

**РЕЗОНАНСНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ В СХЕМЕ  
РЕЗОНАТОРА БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ С АКТИВНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ**

Бондаренко И.Н., Васильев Ю.С., 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

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. 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.

**Введение.** Измерительные преобразователи на основе микроволновых резонаторов позволяют производить высокочувствительные измерения различных характеристик материалов и устройств, а также контроль технологических параметров при изготовлении электронных компонент [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. 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.

**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 не исследуются вопросы влияния на резонансную частоту и эквивалентную добротность АРБВ параметров кольцевой цепи и составных элементов, необходимых для ее функционирования.

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  $\alpha$  – 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;  $\lambda_a(f) = \frac{c}{f \sqrt{1 - (c/2af)^2}}$  – длина волны в волноводе;  $a$  – характерный размер волновода;  $c$  – скорость света.

При включении РИП в цепь РБВ:

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

где  $\beta_1, \beta_2$  – 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:

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

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 в большей степени зависят от характеристик усилителя и в меньшей степени от изменений частоты и добротности РИП.

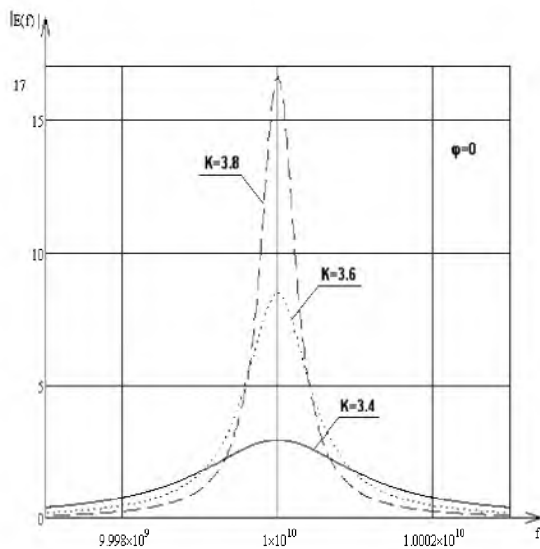


Рис.1. АЧХ АРБВ с нерезонансным усилителем

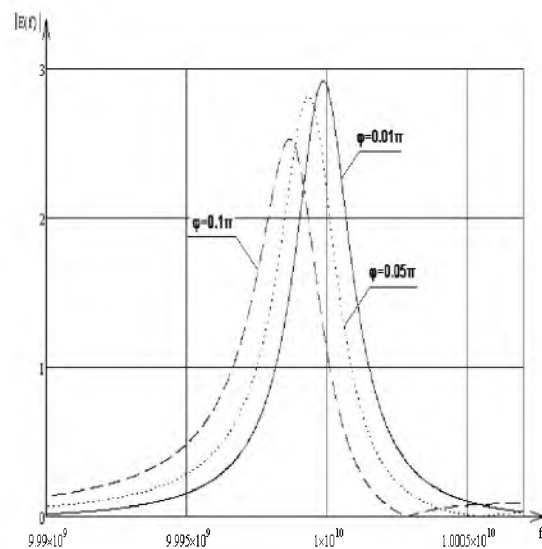


Рис.2. Зависимость АЧХ АРБВ от сдвига фазы сигнала в усилителе

Включение в цепь РБВ нерезонансного широкополосного усилителя приводит к росту его эквивалентной добротности и сохранению значительного влияния изменений параметров РИП на эквивалентные параметры АРБВ (рис.1). В тоже время 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 настраиваемый фазовращатель.

**Выводы.** 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 и контролируемых величин.

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.