

Тепловое сопротивление R_{thjc} описывает распространение тепла между кристаллами диода (индекс j) и корпусом модуля (индекс c).

2.3.3 Диаграммы

С приведенными данными этот раздел даст некоторые рекомендации для рассмотрения диаграмм по MOSFET. В случае, если диаграмма детально рассмотрена в других разделах, на это будет ссылка.

Максимальная общая рассеиваемая мощность P_{tot} IGBT модуля от температуры корпуса T_{case}

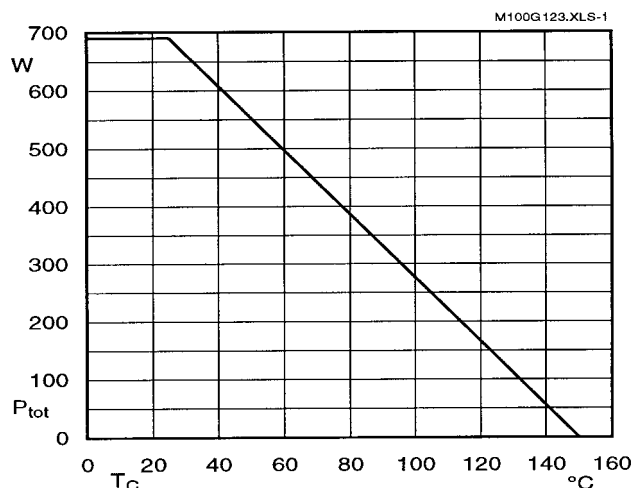


Рис.2.12 Максимальная общая рассеиваемая мощность

Основана на номинальной рассеиваемой мощности на IGBT (или на обратный диод) $P_{tot(25\text{ }^{\circ}\text{C})} = (T_{jmax} - 25\text{ }^{\circ}\text{C})/R_{thjc}$ которое ограничено $T_{case} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ по определению, функция описывает снижение номинального значения при высоких температурах корпуса.

Энергия включения/выключения E_{on} , E_{off} за один импульс IGBT в зависимости от тока коллектора

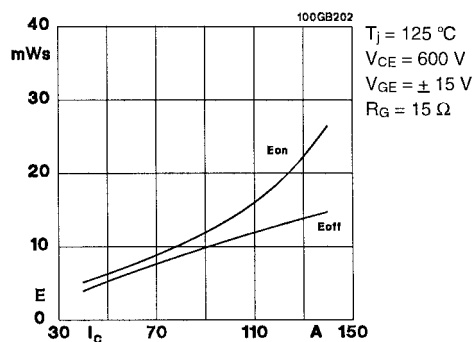


Fig. 2 Turn-on /-off energy = f (I_c)

Рис.2.13 Энергия включения/выключения в зависимости от тока коллектора

Энергия включения/выключения E_{on} , E_{off} определена из измерительной цепи с активно-индуктивной нагрузкой, показана при различных токах коллектора (например, температура кристалла $T_j = 125\text{ }^{\circ}\text{C}$, напряжение питания коллектор-эмиттер $V_{CC} = 600\text{ В}$) с определенными параметрами управления. Рассеиваемую мощность при коммутации можно рассчитать при умножении частоты коммутации f на E_{on} или E_{off} , соответственно: $P_{on} = f \cdot E_{on}$ или $P_{off} = f \cdot E_{off}$.

E_{on} и E_{off} показаны для IGBT при номинальном токе ($I_C @ T_{case} = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$) при характерных значениях в справочных данных.

Энергия включения/выключения E_{on} , E_{off} за один импульс IGBT в зависимости от последовательных сопротивлений затвора R_G (R_{Gon} , R_{Goff})

См. п. 3.5.2

Максимально безопасная область при коммутации (SOA)

Как показано в п. 1.2.3, IGBT должен работать при почти прямоугольной характеристике $i = f(u)$ между V_{CC} и I_L при жестком переключении.

SOA-диаграммы отображают ширину зоны, в которой можно работать безопасно:

- SOA для коммутации, в открытом состоянии и при работе с отдельными импульсами
- RBSOA (с обратным смещением) для периодического выключения
- SCSOA (при коротком замыкании) для периодического выключения короткозамкнутых цепей (п. 3.6.2)

SOA ограничена следующими параметрами:

- максимальный ток коллектора (горизонтальный предел);
- максимальное напряжение коллектор-эмиттер (вертикальный предел);
- максимальная рассеиваемая мощность или температура кристалла (диагональные границы) см. рис. 2.14.

Максимально безопасная область при импульсной работе (SOA)

Рис. 2.14 показывает максимум кривой $I_C = f(V_{CE})$ при коммутации и в открытом состоянии для разных длительностей импульса t_p с двойной логарифмической шкалой.

Важно, что максимальные значения справедливы при температуре корпуса $T_{case} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ и для одиночных импульсов, которые не нагреют IGBT выше максимальной температуры кристалла $T_j = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Хотя нижняя из приведенных диагоналей представляет преувеличение максимальных постоянных потерь тепла P_{tot} , IGBT модули могут только подойти к линейной характеристике площади с приблизительно $V_{CE} > 20\text{ В}$ или $V_{GE} < 9\text{ В}$ при коммутации. Работа в аналоговом режиме длительный период времени не допустима из-за асимметрии при

разбросе среди кристаллов, а также отрицательный температурный коэффициент пороговых напряжений может вызвать температурную нестабильность

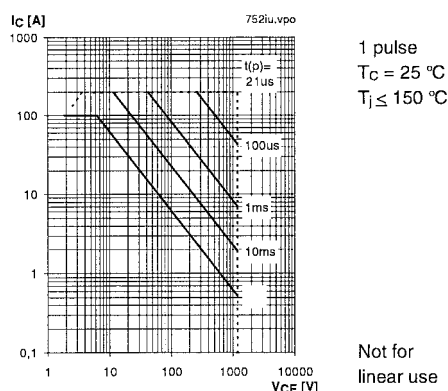


Рис.2.14 Максимально безопасная область $I_C = f(V_{CE})$ при импульсной работе (SOA)

Безопасная зона выключения

Рис.2.15 представляет безопасную зону выключения IGBT (RBSOA)

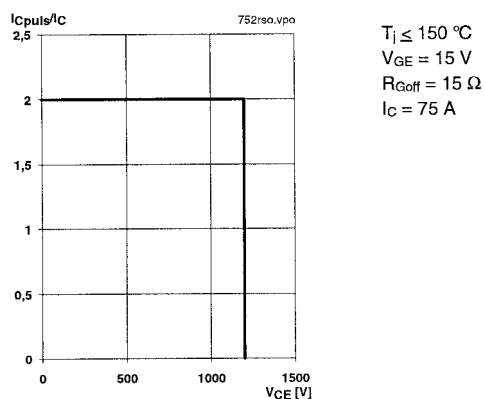


Рис.2.15

При периодическом выключении, IGBT может жестко выключать при $I_{CM@80^{\circ}C} = T_C$ для T_{jmax} и определенных параметрах драйвера, если V_{CE} (кристалл) достигает уровня V_{CES} (влияние паразитных индуктивностей и параметров драйвера, см.п.3.4.1 и 3.5.2).

Безопасная область работы при коротком замыкании

См.п.3.6.2

Изменение тока коллектора от температуры

См.п.2.6; аналогично рис.2.23b

Выходная характеристика $I_C = f(V_{CE})$

Рис.2.16 показывает выходную характеристику при $T_j = 25^{\circ}C$ и $125^{\circ}C$ (типичное значение) с параметром V_{GE} , также см.п.1.2.2.2 и 2.6

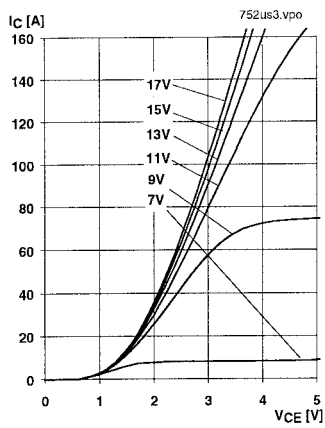


Fig. 9 Typ. output characteristic, $t_p = 80 \mu s$; $25^\circ C$

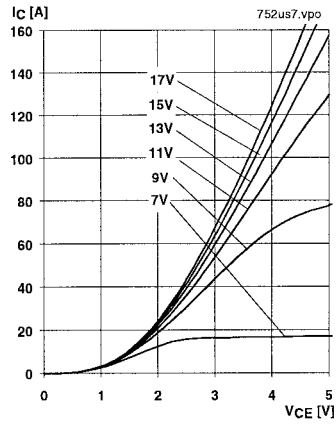


Fig. 10 Typ. output characteristic, $t_p = 80 \mu s$; $125^\circ C$

Рис.2.16 Типичная выходная характеристика при $T_j = 25^\circ C$ (a) и $125^\circ C$ (b) с параметром V_{GE}

Переходная характеристика $I_C = f(V_{GE})$

Переходная характеристика (рис.2.17) показывает поведение IGBT на рабочем участке при $V_{CE} = 20 V$ и $t_p = 80 \mu s$ (линейная работа). Ток коллектора связан с напряжением затвор-эмиттер через $I_C = g_{fs} \cdot (V_{GE} - V_{GE(th)})$

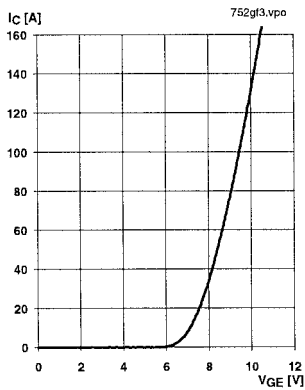


Fig. 12 Typ. transfer characteristic, $t_p = 80 \mu s$; $V_{CE} = 20 V$

Рис.2.17 Типичная переходная характеристика $I_C = f(V_{GE})$

Внутренние емкости от напряжения сток-исток

См. п.1.2.3

Характеристика заряда затвора

См. п.1.2.3

Время коммутации от тока коллектора

На рис.2.18 представлена типичная зависимость времени коммутации $t_{d(on)}$ (время задержки включения), t_r (время фронта), $t_{d(off)}$ (время задержки выключения) и t_f (время спада) от тока коллектора при жестком переключении индуктивной нагрузки.

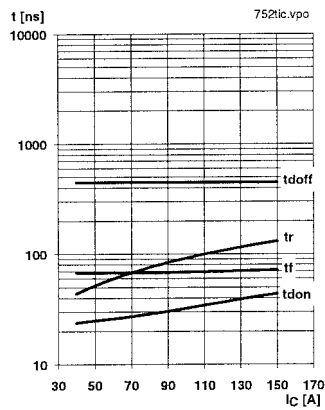


Fig. 15 Typ. switching times vs. I_C

Рис.2.18

Небольшое пропорциональное возрастание t_r подтверждает, что di_C/dt не возрастет так же как I_C , если ток коллектора увеличиться.

Время коммутации от сопротивления затвора

См.п.3.5.2

Характеристика САL диода в прямом направлении

См.п.1.3.1.1

Рассеиваемая энергия диода при выключении

На рис.2.19 представлена зависимость рассеиваемой энергии диода при выключении E_{offD} от тока диода I_F , который протекал через него до выключения, и от скорости включения IGBT, определяемой сопротивлением затвора R_G , при коммутации тока между диодом и IGBT (жесткая коммутация).

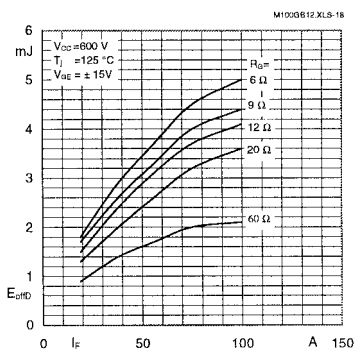


Fig. 18 Diode turn-off energy dissipation per pulse

Рис.2.19

Как и ожидалось, потери диода при выключении возрастают при увеличении тока и скорости коммутации тока из-за одновременного возрастания сохраняемого заряда и амплитуды обратного тока (см.1.3.1.3).

Переходной температурный импеданс IGBT и обратного диода

См.п.3.2.2.3

Ток восстановления обратного диода в зависимости от прямого тока в открытом состоянии

На рис.2.20 представлены типичные значения импульсного тока восстановления обратного диода I_{RRM} от прямого тока I_F и di/dt , определяемой сопротивлением затвора $R_G = R_{Gon}$.

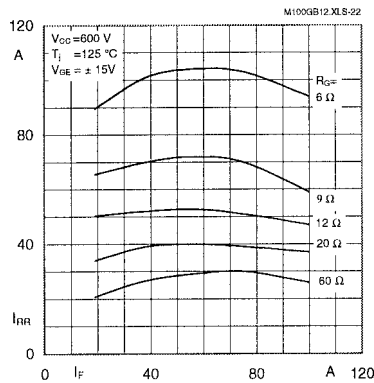


Fig. 22 Тип. CAL diode peak reverse recovery current $I_{RR} = f(I_F; R_G)$

Рис.2.20

Как и ожидалось, ток восстановления обратного диода тем больше, чем быстрее включается IGBT (низкий R_{Gon}).

Во-первых, ток восстановления обратного диода будет расти вместе с возрастанием прямого тока. При больших токах коллектора доля носителей заряда в дрейфовой зоне CAL-диода, которая уже рекомбинировала при коммутации, будет расти вместе с длительностью коммутации; поэтому, I_{RRM} будет снова падать при больших токах.

Ток восстановления обратного диода в зависимости от di_F/dt

Рис.2.21 показывает типичную зависимость тока восстановления обратного диода I_{RRM} от di/dt , определяемой изменением сопротивления затвора $R_G = R_{Gon}$ IGBT при этих условиях измерения.

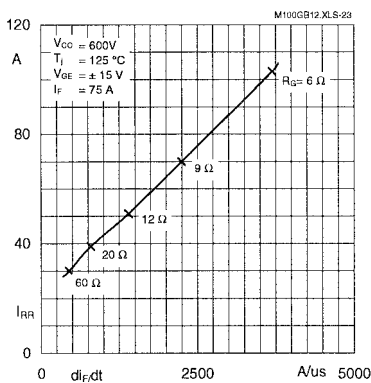


Fig. 23 Тип. CAL diode peak reverse recovery current $I_{RR} = f(di_F/dt)$

Рис.2.21

Ток восстановления обратного диода растет почти линейно от di/dt .

Восстанавливаемый заряд обратного диода в зависимости от di_F/dt

Рис.2.22 показывает типичную зависимость восстанавливаемого заряда обратного диода Q_{rr} от di_F/dt при различных токах коллектора. Также добавлено сопротивление затвора $R_G = R_{Gon}$, которое определяет данную di_F/dt при этих условиях измерения.

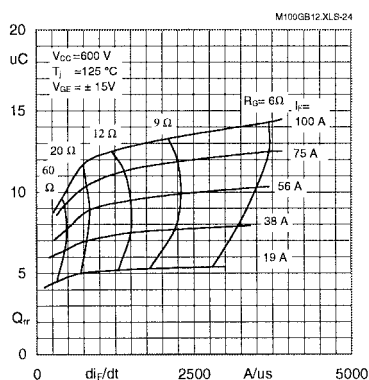


Fig. 24 Typ. CAL diode recovered charge $Q_{rr} = f(di/dt)$

Рис.2.22

Как и ток обратного восстановления, восстанавливаемый заряд обратного диода возрастает при увеличении тока коллектора и скорости коммутации di/dt . Скорость коммутации четче выражена для больших токов коллектора, чем при малых токах.

Номинальный ток коллектора при коротком замыкании в зависимости от напряжения затвор-эмиттер и температуры

См.п.3.6.2

2.4 Специальные параметры для MiniSKiiP

Кроме IGBT и диодов для инверторов и диодных ключей (или тиристоров) для входных выпрямителей, эти устройства также интегрированы в MiniSKiiP. Дополнительно к прямым и обратным характеристикам (максимальные значения, характеристики), следующие параметры определены для MiniSKiiP:

Выброс тока выпрямительных диодов I_{FSM}

Импульсное значение синусоиды 50 Гц, которую способны выдержать диоды без пробоя, если это происходит не так часто.

Интеграл выброса тока выпрямительных диодов на нагрузке $\int i^2 dt$

Номинальное значение для выбранных предохранителей, которое можно вычислить как:

$$\int i^2 dt = I_{FSM}^2 \cdot T/4 = 5 \cdot 10^{-3} s \cdot I_{FSM}^2 (@ f = 50 \text{ Гц})$$

Коэффициент сопротивления/температуры датчика температуры

Особенности датчиков тока

2.5 Специальные параметры для SKiiPPACK

Данные на SKiiPPACK могут включать, например: