

Транзисторные усилители-ограничители мощности гармонических СВЧ колебаний

А. В. Баранов
С. А. Моругин



Оглавление

Предисловие	3
1. Общие сведения о транзисторных усилителях-ограничителях мощности	5
1.1. Разновидности ограничителей напряжений	5
1.2. Способы построения амплитудных ограничителей	7
1.3. Основные технические показатели ограничителей амплитуды	8
1.4. Общие требования к усилителям-ограничителям амплитуды	11
1.5. Базовые сведения об усилителях-ограничителях мощности	12
2. Транзисторные усилители-ограничители мощности гармонических СВЧ колебаний	16
2.1. Общие сведения о моделях усилительно-ограничительных устройств	16
2.2. Классификация усилительно-ограничительных устройств	21
2.3. Оптимальные режимы работы усилителей-ограничителей	26
2.4. Стабилизация выходной мощности усилителей-ограничителей	29
2.5. Варианты реализаций усилителей-ограничителей мощности	33
2.5.1. Устройства с односторонним ограничением СВЧ сигнала	33
2.5.2. Устройства с двусторонним ограничением СВЧ сигнала	41
2.5.3. Выбор средств согласования и фильтрации СВЧ колебаний	48
3. Транзисторные СВЧ усилители-ограничители мощности в ключевых режимах	53
3.1. Классификация ключевых устройств	53
3.2. Общие принципы получения высокого КПД устройств	62
3.3. Соотношение мощностей гармоник в нелинейных устройствах	69

3.4. Общие принципы повышения рабочей частоты и выходной мощности усилителей в ключевых режимах	75
3.4.1. Способы повышения рабочей частоты ключевых устройств	77
3.4.2. Пути повышения выходной мощности ключевых устройств	82
3.4.3. Обобщенный критерий оценки частотных и энергетических свойств ключевых устройств	87
3.4.4. Соотношения произведений предельных величин рабочей частоты и выходной мощности в ключевых устройствах	90
3.4.5. Концепция повышения рабочих частот и выходной мощности усилителей путем смены их типа коммутационных потерь	92
3.5. Усилители мощности Е класса с улучшенными частотными и энергетическими характеристиками	100
3.5.1. Усилитель класса Е с последовательной индуктивностью и параллельным фильтрующим контуром	101
3.5.2. Усилитель класса Е с последовательными к ключу индуктивностью и фильтрующим контуром	112
3.5.3. Усилитель класса Е с последовательным конденсатором и параллельным фильтрующим контуром	117
3.5.4. Усилитель класса Е с последовательным формирующим контуром и параллельным фильтром	122
3.5.5. Цепи фильтрации дуальных усилителей мощности Е класса	127
3.5.6. Нагрузочные импедансы транзисторных ключей в усилителях мощности Е класса	128
3.5.7. Особенности классификации дуальных устройств Е класса	135
3.6. Сравнительный анализ частотных и энергетических свойств усилительно-ограничительных устройств Е класса	140
3.6.1. Оценка полос рабочих частот устройств Е класса	141
3.6.2. Оценка максимальных рабочих частот и уровней выходной мощности в устройствах Е класса	142
3.6.3. Величины компенсирующих индуктивностей в устройствах Е класса с различным типом коммутационных потерь	145
3.6.4. Частотные зависимости выходных мощностей устройств Е класса с различным типом коммутационных потерь	151
3.6.5. Экспериментальный анализ частотных и энергетических характеристик усилителей в различных режимах Е класса	155
4. Транзисторные СВЧ усилители-ограничители мощности с подавлением слабого побочного гармонического (или узкополосного) колебания	159

4.1. Устройства подавления побочного гармонического колебания компенсационным методом структурного синтеза	159
4.2. Устройства с фильтрацией побочных колебаний	164
4.2.1. Устройства с режекцией мощных побочных колебаний	164
4.2.2. Устройства подавления колебаний при помощи фильтров с полосно-пропускающими и режекторными свойствами	171
4.2.3. Устройства компенсации помех при помощи систем фазовой автоподстройки частоты	176
4.3. Усилители-ограничители мощности с подавлением слабого побочного гармонического колебания при помощи амплитудно-фазовой конверсии	178
4.3.1. Преобразование основного и слабого побочного гармонических колебаний в усилителе-ограничителе	178
4.3.2. Подавление слабого побочного гармонического колебания в усилителе-ограничителе мощности при помощи амплитудно-фазовой конверсии	182
4.3.3. Анализ подавления слабого гармонического колебания в усилителе-ограничителе с амплитудно-фазовой конверсией	184
4.3.4. Синтез усилителей-ограничителей с подавлением слабого гармонического колебания при помощи амплитудно-фазовой конверсии	191
4.3.5. Моделирование на ЭВМ усилителя-ограничителя с подавлением слабого гармонического колебания	195
4.3.6. Оценка чувствительности величин подавления слабого гармонического колебания по отношению к малым изменениям параметров модели усилителя-ограничителя	201
4.4. Анализ и синтез усилителей-ограничителей с подавлением слабых побочных узкополосных колебаний при помощи амплитудно-фазовой конверсии	202
5. Транзисторные СВЧ генераторы гармонических колебаний на основе усилителей-ограничителей мощности	205
5.1. Генераторы гармоник с внешним возбуждением	205
5.1.1. Общие сведения о генераторах гармоник	206
5.1.2. Методика проектирования генераторов гармоник	207
5.1.3. Генератор гармоник на основе усилителя-ограничителя с резонатором на поверхностных акустических волнах	209
5.1.4. Пример разработки транзисторного умножителя частоты	210
5.2. Осцилляторные автогенераторы гармонических колебаний	213
5.2.1. Общие сведения об автогенераторах	213

5.2.2. Принципы построения автогенераторов по треугольной трехточечной схеме	215
5.2.3. Принципы построения автогенераторов по звездообразной трехточечной схеме	224
5.2.4. Стабилизация выходной мощности автогенераторов ..	228
5.2.5. Принципы изменения частоты автогенераторов	230
5.2.6. Стабилизация частоты автогенераторов	234
5.3. Генератор, управляемый напряжением, осцилляторного типа	244
5.4. Автогенераторы с низким уровнем фазовых шумов на основе усилителей-ограничителей мощности	250
6. Проектирование усилительно-ограничительных СВЧ устройств на транзисторах	260
6.1. Способы проектирования транзисторных СВЧ устройств	260
6.2. Разработка усилителя мощности В класса с использованием нагрузочных импедансов транзистора MRF 184	261
6.3. Разработка транзисторных СВЧ усилителей мощности класса Е с применением комбинационных методов проектирования	263
6.3.1. Усилители мощности Е класса на транзисторе FLL120M	266
6.3.2. Дуальный усилитель Е класса на транзисторе MRF 184	275
6.3.3. Дуальный усилитель Е класса на транзисторе MRF 282	282
6.3.4. Усилители Е класса со стабилизацией выходной мощности	287
6.4. Проектирование СВЧ усилителя-ограничителя мощности с подавлением слабого гармонического колебания	293
6.4.1. Разработка принципиальной схемы усилителя-ограничителя с подавлением слабого гармонического колебания ...	293
6.4.2. Стабилизация выходной мощности усилителя-ограничителя с подавлением слабого гармонического колебания ...	299
6.4.3. Экспериментальные характеристики подавления побочных колебаний в усилителе-ограничителе мощности	301
Заключение	310
Список сокращений и обозначений	315
Литература	317