

# Полупроводниковые технологии:

## силовые IGBT и MOSFET компании Alpha & Omega

**Компания Alpha & Omega Semiconductor (AOS, США) известна как разработчик и производитель высокотехнологичных силовых полупроводниковых приборов, микросхем управления питанием, устройств защиты и силовых модулей. Компания основана в 2000 году выходцами из Китайской Республики (Тайвань) Майком Ф. Чангом (Mike F. Chang) и Юе-Се Хо (Yueh-Se Ho).**

**Юрий Петропавловский**

**К**омпания разработала и запатентовала ряд инновационных технологий производства силовых полупроводниковых приборов и микросхем:

- IGBT средней и большой мощности AlphaIGBT.
- Сборки (*n*-канал и *p*-канал) PairFET со сверхнизким  $R_{ds\ on}$ , например, прибор AON6970 содержит *n*-канальные полевые транзисторы верхнего плеча с  $R_{ds\ on}$  5,4 мОм ( $I_d = 58$  А,  $V_{ds} = 10$  В) и нижнего плеча с  $R_{ds\ on}$  1,5 мОм ( $I_d = 85$  А,  $V_{ds} = 10$  В), 30-вольтовые приборы выполнены в компактных корпусах для монтажа на поверхность DFN5X6D (габариты 5,2×5,55×0,9 мм).
- Высоковольтные MOSFET AlphaMOS, AlphaMOS-II.
- Карбид-кремниевые полевые транзисторы на напряжении 1200 В UniSiC Stack-Cascode MOSFET, разработанные совместно с лабораторией

SemiSouth Laboratories, приборы характеризуются  $R_{ds\ on}$  порядка 80 мОм ( $V_{gs} = 20$  В).

В продуктовый портфель 2014 года входят следующие категории изделий [4].

Аналоговые переключатели и высокоскоростные USB-коммутаторы. К данной категории относятся микросхемы одиночных и двояных КМОП-коммутаторов структур SPST, SPDT с сопротивлением открытого канала  $R_{ds\ on}$  0,25–2 Ом с низкими значениями нелинейных искажений (THD — 0,002–0,1%), выполненные в различных миниатюрных корпусах. Коммутаторы USB 2.0 структуры DPDT с полосой пропускания до 1,1 ГГц.

Мощные микросхемы управления питанием, в их числе:

- Понижающие DC/DC-преобразователи, выполненные по технологии EZBuck, — 15 типов микросхем с выходными токами 1,2–8 А и выходными напряжениями 0,16–30 В.
- Повышающие DC/DC-преобразователи EZBoost — 7 типов микросхем с выходными напряжениями до 44 В ( $U_{вх}$  2,7–25 В), частоты коммутации до 1,2 МГц.
- DC/DC-преобразователи с двумя выходами ( $U_{вых}$  0,8–22 В).
- DC/DC-преобразователи EZPower с «интеллектуальным» управлением нагрузкой (Smart Load Switch) с выходным током до 10 А и малыми значениями  $R_{ds\ on}$  (5 мОм...0,15 Ом).
- Мощные высокопроизводительные модули DrMOS с выходными токами до 60 А.
- Линейные стабилизаторы LDO с падением напряжения 180–270 мВ (2/3 А).
- Корректоры коэффициента мощности.
- IGBT с антипараллельными диодами — более 20 типов приборов на напряжение 600/1350 В и выходными токами до 150 А.
- MOSFET с обратными диодами, в их числе:
  - комплементарные сборки из *n*-канальных и *p*-канальных полевых транзисторов с  $R_{ds\ on}$  27–180 мОм и выходными токами до 8,5 А;
  - 2-транзисторные *n*-канальные и *p*-канальные сборки с обратными диодами ( $R_{ds\ on}$  19–52 мОм,  $I_c$  до 9 А);

Подразделение разработчиков, насчитывающее 250 сотрудников, базируется в головном офисе AOS (г. Саннивейл, штат Калифорния), производство продукции сопровождает подразделение Alpha & Omega Semiconductor (Shanghai). Изготовление чипов в основном осуществляется на фабриках Shanghai Huahong Grace Semiconductor Manufacturing Corporation (г. Шанхай, КНР). HNGrace является контрактным производителем № 7/2012 в мировом рейтинге производителей полупроводниковых пластин. Микросхемы и полупроводниковые приборы AOS выпускаются на фабриках Millennium Microtech и Agape Packaging Manufacturing (APM), расположенных в технологическом парке Zhang Jiang (г. Шанхай, КНР). Часть капитала обеих фабрик принадлежит AOS. Alpha and Omega Semiconductor (Taiwan) Limited объединяет второй дизайн-центр и центр обеспечения маркетинга продуктов компании в Азиатско-Тихоокеанском регионе [2, 3]. Помимо США, компания располагает офисами продаж в КНР, Южной Корее, Гонконге, Японии и на Тайване. Основными дистрибьюторами продукции AOS являются тайваньские Promate Electronic и Frontek (AIT Group). Среди крупных клиентов компании такие мировые производители электроники, как ASUSTeK Computers, Dell, Hewlett-Packard Company, Samsung Group и ряд других. В настоящее время в подразделениях AOS в США и Азии работают свыше 2700 сотрудников, компании принадлежит 328 патентов США, подано 209 патентных заявок (на июнь 2013 года).

- *n*-канальные транзисторы — более 500 типов приборов на напряжение до 1000 В и ток до 180 А;
- *p*-канальные транзисторы — более 70 типов приборов на напряжение до -60 В и ток до -80 А.

Приборы защиты от перенапряжений TVS (Transient Voltage Suppressors) — десятки типов устройств с малыми емкостями, диодные сборки, с фильтрами помех и рассчитанные на большие перепады тока.

AOS выпускает продукты, предназначенные как для массовой потребительской электроники, бытовой и компьютерной техники, так и для ответственных промышленных приложений. К целевым сферам применения продуктов компания относит следующие направления: плоскоэкранные телевизоры и дисплеи, светодиодное освещение, промышленные системы привода двигателей и источники питания, серверы и телекоммуникационное оборудование. Компания выпускает дискретные силовые MOSFET и IGBT всех классов — малой, средней и большой мощности.

IGBT средней и большой мощности AOS ориентированы на применение в промышленных приводах, сварочных аппаратах, в системах индукционного нагрева, возобновляемых источниках энергии, системах бесперебойного питания и других силовых приложениях. Классификационные параметры перспективных (категория NEW) силовых IGBT со встроенными антипараллельными диодами компании приведены в таблице 1. Большинство IGBT компании выполнено по запатентованной технологии AlphaIGBT. Первые серийные приборы, изготовленные по данной технологии, были представлены в 2012 году, эти 600-В IGBT ориентированы на обеспечение растущего спроса на рынке высокоэффективных промышленных и потребительских приложений. Запатентованная технология AlphaIGBT

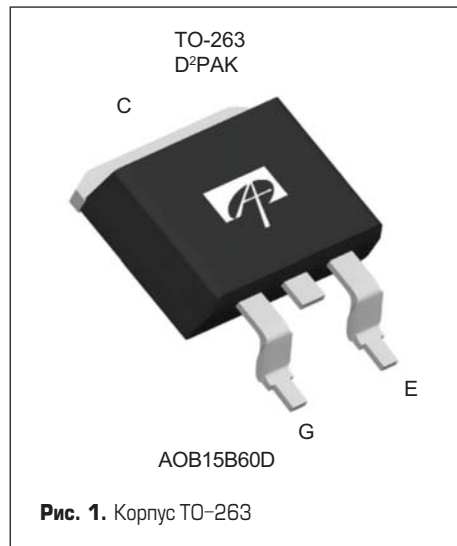


Рис. 1. Корпус TO-263

сочетает уникальные свойства ячеек приборов с вертикальной структурой кристалла, что обеспечивает одно из лучших в своем классе напряжение насыщения ( $V_{ce\ sat}$ ) и потери выключения ( $E_{off}$ ). Новые IGBT могут работать в широком диапазоне частот переключения и обеспечивают хорошую устойчивость к продолжительным коротким замыканиям.

Большое внимание компания уделяет обеспечению высокой надежности выпускаемых приборов, все типы которых проходят испытания на воздействие различных факторов внешней среды, результаты испытаний на надежность для ряда серий IGBT доступны на сайте компании. Рассмотрим особенности некоторых серий приборов, приведенных в таблице 1.

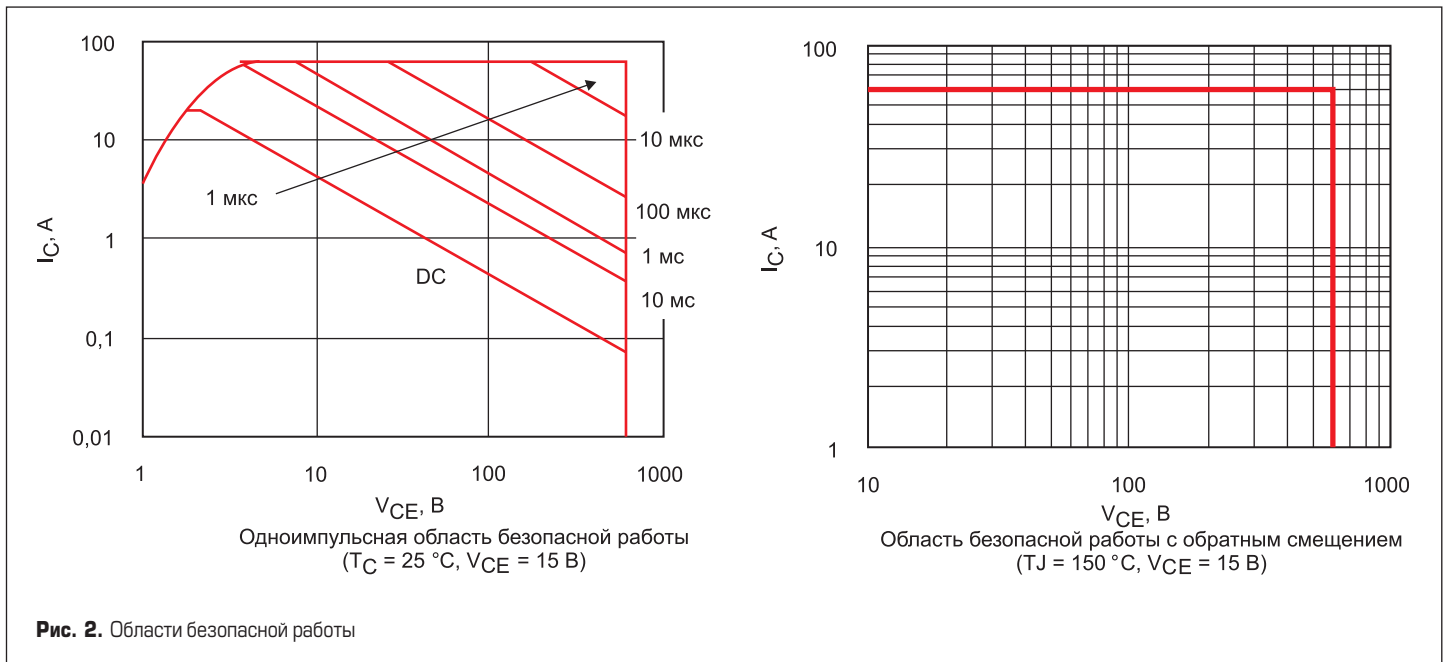
AOB10B60D, AOB15B60D, AOB5B60D (спецификации 2013 г.) — эти приборы выполнены в корпусах TO-263 (D²PAK, внешний вид показан на рис. 1) по технологии AlphaIGBT, обеспечивают высокую производительность

и малые потери, а также устойчивость к коротким замыканиям. Устройства сконструированы так, чтобы поддерживать минимальный пиковый ток затвора (Gate Spike), осцилляции при высоких значениях  $dV/dt$  и легкую реализацию параллельного включения приборов. Параметры встроенных диодов подобраны для обеспечения минимальных потерь переключения в схемах управления двигателями. Приведем основные параметры приборов AOB15B60D (кроме отмеченных в таблице 1), через дробь указаны отличающиеся параметры приборов AOB10B60D и AOB5B60D:

- импульсный ток коллектора  $I_{cm}$  и область безопасной работы при выключении (Turn off SOA) при  $V_{ce} \leq 600$  В — 60/40/20 А (снижается при увеличении  $T_j$ ; выше 25 °С), диаграммы SOA (одноимпульсная и с обратным смещением) приведены на рис. 2;
- мощность рассеяния  $P_d$ : 167/163/82,4 Вт (при  $T_{корп} = 25$  °С), 83,3/82/41,2 Вт (100 °С), зависимости мощности рассеяния и допустимого тока коллектора от температуры приведены на рис. 3;
- диапазон температур перехода (работа и хранение): -55...+150 °С;
- тепловое сопротивление переход-корпус  $R_{jc}$ : 0,9/0,92/1,82 °С/Вт (IGBT), 1,5/1,7/3 °С/Вт (диод);
- входная и выходная емкости  $C_{ies}$ ,  $C_{oes}$ : 1290/824/367 пФ; 97/68/34 пФ;
- максимальный ток коллектора при КЗ  $I_c$ : 74/43/21 А (1000 КЗ с длительностью 10 мкс при периоде следования более 1 с);
- время включения и выключения  $t_r$ ,  $t_f$  при  $T_j = 150$  °С: 19/15/15 нс; 8/8,8/12 нс;
- энергия включения  $E_{on}$ , выключения  $E_{off}$ , переключения  $E_{total}$  при  $T_j = 150$  °С: 0,54/0,26/0,14 мДж; 0,19/0,07/0,04 мДж; 0,73/0,33/0,18 мДж;
- время восстановления обратного сопротивления диода  $t_{rr}$ : 235/105/98 нс.

Таблица 1. Классификационные параметры перспективных (категория NEW) силовых IGBT со встроенными антипараллельными диодами

Тип прибора	$V_{ce}$ , В	$I_c$ (25 °С), А	$I_c$ (100 °С), А	$V_{ce\ sat}$ , В	$E_{on}$ , мДж	$E_{off}$ , мДж	$Q_g$ , нК	$V_f$ , В	$Q_{rr}$ , мКК	$I_{rm}$ , А	Корпус
AOB10B60D	600	20	10	1,53	0,26	0,07	17,4	1,52	0,25	5	TO263
AOB15B60D		30	15	1,6	0,42	0,11	25,4	1,43	0,48	5,8	
AOB5B60D		10	5	1,55	0,14	0,04	9,4	1,46	0,23	4,4	
AOD5B60D	60	10	5	1,55	0,14	0,04	9,4	1,46	0,23	4,4	TO252
AOK10B60D	600	20	10	1,53	0,32	0,12	17,4	1,52	0,25	5	TO247
AOK15B60D		30	15	1,6	0,51	0,11	25,4	1,43	0,48	5,8	
AOK20B135D1	1350	40	20	1,57	-	1,05	66	1,46	-	-	
AOK20B60D1	600	40	20	1,85	0,76	0,18	24,6	1,35	0,43	6,5	
AOK30B60D		60	30	1,6	1,18	0,2	47	1,34	0,8	9,5	
AOK30B60D1		60	30	1,85	1,1	0,24	34	1,47	0,5	7	
AOK40B60D		80	40	1,6	1,72	0,3	6,35	1,36	0,86	10	
AOK40B60D1		80	40	1,85	1,55	0,3	45	1,42	0,63	8	
AOK50B60D1		100	50	1,85	2,37	0,5	64	1,4	0,77	9	
AOK60B60D1		120	60	1,85	3,1	0,73	75	1,34	0,84	10	
AOK75B60D1		150	75	1,72	3,7	1,3	118	1,44	0,9	10	
AOT10B60D	600	20	10	1,53	0,26	0,07	17,4	1,52	0,25	5	TO220
AOT15B60D		30	15	1,6	0,42	0,11	25,4	1,43	0,48	5,8	T9220
AOT5B60D		10	5	1,55	0,14	0,04	9,4	1,46	0,23	4,4	TO220
AOTF10B60D		20	10	1,53	0,35	0,16	17,4	1,52	0,25	5	TO220F
AOTF10B60D2		23	10	1,55	0,14	0,04	9,4	1,46	0,23	4,4	
AOTF15B60D		30	15	1,6	0,42	0,11	25,4	1,43	0,48	5,8	
AOTF15B60D2		23	15	1,53	0,26	0,07	17,4	1,52	0,25	5	
AOTF5B60D		10	5	1,55	0,14	0,04	9,4	1,46	0,23	4,4	



Приборы серии проходят испытания на надежность в соответствии со стандартами комитета инженерной стандартизации полупроводниковой продукции (JECED), приведем результаты испытаний приборов АОВ10В60D.

MSL Precondition — предварительные испытания на влажность согласно стандарту JESD22-A113; условия: 168 часов при 85 °C/85% RH плюс 3 цикла пайки при T = 260 °C.

HTGB (High Temperature Gate Bias) — испытания на ток утечки затвора  $I_{ges}$  при высокой температуре в соответствии со стандартом JESD22-A108; условия: T = 150 °C,  $V_{ge}$  = 100% от максимального напряжения на затворе ( $\pm 20$  В), 168/500/1000 часов (для разных партий испытываемых приборов).

HTRB (High Temperature Reverse Bias) — испытания на начальный ток коллектора  $I_{ces}$  при высокой температуре в соответствии со стандартом JESD22-A108; условия испытаний: T = 150 °C,  $V_{ce}$  = 80% от максималь-

ного напряжения на коллекторе (480 В), 168/500/1000 часов.

HAST (Highly Accelerated Stress Test) — испытания при повышенных влажности, давлении и температуре в соответствии со стандартом JESD22-A110; условия испытаний: T = 130 °C, влажность 85% RH, давление 33,3 psi (фунт-сила на квадратный дюйм),  $V_{ce}$  не более 80% от максимального напряжения на коллекторе (до образования дуги), 96 часов.

Pressure Pot — испытания в автоклаве в соответствии со стандартом JESD22-A102; условия: T = 121 °C, давление 29,7 psi, влажность 100 % RH, 96 часов.

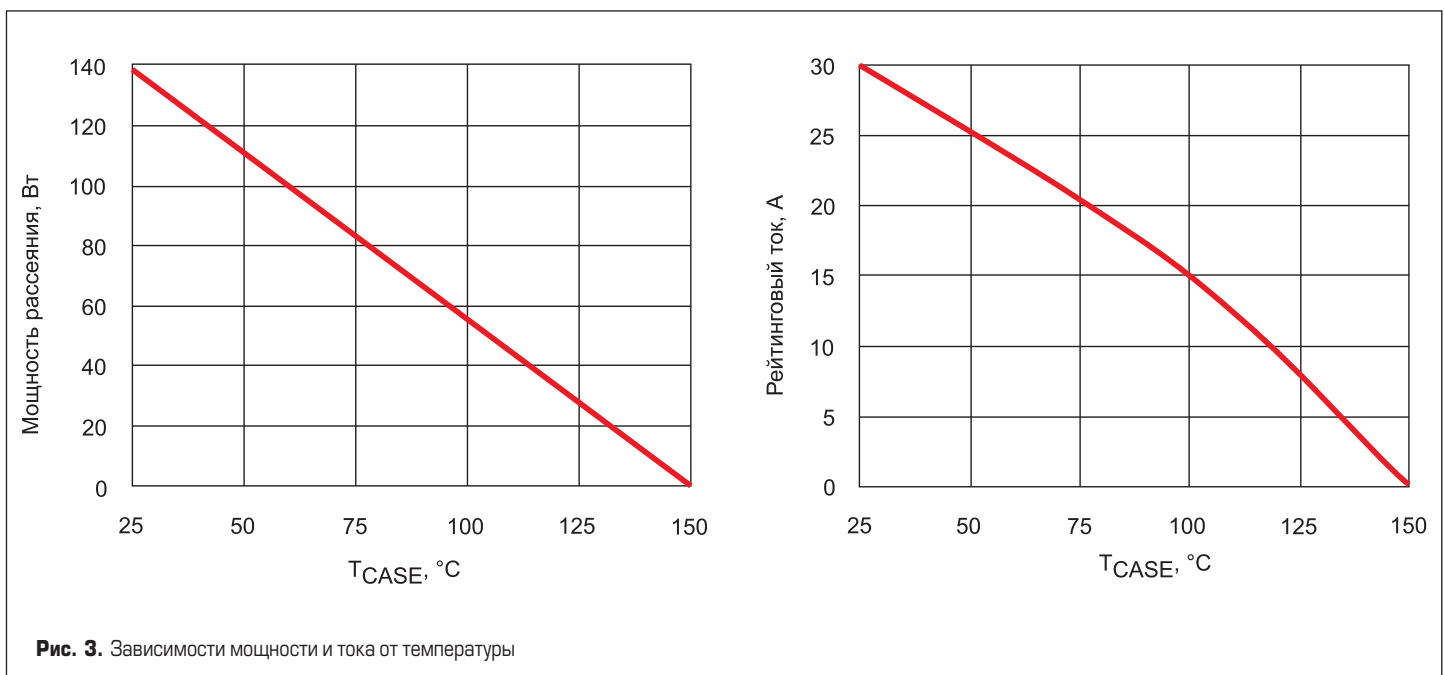
Термоциклирование на воздухе: 250/500 циклов от -65...+150 °C.

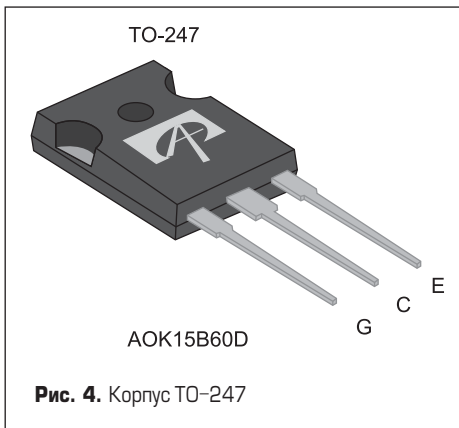
Расчитанная интенсивность отказов (Failure Rate) 3,52 FIT (FIT соответствует одному отказу на  $10^9$  часов наработки), средняя наработка до отказа (MTTF) — 32 413 лет.

АОК10В60D, АОК15В60D, АОК30В60D, АОК40В60D (спецификации 2013 г.) — приборы выполнены в корпусах ТО-247 (внешний вид показан на рис. 4) по технологии AlphaIGBT со всеми описанными выше особенностями. Приведем основные параметры приборов АОК40В60D (кроме перечисленных в таблице 1):

- ток  $I_{cm}$ ,  $I_c$  — 160 А; мощность  $P_d$  — 312,5 Вт (25 °C), 125 Вт (100 °C);
- диапазон температур перехода: -55...+150 °C;
- тепловое сопротивление  $R_{jc}$ : 0,4 (IGBT); 0,65 (диод) °C/Вт;
- емкости  $C_{ies}/C_{oes}$ : 2584/303 пФ;
- быстродействие:  $t_r$  = 52 нс,  $t_f$  = 12 нс,  $t_{rr}$  = 138 нс;
- энергия потерь:  $E_{on}$  = 1,72 мДж,  $E_{off}$  = 0,3 мДж,  $E_{total}$  = 2 мДж.

Испытания на надежность этой серии приборов проводятся в том же объеме, что и тестирования приборов описанной выше серии, с добавлением испытаний на циклирование





мощности (Power Cycling), выполняющих-ся при изменении температуры перехода на 125 °С (3000 циклов). Параметры надежности прибора AOK15B60D: интенсивность отказов 9 FIT, MTTF = 12 392 года.

AOK20B60D1, AOK30B60D1, AOK40B60D1, AOK60B60D1, AOK75B60D1 (спецификации май 2014 г.) — линейка приборов данной серии, также выполненных по технологии AlphaIGBT, расширена двумя более мощными типами, предназначенными для применения в сварочных аппаратах, инверторах солнечных батарей и источниках бесперебойного питания, основные параметры приборов AOK75B60D1:

- ток  $I_{cm}$ ,  $I_c$  — 290 А; мощность  $P_d$  — 500 Вт (25 °С), 200 Вт (100 °С);
- тепловое сопротивление  $R_{jc}$ : 0,25 (IGBT)/0,95 (диод) °С /Вт;
- емкости  $C_{ies}/C_{oes}$ : 4750/470 пФ;
- быстродействие:  $t_r$  = 69 нс,  $t_f$  = 18,4 нс,  $t_{rr}$  = 147 нс;
- энергия потерь:  $E_{on}$  = 3,7 мДж,  $E_{off}$  = 1,3 мДж,  $E_{total}$  = 5 мДж.

При проведении тестов приборов рассматриваемой серии добавлены испытания на воздействие высокой температуры HTSL (T=150 °С, 1000 часов) по стандарту JESD22-A103 и на циклирование мощности при изменении температуры на 100 °С (6000 циклов) по стандарту AES Q101. Параметры надежности приборов AOK20B60D1: интенсивность отказов 3,43 FIT, MTTF = 33 270 лет.

AOTxxB60D (спецификации 2013 г.), AOTFxxB60D/D2 (2014 г.) — приборы этих серий выполнены в изолированных корпусах TO220F (AOTFxx) и неизолированных корпусах TO220 (AOTxx) также по технологии AlphaIGBT и характеризуются теми же особенностями, что и приборы ранее описанных серий.

AOK20B135D1 (2014 г.) — высоковольтные приборы, выполненные в корпусах TO-247, предназначены для применения в системах индукционного нагрева, микроволновых печах, бытовых нагревательных приборах, приводах двигателей и других промышленных и потребительских приложениях. Транзисторы отличаются расширенным диапазоном температур перехода и хранения -55...+175 °С, другие параметры прибора:

- ток  $I_{cm}$ ,  $I_c$  (sc) — 80 А; мощность  $P_d$  — 340 Вт (25 °С), 170 Вт (100 °С);

Таблица 2. Классификационные параметры перспективных силовых полевых транзисторов

Тип	Структура	$V_{dsr}$ , В	$I_d$ (25 °С), А	$I_d$ (70 °С), А	$P_d$ (25 °С), Вт	$R_{ds(on)}/U_{dsr}$ , мОм/В	$Q_{gs}$ , нс	Корпус
AOB10N60	n	600	10	7,2	250	750/10	31	TO-263
AOB1100L		100	130	92	500	11,7/10	82	
AOB11C60		600	11	8	278	400/10	30	
AOB11N60		600	11	8	272	700/10	30,6	
AOB12N60FD		600	12	8	278	650/10	41	
AOB1404L		40	220	157	417	3,9/10	71	
AOB14N50		500	14	11	278	380/10	42,8	
AOB1606L		60	178	126	417	6/10	85	
AOB1608L		60	140	100	333	7,3/10	69	
AOB20S60		600	20	11	266	199/10	19,8	
AOB2500L		150	152	107	375	6,2/10	97	
AOB290L		100	140	110	500	3,2/10	90	
AOB2918L		100	90	70	267	7/10	38	
AOB298L		500	29	18	357	150/10	26,6	
AOB410L		100	150	108	333	6,1/10	107	
AOB418L		100	105	82	333	9,7/10	69	
AOB42S60		600	37	23	417	109/10	40	
AOB470L		75	100	78	268	134/10	114	
AOB480L		80	180	134	333	4,2/10	116	
AOB482L		80	105	82	333	6,9/10	66,8	
AOK10N90	n	900	10	7	403	980/10	60	TO-247
AOK18N65		650	18	12	417	390/10	56	
AOK20N60		600	20	12	417	370/10	61	
AOK20S60		600	20	14	266	199/10	19,8	
AOK27S60		600	27	17	357	160/10	26	
AOK29S50		500	29	18	357	150/10	26,6	
AOK40N30		300	40	25	357	85/10	60	
AOK42S60		600	39	25	417	99/10	40	
AOKT3S60		600	53	33	520	70/10	59	
AOK60N30		300	60	40	658	56/10	88	
AOK8N90		900	9	6	368	1300/10	46	
AOT1100L		100	130	92	500	12/10	26	
AOT11C60		600	11	9	278	400/10	30	
AOT11N60		600	11	9	272	650/10	30,6	
AOT11N70		700	11	7,2	271	870/10	37,5	
AOT12N60		600	12	9,7	278	550/10	40	
AOT12N60FD		600	12	8	278	650/10	41	
AOT12N65		650	12	7,7	278	720/10	39,8	
AOT1404L		40	220	157	417	4,2/10	71	
AOT14N50		500	15	10	278	470/10	38,6	
AOT1606L	60	178	126	417	6,3/10	85		
AOT1608L	60	140	100	333	7,6/10	69		
AOT16N50	500	16	11	278	370/10	42,6		
AOT20N60	600	20	12	417	370/10	61		
AOT20S60	600	20	14	266	199/10	19,8		
AOT22N50	500	22	16	417	260/10	69		
AOT2500L	150	152	107	375	6,5/10	97		
AOT260L	60	140	110	330	2,5/10	150		
AOT262L	60	140	110	333	3/10	95		
AOT264L	60	140	110	333	3,2/10	78		
AOT270AL	75	140	110	500	2,6/10	147		
AOT27S60	600	27	17	357	160/10	26		
AOT280L	80	140	110	333	2,7/10	160		
AOT290L	100	140	110	500	3,5/10	90		
AOT292L	100	105	82	300	4,5/10	90		
AOT29S50	500	29	18	357	150/10	26,6		
AOT418L	100	105	82	333	10/10	69		
AOT42S60	600	37	23	417	109/10	40		
AOT472	75	140	101	417	11,3/10	96		
AOT474	75	127	89	417	11,3/10	49,6		
AOT480L	80	180	134	333	4,5/10	116		
AOT482L	80	105	82	333	7,2/10	66,8		
AOV20S60	600	18	13	278	250/10	20	DFN8 8	
AOW10N60	600	10	7,2	250	750/10	31	TO-262	
AOW10N65	650	10	6,2	250	1000/10	27,7		
AOW12N50	500	12	8,4	250	520/10	30,7		
AOW12N60	600	12	9,7	278	550/10	40		
AOW2500	150	152	107	375	6,2/10	97		
AOW25S65	650	25	16	357	190/10	26,4		
AOW29S50	500	29	18	357	150/10	26,8		
AOB411L	-60	-78	-55	187	16,5/10	40		TO-263
AOD425	-30	-40	-8,9	50	17/10	11		TO-252
AOI403	-30	-70	-55	90	6,7/20; 8,5/10	51		TO-251A
AOI409	-60	-26	-18	60	40/10	22,2		
AOI4185	-40	-40	-31	62,5	15/10	18,6		
AO423	-30	-70	-67	90	8,5/10	61,2		
AON6403	-30	-85	-67	83	3,1/10; 4,3/4,5	163		
AON6405	-30	-30	-23	83	7/10; 8/4,5	41	DFN5x6 EP	
AON6407	-30	-85	-67	83	4,5/10	75		
AON6411	-20	-85	-67	156	2,1/10; 2,5/4,5	100		
AON7405	-30	-50	-39	83	6,2/10	21		DFN3.3x3.3
AON7409	-30	-32	-26	96	8,5/10	18,5		DFN3x3 EP
AON7421	-20	-50	-39	83	4,6/10; 5,8/4,5	44		DFN3.3x3.3
AON7423	-20	-50	-39	83	5/4,5; 8,5/1,8	70	DFN3.3x3.3	
AOY423	-30	-70	-67	90	8,5/10	15	TO251B	

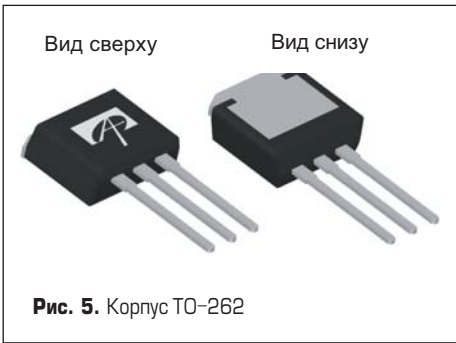


Рис. 5. Корпус TO-262

- тепловое сопротивление  $R_{jc}$ : 0,44 (IGBT), 1,2 (диод) °C/Вт;
- емкости  $C_{ies}/C_{oes}$ : 1900/107 пФ;
- быстродействие и энергия потерь при температуре  $T_j = 175$  °C:  $t_f = 150$  нс,  $E_{off} = 1,76$  мДж.

Компания выпускает широчайшую номенклатуру полевых транзисторов с изолированными затворами и сборок из пар полевых транзисторов с различной проводимостью каналов. В каталоге компании 2014 года представлено более семи сотен типов MOSFET малой, средней и большой мощности. Классификационные параметры перспективных силовых *n*-канальных полевых транзисторов с  $P_d$  более 250 Вт и *p*-канальных с  $P_d$  более 50 Вт приведены в таблице 2.

Ряд типов полевых транзисторов с изолированным затвором компании выполнен по запатентованной технологии AlphaMOS. Высоковольтные приборы, изготовленные по этой технологии, обеспечивают снижение сопротивления  $R_{ds\ on}$  в режиме переключения до 3,5 раз в сравнении с планарными МОП-транзисторами, а также существенное уменьшение заряда затвора. Впечатляющие преимущества новых приборов открывают дополнительные сферы их применения в приложениях, требующих высокой энергоэффективности [5]. Рассмотрим особенности и приведем параметры некоторых перспективных MOSFET компании.

АОК42S60 (спецификация 2012 г.) — полевые транзисторы со встроенными обратными диодами выполнены по технологии AlphaMOS ( $\alpha$ MOS) в корпусе TO-247 (соответствует рис. 4), основные параметры (кроме приведенных в таблице 2):

- импульсный ток стока  $I_{dm}$ : 166 А;
- одноимпульсная энергия лавинного пробоя (Single pulsed avalanche energy)  $E_{as}$ : 1345 мДж;
- диапазон температур кристалла (рабочих и хранения): -55...+150 °C;
- тепловое сопротивление переход-корпус  $R_{jc}$ : 0,3 °C/Вт;
- сопротивление открытого канала  $R_{ds\ on}$ : не более 0,099 Ом (25 °C), 0,28 Ом (150 °C);
- прямое напряжение обратного диода  $V_{sd}$ : 0,84 В;
- входная/выходная емкости  $C_{iss}/C_{oss}$ : 2154/135 пФ;
- время нарастания/спада  $t_r/t_f$ : 53/46 нс, время восстановления обратного сопротивления диода  $t_{rr}$  — 473 нс.

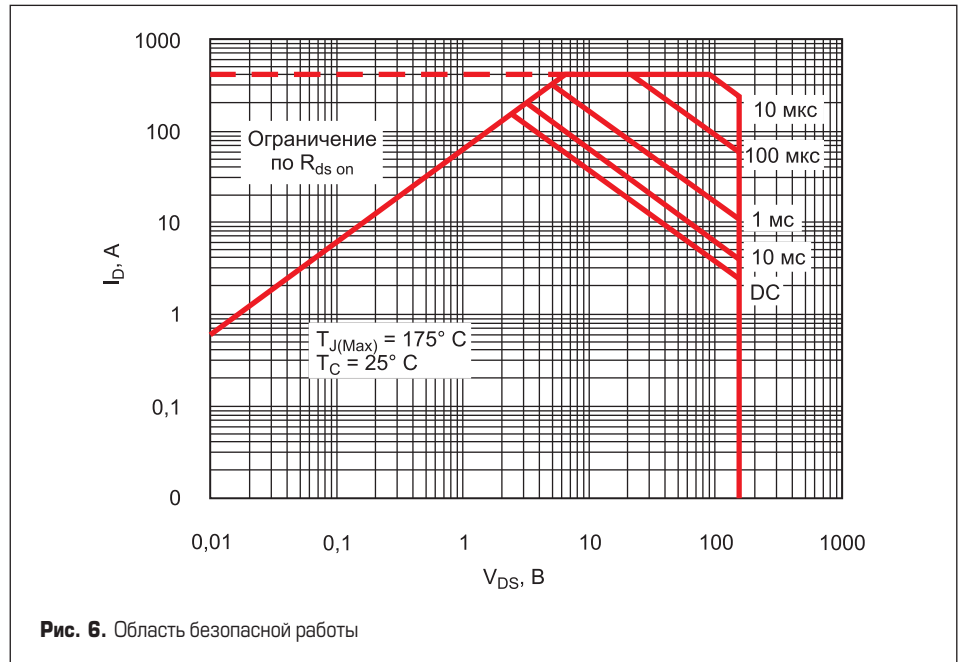


Рис. 6. Область безопасной работы

АОВ2500 (2013 г.) — полевой транзистор с траншейным затвором (Trench MOSFET) со встроенным обратным диодом, выполненный в корпусе TO-262 (внешний вид на рис. 5). Прибор характеризуется малыми потерями проводимости и переключения и предназначен для применения в синхронных выпрямителях, телекоммуникационном и промышленном оборудовании, в системах светодиодного освещения, промышленных и потребительских источниках питания, основные параметры прибора:

- ток  $I_{dm}$  — 440 А, энергия  $E_{as}$  — 634 мДж;
- диапазон температур кристаллов: -55...+175 °C;
- тепловое сопротивление  $R_{jc}$ : 0,26 °C/Вт;
- $R_{ds\ on}$  не более: 6,2 мОм (25 °C), 12 мОм (125 °C);
- прямое напряжение диода  $V_{sd}$ : 0,66 В;
- параметры переключения:  $t_r = 18,5$  нс,  $t_f = 14$  нс,  $t_{rr} = 90$  нс;
- емкости:  $C_{iss} = 6460$  пФ,  $C_{oss} = 586$  пФ.

Диаграммы областей безопасной работы прибора при различных длительностях импульсов и постоянном токе приведены на рис. 6. Как видно из рисунка, наиболее эффективная работа транзистора обеспечивается при частотах коммутации по-

рядка 50–100 кГц ( $T_{вкл}$  порядка 10 мкс). Испытания приборов на надежность проводятся практически в таком же объеме, что и испытания IGBT, описанные выше. Параметры надежности транзисторов: интенсивность отказов 3,27 FIT, MTTF = 34 906 лет.

АОВ284 (2014 г.) — полевой транзистор с изолированным затвором и обратным диодом, выполненный в корпусе TO-262 по технологии AlphaMOS. Целевыми назначениями прибора являются быстродействующие DC/DC- и AC/DC-преобразователи напряжения, промышленные системы управления двигателями, основные параметры транзистора:

- ток  $I_{dm}$  — 400 А, энергия  $E_{as}$  — 211 мДж;
- диапазон температур кристаллов: -55...+175 °C;
- тепловое сопротивление  $R_{jc}$ : 0,52 °C/Вт;
- $R_{ds\ on}$  не более: 4,3 мОм (25 °C), 7 мОм (125 °C);
- параметры переключения:  $t_r = 11$  нс,  $t_f = 9$  нс,  $t_{rr} = 38$  нс;
- емкости:  $C_{iss} = 5154$  пФ,  $C_{oss} = 673$  пФ (на частоте 1 МГц).

АОВ20S60 (2013 г.) — полевой транзистор с изолированным затвором и обратным дио-

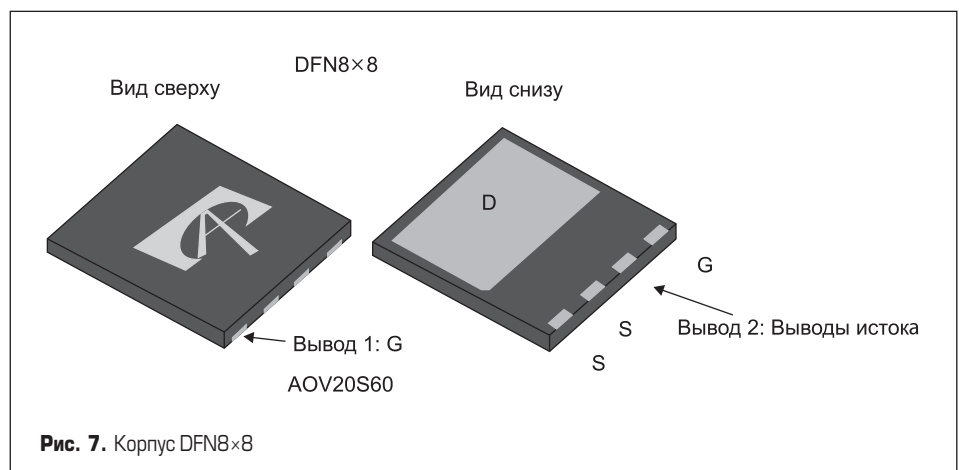


Рис. 7. Корпус DFN8x8

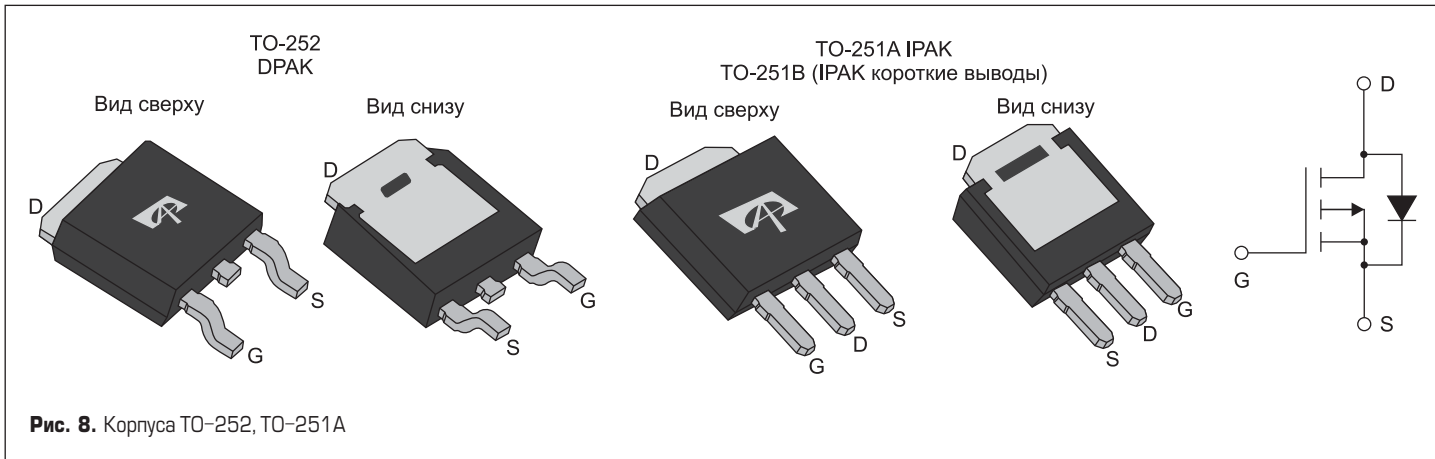


Рис. 8. Корпуса TO-252, TO-251A

дом, выполненный по технологии AlphaMOS в корпусе DFN8×8 (внешний вид на рис. 7). Оптимальное сочетание таких параметров прибора, как  $R_{ds\ on}$ ,  $Q_g$  и  $E_{oss}$ , обеспечивает их высокую производительность в схемах преобразователей напряжения и привода двигателей. Основные параметры транзистора:

- ток  $I_{dm}$  — 80 А, энергия  $E_{as}$  — 188 мДж;
- диапазон температур кристаллов:  $-55...+150^\circ\text{C}$ ;
- тепловое сопротивление  $R_{jc}$ : 0,35  $^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;
- $R_{ds\ on}$  не более: 0,25 Ом ( $25^\circ\text{C}$ ), 0,66 ( $150^\circ\text{C}$ );
- параметры переключения:  $t_r = 32$  нс,  $t_f = 30$  нс,  $t_{rr} = 350$  нс;
- емкости:  $C_{iss} = 1038$  пФ,  $C_{oss} = 68$  пФ (на частоте 1 МГц).

AOT42S60, AOB42S60 (2014 г.) — AlphaMOS полевые транзисторы в корпусах TO-220 и TO-263 с отличным соотношением параметров  $R_{ds\ on}$ ,  $Q_g$  и  $E_{oss}$ . Предназначены для широкого спектра промышленных и потребительских приложений.

AOD423 (DPAK), AOI423 (TO-251A), AOY423 (TO-251B, август 2014 г.) —  $p$ -канальные полевые транзисторы с траншейными затворами, встроенными обратными диодами и экстремально низким сопротивлением открытого канала, выполненные в корпусах DPAK, IPAK (внешний

вид на рис. 8). Приборы отлично подходят для коммутации силовых нагрузок, являясь фактически эквивалентом реле. Основные параметры транзисторов:

- ток  $I_{dm}$  — 200 А, энергия  $E_{as}$  — 125 мДж (при индуктивности нагрузки до 0,1 мГн);
- диапазон температур кристаллов:  $-55...+175^\circ\text{C}$ ;
- $R_{ds\ on}$  не более: 6,2 мОм (при токе  $-20$  А,  $T = 25^\circ\text{C}$ ), зависимость относительного значения  $R_{ds\ on}$  (относительно  $R_{ds\ on}$  при  $25^\circ\text{C}$ ) от температуры кристаллов приведена на рис. 9, из которого видно, что даже при максимально допустимых температурах сопротивление открытого канала не увеличивается более чем на 40–60%;
- параметры переключения:  $t_r = 23$  нс,  $t_f = 26$  нс,  $t_{rr} = 15$  нс (использован быстродействующий диод);
- емкости:  $C_{iss} = 2760$  пФ,  $C_{oss} = 550$  пФ.

Диаграммы областей безопасной работы приборов приведены на рис. 10, из них следует, что эффективно использовать приборы в качестве коммутатора (реле) питания можно в диапазонах токов от 3 А ( $V_{ds}$  от 40 мВ до 30 В) до 10 А ( $V_{ds}$  от 100 мВ до 10 В).

Компания выпускает большой ассортимент сборок полевых транзисторов

с  $n$ - и  $p$ -каналами, а также сборки комплементарных транзисторов с  $n$ - $p$ -каналами.

**Заключение**

Учитывая текущую «санкционную обстановку», силовые полупроводниковые приборы и микросхемы AOS могут заинтересовать потенциальных отечественных разработчиков и заказчиков многих предприятий. Созданы они под руководством китайских специалистов (из Тайваня) и в соответствии с жесткими требованиями, принятыми в США, а изготавливаются на китайских (КНР) предприятиях и ориентированы для продаж преимущественно в странах ЮВА.

**Литература**

1. <http://investing.businessweek.com/research/stocks/people/person.asp?personId=23036572&ticker=AOSL>
2. [www.reuters.com/finance/stocks/companyProfile?symbol=AOSL.O](http://www.reuters.com/finance/stocks/companyProfile?symbol=AOSL.O)
3. [www.hoovers.com/company/Alpha\\_and\\_Omega\\_Semiconductor\\_Limited/rjrjski-1-1njhxf.html](http://www.hoovers.com/company/Alpha_and_Omega_Semiconductor_Limited/rjrjski-1-1njhxf.html)
4. [www.aosmd.com/products](http://www.aosmd.com/products)
5. [www.sec.gov/Archives/edgar/data/1387467/000117184311000707/newsrelease.htm](http://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1387467/000117184311000707/newsrelease.htm)

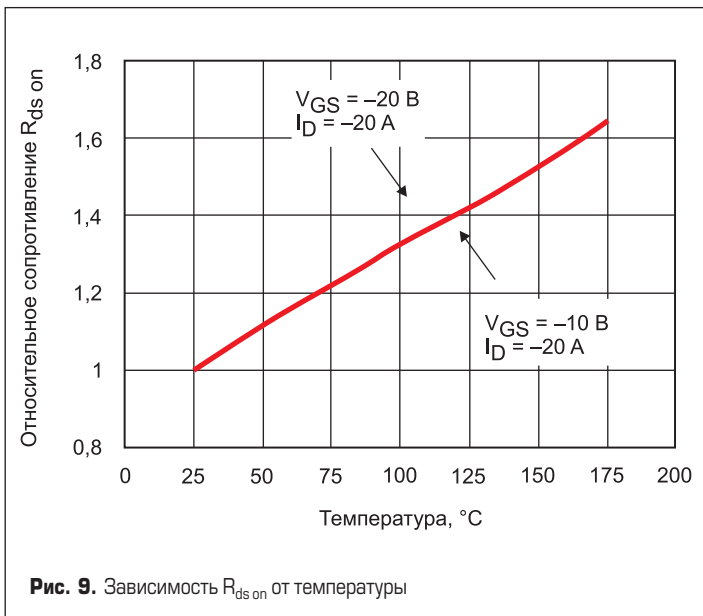


Рис. 9. Зависимость  $R_{ds\ on}$  от температуры

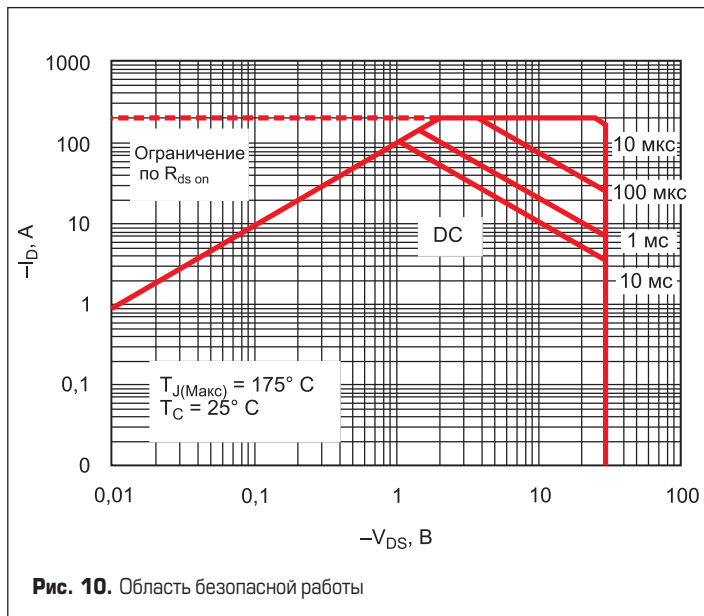


Рис. 10. Область безопасной работы