

Шерстюков С.А., Печников С.С.  
 Воронежский институт МВД России  
 394065, г. Воронеж, проспект Патриотов, 53  
 E-mail: orl\_os@mail.ru

### Преобразование структуры спектрально-эффективных радиосигналов для усиления в нелинейных усилителях мощности

В настоящее время, в стандартах цифровой транкинговой радиосвязи значительное место занимают сигналы с амплитудно-фазовой модуляцией. Например, в стандарте TETRA разработанном Европейским Телекоммуникационным Институтом Стандартизации (European Telecommunications Standards Institute) используется модуляция  $\pi/4$ -DQPSK (дифференциальная фазовая манипуляция со сдвигом кратным  $\pi/4$ ), а стандарте APCO25 разработанном Ассоциацией официальных представителей служб связи органов общественной безопасности (Association of Public Safety Communications Officials-international) используется CQPSK (четырёхпозиционная фазовая модуляция со сглаживанием фазы). Основным достоинством данных радиосигналов является высокая спектральная эффективность, что позволяет осуществлять передачу информации с использованием минимального частотного диапазона. При сравнении с сигналами с частотной манипуляцией, спектральная эффективность может достигать 50 %. Негативным аспектом данных сигнальных кодовых конструкций является значительное изменение уровня огибающей данных сигналов, что в совокупности с работой выходного тракта передатчика в режиме близком к насыщению, служит причиной интермодуляционных искажений и ухудшения электромагнитной совместимости с соседними каналами [1].

Для того чтобы использовать положительные качества амплитудно-фазомодулированного сигнала и в тоже время увеличить энергоэффективность, применяют различные способы компенсации или приведения формы радиосигнала к постоянной огибающей [2], то есть, внесение дополнительного предискажения, включение компенсационных обратных связей или разложение сигнала на составляющие с постоянными огибающими (дефазирование).

Метод преобразования структуры спектрально-эффективных радиосигналов для усиления в нелинейных усилителях мощности [3] аналогичен методу дефазирования.

Узкополосный радиосигнал с амплитудно-фазовой модуляцией представляется в виде двух сигналов с фазовой модуляцией смещённых друг относительно друга по фазе на  $\pi/2$  и фазы которых, отклоняются пропорционально законам изменения синфазной и квадратурной составляющей входного сигнала.

Синфазная  $i(t)$  и квадратурная  $q(t)$  составляющие входного сигнала поступают в формирователи функциональных синусных и косинусных составляющих, после чего функционально-преобразованные выходные сигналы перемножаются с высокочастотным квадратурным сигналом несущей  $\omega$  и складываются в сумматорах. Операции перемножения и суммирования могут быть выполнены с помощью двух квадратурных модуляторов, что упрощает процесс реализации предложенного метода. На выходе квадратурных модуляторов формируются сигналы с фазовой модуляцией  $u_i(t)$  и  $u_q(t)$ .

$$u_i(t) = A \cos(\omega t + [i(t)]) \quad (1)$$

$$u_q(t) = A \cos(\omega t + [q(t)]) \quad (2)$$

Фазомодулированные составляющие имеют постоянную огибающую, что позволяет осуществить их нелинейное усиление и последующее квадратурное сложение в соответствии с рис.1 [4].

В результате квадратурного объединения  $u_i(t)$  и  $u_q(t)$ , будет сформирован выходной сигнал с амплитудно-фазовой модуляцией  $u_{\text{вых}}(t)$ . Он может быть представлен графически, как это показано на рис. 1, где вектор с амплитудой  $A(t)$  и углом  $\varphi(t)$  является суммой двух ортогональных векторов  $u_i(t)$  и  $u_q(t)$ . При  $A=1$ , сигнал с амплитудно-фазовой модуляцией можно записать в виде суммы действительных и мнимых компонентов:

$$u_{\text{вых}}(t) = \text{Re} \left\{ [u_i(t) + j u_q(t)] e^{j\omega t} \right\} = \text{Re} \left\{ A e^{j[\omega t + i(t)]} + j A e^{j[\omega t + q(t)]} \right\}, \quad (3)$$

где  $\text{Re}$  – вещественная часть комплексной величины,  $u_i(t)$  и  $u_q(t)$  – квадратурные компоненты сигнала  $u_{\text{вых}}(t)$ ,  $A$  – комплексная постоянная огибающая.

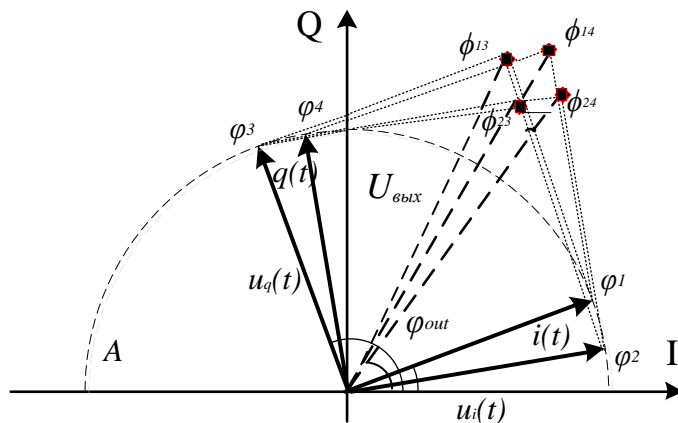


Рис. 1. Формирование выходного сигнала в полярных координатах

В результате амплитуда и фаза выходного сигнала может быть выражена как:

$$A_{\text{вых}}(t) = 2 \cos\{[(q(t) + \pi / 2) - i(t)] / 2\} , \quad (4)$$

$$\varphi_{\text{вых}}(t) = [i(t) + (q(t) + \pi / 2)] / 2 . \quad (5)$$

Таким образом, рассмотренный метод осуществляет преобразование структуры спектрально-эффективных радиосигналов без внесения искажений в выходной сигнал и может быть использован для осуществления усиления в нелинейных усилителях мощности.

#### Литература

1. Печников, С.С. Формирователи спектрально-эффективных радиосигналов с компенсацией амплитудно-фазовых искажений: диссертация ... канд. техн. наук: 2.2.13 / Печников Сергей Сергеевич. – Воронеж, 2021. – 157 с.
2. Печников, С.С. Способ и устройство преобразования структуры спектрально-эффективных радиосигналов для усиления в нелинейных усилителях мощности: заявление о выдаче патента Российской Федерации на изобретение от 18.12.2020 № 2020142008 / С.С. Печников. – Москва : ФИПС, 2021.
3. Печников, С.С. Анализ способов LINC-преобразования радиосигналов с амплитудно-угловой модуляцией / Шерстюков С.А., Печников С.С. // Охрана, безопасность, связь–2020. – 2020.– № 5-3. С. 138-143.
4. Печников, С.С. Аппаратная реализация на базе ПЛИС компенсатора амплитудно-фазовых искажений, входящего в состав формирователя спектрально-эффективных радиосигналов /Шерстюков С.А., Печников С.С., Шаталов Е.В. // Вестник Воронежского института ФСИИ России. –2021. –№ 2. С. 16-24.