

Новая серия интеллектуальных модулей

на базе full gate CSTBT

Для повышения эффективности приводов и источников питания компания Mitsubishi Electric разработала новую серию интеллектуальных модулей V1, в которых используются кристаллы, выполненные по технологии full gate CSTBT (Carrier-Stored Trench Gate Bipolar Transistor), и специально разработанная интегральная схема драйвера. В диапазоне до 1200 В модули выпускаются на токи 200/300/450 А, до 600 В — на токи 400/600 А.

Роман Фукалов

Roman.Fukalov@mer.mee.com

Интеллектуальные модули (IPM) широко используются для достижения высокой степени интеграции преобразователей, повышения их надежности и уменьшения сроков разработки. За последние годы технология интеллектуальных модулей шагнула далеко вперед. Благодаря специализированной интегральной схеме IPM обладают хорошей защитой от коротких замыканий и уверенно противостоят помехам по цепям управления. Наличие датчиков температуры, расположенных на кристаллах, позволяет осуществлять индивидуальную тепловую защиту IGBT. Таким образом, сегодня интеллектуальные модули имеют такой набор качеств, который было бы трудно получить при использовании стандартных IGBT.

Все эти новые технологии использовались при создании модулей «6 в 1» и «7 в 1» серий L1 и S1, расчи-

танных на токи до 150 А/1200 В и 300 А/600 В. Но до последнего времени отсутствовало современное решение для более мощных преобразователей. Новая серия V1 закрывает этот пробел и расширяет ассортимент нового поколения IPM до 450 А/1200 В «2 в 1». Серия V1 полностью совместима по корпусу и расположению выводов с серией V, но внутренняя структура модулей отличается. Используются корпуса разного размера. В меньшем выпускаются полумодули 200–450 А/1200 В и 400–600 А/600 В. На рис. 1 показан внешний вид малого корпуса серии V1, а на рис. 2 — большой корпус на токи до 600 А/1200 В и 900 А/600 В. Оба корпуса совместимы с предыдущим поколением по выходам цепей управления и имеют аналогичное расположение силовых выводов. В таблице 1 перечислены изделия серии V1.

Управление и защита

Серия V1 использует транзисторы IGBT пятого поколения CSTBT. Функции защиты интегрированы в специализированную микросхему управления, которая обеспечивает те же функции защиты, что и в ставшей промышленным стандартом серии L1. Это защита от падения напряжения на цепях управления, температурная защита, встроенная непосредственно в кристаллы, и защита от короткого замыкания (КЗ), на базе технологии токового зеркала. Дополнительный эмиттер с этой технологией позволяет снижать нагрузку на IGBT при КЗ. Традиционные методы защиты от короткого замыкания базируются на определении точки выхода прибора из насыщения, но это приводит к рассеянию



Рис. 1. Малый корпус серии V1



Рис. 2. Большой корпус серии V1

Таблица 1. Линейка серии V1

Ток/Напряжение	Наименование	Корпус
400 А/600 В	PM400DV1A060*	Малый
600 А/600 В	PM600DV1A060*	Малый
900 А/600 В	PM900DV1B060**	Большой
200 А/1200 В	PM200DV1A120*	Малый
300 А/1200 В	PM300DV1A120*	Малый
450 А/1200 В	PM450DV1A120*	Малый
600 А/1200 В	PM600DV1B120**	Большой

Примечание: * — разрабатывается; ** — обсуждается.

большого количества энергии на кристаллах при КЗ. В отличие от этой методики, дополнительный эмиттер с технологией токового зеркала измеряет часть тока, протекающего через коллектор, и, используя эту реальную информацию, осуществляет защиту от сверхтоков. На рис. 3 показана схема токовой защиты, примененная в данном интеллектуальном модуле.

Контроль напряжения цепей управления

Внутренние схемы интеллектуального модуля питаются от изолированных источников 15 В. В случае, если питающее напряжение опускается ниже заданного уровня (U_{Vr}), модуль выключается, и выставляется сигнал ошибки. Короткие просадки напряжения (менее 10 мкс) не оказывают влияния на работу модуля и игнорируются системой защиты. Для возвращения в работу питающее напряжение должно подняться до уровня сброса защиты (U_{Vt}). Также система защиты срабатывает при подаче и снятии питания на цепи управления. Это нормальная реакция, и данную особенность нужно учитывать при создании системы управления.

Температурная защита

Интеллектуальный модуль серии V1 обладает температурными датчиками, встроенными в кристаллы IGBT. Если температура кристаллов IGBT превысит уровень уставки температурной защиты (OTtrip), встроенная схема контроля будет защищать модуль путем блокировки затвора и игнорирования сигналов управления до тех пор, пока температура модуля не опустится ниже разрешенной. Сигнал ошибки будет выдаваться все время, пока температура остается выше допустимой. Возврат к нормальной работе происходит при падении температуры ниже уровня сброса температурной защиты (OTr) и при наличии высокого уровня на входе управления (что соответствует выключенному состоянию IGBT).

В предыдущей серии V для защиты от перегрева использовался термодатчик, установленный на базовой пластине. Но такой метод имеет ряд недостатков. Во-первых, быстрое действие такой системы невысоко из-за тепловой инерционности базовой пластины. Во-вторых, по температуре базовой плиты невозможно точно установить температуру кристаллов. Данный тип защиты может быть эффективен в некоторых случаях, например при отказе вентилятора обдува или проблемах с теплопроводящей пастой, но недостаточен при низкой выходной частоте или при заблокированном роторе.

Модуль температурной защиты последних ИРМ может непосредственно контролировать температуру IGBT чипа, при этом температурный сенсор в них расположен на границе кристалла. Дальнейшие исследования показали, что в зависимости от места расположения датчика температуры на кристалле его показани-

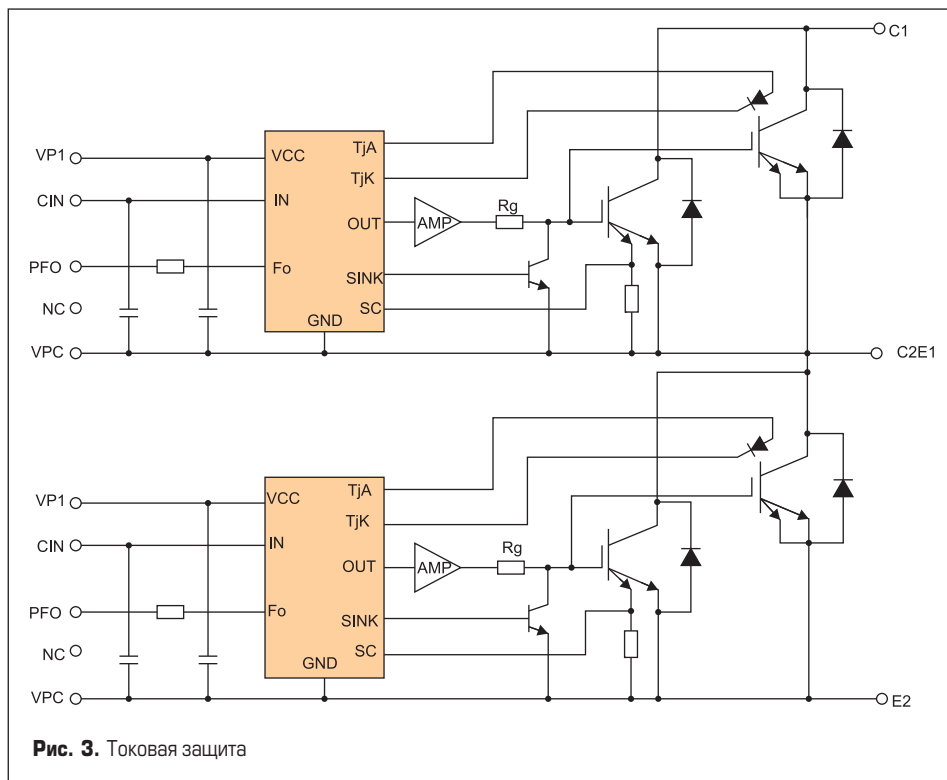


Рис. 3. Токовая защита

ния существенно разнятся. Идеальным расположением сенсора является центр кристалла. В новых модулях V1 датчик расположен в самой горячей точке кристалла, что увеличивает надежность защиты от перегрева.

Защита от короткого замыкания

Защита от короткого замыкания является одним из основных элементов современных приводов. КЗ может возникать по различным причинам и создает чрезмерную тепловую нагрузку на IGBT. Интеллектуальные модули позволяют защитить прибор при коротком замыкании. Как упоминалось ранее, технология токового зеркала позволяет отслеживать ток, протекающий через кристалл. Таким образом, измеряя маленький ток дополнительного эмиттера, система защищает прибор от сверхтоков. При срабатывании защита подает сигнал ошибки.

Поскольку защита от КЗ интегрирована как в нижний, так и в верхний транзистор система также отслеживает возникновение замыкания на землю. Кроме того, ИРМ серии V1 содержит высокочувствительную отрицательную обратную связь в эмиттере IGBT, что снижает пик тока КЗ. Диаграмма работы функций защиты показана на рис. 4.

Электрические характеристики

К особенностям коммутационных свойств прибора относятся не только уровень потерь на переключение, но и уровень электромагнитных помех при коммутации. Коммутационные тесты были произведены при $V_{cc} = 600$ В, $V_{D(supply)} = 15$ В, $T_j = 125$ °С, $I_C = 100$ А/дел, $V_{CE} = 200$ В/дел (рис. 5). На осциллограмме видно отсутствие осцилляции как при включении, так и при выключении. При этом потери в модуле находятся

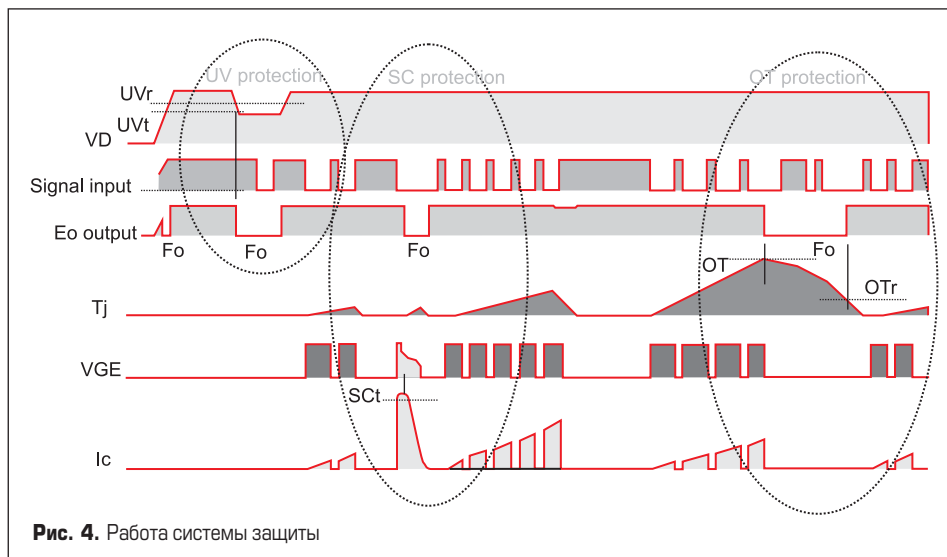


Рис. 4. Работа системы защиты

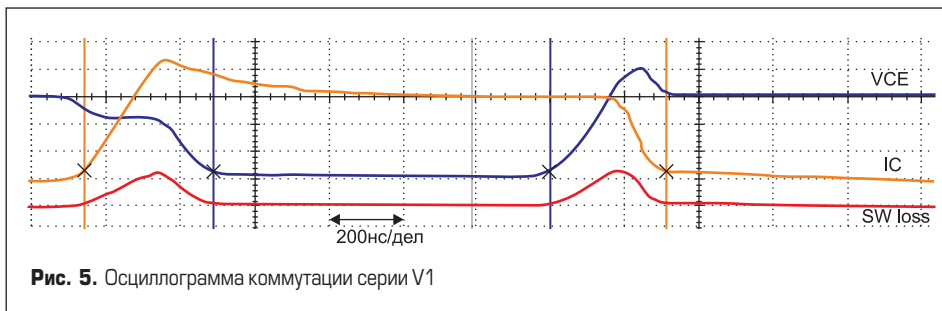


Рис. 5. Осциллограмма коммутации серии V1

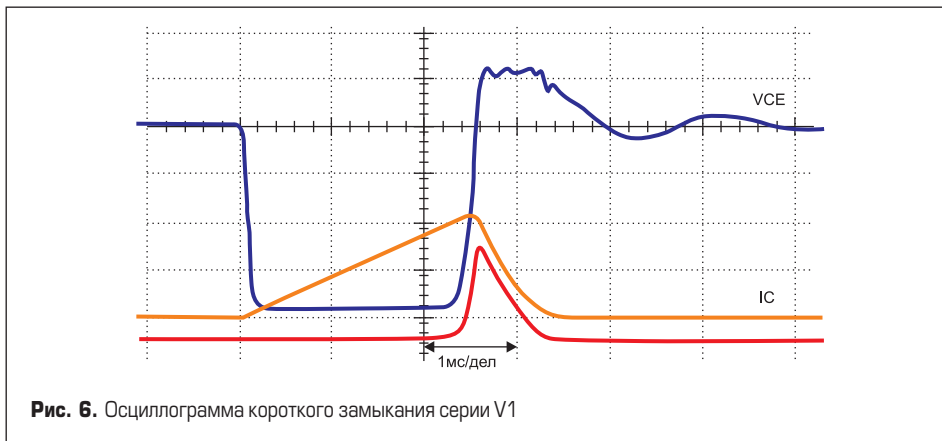


Рис. 6. Осциллограмма короткого замыкания серии V1

на уровне серии L1, которая также базируется на full gate CSTBT. Переключение устройств серии V1 настроено по подобию серии L1. На рис. 5 видно, что даже при коротких импульсах не наблюдается никакой осцилляции. При сравнении новой серии V1 с устройствами предыдущего поколения видно, как продвинулась технология IGBT в вопросах снижения потерь. Также сильно изменились и технологии сборки модулей. Благодаря ис-

пользованию новой технологии сварки внутренних проводников серьезно повышена стойкость к термоциклированию. Таблица 2 содержит информацию по серии V, таблица 3 — по серии V1.

При разработке модуля также были проведены тесты на КЗ, причем за границы зоны безопасной работы. Следуя принятой в Mitsubishi Electric консервативной методике разработки, короткое замыкание

было проведено при $V_{cc} = 800 \text{ В}$, $V_D = 16,5 \text{ В}$ и $T_{jstart} = 125 \text{ }^\circ\text{C}$, $I_C = 1000 \text{ А/дел}$, $V_{CE} = 200 \text{ В/дел}$. Результат этих испытаний показан на рис. 6. Несмотря на высокую температуру кристаллов и высокое напряжение на шине постоянного тока, короткое замыкание было отключено безопасно и не привело к выходу модуля из строя.

Также заслуживает внимания скорость срабатывания токовой защиты. Столь быстрое отключение короткого замыкания снижает тепловую нагрузку на кристаллы и, соответственно, повышает надежность.

На рис. 7 представлена осциллограмма работы модуля серии V1 в составе привода: $V_{cc} = 600 \text{ В}$, $I_0 = 300 \text{ А}$ (пиковое), $V_D = 15 \text{ В}$, $f_c = 5 \text{ кГц}$, $f_0 = 60 \text{ Гц}$.

Моделирование потерь

Сравнение потерь в модуле при работе в составе инвертора было произведено для серий V1 и L. Серия L имеет в своем составе модули на 300 А/1200 В и 450 А/1200 В, и хотя также использует CSTBT-транзисторы, но плотность тока в них меньше, чем в CSTBT-транзисторах серии V1. Также V1 имеет большую площадь основания модуля и, соответственно, лучшую теплоотдачу. На рис. 8 показано сравнение трех полумостов серии V1 и модуля серии L «6 в 1». Эти два решения для мощных инверторов сравнивались при разных частотах коммутации для модулей 300 А/1200 В. Результаты можно увидеть на рис. 9.

Новое семейство полумостов IPM с технологией full gate обладает низкими потерями и прекрасными показателями надежности, что делает их отличной элементной базой современного электропривода.

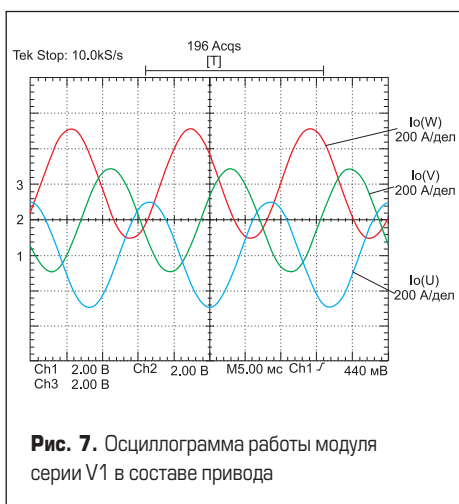


Рис. 7. Осциллограмма работы модуля серии V1 в составе привода

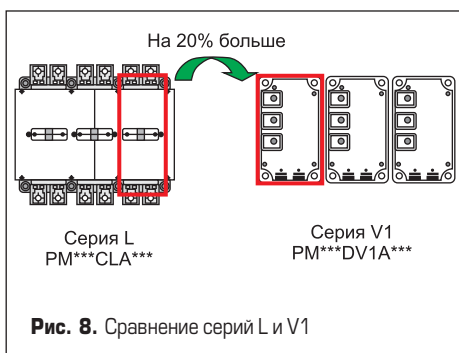


Рис. 8. Сравнение серий L и V1

Таблица 2. Параметры серии V

Параметр	Серия V	
V_{cesy} , В	600	1200
$V_{ces(sat)}$ ($T_j = 125 \text{ }^\circ\text{C}$), В	2,55	2,6
Температурная защита	NTC-термистор	NTC-термистор
Стойкость к термоциклам	Стандартная	Стандартная

Таблица 3. Параметры серии V1

Параметр	Серия V1	
V_{cesy} , В	600	1200
$V_{ces(sat)}$ ($T_j = 125 \text{ }^\circ\text{C}$), В	1,75	1,85
Температурная защита	В кристалле	В кристалле
Стойкость к термоциклам	Улучшенная	Улучшенная

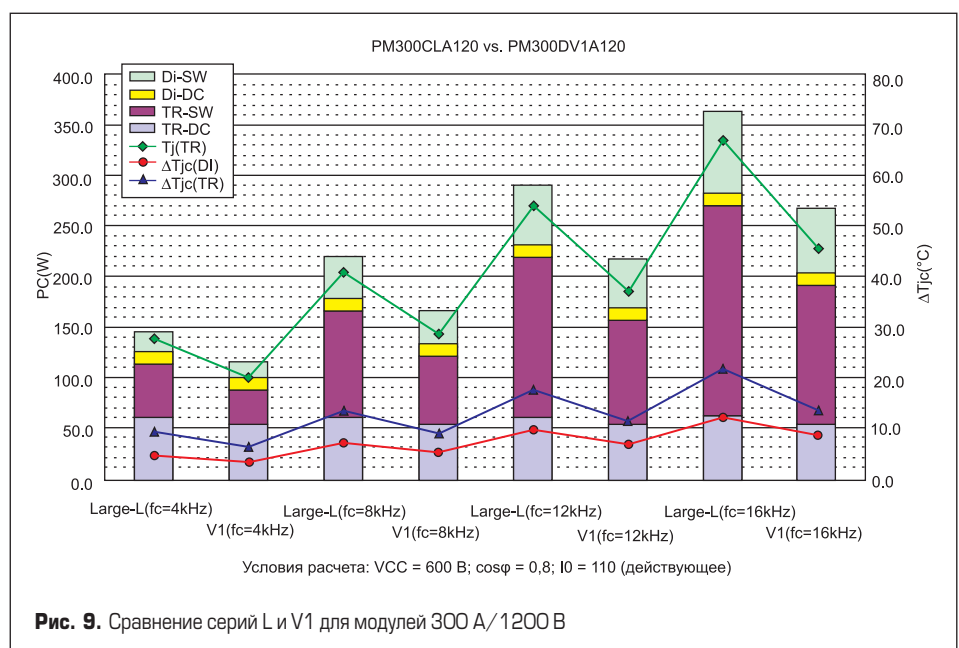


Рис. 9. Сравнение серий L и V1 для модулей 300 А/1200 В