

Применение MOSFET транзисторов NXP Semiconductors в электронике

История развития транзисторов

Рождение твердотельной электроники можно отнести к 1833 году. Именно тогда Майкл Фарадей экспериментируя с сульфидом серебра, обнаружил, что проводимость данного вещества растет с повышением температуры, в противоположность проводимости металлов, которая в этом случае уменьшается. Это явление Фарадей не смог объяснить.

Следующим этапом в развитии твердотельной электроники стал 1874 год, когда немецкий физик Фердинанд Браун опубликовал свою статью в одном из журналов, где он описал важнейшее свойство полупроводников (на примере серных металлов) – возможность проводить ток только в одном направлении. Браун тщетно пытается объяснить, противоречащее закону Ома, выпрямляющее свойство контакта полупроводника с металлом, проводя все новые и новые исследования. Браун не сумел объяснить такое свойство полупроводников и его современники не уделили должного внимания этому явлению.

Появление транзистора в XX веке стало переломным моментом в развитии электроники. Это изобретение связано со многими именами великих ученых.

В 1906 году американский инженер Гринлиф Виттер Пикард получил патент на кристаллический детектор. Такой детектор представлял собой тонкий металлический проводник, с помощью которого осуществлялся контакт с поверхностью металла. Появление множества конструкций такого детектора, не принесло желаемых результатов, а появление в это время электронных ламп сводит на нет все усилия создать полупроводниковое устройство отвечающее требованиям того времени.

Первые патенты на принцип работы полевых транзисторов были зарегистрированы в Германии в 1928 году на имя Юлия Эдгара Лиленфельда. Немецкий физик Оскар Хейл в 1934 году запатентовал полевой транзистор.

Полевые транзисторы основаны на простом электростатическом эффекте поля, по физическим процессам они проще биполярных транзисторов, и поэтому они придуманы и запатентованы, задолго до биполярных транзисторов. Тем не менее, первый МОП-транзистор, составляющий основу микроэлектроники, был изготовлен позже биполярного транзистора в 1960 году. И только в 90-х годах XX века во времена лавинного развития компьютерной техники, МОП-технология получила массовое распространение и стала доминировать над биполярной.

Так только в 1947 году Уильям Шокли, Джон Барди и Уолтер Браттейн в лабораториях компании Bell Labs впервые создали действующий биполярный транзистор, который был продемонстрирован 16 декабря того же года. 23 декабря состоялась официальная церемония демонстрации транзистора в действии, и эта дата считается днем изобретения транзистора.

Транзистор получил свое настоящее наименование не сразу, предлагались различные варианты его наименования «полупроводниковый триод» (semiconductor triode), «твердый триод» (solid triode), «триод поверхностного состояния» (surface states triode), «кристаллический триод» (crystal triode) и «lotatron», но в итоге было принято название предложенное Джоном Пирсом транзистор (transistor от англ. transfer – переносить и resistance - сопротивление).

Первоначально название «транзистор» относилось к резисторам, управляемым напряжением, схематически транзистор можно представить именно в таком виде, как некое сопротивление, регулируемое напряжением на одном электроде (в полевых транзисторах – напряжение между затвором и истоком, в биполярных – напряжение между базой и эмиттером).

Транзистор структура, основные понятия и принципы работы

Транзистор – полупроводниковый электронный элемент, как правило, с тремя выводами, позволяющий входным сигналом управлять током в электрической цепи.

Биполярный транзистор

Биполярный транзистор построен на основе трехслойного кристалла с двумя близко расположенными *pn*-переходами (рис.1).

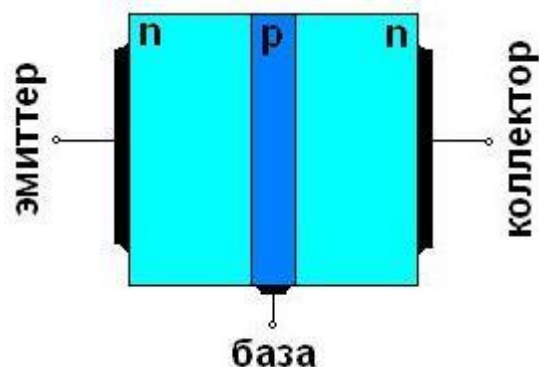


Рисунок 1. Структура NPN биполярного транзистора

В транзисторе имеются три области: эмиттер, база, коллектор. В соответствии с расположением pn – переходы называются эмиттер-база – *эмиттерным*, база коллектор – *коллекторным*.

В зависимости от типа проводимости слоев различают два типа транзисторов: pnp и npn . Принцип работы обоих типов транзисторов одинаковый, разница только в проводимости.

Управление токов в выходной цепи осуществляется за счет изменения входного напряжения или тока. Небольшое изменение входных величин может приводить к существенно большему изменению выходного напряжения и тока. Такое свойство усиливать сигналы широко используется в аналоговой технике. На рис. 2 наглядно показан принцип усиления сигнала в транзисторе, основанный на вольтамперной характеристике (ВАХ) транзистора, и чем круче ВАХ, тем больше коэффициент усиления.

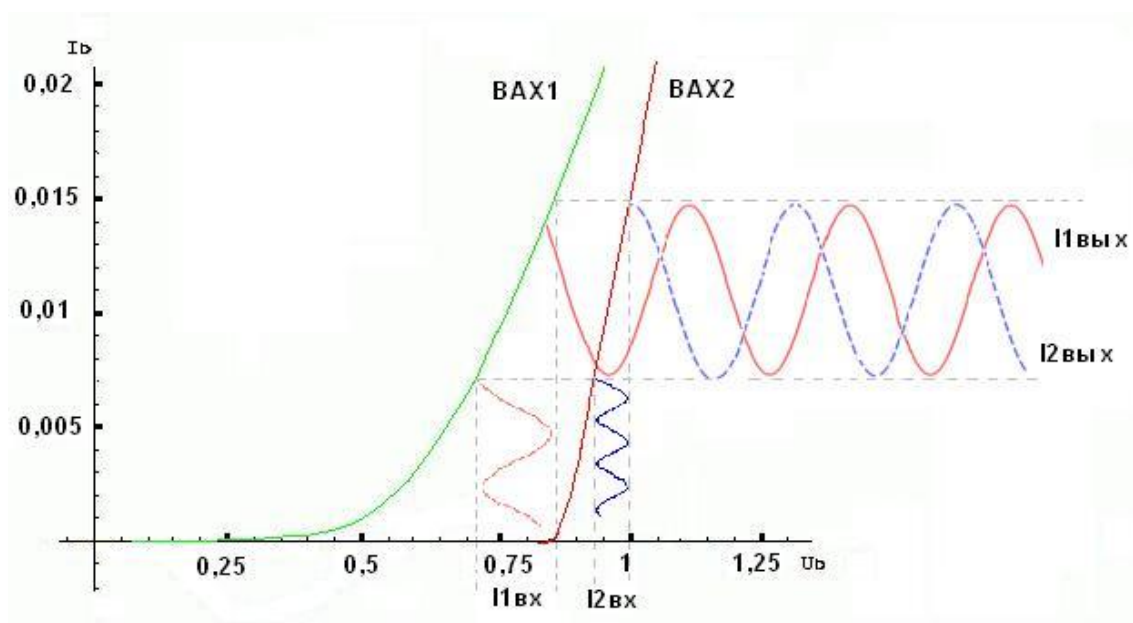


Рисунок 2. Принцип усиления аналогового сигнала в транзисторе

MOSFET транзистор

В настоящее время на рынке аналоговой техники доминируют биполярные транзисторы (международный термин биполярного транзистора – bipolar junction transistor (BJT)). В другой важнейшей отрасли электроники – цифровой технике (логика, память, микроконтроллеры, цифровая связь и тп.) биполярные транзисторы практически полностью вытеснены полевыми транзисторами.

Вся современная цифровая электроника построена, в основном, на полевых МОП (метал-оксид-полупроводник) транзисторах, как более экономичных, по сравнению с биполярными транзисторами. Иногда МОП-транзисторы называют МДП (металл-диэлектрик-полупроводник). Международный термин таких транзисторов – MOSFET (metal-oxide-semiconductor field effect transistor). Существуют два типа MOSFET транзисторов n-канальные и p-канальные. На рис. 3

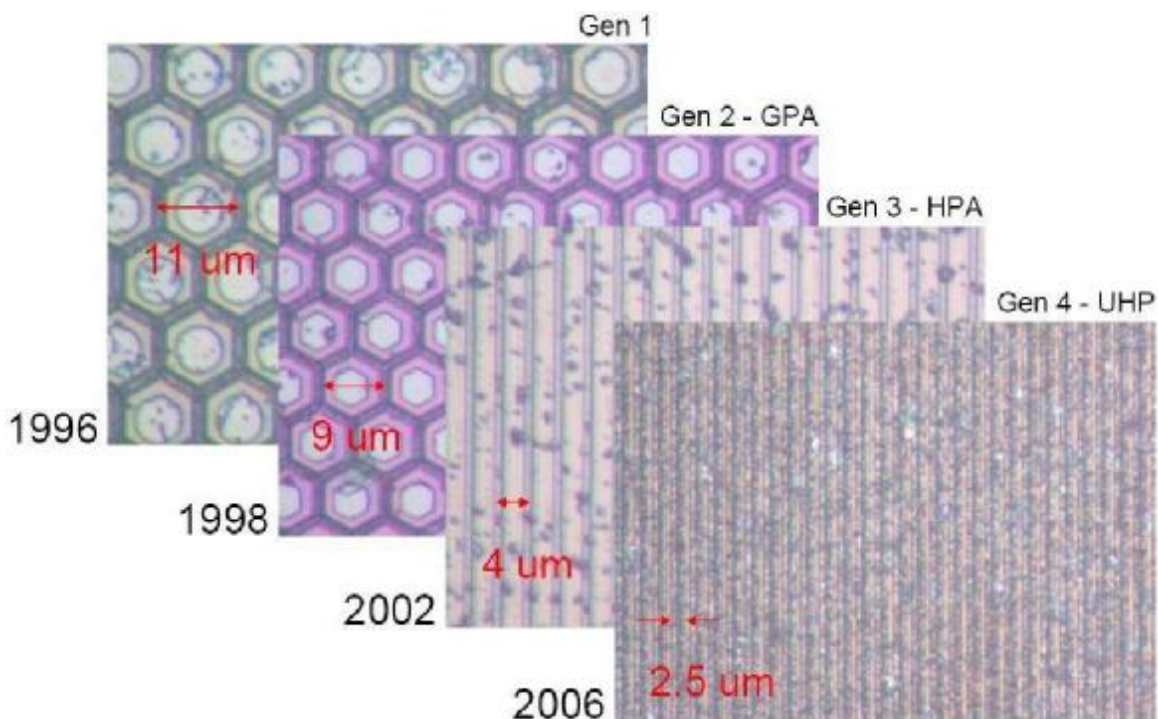


Рисунок 4. Развитие технологии TrenchMOS

Развитие этой технологии позволило увеличить компактность кристалла и снизить сопротивление открытого канала $R_{DS(ON)}$ (потери в канале) в несколько раз, а так же снизить стоимость таких транзисторов.

Противоречивые требования к MOSFET транзисторам, с одной стороны минимальное сопротивление открытого канала $R_{DS(ON)}$, с другой стороны минимальный заряд затвора Q_G , прежде всего, приводили разработчиков электроники к необходимости выбора различных марок транзисторов для работы в тех или иных каскадах. К тому же возникала потребность выбора оптимального соотношения занимаемой площади и рассеиваемой мощности транзисторов. По мере совершенствования технологий производства MOSFET транзисторов производители предлагали различные варианты построения корпусов.

Эффективность MOSFET транзисторов основана не только на технологии получения кристалла, но и на корпусе в который данный кристалл установлен. Наиболее эффективными корпусами для MOSFET транзисторов признаны корпуса, предназначенные для SMD (поверхностного) монтажа, которые обеспечивают максимальную удельную мощность рассеяния. Совокупность совершенствования технологии получения кристаллов и компактность корпусов MOSFET транзисторов предоставляют производителям достаточно широкое поле для разработок.

Так наряду со стандартными корпусами TO-220, DPAK, D2PAK и SO, компания NXP

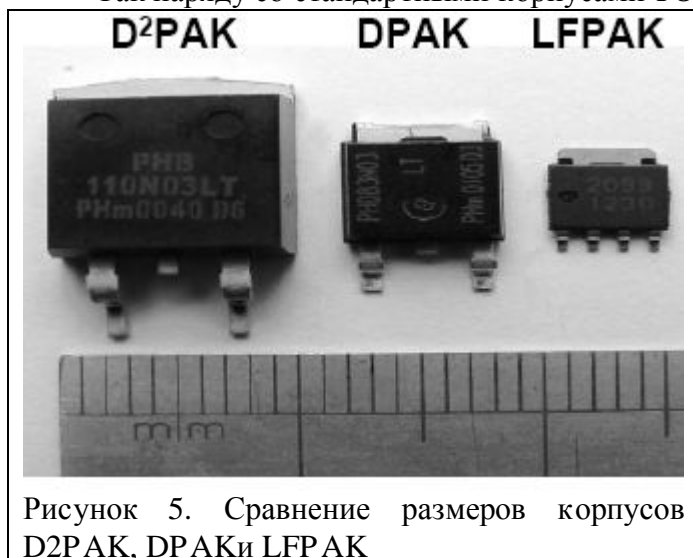


Рисунок 5. Сравнение размеров корпусов D2PAK, DPAK и LFPAK

выпустила на рынок транзисторы MOSFET изготовленные по технологии шестого поколения Trench 6, в корпусе LFPAK (Loss Free Package). Комбинация технологии шестого поколения Trench с высокоэффективной упаковкой LFPAK увеличивают надежность транзисторов и расширяют границы применения. Транзисторы обладают малым сопротивлением до 1 мОм и высокой рабочей температурой.

Преимущества транзисторов NXP в корпусе LFPAK, очевидны, проведем их краткий анализ, для сравнения возьмем самые популярные корпуса D2PAK, DPAK,

SO8. На рисунке 5 показаны габаритные соотношения этих корпусов, из которого очевидно преимущество корпуса LFPАК. Расчет площади занимаемой D2PAK, DPAK и LFPАК показывает, что экономия места, при применении транзисторов в корпусе LFPАК, достигает 75 и 46% соответственно.

При примерно соизмеримой площади занимаемой MOSFET транзисторами в корпусе SO8, корпус LFPАК имеет небольшое преимущество по высоте. Конструкция корпуса LFPАК, толщиной всего 1,1 мм, позволяет добиться оптимальных показателей по отводу тепла, обеспечивая дополнительный путь отвода тепла с верхней части корпуса, что позволяет при необходимости более эффективно использовать радиатор. Кроме того, корпус LFPАК имеет на 50% меньшую паразитную индуктивность, что делает транзисторы в этом корпусе идеальным для применения в мощных высокочастотных схемах.

На рисунке 6 показаны результаты терфографии MOSFET транзисторов в корпусах SO8, DPAK и LFPАК. Данные измерения были проведены при прочих равных условиях,

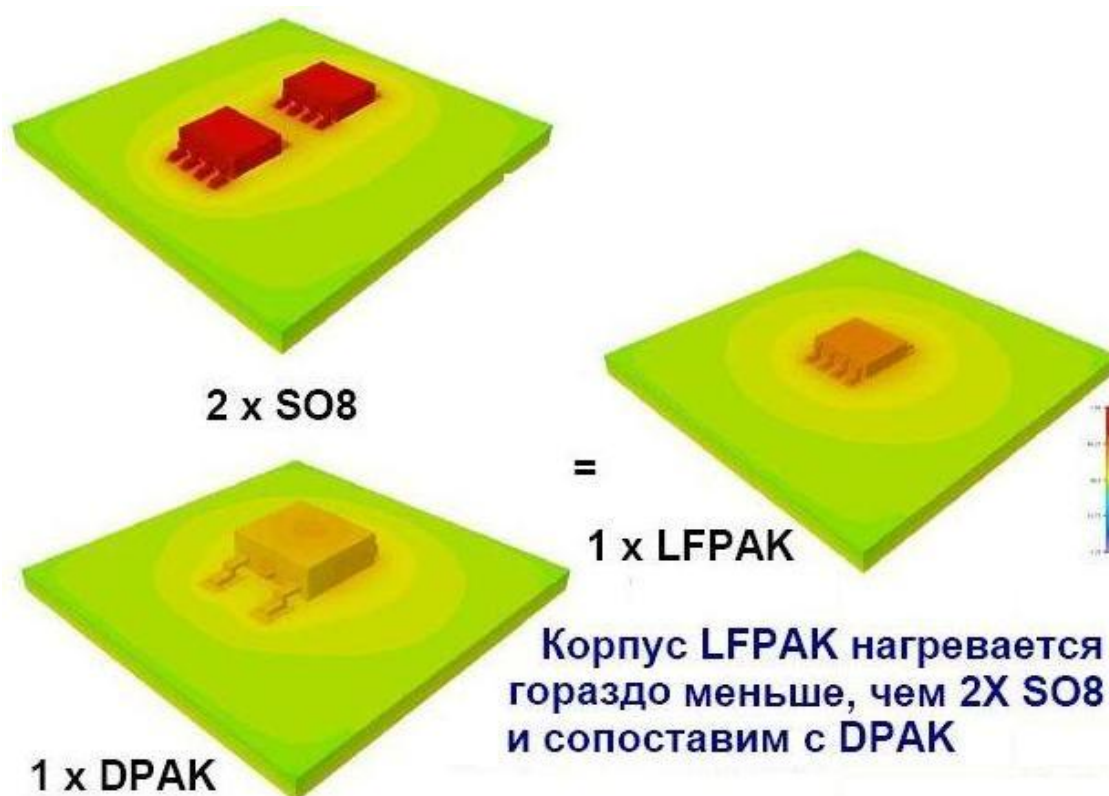


Рисунок 6. Результаты терфографии SO8, DPAK, LFPАК.

рассеиваемая мощность на поверхности корпусов примерно 1Вт. Исключительные термические свойства корпуса LFPАК наилучшим образом влияют на производительность MOSFET транзисторов, и в ряде случаев это позволяет применить разработчикам два транзистора в корпусе LFPАК вместо трех транзисторов в корпусе SO8.

Компания NXP является одной из ведущих фирм в производстве электроники для автомобильных приложений. В портфолио компании для автомобильной электроники можно найти CAN, LIN, FlexRay трансиверы, и контроллеры, MOSFET транзисторы, автомобильные датчики (магниторезистивные, температурные), мультимедийные микросхемы, микросхемы-корректоры фар, защитные (TVS) диоды.

Расширяя портфолио MOSFET транзисторов для автомобильных применений, компания NXP разработала семейство MOSFET транзисторов TrenchPLUS с дополнительными функциями защиты и измерения температуры. Транзисторы семейства TrenchPLUS были разработаны и квалифицированы к соответствующему стандарту AEC для использования в особо важных системах автомобиля, например: тормозные системы (ABS), системы управления (ЭМУР).

На рисунке 7 показана функциональная блок-схема устройства транзисторов семейства TrenchPLUS.

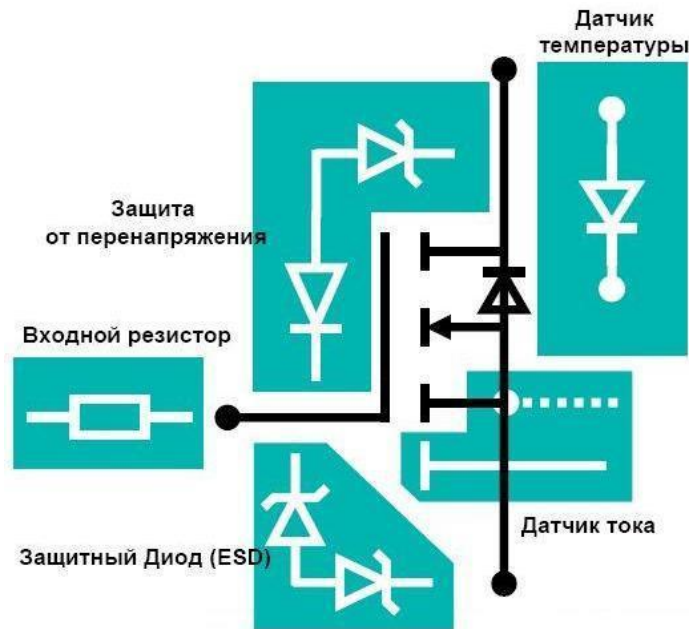


Рисунок 7. Устройство транзисторов семейства TrenchPLUS

Наличие встроенного датчика тока в силовом MOSFET транзисторе позволяет эффективно защищать выходные цепи устройств от перегрузок по току и коротких замыканий. При таком построении транзистора повышается надежность прибора и снижается его стоимость, т.к. отпадает необходимость в использовании навесных элементов.

MOSFET транзисторы NXP, изготовленные по технологии TrenchMOS, представляют собой матрицу из нескольких тысяч полевых транзисторов с изолированным затвором, размещенных на одном кристалле, каналы которых соединены параллельно. Поскольку все транзисторы матрицы идентичны, протекающий ток, а значит и тепловая энергия, равномерно распределяются по всему кристаллу. К тому же параллельное соединение позволяет уменьшить сопротивление открытого канала.

Кроме того, такая конфигурация позволяет изолировать соединенные истоки нескольких ячеек и вывести их с кристалла отдельным выводом. Такой прибор может быть представлен в виде двух MOSFET транзисторов с объединенным стоком, затвором и отдельными истоками (рис.8). В случае открытого канала ток нагрузки будет распределяться в отношении, пропорциональном сопротивлению каналов. Ток истока датчика тока значительно меньше тока истока основного силового транзистора. При этом токи пропорциональны площадям, занимаемым элементами на кристалле, и их отношение обычно составляет $n=500:1$ (отношение тока истока основного транзистора к току истока датчика тока). Это отношение называется «sense ratio», и оно определено для случая, когда потенциалы истоков датчика тока и основного силового транзистора равны. Дополнительный отвод от области истока основного силового транзистора (отвод Кельвина) позволяет передать в анализирующую цепь точное значение потенциала.

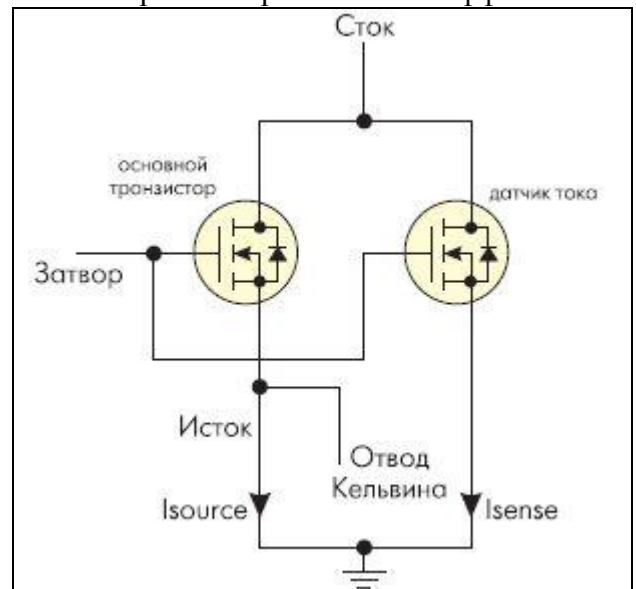


Рисунок 8. Эквивалентная схема MOSFET транзистора TrenchPLUS с датчиком тока

Таблица 1. MOSFET транзисторы NXP							
P/N	Корпус	Тип канала	V _{DS} В	R _{DSon} (V _{GS} =10В) мОм	R _{DSon} (V _{GS} =4,5В) мОм	I _D А	P _{tot} макс Вт
PMN28UN	SC-74	N	12		34	5,7	1,75
BSH205	SOT23	P	-12		400	-0,75	0,417
BSH207	SC-74	P	-12		120	-1,52	0,417
PHK04P02T	SO8	P	-16		120	-4,66	5
PMV31XN	SOT23	N	20		37	5,9	2
PH3120L	LFPАК	N	20	2,65	3,7	100	62,5
PHKD6N02LT	SO8	N	20			10,9	4,17
PHD38N02LT	DPAK	N	20			44,7	57,6
PMV65XP	SOT23	P	-20		76	-3,9	1,92
PMK50XP	SO8	P	-20		50	-7,9	5
PHP78NQ03LT	TO-220AB	N	25	9		75	93
PH2925U	LFPАК	N	25		3	100	62,5
PHU97NQ03LT	IPAK	N	25	6,6		75	107
PHD108NQ03LT	DPAK	N	25	6		75	187
PSMN1R2-25YL	LFPАК2	N	25	1,2	1,85	100	121
PHB66NQ03LT	D2PAK	N	25	10,5		66	93
PHN210T	SO8	N	30	100	200	3,4	
PSMN4R3-30PL	TO-220AB	N	30	4,3	06,2	100	103
SI2304DS	SOT23	N	30	117	190	1,7	0,83
PH6030L	LFPАК	N	30	6	09,7	76,7	62,5
BUK9213-30A	DPAK	N	30	11	14,4	75	150
PMV40UN	SOT23	N	30		47	4,9	1,9
BUK762R7-30B	D2PAK	N	30	2,7		75	300
BUK7E2R7-30B	I2PAK	N	30	2,7		75	300
PHU101NQ03LT	IPAK	N	30	5,5		75	166
PSMN1R3-30YL	LFPАК2	N	30	1,3	1,95	100	121
BUK7607-30B	D2PAK	N	30	7		157	
PMK35EP	SO8	P	-30	19		-14,9	6,9
BSH203	SOT23	P	-30		900	-0,47	0,417
PSMN004-36B	D2PAK	N	36	4		75	230
BUK7905-40A TE	TO-220-5	N	40	5		75	272
PSMN4R0-40YS	LFPАК	N	40	4,2		100	106
BUK9609-40B	D2PAK	N	40	7		75	157
BUK9209-40B	DPAK	N	40	7		75	167
BUK752R3-40C	TO-220AB	N	40	2,3		100	333
BUK7E2R3-40C	I2PAK	N	40	2,3		100	333
BSN20	SOT23	N	50	15000		0,173	0,83
BSS84	SOT23	P	-50	10000		-0,13	0,25
OC1005	TO-220AB	N	55	7,1		75	
BUK7107-55A TE	D2PAK	N	55	7		75	272
PSMN005-55P	TO-220AB	N	55	5,8		75	230
PH1955L	LFPАК	N	55	17,3	21	40	75
BUK7237-55A	DPAK	N	55	37		32,3	77
BSH111	SOT23	N	55		4000	0,335	0,83
BUK9MGP-55PTS	SO20	N	55	22,6	27,9	10,7	3,9
BUK7E11-55B	I2PAK	N	55	11		75	157
PHB32N06LT	D2PAK	N	60		43	34	97
PHP32N06LT	TO-220AB	N	60		43	34	97
BSH112	SOT23	N	60	5000	5300	0,3	0,83
PMF3800SN	SC-70	N	60	4500	5300	0,26	0,56
PSMN004-60B	D2PAK	N	60	3,6		75	230
PMR780SN	SC-75	N	60	920	1400	0,55	0,53
2N7002	SOT23	N	60	5000	5300	0,3	0,83
PHD3055E	DPAK	N	60	150		10,3	33
PMZ760SN	SC-101	N	60	900	1600	1,22	2,5

BSH201	SOT23	P	-60	2500	3750	-0,3	0,417
PHB160NQ08T	D2PAK	N	75	5,6		75	300
BUK9516-75B	TO-220AB	N	75	14		67	157
BUK7909-75ATE	TO-220-5	N	75	9		75	272
PH3075L	LFPAK	N	75	28	34	30	75
BUK7E4R3-75C	I2PAK	N	75	4,3		100	333
BUK9217-75B	DPAK	N	75	15		64	167
PSMN012-80PS	TO-220AB	N	80	11		74	148
PSMN013-80YS	LFPAK	N	80	12,9		60	106
BSP110	SC-73	N	100			0,52	6,25
BUK7510-100B	TO-220AB	N	100	10		75	300
BUK9Y53-100B	LFPAK	N	100	49		23	75
PHKD3NQ10T	SO8	N	100	90		3	2
BSH114	SOT23	N	100	500		0,85	0,83
PSMN015-100B	D2PAK	N	100	15		75	300
PSMN025-100D	DPAK	N	100	25		47	150
PSMN7R0-100ES	I2PAK	N	100	6,8		100	269
PHP45NQ11T	TO-220AB	N	105	25		47	150
PSMN015-110P	TO-220AB	N	110	15		75	300
PHP27NQ11T	TO-220AB	N	110	50		27,6	107
PSMN063-150D	DPAK	N	150	63		29	150
PHP28NQ15T	TO-220AB	N	150	65		28,5	150
PHB45NQ15T	D2PAK	N	150	42		45,1	230
PHK5NQ15T	SO8	N	150	75		5	6,25
PSMN059-150Y	LFPAK	N	150	59		43	113
PHP20NQ20T	TO-220AB	N	200	130		20	150
PSMN102-200Y	LFPAK	N	200	102		21,5	113
BSS87	MPT3; UPAK	N	200	3000		0,4	1
PSMN165-200K	SO8	N	200	165		2,9	3,5
PML260SN	HVSON8	N	200	294		8,8	50
PSMN130-200D	DPAK	N	200	130		20	150
PSMN057-200P	TO-220AB	N	200	57		39	250
BSP220	SC-73	P	-200	12000		-0,225	1,5
PML340SN	HVSON8	N	220	386		07,3	50
BSP89	SC-73	N	240	5000	7500	0,375	1,5
BSS192	MPT3; UPAK	P	-240	12000		-0,2	1
BSP126	SC-73	N	250	5000		0,375	1,5
BSP225	SC-73	P	-250	15000		-0,225	1,5
BSP130	SC-73	N	300	6000		0,35	1,5
PHC2300	SO8	N/P	300	6000		-0,235	1,6
BSP230	SC-73	P	-300	17000		-0,21	1,5

Область применения MOSFET транзисторов

MOSFET транзистор универсальный прибор и области его применения практически не ограничены:

- промышленная автоматика – DC/DC преобразователи, понижающие/повышающие конвертеры, блоки управления электродвигателями, блоки управления подачей топлива для автозаправочных станций, системы безопасности железнодорожного транспорта, электронные балласты для люминесцентных и компактных люминесцентных ламп, зарядные устройства;
- бытовая электроника – мобильные и бытовые телефоны, ноутбуки и блоки питания к ним, MP3-плееры и мобильные плееры, цифровые видеокамеры, схемы защиты Li-ion батарей, set-top-box, схемы управления вращением кулеров, кондиционеры, модули управления лазерными приводами, блоки управления холодильниками, стиральными машинами, пылесосами;

- автомобильная электроника – генераторы и стартеры переменного тока, электронные модули рулевого управления, электронасосы топлива и воды, турбокомпрессоры, модули управления стеклоподъемниками, стеклоочистителями, зеркалами, системы ABS, ESP, EBD, автоматизированные коробки передач, модули DC/DC преобразователей, регуляторы положения сидений, системы отопления, вентиляции, кондиционирования, система активной подвески;

Рассмотрим некоторые варианты схемы применения MOSFET транзисторов.

На рисунке 9 показана типовая блок-схема применения MOSFET транзисторов в антиблокировочной автомобильной системе (ABS) и электронной системе контроля устойчивости автомобиля (ESP).

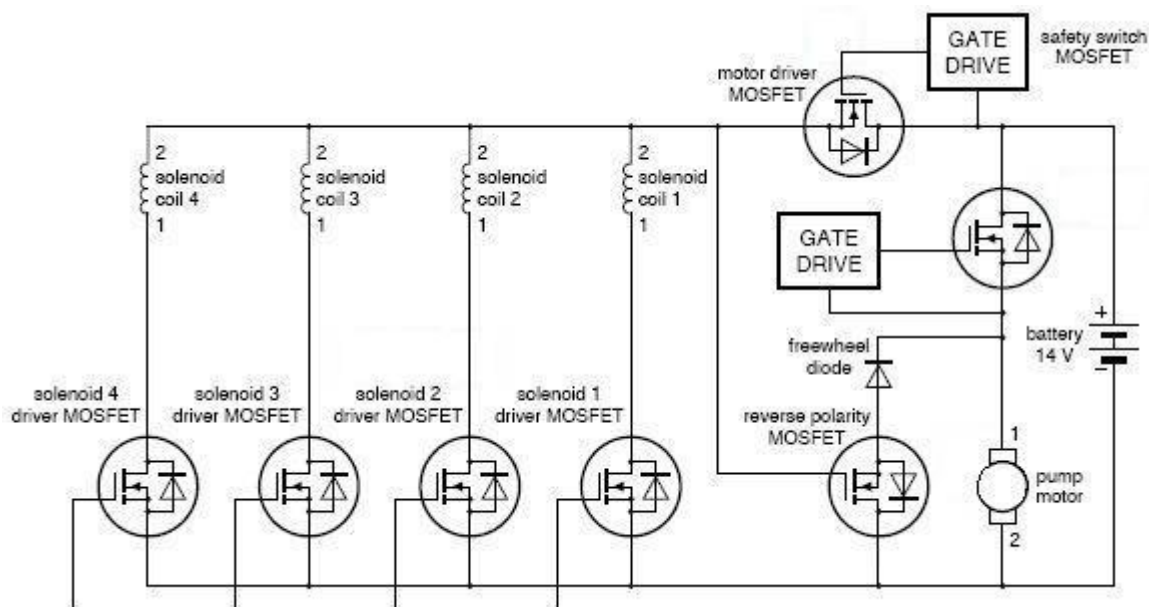


Рисунок 9. Блок-схема ABS и ESP с использованием MOSFET транзисторов

На рисунке 10 показана блок-схема блока управления приводом электромотора стояночного тормоза автомобиля построенном на MOSFET транзисторах.

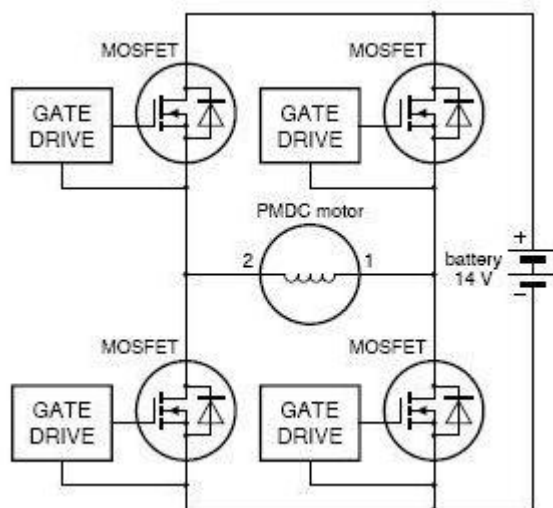


Рисунок 10. Блок-схема блока управления приводом электромотора стояночного тормоза автомобиля

Рисунок 11 показывает, как можно с помощью MOSFET транзисторов NXP организовать гибридную схему подключения блока управления стартером генератора.

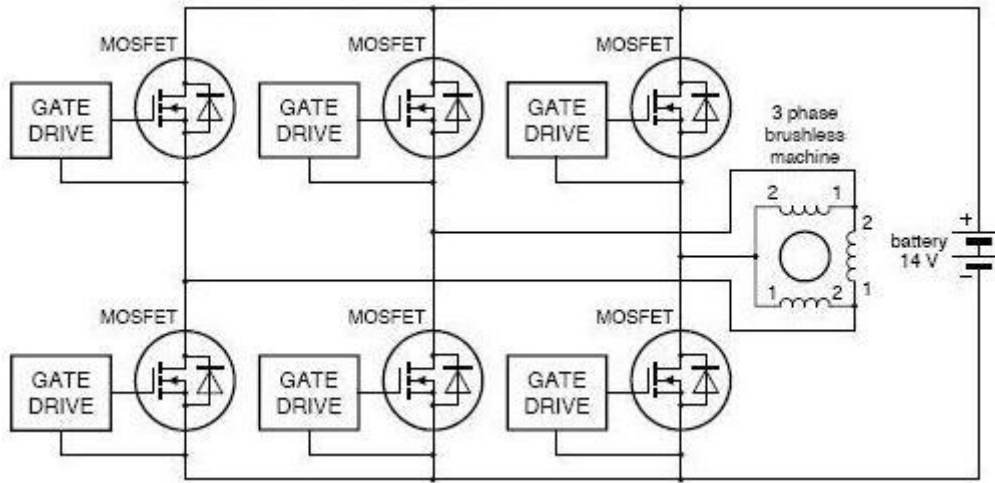


Рисунок 11. Гибридная схема подключения стартера генератора

На рисунке 12 показана блок-схема управления бесщеточным трехфазным электромотором с защитой от переплюсовки.

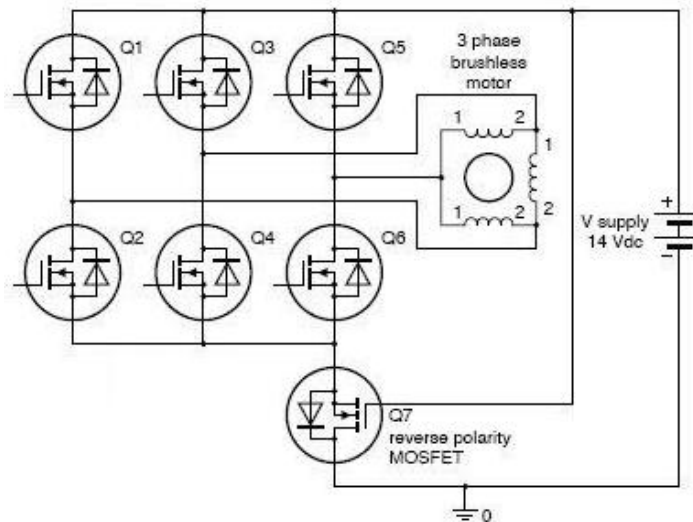


Рисунок 12. Блок-схема управления бесщеточного трехфазового электромотора с защитой от переплюсовки

На рисунке 13 показана еще одна простейшая блок-схема управления электромотором. В отличие от предыдущих схем, данная схема предназначена для управления высокоскоростным электромотором постоянного тока.

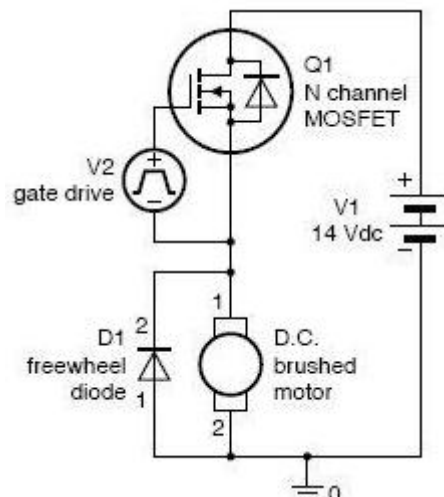


Рисунок 13. Блок-схема управления высокоскоростным электромотором постоянного тока

В заключение рассмотрим блок-схему впрыска для типового дизельного автомобильного двигателя, построенного на MOSFET транзисторах рисунок 14.

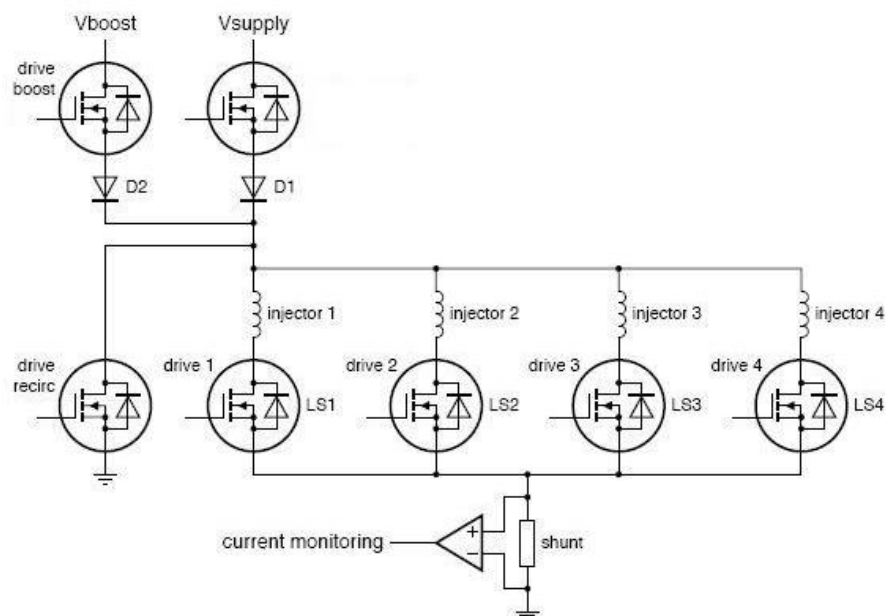


Рисунок 14. Схема впрыска типового дизельного автомобильного двигателя

На основании рассмотренных преимуществ MOSFET транзисторов производства компании NXP Semiconductors можно сделать выводы, что, в сравнении с продукцией других производителей, они наиболее эффективны для использования в различных силовых системах электроники, и наиболее пригодны для использования в особо важных системах безопасности автомобильного и железнодорожного транспорта. А в совокупности с магниторезистивными датчиками компании NXP можно организовать максимально производительные и эффективные системы.

Опыт применения MOSFET транзисторов NXP показал, что их легко можно применять в электронике, где ранее применялись электронные компоненты других известных производителей, таких International Rectifier (IR), STMicroelectronics, ON-Semiconductors, Vishay, Fairchild, Infineon, а зачастую превосходить качественные и ценовые параметры этих производителей.