

2. Листвин А.В., Листвин В.Н., Швырков Д.В. Оптические волокна для линий связи. М.: ЛЕСАарт, 2003. 288 с.

3. Былина М.С., Глаголев С.Ф., Кузнецова Н.С., Рык О.Н. Компенсация дисперсии в оптических линейных трактах с использованием DWDM // Фотон-Экспресс. 2009. № 7.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ МОДУЛЯЦИИ ВЧ-КОЛЕБАНИЙ В КЛЮЧЕВЫХ ГЕНЕРАТОРАХ

А.А. Ганбаев, В.А. Филин

Рассмотрены методы модуляции ВЧ-колебаний в ключевых генераторах и усилителях мощности. Проанализированы варианты получения модулированного ВЧ-радиосигнала на малом уровне мощности с последующим усилением, а также формирования модулированного сигнала в мощном выходном каскаде ключевого генератора. Приведена схема управляемого ключевого генератора на основе резонансного инвертора тока, обеспечивающего высокий КПД и линейную модуляционную характеристику.

Ключевые слова: широтно-импульсная модуляция, амплитудная модуляция, КПД.

ANALYSIS METHODS MODULATION OF HF-OSCILLATIONS IN KEY GENERATORS

Ganbaev A., Filin V.

Methods for modulating the RF oscillation in key generators and power amplifiers are discussed. Options for obtaining a modulated RF radio on low power level and then increased, and the formation of modulated signal in the power output stage is key generator are analyzed. The scheme managed key generator based on the resonance current of the inverter, providing high efficiency and linear modulation characteristics are shown.

Keywords: pulse width modulation, amplitude modulation, efficiency.

В данной работе предпринята попытка проанализировать существующие методы управления ВЧ-колебаниями в ключевых генераторах и усилителях мощности. Интерес к этой тематике за последнее десятилетие заметно возрос в связи с состоявшимся технологическим прорывом в области полупроводниковых приборов. Создание транзисторов с высокой подвижностью электронов на основе арсенида и нитрида галлия открыло возможность практической реализации высокоэффективных ключевых режимов усиления колебаний на частотах до 3 ГГц. В этой связи применение высокоэффективных ключевых режимов генерирования и усиления и колебаний в диапазонах ВЧ и СВЧ (от десятков мегагерц до единиц гигагерц) приобретает первостепенно значение для широких классов радиотехнических устройств.

В зарубежных исследованиях по ВЧ ключевым транзисторным усилителям мощности в последние годы вновь проявлен интерес к применению радиочастотной широтно-импульсной модуляции (РЧ-ШИМ). Идея такого метода управления ВЧ-колебаниями была опубликована в 1973 году американским

ученым Раабом (Raab) [1]. Данный вид модуляции имеет преимущество над $\Delta\Sigma$ -модуляцией, которая все чаще используется в ключевых генераторах в последние годы. Недостаток $\Delta\Sigma$ -модуляции – это наличие шумов квантования, которые отсутствуют в РЧ-ШИМ, соответственно сигнал не искажается и не нуждается в последующей сложной фильтрации [1, 2].

Ниже представлена компьютерная модель, реализующая РЧ-ШИМ и позволяющая исследовать процесс модуляции во временной области с последующим анализом спектрального состава. На рисунке 1 приведена схема РЧ-ШИМ модулятора, построенная в программе FASTMEAN. Для упрощения моделирования была выбрана несущая частота $f_0 = 200$ кГц и частота модуляции $f_m = 10$ кГц. Полученные результаты с применением масштабирования по частоте использованы для оценки реального СВЧ усилителя мощности, работающего на частоте 1 ГГц и имеющего полосу частот в 50 МГц.

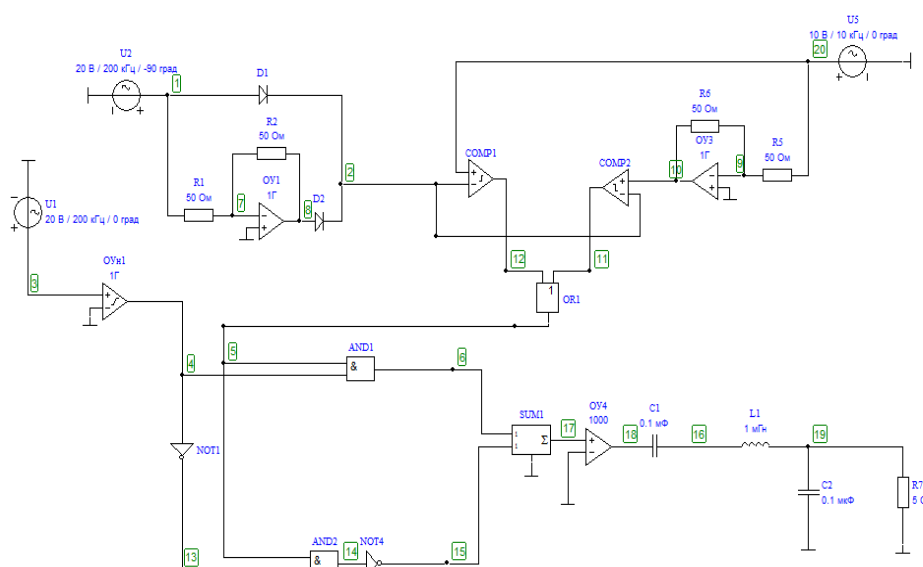


Рис. 1. Компьютерная модель РЧ-ШИМ модулятора

На основе разработанной компьютерной модели сняты для РЧ-ШИМ модулятора временные диаграммы на выходе компаратора, ограничителя и на выходе модулятора которые показаны на рисунке 2.

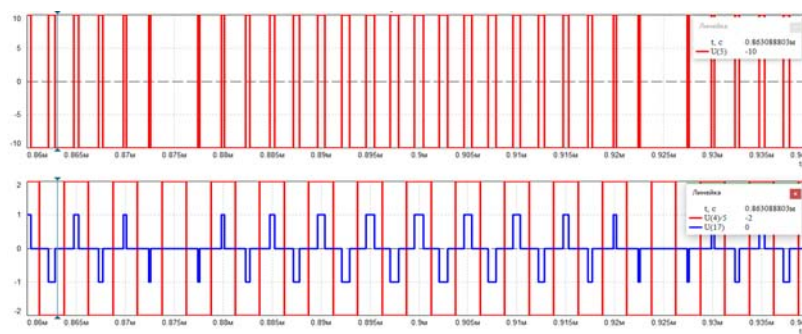


Рис. 2. Диаграммы на выходе компаратора, ограничителя и модулятора

На выходе РЧ-ШИМ формируются ВЧ биполярные импульсы с изменяющейся длительностью, после фильтрации которых формируется амплитудно-модулированный сигнал, который изображен на рисунке 3.

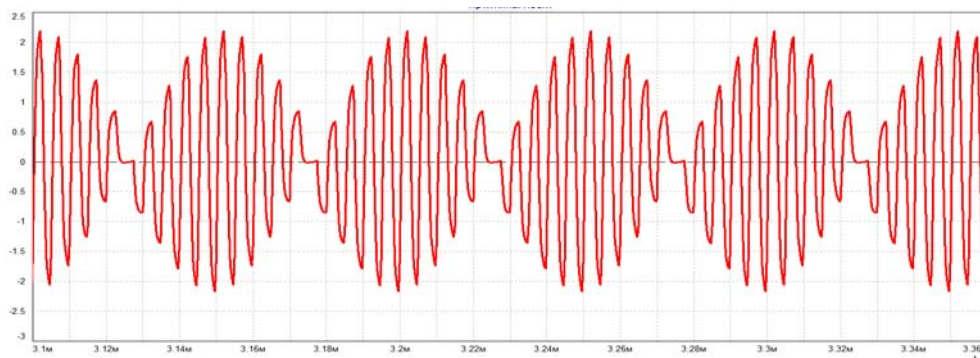


Рис. 3. Амплитудно-модулированный сигнал на выходе РЧ-ШИМ

В программе FASTMEAN также был рассчитан амплитудный спектр сигнала для тактовой частоты равной 200 кГц, который изображен на рисунке 4.

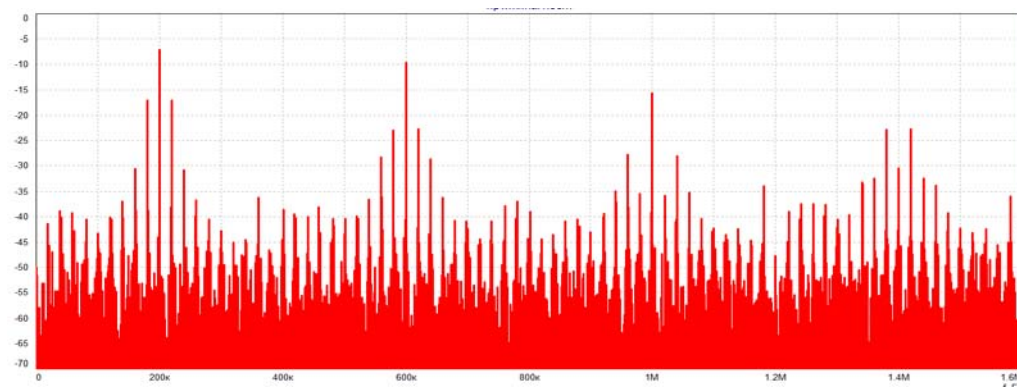


Рис. 4. Амплитудный спектр на выходе РЧ-ШИМ модулятора

Кроме РЧ-ШИМ также известны другие виды модуляции, одна из которых использует метод цифровой широтно-импульсной модуляции с использованием технологии Кана (Khan) схема которого изображена на рисунке 5 [3].



Рис. 5. Схема модулятора по технологии Кана

Такой способ модуляции был применен в усилителях мощности класса E при тактовой частоте 2,4 ГГц и частоте модуляции 10 МГц, КПД по добавленной мощности при этом составил около 70 %, что является хорошим результатом (рис. 6).

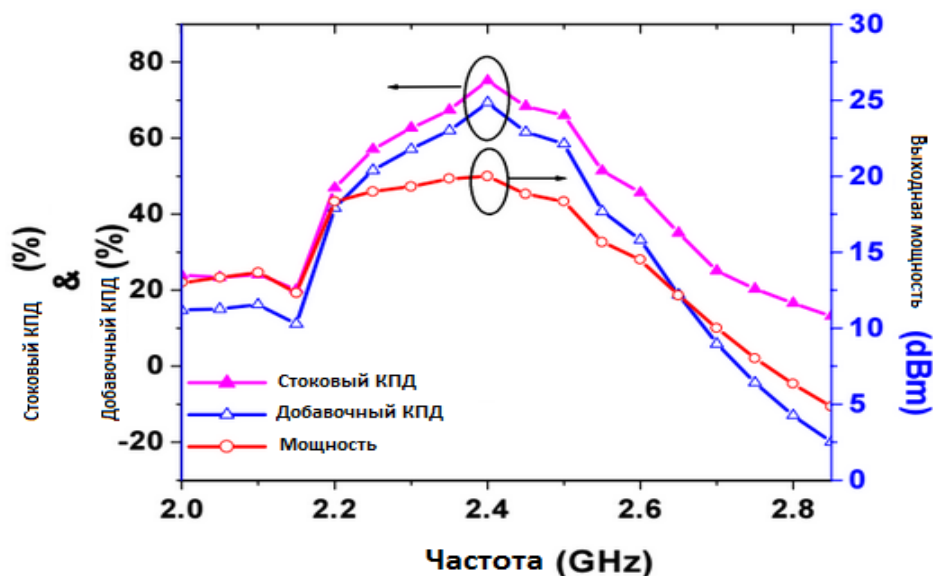


Рис. 6. КПД модулятора на частоте 2,4 ГГц

Также, в передатчиках используется метод отслеживания огибающей (Envelope Tracking) (рис. 7). Преимуществом Envelope Tracking является то что, огибающая ВЧ-сигнала управляет напряжением питания усилителя мощности. Таким образом, уменьшается уровень потерь мощности источника питания и повышается КПД усилителя мощности (рис. 8).

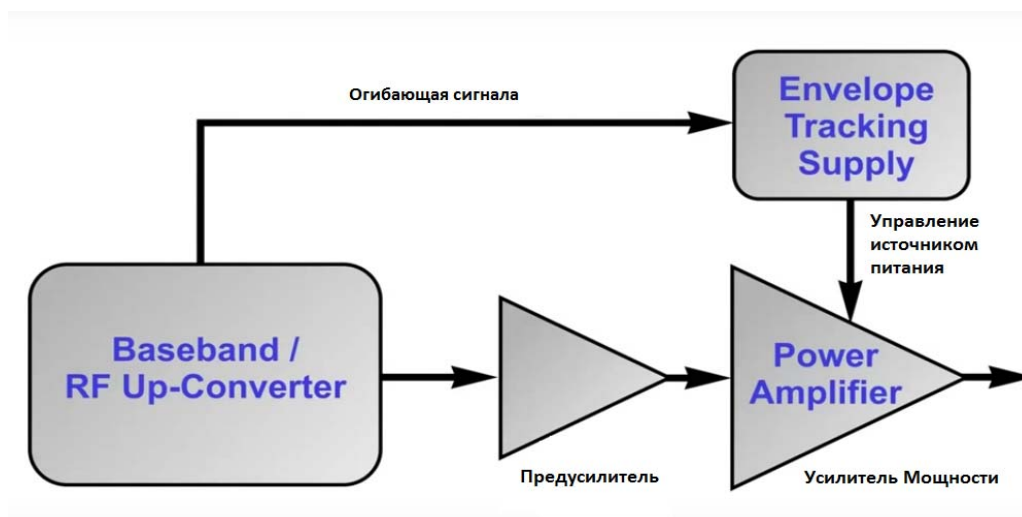


Рис. 7. Схема метода отслеживания огибающей (Envelope Tracking)

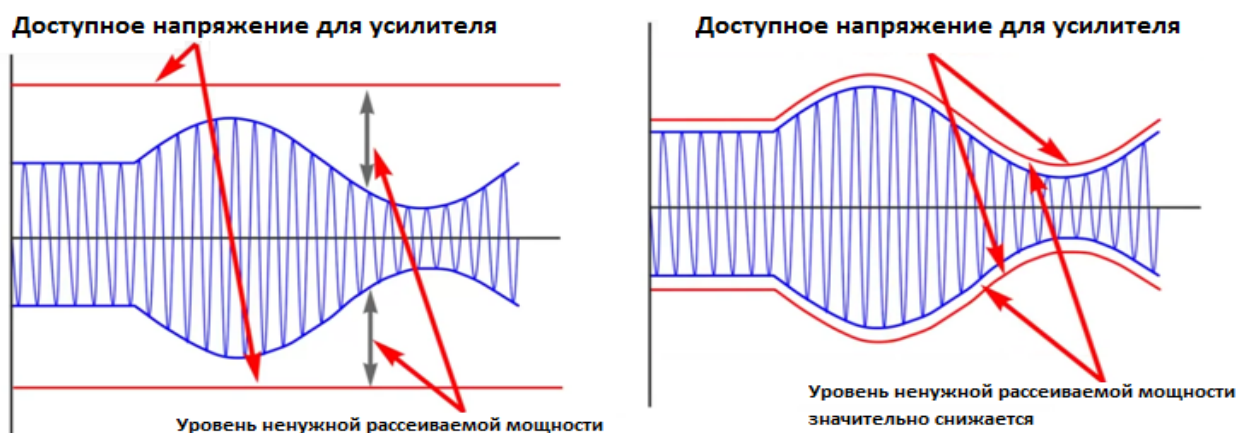


Рис. 8. Сравнения уровней ненужной выделяемой мощности с использованием метода отслеживания огибающей (Envelope Tracking)

Рассмотрим управляемый резонансный инвертор тока (рис. 9). Данная схема может работать на высокой частоте радиосигнала, преобразуя ШИМ сигнал в ВЧ АМ сигнал. Схема имеет высокий КПД (более 90 %) и линейную модуляционную характеристику, что делает ее конкурентоспособной по отношению к другим схемам.

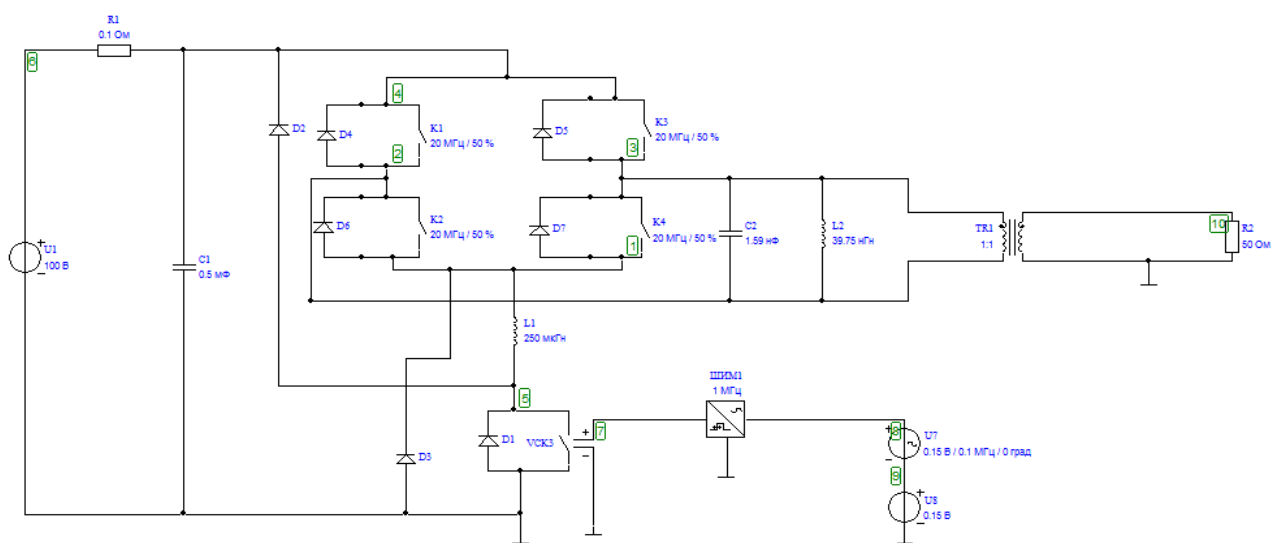


Рис. 9. Схема управляемого инвертора тока

Для данной схемы была разработана компьютерная модель, которая исследована в программе FASTMEAN. Для параметров модели, указанных на рисунке 9, временная диаграмма напряжения в нагрузке и ее амплитудный спектр приведены на рисунке 10.

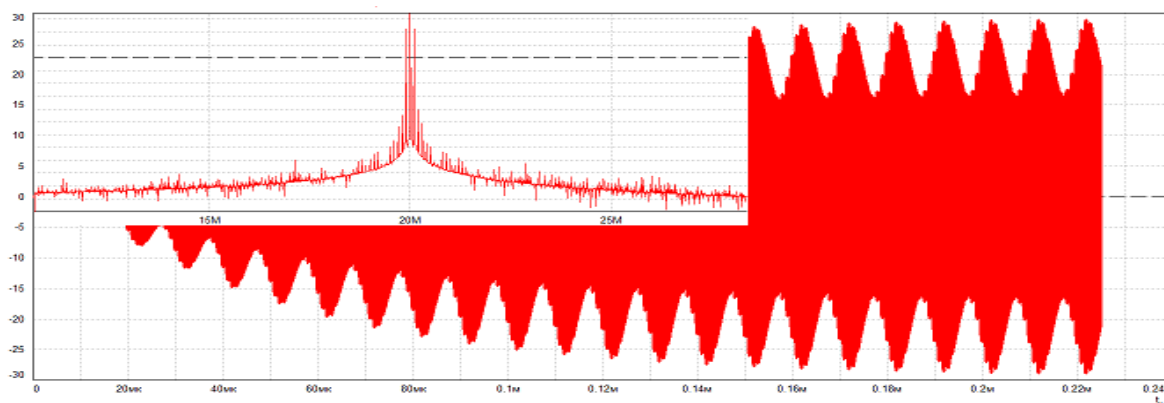


Рис. 10. Временная диаграмма и спектр напряжения на выходе управляемого инвертора

Выполненный сравнительный анализ и результаты моделирования свидетельствуют о важных достоинствах предложенной схемы управляемого резонансного инвертора тока и ее перспективности применения в радиосвязи.

Список используемых источников

1. Raab F.H. Radio frequency pulse width modulation, IEEE Transactions on Communications, vol. 21, pp. 958–966, Aug. 1973.
2. Dr. Andrzej Samulak. System Analyses of Class-S Power Amplifier. Germany: Erlangen, 2010.
3. Kahn L.R. Single sideband transmission by envelope elimination and restoration, Proc. IRE, vol. 40. no.7, pp. 803–806, july 1952.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ РАДИОКАНАЛОВ ОТ СТРУКТУРНЫХ ПОМЕХ

С.В. Дворников, Р.В. Иванов

Рассматриваются предложения по оценке защищенности радиоканалов с частотной модуляцией от структурных помех. Представляются результаты по расчету вероятности ошибки имитонавязывания. Даются предложения по практическому использованию результатов.

Ключевые слова: радиоканал с частотной модуляцией, структурные помехи, вероятностная оценка защищенности, имитоустойчивость.

PROPOSALS FOR EVALUATING THE STRUCTURAL SECURITY OF RADIO INTERFERENCE

Dvornikov S., Ivanov R.

Proposals to assess the security of radio frequency modulated by structural interference. Presents the results for the calculation of error probability of imposing of the false data. Suggestions for the practical use of the results.