

Преимущества применения биполярных транзисторов BISS

В статье рассмотрены силовые биполярные транзисторы BISS с уменьшенным напряжением насыщения и с меньшей мощностью рассеяния. Оценены преимущества и проанализированы особенности применения транзисторов BISS в различных схемах взамен традиционных биполярных транзисторов. Приведены типы, характеристики и система маркировки транзисторов BISS.

Алексей ЕГОРОВ
avd@gamma.spb.ru

Транзисторы BISS (Breakthrough in Small Signal, дословно: «прорыв в малом сигнале») — это биполярные транзисторы с улучшенными малосигнальными параметрами. Существенное улучшение параметров транзисторов BISS достигнуто за счет изменения конструкции зоны эмиттера, изображенной на рис. 1.

Здесь показано, что, по сравнению с традиционными биполярными транзисторами (ТБТ), в транзисторах BISS зона эмиттера максимально увеличена и максимально (даже двухслойно) металлизирована. Благодаря этому, ток эмиттера распределен более равномерно по всей зоне и уменьшено омическое сопротивление. В результате, в транзисторах BISS обеспечено значительное уменьшение напряжения V_{CEsat} насыщения коллектор–эмиттер. На рис. 2 приведена зависимость напряжения V_{CEsat} от тока I_C коллектора для трех поколений транзисторов BISS фирмы Nxp semiconductors.

По кривым на рис. 2 легко определить, что, например, при токе 1000 мА напряжение насыщения транзистора BISS типа PBSS302ND почти в 8 раз меньше аналогичного напряжения транзистора ТБТ BC817-40. Вследствие этого в транзисторах BISS существенно уменьшается мощность рассеяния и, соответственно, температура кристалла, то есть появляется возможность либо уменьшить габариты (корпус), либо при тех же габаритах увеличить мощность, передаваемую транзистором в нагрузку, либо увеличить максимально допустимую температуру транзистора.

Кроме того, благодаря особому выполнению зоны эмиттера, у транзисторов BISS не только понижается температура, но и существенно уменьшается градиент ее распределения по корпусу. Это обстоятельство наглядно продемонстрировано на рис. 3, где приведены результаты измерений теплового состояния тех же сравниваемых транзисторов.

Отсюда следует, что в транзисторах BISS устранены зоны локального перегрева, то есть существенно улучшен тепловой режим, в результате чего значительно повышена надежность.

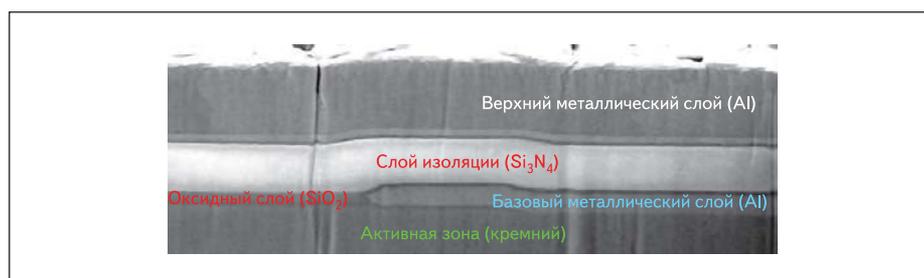


Рис. 1. Зона эмиттера транзистора BISS в разрезе

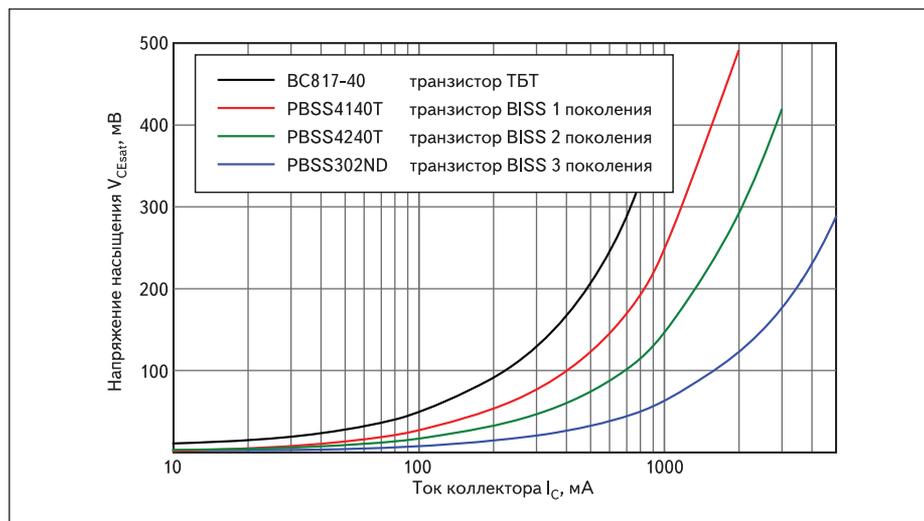


Рис. 2. Зависимость $V_{CEsat} = f(I_C)$ у транзисторов ТБТ и BISS

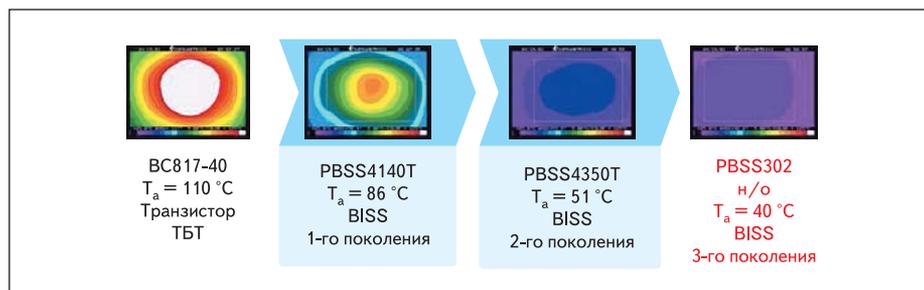


Рис. 3. Распределение тепла на поверхности корпуса транзисторов ТБТ и BISS

Транзисторы BISS применяются в диапазоне коллекторных токов до 10 А при напряжении коллектор–эмиттер до 100 В и отличаются от транзисторов ТБТ более низким напряжением насыщения, значительно меньшими габаритами, расширенным температурным диапазоном и более высокой степенью надежности.

Обобщим преимущества применения транзисторов BISS по сравнению с транзисторами ТБТ:

- уменьшение напряжения насыщения — в 8 раз;
- уменьшение мощности рассеяния;
- увеличение допустимой нагрузки по току коллектора;
- увеличение коэффициента передачи по току;
- увеличение надежности;
- повышение допустимой температуры окружающей среды;
- снижение энергопотребления, отсюда — увеличение времени функционирования автономных устройств на аккумуляторных батареях;
- снижение затрат на изготовление и эксплуатацию устройств;
- уменьшение площади печатных плат и габаритов устройств.

Рассмотрим преимущества использования транзисторов BISS взамен ТБТ в наиболее распространенных схемах.

Инвертор и эмиттерный повторитель

На рис. 4 изображены основные каскады транзисторов: инверторы и эмиттерный повторитель.

В зависимости от уровня входного напряжения транзистор в схеме инвертора (рис. 4а или рис. 4б) может находиться в режиме усиления или в режиме насыщения. В режиме усиления транзисторы BISS отличаются большим, чем в ТБТ, коэффициентом усиления по току, поэтому режим насыщения в транзисторах BISS наступает при меньшем базовом токе, а напряжение насыщения коллектор–эмиттер имеет меньшее, чем в ТБТ, значение. Инверторы, построенные на транзисторах BISS, обладают всеми перечисленными выше преимуществами.

В схеме с эмиттерным повторителем (рис. 4в) выходное (то есть эмиттерное) напряжение примерно равно напряжению

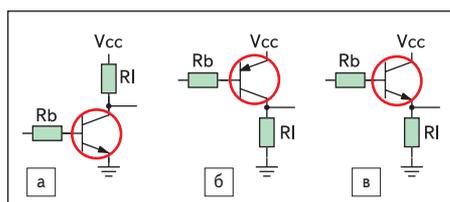


Рис. 4. Основные каскады транзисторов: а, б) инверторы; в) эмиттерный повторитель

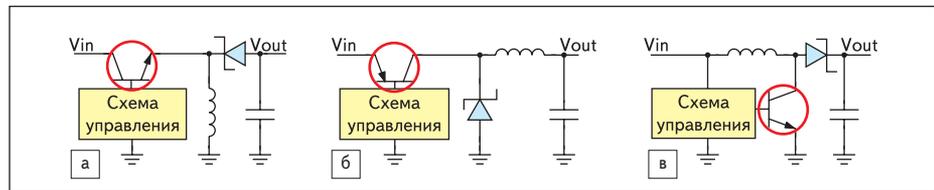


Рис. 5. Схемы конверторов постоянного тока

на базе. Поскольку коэффициент усиления по напряжению схемы примерно равен 1, то характеристики эмиттерного повторителя могут быть улучшены только за счет высокого коэффициента усиления по току и высокого значения BISS выходного тока коллектора транзистора BISS.

Управление электропитанием

Конвертор постоянного тока

Конверторы постоянного тока предназначены для преобразования значений постоянного напряжения на входе и выходе (DC/DC-конвертеры). Они широко используются для обеспечения питанием электронных устройств различной мощности: от милливатт (мобильные телефоны и PDA) до многих киловатт.

На рис. 5 показаны три типичные схемы конверторов: повышающий или понижающий напряжение (рис. 5а), понижающий напряжение (рис. 5б) и повышающий напряжение (рис. 5в). Преобразование напряжения основано на том, что по командам от контроллера изменяется интервал времени, в течение которого основной (проходной) транзистор находится в состоянии «открыт/закрыт», в результате чего изменяется среднее значение напряжения на выходе конвертора. Эффективность конверторов постоянного тока зависит от статических и динамических параметров проходного транзистора, функционирующего в режиме переключения. По своим характеристикам транзисторы BISS наилучшим образом подходят для применения в качестве проходных транзисторов конверторов, в которых они обеспечивают увеличение КПД преобразования, уменьшение мощности рассеяния тепла, увеличение срока службы и, в конечном счете, защиту окружающей среды.

Кроме рассмотренных схем конверторов, транзисторы BISS применяются в низковольтных конверторах обратного хода и в двухтактных конверторах.

Комплементарный драйвер

Комплементарный драйвер (табл. 1, рис. 6) представляет собой эмиттерный повторитель, построенный на комплементарной (взаимодополняющей) паре транзисторов разного типа проводимости. Этот драйвер используется в различных устройствах, в том числе в конверторах постоянного тока для управления КМОП-ключами. Главная задача такого драйвера: заряжать и разряжать емкость управляющего электрода с максимальным быстродей-

Таблица 1. Транзисторы BISS для комплементарных драйверов

Тип	Корпус	Характеристика
PBSS4140T/PBSS5140T	SOT23	одиночный, 1 А
PBSS4140DPN	SOT457 (SC-74)	сдвоенный, 1 А
PBSS2515YPN	SOT363 (SC-88)	сдвоенный, 0,5 А
PBSS2515VPN	SOT666	сдвоенный, 0,5 А
PBSS4140S/PBSS5140S	SOT54 (TO-92)	одиночный, 1 А
PMBT2222A/PMBT2907A*	SOT23	одиночный, 0,6 А

* — не BISS-транзисторы, только ссылка

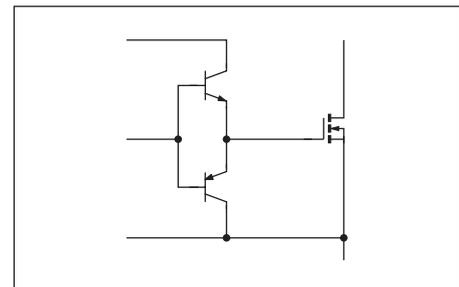


Рис. 6. Комплементарный драйвер

ствием (при допустимых токах), чтобы минимизировать потери на переключение. Кроме того, комплементарный драйвер снимает часть нагрузки со схемы управления. Высокий коэффициент усиления по постоянному току при максимальном токе коллектора и высокая нагрузочная (пиковая) способность коллектора — это важные критерии при выборе типа транзисторов. Именно в таком драйвере транзисторы BISS обладают существенными преимуществами перед другими.

Если кросс-проводимость является проблемой, то между эмиттером NPN-транзистора и затвором КМОП-транзистора устанавливается низкоомный резистор. Он не влияет на закрывание транзистора, но задерживает открывание.

Выключатель цепи питания

В автономных, а также в мобильных устройствах, питание которых осуществляется от аккумуляторной батареи (например, в ноутбуках), необходимы выключатели цепей питания секций, не участвующих в информационном процессе. В результате удается значительно увеличить ресурс батареи.

Для того чтобы уменьшить потери энергии при переключении, необходимо, чтобы падение напряжения на переключателе, то есть напряжение насыщения транзистора, было минимальным.

Таблица 2. Транзисторы BISS для выключателя цепи питания

Тип	Корпус	Характеристика
PBSS3515VS	SOT666	сдвоенный, 0,5 А
PBSS5140V	SOT666	одиночный, 1 А
PBSS5140T	SOT23	одиночный, 1 А
РЕМН-серии	SOT666	сдвоенный, RET*
PDTC-серии	разные	одиночный RET*

* Транзистор со встроенным резистором

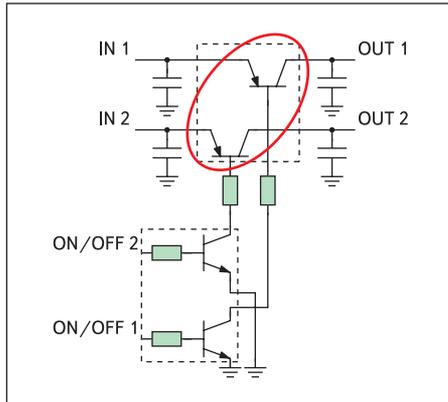


Рис. 7. Сдвоенный выключатель цепи питания

На рис. 7 показано экономичное и компактное решение этой задачи с использованием сдвоенного BISS-транзистора PBSS 3515VS и сдвоенного транзистора со встроенным резистором (RET) PEMНх. Оба транзистора размещены в ультракомпактном корпусе типа SOT666. По сравнению с транзисторами ТБТ, транзисторы BISS занимают значительно меньшую площадь печатной платы и имеют более высокую надежность и эффективность.

Интегральный регулятор напряжения

При использовании транзисторов BISS в линейном регуляторе напряжения (рис. 8) с интегральными микросхемами (например, типа MAX687, LT1123 или ADM666A) удастся увеличить допустимую нагрузку по выходному току, увеличить коэффициент усиления по току управления и значительно уменьшить падение напряжения между входом и выходом.

Обычно, при токе 0,1 А падение напряжения на транзисторе составляет 55 мВ, а при токе 1 А — 140 мВ. Благодаря тому, что вертикальный транзистор обладает большим коэффициентом усиления по току, требуется меньший управляющий (базовый) ток. Так,

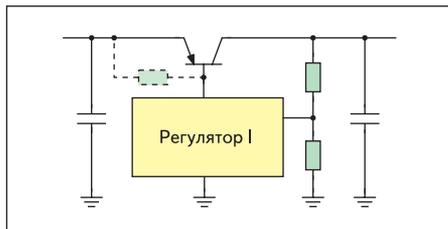


Рис. 8. Линейный регулятор напряжения

например, для транзистора PBSS5240T при $I_c = 1$ А, $I_b = 3,45$ мА.

Таким образом, как показано в таблице 3, эффективность регулятора с транзисторами BISS возрастает с 80 до 95%.

Таблица 3. Эффективность регуляторов напряжения

	Стандартный	С низким напряжением
V_{out} , В		3,3
I_{out} , А		1,0
P_{out} , Вт		3,3
V_{drop} , В	1,0	0,1
P_{in} , Вт	4,3	3,4
η , %	77	97

Регуляторы с низким падением напряжения более чувствительны к емкости нагрузки. Эта зависимость возникает из-за операции инвертирования, которую выполняет проходной транзистор PNP.

Регулятор с низким падением напряжения можно построить по схеме рис. 9 с таким же улучшением параметров проходного транзистора, как указано ранее.

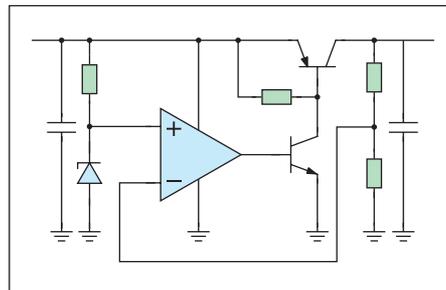


Рис. 9. Регулятор с низким падением напряжения

Рекомендуемые типы транзисторов указаны в таблице 4.

Таблица 4. Транзисторы BISS для регулятора напряжения

Тип	Корпус	Характеристика
PBSS5540Z	SOT223 (SC-73)	одиночный, 5 А, 2 Вт
PBSS5350Z	SOT223 (SC-73)	одиночный, 3 А, 2 Вт
PBSS5340D	SOT457 (SC-74)	одиночный, 3 А, 0,75 Вт
PBSS5350S	SOT54 (TO-92)	выводной, 3 А, 0,83 Вт

Зарядное устройство батареи

В современных зарядных устройствах батарей применяются прогрессивные технические решения: непрерывное измерение напряжения батареи, измерение тока зарядки, а также температуры. Эти решения можно выполнить с помощью контроллеров и интегральных схем. Для многих интегральных схем необходим внешний дискретный выходной каскад, обеспечивающий управление токами порядка 10 А. Транзисторы BISS (табл. 5, 6), обладающие низким напряжением насыщения, высоким коэффициентом усиления и высокой нагрузочной способностью по току, наилучшим образом подходят для таких устройств.

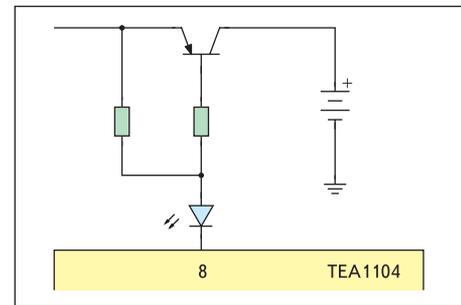


Рис. 10. Выходной каскад зарядного устройства

Таблица 5. Транзисторы BISS для зарядного устройства

Тип	Корпус	Характеристика
PBSS5540Z	SOT223 (SC-73)	один., 5 А, 2 Вт
PBSS5350Z	SOT223 (SC-73)	один., 3 А, 2 Вт
PBSS5340D	SOT457 (SC-74)	один., 3 А, 0,75 Вт
PBSS5350S	SOT54 (TO-92)	выводной, 3 А, 0,83 Вт

Таблица 6. Параметры транзисторов ТБТ и BISS для зарядного устройства

Тип транзистора (корпус)	Транзисторы	
	ТБТ	BISS
Макс. напряжение коллектор-эмиттер, В	22	50
Макс. ток I_c , А	4	3
Мин. коэфф. усиления по току при $I_c = 2$ А	50	100
Макс. напряжение насыщения при $I_c = 2$ А, В	0,5	0,3

На рис. 10 показано подключение транзистора BISS к микросхеме мониторинга состояния и быстрой зарядки NiCd и NiMn батарей TEA1104 фирмы NXP (www.nxp.com). Если в выходном каскаде использовать транзистор BISS вместо рекомендованного в спецификации TEA1104 транзистора BD434, то можно существенно уменьшить габариты зарядного устройства.

Устройство питания экономичных люминесцентных ламп

Для питания люминесцентной лампы с холодным катодом (CCFL) необходим источник высокого напряжения. Альтернативой балластному драйверу UBA2070 фирмы NXP

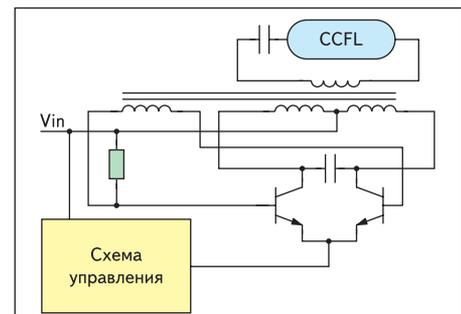


Рис. 11. Резонансная двухтактная схема питания экономичной люминесцентной лампы

Таблица 7. Транзисторы для экономичных люминесцентных ламп

Тип	Корпус	Характеристика
PBSS4140U	SOT323	один., 1 А
PBSS4140T	SOT23	один., 1 А
PBSS4240T	SOT23	один., 2 А
PBSS4140S	SOT54 (TO-92)	выводной, 1А

является двухтактный конвертор, показанный на рис. 11. Схема содержит микросхему управления (например, UCC3973, LT1172, MAX1610), резонансный двухтактный каскад и высоковольтный каскад. Для повышения эффективности схемы в качестве транзисторов двухтактного каскада целесообразно применять транзисторы BISS (табл. 7).

Периферийный драйвер

Простой драйвер нагрузки

Для переключения больших токов в реле, лампах и двигателях используются транзисторы в схемах инвертора или эмиттерного повторителя (рис. 4). Благодаря высокой нагрузочной способности по току коллектора и высокому коэффициенту усиления по току, в таких устройствах целесообразно применять транзисторы BISS. Кроме того, в низковольтных схемах для обеспечения эффективной передачи энергии в нагрузку необходимо использовать транзисторы BISS, имеющие пониженное напряжение насыщения коллектор-эмиттер.

Так, например, при использовании транзистора BISS типа PBSS4350T в схеме с напряжением питания 3 В, напряжение на нагрузке составляет 2,9 В. При использовании в этой же схеме транзистора ТБТ типа BC817 напряжение составляет 2,3 В.

Известно, что входное сопротивление эмиттерного повторителя высоко, то есть является пренебрежимо малой нагрузкой для источника. Выходное сопротивление эмиттерного повторителя — низкое, что облегчает согласование с нагрузкой. Если нагрузка индуктивна, то для защиты транзистора от избыточного напряжения применяется шунтирующий диод.

Драйвер матрицы светодиодов

На рис. 12 показана выходная часть светодиодного дисплея, которая используется в больших графических дисплеях и в дисплеях типа «бегущая строка». Выходная часть может содержать сотни светодиодов, для которых требуется множество линий управления, если каждым светодиодом управлять по отдельности. Современное решение состоит в том, что светодиоды объединены в матрицу, при управлении которой удастся значительно сократить число требуемых драйверов и проводов.

Каждый светодиод матрицы питается импульсным током. Для обеспечения того же среднего значения, которое было бы при пи-

Таблица 8. Характеристики транзисторов ТБТ и BISS для матрицы светодиодов

Функции	Транзисторы ТБТ		BISS-транзисторы	
	Драйвер столбца	Драйвер строки	Драйвер столбца	Драйвер строки
	BC817-40 (SOT23)	BDP32 (SOT223)	PBSS4350T (SOT23)	PBSS5540Z (SOT223)
Макс. напр. коллектор-эмиттер, В	45	45	50	40
Импульсный ток коллектора I_C , А	0,5	5	0,5	5
Минимальный коэффициент усиления по току	40	20 (тип.)	300	50
Ток базы, необходимый для насыщения, мА	<12,5	250	<1,7	<100
Максимальное напряжение насыщения, В	0,7	>1	0,09	+ 0,375
Результирующее падение напряжения, В	1,7		0,465	

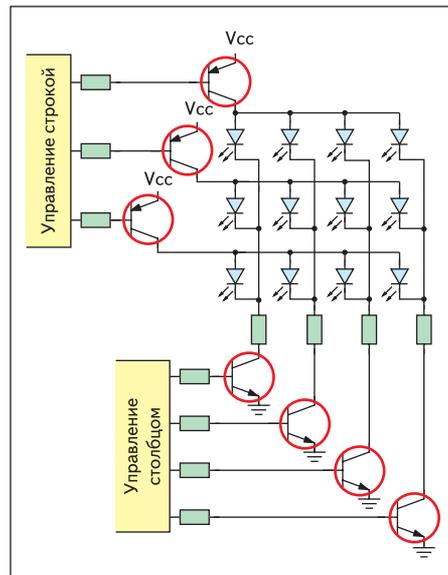


Рис. 12. Транзисторы BISS в схеме управления матрицей светодиодов

тании постоянным током, значение тока в импульсе должно быть увеличено с учетом скважности: $I_{pulse} = I_{cont} / \text{цикл}$. Например, если постоянный ток в столбце из 25 светодиодов должен составлять 20 мА, то при рабочем цикле 4% ток в импульсе должен составлять 500 мА.

Для использования преимуществ матричной конфигурации требуются транзисторы с высокой нагрузочной способностью по току. Каждый транзистор драйвера столбца должен выдерживать импульсный ток, равный 500 мА, и каждый драйвер строки должен выдержи-

вать импульсный ток, равный $n \times 500$ мА, где n — число рядов.

Кроме того, поскольку транзисторы управляются стандартной логической схемой с ограниченной нагрузочной способностью по току, важно, чтобы транзистор имел высокий коэффициент усиления по току, как в транзисторах BISS. Например, при токе базы 1,7 мА обеспечивается насыщение транзистора BISS типа PBSS4350T при токе коллектора $I_C = 500$ мА.

В связи с тем, что логические элементы не могут обеспечить управление базовым током 100 мА, для драйвера строки требуется дополнительный буфер на транзисторах ТБТ, на парах транзисторов (например, BC847BS), на транзисторах с дополнительным резистором (например, RET) или на парах транзисторов с дополнительными резисторами.

В том случае, когда напряжение питания составляет 5 В, большое значение имеет величина напряжения насыщения транзистора, так как напряжения насыщения транзисторов драйверов столбца и строки суммируются.

В таблице 8 для сравнения приведены характеристики транзисторов ТБТ и BISS, которые используются в таких схемах.

Драйверы двигателей

На рис. 13 показана схема управления 4-фазным шаговым двигателем, который используется, например, в сканерах, копирах и в некоторых устройствах автомобилей. На рис. 14 показана мостовая схема управления реверсивным двигателем. В таких схемах с помощью дискретных биполярных транзисторов осуществляется согласование стан-

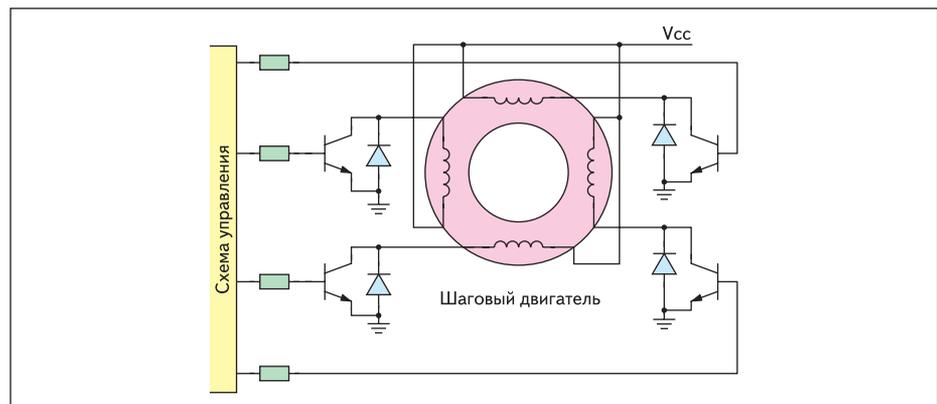


Рис. 13. Драйвер 4-фазного шагового двигателя

Таблица 9. Транзисторы BISS для драйверов двигателей

Тип	Корпус	Характеристика
PBSS2515VS	SOT666	сдвоенный, 0,5 А
PBSS4350D/PBSS5350D	SOT457 (SC-74)	одиночный, 3 А
PBSS4540Z/PBSS5540Z	SOT223 (SC-73)	одиночный, 5 А
PBSS4140S/PBSS5140S	SOT54 (TO-92)	выводной, 1 А
PBSS4350S/PBSS5350S	SOT54 (TO-92)	выводной, 3 А

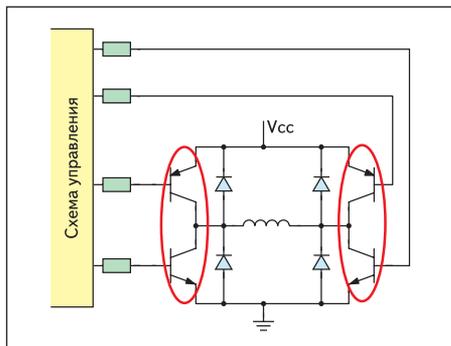


Рис. 14. Мостовой драйвер двигателя

дартных интегральных микросхем (контроллеров) с цепями управления двигателями.

При использовании транзисторов BISS, обладающих низким напряжением насыщения, повышается эффективность драйвера двигателя, особенно при низком напряжении питания. Это важно, поскольку значения напряжения насыщения транзисторов (рис. 14) суммируются.

Таблица 10. Транзисторы ТБТ и BISS для мостовых схем

Полярность	Транзисторы ТБТ		BISS-транзисторы	
	NPN	PNP	NPN	PNP
Тип транзистора (корпус)	BC817-40 (SOT23)	BC807-25 (SOT23)	PBSS4350T (SOT23)	PBSS5350T (SOT23)
Макс. напр. коллектор-эмиттер, В	45		50	
Импульсный ток коллектора I_c , А	0,5		0,5	
Минимальный коэффициент усиления по току	40	40	300	200
Ток базы, необходимый для насыщения, мА	<12,5	<12,5	<1,7	<2,5
Максимальное напряжение насыщения, В	0,7	+	0,09	+
Падение напряжения, В	<1,4		<0,18	

Таблица 11. Типы транзисторов BISS

Код	Корпус	I_c					V_{CE0}					Тип, одиночный		Тип, сдвоенный		
		0,5 А	1 А	2 А	3 А	5 А	15 В	20 В	40 В	50 В	NPN	PNP	2xNPN	2xPNP	NPN/PNP	
		PBSS...	PBSS...	PBSS...	PBSS...	PBSS...	PBSS...	PBSS...	PBSS...	PBSS...	PBSS...	PBSS...	PBSS...	PBSS...	PBSS...	
1608	SOT490 (SC-89)	x					x				...2515F	...3515F				
1612	SOT666	x					x						...2515VS	...3515VS	...2515VPN	
1608	SOT490 (SC-89)	x						x		...2540F	...3540F					
1612	SOT666		x					x		...4140V	...5140V					
1612	SOT666			x				x		...4240V*	...5240V*					
2012	SOT363 (SC-88)	x					x							...2515YPN		
2012	SOT323 (SC-70)		x					x		...4140U	...5140U					
2012	SOT363 (SC-88)			x				x		...4240Y	...5240Y					
2913	SOT23		x					x		...4140T	...5140T					
2915	SOT457 (SC-74)		x					x		...5140D				...4140DPN		
2915	SOT457 (SC-74)			x				x						...4220DPN*		
2913	SOT23			x				x		...4240T	...5240T					
2913	SOT23				x			x		...4320T	...5320T					
2915	SOT457 (SC-74)				x			x		...5320D						
2913	SOT23				x			x		...4350T	...5350T					
2915	SOT457 (SC-74)				x			x		...4350D	...5350D					
6535	SOT223 (SC-73)				x			x		...4350Z	...5350Z					
6535	SOT223 (SC-73)					x		x		...4540Z	...5540Z					
выводной	SOT54 (TO-92)		x					x		...4140S	...5140S					
выводной	SOT54 (TO-92)				x			x		...4350S	...5350S					

* — разрабатывается. Приведена линейка NXP Semiconductors на апрель 2002 г.

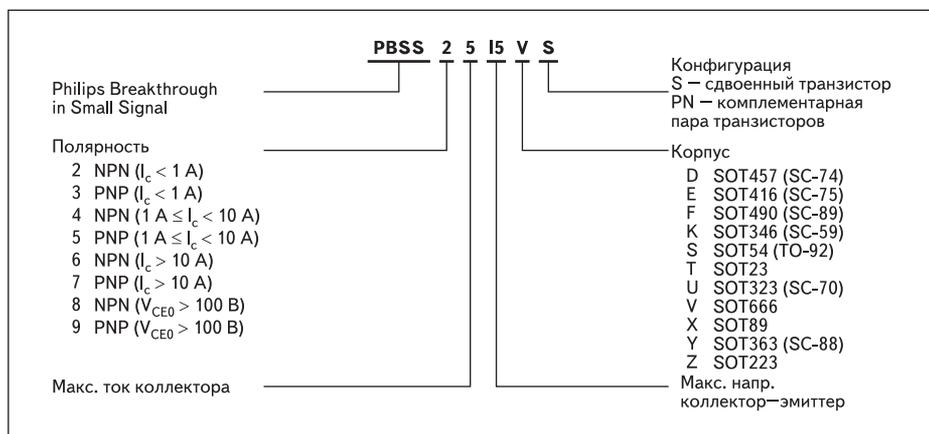


Рис. 15. Маркировка транзисторов BISS

Кроме того, в связи с уменьшенной мощностью рассеяния можно использовать транзисторы BISS в маленьких и дешевых корпусах, например SOT457/SC-74 вместо SOT223/SC-73.

Выводы

При использовании транзисторов BISS (табл. 11, рис. 15) взамен традиционных биполярных транзисторов удастся реализовать следующие преимущества:

1. Повышается эффективность схемы, благодаря уменьшению напряжения насыщения коллектор-эмиттер.
2. Уменьшается мощность рассеяния, увеличивается допустимая окружающая температура.
3. Увеличивается коэффициент усиления по току, увеличивается допустимый ток коллектора.
4. Уменьшаются габариты, снижается стоимость изделий. ■