Автор: Новиков П.А.
Наш сайт: www.electrum-av.com

Модули управления вентильными двигателями: рекомендации по эксплуатации

Настоящие рекомендации предназначены для ознакомления потребителей с некоторыми особенностями настройки и эксплуатации модулей управления вентильными двигателями серии МУВДМ построенными на основе интеллектуальных инверторов М31.

Информация, приведённая в «рекомендациях», является недостаточной для корректной работы с модулем управления вентильным двигателем (далее – МУВДМ или модуль); необходимо ознакомление с Паспортом на указанный модуль. Настоящие рекомендации классифицированы по режимам работы двигателя (модуля) и по основным функциям, выполняемым модулем. Отсюда, рекомендации содержат следующие разделы:

- назначение и функции;
- фазирование датчиков Холла;
- формирование ШИМ;
- задание скорости;
- обратная связь по скорости;
- управление двигателем: запуск, реверс и останов;
- защита по току;
- защита по температуре;
- защита по напряжению.

Назначение и функции

Модуль управления вентильным двигателем предназначен для частотно-регулируемого управления трехфазным вентильным двигателем на постоянных магнитах с датчиками положения ротора. При этом допускается использование внешней схемы управления, например, на основе микроконтроллера, формирующей (имитирующей) сигналы с датчиков положения ротора (ДПР).

МУВДМ поддерживает следующие функции и возможности:

- контролируемый старт / стоп двигателя;
- изменение направления вращения вала двигателя с безопасным остановом при резкой смене направления вращения;
- регулирование скорости;
- стабилизацию скорости при изменении напряжения питания двигателя;
- защиту электродвигателя от токовых перегрузок и короткого замыкания;
- защиту от бросков импульсного тока;
- регулировку порога срабатывания токовой защиты;
- защиту от перегрева;
- защиту от одновременного включения транзисторов верхнего и нижнего плеча инвертора;
- защиту от работы при неверной комбинации сигналов с датчиков положения ротора;
- внешнюю сигнализацию о возникновении аварии;
- питание модуля непосредственно от силовой цепи;
- позволяет запитывать внешние схемы собственным стабилизированным напряжением +5 В и +15 В с защитой от перегрузки по току.

МУВДМ обеспечивает работу и защиту двигателей мощностью до 15 кВт. МУВДМ выпускается с различными типами радиаторов и различными вариантами управления, что позволяет применять модуль, как для решения общепромышленных задач, так и для решения частных случаев.

Фазирование датчиков Холла

Входы «ДА», «ДВ», «ДС», предназначенные для подключения выходов ДПР, допускают возможность непосредственного подключения датчиков положения ротора (датчики Холла; оптронные датчики), имеющих выходы с открытым коллектором, либо выдающие сигналы ТТЛ уровней.

Модуль позволяет применять различные алгоритмы фазирования ротора двигателя, в зависимости от логического уровня на входе «60/120»: «Лог.1» на входе «60/120» устанавливает режим фазирования в 60 (300) эл. градусов; «лог.0» – режим фазирования в 120 (240) эл. градусов В зависимости от расположения датчиков, возможны четыре алгоритма позиционирования двигателя (60°, 120°, 240°, 300°). Состояние датчиков в зависимости от положения ротора изменяется в соответствии с диаграммой, приведенной на рисунке 1.

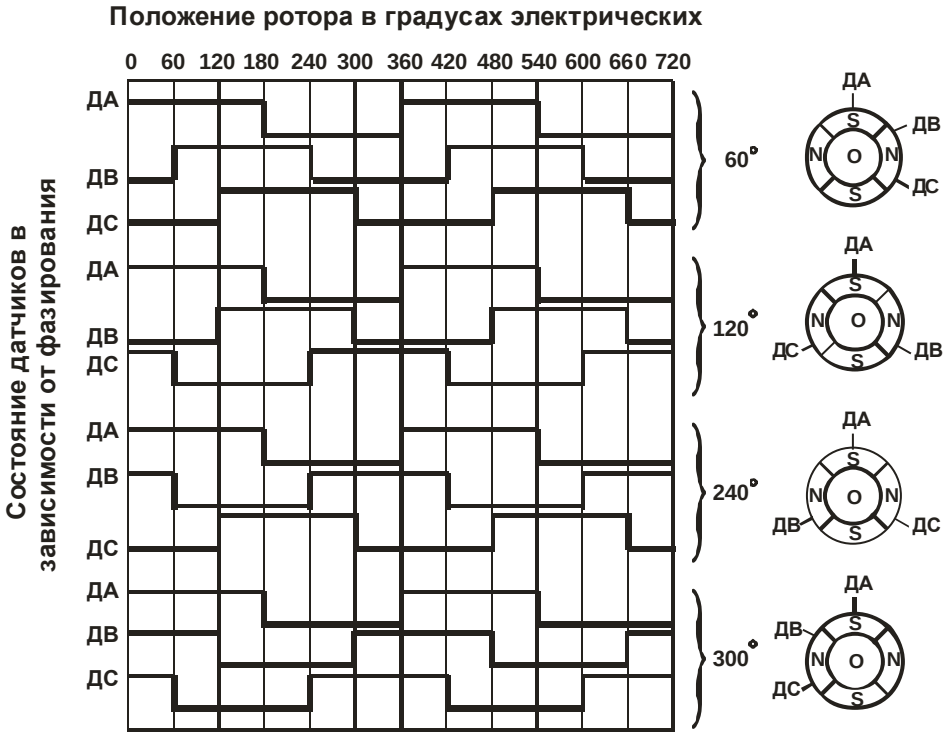

Рисунок 1 – Диаграмма состояний датчиков положения ротора

Алгоритмы 60° и 300° или 120° и 240° являются симметричными, но направление вращения ротора для них противоположны.

Для физического построения (расположения) ДПР для двигателя с числом полюсов **p**, необходимо руководствоваться следующей формулой:

$w_{геометр} = w_{электр} / p$.

Где p - это число пар полюсов, тогда получаем зависимость геометрического угла расположения датчиков от электрического. Например, двигатель шестиполюсовый, тогда имеем 3 пары полюсов, отсюда геометрический угол расположения датчиков должен быть, при электрических 120º, геометрических 40º. При этом необходимо учитывать, что должны быть четкие границы перехода полюсов магнитов воздействующих на датчики Холла.

После установки датчиков и подсоединения к двигателю, рекомендуется проверить их совместную работу. Для этого необходимо отключить фазы двигателя (силовые провода) от модуля, так чтобы остались подключены только датчики и их питающие провода. Обязательно подключить светодиод, или осциллограф, к выводу «Ошибка2». Остальное подключение согласно схеме в паспорте модуля. Затем включить питание и проверить работу датчиков по светодиодному индикатору (осциллографу) вывода «Ошибка2», путем вращения вала двигателя рукой. Во всех положениях не должно быть свечения индикатора. При достижении данного результата можно подключать силовые выводы фаз двигателя, предварительно сняв питающее напряжение с модуля.

Если есть подсвечивание и оно увеличивается с повышением частоты вращения, то это говорит о том, что происходит перекрытие работы датчиков и в данном случае их требуется разнести, это можно сделать путём сдвига всей платы датчиков относительно своей оси вала в сторону опережения или отставания. При этом необходимо учитывать, что при настройке вращения в одну сторону, необходимо контролировать вращение в обратную, т. к. возможна ситуация, при которой в одну сторону датчики будут настроены правильно, а в другую будет появляться сигнал ошибки, что, в частности, приведёт к снижению мощности и КПД при вращении в одном из направлений.

Формирование ШИМ

Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) необходима для изменения задаваемой скорости вращения вала двигателя. ШИМ формируется путём сравнения задаваемого напряжения входа управления скоростью и сигнала осцилляции (вывод «Осц»). Сигнал осцилляции задаётся либо внутренними схемами (варианты управления «А» - «Г»), либо внешней RC-цепочкой (варианты управления «Д» - «И»). В первом случае частота осцилляции (частота ШИМ) не может быть изменена. Во втором случае – частота зависит от постоянной времени RC-цепочки. Зависимость частоты от номиналов внешних резистора и конденсатора представлена на рисунке 2.

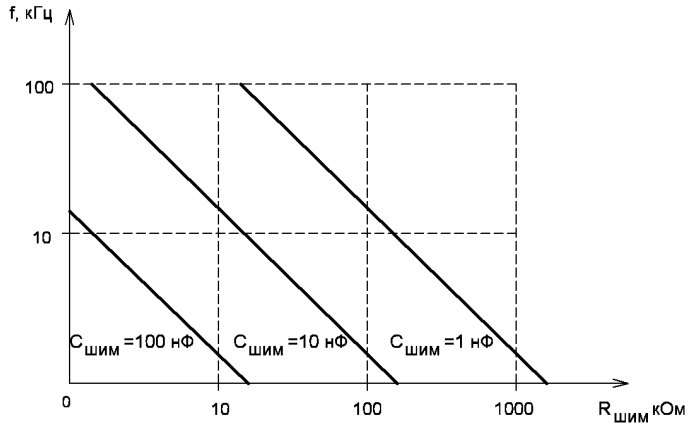

Рисунок 2 – Зависимость частоты ШИМ от номиналов $R_{шим}$ и $C_{шим}$

Для получения более линейного характера изменения скорости вращения вала двигателя от напряжения управления, рекомендуется вместо резистора $R_{ШИМ}$ установить источник тока 0,5…5 мА, в зависимости от требуемой частоты ШИМ.

Не рекомендуется задавать сигнал осцилляции (пилообразное напряжение или сигнал иной формы) внешней схемой с дальнейшей его подачей на вход «Осц». По входу задания осцилляции установлен транзистор (открытый коллектор), который замыкает вход на «общий» по достижению задаваемого напряжения установленного порога (с целью разряда ёмкости внешней RC-цепочки). Таким образом, внешний сигнал может вывести из строя или формирующую его схему управления, или модуль.

Задание скорости

Скорость вращения вала двигателя задаётся величиной напряжения на входе «Скорость». Зависимость скорости вращения вала двигателя от задаваемого напряжения на входе «Скорость» представлена на рисунках 3 и 4.

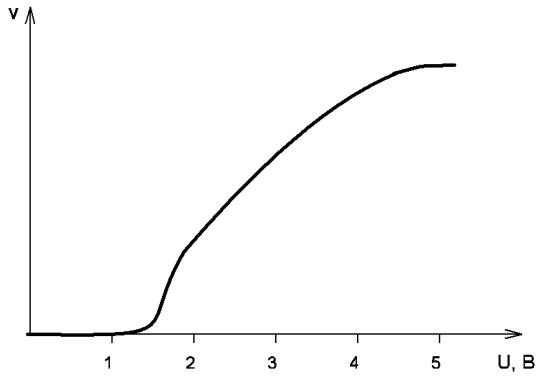

Рисунок 3 – Зависимость скорости от напряжения на выводе «Скорость»

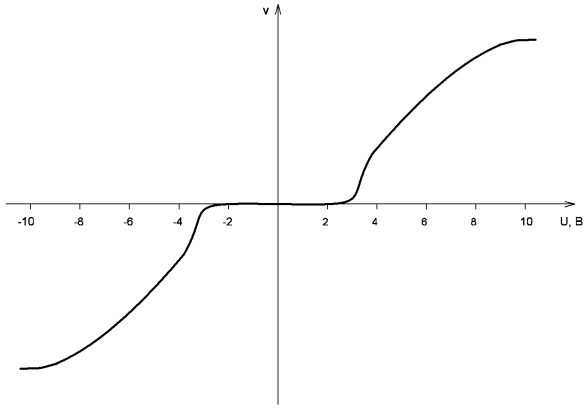

Рисунок 4 – Зависимость скорости от напряжения на выводе «Скорость» для вариантов управления «В» и «Ж»

Для вариантов «В» и «Ж» управление двигателем осуществляется только по выводу «Скорость»; выводы «Реверс» и «Тормоз» не задействованы. Здесь направление вращением двигателя выбирается исходя из полярности сигнала на выводе «Скорость», режиму торможения (открыты все нижние ключи) соответствует управляющее напряжение -0,5…+0,5 В, скорость вращения регулируется уровнем напряжения (-10…+10 В). Диаграмма, поясняющая работу модуля с вариантами управления «В» и «Ж» представлена на рисунке 5.

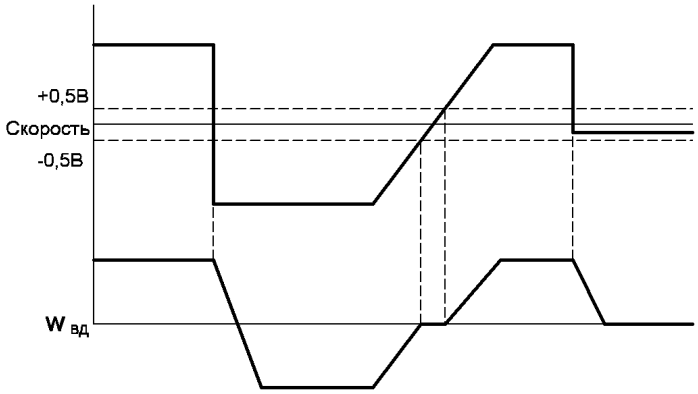

Рисунок 5 – Управления модулем с вариантом «В» и «Ж»

Независимо от типа управления, общий принцип формирования сигнала задания скорости одинаков для всех типов модулей. Функциональная схема задания скорости представлена на рисунке 6.

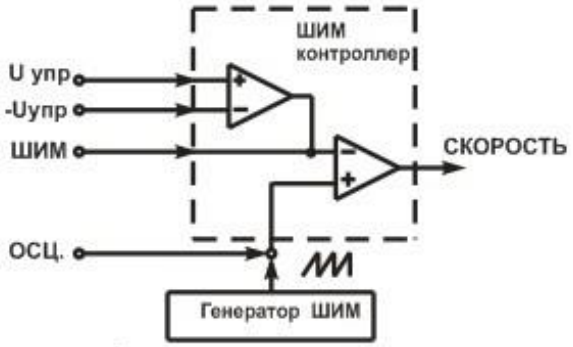

Рисунок 6 – Функциональная схема задания скорости

Здесь сигналу «+Uупр» соот. вход «Скорость»; сигналу «-Uупр» соот. вход «ОС». Если обратная связь по скорости не задействована (входы «-Uупр» и «ШИМ» закорочены), то выходной сигнал представляет собой результат сравнения пилообразного напряжения входа осцилляция и порогового напряжения входа задания скорости (входа «ШИМ»). Диаграмма, поясняющая формирование сигнала управления обмотками двигателя, с учётом сигнала защиты по току, приведена на рисунке 7.

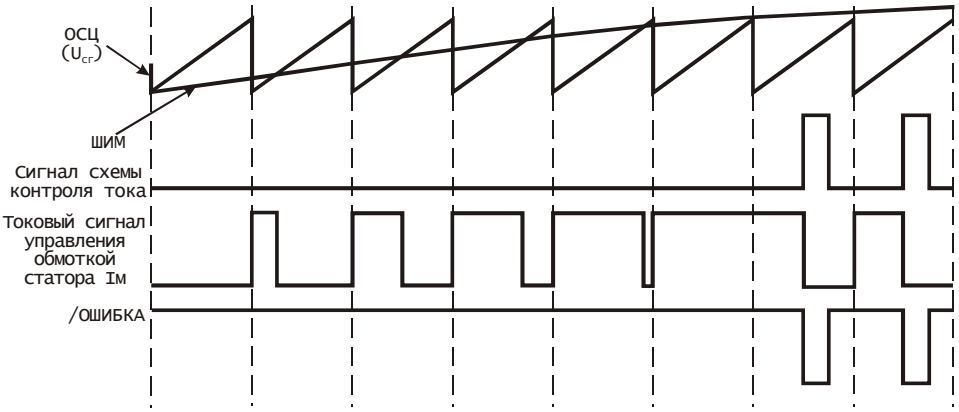

Рисунок 7 – Диаграмма формирования сигнала управления обмотками двигателя

Если на вход «-Uупр» подан сигнал отличный от выходного сигнала «ШИМ», то регулировка скорости осуществляется по дифференциальной разнице амплитуд сигналов «+Uупр» (вход задания скорости) и «-Uупр» (вход подключения обратной связи). Таким образом осуществляется стабилизация скорости по обратной связи.

Обратная связь по скорости

Модуль может работать в режиме закрытой или открытой петли обратной связи по скорости в соот. с алгоритмом указанным выше. Если разница напряжений на входах компаратора (см. рисунок 5) «+Uупр» и «-Uупр» отсутствует, то модуль поддерживает уровень скорости соот. только сигналу «+Uупр» («Скорость»). Если амплитуда на входе «-Uупр» отличается, то на выходе компаратора появляется сигнал рассогласования (сигнал «ШИМ»), который является опорным для компаратора формирующего сигналы управления обмотками двигателя. Таким образом, если на вход «-Uупр» (вывод «ОС» модуля) подать напряжение соот. фактической скорости вращения вала двигателя, то будет осуществляться стабилизация скорости по открытой петли обратной связи.

Данный сигнал (постоянное напряжение) может быть сформирован внешней схемой управления (тахометром) или встроенным тахометром. Вариант использования модуля в режиме закрытой петли обратной связи с внешним сигналом показан на рисунке 8. Здесь импульсный сигнал, пропорциональный уровню скорости (сигнал тахометра), может быть получен с любого датчика (ДПР, дополнительного оптического, Холла и т.п.) с уровнем сигнала (0…6,5) В.

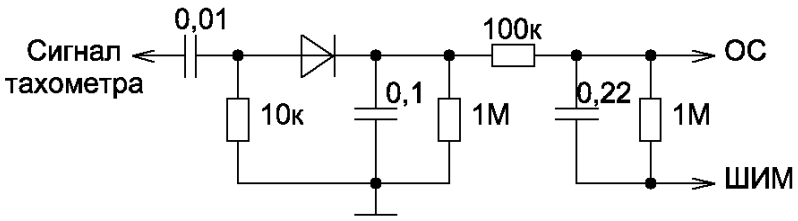

Рисунок 8 – Схема подключения обратной связи по скорости

Глубину обратной связи и корректность её работы при различной скорости вращения вала двигателя следует регулировать соотношением конденсатора 0,01 мкФ и резистора 10 кОм (диф-цепочка, выделяющая передний фронт сигнала), или соотношением конденсатора 0,22 мкФ и резистора 100 кОм (интегрирующая цепочка).

Вышеуказанные алгоритм работы и стабилизация по скорости (закрытая петля обратной связи) реализуется внутренними схемами модуля для вариантов управления «А» - «Г», при которых не требуется внешних цепей стабилизации скорости.

Управление двигателем: запуск, реверс и останов

Запуск, реверс и останов двигателя, как правило, – наиболее опасные режимы в плане возникновения токовых и потенциальных перегрузок, в особенности, если двигатель работает на высокоинерционную нагрузку. Существует несколько способов осуществления вышеуказанных режимов работы.

Запуск на максимальной скорости или с плавным увеличением (уменьшением) скорости. В первом случае на входе задания скорости, в момент подачи команды «Разрешение», установлено определённое постоянное напряжение. Такой режим характеризуется простотой реализации (не требуется дополнительных схем управления), но имеет минусом значительные пусковые токи.

Запуск с плавным увеличением скорости представляет собой режим, при котором в момент подачи разрешения работы на входе задания скорости установлено напряжение соот. нулевой скорости и которое постепенно увеличивается за определённый отрезок времени. Под данный алгоритм подпадает так же работа модуля по открытой петле обратной связи по току: при превышении током установленного порога задаваемая скорость уменьшается и наоборот. Режим характеризуется значительно меньшими пусковыми токами, но имеет недостатком относительную сложность реализации.

Для запуска двигателя так же может быть использован режим постепенного уменьшения скорости, например в схемах стабилизации по скорости методом последовательного приближения. Здесь изначально (в момент пуска) задаётся максимальная скорость, которая со временем снижается. Такой алгоритм обладает недостатками и первого метода (большие пусковые токи), и второго (сложность реализации), но может быть необходим в некоторых применениях, в частности, если требуется быстрый пуск двигателя под нагрузкой, при том, что штатно двигатель работает не на максимально возможной скорости.

Разновидностью запуска с плавным увеличением скорости является модуляция сигнала «Разрешение» при установленной постоянной скорости. В этом случае двигатель будет запускаться «импульсами» (практически, рывков при запуске быть не должно, что обеспечивается относительно большой частотой модуляции входа разрешения) соот. сигналу разрешения. Такой алгоритм запуска так же снижает токовую нагрузку на модуль.

Останов может быть реализован четырьмя способами: выбегом, динамическим торможением, противовключением и плавным уменьшением скорости. Первый способ самый безопасный, но самый долгий: на модуле снимается сигнал «Разрешение» и двигатель останавливается выбегом.

Второй способ, при котором подаётся команда торможения на вход «Тормоз» (верхние ключи закрываются, нижние открываются), отличается значительно большим импульсным током, но, как правило, не приводит к переходу двигателя в генераторный режим с сопутствующим выбросом напряжения.

Третий способ, при котором подаётся сигнал реверса и, в момент снижения оборотов до нуля, подаётся сигнал тормоза, или снимается сигнал разрешения, в модулях типа МУВДМ не обладает дополнительными преимуществами относительно стандартного динамического торможения, т.к. модуль при подаче сигнала реверса включает тормоз вплоть до снижения оборотов ниже допустимого порога (1…3 Гц) и до этого момента реверс осуществлён не будет.

Четвёртый способ, заключающийся в плавном уменьшении скорости, аналогичен тому же методу запуска, но в противоположной последовательности.

Реверс представляет собой совокупность режимов останова и запуска. В модуле МУВДМ реализована функция динамического торможения (все верхние ключи закрываются, нижние открываются) при подаче сигнала реверса; схема управления отслеживает скорость вращения вала двигателя и разрешает запуск в противоположную сторону только после снижения оборотов до 1…3 Гц. Как следствие, при осуществлении реверса нет необходимости предварительно подавать сигнал торможения и/или отслеживать частоту вращения вала.

В случае, если инерционность нагрузки не позволяет осуществлять динамическое торможение (по причине значительного импульсного тока), рекомендуется при осуществлении смены направления вращения предварительно снять сигнал разрешения и после останова подать сигнал реверса и команду запуска. При необходимости сигнал разрешения можно промодулировать сигналом торможения; в этом случае длительность и жёсткость реверса (останова) будет зависеть от скважности сигнала торможения. Пример данного алгоритма реверса представлен на рисунке 9.

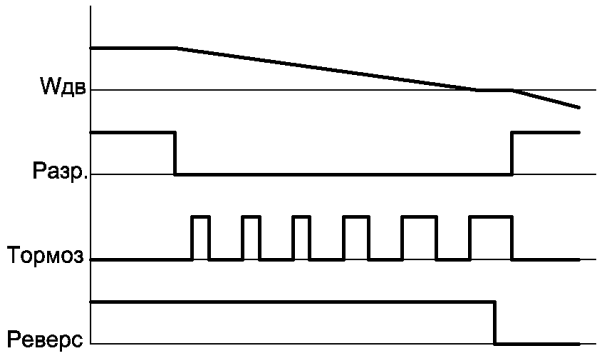

Рисунок 9 – Реверс (останов) с модуляцией тормоза

Защита по току

Защита по току модуля представлена защитой по среднему току и защитой по импульсному току.

Защита по среднему току ограничивает средний ток протекающий через обмотки двигателя. Быстродействие данной защиты – не более 20 мкс. Данная защита ограничивает ток на максимальном (если не установлен резистор на выводе «$U_з$») для данного модуля уровне. В названии модуля указан именно ток срабатывания защиты по среднему току (**Iз**), однако ток ограничения в действительности меньше, чем ток срабатывания защиты, что обусловлено непостоянством тока протекающего через обмотки двигателя; защита срабатывает по всплескам тока длительностью более 20 мкс. Ток ограничения так же зависит от скорости вращения двигателя и от характера перегрузки (по одной фазе, по двум или по трём). Чем ниже скорость и чем меньше фаз перегружено, тем более низкий ток будет ограничивать модуль, т.к. при той же амплитуде импульсного тока скважность данных импульсов меняется, что проявляется в изменении среднего тока двигателя.

При штатной и равномерной по фазам нагрузке на модуль, ток ограничивается на уровне Iогр = Iз / √2. Например, модуль МУВДМ-50-12, Iогр = 50 / 1,414 = 35 А. С учётом запаса 10% (погрешность срабатывания, помехи, кратковременные выбросы тока и т.п.) модуль должен эксплуатироваться при среднем токе инвертора не более 32 А. При дальнейшем увеличении тока нагрузки величина тока будет ограничиваться. Осциллограммы тока инвертора в момент запуска двигателя в режиме ограничения тока и с отключенной защитой по среднему току приведены на рисунках 10 и 11 (выход усилителя тока инвертора «Uoy» модуля М31).

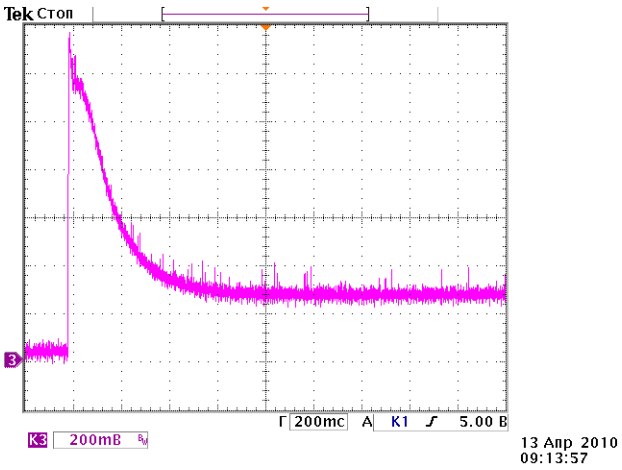

Рисунок 10 – Осциллограмма формы тока при запуске двигателя с отключенными схемами защиты

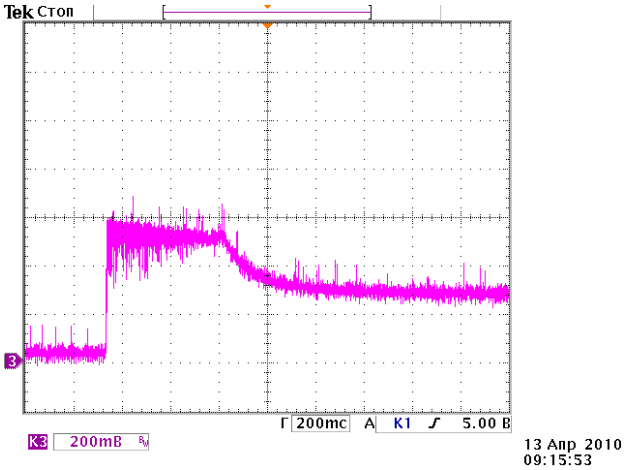

Рисунок 11 – Осциллограмма формы тока при запуске двигателя с включенными схемами защиты

Характеристика ограничения линейна (не более ±10%) в области величины перегрузки от 1xIз до 2xIз; при дальнейшем увеличении тока нагрузки средний ограничиваемый ток будет снижаться. Работа модуля в режиме постоянного ограничения тока нежелательна, т.к. данный режим приводит к дополнительным динамическим потерям.

Длительность безопасной работы модуля в режиме ограничения зависит от двух основных факторов: качество теплоотвода и величина импульсной перегрузки. Если импульсная перегрузка незначительна и теплоотвод достаточен, то через некоторое время модуль перегреется и сработает защита по температуре. Если импульсная нагрузка значительна и/или теплоотвод недостаточен, то температурная защита сработать не успеет и модуль может выйти из строя менее чем за 1 с. Такая ситуация может возникнуть, например, если модуль работает на заклиненный двигатель (особенно, при напряжении питания свыше 300 В), если осуществляется реверс противовключением на высокоинерционной нагрузке (в частности – вентиляторы) и т.п. Отсюда следует, что при эксплуатации модуля необходимо осуществить настройку системы управления таким образом, чтобы исключить возможность возникновения значительных импульсных перегрузок, способных вывести модуль из строя.

Защита по импульсному току выключает силовые транзисторы модуля при высоком импульсном токе двигателя. Быстродействие данной защиты – не более 2 мкс с током срабатывания в 3…4 раза превышающем ток срабатывания защиты по среднему току. При штатной работе двигателя данная защита будет срабатывать только при разгоне и торможении на высоком ускорении, ограничивая пусковой и тормозной токи. Как и в случае с защитой по среднему току на выходе «Ошибка1» будет появляться сигнал соответствующий срабатыванию данной защиты. В отличии от защиты по среднему току, порог срабатывания защиты по импульсному току не регулируется.

Защита по температуре

Защита по температуре отключает силовые транзисторы модуля при достижении температуры корпуса 90…100^{0}C и включает при температуре 50…60^{0}C, обеспечивая гистерезис 30…40 ^{0}C. Во время срабатывания температурной защиты транзистор на выходе «Ошибка1» будет открыт вплоть до снижения температуры корпуса модуля до 50…60^{0}C, после чего двигатель запустится в штатном режиме.

Защита по температуре не сбрасывается в т.ч. и при отключении питания; модуль запустится только после снижения температуры корпуса ниже установленного порога.

Температурная защита характеризуется высокой инерционностью. Таким образом, данная защита эффективна только при длительной (десятки секунд) средней перегрузке и, как следствие, перегреве. В режимах значительной кратковременной перегрузки (например, пусковой ток) температурная защита не будет успевать сработать и модуль может выйти из строя.

Защита по напряжению

Между выводами «+» и «-» инвертора модуля включены снабберный конденсатор и ограничитель напряжения мощностью 1,5 кВт. В таблице 1 приведены максимально-допустимое напряжение конденсатора и номинальное напряжения пробоя ограничителя в зависимости от класса модуля.

Таблица 1 – Параметры конденсатора и ограничителя силовой цепи

Класс модуля	Максимально-допустимое напряжение конденсатора, В	Напряжения пробоя ограничителя, В
1	250	80
2	250	165
6	700	450
12	700	800

Среднее напряжение силовой цепи модуля не должно превышать номинального пробивного напряжения ограничителей, в противном случае модуль может выйти из строя. В том числе, при осуществлении реверса или останова, если двигатель переходит в генераторный режим, необходимо принять меры исключающие возникновение наброса напряжения амплитудой свыше указанных напряжений пробоя.

Не рекомендуется устанавливать внешние снабберные цепи содержащие конденсатор, т.к. дополнительная ёмкость может привести к повышенным динамическим потерям.