

APPROPRIATION OF TOLERANCES AT DESIGNING HAIRPIN MICROSTRIP LOW-PASS FILTERS

Mishchenko M.V.
Zaporizhzhya National Technical University
64, Zhukovsky Str., Zaporizhzhya, 69063, Ukraine
e-mail: marina.mischno@gmail.com

Abstract — The investigation of tolerances limits for the microstrip hairpin low-pass filter's geometrical parameters is carried out. Method of calculation of the filter circuit is based on a quasi-dynamic approximations and quasi-static analysis of topology discontinuities. Interval models were used for the synthesis of tolerances. Optimization of tolerances for the filter's geometrical parameters is made by introducing of weight coefficients.

НАЗНАЧЕНИЕ ДОПУСКОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МИКРОПОЛОСКОВОГО ШПИЛЕЧНОГО ФИЛЬТРА НИЖНИХ ЧАСТОТ

Мищенко М. В.
Запорожский Национальный Технический Университет
ул. Жуковского, 64, Запорожье, 69063, Украина
e-mail: marina.mischno@gmail.com

Аннотация — Проведено исследование допусковых ограничений на геометрические параметры микрополоскового шпилечного фильтра нижних частот. Методика расчета схемы фильтра основана на использовании квазидинамических приближений и квазистатического анализа неоднородностей топологии. Для синтеза допусков используются интервальные модели. Оптимизация допусков на геометрические параметры фильтра производится путём введения весовых коэффициентов.

I. Введение

Вопрос сокращения сроков проектирования и изготовления, при условии повышения качества выпускаемой продукции, приобретает все большую актуальность. Однако процесс его решения неразрывно связан с техническими и технологическими ограничениями [1].

Поскольку интерес к автоматизированным системам связи, системам телекоммуникации и радионавигации остается неизменным, то это приводит к необходимости создания СВЧ устройств в максимально короткий срок с повышением требований к их характеристикам. Из этого следует необходимость использования точных математических моделей описания устройств СВЧ, учитывающих влияние всех элементов топологии микрополосковых линий (МПЛ) [2]. Так при синтезе микрополосковых фильтров нижних частот (ФНЧ) не учитываются все элементы схем замещения МПЛ [3]; это уменьшает точность назначения допусков.

Целью работы является назначение допусков на геометрические параметры шпилечного ФНЧ с использованием методов квазидинамики и учета влияния топологических неоднородностей (ТН).

II. Методика расчета схем на многосвязанных МПЛ с применением квазидинамического приближения и квазистатического учета топологических неоднородностей

На рис. 1 представлен микрополосковый ФНЧ, реализованный на одиночном шпилечном резонаторе [4]. Как видно из рис. 1, топология фильтра имеет достаточно сложную конфигурацию. По этой причине предлагается использовать метод декомпозиции и «разделить» топологию фильтра на базовые элементы (БЭ), включающие в себя области связанных и одиночных линий [5].

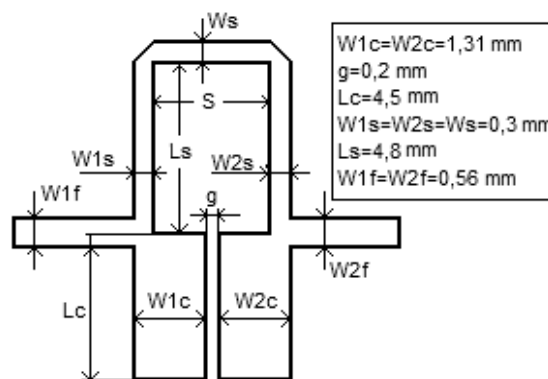


Рис. 1. ФНЧ на одиночном шпилечном резонаторе.

Fig. 1. LPF using one hairpin resonator

Для участков связанных и одиночных линий в работе [6] изложена методика квазидинамического моделирования МПЛ. Согласно этой методике матрица рассеяния отрезка связанных линий рассчитывается по соотношениям:

$$\begin{aligned} S_{11} &= S_{11} + S_{12} \cdot D^{-1} \cdot T(l) \cdot S_{22} \cdot T(l) \cdot S_{21}; \\ S_{12} &= S_{12} \cdot D^{-1} \cdot T(l) \cdot S_{21}; S_{122} = S_{111}; S_{121} = S_{112}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $D = E - T(l) \cdot S_{22} \cdot T(l) \cdot S_{22}$; $T(l) = V \cdot \Theta(l) \cdot V^{-1}$; $\Theta(l) = \text{diag}(e^{-jkl})$; V — собственный вектор матрицы $C \cdot C^{-1}$; C , C^{-1} — матрицы взаимных и собственных погонных емкостей с учетом и без учета диэлектрического заполнения линии, соответственно; k — постоянная распространения; l — длина участка связанных МПЛ; S — матрица соединения одиночных линий с проводной связанной линией [6].

Матрица рассеяния участка одиночной линии с учетом емкостей неоднородностей в общем виде имеет вид:

$$\begin{aligned} S_{11} &= (Z_{H1} - R) / (Z_{H1} + R); S_{22} = S_{11}; \\ S_{12}^2 &= 1 - S_{11}^2; S_{21} = S_{12}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $Z_{H1}=(R \cdot X_C)/(R+X_C)$; $X_C=1/(j\omega C_H)$; C_H — емкость ТН, рассчитанная при моделировании всей топологии МПЛ; R — сопротивление одиночной линии в квазидинамическом приближении [6].

Далее проводится рекомпозиция БЭ [5].

III. Исследование допусков элементов конструкции

Непосредственное использование полученной в квазидинамическом приближении выходной характеристики фильтра для синтеза допусков достаточно сложно, поэтому используются интервальные модели, которые учитывают зависимость выходной характеристики фильтра от параметров конструкции, взаимную компенсацию отклонений и имеют достаточную точность [7].

Для создания упрощенных линейных интервальных моделей используется метод касательных, который дает возможность получать точные значения выходной характеристики на границах допусков входных параметров. Однако метод накладывает дополнительные ограничения на функцию. Функция должна быть гладкой и не иметь точек, в которых частные производные равны нулю. В противном случае можно использовать внутреннюю интерполяцию, которая описывается выражением [8]:

$$y_r = a_{r0} + \sum_{i=1}^n a_{ri} x_i + \sum_{i=1}^n \text{dual}(a_{ri} x_i) \quad (3)$$

где i — число параметров; $a_{ri}=[a_{ri,H};a_{ri,B}]$ — коммутационные интервальные коэффициенты; x_i — интервал изменения входного параметра при расчете допусков от номинального до граничного значения; dual — оператор преобразования обратных арифметических операций над интервалами в прямые; a_{ri} — передаточные коэффициенты упрощенной функции.

Исследование допусков выполнено на примере микрополоскового шпилечного ФНЧ, рис.1, реализованного на подложке толщиной $h = 0,635$ мм с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon_r = 10,2$ [4].

Применение метода декомпозиции и квазидинамического приближения для расчета выходной характеристики шпилечного ФНЧ, дает возможность синтезировать допусковые ограничения на все конструктивные параметры фильтра, включая подводящие линии.

Для определения коэффициентов интервальной модели и допустимых отклонений параметров конструкции фильтра, отклонение выходной функции было принятым $\delta_a = \pm 11\%$. Частота среза анализируемого фильтра $f_c = 2$ ГГц [4].

Отклонения параметров фильтра, полученных при моделировании выходных характеристик без учета и с учетом ТН, представлены в табл. 1.

Из анализа данных табл. 1 следует, что учет влияния ТН при расчете затухания шпилечного фильтра, рис. 1, позволило получить более строгие допусковые ограничения на геометрические параметры фильтра.

Табл.1. Отклонения параметров фильтра

Table1. Filter parameters deviations

Параметр	Без учета топологических неоднородностей		С учетом топологических неоднородностей	
	ω_H , МКМ	ω_B , МКМ	ω_H , МКМ	ω_B , МКМ
W1c,W2c	7,7336	19,761	7,5688	19,402
g	7,7336	7,8343	7,5688	7,6679
Lc	7,8599	7,7336	7,6978	7,5688
W1s,W2s	24,806	7,7336	23,490	7,5688
S	7,7336	7,8803	7,5688	7,7121
Lc	7,7336	7,7530	7,5688	7,5823
Ws	7,7336	7,7546	7,5688	7,5889
W1f,W2f	7,7624	7,7396	7,6060	7,5744
ε_r	7,8315	7,7336	7,6684	7,5688
h	10,074	10,478	10,121	10,531

III. Заключение

Применение метода декомпозиции и квазидинамического приближения при моделировании микрополоскового шпилечного ФНЧ с учетом ТН приводит к увеличению точности расчетов выходных характеристик устройства, а также дает возможность учитывать влияние всех элементов топологии микрополосковых линий. Это в свою очередь увеличивает точность назначения допусков. Так сравнение расчетных значений уровня затухания на частоте среза с результатами электромагнитного анализа в HFSS показало, что расчет затухания с учетом влияния ТН на 5% точнее, чем расчет без учета влияния ТН; при этом были получены более строгие допусковые ограничения на параметры фильтра, что подтверждается данными табл. 1.

Направление дальнейших исследований связано с определением допусковых ограничений на параметры МПЛ СВЧ устройств с учетом взаимного влияния допусков элементов конструкции.

IV. References

- [1] Vorob'ev E.A. *Raschet proizvodstvennyh dopuskov ustroystv SVCh* [Calculation of production tolerances microwave devices]. Leningrad, Sudostroenie, 1980. 148 p.
- [2] Kryshhuk V., Farafonov O., Shylo G., Gaponenko M. Optimizacija dopuskiv mikrosmuzhkovykh fil'trov [Appropriation of tolerances of microstrip filters]. *Komp'yuterni systemy proektuvannya. Teorija i praktyka*. 2003, No 470, pp. 173-178.
- [3] Kovaleva I.S. *Konstruirovanie i raschet poloskovykh ustroystv* [Designing and calculation of strip devices]. Moscow, Sov. radio, 1974. 295 p.
- [4] Lung-Hwa Hsieh, Chang K. Compact elliptic-function Low-Pass Filters using microstrip stepped-impedance hairpin resonators. *Trans.MTT*, 2003, No 1, pp. 193-199.
- [5] Silaev M.A., Brjancev S.F. *Prilozhenie matric i grafov k analizu SVCh ustroystv* [The application of matrices and graphs to analyze microwave devices]. Moscow, Sovetskoe radio, 1970. 320 p.
- [6] Karpukov L.M., Pulov R.D., Rybin V.O. Kvazidynami-cheskoe modelirovanie mnogoprovodnykh svyazannykh mikro-poloskovykh linij [Quasi-dynamic modeling of multi-conductor coupled microstrip lines]. *Radioelektronika, informatika, upravlinnja*, 2006, No 2, pp. 28-32.
- [7] Shylo G.N. Formuvannya interval'nykh modelej dlja obchyslennja dopuskiv [Formation interval models for calculating tolerances]. *Radioelektronika, informatyka, upravlinnja*, 2002. No 1, pp. 90-95.