

УДК 621.374.4:621.3.029.6

## МОДУЛЬ УМНОЖИТЕЛЯ ЧАСТОТЫ В ДИАПАЗОНЕ 18-40 ГГц

Кийко В.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь

Ланин В.Л. – д-р техн. наук, профессор

**Аннотация.** Данная работа посвящена разработке модуля умножителя частоты для диапазона 18–40 ГГц, используемого в современных радиотехнических системах для получения стабильных сигналов миллиметрового диапазона. Основная проблема, решаемая в устройстве – подавление паразитных гармоник, возникающих из-за нелинейности активных элементов, для обеспечения спектральной чистоты выходного сигнала. Для эффективной фильтрации во всем рабочем диапазоне предлагается архитектура с банком перекрывающихся полосовых фильтров, настроенных на выделение второй гармоники и подавление нежелательных частотных составляющих.

**Ключевые слова:** умножитель частоты, миллиметровый диапазон, гармоники, полосовой фильтр, спектральная чистота.

**Введение.** Развитие современных радиотехнических систем требует генерации и обработки сигналов в миллиметровом диапазоне волн. Такие системы применяются в радиолокации, спутниковой связи, телекоммуникациях пятого поколения и измерительной технике. Одним из важных элементов подобных систем являются устройства умножения частоты, позволяющие получать сигналы более высокого диапазона из стабильных источников более низкой частоты [1].

Умножители частоты широко используются при построении гетеродинов, синтезаторов частоты и передающих трактов СВЧ-устройств. Одним из наиболее распространённых типов является умножитель частоты, который формирует сигнал с удвоенной частотой входного сигнала.

Однако эффективность работы таких устройств существенно зависит от режимов управления активными элементами, параметров согласования и уровня входной мощности. Поэтому задача оптимизации параметров управления умножителем частоты является актуальной.

### Структура умножителя частоты и его основные параметры

Умножитель частоты основан на использовании нелинейных свойств активных или пассивных элементов. При воздействии гармонического сигнала [2]:

$$V_{in} = V_0 \cos(\omega t), \quad (1)$$

где  $V_{in}$  – входное напряжение,  $V_0$  – амплитуда сигнала,  $\omega$  – круговая частота,  $t$  – время.  
на нелинейный элемент возникает ток, содержащий высшие гармоники:

$$I(t) = a_1 \cos(\omega t) + a_2 \cos(2\omega t) + a_3 \cos(3\omega t) + \dots, \quad (2)$$

где  $I(t)$  – ток через нелинейный элемент,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  – амплитуды гармоник,  $\omega$  – круговая частота входного сигнала,  $t$  – время.

Полезным сигналом в данном случае является вторая гармоника:

$$f_{out} = 2f_{in}, \quad (3)$$

где  $f_{out}$  – частота выходного сигнала,  $f_{in}$  – частота входного сигнала.

Структурная схема умножителя частоты приведена на рисунке 1.

Одной из основных проблем умножителей частоты является появление паразитных гармоник, возникающих вследствие нелинейных свойств активных элементов. Помимо полезной второй гармоники  $2f_{in}$ , в спектре выходного сигнала присутствуют компоненты с частотами  $3f_{in}$ ,  $4f_{in}$  и выше. Наличие таких составляющих ухудшает спектральную чистоту сигнала и может приводить к помехам в соседних частотных каналах.

Для подавления нежелательных гармоник в умножителе используется банк полосовых фильтров, настроенных на выделение полезной гармоники и подавление остальных спектральных составляющих.

На рисунке 2 представлена структурная схема банка полосовых фильтров, включённых в тракт выходного сигнала умножителя частоты.

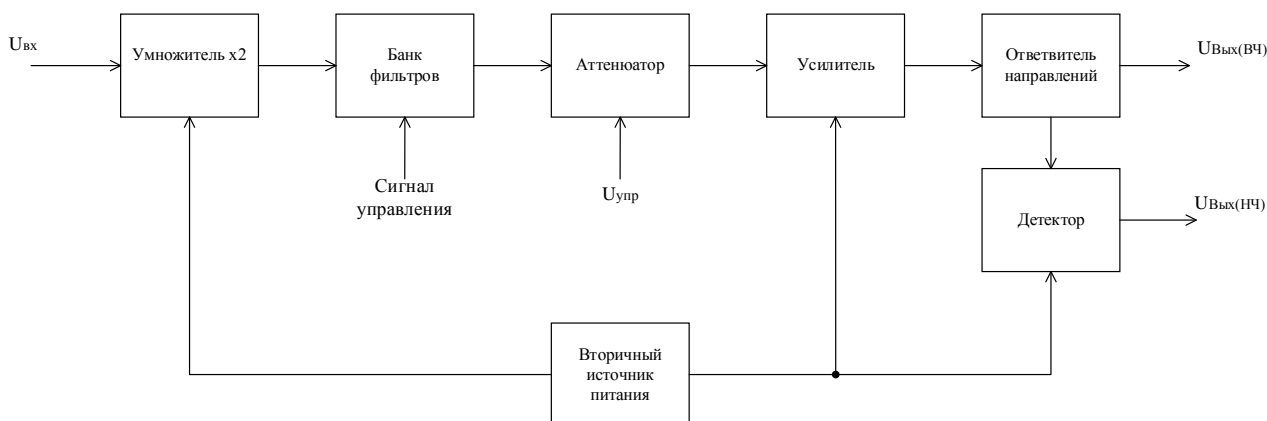


Рисунок 1 – Структурная схема умножителя частоты

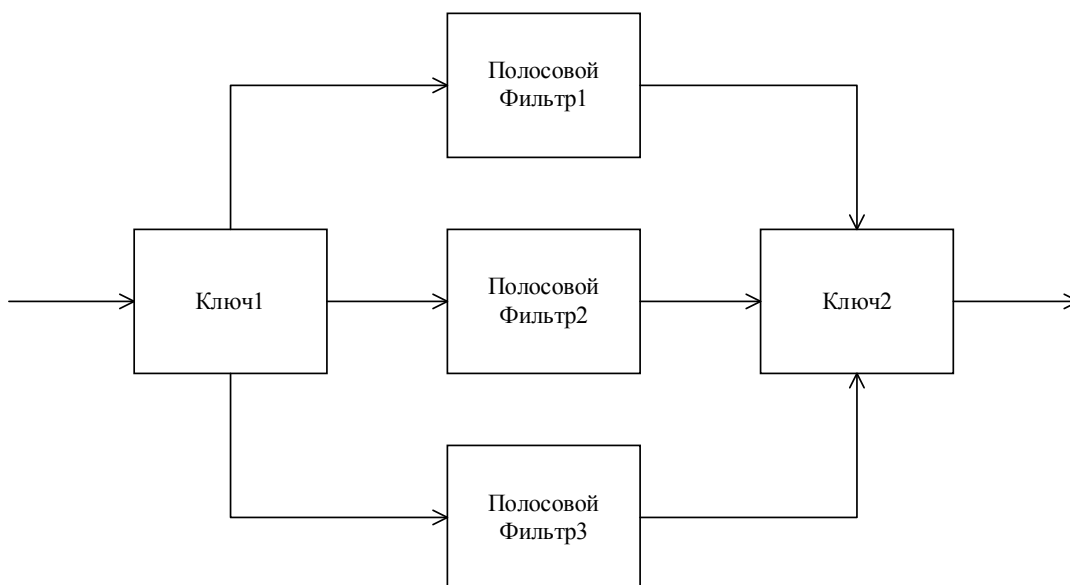


Рисунок 2 – Банк полосовых фильтров

Банк фильтров представляет собой набор полосовых, включённых в тракт выходного сигнала умножителя частоты. Основной задачей этих фильтров является выделение сигнала с частотой  $f_{out} = 2f_{in}$  в диапазоне 18-40" ГГц".

При этом фильтры обеспечивают подавление следующих гармоник:

- входной частоты  $f_{in}$ ;
- третьей гармоники  $3f_{in}$ ;
- четвёртой и более высоких гармоник.

Таким образом, полезная гармоника проходит через фильтр практически без ослабления, тогда как паразитные составляющие значительно подавляются.

Использование нескольких фильтров позволяет повысить избирательность и уменьшить уровень паразитных сигналов на выходе устройства.

При проектировании банка фильтров необходимо учитывать следующие параметры:

- коэффициент передачи в полосе пропускания;
- уровень подавления вне полосы;
- коэффициент отражения;
- ширину полосы пропускания [3].

Эффективная фильтрация гармоник затруднена из-за широкополосной природы умножителя. Например, при входном сигнале с частотой 10 ГГц генерируются гармоники на частотах 20, 30, 40 и 50 ГГц. Для чистого выделения желаемой второй гармоники на частоте 20 ГГц полосовой фильтр должен резко подавлять сигнал на частоте 30 ГГц (третья гармоника), пропускавая при этом сигнал на частоте 20 ГГц. Но если выходной сигнал смещается в сторону частот 26+ ГГц, тот же фильтр становится неэффективным.

Идеальная архитектура использует перекрывающиеся полосовые фильтры с полосой пропускания около 33%, например: 18 – 24 ГГц; 24 – 32 ГГц; 32 – 40 ГГц.

Такая конфигурация позволяет лучше контролировать подавление гармоник, особенно на краях полосы пропускания. Дополнительная фильтрация поможет полностью подавить основную и третью гармоники во всем диапазоне выходного сигнала.

#### Список литературы

1. Jeon, Y. *Front-End Module of 18–40 GHz Ultra-Wideband Receiver for Electronic Warfare System* / Y. Jeon [et al.] // *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*. – 2018. – Vol. 18, No. 3. – P. 188-198.
2. Фомин, Н. Н. *Радиотехнические устройства СВЧ на синхронизированных генераторах* / Н. Н. Фомин, В. С. Андреев, Э. С. Воробейчиков ; под ред. Н. Н. Фомина. – Москва : Радио и связь, 1991. – 192 с.
3. Клименко, Д. В. *Особенности разработки банка фильтров сантиметрового диапазона на основе GaAs pHEMT-технологии* / Д. В. Клименко, А. Б. Никитин, А. А. Строганов, И. А. Цикин // *Информатика, телекоммуникации и управление*. – 2023. – Т. 16, № 3. – С. 7-17.

UDC 621.374.4:621.3.029.6

## MODULE OF FREQUENCY MULTIPLIER IN THE RANGE OF 18-40 GHZ

*Kiyko V.V.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Scientific adviser: Lanin V.L. – Dr. Tech. Sciences, prof.*

**Annotation** This work is devoted to the development of a frequency multiplier module for the 18–40 GHz range, used in modern radio systems to obtain stable millimeter-wave signals. The main problem solved in the device is the suppression of spurious harmonics arising from the nonlinearity of active elements to ensure the spectral purity of the output signal. For effective filtering over the entire operating range, an architecture with a bank of overlapping bandpass filters tuned to extract the second harmonic and suppress unwanted frequency components is proposed.

**Keywords.** frequency multiplier, millimeter-wave range, harmonics, bandpass filter, spectral purity.