычисленные с использованием уравнения (1).

В табл. 2 представлены значения емкости C и индуктивности L эквивалентной схемы, полученные расчетным путем из выражений (2) и (5). По этим данным определены расчетные значения резонансных частот f_{0c} .

Из табл. 1 и 2 видно, что значения резонансных частот совпадают в пределах погрешностей измерений и расчета.

Для моделей 10 – 12 были проведены измерения входного активного сопротивления на соответствующих резонансных частотах. Они оказались равными 8, 4 и 4 Ом для моделей 10, 11 и 12 соответственно. Расчетные значения сопротивления излучения (9) при равномерном распределении тока по короткому вибратору для таких моделей равны 9.8, 5.6 и 3.6 Ом. Сравнение этих данных показывает, что сопротивления излучения линейных толстых коротких вибраторов почти такие же, как сопротивления излучения тонких вибраторов соответствующей длины.

Представляет интерес провести измерения диаграммы направленности несимметричного короткого толстого вибратора с диском. Вид этого вибратора представлен на рис. 3. Испытания проводились над проводящей плоскостью размером 2×2 м путем сравнения диаграмм направленности антенны и обычного тонкого четвертьволнового вибратора.

На рис. 4 приведена диаграмма направленности F/F_m по мощности короткого вибратора

Таблица 1. Резонансные частоты для нескольких моделей короткого толстого несимметричного вибратора с диском

№ модели	l , мм	r_0 , мм	R , мм	f_{0e} , МГц	f_{0c} , МГц
1	23	5	50	536 ± 20	553 ± 28
2	23	5	75	379 ± 15	390 ± 20
3	23	5	100	275 ± 15	304 ± 15
4	23	10	50	575 ± 20	557 ± 28
5	23	10	75	414 ± 15	394 ± 20
6	23	10	100	318 ± 15	305 ± 15
7	48	5	50	419 ± 15	444 ± 22
8	48	5	75	312 ± 15	334 ± 17
9	48	5	100	249 ± 15	268 ± 13
10	48	10	50	451 ± 15	446 ± 22
11	48	10	75	340 ± 15	336 ± 17
12	48	10	100	270 ± 15	269 ± 13

Таблица 2. Параметры эквивалентной схемы моделей несимметричного короткого толстого вибратора с диском

№ модели	L , нГн		C , пФ	f_{0c} , МГц
	min	max		
1	10.0	11.0	7.7 ± 0.4	563 ± 30
2	11.7	13.0	13.0 ± 0.7	398 ± 21
3	13.5	15.0	19.7 ± 1.0	301 ± 16
4	9.0	10.0	9.0 ± 0.5	547 ± 30
5	10.8	12.0	14.4 ± 0.8	393 ± 21
6	12.6	14.0	21.0 ± 1.1	302 ± 16
7	20.2	22.4	6.6 ± 0.4	426 ± 24
8	22.7	25.2	10.2 ± 0.5	323 ± 16
9	24.8	27.6	14.3 ± 0.8	261 ± 14
10	17.8	19.8	7.8 ± 0.4	416 ± 22
11	20.4	22.7	11.3 ± 0.6	324 ± 17
12	22.6	25.1	15.5 ± 0.8	263 ± 14

с диском, имеющего размеры, аналогичные размерам модели 5, (сплошная кривая) и линейного четвертьволнового вибратора (штриховая кривая) в зависимости от зенитного угла θ . Видно, что диаграмма направленности короткого вибратора с диском имеет ширину примерно 60° по уровню половины мощности и прижата сильнее к проводящей плоскости, чем диаграмма направленности четвертьволнового вибратора. Максимальный коэффициент усиления короткого толстого вибра-



Рис. 3. Вид короткого вибратора с емкостной нагрузкой в виде диска

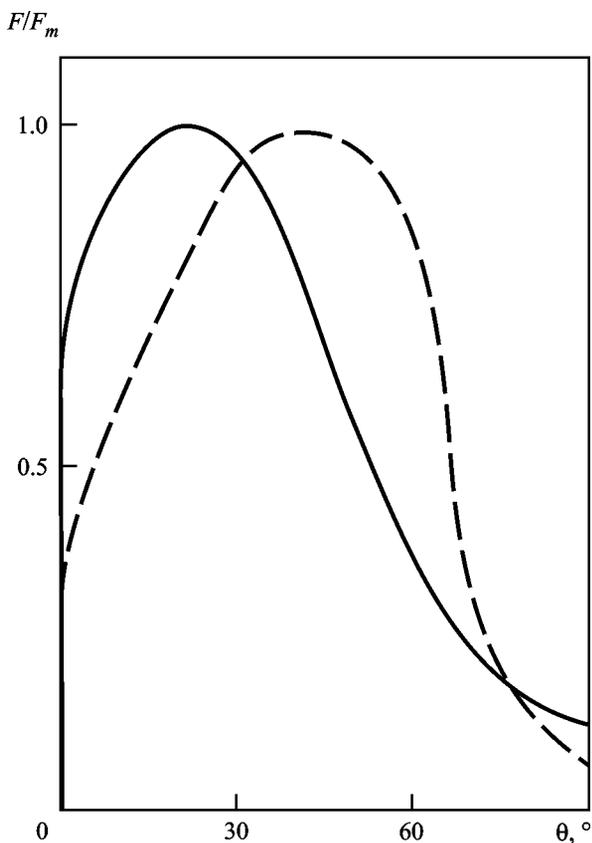


Рис. 4. Диаграммы направленности в угломерной плоскости несимметричного короткого вибратора с емкостной нагрузкой в виде диска (сплошная кривая) и четвертьволнового вибратора (штриховая кривая)

тора с диском относительно четвертьволнового вибратора составляет -1 дБ.

4. Заключение

В статье приводится разработанный электростатический метод инженерного расчета коротких, $l \leq 0.1\lambda$, толстых, $2 \leq l/r_0 \leq 20$, вибраторов с емкостной нагрузкой в виде диска. Эквивалентная схема этих антенн представляется в виде четырехэлементного реактивного двухполюсника с потерями. Чтобы учесть влияние диска и толщину короткого линейного вибратора при расчете емкости последовательного контура, вводятся емкость диска и емкость вибратора, определяемая с учетом эквивалентной длины плеча вибратора. Индуктивность определяется с учетом действующей длины плеча вибратора. В отличие от обычного линейного вибратора без нагрузки вибратор с диском работает на частоте, близкой к частоте первого последовательного резонанса, а распределение тока по короткому вибратору близко к равномерному.

Диаграмма направленности несимметричного короткого вибратора с диском за счет экранировки сильнее прижата к проводящей плоскости, чем диаграмма направленности обычного четвертьволнового вибратора. Коэффициент усиления короткого вибратора с диском на резонансной частоте почти такой же, как у четвертьволнового вибратора. Подтверждено, что сопротивление излучения короткого вибратора практически не зависит от его толщины.

Приводятся экспериментальные данные, которые подтверждают результаты расчетов.

Авторы считают приятным долгом выразить благодарность В. Н. Кочину за ценные замечания и обсуждение результатов работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Douglas B. M. Small antenna design. – New York: Elsevier JNC., 2006. – 278 p.
2. Бовкун В. П., Бубнов И. Н., Гридин А. А., Жук И. Н. Короткая многочастотная вибраторная антенна. II. Инженерный расчет коротких толстых вибраторов // Радиофизика и радиоастрономия. – 2013. – Т. 18, № 2. – С. 161–168.
3. Дробркин А. Л., Зузенко В. Л. Антенно-фидерные устройства. – М.: Сов. радио, 1961. – 816 с.
4. Надененко С. И. Антенны. – М.: Связьиздат, 1959. – 552 с.
5. Кочержевский Г. Н. Антенно-фидерные устройства. – М.: Связь, 1972. – 472 с.

6. *Virani H. R.* Electrically small antennas // *J. Inst. Electron. Radio. Eng.* – 1988. – Vol. 58, Is. 6. – P. 266–274.
7. *Бовкун В. П., Гридин А. А., Жук И. Н.* Короткая много-частотная антенна. 1. Принципы построения // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 1999. Т. 4, № 4. – С. 299–310.
8. Пат. № 1806429 АЗ СССР, МПК 5Н01 Q9/42. Малогабаритная антенна / В. П. Бовкун, А. А. Гридин, И. Н. Жук (Украина); Радиоастрономический институт АН Украины. – № 4911586; Заяв. 03.01.91; Опубл. 30.03.93, Бюл. № 12. – 3 с.
9. Пат. № 2220481 С2 Россия. МПК 7Н01 Q9/38. Много-частотная низкопрофильная антенна / В. П. Бовкун, А. А. Гридин, И. Н. Жук (Украина); Радиоастрономический институт НАН Украины. – № 2000112896/09 (013675); Заяв. 24.05.2000; Опубл. 27.12.2003, Бюл. № 30. – 7 с.
10. Многочастотная малогабаритная антенна: А.с. 1705928 А1 СССР, МКИ 5Н01 Q9/42 / В. П. Бовкун, А. А. Гридин, И. Н. Жук (Украина); Радиоастрономический институт АН Украины. – № 4685222/09; Заяв. 25.04.89; Опубл. 15.01.92, Бюл. № 2. – 9 с.
11. *Гридин А. А., Кочин В. Н., Нечаев Ю. Б., Просвирнин С. Л.* Характеристики короткого вибратора, нагруженного на вершине тонким металлическим диском // *Радиотехника и электроника.* – 1994. – Т. 39, Вып. 8–9. – С. 1285–1293.
12. *Вычислительные методы в электродинамике / Под ред. Р. Митры* – М.: Мир, 1977. – 480 с.
13. *Гончаренко И. В.* Антенны КВ и УКВ. Часть I. Компьютерное моделирование. ММАНА. – М.: ИП РадиоСофт, 2004. – 126 с.
14. *Гончаренко И. В.* Компьютерное моделирование антенн. Все о программе ММАНА. – М.: ИП РадиоСофт, 2002. – 80 с.
15. *Сазонов Д. М.* Антенны и устройства СВЧ. – М.: Высшая школа, 1988. – 432 с.
16. *Иосель Ю. Я., Кочанов Э. С., Струнский М. Г.* Расчет электрической емкости. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 288 с.
17. *Калантаров П. Л., Цейтлин Л. А.* Расчет индуктивности. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 488 с.
18. *Richmond Jack H.* Monopole antenna on circular disk // *IEEE Trans. Antennas Propag.* – 1984. – Vol. AP-32, No. 12. – P. 1282–1287.

В. П. Бовкун, І. М. Бубнов, А. О. Гридін, І. М. Жук
 Радіоастрономічний інститут НАН України,
 вул. Червонопрапорна, 4, м. Харків, 61002, Україна

КОРОТКИЙ ТОВСТИЙ ВІБРАТОР НАВАНТАЖЕНИЙ ЕЛЕКТРОЄМНІСТЮ У ВИГЛЯДІ ДИСКУ

Запропоновано електростатичний метод інженерного розрахунку еквівалентних схем коротких товстих вібраторів, навантажених електроємністю у вигляді тонкого металевго диску. Розглянуто вібратори, довжина плеч яких менша 0.1

робочої довжини хвилі, а відношення довжини плеча до радіусу його циліндричної поверхні знаходиться в межах від 2 до 20. Еквівалентна схема таких антен подається як чотири-елементний двополосник з втратами. Послідовний контур має в своєму складі ємність, утворену сумою ємностей кільця диска та циліндричного вібратора. Для розрахунку реактивних елементів антени вводяться поняття: еквівалентна довжина вібратора (у розрахунку ємності циліндричної поверхні вібратора) та діючі довжини вібратора і нитки струму диска (у розрахунку індуктивності антени). Використання цих понять дозволяє врахувати вплив товщини вібратора на значення реактивних елементів антени.

Експериментальні дані підтверджують результати розрахунків запропонованим методом. Підтверджено, що опір випромінювання короткого вібратора не залежить від його товщини. Діаграма спрямованості несиметричного короткого вібратора, навантаженого металевим диском, завдяки екрануванню диском більш притиснена до землі, ніж діаграма спрямованості чвертьхвильового вертикального вібратора.

V. P. Bovkoon, I. N. Bubnov, A. A. Gridin, and I. N. Zhouck

Institute of Radio Astronomy, National Academy of Sciences of Ukraine,
 4, Chervonopraporna St., Kharkiv, 61002, Ukraine

SHORT THICK VIBRATOR WITH A CAPACITIVE LOAD IN THE FORM OF DISK

An electrostatic method of engineering calculation of equivalent circuits of the short thick vibrators with a capacitive load in the form of a thin metal disk is demonstrated. The vibrators with arm length of less than one tenth of operating wavelength providing the ratio of arm length to radius of the cylindrical surface within 2 to 20 are proposed. The circuit representation of such antennas is given as a four-element reactive two-terminal circuit with losses. The serial circuit includes the capacitance formed by the sum of capacitances of the ring disk and the cylindrical vibrator. For calculation of antenna reactive elements, the following notions are introduced: vibrator equivalent length (in calculation of vibrator cylindrical surface capacity), and effective lengths of vibrator and disk current filament (in calculation of antenna inductance). The use of these concepts allows account for the influence of vibrator thickness on the values of aerial reactive elements.

The experimental data confirm the calculation results with the method proposed. The radiation resistance of the short vibrator was confirmed to be independent of its thickness. Due to screening by the disk, a short monopole with a capacitive load in the form of a disk shows a more low-altitude directivity pattern than this of a quarter-wave vertical dipole.

Статья поступила в редакцию 28.05.2013