

УДК 621.35.6

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОФИЛЯ КОНВЕРТЕРОВ МОД H_{0i} В H_{0i+1} КРУГЛОГО ВОЛНОВОДА

С.И. ЯРОМЕНОК

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 15 февраля 2005

Приведены оптимальные профили и характеристики конвертеров мод H_{0i} в H_{0i+1} с коэффициентом преобразования, по мощности близким к единице.

Ключевые слова: конвертер мод, оптимизированный профиль, моды H_{0i} .

Введение

Во многих областях СВЧ техники необходима разработка конвертеров (преобразователей) H_{0i} типов волн в высший H_{0i+1} тип волны (моду) с высоким коэффициентом преобразования по мощности, приближающимся к 1. Такие задачи возникают в электронике СВЧ (многолучевые гиротроны), в волноводной и антенной технике. Полное решение этой задачи может быть получено путем оптимизации профиля конвертера на основе адекватной теории нерегулярных волноводов и сходящихся методов решения возникающей краевой задачи. Ниже приведены характеристики трех вариантов преобразователей мод H_{0i} в H_{0i+1} ($i=1,2,3$) с оптимизированным профилем.

Модель и методы решения задачи

Для адекватного описания электромагнитных процессов в нерегулярных волноводах, как показано в [1], необходимо наряду с распространяющимися волнами учитывать и связанные с ними на регулярных участках волновода закритические волны. Строгая теория нерегулярных волноводов развита в [2]. Она основана на отображении нерегулярной внутренней поверхности волновода на регулярный цилиндр при соответствующем преобразовании пространства и использовании в этом пространстве проекционной процедуры, приводящей к двухточечной краевой задаче для амплитуд связанных волн. Однако решение этой краевой задачи пошаговыми методами типа Рунге-Кутты или Хемминга в случае учета закритических волн невозможно ввиду расходимости указанных методов в этом случае [2].

В данной работе использовались теория распространения H_{0i} волн в нерегулярных волноводах и методы решения краевой задачи на основе математического аппарата T -функций, развитые в [3]. В [3] также сформулированы общая система дифференциальных уравнений для связанных H_{0i} волн нерегулярного волновода с круговым сечением и граничные условия для них на концах нерегулярного участка. Эти уравнения и граничные условия к ним, а также метод T -функций, приведенные в [3], использовались для расчета конвертера. Профиль конвертера задавался следующей многопараметрической функцией:

$$g(T) = g_1 + \left[g_2 + \sum_{i=1}^{n1} g_{vi} \sin^2\left(\frac{iT}{L_0}\right) \right] \sin^2\left[\left(\frac{T}{L_0}\right) \left(g_3 + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{n2} g_{pj} \right) \right], \quad (1)$$

где $g_1, g_2, g_3, g_{vi}, g_{pj}$ — коэффициенты аппроксимации профиля; T — продольная нормированная координата; L_0 — нормированная длина конвертера.

В качестве целевой функции использовался коэффициент преобразования моды H_{0i} в H_{0i+1} по мощности $k_i = P_{i+1}(T_0) / P_i(0)$, где $P_i(0)$ — нормированная мощность моды H_{0i} на входе конвертера ($T=0$), $P_{i+1}(T_0)$ — мощность моды H_{0i+1} на выходе конвертера. В качестве метода минимизации использовался метод Гольфарба. В расчете учитывались одновременно шесть волн, включая закритические.

Характеристики конвертера моды H_{01} в H_{02}

Оптимизация профиля дала следующие значения параметров функции $g(T)$ (1): $g_1=1,25$; $g_2=0,56$; $g_3=1,064$; $g_{v1}=0,282$; $g_{v2}=-0,173$; $g_{p1}=0,3366$; $g_{p2}=0,3275$; $L_0=13$.

Оптимальный профиль изображен на рис.1,а. Сплошными горизонтальными линиями указаны критические значения $g_{крj}$ для мод H_{0i} . На рис.1,б приведены мощности P_1, P_2, P_3 волн H_{01}, H_{02}, H_{03} . Из рис.1,б следует, что частично закритическая волна H_{03} играет существенную роль в процессе преобразования моды H_{01} в H_{02} .

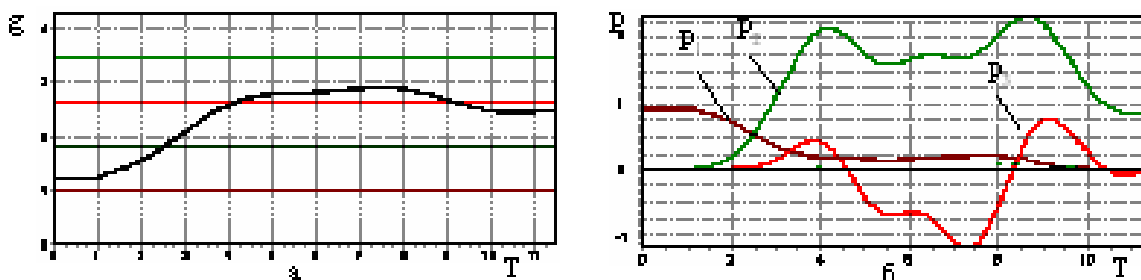


Рис. 1. Результаты полной оптимизации конвертера моды H_{01} в H_{02} : а — оптимизированный профиль $g(T)$; б — распределение "парциальных" потоков мощностей

Характеристики конвертера моды H_{02} в H_{03}

Оптимизация профиля дала следующие значения параметров функции $g(T)$ (1): $g_1=2,25$; $g_2=0,47$; $g_3=0,9927$; $g_{v1}=0,1823$; $g_{v2}=-0,22169$; $g_{p1}=0,26715$; $g_{p2}=0,20818$; $L_0=15$.

Профиль конвертера приведен на рис. 2,а. На рис.2,б приведены нормированные амплитуды волн $H_{01}, H_{02}, H_{03}, H_{04}, H_{05}$. Их взаимодействие приводит к искомому результату: происходит практически полное преобразование моды H_{02} в H_{03} (рис. 2,в).

Характеристики конвертера моды H_{03} в H_{04}

Оптимизация привела к следующим оптимальным параметрам в функции профиля $g(T)$ (1): $g_1=3,199$; $g_2=0,4136$; $g_3=1,027$; $g_{v1}=0,246$; $g_{v2}=-0,1868$; $g_{p1}=0,22119$; $g_{p2}=0,21016$; $L_0=17,7$.

Профиль конвертера, распределение нормированных амплитуд волн H_{0i} и их парциальных мощностей приведены соответственно на рис. 3,а,б,в.

Заключение

Описанные в статье в статье близкие к идеальным конвертеры мод H_{0i} в H_{0i+1} с оптимальным профилем могут быть включены последовательно через согласующие одномодовые переходы (их расчет по методике работы [3] не представляет трудностей). В этом случае будет получен конвертер моды H_{01} в H_{04} . Следует также указать на следующее важное обстоятельство: поскольку

ку рассмотренные в статье конвертеры линейны и изотропны, то в соответствии с теоремой взаимности при близких к идеально проводящим стенкам волновода они обладают свойством обратимости. Иначе говоря, они могут служить конвертерами мод H_{0i+1} в H_{0i} или H_{04} в H_{01} в последовательной цепочке.

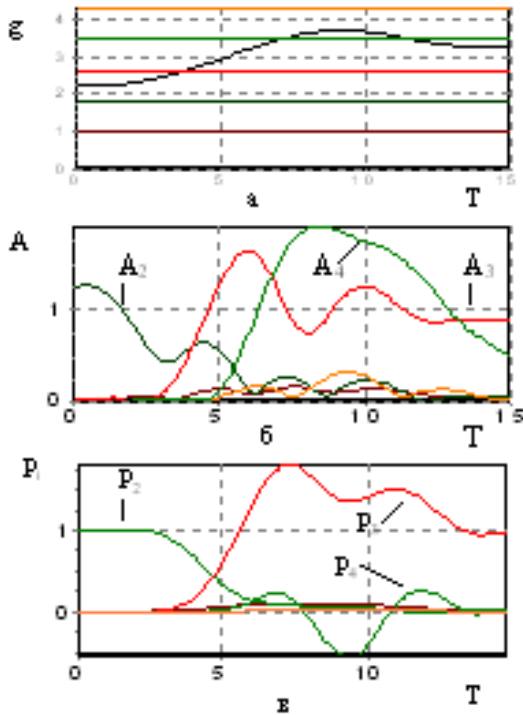


Рис. 2. Результаты оптимизации конвертера моды H_{02} в H_{03} : *a* — оптимизированный профиль $g(T)$; *б* — амплитуды волн; *в* — распределение "парциальных" потоков мощностей волн

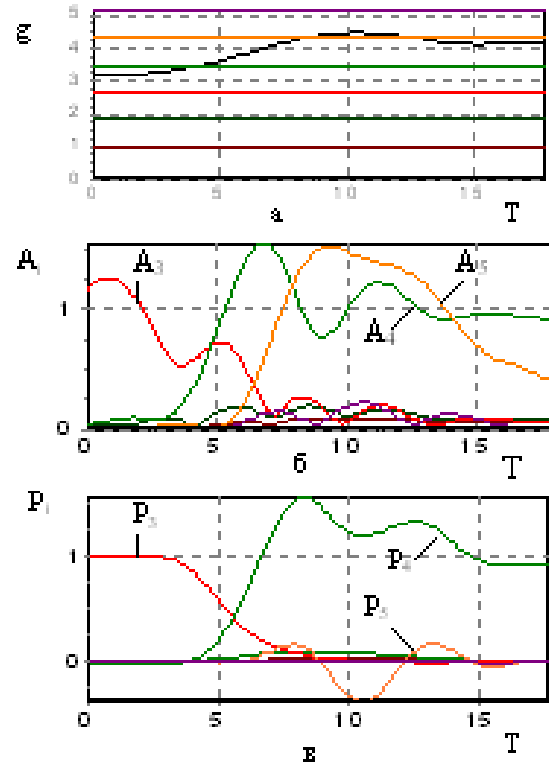


Рис. 3. Результаты оптимизации конвертера моды H_{03} в H_{04} : *a* — оптимизированный профиль $g(T)$; *б* — амплитуды волн; *в* — распределение "парциальных" потоков мощностей волн

OPTIMIZATION OF CONVERTER CONFIGURATIONS FROM TE_{01} TO TE_{01+1} MODE IN CIRCULAR WAVEGUIDE

S.I. YAROMENOK

Abstract

Optimized configuration and characteristic for the mode converters from TE_{0i} to TE_{0i+1} mode with conversion coefficient substantially equal to unit are given.

Литература

1. Kurayev A.A., Popkova T.L., Yaromenok S.I. // Proc. IVEC-2003. P. 233–234.
2. Кураев А.А. Мощные приборы СВЧ. Методы анализа и оптимизации параметров. М., 1986, 208 с.
3. Кураев А.А., Попкова Т.Л., Яроменок С.И. // Радиотехника. 2004. № 9. С. 34–39.