

IGBT-модули компании Yangzhou Yangjie —

доступный аналог продуктов мировых производителей

В настоящее время отечественные разработчики и эксплуатанты электронной аппаратуры вынуждены искать альтернативных поставщиков компонентов. В области силовой электроники решение данной задачи облегчается благодаря предоставленному специалистами китайской компании Yangzhou Yangjie Electronic Technology Co. перечню IGBT-модулей своего производства, аналогичных IGBT-модулям, выпускаемым компаниями Infineon Technologies AG, Fuji Electric Co. и StarPower Semiconductor Co.

Виталий Миронюк

Александр Жеухин

power@macrogroup.ru

Китайская компания Yangzhou Yangjie Electronic Technology Co, разрабатывающая и выпускающая полупроводниковые компоненты, была основана в 2000 году. Производство IGBT-модулей началось в 2012 году на дочернем предприятии Jiangsu APT Semiconductor Co.

Yangzhou Yangjie — компания с вертикальной интеграцией, разрабатывающая полупроводниковые приборы, изготавливающая их на собственном кристалльном производстве и выполняющая их корпусирование.

Линейка продукции компании охватывает бескорпусные дискретные компоненты, выпрямители, устройства защиты, малосигнальные устройства, MOSFET, силовые модули, компоненты на карбиде кремния и т. д. Продукция широко применяется в системах электропитания, бытовой технике, освещении, системах безопасности, сетевых средствах связи, бытовой электронике, новых энергетических технологиях, промышленной автоматизации, автомобильной электронике и других областях.

IGBT-транзистор

Биполярный транзистор с изолированным затвором (БТИЗ), или в англоязычной версии — insulated-gate bipolar transistor (IGBT), представляет собой сочетание входного MOSFET-транзистора с выходным мощным биполярным транзистором (рис. 1). IGBT-транзистор — это силовой прибор, используемый в качестве электронного ключа в импульсных источниках питания, инверторах, системах управления электроприводами.

Благодаря полевому транзистору управление осуществляется не током, как в биполярном транзисторе, а напряжением, подаваемым на затвор полевого транзистора. Маломощный управляющий сигнал переключает мощную нагрузку.

Условное обозначение IGBT-транзистора приведено на рис. 2.

Технология IGBT-транзисторов

Компания Infineon производит IGBT-транзисторы по технологии trench gate field-stop (название часто сокращают до trench stop), суть которой понятна из рис. 3 [1]. Особенностью данной технологии являются вертикальные затворы (trench gate) — они снижают падение напряжения на открытых IGBT-приборах, повышают плотность тока и существенно уменьшают площадь ячейки транзистора.

Другая особенность — дополнительный легированный слой field-stop в структуре биполярного транзистора, благодаря которому распределение электрического

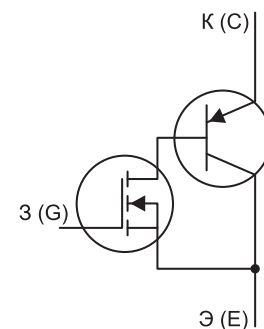


Рис. 1. Упрощенная эквивалентная схема IGBT-транзистора

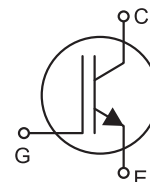


Рис. 2. Условное обозначение IGBT-транзистора

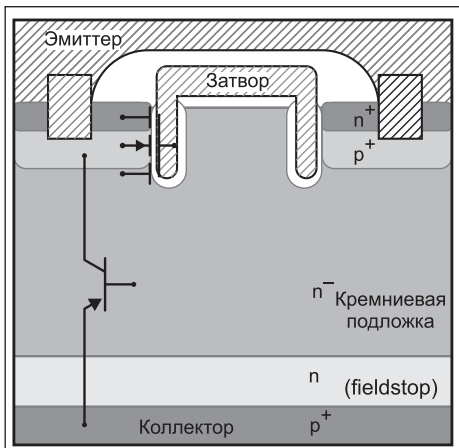


Рис. 3. Структура IGBT-транзистора по технологии trench gate field-stop

поля в чипе становится более равномерным, что повышает напряжение пробоя. Слой field-stop также сокращает время рекомбинации зарядов, улучшая динамические характеристики.

Сменилось уже несколько поколений технологии trench stop, и существует несколько ее вариантов, оптимизированных под различающиеся требования разных применений IGBT-приборов.

Представленные в настоящей статье IGBT-модули серии V компании Fuji Electric и IGBT-модули производства StarPower Semiconductor также изготавливаются по технологии trench gate field-stop [2, 3].

О модулях компании Yangzhou Yangjie известно, что они также изготавливаются по trench-технологии.

IGBT-модули

Производители полупроводниковых приборов все чаще предлагают потребителям не отдельные транзисторы, а модули на их основе. IGBT-модули служат в основном в системах управления электрическими приводами.

Из всего многообразия выпускаемых компаниями Infineon, Fuji Electric и StarPower Semiconductor IGBT-модулей в статье представлены только те из них, которые можно заменить аналогичной продукцией Yangzhou Yangjie.

Компания Yangzhou Yangjie непрерывно расширяет ассортимент продукции, и в 2023 году запускает производство популярных модулей на 1700 В.

Одиночный ключ

У одиночного ключа самая простая электрическая схема, содержащая IGBT-транзистор и антипараллельный диод (рис. 4). IGBT-транзистор не может проводить ток в обратном направлении. Однако в мостовых схемах требуется прохождение тока именно в обратном направлении, поэтому в таком модуле IGBT-транзистор объединен с антипараллельным диодом.

В спецификациях приборов приводятся данные и на IGBT-транзистор, и на антипараллельный диод. Например, в специфика-

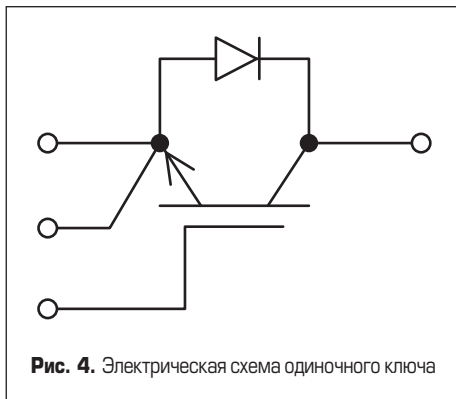


Рис. 4. Электрическая схема одиночного ключа

ции модуля Yangzhou Yangjie MG600U12TLC21, у которого $V_{CES} = 1200$ В, $I_C = 600$ А, указано, что для диода максимальное значение повторяющегося обратного напряжения, V_{RRM} равно 1200 В, а максимальный непрерывный постоянный прямой ток, I_F равен 600 А.

В таблице 1 представлено сравнение основных параметров взаимозаменяемых одиночных ключей [4–7], а на рис. 5 показан внешний вид их корпуса.

Ниже представлена краткая информация о приборах, указанных в таблице 1:

Infineon FZ600R12KE3/KE4 — IGBT-модуль по технологии trench gate field-stop. Основные особенности модуля отражены в его маркировке:

- FZ — одиночный ключ;
- 600 — максимальный продолжительный ток, А;
- R — проводимость при обратной полярности;
- 12 — максимальное напряжение 1200 В;
- K — механический конструктив: модуль;
- E — быстрый IGBT-чип с малым прямым падением напряжения;
- 3 или 4 — номер поколения технологии изготовления чипов — IGBT3 или IGBT4.

Применение: силовые конвертеры, электроприводы, системы бесперебойного энергоснабжения, ветрогенераторы.

Особенности: малые потери при переключении, низкие значения напряжения U_{CESat} на переходе коллектор-эмиттер IGBT в открытом состоянии, U_{CESat} с положительным температурным коэффициентом.

Fuji Electric 1MBI600V-120-50 — IGBT-модуль V-серии 6-го поколения.

Применение: инверторы для электропривода, усилители сервоприводов переменного и постоянного тока, источники бесперебойного питания, промышленные сварочные агрегаты.

Особенности: высокое быстродействие при переключении, управляются напряжением, модульная конструкция с низкой индуктивностью.



Рис. 5. Корпус одиночного ключа

StarPower Semiconductor GD600SGL120C2S — IGBT силовой модуль, который обеспечивает сверхнизкие потери на электропроводности диэлектрика и стойкость к КЗ.

Применение: инверторы, источники бесперебойного питания, электронные сварочные аппараты с частотой до 20 кГц.

Особенности: SPT (Soft-Punch-Through) + IGBT-технология с низким значением напряжения U_{CESat} , устойчивость к КЗ в течение 10 мкс, U_{CESat} с положительным температурным коэффициентом, корпус с низкой индуктивностью, быстрое и плавное обратное восстановление антипараллельного диода, изолированное медное основание, присоединенное по технологии DBC (direct bond copper).

Yangzhou Yangjie MG600U12TLC21 — IGBT-модуль.

Применение: инверторы для электропривода, усилители сервоприводов переменного и постоянного тока, источники бесперебойного питания, сварочные агрегаты с плавным переключением.

Особенности: trench-технология с низким значением напряжения U_{CESat} , U_{CESat} с положительным температурным коэффициентом, устойчивость к КЗ в течение 10 мкс, содержит антипараллельный диод со сверхбыстрым и плавным восстановлением, низкая индуктивность, максимально допустимая температура перехода +175 °С.

Два ключа (полумост)

Выпускаются также модули, в электрической схеме которых присутствуют два IGBT-транзистора (таких же, как в одиночном ключе), соединенных последовательно (рис. 6).

В таблице 2 представлено соответствие полумостов Yangzhou Yangjie изделиям компаний Infineon, Fuji Electric и StarPower Semiconductor [4–7]. Этот класс приборов собирают в корпусе 34 или 62 мм (рис. 7).

Таблица 1. Основные параметры взаимозаменяемых IGBT-модулей — одиночных ключей

Параметры/Наименование	Infineon FZ600R12KE3/KE4	Fuji Electric 1MBI600V-120-50	StarPower Semiconductor GD600SGL120C2S	Yangzhou Yangjie MG600U12TLC21
Максимально допустимое напряжение между коллектором и эмиттером, V_{CES} , В	1200	1200	1200	1200
Максимально допустимый постоянный ток коллектора, I_C , А	600	600	600	600
Максимально допустимая рассеиваемая мощность, P_{tot} , Вт	2800 (IGBT3) 3000 (IGBT4)	3000	3750	3488
Максимально допустимая температура кристалла, T_{vjmax} , °С	150 (IGBT3) 175 (IGBT4)	175	175	175
Корпус, мм	62	62	62	62

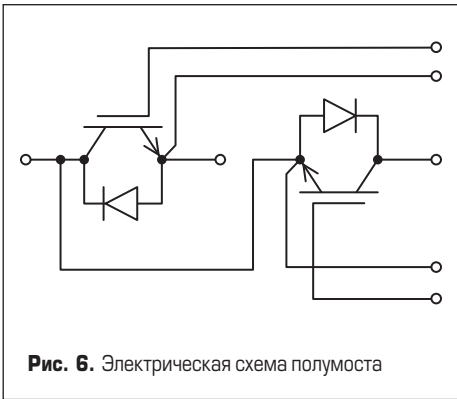
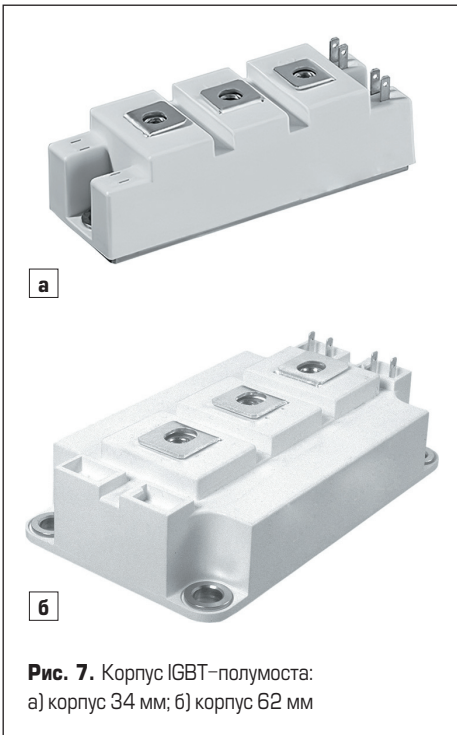


Таблица 2. Основные параметры взаимозаменяемых IGBT-модулей — полумостов

Корпус	Максимально допустимое напряжение между коллектором и эмиттером, V_{CES} , В	Максимально допустимый ток коллектора, I_C , А	Infineon	Fuji Electric	StarPower Semiconductor	Yangzhou Yangjie
34 мм	600	100		2MBI100VA-060-50	GD100HFT60C1S/ GD100HFY60C1S	MG100HF065TLC1
		150		2MBI150VA-060-50	GD150HFT60C1S/ GD150HFY60C1S	MG150HF065TLC1
		200		2MBI200VA-060-50	GD200HFT60C1S/ GD200HFY60C1S	MG200HF065TLC1
	1200	40			GD40HFU120C1S	MG40HF12LEC1
		50	FF50R12RT4	2MBI50VA-120-50	GD50HFU120C1S	MG50HF12LEC1
		75	FF75R12RT4	2MBI75VA-120-50	GD75HFU120C1S	MG75HF12LEC1
62 мм	1200	100	FF100R12RT4	2MBI100VA-120-50	GD100HFU120C1S	MG100HF12LEC1
		150	FF150R12KS4	2MBI150HN-120-50	GD150HFU120C2S	MG150HF12LEC2
		200	FF200R12KS4	2MBI200HN-120-50	GD200HFU120C2S	MG200HF12LEC2
		300	FF300R12KS4	2MBI300HN-120-50	GD300HFU120C2S	MG300HF12LEC2
		150	FF150R12KE3/ KT3/KT4		GD150HFL120C2S/ GD150HFT120C2S/ GD150HFY120C2S	MG150HF12TLC2
		200	FF200R12KE3/ KT3/KT4	2MBI200VH-120-50	GD200HFL120C2S/ GD200HFT120C2S/ GD200HFY120C2S	MG200HF12TLC2
		300	FF300R12KE3/ KT3/KT4	2MBI300VH-120-50	GD300HFL120C2S/ GD300HFT120C2S/ GD300HFY120C2S	MG300HF12TLC2
		450	FF450R12KT4	2MBI450VH-120-50	GD450HFL120C2S/ GD450HFT120C2S/ GD450HFY120C2S	MG450HF12TLC2



Интегрированный силовой модуль

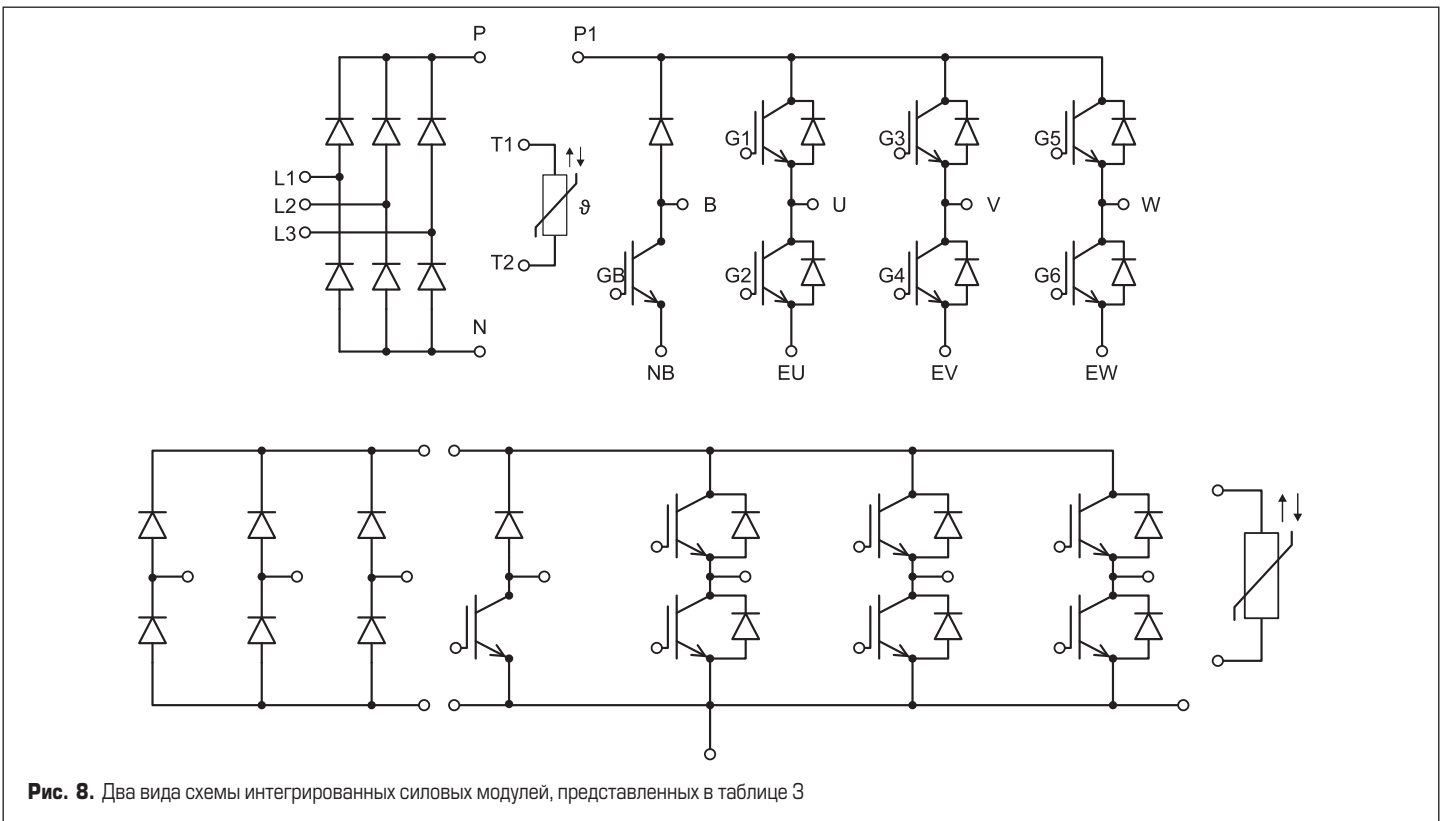
Интегрированные силовые модули объединяют в одном корпусе несколько бескорпусных силовых приборов одного или разных классов. Приведенные в таблице 3 интегрированные IGBT-модули имеют в своем составе выпрямительный диодный мост, трехфазный IGBT-мост (инвертор), тормозной модуль (чоппер) и термистор с отрицательным температурным коэффициентом (рис. 8) [4–7]. Используя разные комбинации элементов этой электрической схемы, можно создать конфигурации инвертора, выпрямителя-

инвертора, чоппера, выпрямителя-чоппера, выпрямителя и просто одного термистора.

Внешний вид корпусов интегрированных силовых модулей изображен на рис. 9.

Заключение

В статье представлены некоторые продукты компании Yangzhou Yangjie Electronic Technology Co., и это лишь та часть ассортимента IGBT-модулей, которым найдены полные аналоги среди изделий компаний Infineon Technologies AG, Fuji Electric Co. и StarPower Semiconductor Co.



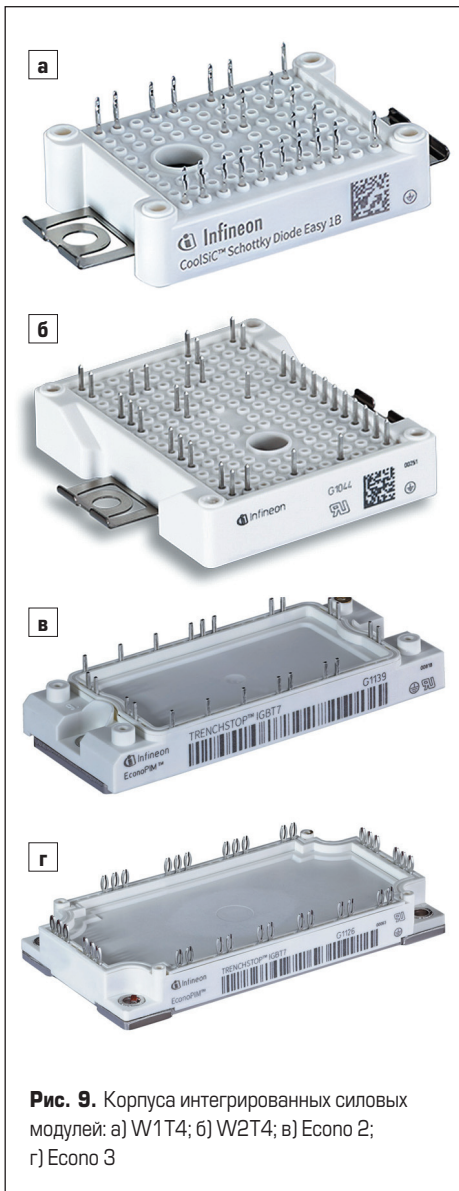


Рис. 9. Корпуса интегрированных силовых модулей: а) W1T4; б) W2T4; в) Econo 2; г) Econo 3

Предлагаемые Yangzhou Yangjie IGBT-модули вполне могут соответствовать запросам специалистов в области силовой электроники, которые на базе IGBT-модулей производят частотные преобразователи для электроприводов, бестрансформаторные конвертеры и инверторы, сварочное оборудование, регуляторы тока для мощных приводов.

Литература

1. Силовые модули IGBT производства Infineon. Разъяснение информации, приводимой в технических условиях. www.compel.ru/lib/95684
2. High Speed V-Series of Fast Discrete IGBTs. www.fujielectric.com/company/tech/pdf/57-03/57-3-091-2011.pdf#page=1
3. Star Semiconductor Research Report: The proportion of new energy business has increased, and high-voltage and SiC products have accumulated momentum. www.min.news/en/economy/df3960ad1795fddc2635e4784af8cf3c.html
4. www.infineon.com/cms/en/
5. www.fujielectric.com/
6. www.powersemi.cc/
7. www.21yangjie.com/eng/

Таблица 3. Основные параметры взаимозаменяемых интегрированных силовых IGBT-модулей

Корпус	Максимально допустимое напряжение между коллектором и эмиттером, V_{CES} , В	Максимально допустимый постоянный ток коллектора, I_C , А	Infineon	Fuji Electric	StarPower Semiconductor	Yangzhou Yangjie
W1T4	1200	10	FP10R12W1T4	7MBR10VKC120-50	GD10PIL120L2S/ GD10PIK120L2S/ GD10PIT120L2S/ GD10PIY120L2S/ GD10PIX120L2S	MG10P12P2
		15	FP15R12W1T4	7MBR15VKC120-50	GD15PIL120L2S/ GD15PIK120L2S/ GD15PIT120L2S/ GD15PIY120L2S/ GD15PIX120L2S	MG15P12P2
W2T4	1200	10			GD10PIL120L3S/ GD10PIK120L3S/ GD10PIT120L3S/ GD10PIY120L3S/ GD10PIX120L3S	MG10P12P3
		15	FP15R12W2T4	7MBR15VKD120-50	GD15PIL120L3S/ GD15PIK120L3S/ GD15PIT120L3S/ GD15PIY120L3S/ GD15PIX120L3S	MG15P12P3
		25	FP25R12W2T4	7MBR25VKD120-50	GD25PIL120L3S/ GD25PIK120L3S/ GD25PIT120L3S/ GD25PIY120L3S/ GD25PIX120L3S	MG25P12P3
		35	FP35R12W2T4	7MBR35VKD120-50	GD35PIL120L3S/ GD35PIK120L3S/ GD35PIT120L3S/ GD35PIY120L3S/ GD35PIX120L3S	MG35P12P3
Econo 2	1200	10			GD10PIL120C5S/ GD10PIK120C5S/ GD10PIT120C5S/ GD10PIY120C5S/ GD10PIX120C5S	MG10P12E1
		15			GD15PIL120C5S/ GD15PIK120C5S/ GD15PIT120C5S/ GD15PIY120C5S/ GD15PIX120C5S	MG15P12E1
		25	FP25R12KT3/E3	7MBR25VA120-50	GD25PIL120C5S/ GD25PIK120C5S/ GD25PIT120C5S/ GD25PIY120C5S/ GD25PIX120C5S	MG25P12E1
		40	FP40R12KT3/E3	7MBR35VA120-50	GD40PIL120C5S/ GD40PIK120C5S/ GD40PIT120C5S/ GD40PIY120C5S/ GD40PIX120C5S	MG40P12E1
Econo 3	1200	50	FP50R12KT3/E3	7MBR50VB120-50	GD50PIL120C6S/ GD50PIK120C6S/ GD50PIT120C6S/ GD50PIY120C6S/ GD50PIX120C6S	MG50P12E2A
		75	FP75R12KT3/E3	7MBR75VB120-50	GD75PIL120C6S/ GD75PIK120C6S/ GD75PIT120C6S/ GD75PIY120C6S/ GD75PIX120C6S	MG75P12E2A
Econo 2	1200	25	FP25R12KT4	7MBR25VM120-50	GD25PIL120C5SN/ GD25PIT120C5SN/ GD25PIY120C5SN/ GD25PIX120C5SN	MG25P12E1A
		35	FP35R12KT4	7MBR35VM120-50	GD35PIL120C5SN/ GD35PIK120C5SN/ GD35PIY120C5SN/ GD35PIX120C5SN	MG35P12E1A
		50	FP50R12KT4	7MBR50VM120-50	GD50PIL120C5SN/ GD50PIT120C5SN/ GD50PIY120C5SN/ GD50PIX120C5SN	MG50P12E1A
Econo 3	1200	50	FP50R12KT4G	7MBR50VN120-50	GD50PIL120C6SN/ GD50PIT120C6SN/ GD50PIY120C6SN/ GD50PIX120C6SN	MG50P12E2
		75	FP75R12KT4	7MBR75VN120-50	GD75PIL120C6SN/ GD75PIT120C6SN/ GD75PIY120C6SN/ GD75PIX120C6SN	MG75P12E2
		100	FP100R12KT4	7MBR100VN120-50	GD100PIL120C6SN/ GD100PIT120C6SN/ GD100PIY120C6SN/ GD100PIX120C6SN	MG100P12E2