

## КРАТНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЧАСТОТЫ НА МИКРОПОЛОСКОВЫХ РЕЗОНАТОРАХ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ

К. т. н. Э. Н. Глушеченко

Научно-производственное предприятие «Сатурн»  
Украина, г. Киев  
gen-nto@ukr.net

*Сформулированы основные требования к структуре схемы умножителя частоты. Обоснована и на конкретном примере продемонстрирована возможность и способ реализации микрополоскового умножителя в пассивном режиме на базе направленного фильтра бегущей волны.*

*Ключевые слова: преобразователь, умножитель, микрополосковая линия, фильтр, ответвитель, резонатор.*

Кратные преобразователи (умножители) частоты реализуются в стабилизированных СВЧ-устройствах путем умножения частоты высокостабильных, но более низкочастотных устройств. В настоящее время наиболее применяемыми являются умножители с использованием в качестве активного нелинейного элемента полупроводниковых диодов или транзисторов. В данной работе рассмотрена возможность реализации пассивного умножения частоты за счет выделения необходимой частоты из спектра частот кольцевого резонатора бегущей волны.

Известно [1], что наиболее распространенной схемой умножителя является параллельная, при которой входная и выходная цепи устройства имеют настроенные (согласованные) на соответствующую резонансную частоту контура. Выделение из спектра необходимой гармоники частоты осуществляется в активном режиме на нелинейном элементе.

Для кратного преобразования СВЧ в пассивном режиме предлагается в качестве базового решения применять микрополосковый направленный фильтр бегущей волны (МНФБВ) [2], структурная схема которого представлена на рис. 1.

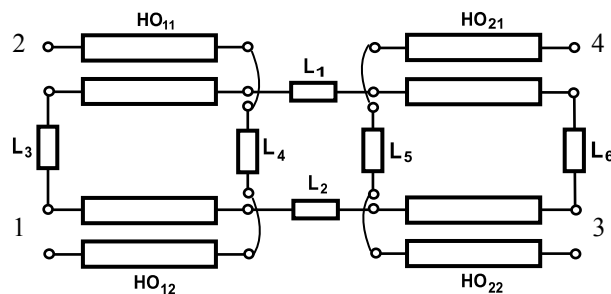


Рис. 1. Структурная схема микрополоскового направленного фильтра бегущей волны

На рис. 1 видно, что МНФБВ имеет только один резонансный элемент — резонатор в виде замкнутого кольца, по которому распространяется СВЧ-сигнал в режиме бегущей волны. Известно [2], что МНФБВ образован двумя модифицированными направленными ответвителями  $HO_1$  и  $HO_2$  типа «тандем» [3], которые объединены отрезками микрополосковой линии (МПЛ) в замкнутый кольцевой резонатор. При этом длина кольцевого резонатора бегущей волны кратна  $\lambda_1$ , но не менее  $2\lambda_1$ , где  $\lambda_1$  — длина волны на входной частоте  $f_1$ .

Поскольку МНФБВ функционирует в режиме бегущей волны, то входная цепь (1 — 2) и выходная цепь (3 — 4) такого фильтра безусловно (по определению) согласованы с кольцевым резонатором, в котором могут распространяться электромагнитные волны со спектром возможных частот:  $f_0 = f_1/2$ ,  $f_1$ ,  $f_2 = 2f_1$ ,  $f_3 = 3f_1$  и т. д. При этом реализовать селекцию сигнала с частотой  $f_0$  в заданной структуре МНФБВ (при фиксированной геометрии ответвителя  $HO_1$ ) невозможно. А для выделения частот  $f_1$ ,  $f_2$  и  $f_3$  при неизменной длине кольцевого резонатора достаточно изменить резонансную

частоту выходной цепи, что требует изменения электрической (и геометрической) длины направленного ответвителя  $HO_2$ . Следует отметить, что все элементы схемы рис. 1 — как отрезки МПЛ  $L_1 \dots L_6$ , так и ответвители  $HO_{11}$ ,  $HO_{12}$ ,  $HO_{21}$  и  $HO_{22}$  — имеют электрическую длину  $\lambda_1/4$ .

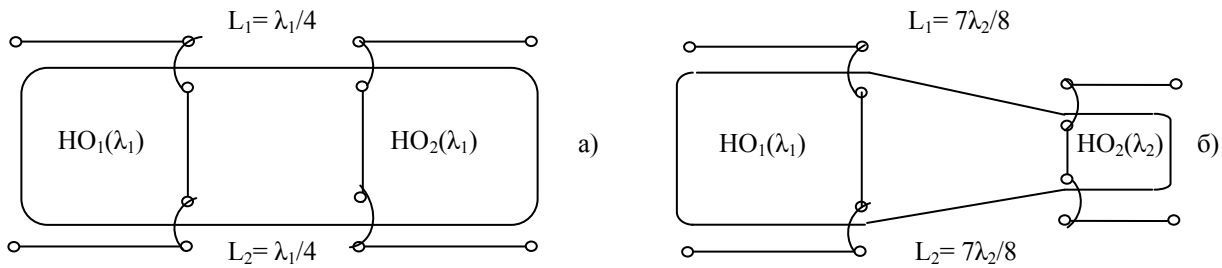


Рис. 2. Иллюстрация преобразования МНФБВ (а) в удвоитель частоты (б)

Возможность преобразования МНФБВ в умножитель проще всего проиллюстрировать на примере удвоителя (умножителя на 2) частоты. На рис. 2, а приведена упрощенная структурная схема МНФБВ с входной и выходной частотой  $f_1$ , то есть все его составные элементы имеют длину  $\lambda_1/4$ . Для выделения на выходе устройства (рис. 2, б) частоты  $f_2$  (соответствует длине волны  $\lambda_2$ ) необходимо, чтобы электрическая длина элементов выходной цепи была равна  $\lambda_2/4$ . А неизменная длина резонансного кольца составляет  $2\lambda_1 = 8\lambda_1/4 = 16\lambda_2/4$ . Следует отметить, что входная и выходная цепи такого устройства хорошо согласованы с кольцевым резонатором, что обеспечивает соответствие двум из трех условий реализации схемы умножителя.

Электрическая длина выходной цепи удвоителя равна  $3\lambda_2/4$ , а входной —  $3\lambda_1/4$ . Следовательно, длина отрезков МПЛ  $L_1$  и  $L_2$ , образующих с ответвителями  $HO_1$  (на частоте  $f_1$ ) и  $HO_2$  (на частоте  $f_2$ ) резонансное кольцо, будет следующей:  $16\lambda_2/4 - 3\lambda_1/4 - 3\lambda_2/4 = 13\lambda_2/4 - 6\lambda_1/4 = (7\lambda_1/4)/2 = 7\lambda_1/8$ . А за счет электромагнитного взаимодействия кольцевого резонатора и ответвителя типа «тандем»  $HO_2(\lambda_2)$  обеспечивается соответствие и третьего условия реализации схемы удвоителя СВЧ-частоты. При этом уровень сигнала с частотой  $f_2$  на выходе удвоителя ниже уровня входного сигнала с частотой  $f_1$  примерно на 13 дБ, что является характерным показателем для удвоителей СВЧ-частоты.

Описанная методика может быть применена и в случае умножения частоты с показателем больше 2, но при этом сигнала на выходе устройства будет существенно ниже уровня входного сигнала. Поэтому в подобных случаях предпочтительно реализовывать пассивное СВЧ умножение на базе не однорезонаторного, а многорезонаторного МНФБВ [4]. Например, СВЧ-четверитель можно реализовать на базе трехрезонаторного МНФБВ. На первом кольцевом резонаторе производится удвоение частоты, на втором резонаторе полученный сигнал можно усилить [5] до необходимого уровня, а на третьем резонаторе снова произвести удвоение. В результате получим высокостабильное учетверение входной (начальной) частоты.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Гассанов Л.Г., Липатов А.А., Марков В.В., Могильченко Н.А. Твердотельные устройства СВЧ в технике связи.— Москва: Радио и связь, 1988.
2. Shelton J.P. et al. Tandem couplers and phase shifters // *Microwaves*.— 1965.— P. 14—19.
3. А.с. СССР 1406668. Микрополосковый направленный фильтр бегущей волны / Э.Н.Глушеченко.— Бюл. № 24, 1988.
4. Патент України на корисну модель UA 105218. Мікросмужковий напрямлений фільтр бігучої хвилі / Е.М.Глушечено.— 2016.— Бюл. № 5.
5. Патент України на корисну модель UA 40850. Мікросмуговий напрямлений фільтр бігучої хвилі / Е.М.Глушечено.— 2009.— Бюл. № 8.

Е. N. Glushechenko

#### Multiple frequency conversion on microstrip traveling wave resonators

*The paper presents the main requirements to the structure of the frequency multiplier circuit. The possibility and method of implementing a microstrip multiplier in passive mode based on a directional traveling wave filter is demonstrated on a specific example.*

*Keywords: converter, multiplier, microstrip, filter, coupler, resonator.*