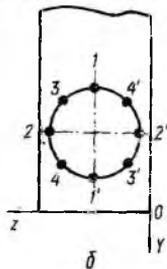
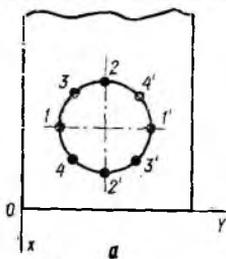


с волноводом уменьшается из-за шунтирующего действия токоподводов, а резонансная частота увеличивается вследствие индуктивного характера реактивного сопротивления токоподводов. При наличии токоподводов в промежуточных точках (3, 3', 4, 4' и их комбинации) в резонаторе возбуждаются оба дополнительных вида колебаний TM'_{110} и TM'_{010} . Сказанное справедливо для резонатора, расположенного как на широкой а),



так и на узкой б) стенках волновода. В последнем случае коэффициент связи с волноводом имеет такое же значение, как и в первом.

Таким образом, при разработке диодных активных модулей возможно использование как основного вида колебаний дискового резонатора, так и колебаний TM_{010} , что позволя-

ет повысить технологичность изготовления модулей КВЧ-диапазона. Влияние токоподводов на параметры резонатора может использоваться при создании генераторов с двухполосной перестройкой частоты, а также для коррекции связи модулей с волноводом и частоты генерации. Для исключения влияния токоподводов следует устанавливать в определенных точках в зависимости от возбуждаемого вида колебаний. Возможна установка модулей на узкой стенке волновода.

1. Cachier G., Espagnol J., Stevans J. Millimeter-wave pretuned Modules // IEEE Trans. 1979. Vol. MTT-27, N 5. P. 505—510.

Поступила в редколлегию 24.09.86

УДК 621.372.852.1

С. Н. КУЩ, канд. техн. наук, Е. Н. КРАВЕЦ, мл. науч. сотр.,
А. В. СТРИЖУН, студент

РАСЧЕТ ЧАСТОТ СПЛОШНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРОВ ИТЕРАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

Расщепление правой части дисперсионного уравнения для открытого кругового цилиндра в случае аксиально-симметричных E - и H -волн на два независимых уравнения позволяет значительно упростить расчет характеристик открытых сплошных диэлектрических резонаторов (ДР) с $H_{0m\delta}$ - и $E_{0m\delta}$ -колебаниями [2] (δ — часть полуволны вдоль ДР). Однако и в этом случае расчет собственных частот f_0 , а также диэлектрической проницаемости $\epsilon_1 = \epsilon_0 \epsilon_{r1}$, толщины L или радиуса R ДР требует численного решения на ЭВМ, имеющих в своем математическом обеспечении программы расчета цилиндрических функций действительного и мнимого аргумента [3]. В работе [1] предло-

жен способ определения f_0 и ε_{r1} в частном случае аксиально-симметричных H_{0m1} - и E_{0m1} -колебаний сплошных ДР с торцевыми зеркалами, основанный на аппроксимации дисперсионных уравнений полиномами четвертой степени. Однако из-за ограниченного числа регистров памяти современных программируемых МК такая аппроксимация не может быть использована при расчете практически важного случая высокочастотных ДР при $\delta \neq 1$. Проведенный нами на МК численный эксперимент показал, что с достаточной для практики точностью расчета поперечных волновых чисел можно ограничиться полиномами второй степени, получая при этом существенный выигрыш в объеме памяти и времени расчета.

ДР с торцевыми зеркалами описывается системой уравнений

$$\left. \begin{aligned} \Psi(\chi_1 R) &= Z(\gamma_{h(e)}; \chi_2 R); & (a) \\ \chi_1^2 + \chi_{21}^2 &= k_1^2; & (б) \\ \chi_{21}^2 - \chi_2^2 &= k_2^2, & (в) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $\Psi(\chi_1 R) = -J_1(\chi_1 R)/[\chi_1 R J_0(\chi_1 R)]$; $Z(\gamma_{h(e)}; \chi_2 R) = Y(\chi_2 R)/[\gamma_{h(e)} \times \chi_2 R]$; $Y(\chi_2 R) = K_1(\chi_2 R)/K_0(\chi_2 R)$; χ_1 и χ_2 — внутреннее и внешнее поперечные волновые числа, соответственно; $\chi_{21} = \pi \delta / L$ — продольное волновое число ДР; $\gamma_e = \varepsilon_1 / \varepsilon_2$ для E_{0m0} -колебаний, $\gamma_h = \mu_1 / \mu_2$ для H_{0m0} -колебаний; $k_{1(2)}^2 = (2\pi f_0)^2 \varepsilon_{1(2)} \mu_{1(2)}$; $\varepsilon_2 = \varepsilon_0 \varepsilon_{r2}$ и $\mu_2 = \mu_0 \mu_{r2}$ — диэлектрическая и магнитная проницаемости среды, окружающей резонатор; $J_n(\chi_1 R)$ и $K_n(\chi_2 R)$ — функции Бесселя и Макдональда n -го порядка. При численном обращении левой части (1а) Ψ^{-1} в интервале $\chi_1 R \in [2,405; 3,83]$, аналогично работе [1], $\Psi^{-1}(Z)$ аппроксимировалась, при выборе парной симметрии узлов по методу наименьших квадратов в области $Z \in [0; 1]$ функцией $\Psi^{-1}(Z) \approx \left[\sum_{i=0}^2 a_i (\chi_1 R)^i \right]^{-1}$, где $a_0 = 2,629640 \cdot 10^{-1}$; $a_1 = 2,1432317 \cdot 10^{-1}$; $a_2 = -1,1485786 \cdot 10^{-1}$.

Функция $Y(\chi_2 R)$ аппроксимировалась полиномом $Y(\chi_2 R) \approx \sum_{j=0}^2 b_j (\chi_2 R)^{-j}$ в области $\chi_2 R \in [0,5; 12]$, где коэффициенты аппроксимации $b_0 = 1,0036987$, $b_1 = 4,6277011 \cdot 10^{-1}$; $b_2 = -3,4459818 \times 10^{-2}$.

При обращении левой части (1а) итерационные процессы, сходящиеся [1] на интервале $(1 + \xi) v_{0m} \leq \chi_1 R \leq v'_{0m}$ к точному решению $\chi_1 R = [\chi_1 R]^0$, где $0 < \xi \ll 1$; v_{0m} и v'_{0m} [1, 2] — корни функций $J_0(\chi_1 R)$ и $J'_0(\chi_1 R)$ (причем производная берется по аргументу).

Как показали расчеты, во всем диапазоне изменения аргументов расхождение результатов, полученных по коэффициентам [1] и приведенным выше коэффициентам, не превышает 0,71 %

даже для практически нереализуемого наихудшего случая $\chi_1 R = 3,82$.

В таблице приведено сравнение результатов расчета f_0 (в ГГц) ДР из (1) в случае $H_{0m\delta}$ -колебания при подстановке коэффициентов аппроксимации [1] и a_i, b_j , полученных нами. При расчетах принято $\epsilon_{r2} = \mu_{r2} = \mu_{r1} = 1, \delta = 1; 2R = 1 \cdot 10^{-1}$ [М], а начальное приближение $[\chi_1 R]_{нач} = 3$.

Погрешность расчета частоты основного H -колебания ДР с торцевыми зеркалами при использовании полиномов второго порядка составляет менее 0,25 % при незначительном увеличении числа необходимых итераций по сравнению с работой [1].

ϵ_{r1}	$L/2R$	f_0 [1], ГГц	f_0 (1, $j=2$), ГГц
40	0,1	24,33	24,336
	0,3	9,319	9,342
	0,5	6,614	6,617
80	0,1	17,206	17,208
	0,3	6,591	6,608
	0,5	4,680	4,683
100	0,1	15,389	15,392
	0,3	5,896	5,910
	0,5	4,184	4,190

При решении обратной задачи, определении по заданной частоте f_0 значений ϵ_{r1} или L ДР результат получается за один проход программы, т. е. на первом шаге.

Преимуществом использования аппроксимации является возможность повышения точности расчетов за счет введения корректирующих множителей, определенных экспериментально.

Преимуществом использования аппроксимации является возможность повышения точности расчетов за счет введения корректирующих множителей, определенных экспериментально.

Проведенное численное моделирование позволило сделать вывод, что итерационный метод расчета параметров наиболее удобен, если характеристическое уравнение принимает асимптотический вид, например как для E_{nm0} -колебаний, типа «шепчущей галереи», либо когда его левая и правая части представимы в виде сепарабельных функций, что существенно уменьшает вычислительные трудности при расчете сложных поперечно-неоднородных систем [3, 4] или ДР в запердельных волноводах с учетом влияния подложек и торцевых проводящих плоскостей, где прямое использование асимптотических разложений цилиндрических функций действительного и мнимого аргумента нецелесообразно даже на МК последних моделей.

1. Егоров В. Н., Мальцева И. Н., Токарева Е. Ю. Итерационный расчет характеристик диэлектрического резонатора // Радиотехника. 1983. № 3. С. 78—80. 2. Куц С. Н. Собственные частоты диэлектрических резонаторов // Изв. вузов СССР. Радиозлектроника. 1975. № 9. С. 79—86. 3. Куц С. Н., Кравец Е. Н. Аксильно-симметричные H -колебания диэлектрического резонатора с проводящим стержнем // Электроника СВЧ. Сер. 1. 1985. Вып. 10 (382). С. 67—68. 4. Кравец Е. Н., Куц С. Н. Поля круглых открытых диэлектрических резонаторов с проводящими стержнями // Вестн. Киев. политехн. ин-та. Радиотехника. 1979. Вып. 16. С. 20—22.

Поступила в редколлегия 18.09.86