

КОМПЕНСАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА РЕЗОНАТОРОВ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ С АКТИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Бондаренко И.Н., Ткаченко О.Н.
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
г. Харьков, пр. Ленина, 14, 61166, Украина
тел.: (057) 702-13-62, e-mail: mepu@kture.kharkov.ua

Аннотация – Рассмотрены и проанализированы характеристики волноводных резонаторов бегущей волны при включении в их кольцевую цепь таких элементов как резонансные измерительные преобразователи с разными вносимыми потерями, узкополосных и широкополосных усилителей с разными коэффициентами усиления и полосами усиливаемых частот. Оценены возможности компенсации потерь, вносимых резонансными преобразователями, при сохранении их заметного влияния на АЧХ РБВ с активными элементами.

I. Введение

Измерительные преобразователи, основой которых являются микроволновые резонаторы, позволяют производить высокочувствительные измерения самых различных параметров и характеристик [1]. Изменения измеряемых параметров при этом связываются с изменениями резонансной частоты и добротности резонаторного измерительного преобразователя (РИП). Чем выше добротность резонатора, тем более высокая точность и чувствительность достигаются при измерениях. Для этого обычно стараются конструкцию резонатора и вид колебаний подбирать таким образом, чтобы обеспечить максимальную собственную добротность. Однако в результате взаимодействия электромагнитных полей резонатора либо непосредственно с тестируемым объектом, либо посредством элементов связи, добротность РИП, особенно в случае тестирования объектов с изначально высокими потерями, значительно уменьшается, что ведет к уменьшению чувствительности и точности при измерении соответствующих изменений. В связи с этим целесообразно рассмотреть возможности компенсации или ослабления влияния указанных факторов.

II. Основная часть

Условием резонанса в резонаторах бегущей волны (РБВ) является равенство его электрической длины целому числу волн [2] или условие синфазного сложения волн на некоторой (резонансной) частоте. При этом величина добротности такого резонанса определяется суммарным затуханием в замкнутой кольцевой цепи и, как правило, она не очень велика (несколько десятков). В работе [3] предлагается улучшить характеристики РБВ путем включения в него активного элемента и создания на такой основе так называемого активного РБВ (АРБВ), однако практически не исследуются вопросы влияния на резонансную частоту и эквивалентную добротность АРБВ параметров кольцевой цепи и ее составных элементов.

Для суперпозиции волн, в результате которой формируется АЧХ РБВ, можно записать:

$$E(f) = \sum_{k=1}^n e^{-\alpha k l} \cos \frac{2\pi k l}{\lambda_a(f)},$$

где α – постоянная затухания; k – количество волн, сложение которых возможно в РБВ (n в общем случае зависит от суммарного затухания в РБВ); l – электрическая длина кольцевой цепи РБВ;

$$\lambda_a(f) = \frac{c}{f \sqrt{1 - (c/2af)^2}} - \text{длина волны в волноводе; } a -$$

характерный размер волновода; c – скорость света.

При включении РИП в цепь РБВ:

$$E(f) = \sum_{k=1}^n e^{-\alpha k l} \left[\frac{4\beta_1\beta_2}{(1+\beta_1+\beta_2)^2} \right]^k \left[\frac{1}{\sqrt{1 + \left[\frac{2Q(f-f_0)}{f_0} \right]^2}} \right]^k \times \\ \times \cos \left[\frac{2\pi k l}{\lambda_a(f)} + k \cdot \arctg \left[\frac{2Q(f-f_0)}{f_0} \right] \right],$$

где β_1, β_2 – коэффициенты связи проходного РИП; Q, f_0 – добротность и резонансная частота РИП.

Для АРБВ его АЧХ будет также зависеть от коэффициента передачи резонансного или широкополосного усилителя. При широкополосном усилителе:

$$E(f) = \sum_{k=1}^n e^{-\alpha k l} (K)^k \left[\frac{4\beta_1\beta_2}{(1+\beta_1+\beta_2)^2} \right]^k \left[\frac{1}{\sqrt{1 + \left[\frac{2Q(f-f_0)}{f_0} \right]^2}} \right]^k \times \\ \times \cos \left[\frac{2\pi k l}{\lambda_a(f)} + k \cdot \arctg \left[\frac{2Q(f-f_0)}{f_0} \right] + k \cdot \varphi_{\text{фн}} \right],$$

где K – коэффициент усиления; $\varphi_{\text{фн}}$ – сдвиг фазы сигнала в усилителе.

Исследования показали, что эквивалентная добротность и значение резонансной частоты РБВ при включении в него РИП в значительной степени определяется параметрами РИП. При использовании в АРБВ резонансного усилителя с полосой пропускания меньшей, чем у РИП, эквивалентная добротность и резонансная частота будут также зависеть от характеристик усилителя, т.е. изменения частоты и добротности РИП уже в меньшей степени будут влиять на его АЧХ.

Включение в цепь РБВ нерезонансного широкополосного усилителя приводит к росту его эквивалентной добротности и сохранению влияния изменений параметров РИП на эквивалентные параметры АРБВ (рис.1), однако коэффициент усиления не может быть большим, поскольку в этом случае схема АРБВ превращается в автогенератор. Дополнительный фазовый сдвиг сигнала в усилителе ведет как к смещению частоты, так и к уменьшению эквивалентной добротности (рис.2). Для компенсации этого в

схеме АРБВ должен быть предусмотрен дополнительный фазовращатель.

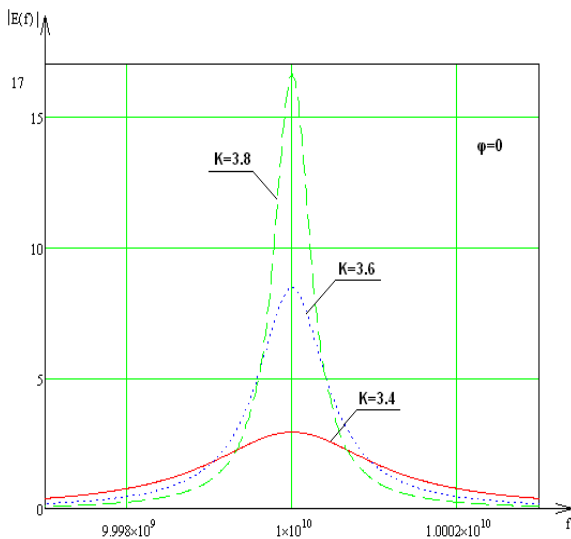


Рис.1. АЧХ АРБВ с нерезонансным усилителем
Fig.1. AFC ATWR with broadband amplifier

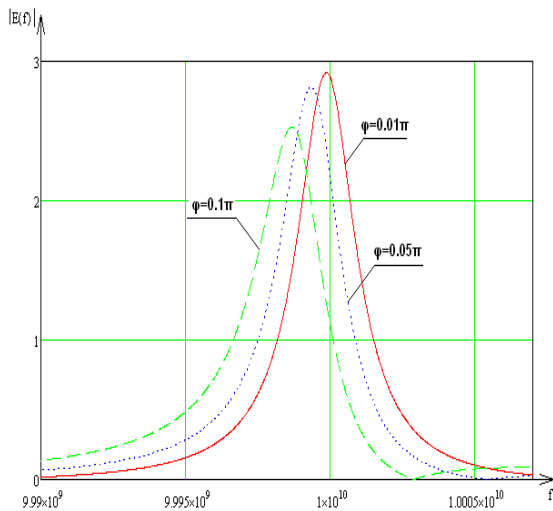


Рис.2. АЧХ АРБВ при разных $\varphi_{ус}$
Fig.1. AFC ATWR with different $\varphi_{ус}$

III. Заключение

Проведенные исследования доказывают возможность создания на основе АРБВ устройства, позволяющего компенсировать статические потери, вносимые в РИП исследуемым образцом или чувствительным элементом, при сохранении и увеличении чувствительности к изменениям измеряемых величин.

IV. Список литературы

- [1] Chen L.F., Ong C.K., Neo C.P. et al. Microwave Electronics. Measurements and Materials Characterization. John Wiley & Sons, Ltd., 2004. - 537p.
- [2] Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. т.1. М.: Высш. школа. 1970. – 440с.

- [3] Сафонов В.В. Микроволновые устройства с активными резонаторами. Дис. ... канд. техн. наук. Днепропетровск, 2007. – 186с.

COMPENSATORY PROPERTIES OF TRAVELING-WAVE RESONATORS WITH ACTIVE ELEMENTS

Bondarenko I.N., Tkachenko O.N.
Kharkov National University of Radioelektroniks
Kharkov, Lenin av., 14, 61166, Ukraine
Ph.: (057) 702-13-62, e-mail: mepu@kture.kharkov.ua

Abstract – Characteristics waveguide traveling-wave resonators are considered and analysed at inclusion in their ring circuit of such elements as resonant measuring converters with different brought losses, narrow-band and broadband amplifiers with different gain and bands of gain frequencies. Possibilities of indemnification of the losses brought by resonant converters are estimated, at preservation of their appreciable influence on AFC TWR with active elements.

I. Introduction

Changes of measured parametres links with changes of resonant frequency and quality of the resonator measuring converter (RMC). If the quality of the resonator is higher, especially high accuracy and sensitivity are reached at measurements.

RMC quality, especially in case of testing of objects with initially high losses, considerably decreases, that set to reduction of sensitivity and accuracy at measurement of respective alterations. Thus it is expedient to consider possibilities of compensation or decreasing of influence of the specified factors.

II. Main Part

It is offered to improve characteristics TWR by inclusion in it of an active element and creation on such basis so-called active TWR (ATWR).

At inclusion RMC and broadband amplifier in TWR circuit:

$$E(f) = \sum_{k=1}^n e^{-\alpha k l} (K)^k \left[\frac{4\beta_1\beta_2}{(1+\beta_1+\beta_2)^2} \right]^k \left[\frac{1}{\sqrt{1 + \left[\frac{2Q(f-f_0)}{f_0} \right]^2}} \right]^k \times \cos \left[\frac{2\pi k l}{\lambda_a(f)} + k \cdot \arctg \left[\frac{2Q(f-f_0)}{f_0} \right] + k \cdot \varphi_{\text{от}} \right],$$

Inclusion in chain TWR of not resonant broadband amplifier leads to growth of its equivalent quality and preservation of influence of changes of parametres RMC on equivalent parametres ATWR (fig. 1), however the strengthening factor cannot be big as in this case scheme ATWR turns to the oscillator. Additional phase shifts of a signal in the amplifier are set both to frequency displacement, and to reduction of equivalent quality (fig. 2). For indemnification of it in scheme ATWR the additional phase shifter should be provided.

III. Conclusion

The carried out researches prove possibility of creation on the basis of ATWR the devices, allowing to compensate the static losses brought in RMC investigated sample or a sensitive element, at preservation and sensitivity increase to changes of measured sizes.