

# Реконфигурируемый усилитель Ширекса на ключевых усилителях класса E для сотовой связи

**И.В. Комаров**, Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ), аспирант; ivk1406@mail.ru  
**С.Ф. Горгадзе**, МТУСИ, профессор, д.т.н.; s.f.gorgadze@mtuci.ru

УДК 621.396.61

DOI: 10.34832/ELSV.2026.79.5.005

**Аннотация.** Рассмотрены принципы работы и архитектура усилителя мощности Ширекса, реализованного в ключевом режиме класса E для многостандартных радиопередающих устройств. Описана его базовая структура, включающая транзисторные каскады, широкополосные цепи согласования и трансформатор Маршанда в качестве широкополосного сумматора. Приведены варианты реконфигурации схемы Ширекса с отдельным или совместным проектированием усилительного блока и сумматора. Учтено влияние паразитных элементов схемы. Рассмотрены способы управления реактивными элементами (варикапы и батареи конденсаторов). Проанализирована работа усилителя Ширекса при модуляции сопротивления нагрузки и показана возможность сохранения высокой эффективности в широком диапазоне мощностей, включая режимы с пониженной мощностью. Показано, что при изменении частоты сигнала можно сохранять высокий КПД схемы Ширекса без перестройки ее цепей за счет регулирования режима работы усилителей класса E. Расчеты подтверждают, что средний КПД этой схемы может достигать 95% при пик-факторе сигнала 12–14 дБ.

**Ключевые слова:** усилитель мощности, дефазирование, сумматор Ширекса, ключевой режим, класс E, энергетическая эффективность, реконфигурируемый усилитель, широкополосный сумматор, сотовая связь.

**Для цитирования:** Комаров, И.В. Реконфигурируемый усилитель Ширекса на ключевых усилителях класса E для сотовой связи / И.В. Комаров, С.Ф. Горгадзе // Электросвязь. – 2026. – № 5. – С. 45–53.

## ВВЕДЕНИЕ

Усилители мощности (УМ) являются важнейшими элементами передающих трактов современных систем сотовой связи. К таким усилителям предъявляются требования, которые трудно обеспечить одновременно: высокие показатели энергетической эффективности и линейности усиления. Это объясняется пик-фактором групповых сигналов систем сотовой связи, достигающим 10...14 дБ, что приводит к снижению средней энергетической эффективности традиционных линейных УМ [1]. Современные методы линеаризации традиционных УМ, в том числе и с использованием нейросетей, позволяют повысить динамический диапазон амплитуды линейно усиливаемого сигнала не более чем на 1,5...2 дБ, по сравнению с режимом отсутствия линеаризации [2–5].

Одним из способов повышения эффективности УМ сигналов с большим пик-фактором по амплитуде является применение схемы с дефазированием на основе сумматора Ширекса (Shireix) [6–9]. В таких усилителях исходный сигнал с амплитудной и фазовой модуляцией формируется путём суммирования двух фазомодулированных сигналов с постоянными и одинаковыми по значениям амплитудами [8, 10], т.е. усиливаемый сигнал представляется в виде двух аддитивных компонент с равными амплитуда-

ми, фазовый сдвиг которых друг относительно друга определяется мгновенным значением амплитудной огибающей исходного сигнала [1, 2]. После усиления с высокой эффективностью в насыщенном режиме эти две компоненты объединяются в сумматоре Ширекса, формируя амплитудно-модулированный сигнал [1, 4, 8], т.е. происходит дефазирование двух компонент исходного сигнала. Классические реализации усилителя Ширекса характеризуются ограниченной шириной полосой рабочих частот и низкой степенью интеграции [6, 8, 11, 12].

Целью данной работы является обзор существующих подходов к разработке реконфигурируемого УМ Ширекса на основе ключевых усилителей класса E, обеспечивающего повышение энергетической эффективности в широком диапазоне выходных мощностей и рабочих частот, по сравнению с традиционным УМ для многостандартных систем сотовой связи [13–16], а также исследование его характеристик.

## КЛАССИЧЕСКАЯ АРХИТЕКТУРА УСИЛИТЕЛЯ ШИРЕКСА И ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТЬ

На рис. 1 представлена блок-схема традиционного усилителя Ширекса. В данной архитектуре исходный сигнал разделяется на две фазомодулированные ком-