

# Новое поколение модулей управления электродвигателями

компании «Электрум АВ»

Павел Новиков

gfkcfysx-n@mail.ru

Компания «Электрум АВ» уже достаточно давно работает на отечественном рынке силовой электроники, выпуская широкую номенклатуру различного рода силовых модулей и схем управления электродвигателями. При создании нового поколения приборов был учтен опыт в сфере разработки драйверов и, конечно, в сфере технологий производства. Представленные модули созданы на одной базе, конструктивно близки друг к другу, но предназначены для управления различными типами двигателей.

В чем же особенности нового поколения?

Любой модуль управления двигателем можно представить как ряд составляющих: силовые транзисторы (инвертор), драйверы управления этими транзисторами, схемы защиты транзисторов инвертора и нагрузки от различного рода «неприятностей» и схемы управления, формирующие логические сигналы управления инвертором. При этом независимо от схемы управления, формирующей логику работы модуля («активная» схема), непосредственно схема управления инвертором («пассивная») остается неизменной практически для всех типов двигателей, меняется только количество фаз. «Пассивная» схема управления плюс инвертор — это та основа, на которой строится весь ряд модулей управления двигателями от «Электрум АВ». И эта основа представлена модулем М31 (рис. 1).

Существует большое количество аналогичных по структуре модулей, однако всем им присущ се-



Рис. 1. Внешний вид модуля М31 со встроенной схемой управления

рьезный недостаток: они производятся зарубежными компаниями. Из этого следуют высокая цена, проблемы с поставками, невозможность настройки модуля под конкретные требования заказчика и невозможность поставки с приемкой «5». Модуль М31 лишен всех этих недостатков. Впрочем, разработчика интересуют прежде всего возможности изделия. Модуль М31 обладает следующими функциями:

- управление любым типом нагрузки в соответствии с управляющими сигналами;
- коммутация напряжения до 1200 В и тока до 100 А;
- защита от:
  - токовых перегрузок;
  - короткого замыкания;
  - перегрева;
  - бросков импульсного тока;
  - одновременного включения транзисторов верхнего и нижнего плеча инвертора;
  - перенапряжения в силовых цепях инвертора;
- регулировка порога срабатывания токовой защиты;
- внешняя сигнализация о возникновении аварии;
- контроль за внутренним напряжением питания;
- питание модуля непосредственно от силовой цепи;
- возможность запитывать внешние схемы собственным стабилизированным напряжением +15 В с защитой от перегрузки по току.

Структурная схема модуля М31 приведена на рис. 2.

Из приведенного списка возможностей модуля М31 видно, что особое внимание при его разработке было уделено защите нагрузки и транзисторов инвертора от различного рода перегрузок, что, безусловно, положительно сказалось на надежности модуля. И если управление как таковое (т. е. логика и драйверы транзисторов) есть вещь не очень интересная, то на защитах следует остановиться более подробно.

Перегрузка по току, пожалуй, наиболее частая причина выхода из строя инвертора и двигателя, поэтому данной защите было уделено особое внимание. Защита по току модуля М31 отличается от подавляющего большинства защит, реализованных в других аналогичных модулях, наличием двух уровней: по импульсному и по среднему току.

Объясняется это тем, что, как показывает практика, чаще всего инверторы выходят из строя при запуске или реверсе двигателя, т. е. в те моменты, когда ток двигателя многократно превышает средний потребляемый им ток. Чтобы с этими бросками справлялась токовая защита, необходимо быстрое действие в несколько микросекунд, в противном случае транзисторы могут выйти из строя. Однако высокое быстродействие защиты имеет обратную сторону: большая частота срабатывания и, как следствие, большие динамические потери. В свою очередь, при плавном превышении током допустимого значения высокое быстродействие не требуется, достаточно десятков, а порою и сотен микросекунд, что не приводит к какому-либо существенному перегреву по причине динамических потерь и, плюс к этому, значительно уменьшается вероятность ложных срабатываний защиты по кратковременным одиночным выбросам тока или напряжения. Отсюда напрашивается тот вывод, что для наиболее надежной работы инвертора требуется быстродействующая за-

щита от пускового тока, настроенная на ток, в несколько раз превышающий средний, и медленная защита, не приводящая к увеличению динамических потерь и ограничивающая ток двигателя на допустимом уровне сколь угодно долгое время (или вплоть до перегрева модуля, когда вступает температурная защита). Именно эта логика и была реализована в модуле М31. Следствием такого подхода стала возможность безопасного использования модуля в системах, где требуется высокое быстродействие (следящие приводы, управление различного рода рулями и т. п.) без потери момента на запуске и реверсах.

На рис. 3 и 4 приведены осциллограммы формы тока (выход усилителя тока инвертора U<sub>оу</sub> модуля М31) при запуске коллекторного двигателя с отключенными и включенными защитами по току.

Другой, не менее редкой, причиной выхода из строя транзисторов инвертора является перенапряжение в цепях сток-исток (коллектор-эмиттер). Данное обстоятельство часто недооценивается, однако на реверсах в быстродей-

ствующих приводах это основная проблема. Для защиты от перенапряжения в модуле М31 служит снабберный конденсатор и мощный ограничитель напряжения. Такое сочетание дает возможность существенно снизить выбросы напряжения и противостоять  $dU/dt$  со значениями до 50 кВ/мкс (для модулей 12-го класса), что опять же положительно сказывается на надежности в моменты реверса и при торможении.

Температурная защита предназначена для защиты модуля от перегрева. Защита настроена на порог срабатывания +90...+100 °С, с отключением при снижении температуры до +60...+70 °С. Причем схема температурной защиты сделана таким образом, что при снятии питания защита не сбрасывается, что исключает выход из строя модуля вследствие перегрева как при случайном пропадании питания, так и при умышленном отключении с последующим включением.

Помимо вышеозначенных предохранительных мер, модуль также обладает защитами от одновременного включения транзисторов

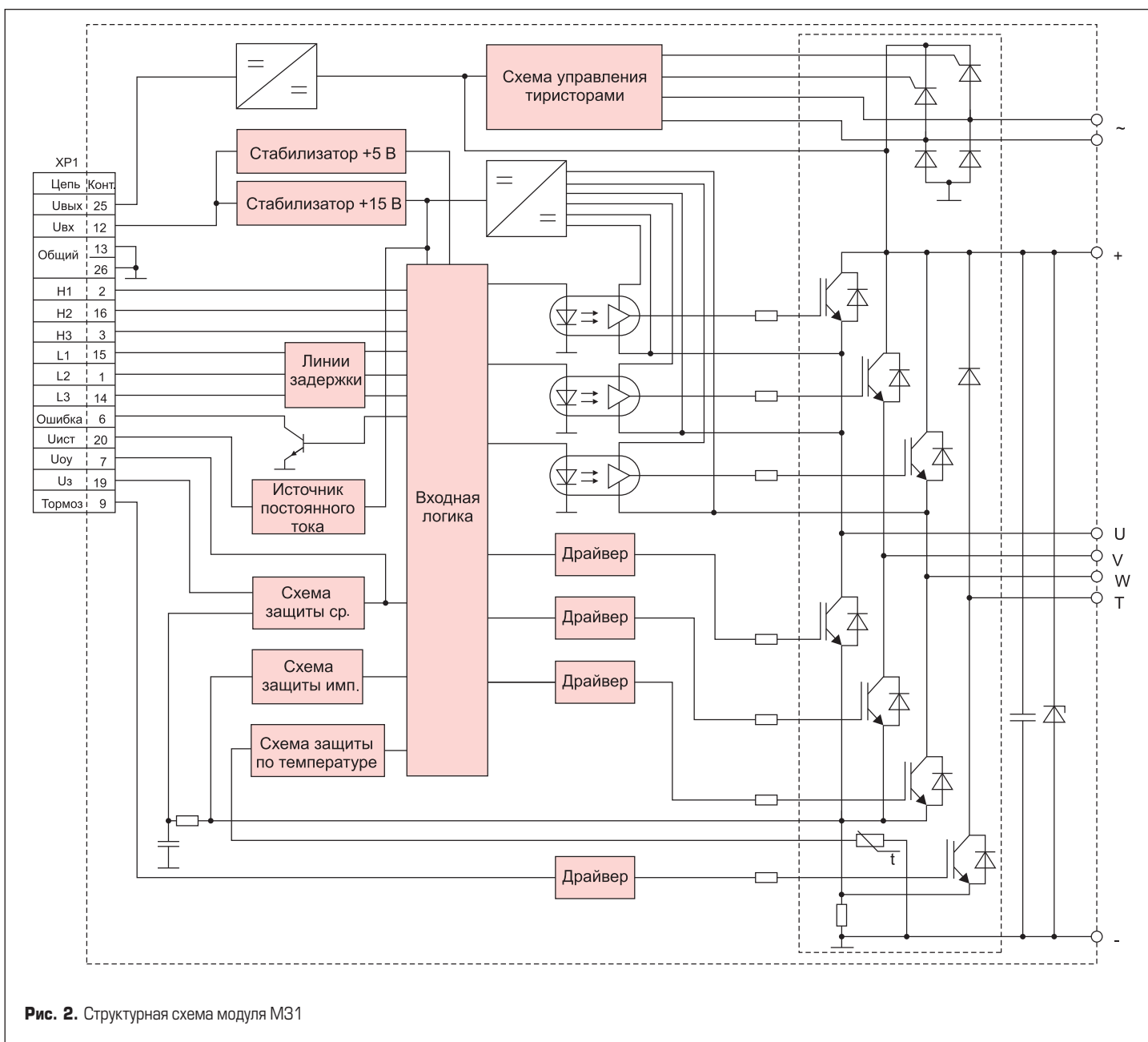


Рис. 2. Структурная схема модуля М31

одной фазы; недонапряжения цепей управления; токовой перегрузки по цепям управления при питании внешних схем от внутреннего стабилизатора модуля. Все это делает возможным использование M31 для управления различными типами нагрузок и в различных режимах. Именно поэтому вся линейка модулей управления двигателями строится на нем.

Наиболее близкими аналогами модуля M31 — из реально представленных на отечественном рынке — являются интеллектуальные модули Mitsubishi (например, модуль PM50CSA120 серии PM, в некоторой степени аналог M31-50-12A4). Как и M31, интеллектуальные модули Mitsubishi данной серии обладают токовыми и температурными защитами, защитами от одновременного включения транзисторов одной фазы, от пониженного напряжения питания и т. д. Однако модули Mitsubishi, несмотря на практически одинаковые динамические параметры и нагрузочную способность, имеют ряд существенных отличий, заключающихся, прежде всего, в организации токовых защит и организации питания схемы управления. По токовым защитами у Mitsubishi также реализован двухступенчатый алгоритм (защита по среднему току и защита от КЗ), но более «гуманно»; ток модулей серии PM не ограничивается на заданном уровне, держа транзисторы у границ ОБР, схема управления просто отключает транзисторы при перегрузках. Это, безусловно, можно расценить как плюс в смысле надежности, но это и очень большой минус в смысле завала момента двигателя при перегрузках, в т.ч. на пуске или реверсе. Если M31 позволяет работать двигателю в жестких режимах (например, запуск на токе, ограниченном только схемой защиты), обеспечивая, тем самым, требуемый момент и требуемое быстродействие привода, то модули Mitsubishi этого не допустят: только плавный разгон, никакой резкой смены нагрузки на валу и т. п. Конечно, можно увеличить мощность модуля, тем самым избежав срабатываний защиты на допустимой для двигателя нагрузке, но это, во-первых, цена, а во-вторых,

опасность для двигателя, который может перегреться и выйти из строя при превышении током допустимого для него значения, но недостаточного для срабатывания токовой защиты инвертора.

Еще большие различия заключаются в организации питания. Модули Mitsubishi требуют внешнего питания схемы управления и гальванически-развязанного питания верхних ключей, что, конечно, значительно усложняет включение модуля. Для этих целей существуют микросхемы M57120L-1 и M57140-01, упрощающие задачу, но, тем не менее, это дополнительная работа и дополнительные сложности. В свою очередь, M31 не требует внешнего источника питания и, более того, может запитываться собственным стабилизированным напряжением (с защитой от перегрузки по току) внешние схемы управления с током потребления до 50 мА. В модуле M31 установлен DC/DC-преобразователь, формирующий все необходимые для работы модуля напряжения и питающийся непосредственно от силовой цепи.

M31 является универсальным модулем, предназначенным для коммутации любой нагрузки; он не имеет встроенных схем управления определенными типами двигателей. Однако конструктивно данный модуль выполнен таким образом, что непосредственно в него может быть установлена специализированная плата управления и, в итоге, может быть получен модуль управления, например, асинхронным двигателем. На настоящий момент существуют модули управления асинхронными, коллекторными и вентильными двигателями с ДПП; в ближайшем будущем планируется освоение модулей управления однофазными асинхронными двигателями и вентильными двигателями без ДПП. Все эти модули имеют в своей основе инвертор M31, обеспечивающий непосредственную коммутацию тока обмоток двигателя.

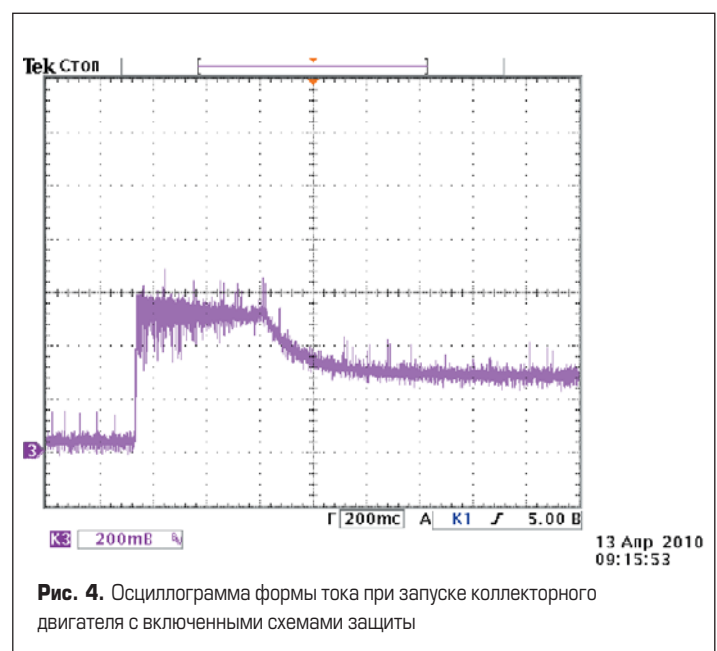
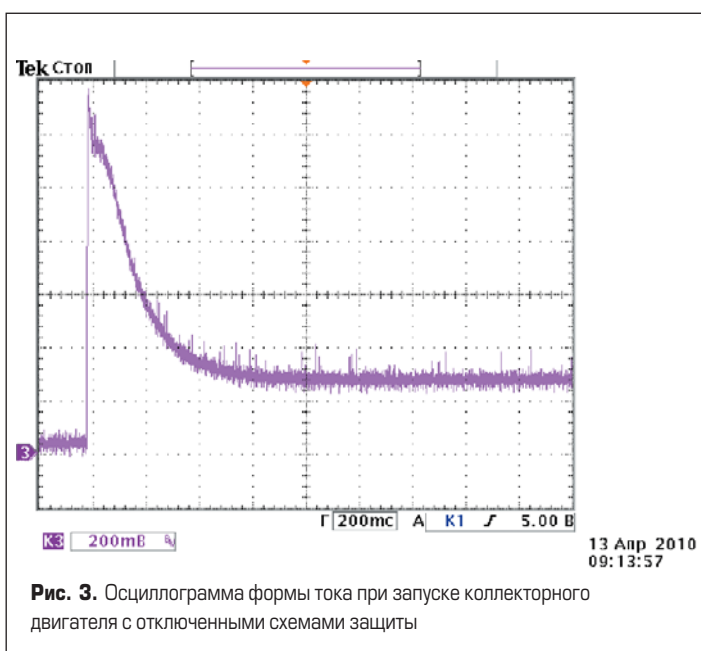
Модуль управления асинхронным двигателем (МУАДМ) обладает следующими функ-

циями и возможностями (здесь и далее — без учета функций M31):

- контролируемый старт/стоп двигателя;
- изменение направления вращения двигателя с плавным остановом при резкой смене направления вращения;
- режим мягкого пуска и останова двигателя с контролируемым ускорением и торможением;
- регулирование скорости (скалярный алгоритм  $U/f$ ) в диапазоне 1–128 Гц;
- регулирование длительности разгона и торможения в диапазоне 0,5–128 Гц/с.

Таким образом, МУАДМ обеспечивает работу двигателя в безопасных для него режимах, предотвращая ударные механические и электрические нагрузки и ограничивая потребляемый ток. При этом скорость разгона и пусковой момент могут быть отрегулированы независимо друг от друга. Первое регулируется схемой управления, второе — установленным током ограничения модуля M31. Все это положительно сказывается на надежности привода, однако имеет тот недостаток, что на запуске момент, создаваемый на валу, ниже, чем в режиме запуска непосредственно от сети. Впрочем, при проектировании любого привода приходится выбирать: либо ударные нагрузки, но высокий момент, либо более мягкий режим работы, но, как следствие, снижение момента. Эта альтернатива присутствует всегда и для любого ПЧ.

МУАДМ имеет три варианта управления: стандартное цифро-аналоговое (величины скорости и ускорения задаются аналоговым сигналом или резистивными делителями); цифро-аналоговое с общим переключателем, что удобно при использовании модуля в подъемно-тяговых механизмах; двуполярное. В последнем варианте сигнал управления представляет собой двуполярный аналоговый сигнал с амплитудой от -10 до +10 В, где амплитуда напряжения определяет скорость вращения вала, а полярность — направление вращения. Напряжение



в диапазоне от  $-0,5$  до  $+0,5$  В соответствует останову двигателя.

Модуль управления вентильным двигателем (МУВДМ), в отличие от МУАДМ, не имеет возможности регулировки длительности разгона и торможения, однако обладает и рядом особенностей.

Во-первых, скорость разгона вентильного двигателя определяется только ограничиваемым током. Такие разные подходы (в сравнении с МУАДМ) обусловлены спецификой запуска, и, в частности, формой пускового тока, вентильного и асинхронного двигателей. Плюс к этому, область использования вентильных двигателей требует более высокого быстродействия, где плавность разгона не критична, но критичен крутящий момент. Ведь если асинхронные двигатели используются в вентиляторах, насосах, тяговых механизмах (т. е. там, где не требуется быстрый разгон и частое изменение направления вращения вала двигателя), то вентильные двигатели чаще используются в следящих приводах, в приводах, связанных с управлением движением или потоками, т. е. там, где требуются частые, быстрые и мощные реверсы.

Во-вторых, для асинхронного и вентильного двигателей реализованы различные принципы останова и реверса. Если можно так сказать, реверс асинхронного двигателя управляем, но пассивен, в то время как реверс вентильного двигателя неуправляем, но активен. Иначе говоря, для асинхронного двигателя можно настроить длительность торможения и последующего разгона, но при этом модуль управления не знает, остановился ли двигатель или еще нет; управление не подстраивается под двигатель. Для вентильного двигателя длительность торможения и разгона не регулируется (не считая косвенного ограничения током), однако модуль управления «знает» (по сигналам ДПР), когда двигатель остановился и когда можно начинать вращение в противоположную сторону. Тем самым модуль подстраивается под двигатель и режим его работы. Такое «интеллектуальное» поведение МУВДМ обусловлено наличием обратных связей по сигналам ДПР, что, конечно, положительно сказывается на безопасности работы двигателя и на КПД привода в целом.

В-третьих, благодаря обратной связи МУВДМ позволяет со значительной степенью точности стабилизировать скорость вращения вала двигателя при изменении нагрузки на валу и при изменении напряжения питания. Эта особенность схемы управления МУВДМ может быть полезна в тех случаях, когда требуется высокая стабильность скорости вращения вала двигателя или когда напряжение питания нестабильно, в т.ч. при питании двигателя от аккумуляторной батареи. Например, при заданной скорости в половину от максимальной и при просадке напряжения на 50% от изначальной амплитуды скорость вращения меняется не более чем на 10% от установленной.

МУВДМ имеет четыре варианта управления: стандартное цифро-аналоговое (сигналы разре-

шения, тормоза и реверса — цифровые, сигнал скорости — аналоговый); стандартное с управлением общим переключателем; аналоговое и цифровое. Аналоговое управление — это управление по одному входу с помощью двуполярного сигнала. Здесь, как и для МУАДМ, скорость вращения определяется амплитудой (0–10 В по модулю), а направление вращения — полярностью. Цифровое управление отличается от стандартного тем, что скорость вращения задается четырехзначным цифровым кодом. Таким образом, цифровое управление позволяет обойтись без дополнительных схем согласования и преобразования кода в напряжение, т. е. позволяет управлять модулем непосредственно с контроллера или с цифровых выходов компьютера. Все эти четыре варианта управления могут включать в себя внутренний ШИМ-генератор или могут управляться с внешних цепей ШИМ и внешних обратных связей.

Модуль управления коллекторным двигателем (МУКДМ) конструктивно близок к МУВДМ за тем исключением, что не имеет встроенной обратной связи. Однако обратная связь по скорости может быть получена путем подключения внешнего датчика скорости или вообще любого датчика, сигнал которого эквивалентен скорости вращения вала двигателя (оптический датчик, датчик Холла и т. п.). Так же, как и МУВДМ, модуль управления коллекторным двигателем имеет восемь вариантов управления: четыре с внешним ШИМ и четыре с внутренним, алгоритмы работы которых идентичны алгоритмам, используемым для управления МУВДМ.

Если говорить об аналогах модулей МУАДМ, МУВДМ и МУКДМ, то их, по сути, нет. Бесспорно, функциональные (т. е. собственно ПЧ) аналоги данных модулей производят многие фирмы, например «Веспер», Baldor или Lenze, однако даже невооруженного взгляда на них достаточно, чтобы увидеть, что это все-таки разные приборы, особенно по части конструктива и подхода к управлению. Плюс к этому, для корректной работы МУАДМ, МУВДМ и МУКДМ необходимы внешние схемы (выпрямительный мост, фильтр, настроечные и управляющие элементы), поэтому их нельзя назвать законченными ПЧ, в отличие от приборов вышеупомянутых зарубежных производителей. С другой стороны, аналогами являются те же интеллектуальные модули (например, серия PM от Mitsubishi или Skiip4 от Semikron) плюс внешние специализированные контроллеры, такие как MC3RN или MC33035, но данная конструкция не есть законченное изделие, а потому и не совсем аналог.

Наиболее близки по «идеологии» рассматриваемым модулям «Электрум АВ» модули управления двигателями таких компаний, как Aeroflex, Leach International и International Rectifier, причем продукция последней, пожалуй, у нас наиболее популярна. Например, модуль управления вентильным двигателем OM9369 от IR на напряжение до 300 В и ток до 25 А, функционально близкий МУВДМ-30-6A4. Но и здесь сравнение может быть только условным. Во-первых, разные конструктивы, предназначенные для разных типов

монтажа и, в общем-то, для разных условий. Во-вторых, МУВДМ является более законченным изделием, не требующим, в отличие от OM9369, внешнего питания или внешних датчиков тока. И, в-третьих, данные типы приборов от IR, безусловно, предназначены для работы на гораздо меньших нагрузках.

Таким образом, можно сказать, что модули МУАДМ, МУВДМ и МУКДМ не имеют прямых аналогов и находятся на стыках различных устройств и различных подходов к конструированию. В зависимости от поставленной задачи и требований разработчика выбор может быть сделан между совсем разными типами схем, но, в сущности, предназначенными практически для одного и того же. Впрочем, это уже вопрос слишком частный.

Конструкция модулей управления двигателями компании «Электрум АВ» отличается своей гибкостью. На одном базовом M31 могут быть созданы модули для управления различными двигателями, при этом трудозатраты на новую разработку оказываются минимальными. Последнее особенно важно для кошелька заказчика, которому требуется специфический модуль управления. Еще более простой является задача перенастройки стандартного управления под конкретные требования; при разработке схем управления предусматривалась возможность их значительного изменения без потери основных качеств. И если добавить к этой гибкости функциональность, уже зарекомендовавшую себя надежность M31 и геополитическое положение производителя, то стоит задуматься: а может, все-таки есть пророк и в своем отечестве? ■