© В.Г. Каширских, С.С. Переверзев, 2005

УДК 62-83-52: 62-573

В.Г. Каширских, С.С. Переверзев

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПЛАВНОГО ПУСКА АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ГОРНЫХ МАШИН

Семинар № 17

Функциональная надежность горных машин во многом определяется режимами работы их электроприводов. Для нерегулируемых асинхронных электроприводов одним из наиболее значимых в этом смысле является режим пуска прямым подключением асинхронного электродвигателя (АД) с короткозамкнутым ротором к сети. При этом пиковые броски пусковых токов приводят к ускоренному износу изоляции обмоток АД, просадке напряжения в сети и возникновению переходных знакопеременных электромагнитных моментов, которые вызывают удары и деформации в элементах трансмиссии с интенсивным их износом и поломками, в результате чего снижается надежность и ресурс горных машин.

Задача снижения динамических нагрузок в асинхронном электроприводе может быть решена путем формирования пусковой динамической характеристики, которая в наибольшей степени будет приближена к статической характеристике, то есть ограничением или полным подавлением знакопеременных электромагнитных моментов.

Одним из направлений реализации безударного пуска является применение специальных полупроводниковых устройств - устройств плавного пуска (УПП), предназначенных для организации определенного рода воздействий на систему приложенных к АД напряжений, при неизменной частоте сети. К числу таких воздействий можно отнести ограничение скорости нарастания приложенного к статору напряжения и подачу напряжения по определенному алгоритму [1, 2].

Для этих целей на предприятиях угольной отрасли применяют импортные и отечественные устройства, в подавляющем большинстве случаев представляющие собой тиристорный регулятор напряжения (ТРН), который изменяет действующее значение напряжения посредством фазово-импульсного управления встречно-параллельно включенными тиристорами в каждой фазе регулятора при симметричном управлении углом открывания и с естественной коммутацией тиристоров.

К недостаткам ТРН можно отнести следующее. При использовании однооперационных тиристоров изменение напряжения от нулевого до номинального значения можно обеспечить только в течение нескольких периодов сетевого напряжения, что снижает быстродействие привода. Помимо этого, при регулировании напряжения в процессе пуска форма напряжения с увеличением угла управления искажается, что приводит к появлению в спектральном составе тока высокочастотных составляющих, вызывающих дополнительные потери в обмотках и уменьшающих электромагнитный момент электро-двигателя.

К тому же подобные устройства имеют низкий коэффициент мощности при регулировании напряжения из-за увеличения фазового сдвига по основной гармонике тока и уменьшения коэффициента искажения $k_и$ (отношение действующего зна-

чения первой гармоники напряжения к полному действующему значению напряжения напряжению). Но основным недостатком применения ТРН для пуска АД являются большие потери, приводящие к перегреву электродвигателя при затяжном пуске.

УПП с силовой схемой ТРН, но с измененной системой управления, могут обеспечить безударный пуск пофазной подачей напряжения [1], при котором вначале подключаются две фазы статора в максимуме их линейного напряжения, а затем третья фаза - при максимуме ее фазного напряжения.

Применение в силовой схеме полностью управляемых силовых полупроводниковых приборов позволяет осуществлять квазиоптимальный пуск [2]. Суть этого способа пуска состоит в следующем: первоначально на статорные обмотки двигателя подают напряжение с амплитудой, равной амплитуде напряжения сети, а затем последовательно во времени, через определенный промежуток времени от начала подачи напряжения, равный $\pi/3$ эл. град. (при частоте сети 50 Гц – 0,0033 с), электродвигатель отключают от питающей сети и переводят в режим динамического (магнитного) торможения на такое же время, после чего на обмотки статора вновь подают напряжение с амплитудой равной амплитуде напряжения сети.

На рис. 1 представлены графики переходных электромагнитных моментов, полученные в результате компьютерного моделирования прямого и управляемых пусков асинхронного электродвигателя мощностью 250 кВт.

Для практической проверки рассмотренных способов пуска на кафедре электропривода и автоматизации КузГТУ было разработано УПП (рис. 2), силовая часть (СЧ) которого выполнена на полностью управляемых ключах переменного напряжения, состоящих из двух встречно включенных силовых транзисторов, зашунтированных обратными диодами.

Управление ключами силовой части осуществляется от микропроцессорной системы управления (МСУ) через формирователь импульсов управления (ФИУ), в котором управляющий сигнал усиливается по мощности, а также осуществляется гальваническая развязка слаботочной и силовой части УПП. Для защиты от токов короткого замыкания, перегрузок по току, обрыва фаз двигателя УПП имеет систему защиты (СЗ), которая в зависимости от сигналов, поступающих с датчиков тока, выдает сигнал МСУ на отключение двигателя (М1) от питающей сети. Характер произошедшей аварийной ситуации, о также меню выбора режима работы УПП (закон управления пуском, уставки срабатывания защиты, настройка параметров пуска, и т.д.) выводится на устройство отображения информации (УОИ). Управление УПП может осуществляться как с пульта управления (ПУ),

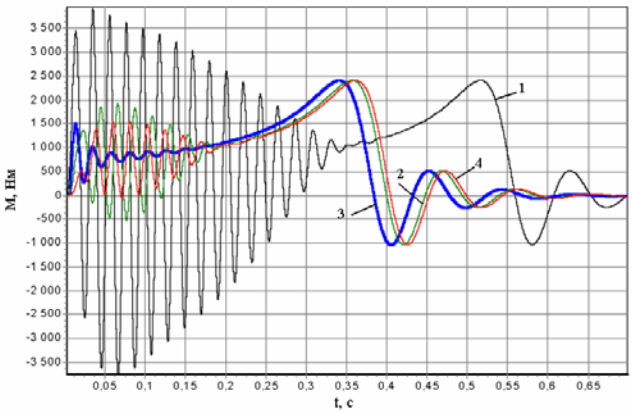


Рис. 1. Переходные моменты при прямом пуске (1), при пофазной подаче напряжения (2), при квазиоптимальном пуске (3), при пуске ограничением скорости нарастания приложенного напряжения с помощью широтно-имульс-ного регулирования (4)

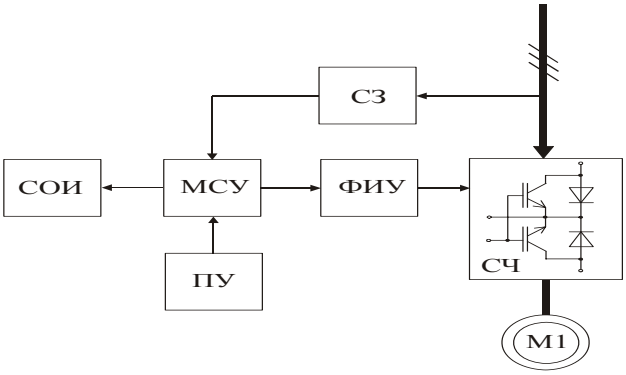


Рис. 2. Функциональная схема транзисторного устройства плавного пуска

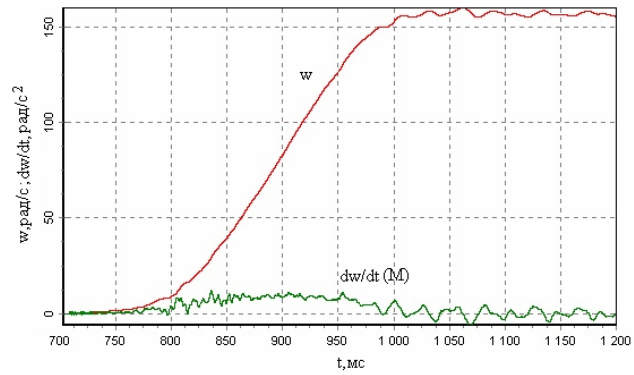


Рис. 3. Частота вращения ротора (1) и ускорение (2) при управляемом пуске с помощью широтно-имульсного регулирования напряжения

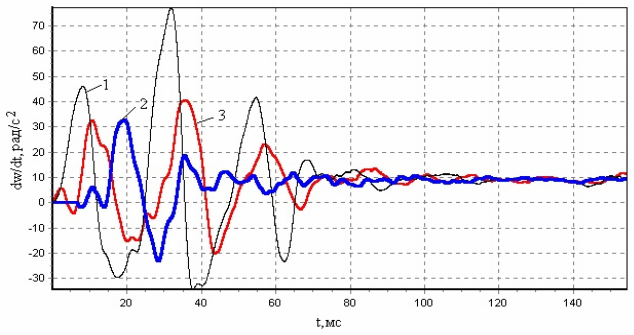


Рис. 4. Экспериментально снятые зависимости ускорения при прямом пуске (1), при пофазной подаче напряжения (2), при квазиоптимальном пуске (3)

так и от компьютера.

К достоинствам данного УПП можно отнести возможность регулирования выходного напряжения всеми способами, характерными для тиристорных устройств, а также осуществление широтно-импульсного регулирования с k>2 ($k = w_м / w$, где $w_м$ - угловая частота модуляции, w-час-тота питающей сети). Кроме того, транзисторные УПП имеют более высокие по сравнению с тиристорными энергетические показатели и позволяют реализовывать заданные алгоритмы управления пуском без привязки к моменту перехода напряжения сети через ноль.

На рис. 3 представлены экспериментально снятые зависимости изменения во времени ускорения и частоты вращения ротора при пуске асинхронного электродвигателя 4АМ80А4СУ мощностью 1,1 кВт с дополнительной массой, упруго связанной с валом. Данные зависимости сняты в ходе испытаний транзисторного УПП при различных законах управления напряжением (рис. 4).

Таким образом, управляемый пуск приводит к уменьшению динамической составляющей момента АД, а сравнительный анализ способов пуска на основании литературных источников и результатов проведенных исследований позволяет сделать вывод о том, что из рассмотренных способов для асинхронного электропривода горных машин наиболее предпочтительны пофазный и квазиоптимальный способы пуска. Причем для маломощных электроприводов, особенно работающих с небольшой нагрузкой, лучшие показатели имеет пофазный пуск, однако с увеличением мощности АД квазиоптимальный способ пуска становится более выгодным.

Описанное выше транзисторное УПП позволяет управлять пуском АД мощностью до 20 кВт и в настоящее время нами изготавливается УПП для АД на 250 кВт с последующей проверкой эффективности пуска в производственных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Петров Л.П.* Управление пуском и торможением асинхронных двигателей. -М.: Энергоиздат, 1981. - 184 с.
2. *Патент РФ* № 2235410 МПК Н 02 Р 1/26. Способ пуска асинхронного электродвигателя / *Е.К. Ещин, И.А. Соколов, В.Л. Иванов, В.Г. Каширских*, Заявл. 04.01.03, № 2003100098. Опубл. 27.08.04. Бюл. №24.

Коротко об авторах

Каширских В.Г. – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой,
Переверзев С.С. – аспирант,

Кузбасский государственный технический университет.

НОВИНКИ

ИЗДАТЕЛЬСТВА МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Петросов А.А., Фефелов А.В. Экономика и организация разработки россыпных месторождений золота артелями старателей: Учебное пособие для вузов. — 344 с.: ил.

ISBN 5-7418-0316-4 (в пер.)

Рассмотрена минерально-сырьевая база россыпных месторождений золота. Приведены организационно-технологические схемы их разработки. Описаны организация управления артелью, оплаты труда, режимы ее работы. Дано экономическое обоснование эффективности разработки россыпных месторождений золота артелями старателей Иркутской области. Описано воздействие старательской добычи золота на окружающую природную среду.

Для инженерно-технических работников золотодобывающей промышленности.

УДК 658:622.342

© В.Н. Матвеев, А.М. Микрюков, 2005

УДК 621.812: 621.31

В.Н. Матвеев, А.М. Микрюков

ТЕНДЕНЦИИ В РАЗРАБОТКЕ ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННЫХ ПУСКАТЕЛЕЙ

Семинар № 17

Надежное функционирование наиболее сложной в техническом отношении группы шахтного электрооборудования – взрывозащищенных пускателей обеспечивает не только выполнение технологического процесса по добыче угля, но и безопасное применение электроэнергии в шахтах, опасных по газу и пыли горных работ, так как пускатели помимо своей технологической функции - коммутации осуществляет безопасностную функцию. Взрывозащищенные пускатели обеспечивают защиту от токов короткого замыкания и снижения сопротивления изоляции коммутируемых цепей, защиту от токовой перегрузки, нулевую защиту, защиту от самовключения при повышении напряжения питающей сети до 150% от номинального, защиту от замыкания в цепях дистанционного управления, защиту от обрыва или увеличения сопротивления заземляющей цепи.

Схема управления отечественных пускателей выполняется на электромагнитных контактных реле, полупроводниковых приборах малой степени интеграции. С ростом тока нагрузки и напряжения сети пускатели оснащаются все новыми защитами. Связанное с этим усложнение конструкции и схемы управления обусловливает разработку методов и устройств, повышающих ремонтопригодность аппаратов: первоначально в пускателях появляются цепи сигнализации и контроля, позволяющие судить о наличии напряжения питания, о срабатывании защит, разрабатываются алгоритмы поиска неисправностей. В последующем увеличивается глубина диагностирования, позволяя судить о техническом состоянии отдельных элементов.

Одновременно возникает новое явление – преднамеренные нарушения ПБ обслуживающим персоналом, которые позволяют быстро восстановить работоспособность после отказа систем при выведенных из строя защитах и блокировках: закорачиваются выходные контакты реле защит, процесс технического обслуживания и ремонта зачастую ведется под напряжением. Причиной этого негативного явления становится желание ускорить процесс восстановления работоспособности системы, а также нежелание или неумение определить неисправность.

Становится очевидной связь между повышением ремонтопригодности и безопасности эксплуатации: снижение ава-рийности при работе участковой системы электроснабжения требует оперативного и верного определения технического состояния как самой системы, так и составляющих ее пускателей (в том числе умышленных изменений схемы управления) с целью заблаговременного обнаружения и исключения опасных состояний.

ОАО «Кузбассэлектромотор» до последнего времени выпускал пускатели ПВИ-250БТ, ПВР-250, ПВР-125 (с вакуумными контакторами) в цилиндрическом корпусе, снабженных блоками максимальной токовой защиты ПМЗ, токовой защиты от перегрузки ТЗП, защиты от утечки БКИ. Максимальный ток нагрузки 250 А недостаточен для коммутации современных токоприемников забоя угольной шахты. Схема управления данных пускателей и их блоков принципиально

мало чем отличается от схем первых пускателей серии ПВИ с добавлением нескольких контрольных цепей с индикаторными светодиодами. Время срабатывания пускателя при токах свыше токовой уставки максимальной токовой защиты не должно превышать 0,15 с, а у фидерного выключателя - 0,01с для предотвращения развития опасного события. Собственное время срабатывания блока ПМЗ составляет 0,04 с.

В конструкциях зарубежных пускателей наблюдаются прежние тенденции: использование все большего количества последовательно включенных защит, реализованных на реле. Так, в пускателе фирмы *Allenwest Wallacetown Limited* CS 8074055, коммутирующем очистной комбайн 4*L*-*S*-9 фирмы *Joy* (на 1140 В) с номинальным током 300 А на шахте им. Кирова в Кузбассе, имеются следующие реле: катушка контактора, два запускающих реле, реле управления, реле защиты от короткого замыкания, реле токовой перегрузки, блокировочное реле утечки, реле времени плавного включения, реле подачи напряжения, реле детектора фазы напряжения цепи управления, реле потери вакуума контактора, реле проверки, реле контрольной жилы кабеля дистанционного управления, два вспомогательных реле, реле контроля состояния схемы управления, реле местного запуска. Схема управления имеет разви-тую диагностику с двумя десятками индикаторных светодиодов, монитором тока нагрузки пускателя, с возможностью проверки максимального токового реле, реле токовой защиты от перегрузки, реле защиты от утечки, проверку целостности контрольной жилы кабеля дистанционного управления.

Более десяти реле с несколькими десятками их контактов содержит польский пускатель типа *OW*-1484 *WR* с током нагрузки 200 А, имеющий объединенный блок максимальной токовой защиты и защиты от перегрузки с самовзводом с различными временными задержками при коротком замыкании и перегрузке. Корпус пускателя выполнен в виде цилиндра.

Последние разработки фирмы Allenwest Wallacetown Limited – модульные узлы нагрузки типа AW-2000 напряжением до 11 кВ, смонтированные с трансформаторами мощностью от 1 МВА до 3,5 МВА. В узлах используется микропроцессорная система контроля и защиты, однако по желанию заказчика могут быть предусмотрены электромеханические системы контроля и защиты. Все корпуса имеют прямоугольную форму.

Таким образом, совершенствование взрывозащищенных пускателей связано с:

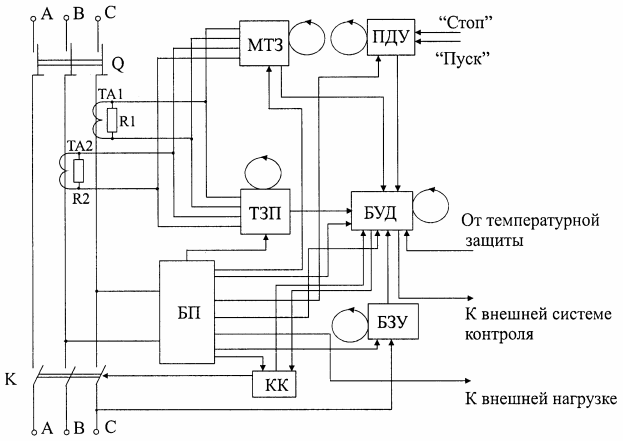
1) повышением коммутационной способности контакторов, переходом на вакуумные контакторы, определяемым увеличением силового напряжения и коммутируемой мощности;

2) переходом на микропроцессорную схему контроля и защиты с цветными индикаторными дисплеями, возможностью передачи информации по шахтной оптической системе связи на компьютер, расположенный на поверхности;

3) разработкой модульной прямоугольной конструкций корпусов.

Тем не менее, для исключения опасных состояний недостаточно лишь расширения диагностических возможностей пускателя (вплоть до установления состояния каждого элемента), необходимо придать элементам (блокам) свойство самоуправления, которое заключалось бы в простейшем случае в невозможности функционирования неисправного элемента.

Последнее условие реализовано в схеме пускателя по а.с. № 1470978 [1] за счет непрерывной генерации блоками защит и пультом дистанционного управления частотных сигналов, отличающихся друг от друга периодом следования импульсов, и обегающем контроле и анализе их с помощью блока управления и диагностики, разработанном на основе микроконтроллера. Блок-схема такого пускателя приведена на рис. 1.



Блок-схема пускателя с самоконтролируемыми блоками: БП – блок питания схемы управления; БУД – блок управления и диагностики; ПДУ – пульт дистанционного управления; КК – катушка контактора; МТЗ – блок максимальной токовой защиты; ТЗП – блок токовой защиты от перегрузки; БКИ – блок контроля изоляции

При исправном состоянии блоков защит, а также исправных токоприемнике и кабеле происходит генерация определенной совокупности частот. Включение контактора происходит лишь при поступлении от блоков защиты и управления к блоку управления и диагностики совокупности частот $A\ (f_i)$, в составе которой от пульта дистанционного управле-ния должна поступать частота включения контактора (f_1). При нажатии на кнопку "Стоп" вместо частоты (f_2) генерируется частота (f_1), отключающая контактор.

При возникновении аварийного режима, либо неисправности какого-либо блока пускателя образуется новая совокупность частот $B\ (f_i)$, отличающаяся от $A\ (f_i)$, а потому приводящая к отключению контактора. Генерирование частот в нормальном режиме исключает вероятность закорачивания или обрыва цепей блоков защит.

Техническое состояние пускателя контролируется блоком управления и диагностики путем анализа поступающих в него частот. Информация о техническом состоянии, включениях - отключениях пускателя отображается на цифровом табло, а также может передаваться к внешней системе контроля.

В целях повышения безопасности работы взрывозащищенного электрооборудования необходимо объединение блоков защит аппаратуры управления, имеющих одни и те же датчики [2]. Однако объединение всех блоков защит в единый блок не рекомендуется: так, например, совмещение блоков ТЗП, МТЗ и БКИ пускателя серии ПВИ снижает упорядоченность структуры пускателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. № 1470978 СССР, МКИ[4] Е21 F9/00. Взрывобезопасный магнитный пускатель/*Л.Я.Гимельшейн*, *В.Н.Матвеев* (СССР); Опубл. 07.04.89, Бюл. № 13.- 5 с.

2. *Матвеев В.Н.*, *Стародуб А.В.* Создание шахтной аппаратуры управления для достижения нового уровня безопасности // Горные машины и автоматика, № 1.- 2004. С.32-34.

Коротко об авторах

Матвеев В.Н. – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой,
Микрюков А.М. – кандидат технических наук, доцент,
Кузбасский государственный технический университет.