

**ВЫБОР ПОЛОСНО–РАСШИРЯЮЩИХ ЦЕПЕЙ ШИРОКОПОЛОСНЫХ
Y–ЦИРКУЛЯТОРОВ НА СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ**

В.Н. Бородин, А.В. Сорокин

(г. Нижний Новгород, ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова», niis@niis.nnov.ru)

**THE CHOISE OF BAND–EXPAND CIRCUITS FOR BROADBAND
Y–CIRCULATORS ON LUMPED ELEMENTS**

V.N. Borodin, A.V. Sorokin

В настоящее время сохраняется актуальность применения ферритовых развязывающих устройств в сложных радиотехнических системах. При этом технические требования к этим устройствам всё более ужесточаются. Основными требованиями являются обеспечение работоспособности в широкой полосе рабочих частот, а также минимизация массогабаритных характеристик и обеспечение минимальных вносимых потерь. Эти требования обуславливают интерес к резонансным Y–циркуляторам на сосредоточенных элементах, характеристиками которых можно управлять с помощью внешних согласующих цепей.

В настоящем сообщении предлагается способ определения оптимальных параметров полосно–расширяющих цепей широкополосного Y–циркулятора на сосредоточенных элементах с помощью критерия, основанного на использовании собственных значений матрицы рассеяния Y–циркулятора. Под оптимальными параметрами будем понимать параметры, обеспечивающие максимально возможную ширину полосы рабочих частот, при которых коэффициент отражения $|\Gamma|$ не превышает заданного значения. Исходя из определения циркулятора, как согласованного со стороны всех плеч устройства без потерь [1], будем описывать циркулятор коэффициентом отражения, выражение для которого в терминах собственных значений матрицы рассеяния имеет вид

$$\Gamma = \frac{1}{3}(S_0 + S_+ + S_-), \tag{1}$$

где S_0, S_+, S_- –собственные значения матрицы рассеяния.

На комплексной плоскости собственные значения S_+, S_- и S_0 можно отображать концами векторов \vec{S}_+, \vec{S}_- и \vec{S}_0 , выходящими из начала координат (рисунок 1).

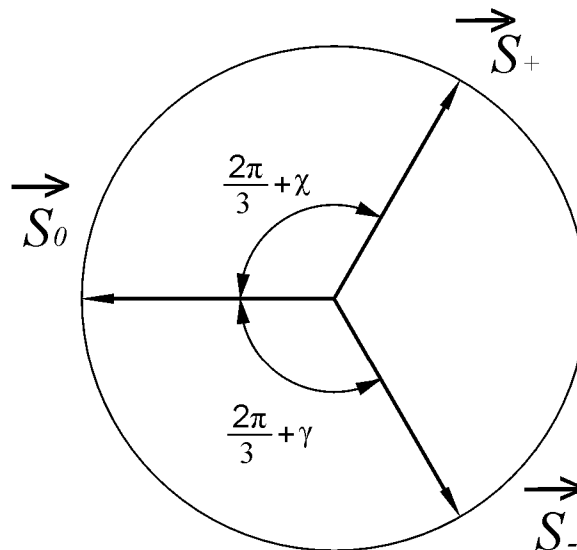


Рис. 1.

Уравнение линии, вдоль которой коэффициент отражения в координатах углов расстройки χ, γ , то есть углов, на которые углы между парами векторов \vec{S}_+, \vec{S}_- и \vec{S}_0 отклоняются от $2\pi/3$, имеет постоянное значение в общем случае имеет вид

$$1 + 8 \cos\left(\frac{2\pi}{3} + \frac{\chi - \gamma}{2}\right) \cos\left(\frac{\pi}{3} + \frac{\chi}{2}\right) \cos\left(\frac{\pi}{3} + \frac{-\gamma}{2}\right) = 9\Gamma^2 \quad (2)$$

При небольших отклонениях коэффициента отражения $|\Gamma|$ (на практике обычно $|\Gamma| \leq 0.1$), когда углы расстройки χ, γ малы, уравнение (2) упрощается

$$\chi^2 - \chi\gamma + \gamma^2 = 9\Gamma^2 \quad (3)$$

С помощью выражения (3), можно определить значения углов расстройки χ, γ , при которых коэффициент отражения $|\Gamma|$ достигает своих максимальных значений. Для выражения (3) можно найти локальный экстремум, соответствующий минимальному значению коэффициента отражения, который достигается при $\chi = \gamma$. При этом векторы \vec{S}_+ и \vec{S}_- симметричны относительно \vec{S}_0 . Очевидно, что минимизировать значение коэффициента отражения можно симметричным расположением любого из векторов $\vec{S}_+, \vec{S}_-, \vec{S}_0$ относительно двух других. Особенностью Y-циркуляторов на сосредоточенных элементах является возможность изолированного воздействия на S_0 путём включения согласующей цепи между общей точкой индуктивностей и «корпусом», в то время как согласующие цепи, включённые в каждое плечо циркулятора, оказывают влияние на все три собственных значения S_+, S_- и S_0 [2]. Если полоса циркулятора ограничивается отклонением \vec{S}_+ и \vec{S}_- , есть возможность с помощью воздействия на вектор \vec{S}_0 уменьшить отклонение от условий циркуляции за счёт его симметричного расположения относительно \vec{S}_+ и \vec{S}_- . Фазы собственных значений $S_{0,+/-}$ могут быть представлены в виде

$$\varphi_{0,+/-} = \arctg \frac{2Z_{0,+/-}}{1 - Z_{0,+/-}^2}, \quad (4)$$

где $Z_{0,+/-}$ – собственные значения матрицы импеданса Y – циркулятора.

Используя значения $\varphi_{+/-}$, оптимальное значение φ_0 можно определить по формуле

$$\varphi_0 = \frac{\varphi_+ + \varphi_-}{2}. \quad (5)$$

Таким образом, оптимальные полосно-расширяющие цепи обеспечивают симметричное положение одного из собственных значений матрицы рассеяния относительно двух других, причём наиболее существенную роль в согласовании играет сопротивление собственной цепи, соответствующей «синфазному» типу возбуждения входов циркулятора, так как с помощью включения согласующей цепи между общей точкой индуктивностей и «корпусом», имеется возможность коррекции только S_0 .

Литература

1. Баттон К., Лакс, Б. Сверхвысокочастотные ферриты и ферритмагнетики.– М.:Мир, 1965.
2. Хелзайн Дж. Пассивные и активные цепи СВЧ: [пер. с англ.]– М.: Радио и связь, 1981.