

## РАЗРАБОТКА МОЩНЫХ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ДЛЯ ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦ

Шаровые мельницы применяются для дробления и измельчения горных пород, продуктов химической промышленности, отходов металлургического производства и т.д. Измельчение материала в них осуществляется падающими шарами, а в качестве электропривода наиболее широко используются синхронные двигатели (СД) с частотой вращения 150-200 об/мин и мощностью до 6 МВт. Главное преимущество синхронных двигателей перед асинхронными двигателями (АД) заключается в том, что путем изменения тока возбуждения можно изменять величину реактивной мощности двигателя. Кроме того, в низкоскоростных электроприводах АД неэффективен из-за низкого КПД и  $\cos \phi$ . Альтернативой вышеуказанным типам двигателей являются вентильно-индукторные двигатели (ВИД), обладающие следующими достоинствами: более высокая надежность (отсутствуют контактные кольца на роторе), простота и технологичность конструкции (сосредоточенные катушки фаз статора, зубчатый ферромагнитный ротор), КПД до 96%, приемлемые массо-габаритные показатели, более низкая стоимость в серийном производстве. К недостаткам ВИД обычно относят наличие пульсаций момента и, как следствие, повышенный шум и вибрацию двигателя. Как показано в докладе, повышение числа фаз ВИД до 6, секционирование машин и цифровое управление, близкое к векторному, практически полностью снимают эту проблему.

В рамках обновления оборудования алмазодобывающих рудников компании «АЛРОСА» планируется замена изношенного синхронного электропривода ряда шаровых мельниц (мощностью 1250 и 1600 кВт) на комплектный модульный вентильно-индукторный привод с возможностями плавного пуска и широкого регулирования скорости. Разработкой ВИД занимается ООО МИП «Мехатроника» (г.Новочеркасск), проектированием силового преобразования и цифровой системы управления – МЭИ и малые предприятия ООО «НПП Цикл+» и ООО «НПФ ВЕКТОР» (г. Москва).

При проектировании комплектного электропривода решена задача модульного построения силовой и управляющей части — повышение мощности достигается увеличением числа трехфазных секций исполнительного двигателя, управляемых от стандартизованных инверторов при объединении всех интеллектуальных модулей локальной промышленной шины с протоколом высокого уровня CANopen. На рис. 1 показана структура базового комплектного электропривода мощностью 600 кВт, назначение которого — управление шаровыми мельницами и поршневыми компрессорами.

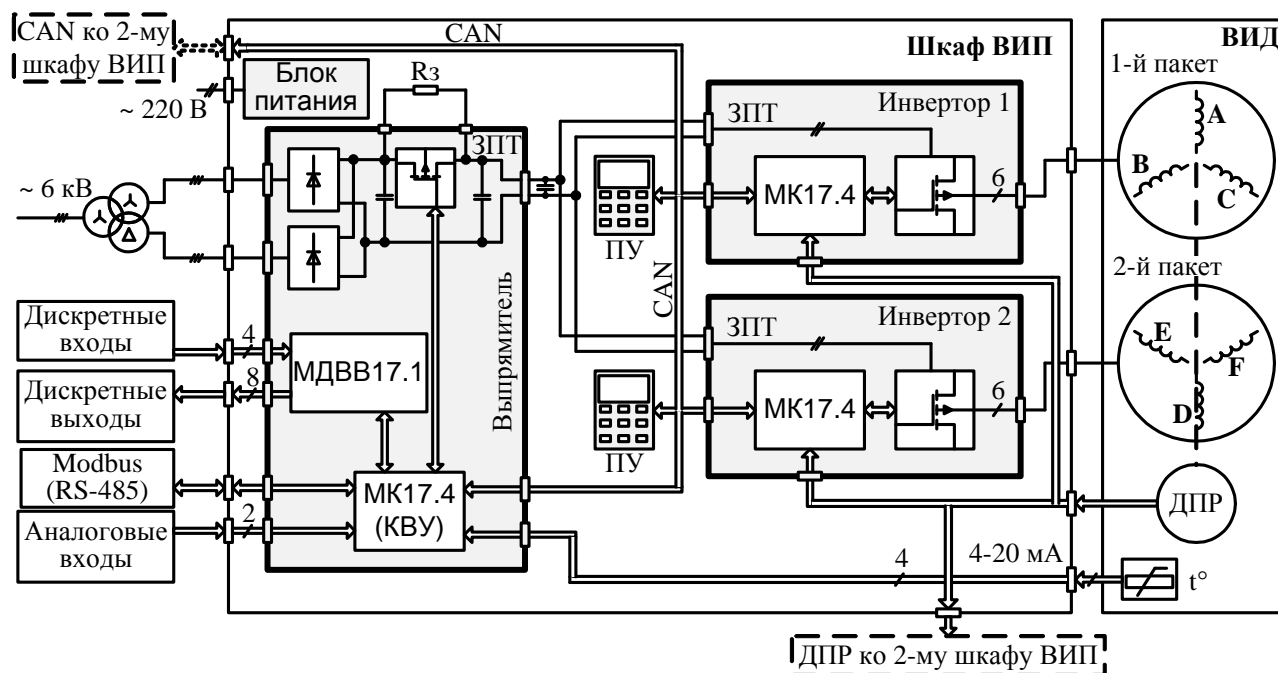


Рис. 1 Структура ВВП-600.

Комплектный электропривод ВИП строится из блоков инверторов, формирующих необходимые токи в трехфазных секциях исполнительных двигателей, число которых зависит от мощности привода, блока выпрямителя, обеспечивающего требуемое напряжение в звене постоянного тока (ЗПТ) на входе инверторов (до 1000 В), а также плавный заряд ёмкости ЗПТ. Первый инвертор формирует токи в обмотках первого пакета машины, а второй — второго пакета. Инверторы состоятся из трех сдвоенных полумостов и обеспечивают цифровое управление профилем тока на интервале коммутации фазы с амплитудой до 950 А. В качестве управляющих используются контроллеры МК17.4 с производительностью 150 млн. оп/с. Датчик положения ротора (ДПР) — один, общий для всей системы управления. Контроллер блока выпрямителя используется как контроллер верхнего уровня (КВУ), управляющий всеми блоками ВИП, объединенными между собой локальной шиной CAN. КВУ обеспечивает также связь с системами управления верхнего уровня посредством аналоговых входов, дискретных входов/выходов и протокола ModBus на базе интерфейса RS-485. Отдельный контроллер используется для управления системой жидкостного охлаждения. Комплектный ВИП для мощностей 1250 и 1600 кВт реализуется на основе базового путём удвоения количества шкафов и пакетов двигателя.

Приемо-сдаточные испытания исполнительных двигателей проводятся с использованием штатного оборудования ВИП без необходимости подключения дополнительной нагрузочной машины и датчиков электромагнитного момента и скорости. Это обеспечивается двух-пакетной конструкцией и возможностью независимого управления обмотками каждого пакета таким образом, что одна половина ВИД работает в двигательном режиме, а другая — в генераторном. Из сети в процессе испытаний потребляется только мощность потерь — реализована технология энергосберегающих испытаний.

Для формирования тока фазы двигателя используется цифровой релейный регулятор предельного быстрого действия, работающий на частоте опроса сигналов обратных связей по току (100 кГц). Задание тока фазы формируется генератором профиля тока, работающим в функции текущего электрического положения ротора двигателя и выходного управляющего воздействия с регулятора скорости, задающего требуемую амплитуду фазного тока.

Технология максимального использования двигателя по моменту реализуется за счет автоматического поддержания интервала включения 180 эл. град для каждой фазы. Фаза включается, когда создаваемый ею момент будет положительным и отключается, когда он становится отрицательным — рис. 2. За счет программной интерполяции сигналов с датчика положения ротора машины обеспечивается точность управления углами включения, мягкой расфорсировки и выключения фазы с точностью до 2-3 эл. град.

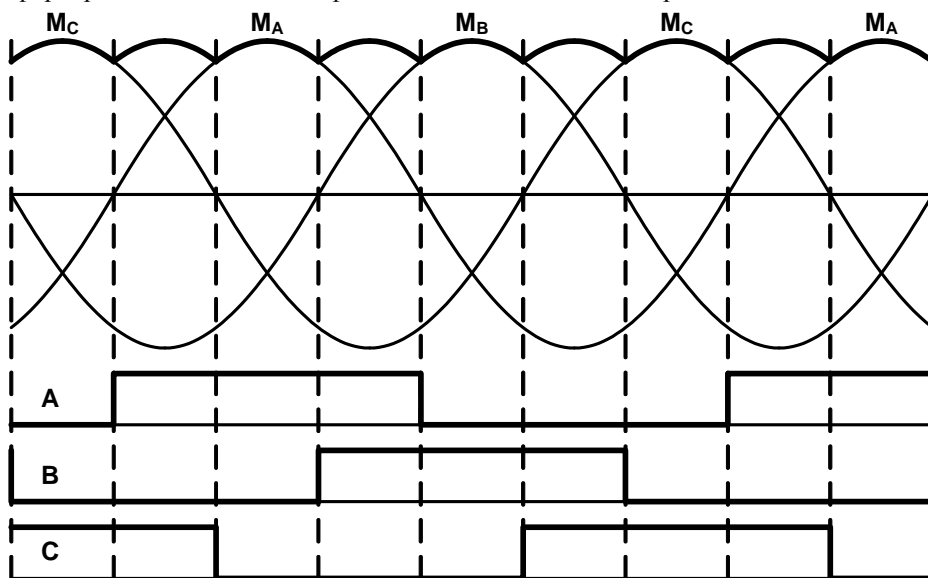


Рис. 2 Режим максимального использования двигателя по моменту

Среднее значение электромагнитного момента достигает 0.955 от максимального, а пульсации момента относительно среднего значения не превышают 9.3%. Такой способ управления секцией наиболее прост и эффективен. На низких скоростях вращения двигателя и при пуске используется нейтральная коммутация, без углов опережения включения и отключения фазы. С ростом скорости требуется опережающая коммутация. Оптимальные зависимости углов опережения включения и выключения фазы в функции скорости определяются в процессе приемо-сдаточных испытаний привода и в виде последовательности опорных точек заносятся в память контроллера секции.

Регулятор скорости автоматически выставляет задание тока фазы на уровне, соответствующем текущей нагрузке на валу. Углы опережения включения и выключения фазы зависят только от текущей скорости привода и не зависят от нагрузки.

Таким образом, разработан модульный мощный интеллектуальный комплектный электропривод на базе двухпакетных многосекционных вентильно-индукторных двигателей с функцией автоидентификации параметров и автонастройки в процессе приемо-сдаточных испытаний.