

РАСЧЕТ КОЛЬЦЕВОГО БАЛАНСНОГО МОДУЛЯТОРА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТОКОВ ДИОДОВ

М.С. Воробьев

Сделан анализ спектральных составляющих токов диодов в кольцевом балансном модуляторе. Получены основные показатели для токов и напряжений для модулирующего сигнала, генератора несущей и нагрузки.

Ключевые слова: радиосигнал, балансная модуляция, спектр сигнала.

Кольцевой балансный модулятор (КБМ) широко используется для получения амплитудной модуляции с подавленной несущей. Однако в учебной литературе отсутствует четкая методика расчета этого устройства. Например, в [1] принимается ключевой режим работы диодов, что является слишком грубым приближением. В [2] учитывается форма токов диодов в виде косинусоидальных импульсов, что позволяет сделать расчет точнее.

Однако предложенная методика для расчета энергетических параметров КБМ недостаточно обоснована. В данном докладе предлагается более наглядный способ расчета основных параметров КБМ.

Практическая схема КБМ представлена на рис. 1. Здесь генератор G1 является источником модулирующего сигнала, несущая формируется генератором G2, модулированный радиосигнал подается к потребителю Rп. Трансформатор T1 формирует два одинаковые по амплитуде модулирующие сигналы, а трансформатор T3 суммирует токи диодов VD1–VD4. Кроме того, трансформаторы T1–T3, обеспечивают согласование сопротивления соответствующих источников и потребителя. Конденсаторы C1 и C2 обеспечивают прохождение высокочастотных токов через низкочастотный трансформатор T1. Вопросы согласования в докладе не рассматриваются, поэтому в дальнейшем используется эквивалентная схема КБМ, показанная на рис. 2.

При анализе схемы будем считать модулирующий сигнал гармоническим: $u_{\Omega}(t) = U_{\Omega} \cos(\Omega t)$. Колебания несущей запишем в форме $u_{\omega}(t) = U_{\omega} \cos(\omega t)$. Как правило, выполняется условие $U_{\omega} \gg U_{\Omega}$. Диоды работают в режиме большого сигнала, поэтому реальные вольт–амперные характеристики целесообразно заменить на кусочно-линейную аппроксимацию с напряжением отсечки $E_{отс}$ и средней крутизной активного режима S. Поскольку генератор несущей включен в диагональ блансной схемы, то сопротивление нагрузки схемы не влияет на прохождение токов частоты ω . С другой стороны, высокочастотный трансформатор T3, имеет малое сопротивление для модулирующего сигнала.

Тогда, согласно эквивалентной схеме на диодах будут присутствовать следующие напряжения:

$$\begin{aligned} u_{д1}(t) &= u_{\Omega}(t) + u_{\omega}(t); \\ u_{д2}(t) &= -u_{\Omega}(t) + u_{\omega}(t); \\ u_{д3}(t) &= -u_{\Omega}(t) - u_{\omega}(t); \\ u_{д4}(t) &= u_{\Omega}(t) - u_{\omega}(t). \end{aligned}$$

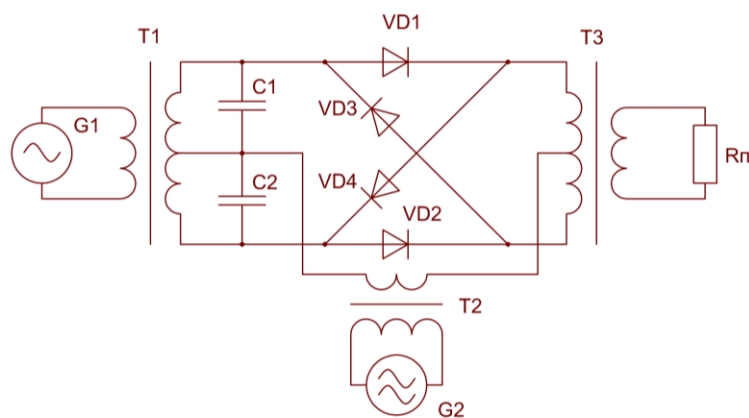


Рис.1. Схема кольцевого балансного модулятора

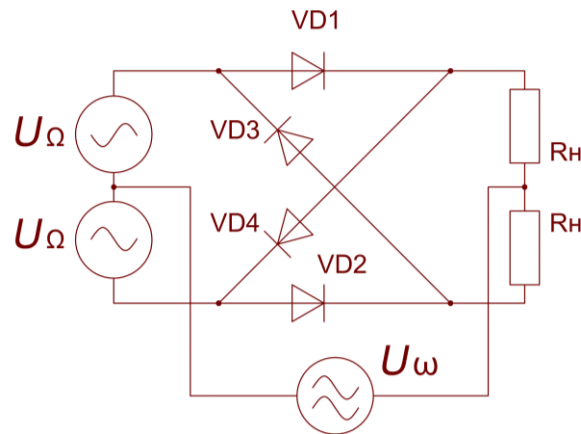


Рис. 2. Эквивалентная схема КБМ

При превышении напряжения отсечки $E_{отс}$ через диод начинает протекать ток:

$$i_d = \frac{U_d - E_{отс}}{\frac{1}{S} + \frac{R_H}{2}}.$$

На рис. 3 показан результат моделирования протекающих через диоды токов для условных параметров: $u_\omega = 1.36$ В, $u_\Omega = 0.36$ В, $S = 0.2$ А/В, $\Omega = 2\pi$ (1 Гц), $\omega = 20\pi$ (10 Гц). Токи имеют форму очень близкую к косинусоидальным импульсам с модулированной амплитудой. На рис. 4 показаны графики спектров этих токов.

Анализ спектров показывает, что можно сделать следующие выводы. Импульсы можно считать косинусоидальными с углом отсечки:

$$\theta = \arccos\left(\frac{E_{отс}}{U_\omega}\right).$$

Амплитуда импульсов в режиме молчания:

$$I_{\max M} = \frac{U_\omega - E_{отс}}{\frac{1}{S} + \frac{R_H}{2}} S.$$

Амплитуды гармоник модулированного сигнала достаточно точно получаются из формулы:

$$I_n(\theta) = I_{\max M} \alpha_n(\theta),$$

где $\alpha_1(\theta)$ – α -функции Берга.

Боковые составляющие получаются как результат амплитудной модуляции:

$$I_6 = I_1 m/2, \quad I_m = I_0 m,$$

где $m = U_\omega / (U_\omega - E_{отс})$ – коэффициент модуляции.

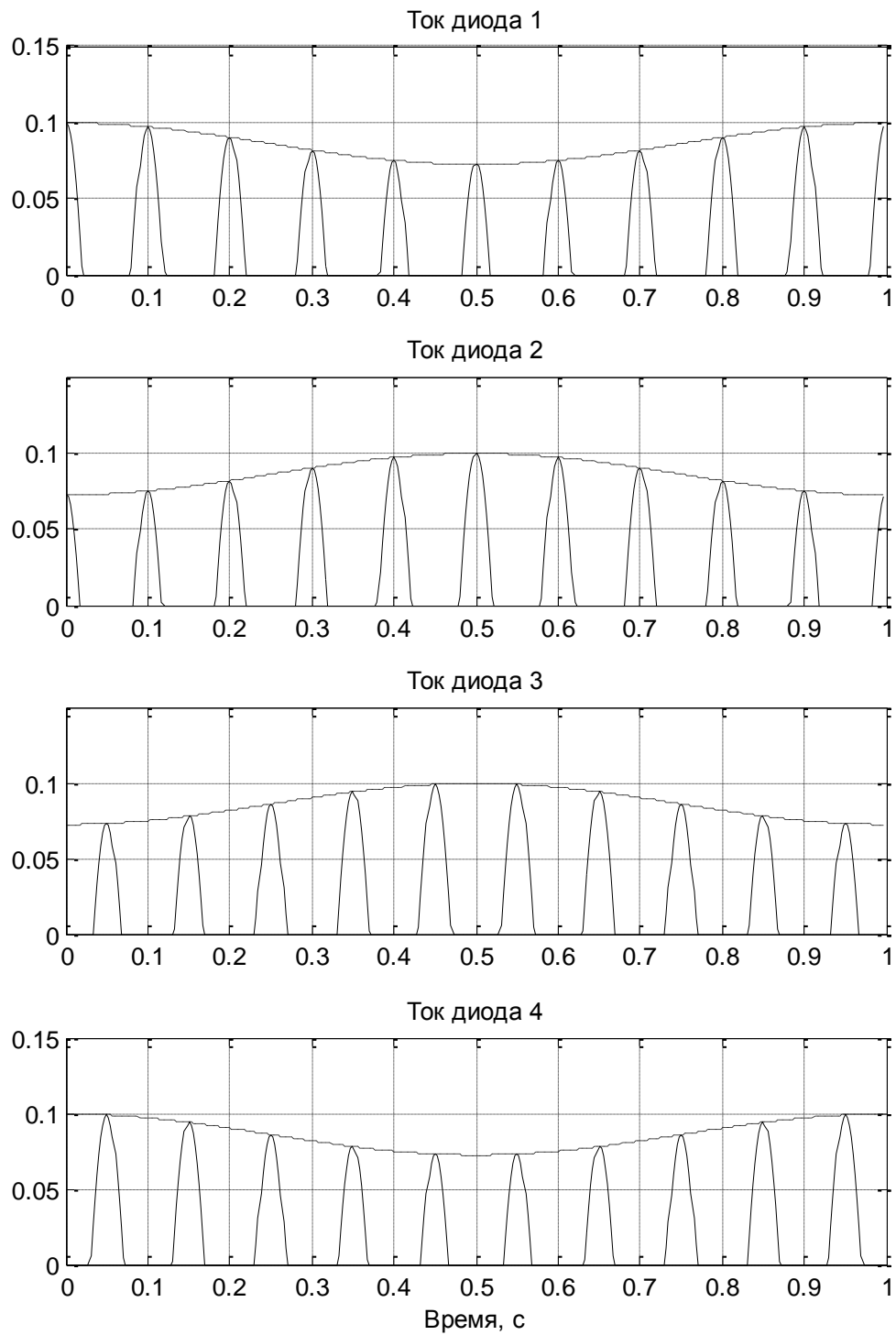


Рис. 3. Форма импульсов тока через диоды.
Пунктиром показана огибающая – форма модулирующего сигнала

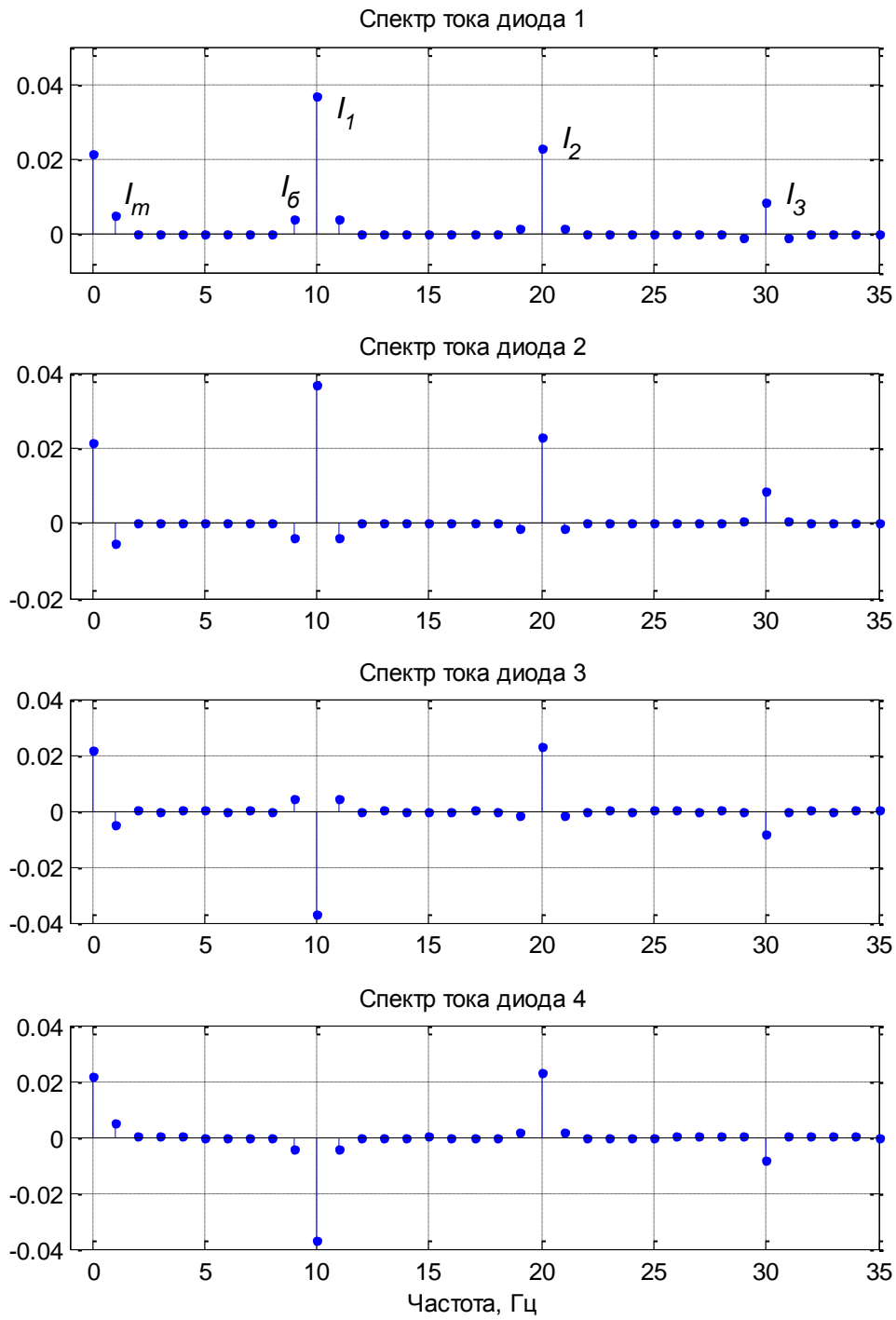


Рис. 4. Спектры токов через диоды

Рассмотрим теперь распределение токов диодов, которое показано на рис. 5.

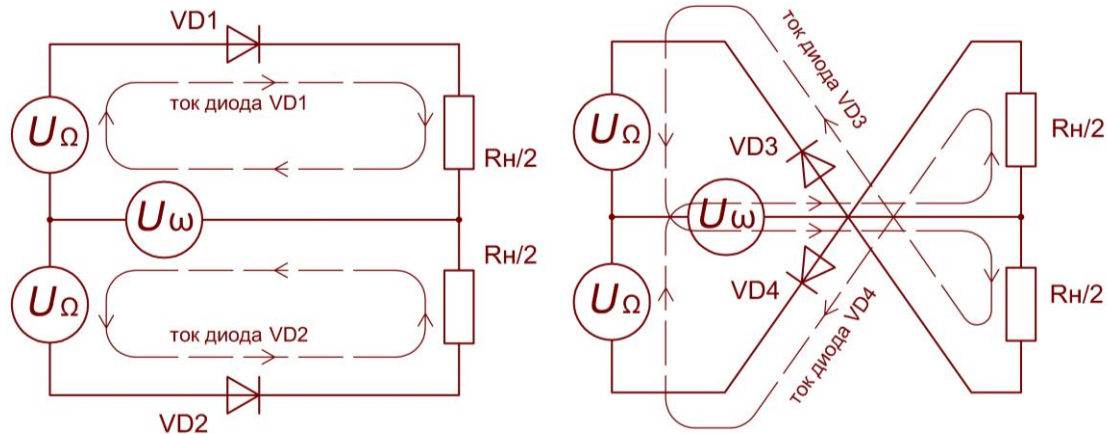


Рис. 5. Распределение токов диодов в цепях КБМ

Из рис. 5 можно получить основные показатели модулятора.

Ток через генератор G2:

$$i_{\omega} = i_{d1} + i_{d2} - i_{d3} - i_{d4} = 4I_0 + 4I_1.$$

Следовательно, входное сопротивление КБМ со стороны генератора G2:

$$R_{\omega} = \frac{U_{\omega}}{4I_1}.$$

Низкочастотные токи равны $i_{d1} - i_{d3} = 2I_m$ и $i_{d2} - i_{d4} = 2I_m$, для верхнего и нижнего генераторов соответственно. Их можно рассматривать как последовательный ток через оба генератора. Следовательно, входное сопротивление КБМ со стороны генератора G1:

$$R_{\Omega} = \frac{2U_{\Omega}}{2I_m} = \frac{U_{\Omega}}{I_m}.$$

Наконец, ток через нагрузку состоит из последовательных токов $i_{d1} - i_{d4} = 2I_6$ и $i_{d3} - i_{d2} = 2I_6$ (здесь мы не будем учитывать боковые составляющие высших гармоник). Следовательно, напряжение боковых составляющих в нагрузке:

$$U_H = 2 * I_6 R_H.$$

Зная эти основные параметры можно без труда получить основные энергетические показатели КБМ, что в рамках данного доклада мы делать не будем.

Библиографический список

1. Проектирование радиопередающих устройств: Учеб. пособие / В.В. Шахгильдян, В.А. Власов, В.Б. Козырев и др.; Под ред. В.В. Шахгильдяна. – М.: Радио и связь, 1993.

Наука ЮУрГУ: материалы 70-й научной конференции
Секции технических наук

2. Верзунов, М.В. Проектирование радиопередающих устройств / М.В. Верзунов. – М.: Энергия, 1967.

[К содержанию](#)