

## «Особенности применения IGBT модулей ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС»

Отдел технической поддержки клиентов

## Оглавление

Список сокращений .....	3
1. Основные рекомендации по применению модулей .....	4
2. Рекомендации по управлению IGBT .....	5
3. Защита от электростатического пробоя .....	6
4. Рекомендации по монтажу .....	7
5. Рекомендации по применению термопасты .....	8
6. Основные требования к соединительным шинам .....	8
7. Механическое воздействие и воздействия окружающей среды на корпуса изделий .....	9

## Список сокращений

IGBT (Insulated-gate bipolar transistor) - Биполярный транзистор с изолированным затвором;

$I_C$  – максимально допустимый постоянный ток коллектора;

$U_{CES}$  – максимально допустимое значение напряжения коллектор-эмиттер;

$U_{GE}$  – напряжения управления затвор-эмиттер;

$T_{j\max}$  – максимально допустимая температура в области перехода кристалла (p-n перехода);

$R_g$  – сопротивление затвора транзистора;

$R_z$  – шероховатость поверхности;

$Q_g$  – заряд затвора;

ИЛ – информационный лист.

## 1. Основные рекомендации по применению модулей

Для гарантии надежной работы IGBT модулей рекомендуется их использование в следующих режимах:

- Рабочие пиковые напряжения в схемах должны быть не более 80 % от  $U_{CES}$ ;
- Рабочее постоянное напряжение – не более 60 % от  $U_{CES}$ ;
- Напряжение питания должно подаваться в следующем порядке:
  1. Система управления и драйверы;
  2. IGBT.
- Амплитуда и длительность тока перегрузки не должна превышать значения указанного в информационном листе на транзистор;
- Повторяющееся амплитудное значение тока должно быть не более 70 ÷ 80 % от  $I_C$ ;
- Длительность тока короткого замыкания, вызванного аварией в нагрузке, не должна превышать 10 мкс;
- Максимальная температура перехода при эксплуатации не должна превышать 80 % от  $T_{jmax}$ ;
- Диапазон температур среды эксплуатации от минус 40°С до +50°С.

Для проведения технической экспертизы и выявления причин отказа модуля, запрещается его вскрывать или проводить над ним какие-то манипуляции непосредственно после выхода его из строя.

Таблица 1.1 – Рекомендуемые классы напряжения IGBT для стандартных промышленных сетей.

Напряжение сети (RMS)	220 В	380 В	690 В
$U_{CES}$ IGBT	6	12	17

Для защиты модулей от коммутационных перенапряжений в цепи коллектор-эмиттер следует применять снабберные RC- и RCD-цепи, установленные непосредственно на силовых выводах, рис. 1.1.

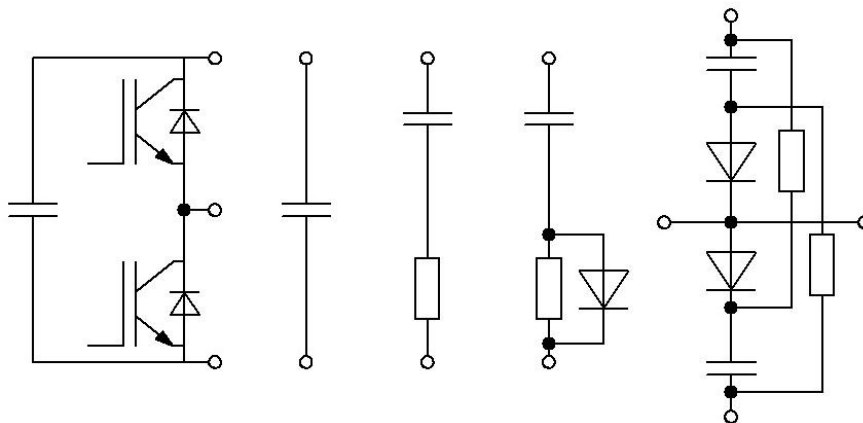


Рис. 1.1 – Типовые схемы включения снабберных цепей.

При подключении нескольких модулей к одному драйверу максимальное значение суммарного заряда затвора нагрузки ( $n * Q_g$ ) должно быть меньше, а эквивалентного резистора ( $R_g/n$ ) – больше величин, допустимых для драйвера. Среднее значение выходного тока источника питания драйвера  $I_{AV}$  должно удовлетворять соотношению:

$$I_{AV} > n * Q_g * f_{SW}$$

где  $f_{SW}$  – максимальная частота коммутации;  $n$  – количество драйверов.

Для борьбы с возникновением выравнивающих токов рекомендуется ставить резистор в сигнальной цепи эмиттера. Резистор подбирается номиналом от 0.5 Ом до  $0.1 R_G$  что позволяет ограничить эти токи и одновременно демпфировать паразитные контуры.

Также для снятия нагрузки с модулей, при наличии достаточно большой разницы в задержке переключения, рекомендуется использовать симметрирующие индуктивности для равномерного распределения токов. Формула для расчета индуктивности:

$$L_{min} = U_{CC} * \frac{dt_{max}}{\Delta I_{out}}$$

где,  $dt_{max}$  — максимальная разница во времени переключения

$\Delta I_{out}$  — допустимое отклонение от среднего значения тока

$U_{CC}$  — напряжение на шине питания.

## 2. Рекомендации по управлению IGBT

Рекомендуемые параметры работы драйвера для IGBT:

- Значение  $U_{GE}$  при включении должно быть равно  $+15 \pm 10\%$  В (для обеспечения минимальных потерь во включенном состоянии);
- Значение  $U_{GE}$  при выключении должно быть от минус 7 В до минус 15 В (для снижения потерь при выключении и обеспечения высокой стойкости транзистора к  $du/dt$ );
- Максимальное напряжение затвор-эмиттер не должно превышать  $\pm 20$  В;
- Длительность фронтов импульсов напряжения на выходе драйвера должна быть минимум в 5...10 раз меньше значений времени переключения указанных в ИЛ на прибор;
- Рекомендуемое внутреннее сопротивление драйвера управления должно выбираться в пределах допустимых значений указанных для конкретного модуля с учетом минимальных динамических потерь и исключая возникновение перенапряжений вызванных перезарядкой индуктивностей;
- Напряжение запирающего сигнала должно гарантировать полное выключение модуля при любых условиях эксплуатации;
- Длина цепи управления должна быть минимальна. Рекомендуется использовать витую пару или применять прямой монтаж платы драйвера на выводы управления модуля;
- Цепи управления должны быть изолированы от возможных источников помех;
- Цепи управления при параллельном соединении ключей должны быть идентичны.

Для управления IGBT модулями производства ЗАО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» можно использовать готовые ядра драйверов Skiper 32 pro (Semikron) и 2ED300 (Infineon).

Для ограничения тока КЗ рекомендуется включение защитной цепи между затвором и эмиттером, рисунок 3.2. Это предотвратит увеличение  $V_{GE}$  при резком нарастании  $I_C$

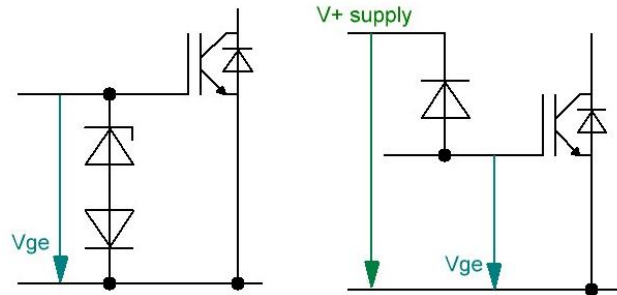


Рис. 2.1 – Типовые схемы ограничения напряжения на затворе.

Для предотвращения возникновения больших коммутационных перенапряжений при выходе из режима КЗ и предотвращения пробоя модуля рекомендуется применять следующие меры:

- Снижение напряжения на выходе драйвера с меньшей скоростью, чем при выключении модуля в нормальном режиме работы;
- Выключение модуля в два этапа:
  1. Перевод выхода драйвера в третье состояние и подключение в цепь затвор-эмиттер резистора;
  2. Резкое выключение модуля после снижения тока коллектора до номинального значения.

### 3. Защита от электростатического пробоя

IGBT модули чувствительны к электростатическому разряду, поэтому при их транспортировке, монтаже и эксплуатации должны учитываться следующие требования:

- Для защиты затвора от статического пробоя непосредственно в схеме, необходимо подключение параллельно цепи затвор-эмиттер резистора сопротивлением 10 ... 20 кОм;
- При транспортировке модулей затвор и управляющий эмиттерный вывод должны быть закорочены токопроводящими перемычками, которые не должны сниматься до момента подключения модуля в схему;
- Производить монтажные работы с IGBT модулями необходимо только при наличии заземления персонала через высокоомный резистор сопротивлением 1 МОм (антистатический браслет);
- Все инструменты и оснастка, с которыми может контактировать модуль, должны быть заземлены;
- Перед проведением измерений или испытаний необходимо убедиться, что с измерительных приборов снят весь электростатический заряд;

#### 4. Рекомендации по монтажу

Для обеспечения большей эффективности теплообмена между изолирующей подложкой силового модуля и радиатора их поверхности должны соответствовать следующим требованиям:

- Поверхности не должны иметь на своей поверхности твердых частиц;
- Перед установкой на охладитель поверхности необходимо обезжирить;
- Шероховатость поверхностей не должна превышать 10 мкм ( $Rz: < 10$  мкм);
- Отклонение от плоскостности должно быть менее 20 мкм на расстоянии до 100 мм.

При монтаже модулей крепежными болтами должны быть выполнены следующие рекомендации:

- Все крепежные болты должны быть одинаково затянуты с указанным моментом затяжки;
- Рекомендуется использовать инструмент с электронным управлением или, по крайней мере, электрическая отвертка с малой скоростью вращения;
- Не рекомендуется использовать пневматические отвертки из-за их недостаточной точности.

После окончания монтажа рекомендуется дополнительно защитить крепежные детали от коррозии смазками ЦИАТИМ-221 ГОСТ 9433 или ВНИИ НП-207 ГОСТ 19774

Порядок затяжки модулей:

1. Свободно (не жёстко) зафиксировать модуль двумя диагональными болтами. Слегка придавить модуль рукой и равномерно распределить пасту лёгкими движениями.
2. Затянуть болты крест на крест с усилием  $0.5 \text{ Нм} \pm 15\%$ .
3. Выждать не менее 30 мин. Позволить пасте растечься и заполнить пустоты
4. Затянуть болты с усилием  $5 \text{ Нм} \pm 15\%$  в такой же последовательности.

IGBT модули крепятся к охладителю винтами высокой твердости с обязательным использованием плоских и стопорных шайб. Последовательность крепления винтов указана на рис. 4.1.

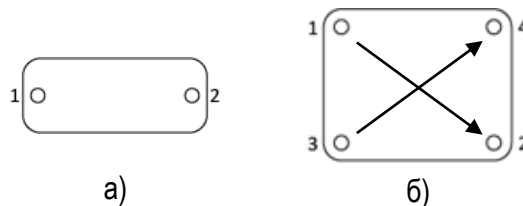


Рис. 4.1 - Последовательность крепления винтов для корпуса 34 мм (а) и для корпуса 62 мм (б).

Демонтаж модулей производится в обратном порядке.

## 5. Рекомендации по применению термопасты

Требования к термопасте:

- Термопаста не должна иметь в себе твердых включений во избежание деформации поверхности;
- Термопаста должна сохранять свои свойства все время эксплуатации прибора;
- Максимальная температура пасты должна быть не ниже максимальной температуры прибора под нагрузкой (запас по температуре минимум 10%);
- Ресурс работы пасты должен быть не меньше ресурса работы модуля.

Перед нанесением термопасты поверхности прибора и радиатора необходимо очистить и обезжирить. Для очистки рекомендуется использовать безворсовую ткань и все работы проводить в перчатках. Следует избегать попадания пасты на охладитель, поскольку паста, попавшая в резьбовые отверстия, может привести к неправильному моменту затяжки.

Толщину слоя пасты можно проконтролировать при помощи специального гребешка ("Wet film comb", см. рисунок 5.1). Толщина пасты определяется как среднее между значением наибольшего «покрытого» (или «мокрого») зубца и значением наименьшего «непокрытого» (или «сухого») зубца.



Рис. 6.1 – Wet film comb

## 6. Основные требования к соединительным шинам.

Для предотвращения перенапряжений на силовых ключах, при коммутации больших токов с высокой частотой, шины должны обеспечивать:

- Идентичность топологии во всех параллельных цепях, для статической и динамической токовой балансировки;
- Минимальную индуктивность контура протекания тока источника. Рекомендуется применять плоские бифилярные шины, разделенные изолятором;
- Минимальное значение сопротивлений;
- Достаточное сечение для обеспечения допустимой плотности тока;
- Достаточное напряжение изоляции.

При соединении модулей шиной необходимо учитывать тепловое расширение шин при их нагреве током, или использовать гибкие шины.



## 7. Механическое воздействие и воздействия окружающей среды на корпуса изделий

В конструкции модулей присутствуют хрупкие керамические детали, поэтому запрещается делать следующее:

- Для предотвращения механического разрушения модулей не рекомендуется изгибать силовые и управляющие выводы, а также прикладывать к ним значительные механические нагрузки;
- Запрещается модули ронять и наносить какие-либо удары по их корпусу и основанию;
- Выводы модулей, включая места их присоединения к модулю, должны быть прочно закреплены.
- К силовым выводам запрещается прикладывать воздействие крутящего момента:
  - Для модуля в корпусе типа MIAA –  $2.5 \pm 0.25$  Нм;
  - Для модуля в корпусе типа MIFA –  $2 \pm 0.25$  Нм.
- К втычным соединениям запрещается прикладывать усилие сочленения более 23 Н.

Для нормальной работы модуля рекомендуется соблюдать следующие условия:

- Для модулей должны быть созданы условия препятствующие конденсации влаги на корпусе;
- Модули должны быть защищены от прямого попадания на них влаги;
- Модули должны быть защищены от воздействия газов способствующий коррозии выводов и оснований (пары кислот, двуокись серы, газообразный хлор и пр.).