

Время восстановления внутреннего или гибридного MOSFET обратного диода, когда большой ток стока $-I_D = I_F$ коммутируется с большой di_F/dt и высоким обратным напряжением $V_R = V_{DD}$.

Примечание: t_{rr} очень сильно зависит от температуры (обычно значение удваивается между 25 °C и 150 °C).

Параметры: прямой ток I_F , обратное напряжение V_R , скорость снижения прямого тока di_F/dt , температура кристалла $T_j = 25$ °C и 150 °C.

Восстанавливаемый заряд обратного диода Q_{rr}

Восстанавливаемый заряд внутреннего или гибридного MOSFET обратного диода, когда большой ток стока $-I_D = I_F$ коммутируется с большой di_F/dt и высоким обратным напряжением $V_R = V_{DD}$.

Примечание: Q_{rr} очень сильно зависит от температуры (обычно значение удваивается между 25 °C и 150 °C).

Параметры: прямой ток I_F , обратное напряжение V_R , скорость снижения прямого тока di_F/dt , температура кристалла $T_j = 25$ °C и 150 °C.

2.2.3 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.

Номинальная рассеиваемая мощность P_D MOSFET модуля от температуры корпуса

T_{case}

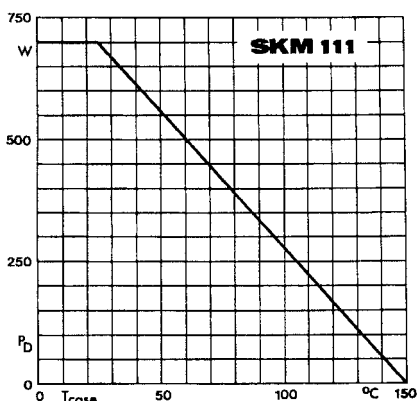


Fig. 1 Rated power dissipation vs. temperature

Рис.2 2 Номинальная рассеиваемая мощность

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

Максимально безопасная область при импульсной работе (SOA)

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

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

- максимальный ток стока (горизонтальный предел);
- максимальное напряжение сток-исток (вертикальный предел);
- максимальная рассеиваемая мощность или температура кристалла (диагональ, пересекающая линию предела на рис.2.3);
- сопротивление в открытом состоянии (диагональ, продолжающая линию предела).

Рис.2.3 показывает максимум кривой $I_D = f(V_D)$ 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 MOSFET выше максимальной температуры кристалла $T_j = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Хотя нижняя из приведенных диагоналей представляет преувеличение максимальных постоянных потерь тепла P_{tot} , MOSFET модули могут подойти к линейной характеристике площади 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

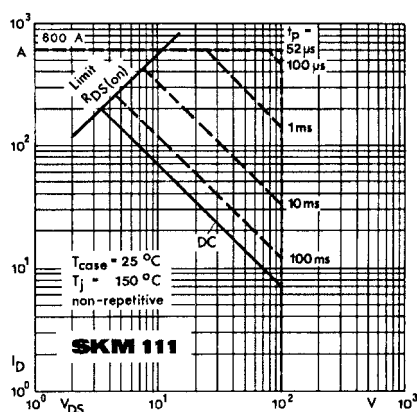
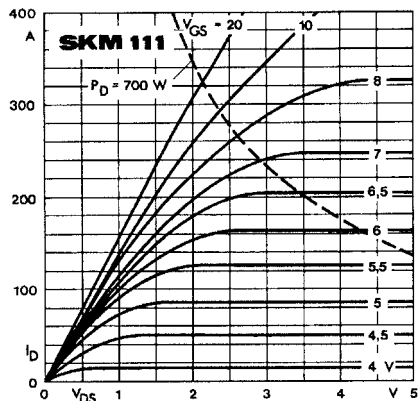


Рис.2.3 Максимально безопасная область $I_D = f(V_D)$ при импульсной работе (SOA)

Выходная характеристика $I_D = f(V_{DS})$

Рис.2.4 показывает выходную характеристику (типичное значение) с параметром V_{GS}



(также см.п.1.2.2.1) Fig. 3 Output characteristic

Рис.2.4 Обычная выходная характеристика $I_D = f(V_{DS})$ MOSFET с параметром V_{GS}

Переходная характеристика $I_D = f(V_{GS})$

Переходная характеристика (рис.2.5) показывает поведение MOSFET на рабочем участке при $V_{DS} = 25$ В (линейная работа). Ток стока связан с напряжением затвор-исток через $I_D = g_{fs}$

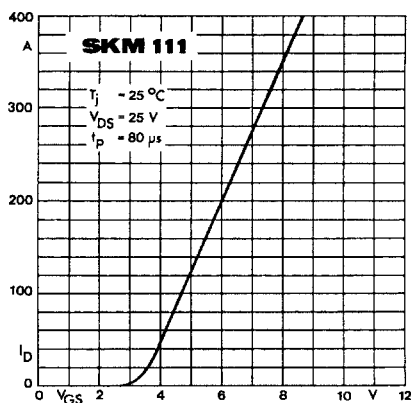


Fig. 4 Transfer characteristic

· $(V_{GS} - V_{GS(th)})$.

Рис.2.5 Типичная переходная характеристика $I_D = f(V_{GS})$

Сопротивление в открытом состоянии от температуры кристалла

См. п.2.6

Зависимость тока стока от температуры кристалла

См. п.2.6

Зависимость напряжения пробоя сток-исток от температуры

Как показано на рис.2.6 напряжения пробоя сток-исток MOSFET растет линейно от температуры. Так как максимальное значение приведено в справочных данных при $T_j = 25$ °С, можно учесть его величину при более низких температурах.

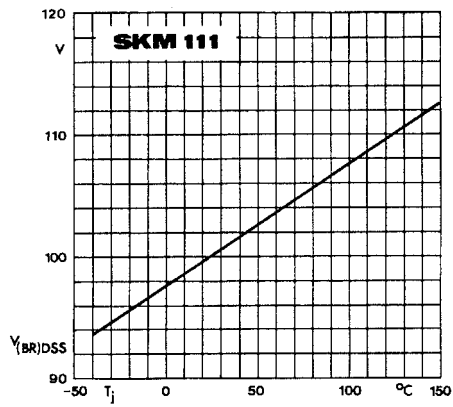


Fig. 7 Breakdown voltage vs. temperature

Рис.2.6 Зависимость напряжения пробоя сток-исток $V_{(BR)DSS}$ от температуры T_j

Изменение напряжения сток-исток от скорости снижения тока стока

См. п.3.1.1

Внутренние емкости от напряжения сток-исток

См. п.1.2.3

Характеристика заряда затвора

См. п.1.2.3

Прямая характеристика диода

См. п.1.2.2.1

Зависимость прямого сопротивления от тока стока

Рис.2.7 разъясняет соотношение между прямым сопротивлением $R_{DS(on)}$ и током стока I_D или напряжением затвор-исток V_{GS} для полностью управляемого MOSFET

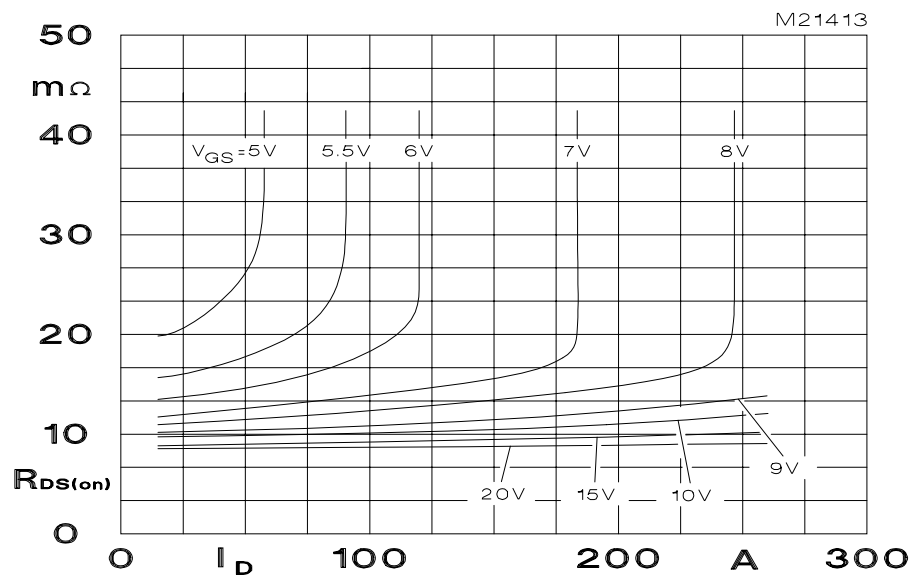


Рис.2.7 Типичная зависимость между прямым сопротивлением $R_{DS(on)}$ и током стока I_D или напряжением затвор-исток V_{GS}

Сопротивление растёт с возрастанием напряжения затвор-исток. На любой точке кривой можно увидеть плавное увеличение $R_{DS(on)}$ вместе с током стока.

Зависимость порогового напряжения затвор исток от температуры

На рис.2.8 показаны три кривые с типичными и предельными значениями, характеризующими зависимость между пороговым напряжением $V_{GS(th)}$ и температурой кристалла MOSFET T_j .

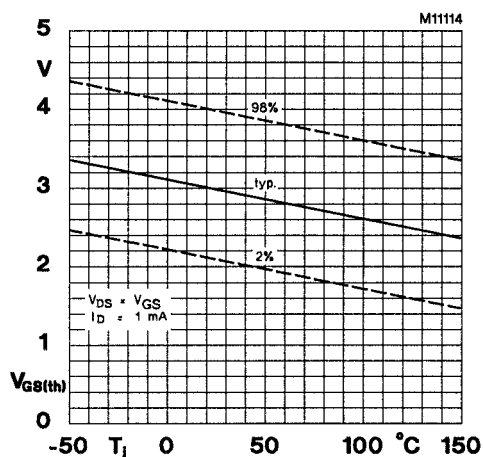


Fig. 14 Gate-source threshold voltage

Рис.2.8 Зависимость порогового напряжения затвор исток от температуры

$V_{GS(th)}$ будет линейно падать с возрастанием T_j . Температурный коэффициент порогового напряжения составляет около -10 мВ/К в диапазоне температур $-50...+150$ °С.

Переходные температурные импедансы для IGBT и обратных диодов

См. п.3.2

2.3 IGBT-модули [264], [265]

2.2.1 Предельные значения

Структура IGBT модулей

Напряжение коллектор-эмиттер V_{CE} или V_{CES}

Максимальное напряжение между выводами коллектора и эмиттера при закороченной цепи затвор-эмиттер ($V_{GE} = 0$).

Параметр: температура корпуса $T_{case} = 25$ °С

Напряжение коллектор-затвор V_{CGR}

Максимальное напряжение между коллектором и затвором,

Параметры: внешнее сопротивление R_{GE} между затвором и эмиттером, температура корпуса $T_{case} = 25$ °С

Продолжительный постоянный ток коллектора I_C

Максимальный постоянный ток коллектора

Параметр: температура корпуса, например $T_{case} = 25$ °С, 80 °С: $I_{D@25}$ °С, $I_{D@80}$ °С

Повторяющееся импульсное значение тока коллектора I_{CM} или импульсный ток стока I_{Cpuls}

Импульсное значение тока коллектора при работе в импульсном режиме,

Параметры: длительность импульса t_p , температура корпуса, например $T_{case} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ и отношение длительности импульса к паузе.

Напряжение затвор-эмиттер V_{GES} или V_{GE}

Максимальное напряжение между затвором и эмиттером

Параметр: температура корпуса $T_{case} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

Общая рассеиваемая мощность P_{tot} или P_D

Максимальная рассеиваемая мощность транзистора/диода или внутри всего силового модуля $P_{tot} = (T_{jmax} - T_{case})/R_{thjc}$,

Параметр: температура корпуса $T_{case} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

Диапазон рабочих температур T_{vj} или T_j ; $T_{j(min)} \dots T_{j(max)}$

Допустимый диапазон температур кристалла, в котором модуль может работать

Диапазон температур хранения T_{stg} ; $T_{stg(min)} \dots T_{stg(max)}$

Диапазон температур, в котором модуль может храниться или транспортироваться, без электрической нагрузки

Напряжение изоляции V_{isol} или V_{is}

Эффективное допустимое значение напряжения между входными/управляющими выводами (закорочеными, все выводы соединены друг с другом) и основной пластиной модуля.

Параметры: продолжительность теста (1 мин, 1 с), скорость нарастания напряжения, если требуется; в соответствии с IEC 146-1-1 (1991), EN 60146-1-1 (1993), часть 4.2.1 (совпадает с VDE 0558, часть 1-1: 1993-4) и DIN VDE 0160 (1988-05), часть 7.6 (соответствует EN 50178 (1994)/ E VDE 0160 (1994-11)) испытательное напряжение должно нарастать постепенно до максимального значения.

Степень влажности

Описывает допустимые внешние условия (атмосферную влажность) в соответствии с DIN 40 040

Климатические условия

Описывает допустимые внешние условия испытаний (климат) в соответствии с DIN IEC 68-1

Обратные диоды

Прямой ток I_F

Максимальное значение прямого тока обратных диодов,