

$$L_{уст} = \frac{1}{|a|} = v_g \left| \frac{f \partial_0}{\partial E_0} \right|^{-1}. \quad (12)$$

При $l \lesssim L$ максимальное приращение $\tilde{E}_{\max}$ всегда меньше $\tilde{E}_{\infty}$, причем в предельном случае $l \ll L_{уст}$ имеем $\tilde{E}_{\max} = \tilde{E}_{\infty} l / L_{уст} \ll \tilde{E}_{\infty}$. В этом случае значение $\tilde{E}_{\max}$ достигается при $x=l$, а спадание $\tilde{E}$ в e раз происходит на большом расстоянии $L \gg l$.

5. Временные эффекты. При резком появлении (исчезновении) возмущений волнение устанавливается за время порядка $\tau_{уст} \sim |\partial f_0 / \partial E_0|^{-1} \sim L_{уст} / v_g$. Это время характеризует временную инерционность волнения. Измерения длины установления $L_{уст}$ и времени установления $\tau_{уст}$ явились бы источником ценной информации о динамических свойствах волнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Басович А. Я. — Изв. АН СССР, ФАО, 1971, 15, № 6, с. 655.
2. Ермаков С. А., Пелиновский Е. Н., Талипова Т. Г. — Изв. АН СССР, ФАО, 1980, 16, № 10, с. 1068.
3. Nühnerfuss H. et. al. — J. Geophys. Res., 1981, 86, № 1, p. 429.
4. Kenyon R. B. — Deep Sea Research, 1975, 11, № 2, p. 280.

Физический институт им. П. Н. Лебедева
АН СССР

Поступила в редакцию
4 мая 1981г.,
после доработки
9 ноября 1981 г.

УДК 621.396.677; 621.372.83

АНАЛИЗ МОДЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И РАСЧЕТОВ АНТЕННЫ С УГОЛКОВЫМ ОТРАЖАТЕЛЕМ ДЛЯ СУБМИЛЛИМЕТРОВОГО СМЕСИТЕЛЯ

Н. П. Краев, И. А. Струков

Смеситель субмиллиметрового диапазона длин волн (ССД) может выполняться в виде волноводной или квазиоптической конструкции. Изготовление волноводной конструкции в субмиллиметровом диапазоне связано с большими технологическими трудностями. Поэтому в последнее время разрабатываются квазиоптические ССД, в которых энергия сигнала и гетеродина подводится к нелинейному элементу с помощью контактной проволоки диода. Проводятся эксперименты с устройствами, в которых контактная проволока выполнена в виде V-образной антенны [1], диполя с рефлектором на диэлектрической подложке [2], антенны бегущей волны с линзой из кварцевой призмы [3]. Наибольший коэффициент усиления позволяет получить антенна с уголковым отражателем (рис. 1) [4-6], поэтому она пользуется самым широким вниманием. В работах [5, 6] были проанализированы характеристики направленности такой антенны, но без учета короткого замыкания в точке A и излучения участка АД контактной проволоки диода (рис. 1), что является характерным для конструкции ССД. В работе [4] приводятся данные по импедансным характеристикам макета антенны с 90-градусным уголковым отражателем при расстоянии от контактной проволоки диода до ребра рефлектора $S = 1,2\lambda$ (где λ — длина волны принимаемого излучения). Для других параметров антенны импедансные характеристики не приводятся, так как отсутствуют расчетные формулы.

В настоящем сообщении анализируются характеристики направленности антенны ССД с уголковым отражателем при коротком замыкании на конце Г-образной контактной проволоки диода с учетом излучения всех ее частей, приводятся результаты расчета входного импеданса антенны, которые сравниваются с данными измерений на макетах антенн в 3-сантиметровом диапазоне.

Расчет диаграмм направленности (ДН) и входного импеданса выполняется при допущении о бесконечных размерах и проводимости отражающих поверхностей для целых значений отношения $180/\psi$, где ψ — угол раскрытия отражателя в градусах. Нижняя плоскость уголкового рефлектора заменяется зеркальным изображением контактного проводника диода. Таким образом, расчетная электрическая модель антенны ССД представляет собой симметричный диполь, установленный в биссекториальной плоскости уголкового отражателя на расстоянии S от его ребра. В качестве вибраторов диполя выступают Г-образный контактный проводник диода со сторонами $BD = l$ и $DA = S$, заземленный в точке A, и его изображение.

Комплексная амплитуда напряженности электрического поля $\vec{E}$, создаваемого в точке дальней зоны участками l и S симметричного диполя расчетной модели антенны ССД, выражается уравнением

$$\begin{aligned} \vec{E} = \vec{E}_l + \vec{E}_S = - \frac{30I_0}{r_0 \exp(-jkS) \cos[k(l+S)]} \left\{ \frac{1}{\sin \theta} [j(1+e^{-2jkS}) \cos \theta \sin(kl \cos \theta) + \right. \\ \left. + (1-e^{-2jkS}) \cos(kl \cos \theta) - e^{jkl}(1-e^{-2jk(l+S)})] + \right. \\ \left. + (1/\cos \theta) [e^{-2jks} - 1 + 2je^{-jks} \sin \theta \sin(kS \sin \theta)] \right\}. \end{aligned}$$

Здесь $\vec{E}_l$, $\vec{E}_S$ — комплексные амплитуды напряженности электрических полей, создаваемых участками l и S соответственно, $k = 2\pi/\lambda$, I_0 — ток, питающий вибратор, θ — угол между осью контактного проводника и радиусом-вектором r_0 , проведенным из точки B в рассматриваемую точку дальней зоны. По известным формулам [7]

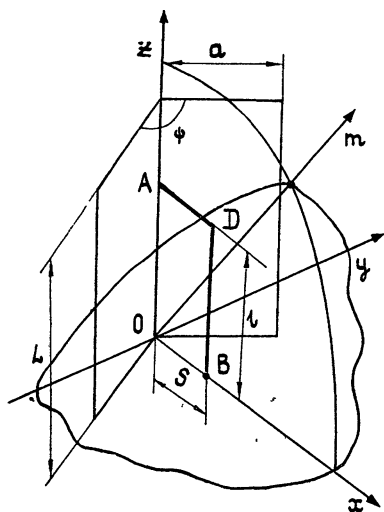


Рис. 1. Антенна субмиллиметрового смесителя с угольным отражателем (Om — ось главного лепестка ДН, xOz — E -плоскость, yOm — квази- H -плоскость).

с учетом множителя из выражения (1), характеризующего направленные свойства Γ -образного диполя, рассчитаны ДН антенны ССД в E - и квази- H -плоскостях при различных расстояниях от контактной проволоки диода длиной 4λ до ребра рефлектора для углов раскрытия отражателя 90° , 60° , 45° . Выявлено, что уровень боковых лепестков сильно зависит от S/λ и, следовательно, в конструкции антенны ССД необходимо выбирать такие расстояния от контактного проводника до ребра рефлектора, при которых расщепление ДН проявляется в меньшей степени. При угле раскрытия отражателя 90° это расстояние равно $1,2\lambda$. Увеличение S до $1,5\lambda$ сопровождается ростом интенсивности бокового лепестка с -18 дБ до -6 дБ. Главный лепесток ДН при $S = 1,2\lambda$ направлен под углом 26° к оси проводника, ширина лепестка по уровню -3 дБ составляет 15° . При угле раскрытия 60° контактный проводник диода необходимо устанавливать на расстоянии $S = 1,2\lambda$ (главный лепесток ДН направлен под углом 30° к проводнику), а при угле раскрытия 45° — на расстоянии $S = 1,4\lambda$, в этом случае главный лепесток ДН направлен под углом 33° к оси проводника.

Для расчетов импедансных характеристик были использованы формулы [8], в которых учитывалось взаимодействие контактного проводника диода со своими изображениями

и короткое замыкание в точке A . Получены численные значения входного импеданса антенны с угольным отражателем при $S = (0,5; 1,0; 1,5)\lambda$, $l = (3 \div 6)\lambda$ и углах раскрытия отражателя 45° , 60° , 90° (табл. 1).

Таблица 1

	S/λ	l/λ			
		3	4	5	6
$\psi = 90^\circ$	0,5	$77+j30$	$82+j33$		$84+j34$
	1,0	$86+j25$	$88+j28$		$90+j31$
	1,5	$96-j9$	$107+j2$	$111+j10$	$113+j13$
$\psi = 60^\circ$	0,5	$42+j40$	$46+j40$	$48+j41$	$50+j41$
	1,0	$73+j9$	$76+j10$	$79+j10$	$80+j10$
	1,5	$97+j20$	$95+j25$	$95+j26$	$95+j25$
$\psi = 45^\circ$	0,5	$21+j24$	$25+j20$	$28+j24$	$29+j24$
	1,0	$87+j18$	$91+j18$	$94+j18$	$95+j18$
	1,5	$81+j25$	$83+j23$	$86+j22$	$87+j22$

С целью проверки расчетных формул было проведено исследование макетов антенн ССД в 3-сантиметровом диапазоне. Макеты представляли собой 90-градусные угольные отражатели с размерами основания $a = 100$ мм и длиной боковых

отражателей $L = 300$ мм. Указывается [9, 10], что при $a > 1,4S$ и $L > (2+4)l$ отличия в характеристиках антенн, обусловленные конечными размерами рефлектора, незначительны. В экспериментах определялся входной импеданс макетов в диапазоне $(7,7 \div 10,5)$ ГГц при $S = (0,5; 1,0)\lambda$ и $l = (3 \div 6)\lambda$. При измерениях в указанной полосе частот активная компонента входного импеданса менялась от 60 до 110 Ом, реактивная компонента — от -35 до -75 Ом. Расхождение между расчетными и экспериментальными данными на частоте 10 ГГц не превышало 15% и обусловлено, в основном, погрешностями измерений, но для длинных контактных проволок ($l = 6\lambda = 18$ см) определенную роль играет и конечная длина бокового рефлектора.

Таким образом, расчеты входного импеданса по формулам, учитывающим взаимодействие Г-образного контактного проводника диода со своими изображениями согласуются с данными модельных измерений. Анализ диаграмм направленности и входного импеданса показывает, что ширина рабочей полосы частот смесителя будет в основном определяться расщеплением ДН вследствие изменения отношения S/λ . Положение контактного проводника в уголкового отражателе определяется минимальным проявлением боковых лепестков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rutledge D. B., Schwarz S. E., Adams A. T. — *Infrared Physics*, 1978, 18, № 5—6, p. 713.
2. Daiku Y., Mizuno K., Ono S. — *Infrared Physics*, 1978, 18, № 5—6, p. 679.
3. Yasuoka Y., Hiblum M., Gustafson T. K. — *Appl. Phys. Lett.*, 1979, 34, № 12, p. 820.
4. Fetterman H. R. et al. — *Appl. Phys. Lett.*, 1978, 33, № 2, p. 151.
5. Kräutle H., Sauter E., Schultz G. V. — *Infrared Physics*, 1977, 17, № 6, p. 477.
6. Kräutle H., Sauter E., Schultz G. V. — *Infrared Physics*, 1978, 18, № 5—6, p. 705.
7. Айзенберг Г. З., Ямпольский В. Г., Терешин О. Н. Антенны УКВ. — М.: Связь, 1977, т. 2.
8. Айзенберг Г. З. Коротковолновые антенны. — М.: Связьиздат, 1962.
9. Kraus J. D. *Antennas*. — New-York: McGraw Hill, 1950.
10. Салах А. К. — *Радиотехника*, 1980, 35, № 1, с. 72.

Институт космических
исследований АН СССР

Поступила в редакцию
3 августа 1981 г.