

# QPSK-модулятор спутника “SATUM” на переключаемых микрополосковых линиях

Николай СЕКРИЕРУ, Герман СОРОКИН

Технический Университет Молдовы

ger\_sor@mail.ru

**Abstract:** This paper shows the use of microstrip lines for designing QPSK modulator applying quadrature hybrid (Branchline) coupler, Wilkinson divider, Rat Race coupler and HEMP switches.

**Аннотация:** В данной работе рассмотрены этапы проектирования 5,8 ГГц QPSK-модулятора на основе переключаемых микрополосковых линий. Приведены расчеты составных компонентов и получена структура, готовая к имплементированию высокочастотного модулятора.

**Ключевые слова:** QPSK модулятор, микрополосковая линия, делитель мощности, гибридный ответвитель, НЕМТ-транзистор.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время широкое распространение в области передачи цифровой информации получила модуляция сдвигом фазы. Среди основных типов фазовой модуляции можно выделить бинарную (BPSK) и квадратурную (QPSK) фазовые модуляции.

Следует отметить также наметившуюся в последнее время тенденцию широкого использования новых частотных (С-, Х-, W-) диапазонов. Это потребовало нового подхода к проектированию передатчиков и приемников, работающих в этих диапазонах. Традиционный подход построения передатчиков и приемников основывается на супергетеродинном методе, который использует относительно низкую промежуточную частоту и перенос спектра сигнала в более высокочастотную область с помощью повышающего гетеродина. Такой подход, как правило, приводит к увеличению сложности и стоимости разрабатываемых изделий.

Последние достижения в технологии изготовления высокочастотных транзисторов (НЕМТ-транзисторы), высокочастотных материалов для печатных плат позволили перейти к построению передатчиков с прямым методом модуляции несущей (direct carrier modulation) и гомодинным методом приема [1-4].

В условиях массогабаритных ограничений изготовления нано-спутника возникает задача разработки технических средств, которые позволили бы решить задачу построения недорогих, компактных модуляторов фазоманипулированных сигналов для высокочастотного передатчика университетского спутника «SATUM». Передатчик предназначен для передачи информации от спутниковой видеокамеры в реальном масштабе времени со скоростью 100 Мб/с. на частоте 5,8 ГГц.

## 2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В данной работе предлагается разработать компактный QPSK-модулятор на основе переключаемых микрополосковых линий, так как

разработка новых высокочастотных материалов с малыми диэлектрическими потерями позволили по-новому подойти к проектированию таких модуляторов.

Как известно, сигнал с квадратурной фазовой модуляцией может быть получен с помощью суммирования сигналов с бинарной фазовой модуляцией, фазы несущих колебаний которых имеют фазовый сдвиг в  $90^\circ$ . Математически эти четыре фазовых состояния могут быть записаны в следующем виде:

$$U_{\text{QPSK}} = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} \cdot \cos\left\{\left(n-1\right)\frac{\pi}{2}\right\} \cdot \cos(2\pi \cdot f_c \cdot t) - \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} \cdot \sin\left\{\left(n-1\right)\frac{\pi}{2}\right\} \cdot \cos(2\pi \cdot f_c \cdot t), (1.1)$$

где  $E_s$  – энергия сигнала;

$T_s$  – длительность исходного сигнала;

$f_c$  – частота несущей;

$n = 1, 2, 3, 4$ .

Четыре фазы выходного сигнала, в виде сигнального созвездия QPSK-сигнала, могут быть получены с помощью управляемых микрополосковых фазосдвигающих структур. В основу построения QPSK-модулятора предлагается включить следующие микрополосковые устройства: кольцевой делитель мощности (Wilkinson Divider), шлейфовый мост (Branch-line Coupler) и гибридное кольцо (Rat Race Coupler).

Кольцевой делитель (рис.1.1) обладает следующим свойством: от не дает никакого фазового сдвига между сигналами выходных портов.

Значения волнового сопротивления кольца делителя с равным делением мощности входного сигнала  $Z_1 = \sqrt{2} \cdot Z_0$ , где  $Z_0 = 50$  Ом волновое сопротивление входной и выходной микрополосковой линии. Развязывающее сопротивление  $R = 2 \cdot Z_0 = 100$  Ом, выполняется в виде поглощающей пленки.

Длина полукольца  $l = \lambda/4 \cdot \sqrt{\epsilon_3}$ , где  $\lambda$  – длина волны подводимых колебаний,  $\epsilon_3$  – эффективная диэлектрическая проницаемость материала подложки.

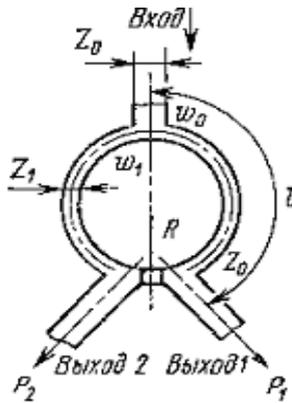
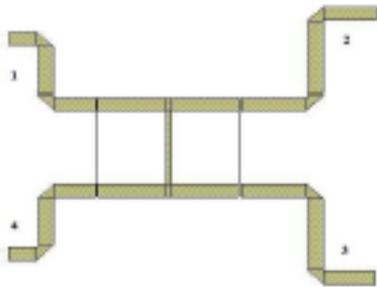


Рис.1.1. Кольцевой делитель

Длина полукольца  $l = \lambda/4 \cdot \sqrt{\epsilon_3}$ , где  $\lambda$  - длина волны подводимых колебаний,  $\epsilon_3$  - эффективная диэлектрическая проницаемость материала подложки.

Шлейфовый мост (Branch-line Coupler) (рис.1.2), известный как гибридный ответвитель (hybrid coupler) используется также для разделения мощности входных колебаний.



1.2. Шлейфовый мост

В отличие от делителя Вилконсона, он является четырехпортовой микрополосковой структурой и, что не менее важно, обеспечивает фазовый сдвиг между сигналами выходных портов (2,3) равный  $90^\circ$ .

Гибридное кольцо (Rat Race Coupler) (рис.1.3) также является микрополосковым ответвителем мощности входного сигнала, только один из его портов (4) нагружен на сопротивление равное 50 Ом.

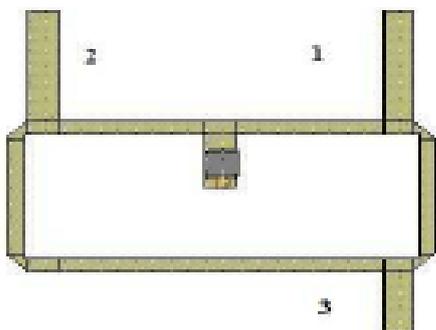


Рис.1.3. Гибридное кольцо

Другой отличительной чертой данной схемы является то, что сигнал на выходе (3) будет иметь фазовый сдвиг равный  $180^\circ$ , в зависимости от того, на какой вход (1 или 2) подается входной сигнал.

Таким образом, используя эти три микрополосковые структуры и переключая с помощью ключей соответствующие входы и выходы

можно получить компактный, простой в управлении квадратурный фазовый модулятор (рис.1.4).

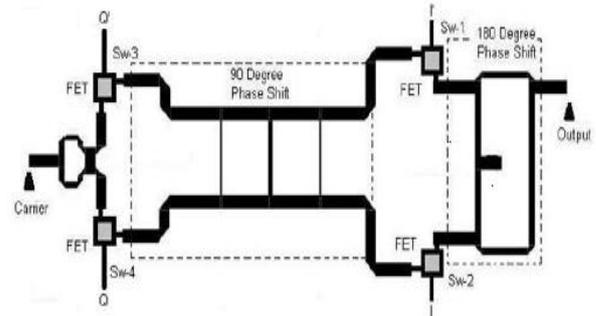


Рис.1.4. Квадратурный фазовый модулятор

Очевидно, к ключевым схемам должны предъявляться определенные требования: быстродействие, малые потери во включенном состоянии и большое сопротивление в выключенном состоянии, малые коэффициенты отражения. Рассмотрим поведение НЕМТ-транзистора в режиме СВЧ ключа. На рис.1.5 показано включение НЕМТ-транзистора в разрыв микрополосковой линии.

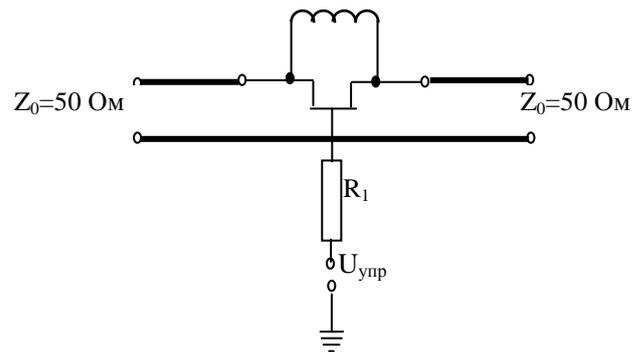


Рис.1.5. Схема включения НЕМТ-транзистора в микрополосковую линию

Параллельно истоку-стоку включено дополнительная индуктивная цепочка L. В режиме открытого канала (ключ замкнут) эквивалентная схема замещения ключа будет иметь вид (рис.1.6).

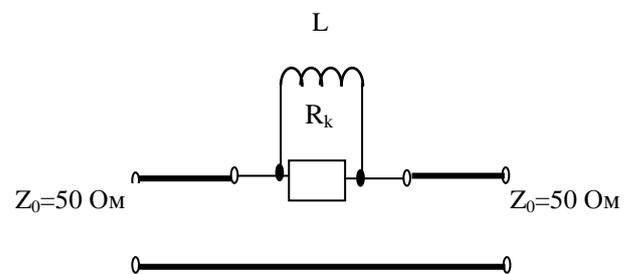


Рис.1.6. Эквивалентная схема ключа в замкнутом состоянии

Учитывая, что сопротивление открытых НЕМТ-ключей мало, а  $\omega L \gg R_k$ , где  $R_k$  сопротивление НЕМТ-

ключа в замкнутом состоянии (транзистор открыт), то током через индуктивную цепочку можно пренебречь. Коэффициент отражения при включении ключа в микрополосковую линию равен:

$$\tilde{A} = \frac{Z_n - Z_0}{Z_n + Z_0}, \quad (1.2)$$

где  $Z_0 = 50$  Ом, волновое сопротивление микрополосковой линии;

$Z_n = R_k + Z_0$ , сопротивление нагрузки.

При  $Z_0 = 50$  Ом и  $R_k = 5$  Ом, коэффициент отражения равен:

$$\Gamma = \frac{R_k}{R_k + 2 \cdot Z_0} = 0,048.$$

Коэффициент передачи цепочки микрополосковая линия, ключ, нагрузка равен:

$$T = |1 + \Gamma| \frac{Z_0}{Z_0 + R_k} = \frac{1}{1 + \frac{R_k}{2 \cdot Z_0}}.$$

При  $Z_0 = 50$  Ом и  $R_k = 5$  Ом коэффициент передачи равен:

$$T, \text{dB} = 20 \lg T = 20 \lg(1/1,05) = -0,4 \text{ dB}.$$

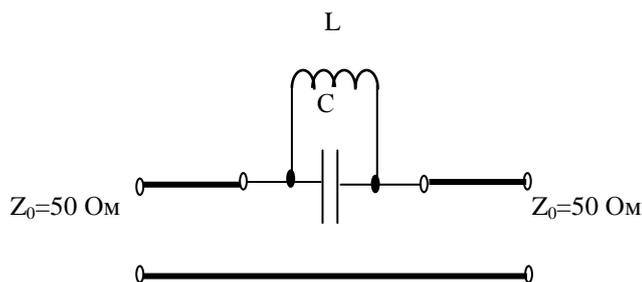


Рис.1.7. Эквивалентная схема ключа в разомкнутом состоянии

Таким образом, в режиме открытого канала НЕМТ-ключ пропускает СВЧ колебания с малыми потерями в широкой полосе частот.

В режиме закрытого канала (НЕМТ-ключ разомкнут) (рис.1.7), емкость «исток-сток» и внешняя индуктивность  $L$  образует параллельный колебательный контур, который в окрестности резонансной частоты имеет большое сопротивление и

обеспечивает хорошую развязку между входом и выходом.

Изображенную на рис.1.4. схему QPSK модулятора можно условно разделить на три части, входы и выходы которых переключаются с помощью MESFET-ключей SW1...SW4, например, CFY25 фирмы Siemens. Эти ключи управляются двоичными последовательностями, поступающими от процессора данных, формируя на выходе соответствующее фазовое состояние несущей. При подаче логической единицы на затворы ключей, что соответствует напряжению равному нулю, ключи находятся в замкнутом состоянии. При подаче логического нуля, что соответствует напряжению на затворе равному -1,2 В, ключи находятся в разомкнутом состоянии.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный QPSR модулятор достаточно просто моделируется в среде «Microwave Office», обеспечивает низкие вносимые потери, малые габаритные размеры, обладает малой стоимостью, так как реализуется на основе технологии односторонних печатных плат.

### 4. БИБЛИОГРАФИЯ

1. Н.Tanaka, Y.Sasaki, T.Hashimoto, Y.Yagi and Y.Ishikawa. Miniaturized 90 degree hybrid coupler using high dielectric substrate for QPSK modulator. IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig, pp.793-796, 1996.
2. D.P.Andrews, C.S.Aitchison. Wide-band lumped element quadrature 3-dB couplers in microstrip. IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol.48, pp.2424-2431, 2000.
3. Kimberly W.Eccleston, Sebastian H.M.Oug. Compact planar Microstripline Branch-line and Rat-Race Couplers. IEEE Microwave Theory Tech., vol.51, pp.2119-22124, 2003.
4. T.Eireiner, T.Muller. Six-port receiver for mm-wave – concept, evaluation and implementation.
5. Прикладная СВЧ электроника. Казань. КГТУ им. А.Н.Туполева, 2002.
6. Э.Ред. Справочное пособие по высокочастотной схемотехнике/ Э.Ред. – М.: Мир, 1990.