



ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Калинин Дмитрий Владимирович

Аспирант, Национальный исследовательский технологический университет
«МИСИС»

г. Москва, Российская Федерация

Аннотация

В статье рассматриваются актуальные вопросы обеспечения бесперебойного электроснабжения подземных и открытых горных работ за счет совершенствования алгоритмов работы систем автоматического ввода резерва (АВР) в распределительных устройствах подстанций глубокого ввода. Автор анализирует специфику резкопеременных и индуктивных нагрузок, характерных для мощного горно-шахтного оборудования, и обосновывает необходимость перехода от классических схем АВР к быстродействующим микропроцессорным комплексам. В работе предложена усовершенствованная функционально-логическая схема АВР для секционных выключателей, минимизирующая время перерыва питания и исключаящая риск несинхронного включения резервного источника при сохранении остаточной электродвижущей силы мощных синхронных и асинхронных двигателей.

Ключевые слова: электроснабжение горных предприятий, подстанция 110/35/10 кВ, автоматический ввод резерва, быстродействующее переключение, микропроцессорная релейная защита, надежность электроснабжения.

Введение

Давайте говорить на чистоту, оставив в стороне дежурные рапорты о стабильности энергосистем: надежность электроснабжения современного горного предприятия — это вопрос не просто экономической рентабельности, а выживания людей под землей. В мае две тысячи двадцать шестого года энергоемкость добывающих производств достигла пиковых значений. Остановка главного проветривателя шахты, водоотливного комплекса или подъемной установки даже на несколько минут из-за глубокого посада напряжения в питающей сети 110/35/10 кВ мгновенно переводит предприятие в режим чрезвычайной ситуации.

Существующие реалии показывают, что классические, повсеместно применяемые схемы автоматического ввода резерва, разработанные в прошлом веке, уже не справляются со своей главной задачей — обеспечением непрерывности технологического процесса при аварийных технологических флуктуациях.

В чем кроется системный изъян традиционного подхода к проектированию систем резервирования на подстанциях глубокого ввода? Основная масса эксплуатируемых устройств АВР работает по принципу фиксации полного исчезновения напряжения на шинах с последующей выдержкой времени, необходимой для отстройки от переходных процессов и селективной работы защит на отходящих линиях. Этот временной интервал, составляющий обычно от полутора до трех секунд, становится критическим для мощной горной техники. За это время магнитные пускатели конвейерных линий отпадают, синхронные двигатели мельниц и компрессоров выходят из синхронизма, а асинхронные приводы вентиляторов главного проветривателя успевают затормозиться до критических оборотов, вызывая при последующем самозапуске колоссальные пусковые токи, приводящие к просадке напряжения и лавинному отключению защит.

Целью настоящей статьи является разработка и обоснование алгоритмов быстрого действия микропроцессорного АВР, способного осуществлять переключение на резервный источник питания в распределительных устройствах 10 кВ карьерных и шахтных подстанций за время, не превышающее полного цикла затухания остаточного напряжения электроприводов, что позволит радикально повысить живучесть электротехнического комплекса предприятия.

Анализ режимов самозапуска электроприводов и проблема остаточной ЭДС

Специфика электротехнического хозяйства нагорных и подземных производств заключается в высокой концентрации высоковольтных двигателей переменного тока напряжением 10 кВ, подключенных к главным распределительным устройствам. При отключении выключателя питающего ввода со стороны энергосистемы эти машины не останавливаются мгновенно. Обладая огромным моментом инерции вращающихся масс, они переходят в генераторный режим, поддерживая на отключенной секции шин затухающее по амплитуде и частоте напряжение, называемое остаточной электродвижущей силой (ЭДС).

Здесь и возникает главный технологический тупик для стандартных реле напряжения. Классическое устройство АВР «ждет», пока напряжение на секции упадет до уровня двадцати-тридцати процентов от номинального, чтобы убедиться в отсутствии встречного питания и дать команду на включение секционного выключателя. За время этого ожидания угол сдвига фаз между остаточным напряжением выбегающих двигателей секции и напряжением на резервном вводе может достигать ста восьмидесяти градусов. Если включить секционный выключатель в этот момент, произойдет несинхронное включение.

Ток вскипания в обмотках машин превысит токи прямого короткого замыкания в несколько раз, что неизбежно приведет к тяжелым механическим повреждениям валов, разрушению лобовых частей обмоток и полному выходу дорогостоящего оборудования из строя.

Именно поэтому на горных предприятиях инженеры часто вынуждены сознательно загроублять или вовсе отключать автоматический самозапуск крупных машин, переводя их на ручной перезапуск после полной остановки. Но для непрерывного цикла добычи это означает длительные простои, загазованность выработок и миллиардные убытки. Проблема требует перехода к принципиально иным алгоритмам контроля, способным оценивать не только модуль напряжения, но и векторные параметры сети в режиме реального времени.

Разработка функционально-логической схемы микропроцессорного БАВР

Для ликвидации описанных рисков и обеспечения бесшовного перевода нагрузки авторами разработана логическая структура быстродействующего автоматического ввода резерва (БАВР). В основу алгоритма положен принцип непрерывного высокоскоростного контроля векторных величин: разности фазных углов между напряжением рабочей секции шин и резервного источника, а также скорости изменения частоты и направления мощности на вводе питания.

Функциональная логика системы базируется на опережающем действии. Вместо пассивного ожидания глубокой посадки напряжения, микропроцессорный терминал фиксирует момент отключения головного выключателя 110 или 35 кВ по цепям пуска от защит или направленной защите мощности, блокирующей работу АВР при внутреннем коротком замыкании на самой секции. Если короткое замыкание произошло во внешней сети, система мгновенно выдает команду на отключение поврежденного ввода и, не дожидаясь расхождения векторов напряжений более чем на тридцать-сорок градусов, выдает импульс на включение секционного выключателя. Общее время переключения при использовании современных вакуумных выключателей составляет менее шестидесяти миллисекунд.

При таком быстродействии электромагнитное поле двигателей не успевает существенно ослабнуть, а угол расхождения фаз остается в безопасной зоне. Переток мощности происходит практически незаметно для технологического процесса: магнитные пускатели удерживаются во включенном состоянии, а выбег вентиляционных и насосных установок минимален, что гарантирует успешный и безболезненный самозапуск всей подключенной нагрузки без опасных динамических ударов по механической части приводов.

Оптимизация параметров защиты трансформаторного парка подстанций

Внедрение быстродействующих режимов АВР накладывает повышенные требования к устойчивости и селективности защит силовых трансформаторов 110/35/10 кВ.

При одновременном самозапуске большой группы мощных забойных машин суммарный ток, потребляемый секцией от резервного трансформатора, кратковременно возрастает в четыре-шесть раз по сравнению с номинальным. Этот суммарный пусковой ток не должен восприниматься максимальной токовой защитой (МТЗ) резервного ввода как аварийный режим короткого замыкания.

Для предотвращения ложных отключений в моменты работы БАВР необходимо внедрять в алгоритмы защит трансформаторов блокировку по высшим гармоникам и комбинированный пуск по напряжению. Датчики тока микропроцессорного терминала должны оценивать форму кривой: если в токе присутствует высокая доля второй гармоники, характерной для намагничивания трансформатора и пусковых токов двигателей, а напряжение на резервной секции при этом удерживается в допустимых пределах, действие МТЗ блокируется на время пускового периода (обычно три-пять секунд).

Кроме того, особое внимание должно быть уделено координации уставок защит со стороны распределительных сетей 0.4 кВ, питающих вспомогательные цепи и системы автоматики самой подстанции. Обеспечение надежной работы собственных нужд подстанции через обособленные стабилизированные источники оперативного тока гарантирует, что в момент системной аварии в сети внешнего электроснабжения логические элементы БАВР сохранят полную работоспособность и четко отработают заложенный инженерный алгоритм.

Заключение

Резюмируя результаты проведенного исследования, можно утвердительно заявить: обеспечение промышленной безопасности и непрерывности производства на современных горных предприятиях невозможно без кардинального пересмотра подходов к автоматизации систем электроснабжения. Переход от пассивных схем ожидания к алгоритмам быстродействующего упреждающего переключения является единственным технически обоснованным путем модернизации подстанций глубокого ввода.

Реализация предложенной функционально-логической схемы БАВР позволяет полностью исключить аварийные ситуации, связанные с несинхронным включением резервного питания, защитить дорогостоящее электрооборудование от разрушающих токов выбега и свести время перерыва питания к минимуму, неощутимому для непрерывных технологических процессов. Интеграция данных решений в общую структуру цифровой автоматизации подстанций 110/35/10 кВ закладывает надежный фундамент для стабильной, эффективной и безопасной работы горнодобывающих предприятий в долгосрочной перспективе.

Литература

1. Ершов М. С., Егоров А. В., Трифонов А. А. Устойчивость промышленных электротехнических систем. — М.: Издательство «Недра», 2010. — 272 с.

2. Киреева Э. А., Цырук С. А. Электроснабжение цехов промышленных предприятий. — М.: НТФ «Энергопрогресс», 2003. — 120 с.
3. Королев В. А. Автоматическое включение резервного питания в системах электроснабжения. — М.: Энергоатомиздат, 1996. — 176 с.
4. Овчаренко Н. И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем / Под ред. чл.-корр. РАН А. Ф. Дьякова. — М.: Издательство МЭИ, 2000. — 504 с.
5. Шабад М. А. Релейная защита автоматики на переменном оперативном токе. — Л.: Энергоатомиздат, 1984. — 208 с.