

- пуске двигателя с заблокированным ротором или двигателя, несущего недопустимо большую нагрузку;
- затынутом пуске двигателя;
- блокировке ротора двигателя после его выхода на рабочий режим.

В алгоритмах защиты блока серии *БМРЗ-Д* факт пуска определяется по результатам анализа токов, что обеспечивает правильное функционирование защиты как при обычном пуске, так и самозапуща двигателя [13]. Для ограничения перегрева обмоток двигателя при пусках в алгоритмах защит предусмотрены счетчик общего числа пусков и счетчики холодных и горячих пусков. На основании информации, получаемой от этих счетчиков, алгоритм формирует команду «*Запрет пуска перегретого двигателя*».

Помимо указанных защит в блоках двигательной серии *БМРЗ-Д* реализована *тепловая* модель, решающая уравнение теплового баланса двигателя в реальном масштабе времени. Применение *тепловой* модели затруднено тем, что заводы-изготовители двигателей не приводят информацию о реальных тепловых характеристиках и постоянных времени выпускаемых ими двигателей. Поэтому в НТЦ «Механотроника» были разработаны рекомендации по определению постоянных времени в период выполнения пусконаладочных работ.

Первая ступень защиты, использующая тепловую модель двигателя, формирует команду «*Запрет пуска перегретого двигателя*», а вторая – сигнализирует о перегреве двигателя. Алгоритм позволяет различать тепловые процессы в работающем и выключенном двигателе, что обеспечивает эксплуатацию двигателя без излишних отключений.

Дальнейшим развитием устройств двигательной серии *БМРЗ-Д* стало создание устройства БМРЗ-ДА2, обеспечивающего помимо стандартных алгоритмов защиты и автоматики переключение обмоток двухскоростного двигателя при пуске и изменение частоты его вращения по сигналам защит и технологического оборудования.

Универсальная аппаратно-программная архитектура устройств серии *БМРЗ*, широкий (более 1000) динамический диапазон измерения токов, высокая скорость цифровой обработки сигналов позволили создать уникальную серию устройств *БМРЗ-ЖД* для тяговых подстанций железных дорог и метрополитена [4, 13], наиболее адекватно отвечающую требованиям, предъявляемым к устройствам, обслуживающим тяговые сети на территории СНГ [11].

Наиболее принципиальным отличием алгоритмов защит в устройствах серии *БМРЗ-ЖД* стало использование высших гармонических составляющих для пусковых и блокирующих органов и использование значения коэффициента гармоник для изменения уставок токовых и дистанционных защит, а также измерение сигнала на интервале от 2 до 5 мс.

Если во всех ранее выпускавшихся устройствах серии *БМРЗ* ресурс выключателя определялся по простой сумме токов, фиксировавшихся в момент отключения выключателя, то в блоках серии *БМРЗ-ЖД* при-

менен специальный алгоритм расчета остаточного ресурса в процентах от исходного. Алгоритм основан на применении информации о зависимости ресурса от значения тока отключения, приводимой в документации завода-изготовителя выключателя, и более адекватно оценивает изменение ресурса выключателя в процессе эксплуатации.

Преимущества, предоставленные наличием большого количества входных и выходных дискретных сигналов, позволили создать две модификации устройства для управления и защиты трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой. Устройство типа БМРЗ-КН предназначено для общепромышленных регулируемых трансформаторов, а устройство типа БМРЗ-ТП-КН – для трансформаторов с регулированием напряжения, применяемых в тяговых сетях железных дорог.

Опыт использования дифференциальных защит в блоках серии *БМРЗ-Д* позволил разработать новое устройство типа БМРЗ-ТД2х, в котором реализована дифференциальная защита *двухобмоточных* трансформаторов напряжением до 220 кВ. Устройство предназначено для использования в качестве основной защиты от всех видов КЗ взамен широко известных защит ДЗТ-21 (10). Дополнительно оно управляет несколькими (до 6) выключателями и отключением трансформатора через отделитель. Здесь следует обратить внимание на то, что именно наличие до 46 дискретных входов и выходов позволило столь значительно расширить возможности управления коммутационными аппаратами.

Дальнейшее развитие алгоритмических возможностей защит в устройствах серии *БМРЗ* можно проследить на примерах устройств БМРЗ-ДЗ (дистанционная защита воздушных линий напряжением 6-35 кВ) и БМРЗ-ЛТ (защита блока «линия-трансформатор» напряжением 110 кВ). В них реализована многоступенчатая дистанционная защита от междуфазных КЗ и защита от двойных замыканий на землю. Характеристика срабатывания реле сопротивления этой защиты может иметь вид окружности, треугольника или четырехугольника, располагающегося на плоскости в осях jX и R , и выбирается при настройке на месте установки устройства. Как обычно, названные блоки реализуют все стандартные алгоритмы защит и автоматики, обязательные для данных объектов в соответствии с требованиями ПУЭ [1], а также оригинальные алгоритмы, предложенные заказчиками этих блоков.

Среди последних разработок на основе устройств серии *БМРЗ* следует отметить комплект резервных защит трансформатора со стороны ВН до 220 кВ, реализованный в блоке типа БМРЗ-ТР-ВН и шкаф защиты линий напряжением 220 кВ, находящийся в опытной эксплуатации.

Обобщенный перечень алгоритмов защит, реализованных в устройствах серии *БМРЗ* на единой аппаратной платформе, включает:

- многоступенчатую максимальную токовую защиту *МТЗ* с:
- *зависимыми характеристиками* (аналоги реле *РТ-80* и *РТВ-1У*);