

Р.Д. ОЛЕЙНИКОВ, студент гр. М-ЭО-24-1 (ЛГТУ)
Научный руководитель В.И. ЗАЦЕПИНА, д.т.н., профессор (ЛГТУ)
г. Липецк

**ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА И ПРИМЕНЕНИЯ
БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО АВТОМАТИЧЕСКОГО ВВОДА
РЕЗЕРВА НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОДСТАНЦИЯХ 110/10 кВ**

Введение

Современные промышленные предприятия, в особенности энергоемкие отрасли, такие как металлургия, предъявляют жесткие требования к надежности электроснабжения, ключевым из которых является минимально допустимое время перерыва питания. Обеспечение бесперебойной работы электроприемников I и особой группы I категорий надежности критически зависит от эффективности систем автоматического ввода резерва. В данном контексте, быстродействующий автоматический ввод резерва (БАВР) выступает не просто как элемент системы, а как ключевой фактор технологической устойчивости.

Актуальность задачи обусловлена тем, что неправильный выбор или неверная настройка БАВР, особенно в части времени его срабатывания, несет риск не только срыва технологического процесса, но и аварийного отключения крупных синхронных электроприводов защитами минимального напряжения, что приводит к значительным экономическим потерям.

Таким образом, задача выбора и применения БАВР на промышленных подстанциях 110/10 кВ требует комплексного теоретического подхода, учитывающего не только общие технические характеристики оборудования, но и специфику динамических процессов в электроприводах, а также необходимость точной координации с релейной защитой и автоматикой сети предприятия.

1. Основные принципы выбора схемы БАВР

Выбор схемы БАВР определяется категорией надежности электроприемников, топологией сети и характеристиками нагрузок. На промышленных подстанциях 110/10 кВ наиболее распространены следующие схемы резервирования:

- Схема с явным резервом. Применяется при наличии двух независимых источников питания. В нормальном режиме секции шин 10 кВ питаются раздельно. При отключении основного источника БАВР переключает питание на резервный трансформатор. Данная схема обеспечивает минимальное время переключения и широко используется для ответственных потребителей (например, на кислородных станциях).

- Схема с взаимным резервом. Характерна для подстанций с двумя трансформаторами. При потере одного трансформатора БАВР перераспределяет нагрузку на оставшийся. Теоретический анализ этой схемы требует учитывать не только перегрузочную способность оставшегося трансформатора, но и вопросы динамической устойчивости и риска возникновения «лавины напряжения» при самозапуске двигателей.

- Кольцевая схема. Применяется в протяженных распределительных сетях. БАВР обеспечивает автоматическое восстановление питания при повреждении на любом участке кольца. Однако данная схема менее предпочтительна для ответственных потребителей из-за большего времени восстановления, обусловленного необходимостью селективного определения поврежденного участка перед реконфигурацией.

2. Ключевые параметры при выборе оборудования БАВР

2.1. Требования к быстродействию

Время действия БАВР является критическим параметром для промышленных объектов с крупными синхронными электроприводами. Нормативные требования (ПУЭ, РД 34.20.185-94) устанавливают время переключения для особой группы I категории в 0,5–0,8 с. Однако для синхронных компрессоров кислородных станций это время должно быть сокращено до 100–150 мс для предотвращения их отключения защитами.

2.2. Выбор коммутационного оборудования

Тип выключателей напрямую влияет на достижение требуемого быстродействия:

- масляные выключатели непригодны для систем БАВР из-за длительного времени восстановления диэлектрической прочности масла (до 5–6 с) и низкой механической износостойкости;

- вакуумные выключатели (ВВ) являются предпочтительным выбором. Их высокое быстродействие (время отключения 30–40 мс) и большой коммутационный ресурс (до 30 000 циклов) теоретически позволяют реализовать жесткие требования по времени (100–150 мс) для удержания синхронных приводов;

- элегазовые выключатели применяются на стороне 110 кВ, обеспечивая высокую надежность, но требуют контроля утечек элегаза.

2.3. Алгоритмы БАВР для синхронных электроприводов

Наличие крупных синхронных двигателей (СД) требует переключения при остаточном напряжении не ниже 0,6–0,65 $U_{\text{ном}}$ и времени переключения меньше времени затухания ЭДС машин (150–200 мс). Для решения этих задач в микропроцессорных терминалах применяются специализированные алгоритмы:

- 1) алгоритм с контролем затухания поля: переключение разрешается после снижения остаточного напряжения до безопасного уровня (напри-

мер, $< 0,3 U_{\text{ном}}$), что исключает броски тока, но увеличивает время перерыва питания;

2) алгоритм быстрого (асинхронного) переключения: включение резерва до того, как векторы ЭДС источников успеют значительно разойтись (менее 150 мс);

3) алгоритм «ловли синхронизма»: включение резервного ввода происходит в момент первого совпадения фаз (нулевого угла рассогласования) между выбегающим двигателем и резервной сетью. Данный подход является наиболее теоретически обоснованным для минимизации ударных токов, но требует высокой точности и быстродействия ВВ.

3. Координация БАВР и отраслевая специфика

Правильная координация БАВР с релейной защитой (РЗ) и автоматикой критически важна для селективной работы системы. Ключевая задача – отличить провал напряжения (БАВР должен работать) от короткого замыкания (КЗ) на шинах (БАВР должен блокироваться).

Уставки временных задержек БАВР должны быть отстроены от времени действия основных защит линий 110 кВ, трансформаторов и линий 10 кВ. Система БАВР должна иметь блокировки для предотвращения неселективного действия, в частности: при срабатывании защит от КЗ (МТЗ, отсечка), дуговой защиты КРУ, при перегрузке резервного трансформатора или при отсутствии напряжения на резервном вводе.

Отраслевая специфика накладывает дополнительные требования:

- химико-металлургические производства: характерно наличие тиристорных преобразователей, создающих высшие гармоники. Эти гармоники могут приводить к некорректной работе аналоговых реле контроля напряжения. Это обуславливает необходимость применения микропроцессорных терминалов БАВР с цифровой фильтрацией и корректным измерением действующего значения (True RMS).

- кислородные производства: предъявляют наиболее жесткие требования из-за наличия синхронных компрессоров. Здесь применяются двухступенчатые системы БАВР: первая, быстрая ступень (до 150 мс) реализует алгоритмы «ловли синхронизма» для удержания СД; вторая ступень (с большей выдержкой) обеспечивает автоматический запуск менее ответственной нагрузки.

Заключение

Выбор и применение БАВР на промышленных подстанциях 110/10 кВ требует комплексного теоретического подхода. Ключевыми факторами при выборе являются категория надежности электроприемников, наличие крупных синхронных электроприводов и требуемое время переключения.

Наиболее эффективным решением для современных промышленных предприятий является применение микропроцессорных терминалов БАВР

в сочетании с вакуумными выключателями. Такое сочетание обеспечивает высокое быстродействие, надежность и гибкость настройки сложных алгоритмов (включая «ловлю синхронизма»), что позволяет минимизировать технологические простоты и обеспечить требуемый уровень надежности электроснабжения.

Список литературы:

1. Щербо, А.Ю. Устройства быстродействующего автоматического ввода резерва / А.Ю. Щербо. – 2018. – 56 с.
2. Ищенко, Д.А. Быстродействующий автоматический ввод резерва для систем электроснабжения с высоковольтными асинхронными двигателями: дис. канд. техн. наук / Д.А. Ищенко. – Москва, 2003. – 199 с.
3. Ершов, А.М. Системы электроснабжения промышленных предприятий и городов. Часть 4. Электроснабжение промышленных предприятий / А.М. Ершов. – Челябинск, 2020. – 120 с.
4. Пустоветов, М.Ю. Быстродействующее устройство автоматического ввода резерва для высоковольтных асинхронных двигателей и гидравлический удар / М.Ю. Пустоветов // Электроэнергетика. – 2012. – № 3. – С. 34-39.
5. Семёнов, Д.А. Автоматический ввод резерва в системе собственных нужд тепловых электростанций / Д.А. Семёнов // Вестник ТЭЦ. – 2003. – № 5. – С. 15-21.
6. Цирус, С.А. Повышение надежности электроснабжения потребителей котельного цеха / С.А. Цирус // Вестник энергетики и промышленности. – 2015. – № 11. – С. 45-50.

Информация об авторах:

Олейников Роман Дмитриевич, студент гр. М-ЭО-24-1, ЛГТУ, 398055, г. Липецк, ул. Московская, д. 30, roma.oleynikov@gmail.com

Зацепина Виолетта Иосифовна, д.т.н. профессор, ЛГТУ, 398055, г. Липецк, ул. Московская, д. 30, vizatsepina@yandex.com