

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчет энергии формирования собственного междоузельного атома кремния в рассматриваемой наноструктуре показывает, что ее величина примерно на одну восьмую часть меньше, если междоузельный атом формируется в непосредственной близости от вакансии, то есть

$$\varepsilon_{ia}^v \approx \frac{7}{8} \varepsilon_{ia}.$$

Удивительной оказалась локализация собственного междоузельного атома кремния в октаэдрическом междоузлии рассматриваемой наноструктуры, вопреки ожидаемым тетраэдрическому или гексаэдрическому междоузлиям, описанным в книге Ланно [2].

Для образования междоузельных комплексов Si-X необходимы значительно большие энергии чем энергия образования собственного междоузельного атома.

Влияние активных атомов на вакансии более разнообразное – атомы и молекулы водорода снижают энергию образования вакансионных комплексов V-H и V-H₂ на 0,19 и 0,13 эВ, соответственно, по сравнению с энергией образования простой вакансии. Другие атомы увеличивают соответствующую энергию: атом азота – на 0,22; кислорода – на 0,40; серы – на 1,58; фтора – на 0,16; хлора – на 1,36 эВ.

Следует заметить, что в работе [3] представлены результаты расчета энергии формирования вакансий при переходе молекулы водорода на две свободные связи вакансии, которая составила величину 1,2 эВ и меньше полученной нами на 0,11 эВ.

Таким образом, наличие в кристалле таких активных атомов как H, F, N, O, S, Cl и других может существенно перераспределять концентрации вакансий

и междоузельных атомов, оказывая тем самым влияние на технологические процессы, в частности на диффузионные операции.

Результаты работы были частично представлены в тезисах докладов конференции по физике лазерных кристаллов ICPLC 2005 [4].

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Грядун В. І. Вплив атомів водню на енергетичні квантові властивості кремнію // Новые технологии. – 2004. – № 3 (6). – С. 75–77.
2. Ланно М., Бургуэн Ж. Точечные дефекты в полупроводниках. Теория. – Москва: Мир, 1984. – 263 с.
3. Завадинский В. П., Гнеденко А. А., Мисюк А., Бак-Мисюк Я. Влияние давления и водорода на образование вакансий в кремнии // Физика и техника полупроводников. – 2004. – Т. 38, вып. 11. – С. 1281–1284.
4. Griadun V. I. Atoms Effect on Energy of Formation of Point Defects in Silicon // Book of Abstracts and Program 2nd International Conference on Physics of Laser Crystals. – Yalta, Crimea, 25–30 September. – Kharkiv, Lyon, Yalta, 2005. – P. NT16.

Надійшла 10.05.06
Після доробки 26.06.06

Методом механіко-молекулярного моделювання AMBER розглядаються точкові дефекти і комплекси атомів з вакансіями та міжвузловими атомами кремнію. Розраховані енергії утворення точкових дефектів, а також комплексів V-X та IA-X. Показано, що тільки атоми водню у комплексі з вакансією знижують енергію її утворення, а для комплексів Si-X вона значно перевищує енергію утворення власного між вузлового атома.

Dot defects and complexes of atoms with vacancies and own interstitial atoms are considered in the cubic silicon nanostructure by the method of mechanics-molecular modeling AMBER. Are designed energy of generation of dot defects, and also complexes V-X and IA-X. It is shown, that only atoms of hydrogen in a complex with vacancy reduce energy of its making up, and for complexes Si-X it considerably exceeds energy of generation own interstitial atom.

УДК 621.372.852.001.11

В. Н. Кришук, Л. М. Карпуков, М. В. Заскоцкая, А. Ю. Фарафонов

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОПУСКОВЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ В КОНСТРУКЦИЯХ МИКРОПОЛОСКОВЫХ ФИЛЬТРОВ С УЧЕТОМ ВИДА АППРОКСИМАЦИИ АЧХ

Проведено дослідження допускових обмежень на геометричні розміри конструкцій мікрополоскових фільтрів з урахуванням виду апроксимації амплітудно-частотної характеристики, що забезпечують задані характеристики фільтра. Синтез фільтрів виконується на основі фільтрів-прототипів нижніх частот. Розрахунок допусков виконується з використанням інтервальних моделей. Урахування впливу технології виготовлення топології

фільтрів здійснюється шляхом введення вагових коефіцієнтів.

В настоящее время все острее становится вопрос сокращения сроков проектирования и производства при условии повышения качества выпускаемой продукции. Неизменный интерес к системам радиолокации, авто-

© Кришук В. Н., Карпуков Л. М., Заскоцкая М. В., Фарафонов А. Ю., 2006

матризованным системам связи, системам телекоммуникации и радионавигации приводит к необходимости создания СВЧ устройств в максимально короткий срок с повышением требований к их характеристикам. Высокая сложность расчета и жесткие требования к точности изготовления наиболее характерны для микрополосковых фильтров. Таким образом, актуальной и важной проблемой является определение допусков при проектировании микрополосковых фильтров и выбор оптимальных конструкций фильтров.

Проблематике проектирования микрополосковых устройств посвящено значительное количество работ. Наибольшую актуальность приобретают задачи точного определения геометрических размеров синтезируемой конструкции и определения допусков на параметры конструкции в зависимости от требований к выходным характеристикам. Методики определения геометрических размеров микрополосковых фильтров представлены в работах [1, 2, 3, 4], имеют разную степень сложности и точности. Сравнение этих методик выполнено в работе [5]. Использование для определения гарантированных допусков интервальных моделей, приводит к определенным ограничениям на вид выходной функции, однако такие модели просты в использовании и обладают довольно высокой точностью [6, 7].

Целью настоящей работы является исследование допусковых ограничений в конструкциях полосно-пропускающих фильтров (ППФ) и фильтрах нижних частот (ФНЧ) с учетом вида аппроксимации АЧХ и сравнение допусков, полученных при введении весовых коэффициентов на каждой итерации и в конце вычислений.

1 МЕТОДИКА СИНТЕЗА ФИЛЬТРОВ НА СВЯЗАННЫХ ЛИНИЯХ

При проектировании ППФ на связанных линиях с использованием метода синтеза на основе фильтров-прототипов нижних частот (НЧ) необходимо определить количество звеньев фильтра n и параметры элементов схемы замещения фильтра g_i . Далее определяются волновые сопротивления четной Z_{oe} и нечетной Z_{oo} волн для каждого звена фильтра. На основе синтезированных волновых сопротивлений рассчитываются геометрические размеры топологии фильтра.

Количество элементов фильтра прототипа НЧ определяется видом и параметрами частотной характеристики проектируемого фильтра. При этом необходимо учитывать, что число каскадно-включенных звеньев фильтра на связанных линиях на 1 больше числа элементов фильтра-прототипа [8].

Параметры g_i для средних элементов фильтра-прототипа определяются по методике, изложенной в [9], а для крайних элементов определяются при помощи соотношений [8]:

$$g_0 = \frac{\pi}{\omega'_n} \cdot \left(\frac{f_n - f_{-n}}{f_n + f_{-n}} \right), \quad (1)$$

$$g_{n+1} = \frac{\pi}{r \cdot \omega'_n} \cdot \left(\frac{f_n - f_{-n}}{f_n + f_{-n}} \right), \quad (2)$$

где ω'_n – приведенная граничная частота фильтра нижних частот; f_n, f_{-n} – граничные частоты, определенные по уровню рабочего затухания, для верхней и нижней границы полосы пропускания фильтра; n – число элементов фильтра-прототипа нижних частот; r – величина нагрузочного сопротивления [9].

При синтезе с помощью фильтров-прототипов НЧ осуществляется переход от одиночного звена фильтра на связанных линиях к четырехполюснику, содержащему два отрезка линии передачи и инвертор импеданса. Далее осуществляется переход к фильтру-прототипу НЧ, основанный на системе уравнений, выражающих зависимость волновых сопротивлений звеньев фильтра на связанных линиях для четного и нечетного видов возбуждения от параметров g_i фильтра-прототипа НЧ [8].

Волновые сопротивления звеньев фильтра на связанных линиях для четного и нечетного видов возбуждения находятся по формулам [9]:

$$Z_{\frac{oe}{oo}, i} = Z_0 \left[1 \pm \frac{Z}{k_{i-1, i}} + \left(\frac{Z}{k_{i-1, i}} \right)^2 \right], \quad (3)$$

где $k_{i-1, i} = \frac{Z}{\frac{\pi}{\omega'_n} \cdot \left(\frac{f_n - f_{-n}}{f_n + f_{-n}} \right) \cdot \sqrt{g_{i-1} \cdot g_i}}$, Z_0 – волновое сопротивление подводящих линий передачи, $i = 1 \dots n+1$ – число звеньев фильтра на связанных линиях.

Длины звеньев фильтра l_i вычисляются из соотношения [8].

2 ИССЛЕДОВАНИЕ ДОПУСКОВ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ

При анализе допусков элементов конструкции фильтра на связанных линиях необходимо определить функцию вносимого затухания фильтра в зависимости от частоты. Звенья фильтра на связанных линиях, разомкнутых на концах, могут быть представлены в виде четырехполюсников, а частотная характеристика фильтра может быть получена перемножением классических матриц передачи отдельных звеньев и описана выражением:

$$\alpha(f) = 20 \cdot \log \frac{1}{2} \cdot \left(A_{11} + \frac{A_{12}}{Z} + A_{21} \cdot Z + A_{22} \right), \quad (4)$$

где $A_{11}, A_{12}, A_{21}, A_{22}$ – коэффициенты результирующей матрицы передачи фильтра.

Непосредственное использование выражения (4) для синтеза допусков связано с большим объемом вычислений. Для синтеза допусков на параметры конструкции фильтра используются интервальные модели, которые учитывают нелинейную зависимость затухания фильтра от параметров конструкции и взаимную компенсацию отклонений, а также обладают достаточной точностью [6].

Для создания упрощенных линейных интервальных моделей использована внутренняя и внешняя интерполяция [10]. Синтез допусков произведен на верхней границе полосы пропускания фильтра.

Исследование допусков выполнено на примере микрополоскового ППФ с частотной характеристикой Баттервортовского и Чебышевского типа и следующими параметрами:

– граничные частоты полосы пропускания фильтра $f_{-п} = 960$ МГц, $f_{п} = 1040$ МГц по уровню вносимого затухания $a_{п} = 3$ дБ;

– граничные частоты полос заграждения $f_{-з} = 925$ МГц, $f_{з} = 1075$ МГц по уровню затухания $a_{з} = 30$ дБ;

– волновое сопротивление подводящих линий передачи $Z_0 = 50$ Ом.

Заданным исходным данным, при аппроксимации Баттерворта, соответствует фильтр из семи звеньев связанных микрополосковых линий ($n=7$) и из пяти звеньев при аппроксимации Чебышева. Фильтры реализованы на подложке с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 10$ и толщиной $h = 1$ мм. Толщина металлизации в расчетах не учитывалась. Номинальные размеры ППФ (W – ширина полоска; S – зазор между связанными линиями) приведены в таблице 1.

На рисунке 1 представлены АЧХ фильтров при различных видах аппроксимации. Для построения АЧХ используется пакет программ Microwave Office. Полученные данные электромагнитного анализа свидетель-

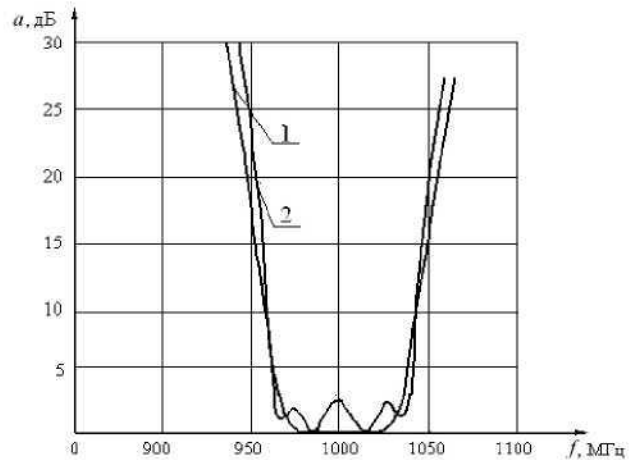


Рисунок 1 – Частотные характеристики фильтра при разных видах аппроксимации АЧХ:

1 – аппроксимация Баттерворта; 2 – аппроксимация Чебышева

ствуют о высокой точности используемой методики проектирования.

Интервальная модель для расчета допусков, в связи с возникающими искажениями вида выходной функции фильтра при назначении отклонений на параметры фильтра с использованием внешней интерполяции построена на основе данных внутренней интерполяции. Начальные отклонения размеров конструкции фильтра и диэлектрической проницаемости материала подложки приняты равными $\delta_i = \pm 1,5\%$. Отклонения функции затухания определялись на частоте 1042 МГц (баттервортовская аппроксимация) и 1041 МГц (чебышевская аппроксимация), которые соответствуют уровню затухания 5 дБ. Для определения коэффициентов интервальной модели и допустимых отклонений параметров конструкции фильтра отклонение функции вносимого затухания было выбрано $\delta_a = \pm 5\%$.

Таблица 1 – Номинальные размеры участков фильтра

Аппроксимация Баттерворта			Аппроксимация Чебышева		
№ звена	Волновые сопротивления, Ом	Размеры, мм	№ звена	Волновые сопротивления, Ом	Размеры, мм
Подвод. линия	$Z_0 = 50$	$W = 0,8817$	Подвод. линия	$Z_0 = 50$	$W = 0,8817$
1,7	$Z_{oe} = 86,7833$	$W = 0,45742$ $S = 0,24456$	1,5	$Z_{oe} = 61,384652$	$W = 0,8041$ $S = 0,7057$
	$Z_{oo} = 37,5025$			$Z_{oo} = 42,269311$	
2,6	$Z_{oe} = 58,4259$	$W = 0,84274$ $S = 0,92016$	2,4	$Z_{oe} = 54,223478$	$W = 0,891$ $S = 1,6227$
	$Z_{oo} = 43,7329$			$Z_{oo} = 46,390135$	
3,5	$Z_{oe} = 54,09206$	$W = 0,89343$ $S = 1,66583$	3	$Z_{oe} = 53,726339$	$W = 0,897$ $S = 1,80226$
	$Z_{oo} = 46,4863$			$Z_{oo} = 46,759087$	
4	$Z_{oe} = 53,4654$	$W = 0,9011$ $S = 1,91914$	–	–	–
	$Z_{oo} = 46,95802$				

Таблица 2 – Отклонения параметров конструкции фильтров

Параметр	Аппроксимация Баттерворта		Аппроксимация Чебышева	
	$\Phi_{\text{нижнее}}, \text{MKM}$	$\Phi_{\text{верхнее}}, \text{MKM}$	$\Phi_{\text{нижнее}}, \text{MKM}$	$\Phi_{\text{верхнее}}, \text{MKM}$
W1	1,706	1,727	2,199	2,174
W2	5,380	4,791	0,470	0,486
W3	0,632	0,503	0,378	0,394
W4	0,445	0,500	0,470	0,486
W5	0,632	0,503	2,199	2,174
W6	5,380	4,791	–	–
W7	1,706	1,727	–	–
S1	3,338	3,527	5,183	5,06
S2	2,688	2,872	1,003	1,039
S3	1,220	1,040	0,911	0,76
S4	0,888	1,130	1,003	1,039
S5	1,220	1,040	5,183	5,06
S6	2,688	2,872	–	–
S7	3,338	3,527	–	–
I1	10,99	11,00	2,277	2,777
I2	3,770	3,752	0,897	0,897
I3	1,337	1,335	0,665	0,666
I4	0,778	0,778	0,897	0,897
I5	1,337	1,335	2,277	2,777
I6	3,770	3,752	–	–
I7	10,99	11,00	–	–
h	0,092	0,135	0,081	0,071
ϵ , отн. ед.	$2,645 \cdot 10^{-3}$	$2,103 \cdot 10^{-3}$	$1,635 \cdot 10^{-3}$	$2,813 \cdot 10^{-3}$

Таблица 3 – Допусковые ограничения на параметры ППФ ($n = 5$) для чебышевской аппроксимации

Параметр	На каждой итерации		По завершению вычислений	
	$\Phi_{\text{нижнее}}, \text{MKM}$	$\Phi_{\text{верхнее}}, \text{MKM}$	$\Phi_{\text{нижнее}}, \text{MKM}$	$\Phi_{\text{верхнее}}, \text{MKM}$
W1	0,944	0,938	0,950	0,938
W2	0,938	1,015	0,938	0,971
W3	0,938	1,082	0,938	0,98
W4	0,938	1,015	0,938	0,971
W5	0,944	0,938	0,949	0,938
S1	0,938	0,943	0,962	0,938
S2	0,938	0,972	0,938	0,972
S3	0,938	1,054	1,125	0,938
S4	0,938	0,972	0,938	0,972
S5	0,938	0,943	0,962	0,938
I1	0,938	0,938	0,938	0,939
I2	0,938	0,938	0,938	0,939
I3	0,938	0,939	0,938	0,939
I4	0,938	0,938	0,938	0,939
I5	0,938	0,938	0,938	0,939
h	0,008	0,007	0,008	0,007
ϵ , отн. ед.	$1,635 \cdot 10^{-3}$	$2,813 \cdot 10^{-3}$	$1,635 \cdot 10^{-3}$	$2,813 \cdot 10^{-3}$

Абсолютные величины отклонений параметров конструкции фильтров от размеров были определены с использованием критерия максимального объема (табл. 2).

Анализируя данные таблицы 2, видно, что наиболее критичными к допускам являются центральные звенья фильтров.

Снизить требования к точности изготовления фильтров при сохранении заданных характеристик возможно путем перераспределения поля допуска с целью увеличения допусков на наиболее критичные элементы конструкций.

Перераспределение поля допуска может быть выполнено с учетом этапов технологического процесса изготовления микрополосковых фильтров. Примером может служить операция химического травления фольгированного диэлектрика. На данном этапе абсолютная погрешность изготовления элементов конструкции определяется величиной подтравливания, а не габаритными размерами. Поэтому необходимо распределить поле допуска выходной функции по элементам топологии с целью получения одинаковых допусковых ограничений путем введения весовых коэффициентов.

Алгоритм определения одинаковых допусковых отклонений можно представить так: на основе данных внутренней интерполяции из передаточных коэффициентов модели составляется массив наибольших коэффициентов по каждому параметру, в котором определяют наибольший коэффициент a_{\max} . Далее вычисляется соотношение $\vartheta_i = a_i / a_{\max}$ и рассчитывается сумма передаточных коэффициентов $\sum a_i$, по которым определяются весовые коэффициенты $P_i = \vartheta_i / \sum a_i$.

Алгоритм может быть применен на каждой итерации и по завершению итерационного процесса.

В таблице 3 представлены допусковые ограничения на параметры ППФ с количеством звеньев $n = 5$ при введении весовых коэффициентов на каждой итерации и по завершению расчетов.

Таблица 4 – Исходные данные для синтеза ППФ и ФНЧ

Параметр	ППФ	ФНЧ
Z – волновое сопротивление линии, Ом	50	50
ϵ – диэлектрическая проницаемость подложки	10	9,6
h – толщина диэлектрической подложки, мм	0,635	1
a_n – затухание в полосе пропускания, дБ	0,1	3
a_s – затухание в полосе заграждения, дБ	10	30
f_{-n} – граничная частота полосы пропускания, МГц	1700	–
f_n – граничная частота полосы пропускания, МГц	2300	–
f_{-3} – граничная частота полосы заграждения, МГц	800	–
f_3 – граничная частота полосы заграждения, МГц	3844,7	1150
f_c – частота среза, МГц	–	700
n – количество звеньев	3	5

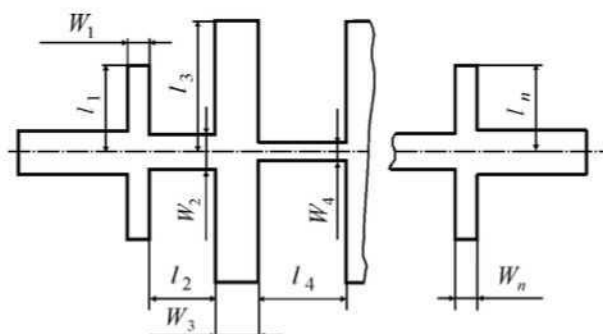


Рисунок 2 – Токонесущая часть микрополоскового ФНЧ

Из таблицы 3 видно, что введение весовых коэффициентов на каждой итерации дает более жесткие допуски на параметры фильтра, чем при введении весовых коэффициентов по завершению расчетов. Результаты отличаются не более, чем на 9,47 %.

Аналогично проведено сравнение допусковых ограничений на параметры ППФ и ФНЧ.

В таблице 4 представлены исходные данные для синтеза ППФ и ФНЧ при чебышевской аппроксимации.

В таблице 5 представлены допусковые ограничения на параметры ППФ при введении весовых коэффициентов на каждой итерации и по завершению расчетов.

Как видно из таблицы 5, результаты отличаются в пределах 3,74 %, а при аппроксимации Баттерворта различие результатов при введении весовых коэффициентов на каждой итерации и по завершению вычислений будет составлять около 3 %.

Топология и размеры токонесущей части микрополоскового ФНЧ рассчитаны с использованием методик [11, 12] (рис. 2).

В таблице 6 представлены допусковые ограничения на параметры ФНЧ при введении весовых коэффициентов на каждой итерации и по завершению расчетов.

Таблица 5 – Допусковые ограничения на параметры ППФ для чебышевской аппроксимации

Параметр	На каждой итерации		По завершению вычислений	
	$\Phi_{\text{нижнее}}$, МКМ	$\Phi_{\text{верхнее}}$, МКМ	$\Phi_{\text{нижнее}}$, МКМ	$\Phi_{\text{верхнее}}$, МКМ
W1	0,817	0,777	0,847	0,773
W2	0,777	0,785	0,773	0,780
W3	0,817	0,777	0,847	0,773
S1	0,802	0,777	0,799	0,773
S2	0,778	0,777	0,773	0,787
S3	0,802	0,777	0,799	0,773
I1	0,777	0,777	0,779	0,773
I2	0,776	0,777	0,775	0,773
I3	0,777	0,777	0,779	0,773
h	0,605	0,589	0,605	0,589
ϵ , отн. ед.	$2,5197 \cdot 10^{-3}$	$2,5845 \cdot 10^{-3}$	$2,5197 \cdot 10^{-3}$	$2,5845 \cdot 10^{-3}$

Таблица 6 – Допусковые ограничения на параметры ФНЧ для чебышевской аппроксимации

Параметр	На каждой итерации		По завершению вычислений	
	$\Phi_{\text{нижнее}}$, МКМ	$\Phi_{\text{верхнее}}$, МКМ	$\Phi_{\text{нижнее}}$, МКМ	$\Phi_{\text{верхнее}}$, МКМ
W1	7,293	7,309	7,453	7,490
W2	7,293	7,802	7,453	7,543
W3	7,293	7,303	7,453	7,464
W4	7,293	7,802	7,453	7,543
W5	7,293	7,309	7,453	7,490
I1	7,299	7,293	7,498	7,453
I2	7,293	7,293	7,453	7,453
I3	7,301	7,293	7,484	7,453
I4	7,293	7,293	7,453	7,453
I5	7,299	7,293	7,498	7,453
h	3,427	3,456	3,431	3,452
ϵ , отн. ед.	0,011	0,011	0,011	0,011

В данном случае различие результатов при аппроксимации Чебышева составляет 3,33 %, а при аппроксимации Баттерворта – 6,13 %. При этом тенденция получения более жестких допусков при введении весовых коэффициентов на каждой итерации сохраняется для разных видов фильтров.

ВЫВОДЫ

Проведено исследование допусковых ограничений в конструкциях микрополосковых фильтров при различных видах аппроксимации АЧХ. Показано, что использование аппроксимации Баттерворта позволяет расширить допуски на параметры конструкции фильтра, хотя и ведет к увеличению габаритных размеров топологии. Анализ особенностей возникновения погрешностей на этапах технологии производства позволяет расширить гарантированные допуски на параметры фильтров. Выявлена необходимость введения весо-

вых коэффициентов на каждой итерации синтеза допусков в связи с получением более жестких гарантированных допусков.

Направление дальнейших исследований связано с исследованием допусков СВЧ устройств с учетом неоднородностей микрополосковых линий.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Аналоговые полупроводниковые интегральные схемы СВЧ / В. Н. Данилин, А. И. Кушниренко, Г. В. Петров. – М.: Радио и связь, 1985. – 192 с.
2. Полосковые платы и узлы. Проектирование и изготовление / Е. П. Котов, В. Д. Калун, А. А. Тер-Маркарян, В. П. Лисицын, Ю. И. Фаянс / Под ред. Е. П. Котова и В. Д. Калуна. – М.: «Сов. радио», 1979. – 248 с.
3. Проектирование интегральных устройств СВЧ: Справочник / Ю. Г. Ефремов, В. В. Конин, Б. Д. Солганик и др. – К.: Техника, 1990. – 159 с.
4. Akhtarzad S., Rowbotham T., Johns P. The design of coupled microstrip lines // IEEE Transaction on microwave theory and techniques – 1975. – Vol. MTT-23, No. 6, June. – P. 486–492.

5. *Krishuk V., Farafonov A., Romanenko S.* Analysis of projection methods of microstrip coupled lines filters // Proceedings of the International Conference "Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science". – Lviv-Slavsko (Ukraine). – 2004. – P. 583–586.
6. *Шило Г. М.* Формування інтервальних моделей для обчислення допусків // Радіоелектроніка. Інформатика. Управління. – 2002. – № 1. – С. 90–95.
7. *Krischuk V., Shilo G., Gaponenko N.* Optimization of ISLAE solutions in the problems of assigning tolerances for parameters of electronic devices // Proceedings of the International Conference "Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science". – Lviv (Ukraine). – 2002. – P.114–115.
8. *Малорацкий Л. Г., Явич Л. Р.* Проектирование и расчет СВЧ элементов на полосковых линиях. – М.: Сов. радио, 1972. – 232 с.
9. *Фельдштейн А. Л., Явич Л. Р., Смирнов В. П.* Справочник по элементам волноводной техники. – М.: Сов. радио, 1967. – 651 с.
10. *Krischuk V., Shilo G., Gaponenko N.* Optimization of ISLAE solutions in the problems of assigning tolerances for parameters of electronic devices // Proceedings of the International Conference "Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science". – Lviv (Ukraine). – 2002. – P.114–115.
11. *Конструирование и расчет полосковых устройств /* Под ред. И. С. Ковалева. – М.: Сов. радио, 1974. – 295 с.
12. *Крищук В., Фарафонов О., Шило Г., Гапоненко М.* Оптимізація допусків мікросмужкових фільтрів // Вісник

Національного університету «Львівська політехніка» «Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика». – 2003. – № 470. – С. 173–178.

Надійшла 10.07.06
Після доробки 21.08.06

Проведено дослідження допусків обмежень на геометричні розміри конструкцій мікросмужкових фільтрів з урахуванням виду апроксимації амплітудно-частотної характеристики, які забезпечують задані характеристики фільтра. Синтез фільтрів виконується на основі фільтрів-прототипів нижніх частот. Розрахунок допусків виконується з використанням інтервальних моделей. Врахування впливу технології виготовлення топології фільтрів здійснюється шляхом введення вагових коефіцієнтів.

Probing tolerance limitations on the geometrical sizes constructions of the microstrip filters is carried out. Also, view of approximation amplitude-frequency characteristics, providing the necessary characteristics of the filter take into account. The synthesis of filters is fulfilled on the basis filters-prototypes of the lower frequencies. Calculation of tolerances is made with usage of interval models. The discount agency of manufacture technology of the filters topology is carried out by introduction of weight coefficient.

УДК 621.396.6

В. М. Крищук, Г. М. Шило, Б. А. Артюшенко

ГЕНЕТИЧНИЙ АЛГОРИТМ ПРИЗНАЧЕННЯ ДОПУСКІВ НА РАДІОЕЛЕМЕНТИ З ІНТЕРВАЛЬНИМ ОЦІНЮВАННЯМ

Запропоновано метод підвищення ефективності генетичного алгоритму для призначення інтервальних допусків на радіоелементи. Крім відомих способів оцінки працездатності рішень використовується інтервальне розширення вихідних функцій та пошук межових вершин методом впливів. Алгоритм адаптовано до роботи з обмеженнями, що виникають при проектуванні радіоапаратури.

ВСТУП

Синтез та аналіз допусків є невід'ємною частиною проектування якісного і водночас доступного за ціною виробу. В умовах скорочення часу на проектування, тестування та налагодження масового виробництва радіоапаратури постає задача автоматизації цих процедур. Здебільшого синтез та аналіз допусків базується на використанні детермінованих (переважно інтервальних [1]) ітераційних методів з лінійними моделями. Основний недолік таких методів – це неможливість роботи з вихідними функціями, які містять екстремуми в інтервалах їх допуску, хоча останнім часом і з'явилися роботи присвячені розв'язку цієї проблеми [2].

Використання інтервальних методів ускладнено також при існуванні великої кількості обмежень.

На противагу детермінованим методам набувають поширення стохастичні методи: Монте-Карло, моделюючий віджит, генетичний алгоритм (ГА). Ці методи не потребують від вихідної функції таких властивостей як неперервність, диференційованість чи монотонність. Але слід зазначити, що метод Монте-Карло вимагає великої кількості обчислень, а використання моделюючого віджигу не завжди можливо [3]. Використання ГА допусків аналізу базуються в тому числі і на інтервальних методах [4, 5]. Існують також приклади застосування ГА для синтезу допусків [4, 6, 7]. Синтез допусків за допомогою ГА пов'язаний з визначенням працездатності знайденої області з точки зору обмежень на вихідні функції. Для цього в існуючих ГА синтезу допусків використовуються: метод Монте-Карло, аналіз вершин [7], ANOVA (аналіз середніх значень і варіацій) [4] та нечітка логіка [6]. Але всі ці методи або не надають гарантованих відповідей, або потребують великої кількості обчислень.

© Крищук В. М., Шило Г. М., Артюшенко Б. А., 2006