

Мощные LDMOS-транзисторы: преимущества и области применения

В данной статье описываются преимущества использования LDMOS (Laterally Diffused Metal Oxide Semiconductors) усилителей на примере использования подобных приборов от Philips Semiconductor в мощных авиационных транспондерах. Если сравнивать устройства, выполненные по технологии LDMOS, с устройствами, выполненными по биполярной технологии, по таким важным характеристикам, как усиление, линейность, тепловые режимы, переключающие свойства, число элементов схемы, сразу становится очевидным преимущество первых.

Станислав Дидилев

sd@may.ru

Под крылом самолета

В результате непрерывного роста числа авиапериовозов увеличиваются требования к безопасности и эффективности аппаратуры управления авиапериовозками, что, соответственно, влияет на конструкцию транспондеров. Традиционные наземные системы управления авиационным движением легко обеспечивают безопасный взлет и посадку самолетов, однако не могут справиться с обработкой данных в реальном времени, необходимой для систем предотвращения столкновений воздушных судов (traffic collision avoidance systems — TCAS). Находясь на борту каждого военного или гражданского самолета, транспондеры обмениваются информацией о координатах воздушного судна, его скорости и высоте полета с другими самолетами, находящимися в

данном районе. Данные, предоставляемые транспондерами, помогают пилотам безопасно прокладывать свой путь. Кроме того, экипажам в этом помогают многие другие системы: погодные радары, системы измерения дальности, системы навигации и связи.

В то время как число систем обеспечения безопасности полета растет, фактор минимизации размеров начинает играть главную роль при решении задачи размещения большого числа аппаратуры в ограниченном объеме. В связи с тем, что TCAS использует тот же самый диапазон частот, что и другие системы обеспечения безопасности полета, объединение нескольких сходных по назначению блоков в один стало наиболее часто применяемым конструкторским решением. Применение подобного решения позволяет снизить размер и массу оборудования. Упрощается процесс установки оборудования и его обслуживание. Также уменьшается количество источников питания и соответствующих цепей, увеличивается эффективность работы устройства. Использование одного универсального устройства позволяет снизить затраты на покупку, установку и обслуживание.

При работе с несколькими несущими частотами важно сохранение хорошей формы импульса сигнала. Здесь начинают играть роль такие факторы, как переходные процессы, линейность, компрессия сигнала. Иногда применяют пониженное напряжение питания для увеличения эффективности работы устройства и уменьшения тепловыделения. Данная статья освещает новые приборы, выполненные по технологии LDMOS (LDMOST), применение которых резко улучшает характеристики микроволновых усилителей мощности, установленных в транспондерах системы TCAS. Мы сравним усилитель мощности, выполненный на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общей базой и работающим в классе «С», с усилителем, выполненным по LDMOS-технологии.

Хотя LDMOS-технология изначально создавалась для применения в приборах базовых станций сетей

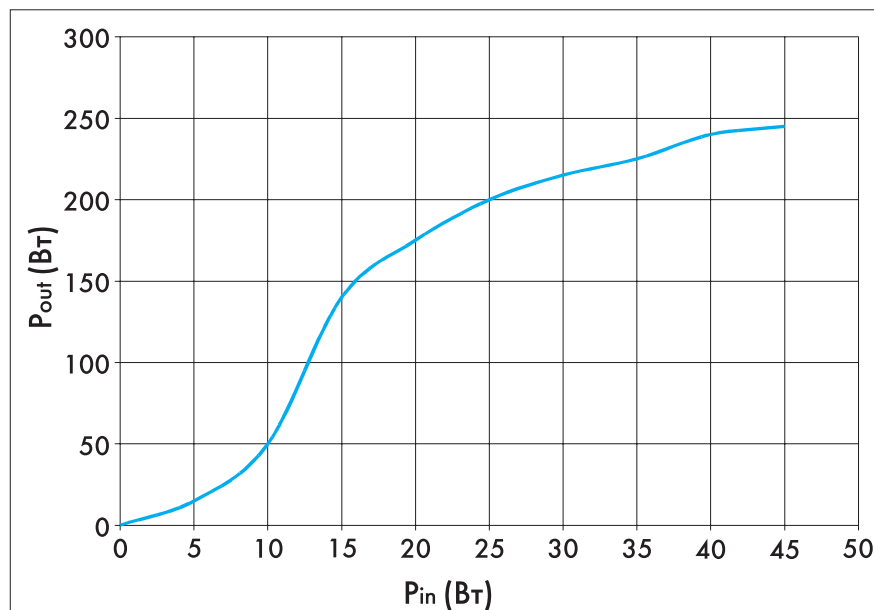


Рис. 1. Типичная зависимость выходной мощности от входной у 200-ваттного биполярного транзистора

GSM и PCS, ее небольшое изменение позволило использовать ее также и в авиации.

Характеристики устройства

До настоящего момента усилители разрабатывались на биполярных транзисторах, что влекло за собой множество проблем. Одним из основных требований, предъявляемых к усилителю, является стабильность усиления в рабочем диапазоне частот. Типичная зависимость выходной мощности от входной у 200-ваттного биполярного транзистора для авиационного применения представлена на рис. 1. Легко заметить, что усиление транзистора изменяется в зависимости от мощности входного сигнала. Очевидно, что использование подобного транзистора скажется отрицательным образом на качестве всего прибора в целом.

Прибор, построенный на основе LDMOS-транзистора, не имеет подобных недостатков. Вообще приборы подобного класса показывают хорошую линейность в широком динамическом диапазоне. Рис. 2 показывает зависимость усиления и эффективности работы прибора от выходной мощности. Как видно из этого графика, LDMOS-транзистор при мощности 200 Вт далек от насыщения, динамический диапазон составляет более 30 дБ. Более того, усиление транзистора составляет 14 дБ по сравнению с 8 дБ у биполярного транзистора. Применение подобного прибора позволило уменьшить число компонентов схемы усилителя и уменьшить площадь его печатной платы.

Технология LDMOS обладает еще одним важным преимуществом — отличной термостабильностью, которая достигается за счет отрицательного температурного коэффициента, обусловленного технологией изготовления кристалла. Перегрев не столь критичен для этих приборов. Прекрасная выносливость устройства ($KCB < 6$) может быть достигнута благодаря высокому напряжению пробоя (около 80 В). Следует также отметить чрезвычайно высокое прогнозируемое время безотказной работы (MTBF) подобных приборов — от 2600 до 4800 лет при температуре 130 °С и более 1700 лет при температуре 200 °С, что существенно выше, чем у приборов, выполненных по биполярной и традиционной MOS-технологии. Кроме того, управление усилением в LDMOS (путем изменения напряжения между затвором и истоком) аналогично управлению усилением в биполярном транзисторе. На рис. 3 представлена зависимость выходной мощности усилителя от напряжения затвор—исток. Конструкция прибора не содержит токсичного оксида бериллия (BeO). При отсутствии изолятора из оксида бериллия вывод истока на кристалле соединяется напрямую с теплоотводящим радиатором, что снижает тепловое сопротивление.

Как видно из рис. 4, линейность усилителя зависит от тока покоя. Две зависимости показывают усиление транзистора при двух различных значениях тока покоя: 500 мА и 2 А. Выставляя большее значение тока покоя, мы заставляем усилитель работать в классе «А».

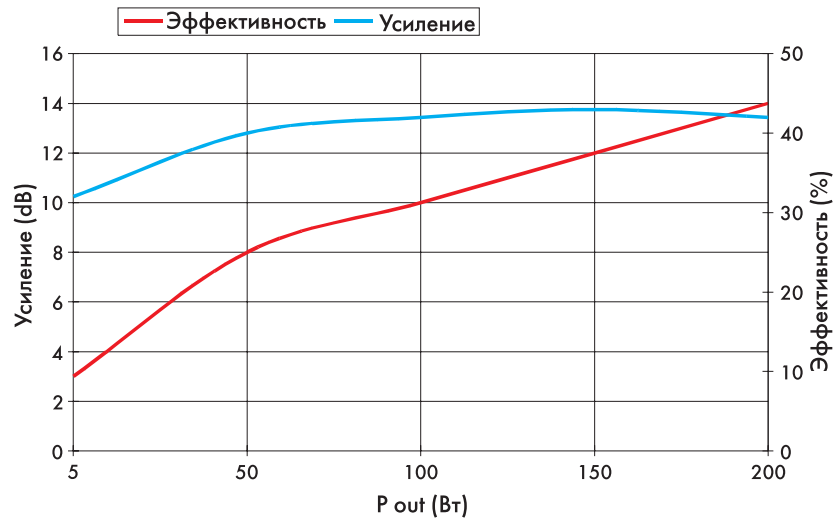


Рис. 2. Зависимость усиления и эффективности работы LDMOS-устройства от выходной мощности при значении тока в рабочей точке 150 мА

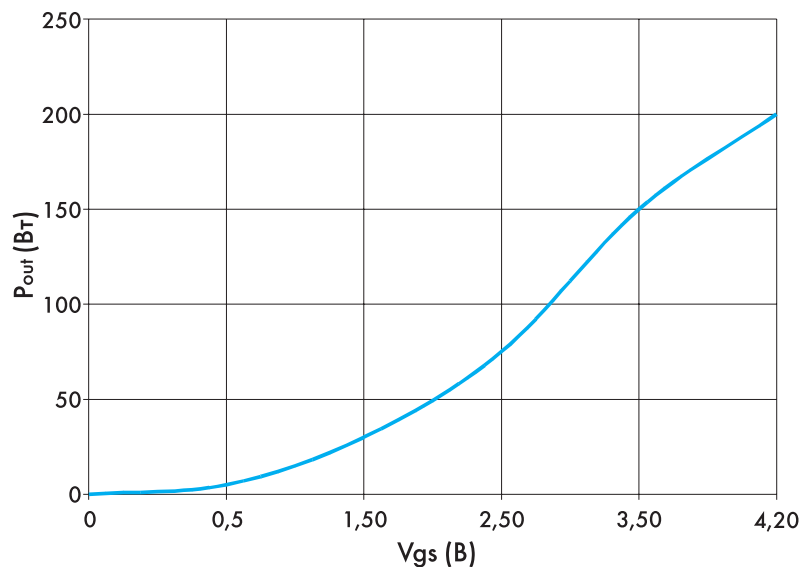


Рис. 3. Зависимость выходной мощности LDMOS-устройства от напряжения затвор—исток при мощности входного сигнала 7,95 Вт на частоте 1030 МГц

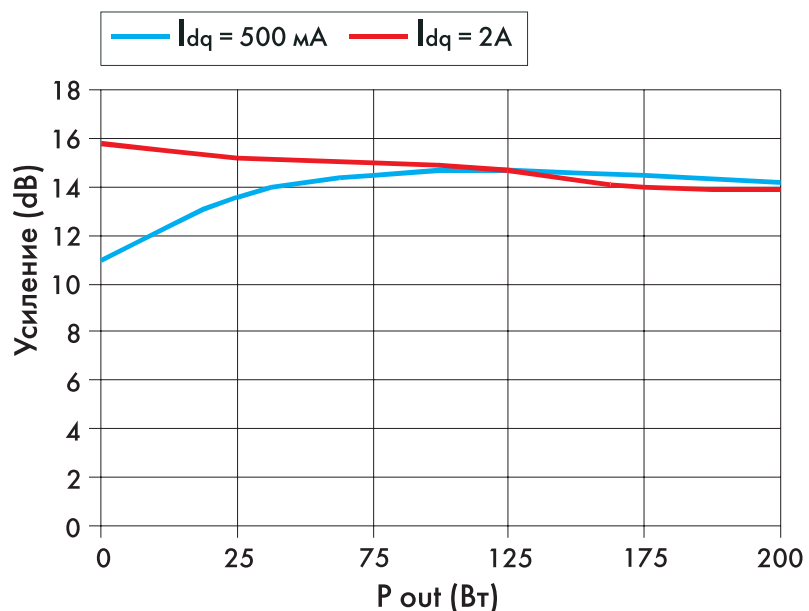


Рис. 4. Зависимость усиления LDMOS-устройства от выходной мощности при различных значениях тока покоя Idq

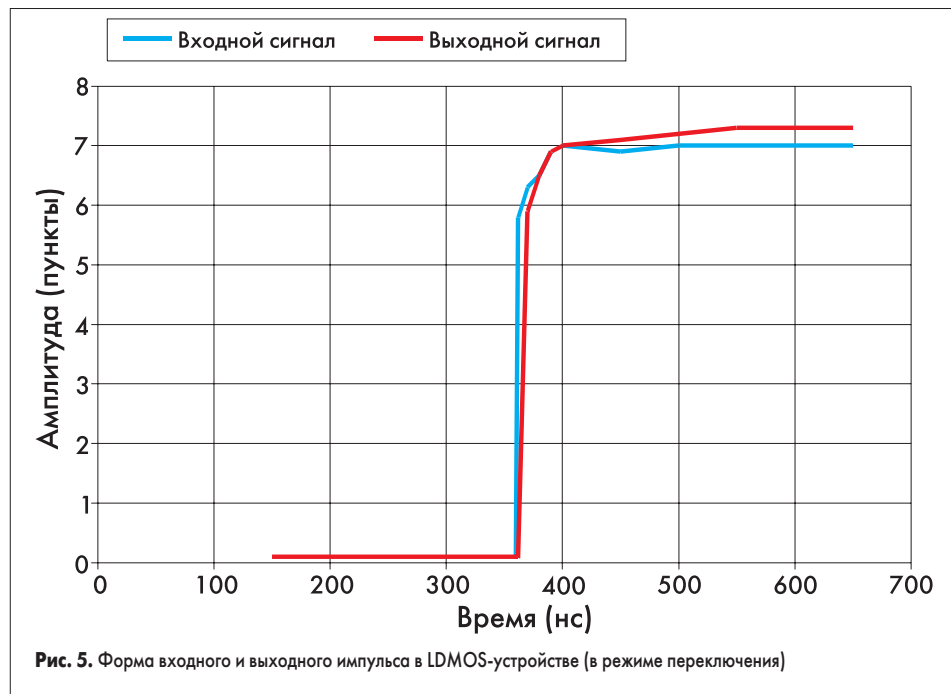


Рис. 5. Форма входного и выходного импульса в LDMOS-устройстве (в режиме переключения)

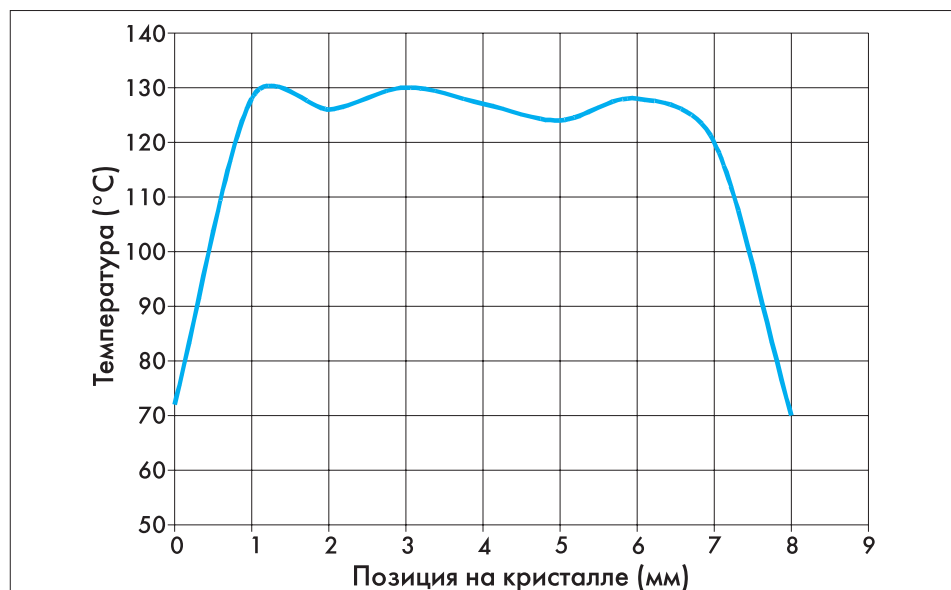


Рис. 6. Распределение температуры по поверхности кристалла. Корпус — SOT 502, рассеиваемая мощность — 250 Вт, температура окружающей среды — 20 °С

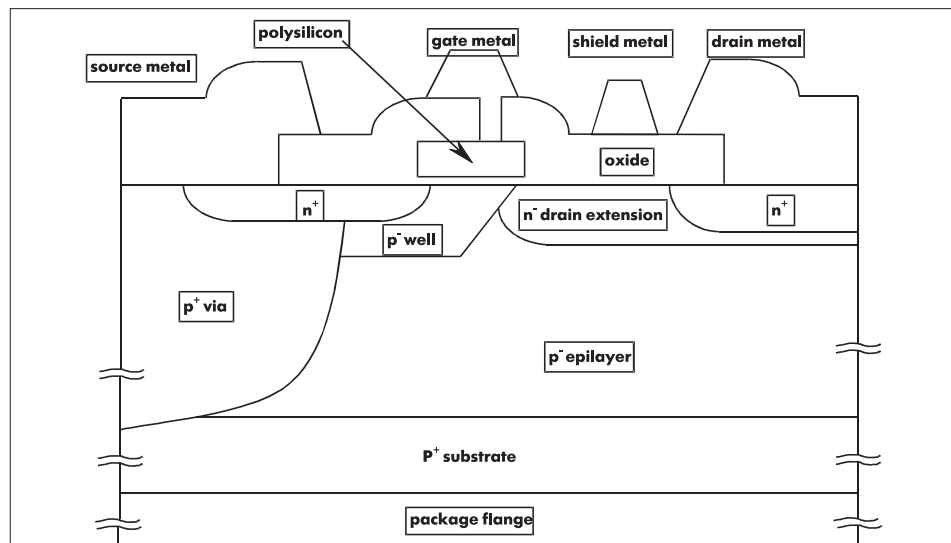


Рис. 7. Разрез типичной LDMOS-структуры

Следовательно, максимально достижимая эффективность будет меньше. Подобный режим работы оправдывает себя только при низких значениях выходной мощности. При более высоких значениях выходной мощности необходимо использовать режим «АВ». Таким образом, изменяя напряжение между затвором и истоком, можно достичь компромисса между выходной мощностью, линейностью и эффективностью работы усилителя. При создании усилителя большой мощности это значит, что его линейность не ухудшится, так как устройство будет работать с компрессированным сигналом.

Рис. 5 показывает, что прибор обладает очень хорошим временем переключения при сохранении усиления и линейности в широком динамическом диапазоне. По этому графику легко заметить, что время переключения на выходе увеличилось незначительно по сравнению с входным временем переключения. Время переключения составляет менее 50 нс при выходной мощности порядка 52,4 дБм. Очевидно, что помимо всех вышеупомянутых факторов схемотехническое решение усилителя влияет на качество его работы, однако в любом случае необходимо предусмотреть хорошую развязку по низкой частоте. В биполярной же технологии быстрое время переключения при больших выходных мощностях труднодостижимо, что является особенностью этой технологии.

Надежность и тепловые характеристики

Важным преимуществом LDMOS-технологии по сравнению с биполярной является то, что полевой транзистор включен по схеме с общим истоком (исток соединен с землей). Такое включение уменьшает паразитную индуктивность истока и позволяет создать в транзисторе лучшие условия для отвода тепла. В биполярном же транзисторе большинство кремния занимает область коллектора, которая должна быть электрически изолирована от земли (радиатора), что затрудняет отвод тепла.

На рис. 6 показано распределение температуры по кристаллу транзистора при использовании последнего в режиме усиления ВЧ-сигнала. Как видно из графика, температура распределяется по кристаллу достаточно равномерно, что обусловлено качественным процессом сборки транзистора (особенно важны операции крепления и разварки соединительных проводников на кристалле).

Технология кристалла

Рис. 7 показывает разрез типичной LDMOS-структуры. Слой P+ служит для создания хорошего электрического контакта между истоком и землей. При этом отпадает необходимость в использовании соединительных проводников, уменьшается индуктивность затвора и увеличивается усиление транзистора. Между затвором и стоком помещен экранирующий слой, уменьшающий емкость цепи обратной связи. Технология изготовления кристалла основана на одногигагерцовой технологии Philips, адаптированной для использования в авиационных применениях, требующих высокой ли-

нейности усилителя при большом динамическом диапазоне.

Моно MOS-структура — отдельные активные области, содержащие в себе традиционные ВЧ-кристаллы (транзисторы), заменяются одной сложной областью, содержащей в себе всю схему. При этом упрощается согласование входа и выхода линейки усилителей. Такая структура обеспечивает минимальный дрейф тока в рабочей точке (I_{dq}). Без проведения предварительного процесса приработки типичное значение дрейфа тока рабочей точки составляет менее 10 % за 20 лет. Золотая металлизация контактных областей кристалла и золотые контактные проводники обеспечивают отсутствие нежелательных эффектов на границе соединения двух металлов, а также надежность выполнения этого соединения при разварке выводов. По результатам использования подобных усилителей в базовых станциях такая конструкция доказала свою высокую надежность. Для снижения стоимости прибора кристалл корпусируется в негерметичный готовый корпус.

Блоксхема усилителя на приборе BLA1011-200

Применение

Блок-схема усилителя на приборе Philips BLA1011-200 мощностью 200 Вт, использующего технологию LDMOS, изображена на рис. 8. Общее усиление в 46 дБ достигается использованием трех каскадов усиления. Такой же по мощности усилитель на биполярных транзисторах состоял бы из 6 каскадов. Схема усилителя содержит внутренние согласующие цепи на входе и выходе, что упрощает разработку внешних согласующих цепей. Высокий импеданс позволяет снизить требования к точности размещения компонентов и расширить допуски параметров печатной платы. Сокращается время на окончательную настройку усилителя.

LDMOS-усилители используются не только в авиационном приборостроении. Их можно встретить в усилителях базовых станций

Таблица 1. LDMOS-транзисторы Philips Semiconductors

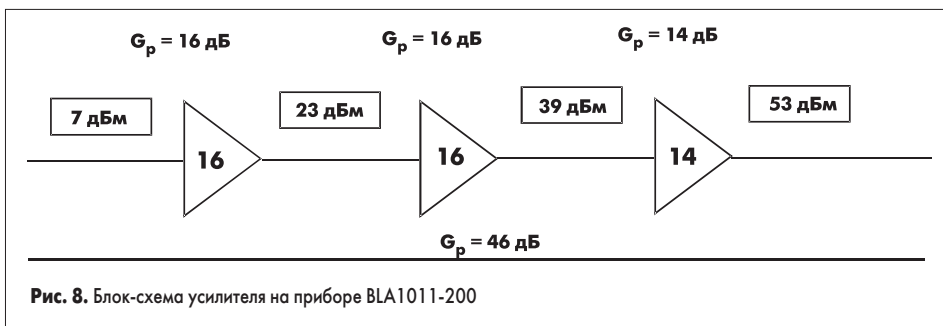
Type number	Package	Gp, Дб	PL, Вт	DESCRIPTION	Frequency, МГц	VDS, В	tp(µs)
BLA1011-10	SOT467	18	10	Avionics LDMOS RF POWER Transistor	1030 — 1090		50
BLA1011-2	SOT538	18	2	Avionics LDMOS RF POWER Transistor	1030 — 1090		50
BLA1011-200	SOT502A (LDMOST)	15	200	Avionics LDMOS RF POWER Transistor	1030 — 1090		50
BLF1043	SOT538A	>16	10	UHF power LDMOS transistor		26	
BLF1046	SOT467C (LDMOST)	16	45	UHF power LDMOS transistor	900 — 960	26	
BLF1047	SOT541 A (LDMOST)	>14	70	UHF power LDMOS transistor		26	
BLF 1820-40	SOT608	13	40	UHF power LDMOS transistor	1800 — 2000	26	
BLF 1820-70	SOT502	12	65	UHF power LDMOS transistor	1800 — 2000	26	
BLF 1820-90	SOT502	12	90	UHF power LDMOS transistor	1800 — 2000	26	
BLF1822-10	SOT467C (LDMOST)	13	10	UHF power LDMOS transistor	1800 — 2200	26	
BLF2022-120	SOT539	12	120/12avg (W-CDMA)	UHF power LDMOS transistor	2000 — 2200	28	
BLF2022-40	SOT608	11	40 / 7 avg (W-CDMA)	UHF power LDMOS transistor	2000 — 2200	28	
BLF2022-70	SOT502	12,5	65/10avg (W-CDMA)	UHF power LDMOS transistor	2000 — 2200	28	
BLF2022-90	SOT502A (LDMOST)	12,5	90/13 avg (W-CDMA)	UHF power LDMOS transistor	2000 — 2200	28	
BLF2043	SOT538A	>12	10	UHF power LDMOS transistor			
BLF2043F	SOT467	>12	10	UHF power LDMOS transistor			
BLF2045	SOT467C (LDMOST)	>10	30	UHF power LDMOS transistor			
BLF2048	SOT539A (LDMOST)	>10	120	UHF push-pull power LDMOS transistor			
BLF647	SOT540A (LDMOST)	16	150	LDMOS RF Power transistor for TV transmitters	0 — 600	32	
BLF861A	SOT540A (LDMOST)	>14	150	LDMOS RF Power transistor for TV transmitters	860	32	

Таблица 2. Транзисторы Philips Semiconductors миллиметрового диапазона для радаров

f, МГц	Vcc, В	tp, С	@, %	Мощность в нагрузке, Вт	Vcc, В	КПД, %	Керамический корпус				
							SOT422A	SOT423A	SOT439A	SOT443A	SOT445C
L-диапазон											
1,2-1,4	50	150	5	≥ 35	≥ 7	> 30					RZ1214B35Y
1,2-1,4	50	150	5	≥ 70	≥ 7	> 35					RZ1214B65Y
1,2-1,4	50	150	5	≥ 130	≥ 7	> 35				RX1214B130Y	
1,2-1,4	50	150	5	≥ 250	≥ 7	> 35				RX1214B300Y	
1,2-1,4	50	130	6	280	≥ 7	> 40				RX1214B350Y	
S-диапазон											
2,7-3,1	40	100	10	≥ 20	тип. 8	тип. 40					BLS2731-20
2,7-3,1	40	100	10	≥ 50	тип. 8	тип. 40	BLS2731-50				
2,7-3,1	40	100	10	> 110	тип. 7.5	тип. 40		BLS2731-110			

Таблица 3. Мощные импульсные транзисторы для авиации

f (MHz)	Vcc, В	tp, С	@, %	Мощность в нагрузке, Вт	Vcc, В	КПД, %	Керамический корпус			
							SOT439A	SOT440A	SOT443A	SOT448A
0,96-1,215	50	10	10	>50	>7	>42				MZ0912B50Y
0,96-1,215	50	10	10	>100	>7	>42				MZ0912B100Y
0,96-1,215	50	10	10	>235	>7	>42	MX0912B251Y			
0,96-1,215	50	10	10	>325	>7	>40	MX0912B351Y			
1,09	50	10	1	200	≥7.5	>45	MX1011B200Y			
1,09	50	10	1	650	≥6	>48	MX1011B700Y			



сетей сотовой связи, в передатчиках пейджинговой связи, в оконечных каскадах радиорелейных станций. Ниже приведен список некоторых LDMOS-приборов, а также данные по биполярным транзисторам аналогичного применения, выпускаемых Philips.

Выводы

Как было продемонстрировано выше, использование LDMOS-транзисторов значительно упрощает конструкцию усилителей и улуч-

шает их характеристики. Транспондеры, использующие технологию LDMOS, обладают отличной линейностью усиления в широком динамическом диапазоне, позволяют легко управлять усилением (путем изменения напряжения затвора LDMOS-транзистора), а также обеспечивают нулевую задержку от входа до выхода в режиме переключения. Дополни-

тельными преимуществами подобной технологии являются хорошие тепловые характеристики приборов, отсутствие токсичных компонентов и небольшое число элементов «обвязки». Хорошая технологичность прибора позволяет снизить его стоимость при массовом производстве и таким образом сделать его, еще более привлекательным для потребителя.

Литература

Hans Mollee, Steven O'Shea, Paul Wilson and Korne Vennema. High Power RF LDMOS Transistors for Avionics Applications. // Microwave Journal 2000.