

# ФАЗОВЫЕ СООТНОШЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПЕРЕСТРОЙКИ ПО ЧАСТОТЕ В ГЕНЕРАТОРЕ НА МСВ-ФИЛЬТРЕ

Губарев В. Ф., Рудый Ю. Б., Мякинников В. Ю.  
 ФГУП НПП «Исток», г. Фрязино, Московской обл., 141190, Россия  
 тел.: (495)465-86-96, e-mail: istok-npk-17@mail.ru

**Аннотация** — В работе представлены результаты исследования взаимосвязи элементов конструкции генератора на магнитоэлектрических волнах (МСВ) с его рабочими характеристиками. Приведена зависимость величины рабочей полосы генератора от длины линии в кольце обратной связи генератора. Показано, что рабочая полоса, перепад по фазе и крутизна фазовой характеристики области МСВ фильтра остаются практически постоянными при перестройке фильтра по частоте. Определены требования к фильтру на МСВ в цепи обратной связи генератора. Показано существенное влияние фазовых соотношений в цепи обратной связи на максимально возможную полосу перестройки генератора.

## I. Введение

Исследование требований к построению перестраиваемых генераторов с узкополосным фильтром на МСВ [1-4] в цепи обратной связи генератора, показало, что фазовые соотношения в цепи обратной связи существенно влияют на максимально возможную полосу перестройки генератора. Поэтому при разработке фильтра на МСВ для использования его в цепи обратной связи генератора, необходимо учесть условие максимального обеспечения возможного перепада по фазе в полосе пропускания фильтра. Так же при конструировании генератора необходимо создать минимально возможную по длине линию обратной связи.

## II. Основная часть

Рассматриваемая структурная схема МСВ генератора представлена на Рис.1.

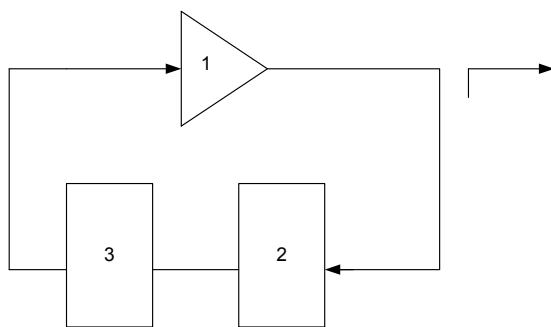


Рис. 1. Структурная схема МСВ – генератора  
 1 – усилитель, 2 – линия связи, 3 – МСВ – фильтр  
 (узкополосная линия задержки).

Fig. 1. Block diagram of MSW - oscillator  
 1 - amplifier, 2 – transmission line, 3 - MSW filter (narrow-band delay line)

Частота генерации  $f_{гр}$  определяется из условия баланса фаз:

$$\varphi_y(f) + \varphi_{лс}(f) + \varphi_{мсв}(f) = 2\pi n \quad (1)$$

где:  $\varphi_y(f)$  – сдвиг фазы в усилителе,  
 $\varphi_{лс}(f)$  – фазовый набег в линии связи,  
 $\varphi_{мсв}(f)$  – изменение фазы в фильтре на МСВ,  
 $n$  – номер моды.

На базе расчетных и экспериментальных данных сдвиг фазы в усилителе  $\varphi_y(f)$  может быть представлен в виде

$$\varphi_y(f) = \varphi_y(f_0) + 2\pi S_y(f - f_0) \quad (2)$$

где  $\varphi_y(f_0) = 2\pi l_{y0}$  сдвиг фазы на фиксированной частоте  $f_0$ , принимаемой, например, за начальную частоту перестройки МСВ – генератора,  
 $2\pi S_y$  – крутизна изменения фазы, выраженная в радианной форме.

Линия связи может представлять собой полосковую, микрополосковую, кабельную или какую либо еще линию, фазовый набег для которой можно записать в виде:

$$\varphi_{лс}(f) = \beta l = 2\pi l / \lambda_b = 2\pi (l \sqrt{\epsilon_{эфф}}) / \lambda = 2\pi (l \sqrt{\epsilon_{эфф}}) f / c = 2\pi (l \sqrt{\epsilon_{эфф}}) (f/f_0) f_0 / c = (f/f_0) 2\pi l / \lambda_{b0} \quad (3)$$

где  $l$  – длина линии связи,

$\beta = 2\pi / \lambda_b$  – фазовая постоянная,

$\lambda_b = l \sqrt{\epsilon_{эфф}}$  – длина волны в линии связи,

$\sqrt{\epsilon_{эфф}}$  – коэффициент укорочения длины волны в линии,

$c$  – скорость света,

$\lambda$  – длина волны в свободном пространстве,

$\lambda_{b0}$  – длина волны в линии на частоте  $f_0$ , принимаемой за начальную частоту отсчета.

Фазовые характеристики МСВ-фильтров измерялись на разных частотах, Рис.2.

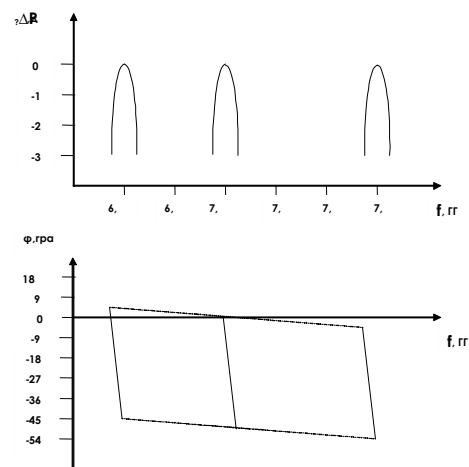


Рис. 2. Фазовые характеристики МСВ-фильтров измеренные на разных частотах.

Fig. 2. Phase characteristics of MSW - filters measured on different frequencies

Результаты измерения представлены на Рис.2, позволяют сделать следующие выводы:

1. Полоса фильтра, определяемая, например, по уровню – 3 дБ, практически не зависит от частоты и составляет 20...40 МГц.

2. Фазовая характеристика фильтра в полосе пропускания близка к линейной с перепадом, примерно, 500 град. ( $2\pi \times 1.4$ ). Т.е. выражение для фазы в полосе пропускания может быть записано в виде:

$$\varphi_{мсв} = (2\pi l_{эКВ} / \lambda_{\phi}) \Delta f \quad (4)$$

где  $l_{эКВ}$  – безразмерная электрическая длина, характеризующая перепад фазы в полосе пропускания,

$P_{\phi}$  – полоса фильтра,

$\Delta f$  – изменение частоты в полосе пропускания.

При перестройке фильтра по частоте (см. Рис. 2) изменение фазы на центральной частоте полосы пропускания соответствовало фазовому набегу на длине линии оправки, в которую был включен фильтр МСВ. Отсюда можно заключить, что полоса, перепад по фазе и крутизна фазовой характеристики области МСВ фильтра остаются практически постоянными при перестройке фильтра по частоте.

Частота генерации  $f_g$  будет определяться из условия баланса фаз, которое с учетом (1), (2), (3) и (4) запишется

$$\varphi_y(f_0) + 2\pi S y(f - f_0) + (f/f_0) 2\pi l/\lambda_{\text{в0}} + (2\pi l_{\text{эКВ}}/P_{\phi}) \Delta f = 2\pi n \quad (5)$$

Из-за больших габаритов МСВ фильтра длина  $l$  составляет, обычно, несколько длин волн  $\lambda_{\text{в0}}$ , поэтому  $l/\lambda_{\text{в0}} = k + \xi$ ,

где  $\xi \leq 1$  – дополнительная регулируемая длина, позволяющая выбрать начальную фазу МСВ фильтра при перестройке.

Выберем за начальную частоту генератора, с которой начинается перестройка,  $f_0$  и для нее определим такую  $\xi$  для которой фаза МСВ фильтра будет, например, равной

$$\varphi_{\text{МСВ}} |_{f_0} = 2\pi l_{\text{эКВ}} \quad (6)$$

Тогда выражение (5) имеет вид

$$l_{y0} + k + \xi + l_{\text{эКВ}} = n \quad (7)$$

откуда

$$\xi = n - k - l_{\text{эКВ}} - l_{y0} \quad (8)$$

Например, для используемого в генераторе усилителя на частоте  $f_0 = 8$  ГГц,  $l_{y0} = 0,2$ ,  $l_{\text{эКВ}} = 1,4$ , тогда  $\xi = -0,6$ .

Таким образом, выбрав  $\xi = -0,6$  (дополнительную длину линии связи) для частоты  $f_0$  мы установили фазу МСВ фильтра в точку  $\varphi_{\text{МСВ}} = 2\pi l_{\text{эКВ}}$ .

Теперь, при перестройке МСВ фильтра в сторону увеличения частоты, частота генерации будет определяться из выражения (5),

$$l_{y0} + S y f_0 \Delta f / f_0 + (\Delta f / f_0) (k + \xi) + k + \xi + l_{\text{эКВ}} [1 - (\Delta f / P_{\phi})] = n \quad (9)$$

где  $\Delta f = f_g - f_0$ ,  $\Delta f$  – показывает насколько частота генерации  $f_g$  смещается по фазовой характеристике от правой точки полосы при перестройке фильтра.

Частоту генерации можно определить из (9)

$$(\Delta f / f_0) = (n - k - \xi - l_{y0} - l_{\text{эКВ}}) / (k + \xi + S y f_0) + l_{\text{эКВ}} / (k + \xi + S y f_0) (\Delta f / P_{\phi}) \quad (10)$$

или с учетом (8)

$$(\Delta f / f_0) = [l_{\text{эКВ}} / (k + \xi + S y f_0)] (\Delta f / P_{\phi}) \quad (11)$$

Максимальная полоса перестройки  $\Delta f_{\text{гмакс}}$  генератора можно определить из условия  $\Delta f / P_{\phi} = 1$ , т.е. когда  $f_g$  смещается по фазовой характеристике фильтра на всю полосу от правой граничной точки до левой

$$\Delta f_{\text{гмакс}} / f_0 = l_{\text{эКВ}} / (k + \xi + S y f_0) \quad (12)$$

Для используемых в генераторе усилителей на частоте  $f_0 = 8$  ГГц,  $S y f_0 \approx 1,3$ .

Для разных длин линий связи по формуле (12) можно рассчитать максимально возможную полосу перестройки генератора, приведенную в табл.1.

#### IV. Заключение

В заключение можно определить следующие способы расширения полосы рабочих частот генератора:

1. Необходимо при разработке фильтра на МСВ обеспечивать максимально возможный перепад по фазе в полосе пропускания.

2. При конструировании генератора необходимо стремиться создать минимально возможную длину линии обратной связи.

3. При минимальной длине линии обратной связи можно уменьшить  $k$  за счет увеличения  $\lambda_{\text{в}}$ , т.е. за счет выбора линии с меньшим укорочением длины волны.

Таблица 1. Максимально возможные полосы перестройки генератора в зависимости от изменения длины связи.

Table 1. Maximum possible bands of re-tuning of oscillator versus bond length

k	2	3	4	5	6	7	9
$\Delta f_{\text{гмакс}} / f_0$	0,52	0,38	0,3	0,25	0,21	0,18	0,14
$\Delta f_{\text{гмакс}}$ , ГГц	4,16	3,04	2,4	2	1,68	1,45	1,15

#### V. Список литературы

- [1] Рудый Ю. Б., Губарев В. Ф., Галдецкий А. В. Влияние амплитудных характеристик элементов в цепи обратной связи на уровень фазовых шумов в генераторах на магнитостатических волнах // 16-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2006). Материалы конф. (Севастополь, 11—15 сент. 2006г.). Севастополь: Вебер, 2006. С. 138—139.
- [2] Дунаев Р. Н., Фетисов Ю. К. и др. Экспериментальное исследование фазовых шумов генераторов на магнитостатических волнах // Радиотехника и электроника, 1992 г., вып. 7, с. 1274 – 1280.
- [3] Сокольский А. С., Афанасьев А. И., Рудый Ю. Б. Исследование шумовых характеристик генераторов на МСВ // Электронная техника, Сер. 1, Электроника СВЧ, 1990, вып. 1(425), с. 67 – 69.
- [4] Паладий Н. В., Рудый Ю. Б., Яковлев С. В. Приборы на магнитостатических волнах: состояние и перспективы развития // Электронная техника Сер.1, СВЧ – техника, 1996 г., выпуск 1(467), с. 3 – 17

#### PHASE RELATIONS VERSUS FREQUENCY RE-TUNING IN OSCILLATOR ON BASIS OF MSW FILTER

Gubarev V. F., Rudy Yu. B., Myakinkov V. Yu.  
Federal State Unitary Enterprise "Research and Production Corporation "ISTOK" (FSUE "RPC" "ISTOK")  
2a Vokzalnaya str., Fryazino – 191190,  
Moscow Region, Russia  
phone: (495)465-86-96; e-mail: istok-npk-17@mail.ru

**Abstract** — The results of study of interrelation of structural elements of MSW oscillator with its performance are presented. The dependence of operating band versus the length of a line in a ring of a feedback of the oscillator is shown. It has been proved that the operating band, the phase drop and the slope of a phase characteristic in the area of MSW filter remain practically constant in the process of frequency re-tuning of the filter. The requirements of MSW filter in the feedback loop of the oscillator have been defined. The substantial influence of phase relationship in the feedback loop on maximum possible band of re-tuning of the oscillator has been submitted.