

Современные технологии MOSFET азиатских производителей.



Долгов Владислав

Инженер по применению
Дискретные и силовые компоненты
v.dolgov@compel.ru



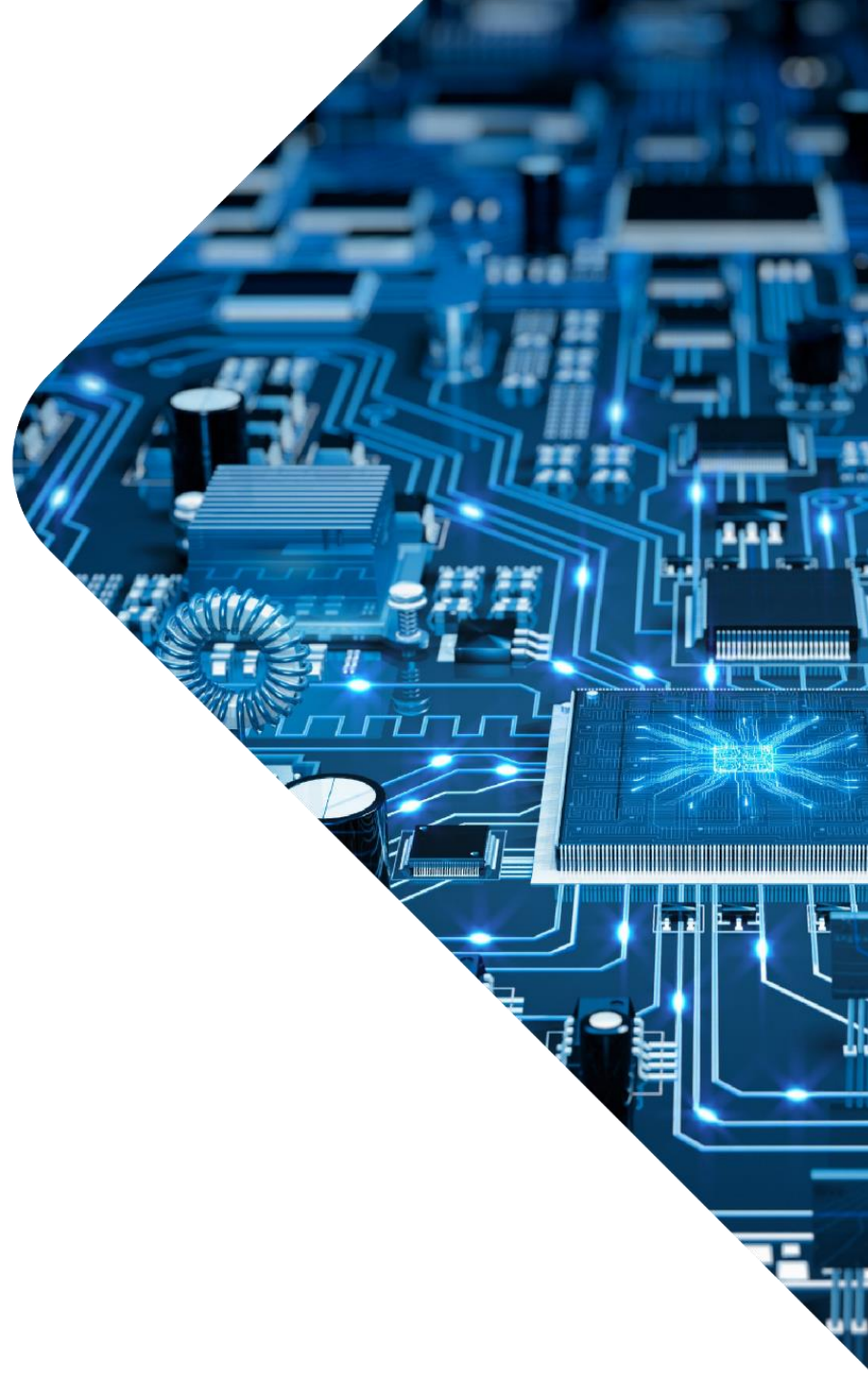
Соломатин Максим

Руководитель направления
Дискретные и силовые компоненты
solomatin@compel.ru

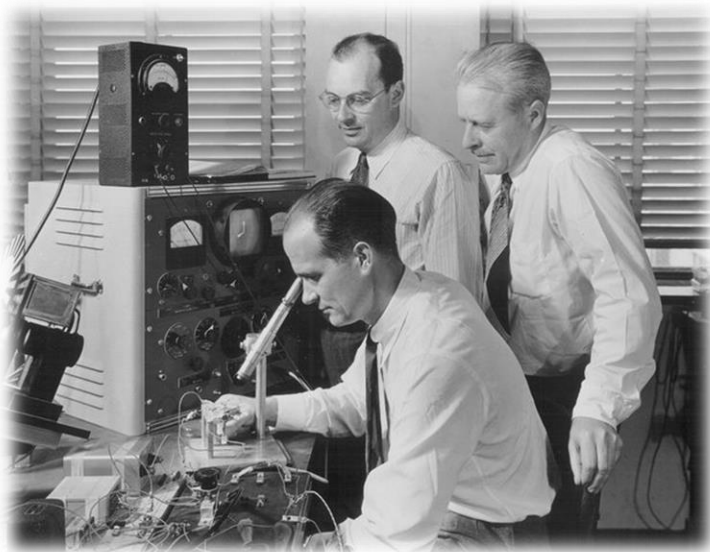


Вашкалюк Николай

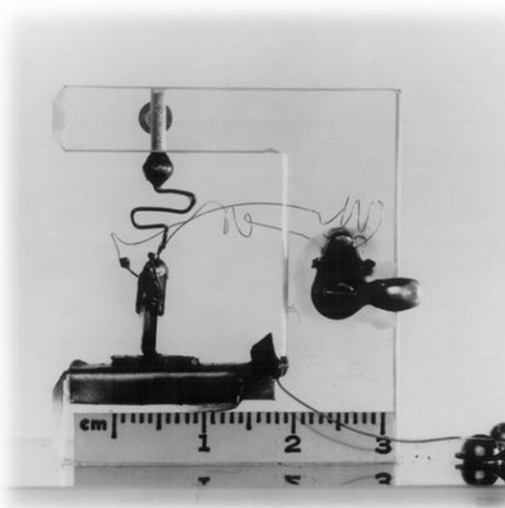
Инженер по применению
Аналоговые компоненты
n.vashkalyuk@compel.ru



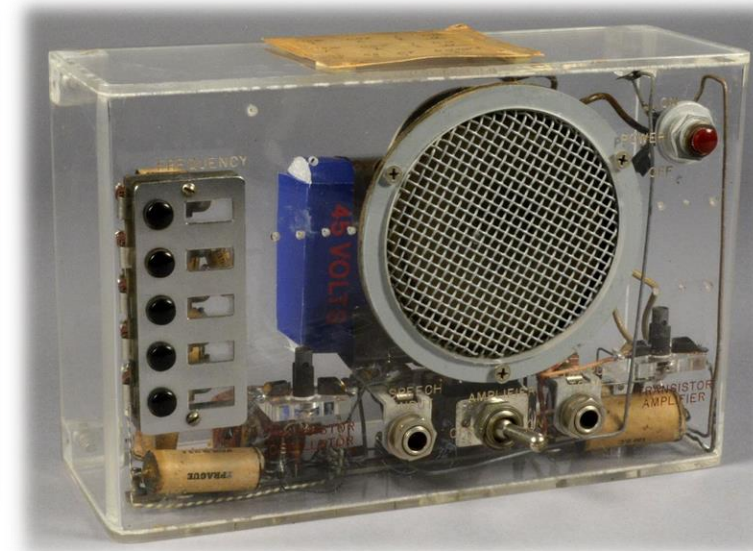
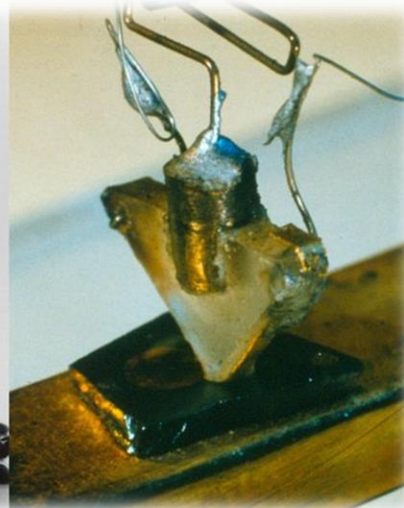
Новая эра в электронике



Бардин, Браттейн и Шокли – создатели первого транзистора



Первый германиевый PNP транзистор с точечным контактом.



Музыкальная шкатулка Джона Бардина, воспроизводившая 5 тонов

С 1947 года было произведено
 ~13 000 000 000 000 000 000 000 (13*10²¹)
 транзисторов всех типов.



Видео
 восстановления
 шкатулки

Содержание

- Современные технологии MOSFET, их преимущества и недостатки.
- Сравнительный анализ современных технологий MOSFET.
- Передовые азиатские производители MOSFET.
- Доступные решения для управления MOSFET.
- Текущее состояние продуктовой группы: наличие, сроки, доступность, перекрытие заменами.

График популярных MOSFET по напряжению/току

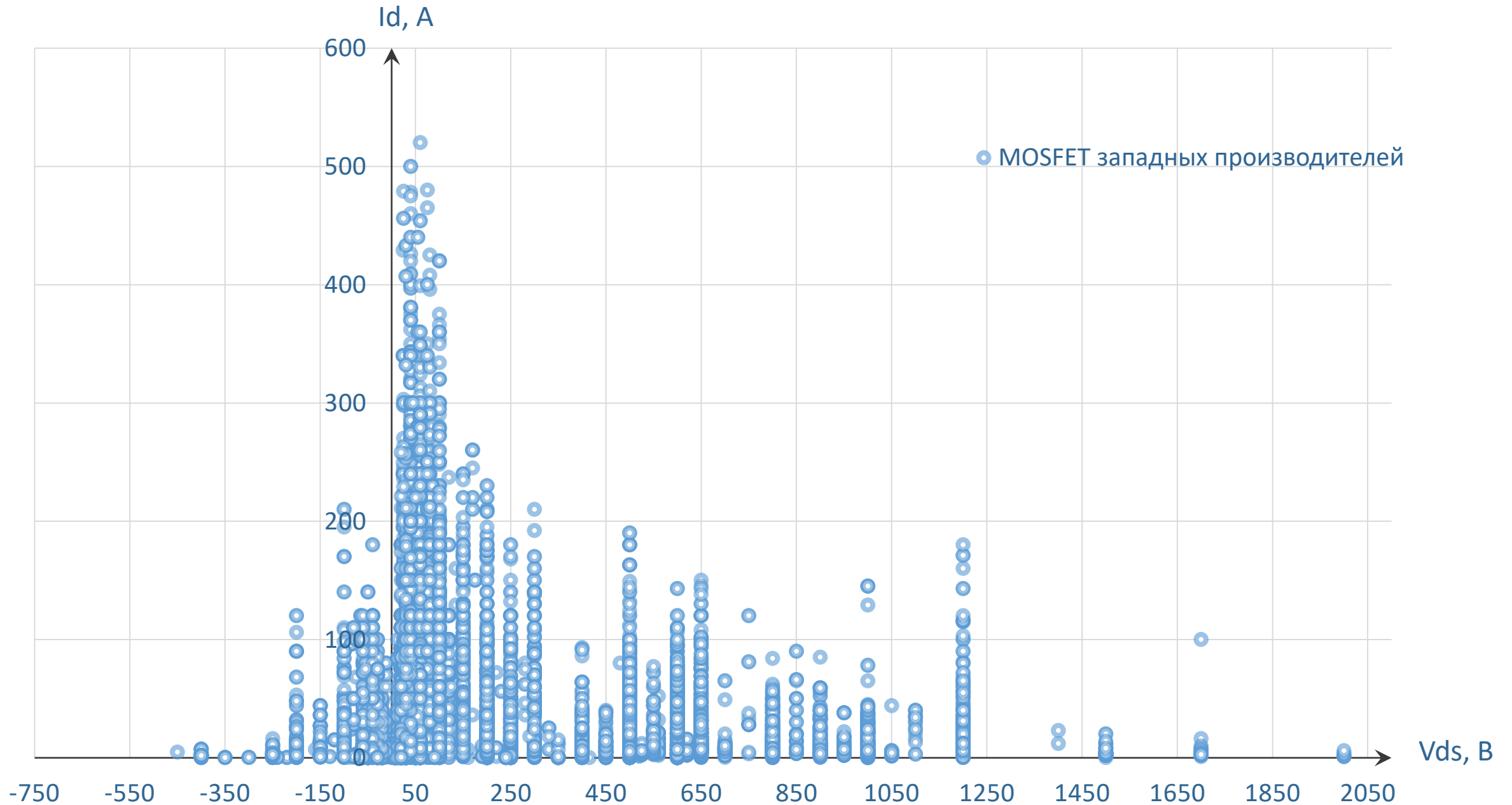
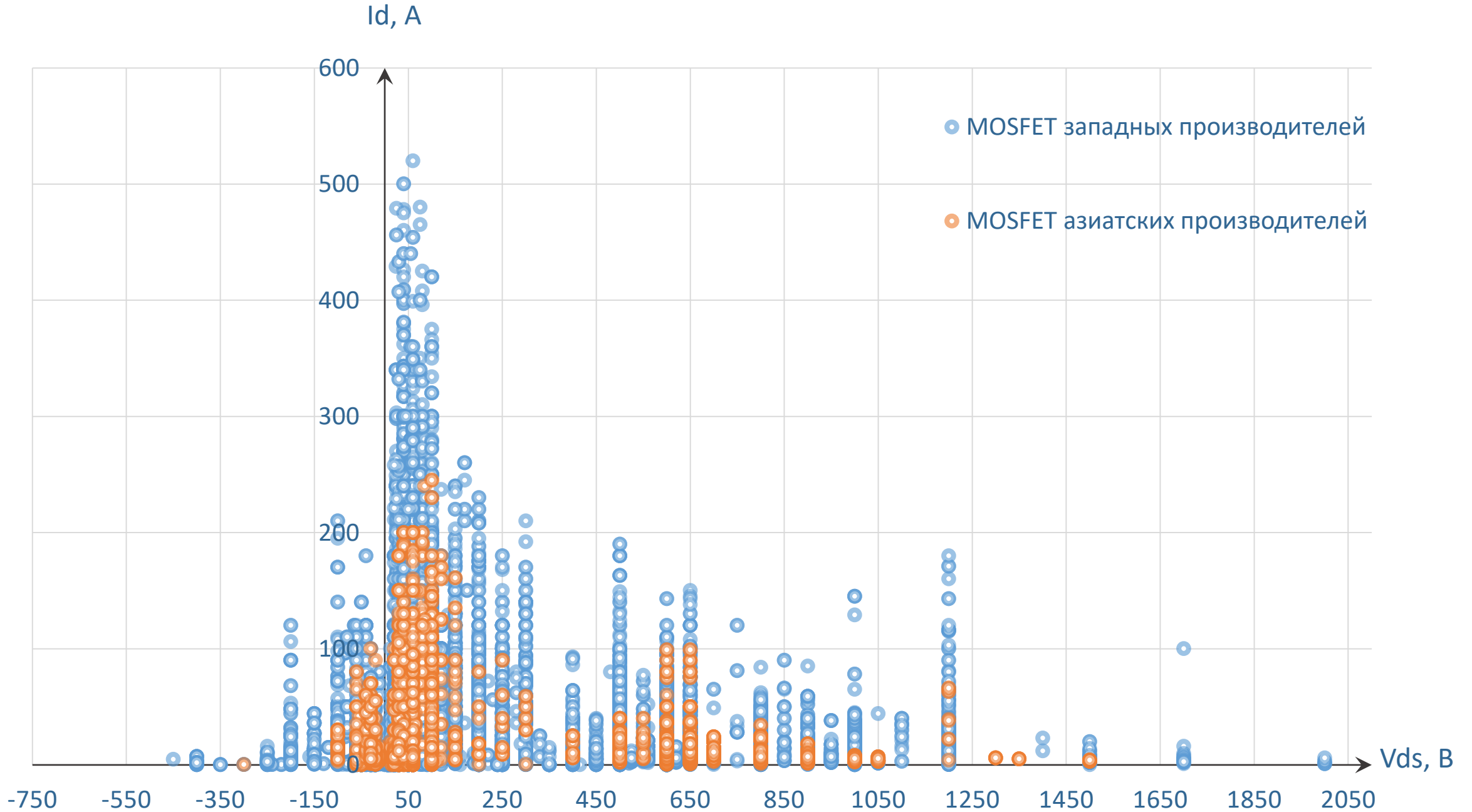


График популярных MOSFET по напряжению/току



Что мы видим, когда выбираем MOSFET на сайтах азиатских производителей?

MOSFETs

Trench MOS	SGT MOS
Planar MOS	Super Junction MOS

Home ▶ Products ▶ MOSFET



MOSFET

- Trench MOSFETs
- Planar MOSFETs
- SJ MOSFETs
- SGT MOSFETs
- IGBTs

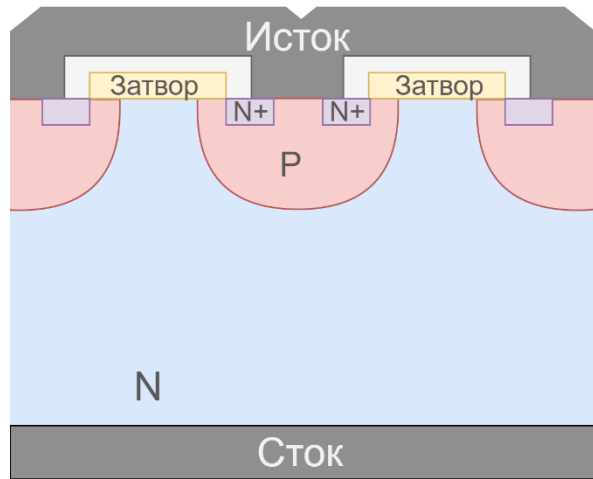
POWER MOSFET List

- JFET
- Combo Power MOSFET
- Trench Power MOSFET (N-CH)
- Trench Power MOSFET (P-CH)
- Planar Power MOSFET (N-CH)
- Fast Body Diode Power MOSFET (N-CH)
- Planar Power MOSFET (P-CH)
- Depletion Mode MOSFET (N-CH/P-CH)

<p>12-300V N MOSFET</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 12-200V N-Channel Trench MOSFET ▶ 30-250V N-Channel SGT-I MOSFET ▶ 30-120V N-Channel SGT-II MOSFET 	<p>12-150V P MOSFET</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 12-150V P-Channel Trench MOSFET ▶ 30-100V P-Channel SGT-I MOSFET 	<p>500-1050V N MOSFET</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 500-800V N-Channel SJ-III MOSFET ▶ 600-650V N-Channel SJ-III TF MOSFET ▶ 500-650V N-Channel SJ-IV NF MOSFET ▶ 500-1050V N-Channel SJ-IV MOSFET 	<p>12-300V NP MOSFET</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Complementary MOSFET ▶ Dual N and P-Channel MOSFET ▶ Half-bridge N-Channel MOSFET
---	--	--	---

VD MOSFET

VD (Vertical Double-Diffused) MOSFET. Планарные вертикальные полевые транзисторы с двойной диффузией



Структура планарных VD MOSFET

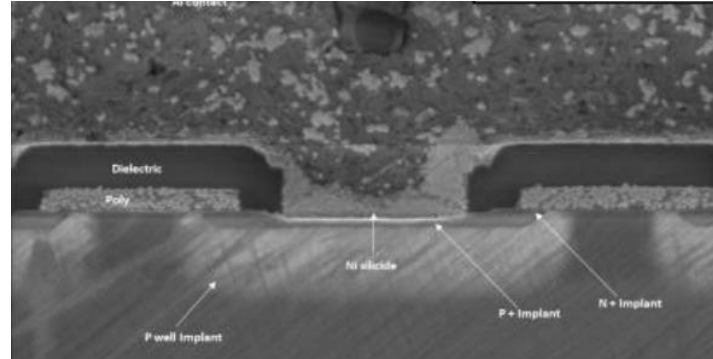
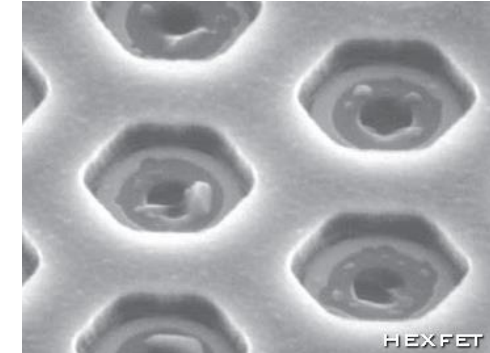


Фото разреза планарного VD MOSFET



Форма единичных ячеек на кристалле планарного транзистора HEXFET

Преимущества

- + Высокое напряжение сток-исток (V_{ds})
- + Высокая устойчивость к лавинному пробую

Недостатки

- Высокие Q_g и C_{iss}
- Высокая стоимость кристалла из-за его размера

Особенности

- V_{ds} до 1500В
- $R_{ds(ON)}$ единицы Ом
- 5-8 слоев литографии
- Шаг ячейки ~ 20 мкм

Применения планарных VD MOSFET

Импульсные источники питания



DC/DC преобразователи



Драйверы электродвигателей

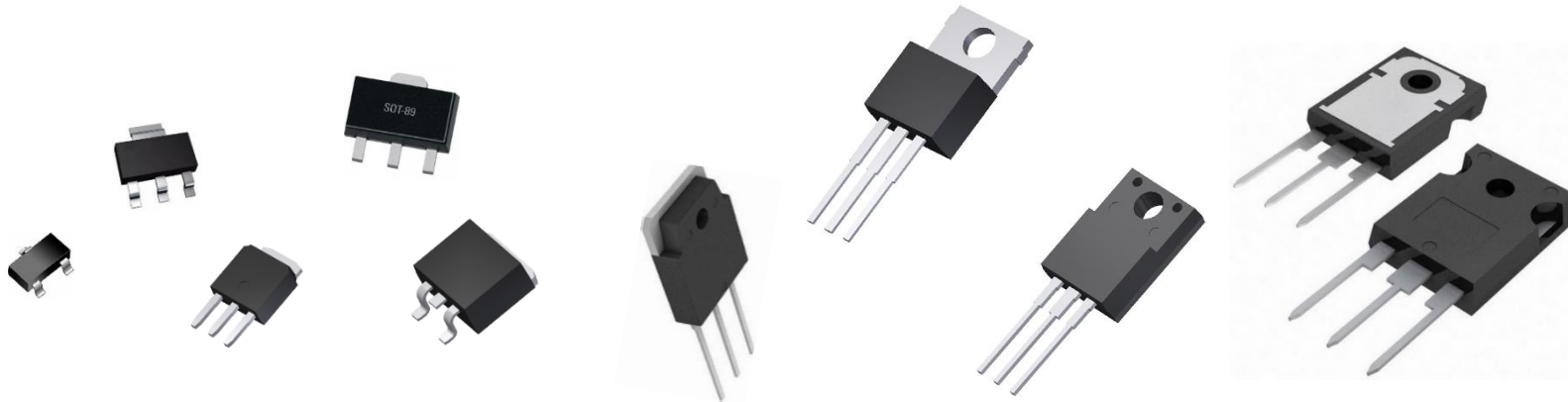


Электрoзарядные станции для электротранспорта



Планарные VD MOSFET азиатских производителей

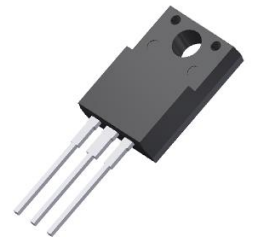
Бренд	Тип проводимости	Vds, В	Rds(ON), Ом	Id, А	Количество PN
WayOn	N	400...1500	0.11...11.5	1...40	109
JSCJ		600, 650	0.67...2.7	2...12	18
CR Micro		400...1500	0.18...9,4	0,03...30	~200
Jie Jie		500...1000	0.68...8.8	1...20	26
Belling		250...1500	0.012...8	2...90	81



Сравнение планарных VD MOSFET

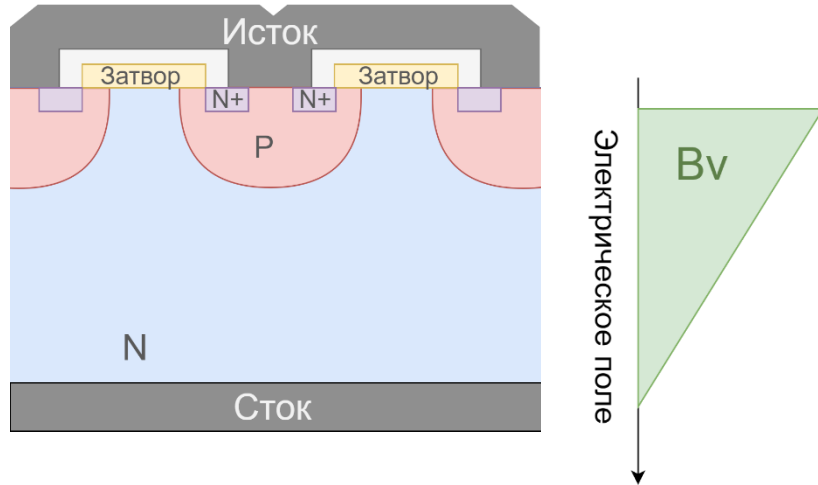
Бренд	VISHAY	WAYON	JSCJ	CR MICRO	JIEJIE	BELLING
P/N	SiHF12N65E	WML12N65D1B	CJPF12N65	CS12N65FA9H	JMPF12N65BJ	BL12N65
Vds, V	650	650	650	650	650	650
Id @ 25°C, A	12	12	12	12	12	12
Id @ 100°C, A	8	-	-	10	7	7.6
Eas, mJ	226	296	540	700	605	680
Rds(on) @ 25°C (typ), Ohm	0,33	0.58	0.7	0.54	0.64	0.5
Qgate, nC	35	44.7	42	44	47	49
FOM	11.55	25.926	29,4	23,76	30,08	24,5
Ciss @ 25V, pF	1224	2010	1800	2060	2078	2580
Coss @ 25V, pF	65	161	200	184	170	176
Diode Vsd, V	1.0	1.4	1.4	1.5	1.2	1.0
Diode Trr, ns	309	364	-	345	432	515
Diode charge Qrr, uC	3.8	6.8	-	2.68	5.1	4.29
Total power Ptot @ 25°C, W	33	65	50	55	30	50

TO-220F

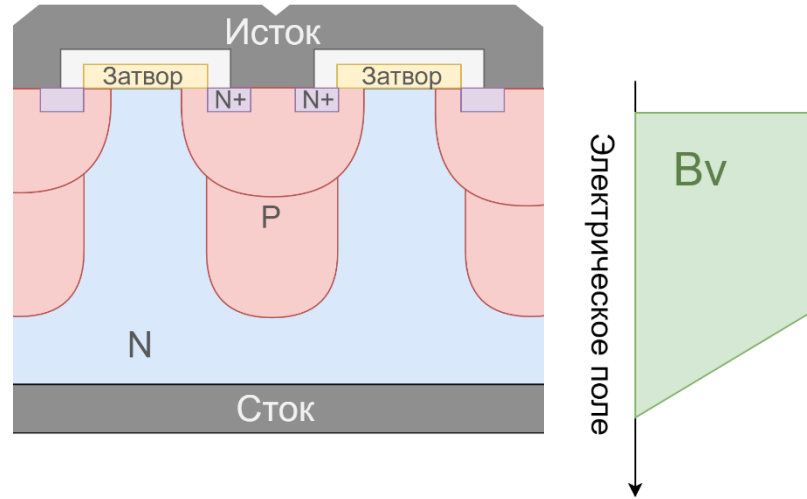


SJ MOSFET

SJ (Super Junction) MOSFET. Полевые транзисторы с супер переходом



Структура планарных VD MOSFET и распределение электрического поля в кристалле транзистора



Структура SJMOSFET и распределение электрического поля в кристалле транзистора

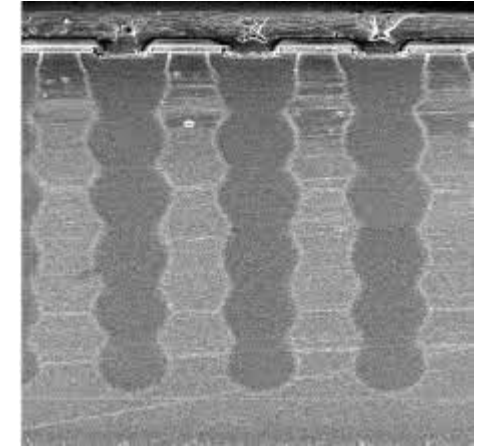


Фото разреза SJ MOSFET

Преимущества

- + $R_{ds(ON)}$ ниже чем у VD MOSFET
- + Q_g и C_{iss} ниже чем у VD MOSFET.
- + Меньшие габариты кристалла по сравнению с VD MOSFET
- + Нет значительного увеличения $R_{ds(ON)}$ при увеличении рабочего V_{ds}

Недостатки

- Сложный производственный процесс.
- Ниже устойчивость к лавинному пробую в сравнении с планарными MOSFET

Особенности

- V_{ds} до 250V
- $R_{ds(ON)}$ единицы...десятки мОм
- До 15 слоев литографии
- Шаг ячейки ~ 13 мкм

Применения SJ MOSFET

Резонансные преобразователи с PFC



Бесперебойные источники питания









Импульсные источники питания

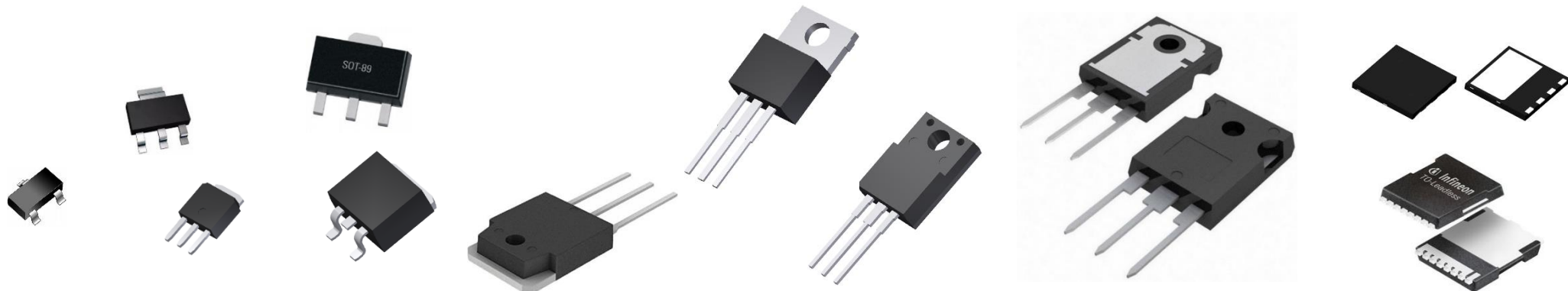


Электрoзарядные станции для электротранспорта



SJ MOSFET азиатских производителей

Бренд		Тип проводимости	Vds, В	Rds(ON), Ом	Id, А	Количество PN
WayOn		N	500...1050	0.0205...4	1.5...99	700
Yangjie			650...900	0.22...1.1	5...17	4
JSCJ			650	0.32	11.5	2
NCE			500...1050	0.036...4.5	1...83	88
CR Micro			550...800	0.025...1.55	8...83	~300
Jie Jie			650...700	0.04...0.98	4...71	35



Сравнение SJ MOSFET

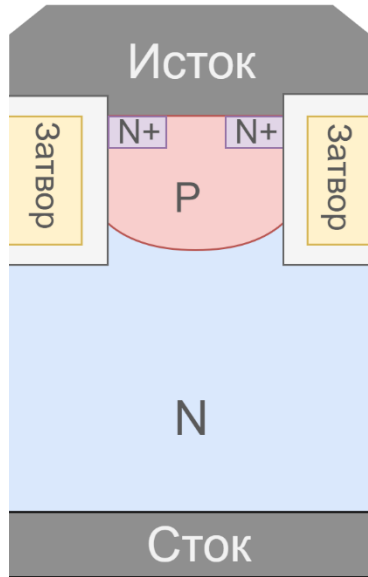
Бренд	ST	WAYON	YJ	JSCJ	CR MICRO	JIEJIE	NCE
P/N	STF16N65M2	WML14N65C4	YJF12C65H	CJPF360JN65A	CRJF380N65G2	JMH65R430ACFP	NCE65TF360F
Vds, V	650	650	650	650	650	650	650
Id @ 25°C, A	11	11	12	11.5	11	11.2	11.5
Id @ 100°C, A	6.9	6	7.5	-	7	7.8	7
Eas, mJ	360	115	303	50	75	180	144
Rds(on) @ 25°C (typ), Ohm	0.32	0.33	0.28	0.32	0.32	0.364	0.29
Qgate, nC	19.5	13	25	13.7	19.8	18.4	19
FOM	6.24	4,29	7	4.384	6.336	6.69	5.51
Ciss @ 25V, pF	718	665	1050	807	640	703	870
Coss @ 25V, pF	32	21.5	30	42	32	25	54
Diode Vsd, V	1.6	1.2	0.9	1.2	0.85	0.75	0.9
Diode Trr, ns	342	170	173	-	240	239	130
Diode charge Qrr, uC	3.5	1.4	4.18	-	2.43	2.513	0.72
Total power Ptot @ 25°C, W	25	31	62.5	89	21	28	32.6

TO-220F



Trench MOSFET

Trench MOSFET. Полевой транзистор с затвором в «траншее»



Структура Trench MOSFET

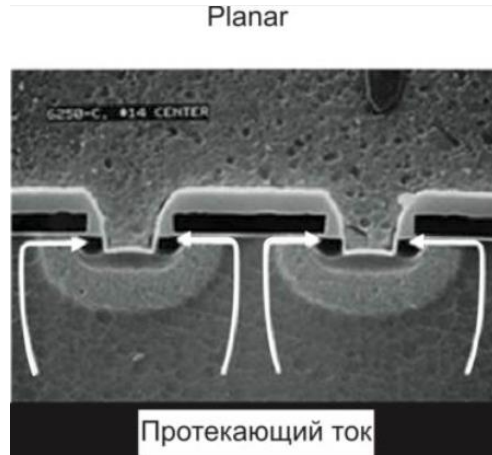


Фото разреза планарного VD MOSFET с указанием пути протекания тока

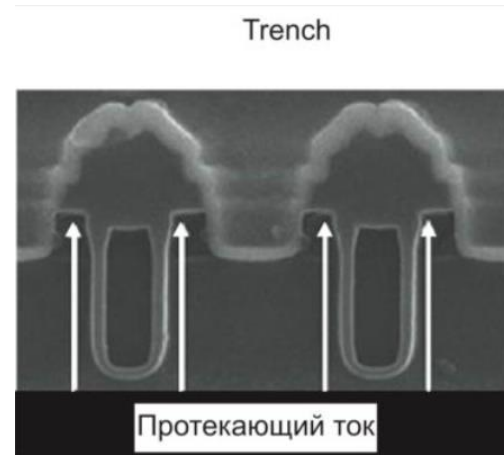
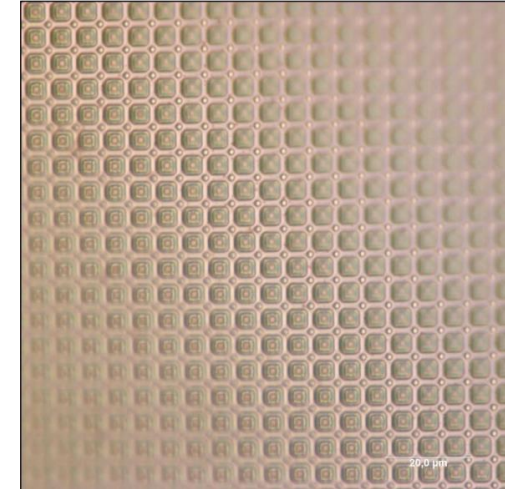


Фото разреза Trench MOSFET с указанием пути протекания тока



Форма единичных ячеек на кристалле Trench MOSFET

Преимущества

- + Низкое $R_{ds}(On)$.
- + I_d выше чем у VD и SJ MOSFET
- + Малые габариты единичной структуры
- + Малые габариты кристалла по сравнению с планарными MOSFET

Недостатки

- Низкое напряжение сток-исток (V_{ds})
- Низкие динамические характеристики

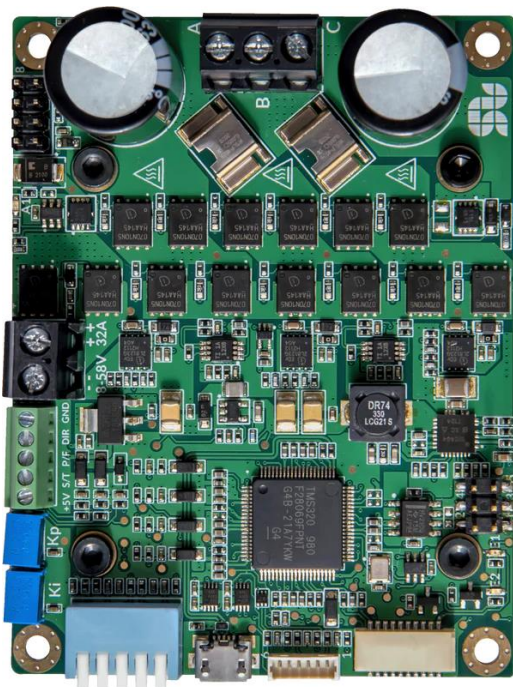
Особенности

- V_{ds} до 250В
- $R_{ds}(ON)$ единицы – десятки мОм
- 5-7 слоев литографии
- Шаг ячейки 5 мкм

Применения Trench MOSFET.

Бесперебойные источники питания

Драйверы электродвигателей

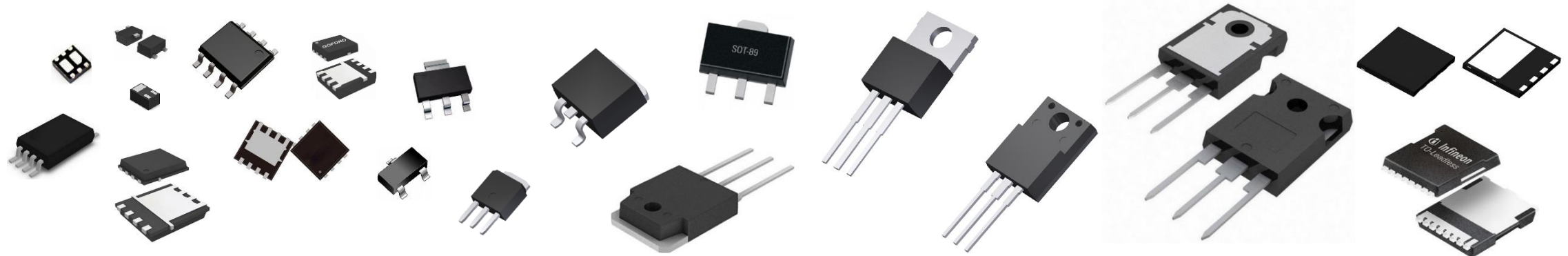


DC/DC преобразователи



Trench MOSFET азиатских производителей

Бренд	Logo	P			N			Количество PN
		Vdss, В	Rds(ON), Ом	Id, А	Vdss, В	Rds(ON), Ом	Id, А	
WayOn		-20...-100	0.0041...0.17	-3.8...-120	20...250	0.0026...0.77	3.7...240	429
Yangjie		-15...-100	0.0045...3.3	-0.5...-100	20...150	0.00065...3	0.2...220	156
JSCJ		-12...-100	0.0019...4.5	-0.13...-100	15...150	0.0014...3.5	0.1...180	319
NCE		-12...-155	0.0041...0.2	-0.66...-85	16...200	0.001...6.1	0.17...350	276
CR Micro		-20...-100	0.008...0.072	-6...-80	16...200	0.006...0.9	0.2...88	502
Jie Jie		-12...-40	0.008...0.072	-4.1...-70	20...100	0.0027...0.225	0.2...88	280



Сравнение Trench MOSFET

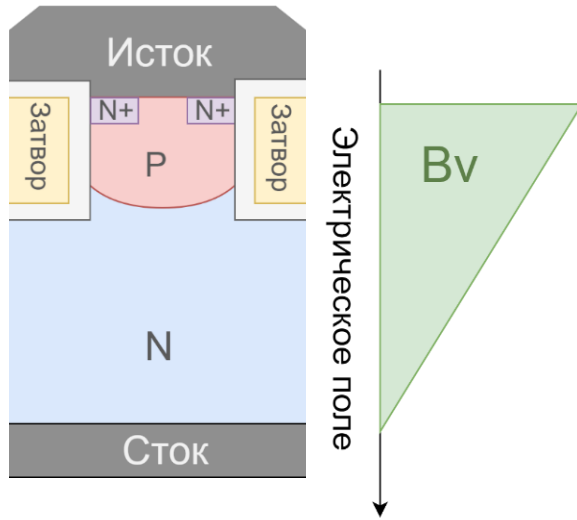
Бренд	INFINEON	WAYON	YJ	JSCJ	CR MICRO	JIEJIE
P/N	IRFR7546PbF	WMO80N06TS	YJD80G06C	CJU80N07	CRTD082NE6N	JMTK80N06A
Vds, V	60	60	60	65	65	60
Id @ 25°C, A	71	80	80	80	85	80
Id @ 100°C, A	50	51	50	-	54	52
Eas, mJ	178	105.8	150	320	100	182
Rds(on) @ 25°C (typ), Ohm	0.0066	0.0065	0.0055	0.0065	0.0069	0.0053
Qgate, nC	58	67	34	87	73	77
FOM	0,3828	0,4355	0,187	0,5655	0,5037	0,4081
Ciss @ 25V, pF	3020	4160	2000	3705	3275	3782
Coss @ 25V, pF	280	235	390	300	312	297
Diode Vsd, V	1.2	1.2	0.85	1.2	0.9	1.2
Diode Trr, ns	26	31	27	-	29	25
Diode charge Qrr, nC	22	43	36	-	33	29
Total power Ptot @ 25°C, W	99	92	78	100	99	136

TO-252

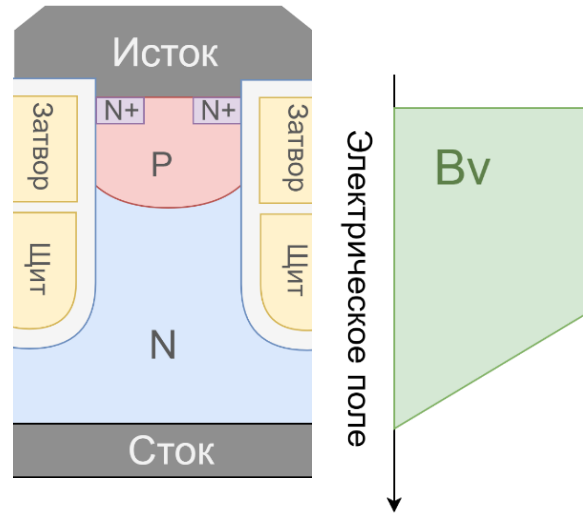


SGT MOSFET

SGT MOSFET. Полевой транзистор с экранированным затвором



Структура Trench MOSFET и распределение электрического поля в кристалле транзистора



Структура SGT MOSFET и распределение электрического поля в кристалле транзистора

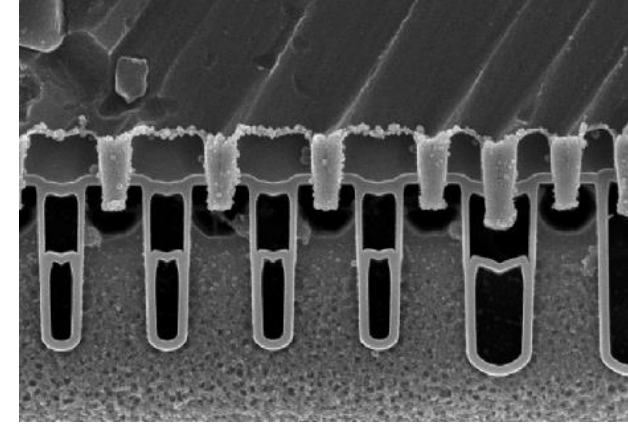


Фото разреза SGT MOSFET

Преимущества

- + $R_{ds(ON)}$ ниже чем у Trench MOSFET.
- + Q_g и C_{iss} ниже чем у Trench MOSFET.
- + Выше устойчивость к лавинному пробое
- + Экран выполняет роль снаббера и уменьшает потери на переключение.

Недостатки

- Сложный производственный процесс.

Особенности

- V_{ds} до 200В
- $R_{ds(ON)}$ десятые доли...единицы мОм
- 6-9 слоев литографии
- Шаг ячейки ~ 3 мкм

Применения SGT MOSFET

РоЕ инжекторы



DC/DC преобразователи



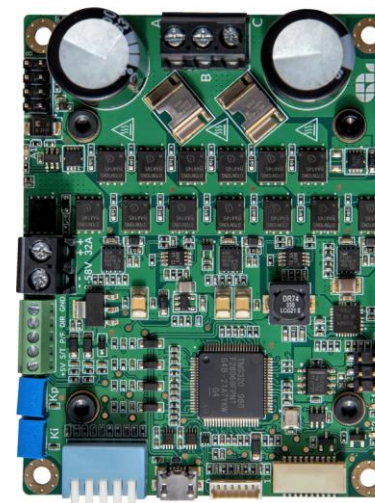
Бесперебойные источники питания



Системы управления батареями

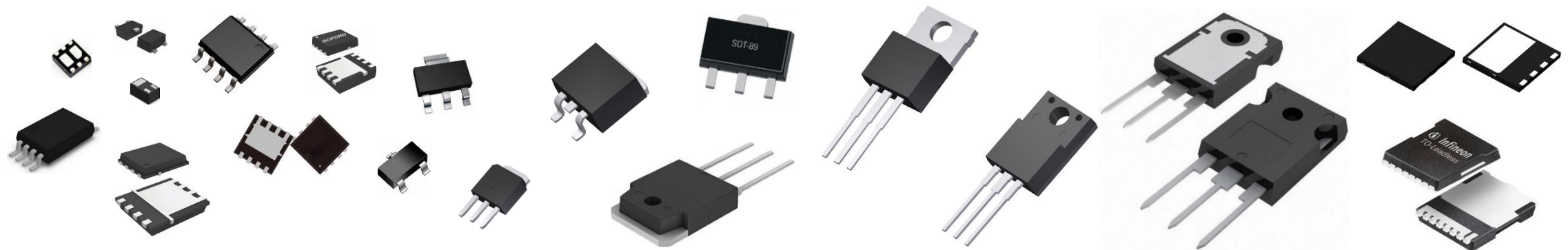


Драйверы электродвигателей



SGT MOSFET азиатских производителей

Бренд		P			N			Количество PN
		Vdss, B	Rds(ON), Ом	Id, A	Vdss, B	Rds(ON), Ом	Id, A	
WayOn					30...200B	0.0014...0.069	5...340	218
Yangjie		-60...-100B	0.0065...0.083	-4.5...-80	40...100	0.0011...0.11	3...200	54
JSCJ					30...150	0.00067...0.0165	12...200	55
NCE		-30...-100	0.0027...0.045	-7...-160	30...250	0.0008...0.04	3...385	462
CR Micro					40...150	0.0013...0.082	66...93	479
Jie Jie		-60...-100B	0.021...0,04	-6.6...-49	30...200	0.0006...0.111	4.1...400	286



Сравнение SGT MOSFET

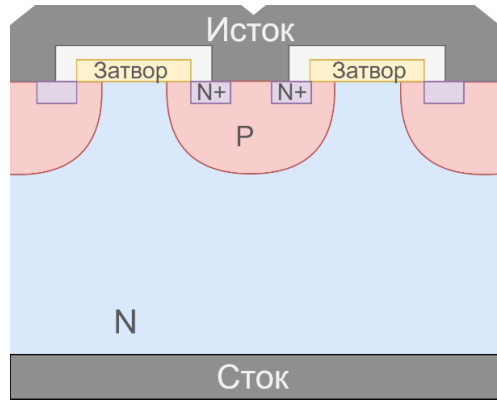
Бренд	INFINEON	WAYON	YJ	JSCJ	CR MICRO	JIEJIE	NCE
P/N	ISC0702NLS	WMB025N06HG4	YJG175G06AR	CJAC13TH06	CRSM024N06L2	JMSL0603BG	NCEP025N60G
Vds, V	60	60	60	60	60	60	60
Id @ 25°C, A	135	140	175	130	160	142	165
Id @ 100°C, A	95	88.6	110	-	101	90	115
Eas, mJ	58	352.8	992	250	189	338	540
Rds(on) @ 25°C (typ), Ohm	0.0023	0.0021	0.0018	0.0022	0.0024	0.0024	0.0022
Qgate, nC	42	68	50	63.7	37	51	75.5
FOM	0.0966	0,1428	0,09	0,14014	0,0888	0,1224	0,1661
Ciss @ 25V, pF	2700	4080	5250	5298	4610	3174	4850
Coss @ 25V, pF	580	1053	1085	1635	2188	872	850
Diode Vsd, V	0.85	1.2	0.9	1.3	0.82	0.65	1.2
Diode Trr, ns	43	56	35	-	53	49	56
Diode charge Qrr, nC	49	67.5	140	-	56	52	80
Total power Ptot @ 25°C, W	100	92.6	140	140	113	114	145

PDFN5060-8L



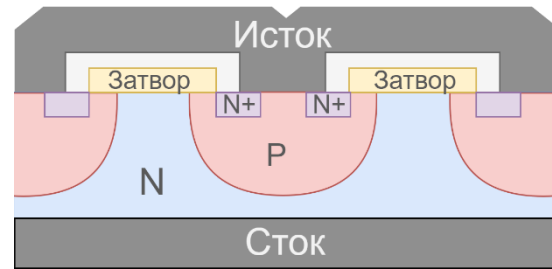
SiC MOSFET

SiC MOSFET. Полевые транзисторы на основе карбида кремния



Структура планарного Si MOSFET

Дрейфовый N-слой в 10 раз тоньше благодаря высокой электрической прочности SiC.



Структура планарного SiC MOSFET

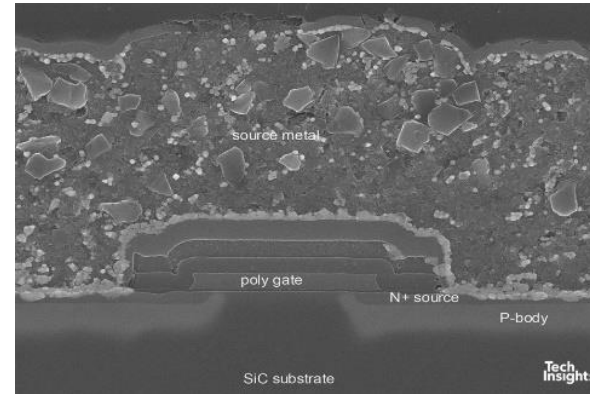


Фото разреза планарного SiC MOSFET

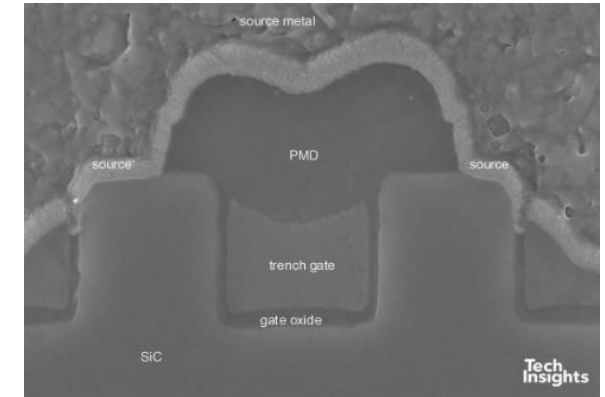


Фото разреза Trench SiC MOSFET

Преимущества

- + Высокое V_{ds}
- + Высокая частота переключений
- + Низкое $R_{ds}(ON)$
- + Электрические свойства слабо зависят от температуры
- + Высокая теплопроводность

Недостатки

- Высокая сложность производства
- Высокая стоимость

Особенности

- V_{ds} до 1700В
- $R_{ds}(ON)$ десятки доли...единицы мОм
- Шаг ячейки ~5 мкм
- ~300 операций при производстве

Применения SiC MOSFET

Солнечные преобразователи



Электрочарядныя станцыі







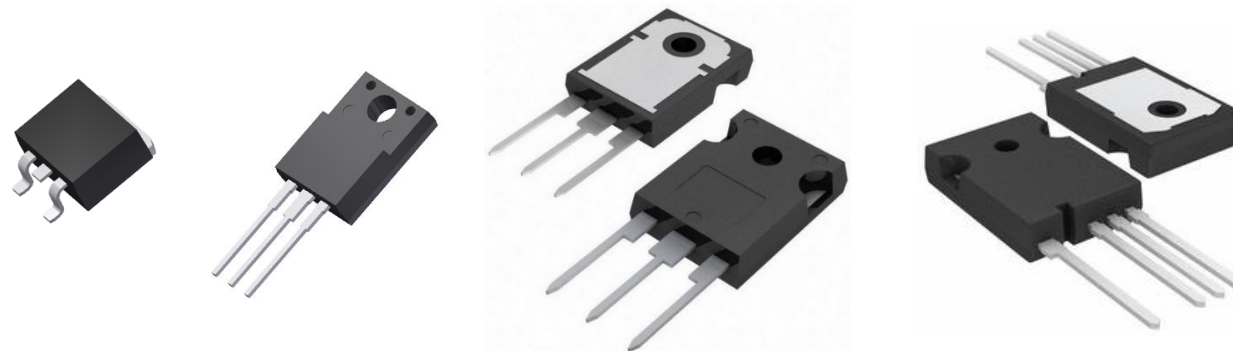
Драйверы маломощных
промышленных электродвигателей

Модульные бесперебойные
источники питания



SiC MOSFET азиатских производителей

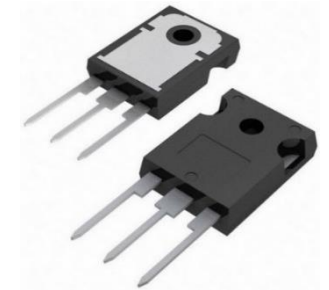
		N			
Бренд		Vdss, В	Rds(ON), Ом	Id, А	Количество PN
WayOn		1200, 1700	0.032...50	0.05...87	11
Yangjie		650, 1200	0.03...0.16	21...65	22
CR Micro		650, 1200, 1700	0.017...0.6	5...118	19
Anbon		650, 1200, 1700	0.034...1.3	5...90	14



Сравнение SiC MOSFET

Бренд	INFINEON	WAYON	YJ	CR MICRO	ANBON
P/N	AIMW120R080M1	WSCM75J120T2B	YJD212080NCTG1Q	CRXQ80M120G1	AS1M080120P
Vds, V	1200	1200	1200	1200	1200
Id @ 25°C, A	33	44	38	36	36
Id @ 100°C, A	24	31	28	25	24
Rds(on) @ 25°C (typ), mOhm	0.080	0.075	0.077	0.085	0.080
Qgate, nC	28	40	41	105	79
FOM	2,24	3	3,157	8,925	6,32
Ciss @ 25V, pF	1060	1020	890	1372	1475
Coss @ 25V, pF	58	64	58	88	94
Diode Vsd, V	3.8	3.8	3.9	3.5	3.6
Diode Trr, ns	-	81	28.24	42	35
Diode charge Qrr, nC	230	267	190	120	91
Total power Ptot @ 25°C, W	150	214	220	192	192

TO-247-3L



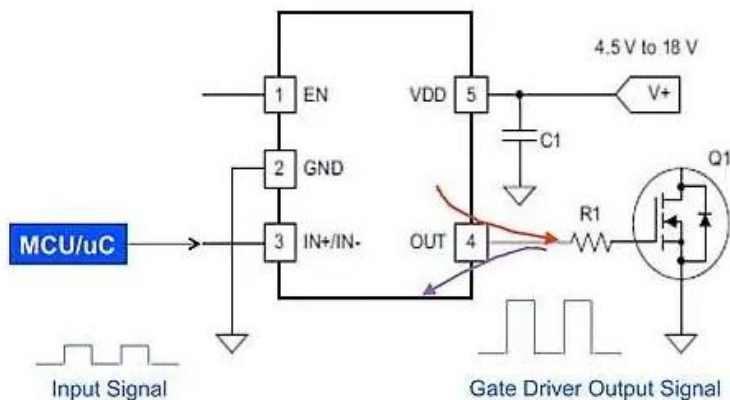
Сравнительный анализ MOSFET по технологиям

Планарный VD MOSFET	SJ MOSFET	Trench MOSFET	SGT MOSFET	SiC MOSFET

Драйверы затвора

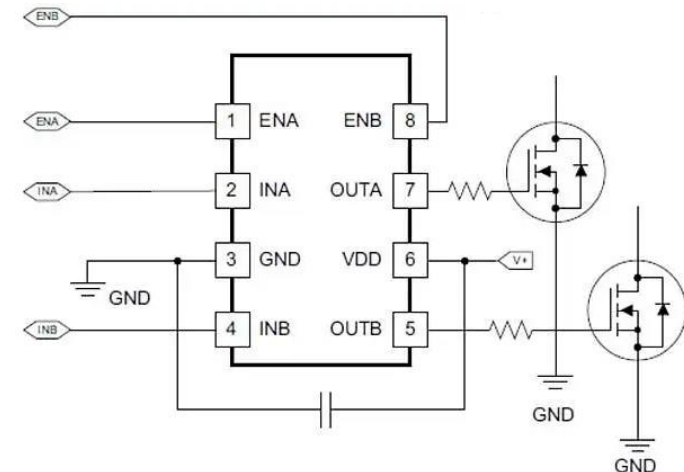
ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

- Упрощает схему управления, разгружает ее по току
- Обеспечивает быстрое переключения транзистора для минимизации коммутационных потерь (**увеличение КПД**)
- Согласование уровней между управляющей схемой и транзистором
- Простая реализация схемы управления транзистора в верхнем плече
- Безопасная работа с полумостовой схемой, исключая возникновение сквозного тока
- Защита транзистора при аварийном режиме работы
- Увеличение помехоустойчивости и стойкости к электромагнитным помехам схемы управления



ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ

- AC/AC-, AC/DC-преобразователи
- Резонансные и квазирезонансные источники питания
- Корректоры коэффициента мощности
- Схемы синхронного выпрямления
- Приводы электродвигателей переменного и постоянного тока
- Мощные коммутаторы нагрузки
- Инверторы для солнечных панелей
- Интеллектуальные модули питания
- Мощные DC/DC-преобразователи
- Источники бесперебойного питания



Драйверы затвора

	Ruimeng	MORNSUN	ЗPEAK	Novosense	Belling	Chipown	ChipAnalog	SILAN	UTC	2PAI
1CH Low Side	☆	-	★	-	★	-	☆	★	★	-
2CH Low Side	☆	-	★	★	★	★	☆	★	★	-
High Side Driver	-	-	-	-	-	-	-	-	☆	-
HS + LS / Half-bridge	-	-	☆	★	★	★	☆	★	★	-
3-Phase Driver	-	-	-	-	★	★	-	★	-	-
Automotive (AEC-Q100)	-	-	★	★	-	-	★	-	-	★
Isolated Driver	-	★*	☆	★	-	★	★	-	-	★

★ - серийная продукция

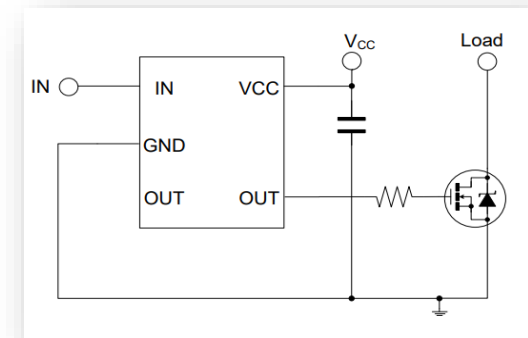
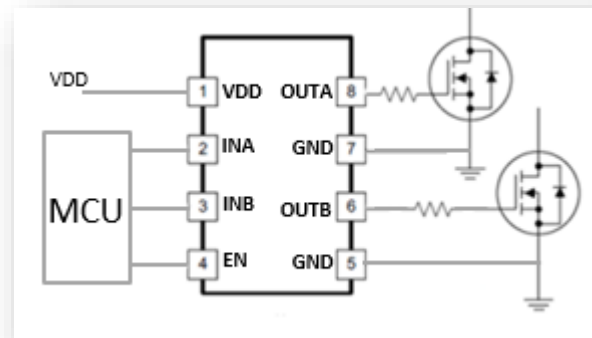
☆ - в разработке

* - представлены в виде модулей

Сравнение основных параметров

Драйверы нижнего плеча (Low Side)

	3PEAK	Nonosense	Belling	Chipown	Unisonic
Напряжение питания	4.5 ~ 25 V	4.5 ~ 24 V	5.0 ~ 25 V	4.5 ~ 30 V	4.5 ~ 18 V
Выходной пиковый ток	±5 A	±5 A	+1.0 A / -1.5 A	±5 A	+8.0 A / -4.0 A
Входное напряжение (max)	-5 ~ 20 V	-3 ~ 14 V	-0.3 ~ 25 V	0 ~ 30 V	0 ~ 18 V
Рабочая температура кристалла	-40°C ~ 150°C	-40°C ~ 150°C	-40°C ~ 150°C	-40°C ~ 150°C	-40°C ~ 125°C
Время спада/нарастания выходного сигнала	7 / 6 ns	9 / 8 ns	25 / 25 ns	6 / 6 ns	8 / 7 ns
Задержка сигнала	14 ns	21 ns	ND	22 ns	19 ns
Время согласования между выходами	1 ns	1 ns	ND	1 ns	ND
Потребление тока (25°C, 12VDD)	350 uA	950 uA	120 uA*	600 uA	100 uA*



Интеллектуальные изолированные драйверы от Novosense

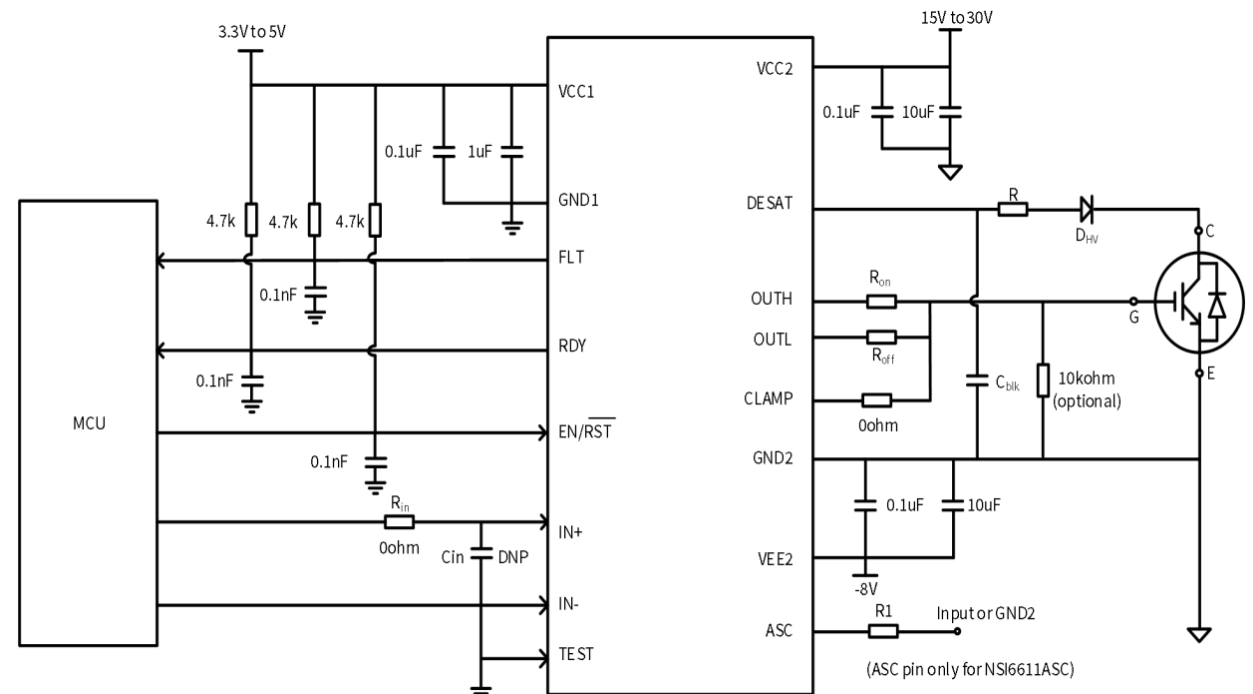
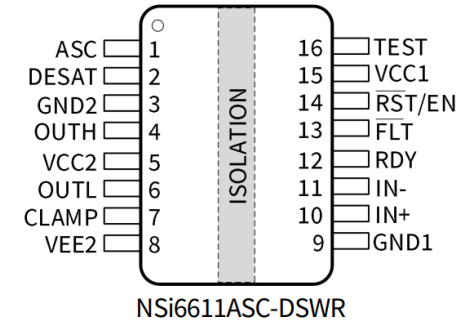
NSi66x1A - Single-Channel Isolated Smart Gate Driver

ОСОБЕННОСТИ

- Работа с IGBT и SiC MOSFET
- Напряжение изоляции 5.7 кВ (RMS)
- Рабочее напряжение драйвера 1500 В (RMS)
- Питание драйвера до 32 В со схемой UVLO
- Выходной ток ± 10 А
- Высокая стойкость к синфазным помехам ± 150 кВ/мкс
- Функция активного короткого замыкания ASC
- Высокое быстродействие схемы DESAT 200 нс
- Мониторинг состояние работы микросхемы (выводы Fault и Ready)
- Типовая задержка распространения 80 нс
- Мягкое выключение током 400 мА
- Макс. искажение длительности импульса 30 нс
- Схема активного подавления эффекта Миллера
- Температурный диапазон работы $-40^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$
- Широкий корпус SO16-300 (SOW16)
- Квалификация AEC-Q100 для автомобильного применения (NSi66x1AxС-Q)

ПРИМЕНЕНИЕ

- Тяговые инверторы для электромобилей
- Зарядные устройства для гибридных авто и электромобилей
- Промышленные приводы электродвигателей
- Инверторы солнечных панелей
- Мощные импульсные источники питания



Доступность MOSFET в цифрах:

- **550+** Доступных уникальных PN со склада (15M+ штук)
- **20+** Производителей на складе (WAYON, YJ, JSCJ и др.)
- **+3** Новых производителя на складе **NCE, CRMICRO, JIEJIE**
- **90%+** Замены на хайранеры
- **6-10 недель** Средние сроки поставки под заказ

Спасибо за внимание
感谢您的参与
愿原力与你同在