

МЕТОДЫ СИНТЕЗА СОГЛАСУЮЩИХ ЦЕПЕЙ

Юркин Ю.Т., Гузак И.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Курочкин А.Е. – к.т.н., доцент

В данной работе рассмотрены задачи и основные методы синтеза согласующих цепей.

Согласующие цепи могут быть выполнены на пассивных сосредоточенных RLC -элементах (сосредоточенные цепи), на распределенных элементах (распределенные цепи) и на элементах собранных из этих комбинаций (сосредоточенно-распределенные цепи). Четырехполюсник согласующей цепи, изображенный на рисунке 1, должен обеспечивать передачу максимальной мощности от генератора $V_S(\omega)$ к нагрузке $Z_L(\omega)$ в требуемой полосе частот от ω_D до ω_U .

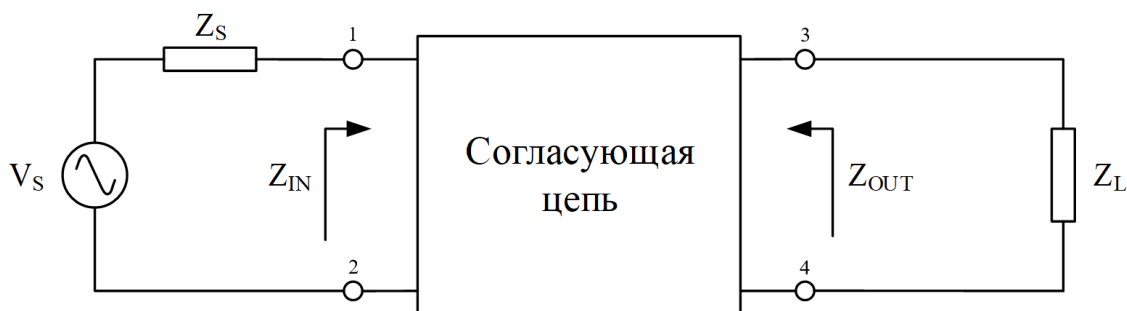


Рисунок 1 – Четырехполюсник согласующей цепи

При синтезе согласующей цепи нужно различать две задачи:

- 1) *Задача одностороннего согласования* (англ. Simple Single Matching Problems) – когда сопротивление генератора (частотно-независимое сопротивление R_S) активное, а сопротивление нагрузки комплексное (частотно-зависимый импеданс $Z_L(\omega)$);
- 2) *Задача двустороннего согласования* (англ. Simple Double Matching Problems) – когда импедансы генератора и нагрузки комплексные (частотно-зависимые сопротивления $Z_S(\omega)$ и $Z_L(\omega)$ соответственно).

В случае обеспечения передачи мощности сигнала от генератора к нагрузке в узком диапазоне или на единственной частоте, то используется *задача узкополосного согласования* ($\omega_U/\omega_D < 0,2$), во всех остальных случаях используется *задача широкополосного согласования* ($\omega_U/\omega_D \geq 0,2$) [1].

На современном этапе синтез согласующих цепей осуществляется следующими методами:

1. *Классическим методом*, использующим основы аналитической теории предложенной Фано-Юлом [2]. Решение задачи синтеза классическими методами реализуется через аппроксимацию частотных характеристик синтезируемой цепи и с последующей их реализацией. Однако, данные методы связаны со значительными трудностями вычислений и в них отсутствует контроль параметров синтезируемой цепи.

2. *Численным методом*, использующим специальные численные методы оптимизации и возможности современных вычислительных средств. Использование параметрической оптимизации [3] обусловлено простотой и универсальностью данного метода, но недостатком является зависимость от выбора начальных значений и алгоритма параметрической оптимизации. Методами «реальной частоты» [4] получается решать задачи двустороннего согласования, но они так же зависят от выбора начальных значений, в них отсутствует контроль параметров синтезируемой цепи, к тому же возникают сложности использования процедур нелинейного программирования. Методы систематического поиска [5] позволяют контролировать значения элементов при синтезе, учесть потери и паразитные параметры, не критичное отношение к выбору начальных значений, но расчет может проводиться только на одной частоте и экспоненциальная зависимость времени расчета СЦ от количества элементов. В структурно-параметрическом методе [6] на основе генетического алгоритма не требуется осуществлять выбор начальных значений, но нет возможности контролировать структуру СЦ, требуется большой запас вычислительной мощности.

3. *Графоаналитическим методом*, использующим графическое представление на круговой диаграмме Вольперта-Смита [7] характеристик линии передачи. Данный метод обладает хорошей наглядностью и прост для простых СЦ, но расчет производится только на одной частоте, а в случае, расчета широкополосных СЦ возрастает трудоемкость.

4. Методом низкочастотного прототипа, в котором прямоугольную характеристику ФНЧ аппроксимируют некоторой функцией, затем аппроксимирующую функцию переводят на высокие частоты. Данный метод, в основном, применяется для цепей симметричной АЧХ.

Стоит помнить, что при согласовании в широкой полосе необходимо избегать ситуации с полным согласованием на какой-либо одной частоте полосы пропускания, так как при этом на других частотах полосы пропускания может возникнуть недопустимо большой коэффициент отражения [8].

Как правило, при синтезе широкополосных согласующих цепей разработчик должен находить компромисс между двумя противоречивыми требованиями, а именно между шириной полосы пропускания (рабочим диапазоном частот) и минимальным (предельным) коэффициентом отражения. Однако, необходимые требования уже определены критерием Боде-Фано [9]:

$$\int_0^{\infty} \ln \frac{1}{|\Gamma(\omega)|} d\omega \leq \frac{\pi}{\tau}, \quad (1)$$

где $\Gamma(\omega)$ – коэффициент отражения на входе; $\tau = RC = L/R$.

Для согласования источника сигнала с нагрузкой состоящей из активного сопротивления и одного L или C , с помощью цепи без потерь необходимо выполнение условия (1).

На рисунках 2а) и 2б) графически показана, что максимально возможная полоса согласования определяется допустимым значением коэффициента отражения ($|\Gamma|_{\max}$).

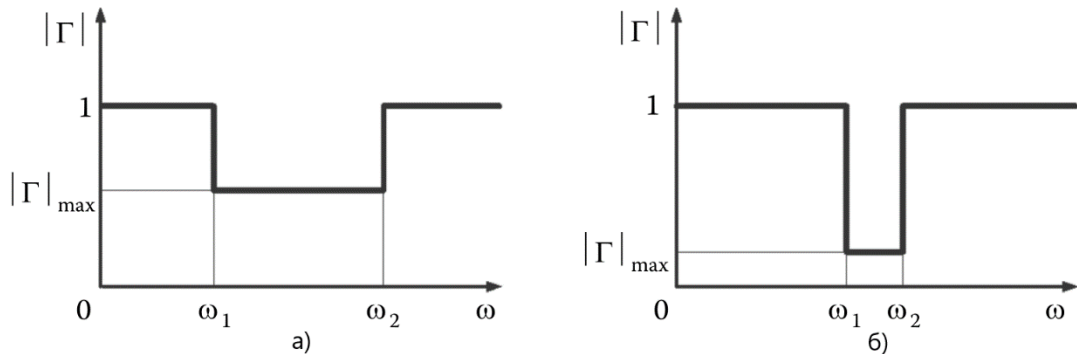


Рисунок 2 – Идеальные согласующие фильтры с прямоугольной характеристикой с а) широкой и б) узкой полосами пропускания

Чем шире полоса частот (ω_1, ω_2), тем хуже (больше) коэффициент отражения. При постоянном значении $|\Gamma|_{\max}$ и увеличении постоянной времени τ полоса согласования уменьшается, а если полоса согласования не изменяется (постоянна), то необходимо увеличить значение коэффициента отражения в полосе согласования.

Список использованных источников:

1. Design of ultra wideband power transfer networks / Binboga Siddik Yarman. // Wiley, 2010. – 774 p.
2. A new theory of broad-band matching / D.C. Youla // IEEE transactions on circuit theory. – 1964. – Vol. CT-11. – p.30-50.
3. Computer Aided Double Matching via Parametric Representation of Brune Functions / B.S. Yarman, A. Fettweis // IEEE Trans. on CAS. – 1990. – т. 37, № 2, pp. 212-222.
4. Stable broadband microwave amplifier design using the simplified real frequency technique / W.L. Jung, J.H. Chiu // IEEE Trans. – 1993. – Vol. MTT-41. – №2. – pp. 336 - 339.
5. Carlin H.J., Amstutz P., On optimum broad-band matching // IEEE Trans. – 1981. - Vol. CAS-28. - № 5. - P. 401-405.
6. Grimbleby J. B., Automatic analogue network synthesis using genetic algorithms // Proc. of IEE/IEEE Intl. Conf. on Gen. Alg. in Engg. Sys.: Inn. and Appl. – 1995. – pp. 53-58.
7. Курушин, А.А. Проектирование СВЧ устройств с использованием электронной диаграммы Смита / А.А. Курушин; под ред. д.т.н., проф. Б.Л. Когана. – М.: изд. МЭИ, 2008. – 120 с.
8. Кирульчук В.Б. Основы проектирования СВЧ интегральных схем: учеб.-метод. пособие. В 2 ч. Ч. 2: Элементная база СВЧ интегральных схем / В.Б. Кирульчук, Д.В. Лухачевский. – Минск: БГУИР, 2012. – 308 с.
9. Grebennikov A., Kumar N., Yarman S.B. Broadband RF and Microwave Amplifiers / CRC Press. 2016. – 743 p.