

Мы говорим о быстрой защите, когда неполадка обнаружена внутри ключа и ключи непосредственно закрываются драйвером. Общее время реагирования ключа может составлять какие-то 10 наносекунд.

Если сбой обнаружен не в ключах, сигнал ошибки передается на плату управления, которая уже на него реагирует. Это называется медленной защитой. Протекающие процессы одинаково относятся и к управлению преобразователем (напр. система реакции на перегрузку). Современные преобразователи часто комбинируют медленную и быструю защиту в зависимости от специфики применения.

Сравнительный анализ концепций защиты изложен в [194].

3.6.3.1 Обнаружение и снижение токов перегрузки

Обнаружение токов перегрузки

На рис.3.57 показана цепь источника напряжения инвертора. Здесь точки измерения обозначены в тех местах, где обнаружены перегрузки по току.

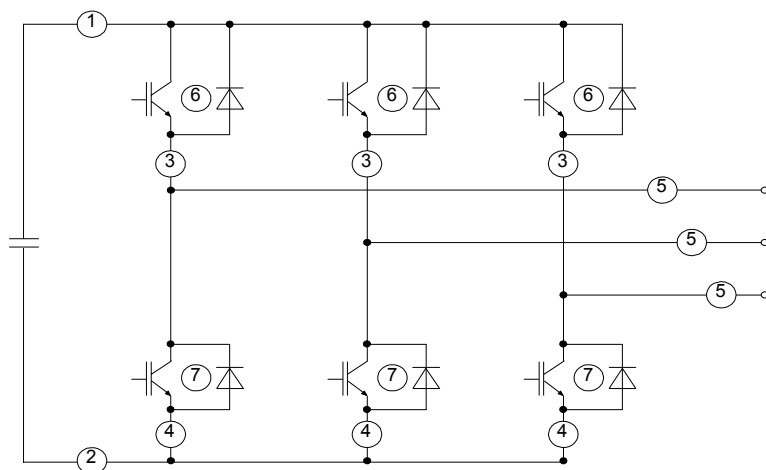


Рис.3.57

Токи перегрузок можно разделить на:

Перегрузка по току: обнаруживается в точках 1-7

Замыкание плеча: обнаруживается в точках 1-4 и 6-7

Замыкание в нагрузке: обнаруживается в точках 1-7

Замыкание земли: обнаруживается в точках 1, 3, 5, 6 или вычислением разности между точками 1 и 2

Принципиально, контролируемые токи коротких замыканий требуют быстрой реакции на управление выходным состоянием драйвера, поскольку транзистор закроется в течение 10 мкс после замыкания. Для этого токи перегрузки можно контролировать в точках 3, 4, 6 и 7 (с ОСР-драйверами также в точке 5, см.п.3.5.8).

Измерения в точках 1-5 можно выполнять при помощи шунтов (напр. интегрированных в MiniSKiiP) или индуктивных измерительных трансформаторов тока (напр. в OCP-SKiiP и MiniSKiiP).

Измерительные шунты:

- простой способ измерения,
- требует силовой шунт с малым сопротивлением (10...100 мОм) и малой индуктивностью,
- измерительный сигнал высоко чувствительный к помехам,
- измеряемые значения без изоляции потенциалов.

Измерительные трансформаторы тока

- более сложная конструкция по сравнению с измерительным шунтом,
- восприимчивость к помехам измерительного сигнала меньше, чем с измерительным шунтом,
- имеются измеряемые значения с изоляцией потенциалов.

В контролируемых точках 6 и 7 токи перегрузки обнаруживаются прямо на выводах IGBT/MOSFET. Здесь методами защиты являются контроль V_{CEsat} или $V_{DS(on)}$ (непрямой метод измерения) и измерение тока, если используется sense-IGBT (прямой метод измерения). На рис.3.58 показаны принципиальные схемы.

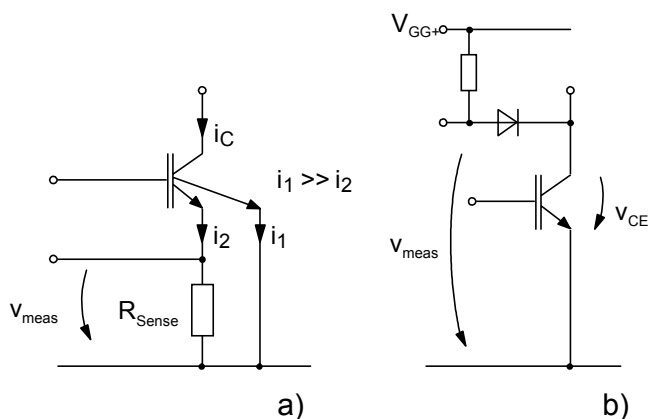


Рис.3.58 Обнаружение токов перегрузки а) измерение тока б) контроль V_{CEsat}

Измерение тока при помощи sense-IGBT

В sense-IGBT sense-эмиттер состоит из нескольких ячеек, через которые протекает два параллельных тока плеча. Информация поступает при протекании коллекторного тока через измерительный резистор. При $R_{Sense} = 0$ коэффициент разделения тока между двумя эмиттерами идеальный, соответствующий соотношению числа чувствительных ячеек к общему числу ячеек. Если R_{Sense} возрастает, проходящий через измерительную цепь ток будет уменьшаться при помощи обратной связи измерительного сигнала. Поэтому

сопротивление R_{Sense} должно быть в пределах 1-5 Ом для получения предельно точного измерения тока коллектора.

Если пороговое значение тока выключения только немного больше номинального тока транзистора, контроль тока не должен влиять на включение IGBT, из-за значительного импульса тока обратного восстановления диода (при жесткой коммутации).

Для очень высоких sense-сопротивлений ($R_{\text{Sense}} \rightarrow \infty$) измеряемое напряжение соответствует напряжению насыщения коллектор-эмиттер, и измерение тока работает как контроль V_{CEsat} .

Контроль V_{CEsat} :

Контроль V_{CEsat} использует соотношение между током коллектора и прямым напряжением, которое приводится в справочных данных транзистора (выходная характеристика).

Напряжение коллектор-эмиттер контролируется при помощи быстрых высоковольтных диодов и сравнивается с номинальным значением. Быстрый процесс обеднения транзистора благоприятствует ускорению обнаружения короткого замыкания. Если транзистор не обедняется по причине повреждения (напр. если есть перегрузка по току и немного возросший ток повреждения земли), применение контроля V_{CEsat} для обнаружения сбоев будет ограничиваться.

Для гарантированного мягкого включения IGBT при нормальной работе, контроль V_{CEsat} должен задерживаться до того времени, как напряжение коллектор-эмиттер упадет ниже номинального значения (см. п.3.5.4). Поскольку в течение этого периода нет защиты от короткого замыкания, время задержки не должно превышать 10 мкс.

Температурная зависимость выходной характеристики, а также параметра распределения негативно влияет на V_{CEsat} контроль. Однако существенное преимущество по сравнению с измерением тока sense-IGBT в том, что эта концепция защиты применима к любому стандартному IGBT/MOSFET.

Уменьшение токов перегрузки

Улучшенную защиту транзисторного ключа можно получить при уменьшении или ограничении высоких токов перегрузки, особенно по отношению к коротким замыканиям и низкоимпедансным токам перегрузки в цепях общего провода.

Как изложено в п.3.6.2, короткое замыкание типа II вызовет динамическую перегрузку по току из-за возрастания напряжения затвор-эмиттер по причине высокого dv_{CE}/dt . Амплитуду тока короткого замыкания можно снизить ограничением напряжения затвор-эмиттер. Варианты схем даны в п.3.6.3.2.