

ЛИНЕЙНЫЕ СВЧ ТРАНЗИСТОРЫ ДЛЯ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ

Современный уровень развития РЭА и ее элементной базы позволяет в настоящее время создавать полностью твердотельные УКВ ЧМ и телевизионные передатчики с выходной мощностью до 5 кВт [1, 2]. Усилительные тракты на основе широкополосных транзисторных усилителей имеют ряд преимуществ по сравнению с ламповыми. Твердотельные передатчики более надежны, электробезопасны, удобны в эксплуатации и легки в производстве.

При блочно-модульной конструкции передатчика отказ одного из блоков оконечного усилителя не приводит к срыву эфирного вещания, поскольку передача будет продолжаться до замены блока, только с пониженной мощностью. Кроме того, широкополосный тракт транзисторного усилителя не требует дополнительной настройки на конкретный канал в пределах рабочей полосы частот [3].

Принято считать, что надежность передатчика зависит, прежде всего, от надежности применяемых активных компонентов. Благодаря применению современных мощных линейных СВЧ транзисторов, конструктивные особенности и технология изготовления которых обеспечивают существенное увеличение их времени наработки на отказ, вопрос повышения надежности твердотельных передатчиков получил принципиальное решение [4].

Растущие требования к технико-экономическим показателям УКВ ЧМ и телевизионных мощных передатчиков, а также достигнутый уровень отечественной технологии в области создания мощных кремниевых биполярных транзисторов стимулировали развитие

нового класса приборов – мощных линейных СВЧ транзисторов. НИИ электронной техники (г. Воронеж) разработал и выпускает их широкую номенклатуру для применения в метровом и дециметровом диапазонах волн.

Транзисторы специально рассчитаны на использование в мощных телевизионных и радиовещательных передатчиках, ретрансляторах, в частности, в телевизионных ретрансляторах с совместным усилением сигналов звука и изображения, а также в усилителях многоканального сигнала базовых станций сотовой системы связи [5]. Эти транзисторы отвечают чрезвычайно жестким требованиям к линейности передаточной характеристики, имеют запас по рассеиваемой мощности и, как следствие, повышенную надежность.

Конструктивно такие транзисторы выполнены в металло-керамических корпусах. Их внешний вид изображен на рис. 1 (показаны корпуса не всех упоминаемых в статье транзисторов; недостающие можно увидеть в статье [6]). Высокие линейные и частотные свойства транзисторных структур реализованы благодаря применению прецизионной изопланарной технологии. Диффузионные слои имеют субмикронную проектную норму. Ширина эмиттерных элементов топологии — около 1,5 мкм при чрезвычайно развитом их периметре.

В целях устранения отказов, вызванных вторичным электрическим и тепловым пробоем, транзисторную структуру формируют на кремниевом кристалле с двуслойным эпитаксиальным коллектором и использованием

эмиттерных стабилизирующих резисторов. Долговременной надежностью транзисторы обязаны также применению многослойной металлизации на основе золота.

Линейные транзисторы с рассеиваемой мощностью более 50 Вт (за исключением КТ9116А, КТ9116Б, КТ9133А), как правило, имеют конструктивно встроенную LC-цепь согласования по входу, выполненную в виде микросборки на основе встроенного МДП-конденсатора и системы проволочных выводов. Внутренние цепи согласования позволяют расширить рабочую частотную полосу, упростить согласование по входу и выходу, а также повысить коэффициент усиления по мощности $K_{ур}$ в частотной полосе.

Вместе с тем эти транзисторы являются “балансными”, что означает наличие на одном фланце двух идентичных транзисторных структур, объединенных общим эмиттером. Такое конструктивно-техническое решение позволяет уменьшить индуктивность вывода общего электрода и также способствует расширению частотной полосы и упрощению согласования.

При двухтактном включении балансных транзисторов потенциал их средней точки теоретически равен нулю, что соответствует условию искусственной “земли”. Такое включение реально обеспечивает примерно четырехкратное увеличение выходного комплексного сопротивления по сравнению с однотактным при одинаковом уровне выходного сигнала и эффективное подавление четных гармонических составляющих в спектре полезного сигнала.

Хорошо известно, что качество телевизионного вещания, прежде всего, зависит от того, насколько линейна передаточная характеристика электронного тракта. Особенно остро вопрос линейности стоит при проектировании узлов совместного усиления сигналов изображения и звука ввиду появления в частотном спектре комбинационных составляющих. Поэтому был принят предложенный зарубежными специалистами трехтоновый метод оценки линейности передаточной характеристики отечественных транзисторов по уровню подавления комбинационной составляющей третьего порядка.

Метод основан на анализе реального телевизионного сигнала при соотношении уровней сигналов несущей частоты изображения –8 дБ, боковой частоты –16 дБ и несущей частоты звукового сопровождения –7 дБ относительно отдаваемой мощности в пике огибающей. Транзисторы для совместного усиления в зависимости от частотного и мощностного ряда должны обеспечивать значение коэффициента комбинационных составляющих МЗ, как правило, не более –53...–60 дБ.

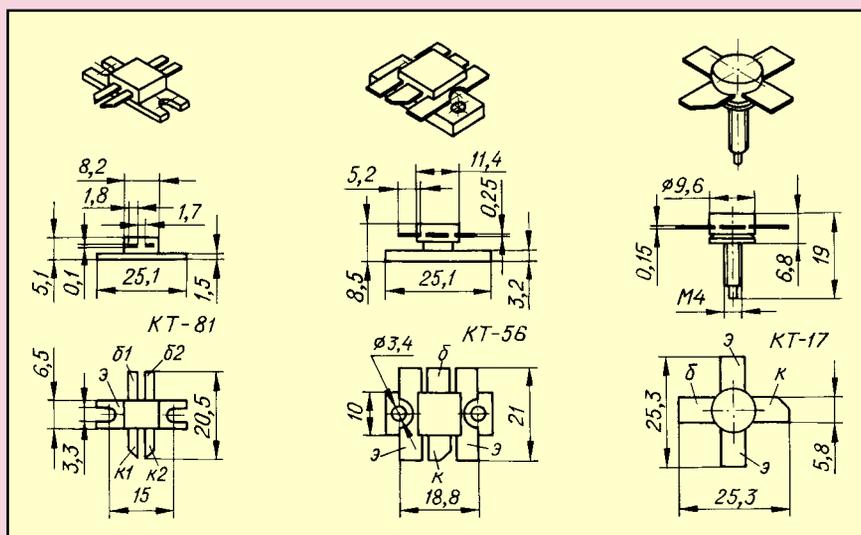


Рис. 1

Рассматриваемый класс СВЧ транзисторов с жесткой регламентацией подавления комбинационных составляющих за рубежом получил название суперлинейных транзисторов [7]. Следует отметить, что столь высокий уровень линейности обычно реализуем только в режиме класса А, где можно максимально провести режимную линейризацию передаточной характеристики.

В метровом диапазоне, как видно из таблицы, имеется ряд транзисторов, представленный приборами КТ9116А, КТ9116Б, КТ9133А и КТ9173А с выходной пиковой мощностью $P_{\text{вых.пик}}$ соответственно 5, 15, 30 и 50 Вт. В дециметровом диапазоне волн такой ряд представлен приборами КТ983А, КТ983Б, КТ983В, КТ9150А и Г103 с $P_{\text{вых.пик}}$, равной 0,5, 1, 3,5, 8 и 25 Вт.

Суперлинейные транзисторы обычно применяют в совместных усилителях (в режиме класса А) телевизионных ретрансляторов и модулях усилителей мощности передатчиков мощностью до 100 Вт.

Однако для выходных ступеней мощных передатчиков нужны более мощные транзисторы, обеспечивающие необходимый уровень верхней границы линейного динамического диапазона при работе в выгодном энергетическом режиме. Приемлемые нелинейные искажения на большом уровне сигнала могут быть получены применением отдельного усиления в режиме класса АВ.

Исходя из анализа теплофизических условий работы транзистора и особенностей формирования линейности

однотонавого сигнала, была специально разработана серия СВЧ транзисторов для режима работы в классе АВ. Линейность характеристики этих приборов по зарубежной методике оценивают по уровню компрессии (сжатия) коэффициента усиления по мощности однотонавого сигнала — коэффициенту сжатия $K_{\text{сж}}$ или иначе — определяют выходную мощность при некотором нормированном $K_{\text{сж}}$.

Для применения в метровом диапазоне волн в режиме класса АВ теперь есть транзисторы КТ9151А с выходной мощностью 200 Вт и транзисторы КТ9174А — 300 Вт. Для дециметрового диапазона разработаны транзисторы 2Т9155А, КТ9142А, 2Т9155Б, КТ9152А, 2Т9155В, КТ9182А с выходной мощностью от 15 до 150 Вт.

Впервые возможность создания модульных твердотельных передатчиков в дециметровом диапазоне с совместным усилением сигналов изображения и звукового сопровождения мощностью 100 Вт была продемонстрирована специалистами фирмы NEC [8]. Позднее и на отечественных мощных СВЧ транзисторах были созданы аналогичные передатчики [2, 9]. В частности, в [9] рассказано об оригинальных исследованиях по расширению области использования мощных транзисторов КТ9151А и КТ9152А при создании стоваттных модулей совместного усиления в режиме класса А. Показано, что в этом режиме возможно обеспечивать подавление комбинационных составляющих при недоиспользовании их мощности в 3...4 раза от номинальной в режиме класса АВ.

Специалистами Новосибирского государственного технического университета проведены исследования по применению отечественных мощных СВЧ транзисторов в модулях телевизионных усилителей мощности с разделным усилением.

На рис. 2 представлена структурная схема усилителя мощности сигнала изображения для телевизионных каналов 1—5 с выходной пиковой мощностью 250 Вт. Усилитель выполнен по схеме разделного усиления сигналов изображения и звука. Для каналов 6—12 усилитель выполняют по аналогичной схеме с добавлением промежуточной ступени на транзисторе КТ9116А, работающем в режиме класса А, для получения требуемого коэффициента усиления.

В выходной ступени транзисторы КТ9151А работают в классе АВ. Она собрана по балансно-двухтактной схеме. Это позволяет получить номинальную выходную мощность с довольно простыми согласующими цепями при полном отсутствии “фидерного эха” и уровне четных гармонических составляющих не более -35 дБ. Нелинейность амплитудной характеристики усилителя устанавливается при малом сигнале подборкой смещения рабочей точки в каждой ступени, а также корректировкой нелинейности в видеомодуляторе возбуждателя.

Структурная схема усилителя мощности для телевизионных каналов 21—60 изображена на рис. 3. Выходная ступень усилителя выполнена также по балансно-двухтактной схеме.

Транзистор	Рабочая частотная полоса, МГц	Режим работы (класс)	Выходная пиковая мощность, Вт	Выходная мощность при $K_{\text{сж}}$ менее 1 дБ, Вт	Кэфф. усиления, раз	Кэфф. комбинационных составляющих, дБ	Тепловое сопротивление переход-корпус, °С/Вт	Напряжение питания, В	Корпус
Для телевизионных каналов с 1-го по 12-й									
КТ9116А	170...230	А	5	—	25	-58	2,5	28	КТ-56
КТ9116Б			15		10	-55	1		
КТ9133А			30		5,6	-53			
КТ9173А			50		10	-45			
КТ9151А	48...230	АВ	—	200	5	—	0,5	28	КТ-82
КТ9174А			—	300	4				
Для телевизионных каналов с 21-го по 60-й									
КТ983А	470...860	А	0,5	—	4	-60	13,8	25	КТ-17
КТ983Б			1		3,6		9,2		
КТ983В			3,5		3,2		5,3		
КТ9150А			8		7,1		2,5		
Г103*			25		6		1,2		
КТ9142А	470...860	АВ	—	50	4,2	—	1,4	28	КТ-82
КТ9152А			—	100	4		0,65		
КТ9182А			—	150	0,55				
2Т9155А	150...860	АВ	—	15	4,5	—	3,2	28	КТ-44
2Т9155Б			—	50	4,2		1,4		
2Т9155В			—	100	3,5		0,77		

* Внутрифирменный шифр.

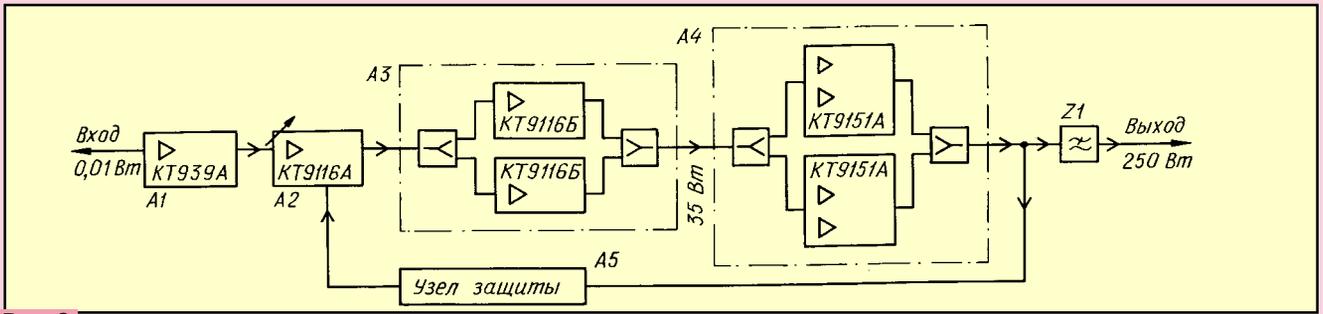


Рис. 2

Для обеспечения широкополосного согласования и перехода от несимметричной к симметричной нагрузке в выходных ступенях усилителей каналов 6—12, 21—60 применен в качестве корректирующей цепи двухзвенный ФНЧ. Индуктивность первого звена согласующей цепи реализована в виде участ-

ко применять также и при построении усилителей мощности базовых станций сотовой системы связи.

По своему техническому уровню разработанные НИИЭТ мощные СВЧ линейные транзисторы могут быть использованы в качестве элементной базы для создания современной ра-

диовещательной, телевизионной и другой народнохозяйственной и радиолюбительской аппаратуры.

Материал подготовили
А. Асесоров, В. Асесоров,
В. Кожевников, С. Матвеев
 г. Воронеж

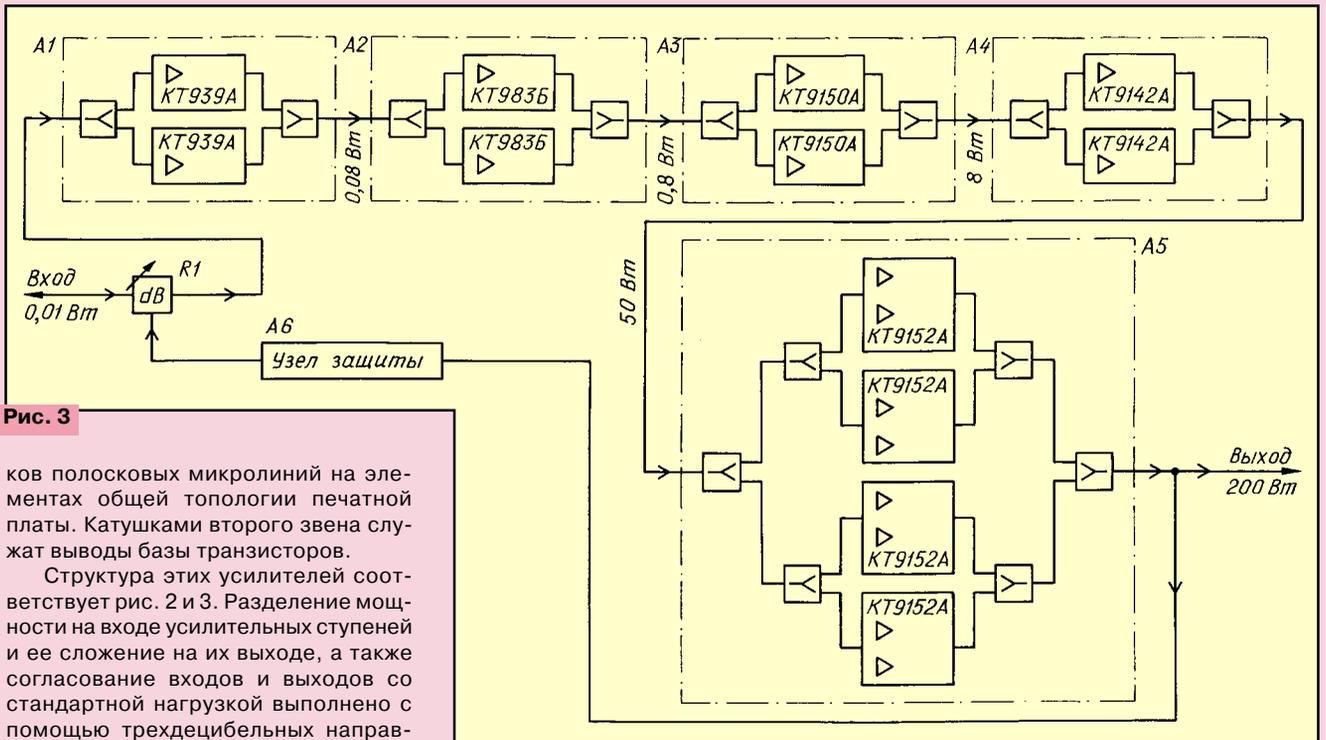


Рис. 3

ков полосковых микролиний на элементах общей топологии печатной платы. Катушками второго звена служат выводы базы транзисторов.

Структура этих усилителей соответствует рис. 2 и 3. Разделение мощности на входе усилительных ступеней и ее сложение на их выходе, а также согласование входов и выходов со стандартной нагрузкой выполнено с помощью трехдецибелльных направленных ответвителей. Конструктивно каждый ответвитель выполнен в виде бифилярных обмоток (четвертьволновых линий) на каркасе, помещенном в экранирующий кожух.

Таким образом, современные отечественные линейные СВЧ транзисторы позволяют создавать мощные — до 250 Вт — модули телевизионных усилителей. Используя батареи таких модулей, можно доводить выходную мощность, отдаваемую в антенно-фидерный тракт, до 2 кВт. В составе передатчиков разработанные усилители отвечают всем современным требованиям на электрические характеристики и надежность.

Мощные линейные СВЧ транзисторы в последнее время начинают широ-

ЛИТЕРАТУРА

1. Hiraoka K., Fujiwara S., Ikegami T. etc. High power all solid-state UHF transmitters. — NEC Res. & Develop. 1985, № 79, p. 61—69.
2. Асесоров В., Кожевников В., Косой А. Научный поиск российских инженеров. Тенденция развития мощных СВЧ транзисторов. — Радио, 1994, № 6, с. 2, 3.
3. Широкополосные радиопередающие устройства. Под ред. Алексеева О. А. — М.: Связь, 1978, с. 304.
4. Fujiwara S., Ikegami T., Makiyama I. etc. SS series solid-state television transmitter. — NEC Res. & Develop. 1989, № 94, p. 78—89.
5. Асесоров В., Кожевников В., Косой А. Тенденция развития мощных СВЧ транзисторов для применения в радиовещании, телевидении и средствах связи.

— Электронная промышленность, 1994, № 4, с. 78—80.

6. Асесоров В., Кожевников В., Косой А. Новые транзисторы СВЧ. — Радио, 1996, № 5, с. 57, 58.
7. Миллер О. Суперлинейные мощные транзисторы дециметрового диапазона для проводного телевидения. — ТИИЭР, 1970, т. 58, № 7, с. 138—147.
8. Kajiwara Y., Hirakawa K., Sasaki K. etc. UHF high power transistor amplifier with high-dielectric substrate. — NEC Res. & Develop. 1977, № 45, p. 50—57.
9. Гребенников А., Никифоров В., Рыжиков А. Мощные транзисторные усилительные модули для УКВ ЧМ и ТВ вещания. — Электросвязь, 1996, № 3, с. 28—31.