

Контроль напряжения ПЧ:

проблемы и решения

Надежный преобразователь частоты для электродвигателя — это не только инвертор и схема управления к нему, но и схема контроля напряжения питания, защищающая силовые цепи от провалов и набросов напряжения, возникающих при работе двигателя. Именно о такой схеме производства «Электрум АВ» и пойдет речь в данной статье.

Павел Новиков

novikov@electrum-av.com.

Зачастую разработчик преобразователя частоты (ПЧ) с целью защиты силовой схемы от выхода из строя вводит в схему управления множество защит по току, но в то же время уделяет недостаточно внимания защите по напряжению питания. Бытует мнение, что самая страшная и основная причина выхода из строя какого-либо элемента силовой цепи — это ток, однако, как показывает практика, основная причина выхода из строя как раз не ток, а напряжение. Выход из строя силовой цепи по току, как правило, случается либо на этапе отладки, когда еще не подобран тепловой баланс, либо по причине сбоев в управлении, либо из-за КЗ в нагрузке. Причем последнее, при правильно собранной и отлаженной схеме защиты по току, вовсе не обязательно приводит к выходу из строя преобразователя. В штатном же режиме работы электродвигателя выход из строя по току и вовсе явление довольно редкое. Плюс к этому, современные IGBT и MOSFET устойчивы к КЗ в течение нескольких десятков микросекунд (гарантированно 10 мкс), не говоря уже о тиристорах, способных работать на КЗ в течение десятков миллисекунд, а значит, для защиты по току есть время, следовательно, есть и возможности; с током можно бороться «по факту», не особо заботясь об упреждении. С напряжением же все не так просто. Выброс напряжения выше предельно допустимого значения для силового элемента длительностью более нескольких наносекунд (максимум — десятков наносекунд) со 100%-ной вероятностью приведет к выходу из строя этого элемента. И с напряжением, в отличие от тока, времени на ответное реагирование нет, с этим следует бороться только упреждением. А опасных моментов, в смысле перенапряжения, при работе ПЧ существует множество.

Работу любого ПЧ при управлении электродвигателем можно разбить на несколько этапов, для каждого из которых есть свои наиболее опасные моменты. Рассмотрим их подробнее.

Во-первых, подача силового питания, заряд емкости фильтра. Большой ток заряда способен вывести из строя выпрямительные диоды (тиристоры), источник питания или, что вероятнее всего, рано или поздно приведет к выходу из строя фильтрующего конденсатора, так как последние при больших значениях di/dt при заряде и разряде имеют склонность к деградации.

Во-вторых, запуск двигателя. На этом этапе имеют место большие пусковые токи, особенно в начальный момент времени, когда нагрузка, по сути, носит чисто активный характер. Проблема этого этапа в том, что здесь нельзя полноценно использовать защиту по току, так как в этом случае двигатель может просто не запуститься, и в то же время ток нужно ограничивать, иначе инвертор перегреется и выйдет из строя. Желательно использовать защиту от КЗ на тот случай, если нагрузка на валу в момент запуска значительно превышает расчетную или если вал и вовсе заклинило.

В-третьих, штатный режим работы двигателя. Это самый безопасный режим работы, но и здесь, в случае, если нагрузка на валу двигателя нестабильна (рывки), могут возникать провалы или выбросы тока и напряжения и, как следствие, сбой в управлении.

Четвертый этап — динамический тормоз, реверс. Наиболее опасный режим в плане перенапряжения. Особенно этот режим проявляет себя при торможении высокоинерционной нагрузкой (например, вентилятор) или при реверсе противовключением. Но даже если нагрузка неинерционна, в момент динамического торможения или реверса двигатель все равно будет находиться в генераторном режиме и всю свою запасенную мощность обязательно отдаст в сеть и в нагрев.

Для решения вышеозначенных проблем и предназначен модуль контроля коммутируемого напряжения (МККНМ) от «Электрум АВ» (рис. 1).

МККНМ выполняет следующие функции:

- выпрямление переменного напряжения (тип силовой сборки «Б»);
- коммутация силового напряжения;



Рис. 1. Внешний вид МККНМ

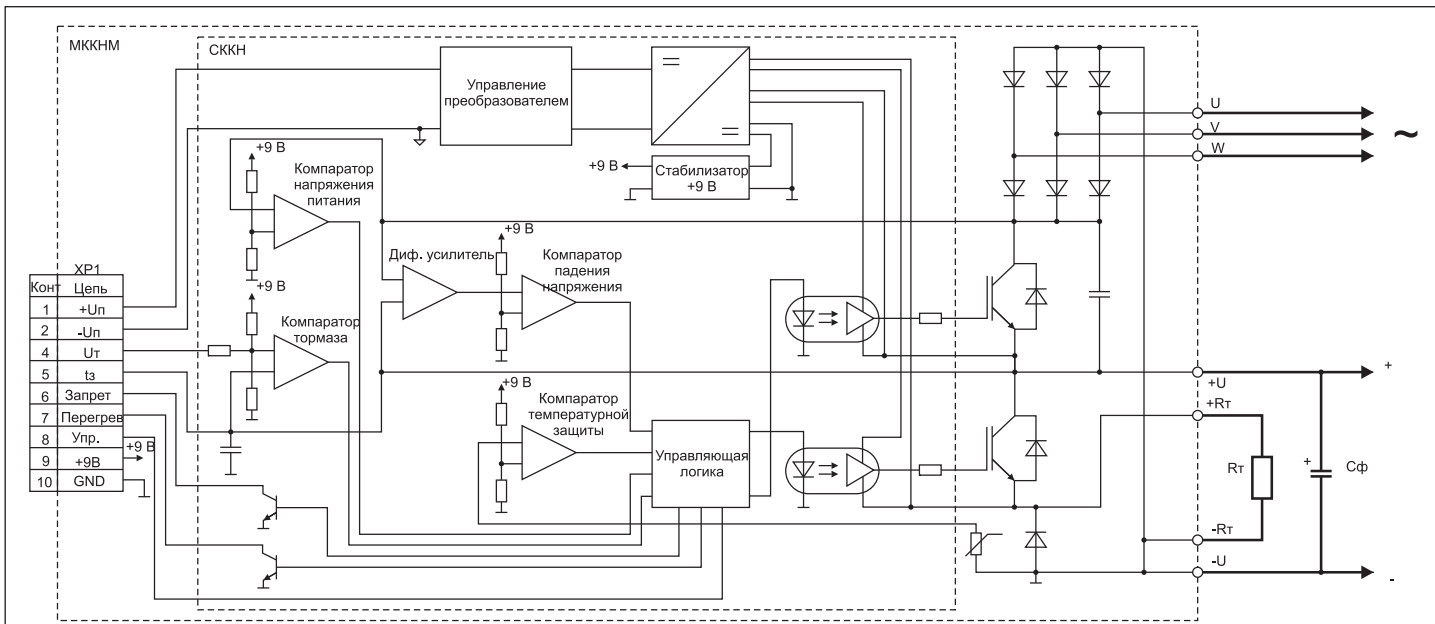


Рис. 2. Структурная схема и схема включения силовых цепей МККНМ

- защита нагрузки от пониженного напряжения питания;
- защита нагрузки от повышенного напряжения питания;
- защита нагрузки в режиме КЗ;
- собственная защита от перегрева;
- регулировка порога включения/выключения тормозного транзистора;
- регулировка длительности задержки срабатывания тормозного транзистора;
- сигнализация о запрете работы зарядного транзистора;
- сигнализация о перегреве модуля;
- внешнее управление включением/выключением зарядного транзистора.

МККНМ обеспечивает работу и защиту нагрузки мощностью до 15 кВт на токи до 100 А и напряжение до 1200 В (предельно допустимое значение). МККНМ выпускается с различными типами радиаторов, что позволяет применять модуль для решения как общепромышленных задач, так и в частных случаях. Цепи питания и цепи управления МККНМ гальванически развязаны друг от друга и от цепей управления силовыми транзисторами прочностью изоляции не менее 4000 В по постоянному току.

Структурная схема и схема включения модуля приведены на рис. 2.

Модуль работает следующим образом (рис. 3). При отсутствии силового напряжения питания зарядный транзистор закрыт, и статусный выход «Запрет» находится в активном состоянии; напряжение в нагрузке отсутствует. При подаче силового напряжения питания схема управления разрешит работу модуля по достижению напряжением питания порога выключения защиты от недонапряжения; при снижении питания ниже этого порога схема управления вновь закроет зарядный транзистор (таким образом осуществляется защита от пониженного напряжения питания). После того как схема защиты от недонапряжения разрешит работу модуля, запустится генератор, который будет

кратковременно открывать зарядный транзистор через относительно большие промежутки времени, тем самым осуществляя накачку емкости фильтра. После того как разница напряжения на коллекторе зарядного транзистора и его эмиттере станет меньше установленного порога (зависит от класса прибора и составляет порядка десятков вольт), зарядный транзистор полностью откроется, тем самым подключив цепи питания к нагрузке; транзистор на выходе «Запрет» закроется. При возникновении КЗ в нагрузке разница напряжений коллектор-эмиттер зарядного транзистора снова превысит установленный порог, зарядный транзистор закроется, и включится генератор, тем самым обеспечивая возможность перезапуска в режиме аварии. При превышении напряжением нагрузки установленного порога (настраивается внешним резистором) в течение установленного времени

(настраивается внешним конденсатором) зарядный транзистор закроется, и откроется тормозной транзистор, подключив разрядный резистор к цепи нагрузки. При снижении напряжения питания ниже допустимого предела для срабатывания защиты от перенапряжения тормозной транзистор закроется, и откроется зарядный. При перегреве модуля зарядный транзистор закроется (тормозной транзистор будет функционировать), и на статусном выходе «Перегрев» появится активный уровень. В том случае, если используется внешний сигнал разрешения (вывод «Упр»), внешний сигнал запрета имеет приоритет по отношению ко внутренним сигналам; внутренний сигнал запрета имеет приоритет относительно внешних.

Как видно по рис. 2 и из описания, вся схема коммутации МККНМ построена на транзисторах, хотя зачастую для управления напряжением

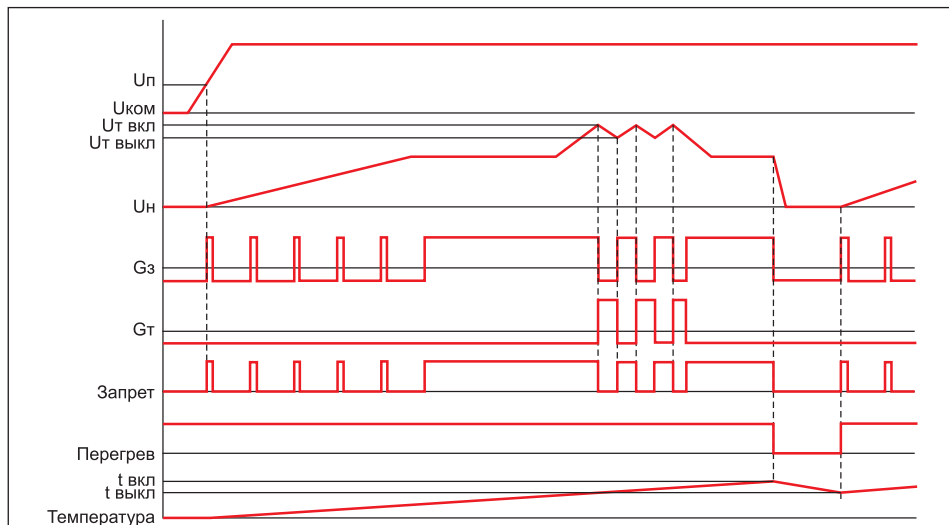


Рис. 3. Графики работы МККНМ: $U_{ком}$ — коммутируемое силовое напряжение питания; U_n — напряжение отключения защиты от пониженного напряжения питания; U_n — напряжение на нагрузке; $U_{т\ вкл(выкл)}$ — напряжение включения (выключения) тормоза; $G_з$ — сигнал на затворе зарядного транзистора; $G_т$ — сигнал на затворе тормозного транзистора; $t_{вкл(выкл)}$ — температура включения (выключения) защиты по перегреву

нагрузки используются тиристоры выпрямительного моста. Выбор в пользу транзисторов был сделан по нескольким причинам, а именно:

- Тиристорами довольно проблематично обеспечить такое же кратковременное отпирание при плавном заряде емкости, как транзистором, а это, в свою очередь, увеличивает импульсную нагрузку на силовой источник питания, и тем это страшнее, чем больше емкость фильтра.
- Тиристорами практически невозможно работать при осуществлении питания от источника постоянного напряжения, тем более если его требуется закрыть в произвольный момент времени, что, в свою очередь, чревато весьма печальными последствиями.
- Тиристоры плохо «дружат» с транзисторами в плане осуществления защиты последних. Если возникло КЗ, тиристор не закроется, пока не пройдет полуволна, а это долгие миллисекунды, в то время как для транзистора достаточно и десятой доли миллисекунды для выхода из строя; защита на тиристорах обладает совершенно неудовлетворительным быстродействием для работы с транзисторами.
- Адекватный контроль тока в цепи нагрузки с помощью тиристоров относительно сложнее осуществить, нежели на транзисторе, что, в свою очередь, сказывается на стабильности работы модуля в целом.

Также нельзя не отметить ряд нюансов, связанных с контролем силового напряжения питания, которые следует учитывать при разработке ПЧ. Перечислим эти проблемы.

Во-первых, емкость фильтра следует выбирать, исходя не из коэффициента сглаживания пульсирующего постоянного напряжения, а из тормозного момента. Например, для трехфазной сети для сглаживания напряжения вполне достаточно значения емкости 100 мкФ/1 кВт, однако, как показывает практика, при осуществлении быстрого реверса емкость фильтра должна быть не менее 400 мкФ/1 кВт, а в некоторых случаях она может доходить до 600–700 мкФ/1 кВт. Более того, даже при осуществлении питания от источника постоянного напряжения фильтрующий конденсатор указанного порядка все равно должен быть установлен. Связано это с тем, что для того чтобы защита по перенапряжению успела отработать, значение dU/dt возникающей противо-ЭДС должно быть относительно небольшим, не более 1 кВ/мкс,

и именно для его уменьшения и необходимо увеличивать емкость фильтра. Отсюда увеличение габаритов, более жесткие условия накачки емкости и т. д., но это уже другая история. В свою очередь, если повысить время отклика защиты по перенапряжению, то устойчивость к dU/dt может быть и большей, но тогда возрастает риск ложных срабатываний защиты при коммутационных выбросах.

Во-вторых, по цепям питания инвертора обязательно должен быть установлен ограничитель на пробивное напряжение, составляющее порядка 120–130% от номинального значения напряжения срабатывания защиты. В этом случае с кратковременными выбросами с большим значением dU/dt (до 10 кВ/мкс) будет бороться ограничитель, а с длительными выбросами — тормозной транзистор: так и ограничитель не перегреется, и транзисторы инвертора будут защищены.

В-третьих, при питании силовой цепи от источника постоянного напряжения, критичного к обратному напряжению, следует устанавливать последовательно шине «+» диод анодом к источнику, запирая тем самым обратное напряжение. Особенно эта рекомендация относится к аккумуляторам, к источнику, от которого запитаны другие потребители энергии, и особенно к тем схемам, где питание схемы управления осуществляется также от источника силового напряжения. В этом случае при возникновении противо-ЭДС даже линейный стабилизатор спасает мало. Например, силовое питание осуществляется от источника 24 В, и с этого же источника запитана схема управления через стабилизатор 15 В. При возникновении обратного сброса напряжения помехи по «земле» способны обойти любой стабилизатор и сбить все, что угодно. В нашей практике был потребитель, у которого при возникновении КЗ в нагрузке (заклинивало вал двигателя) силовая схема всегда оставалась целой и невредимой, а вот схема управления сгорала почти наверняка.

Еще один момент, который нельзя не отметить при описании МККНМ, — это его совместимость с интеллектуальными модулями инвертора М31 и модулями управления двигателями на его основе; причем совместимость не только функциональная, но и конструктивная. При совмещении МККНМ и М31 можно получить полностью

законченный ПЧ для управления конкретным типом двигателя с сетевым напряжением на входе и ШИМ-сигналом на фазных выходах инвертора. Такая схема обладает тремя уровнями защиты по току и двумя уровнями защиты по напряжению: защита по среднему току, защита по импульсному току и защита от КЗ (осуществляет МККНМ); быстродействующая защита от кратковременных выбросов с большим значением dU/dt на ограничителях напряжения М31 и защита по среднему напряжению МККНМ. Пороги срабатывания защит можно настроить под конкретные особенности нагрузки.

Если уж зашла речь о М31, то следует сказать, что данный модуль к настоящему моменту модернизирован. Во-первых, к линейке модулей управления вентиляционным, коллекторным и асинхронным двигателем добавился модуль управления однофазным двигателем. Во-вторых, расширен диапазон входного напряжения питания до 11–27 В. Кроме того, теперь на токи до 20 А М31 имеет собственные схемы контроля коммутируемого напряжения (управляемый выпрямительный мост и активный чоппер). И главное — теперь цепи управления гальванически развязаны от силовых цепей с прочностью изоляции не менее 4000 В по постоянному току. Впрочем, это в качестве отступления.

Таким образом, МККНМ позволяет снять целый ряд задач, возникающих при разработке ПЧ, для решения которых у разработчика зачастую не остается ни времени, ни нервов, — выпрямление напряжения, осуществление подачи питания внешним сигналом, контроль напряжения питания, защита нагрузки от КЗ и т. д. Более того, МККНМ не имеет не только прямых аналогов, но и даже близких по функциональному назначению «родственников», что, конечно, значительно упрощает выбор комплектации при разработке. Разумеется, МККНМ можно использовать не только в ПЧ и схемах управления электродвигателями, но и вообще везде, где требуется управление напряжением амплитудой 10–650 В с током до 100 А. Но даже если ток больше, можно использовать схему управления (СККН), которая, в частности, установлена в МККНМ, в качестве специализированного драйвера для управления мощными транзисторными модулями. В общем, всякое возможно; была бы потребность. ■