

*О.Н. Синчук, д-р техн. наук, И.О. Синчук, канд. техн. наук., В.О. Черная
(Украина, Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПСЕВДО-АВАРИЙНЫХ И АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ ДВУХОСНЫХ ЭЛЕКТРОВЗОВ

ВВЕДЕНИЕ

На предприятиях горно-металлургической отрасли Украины эксплуатируется около семи тысяч двухосных электровозов. Около 85% этого количества эксплуатируется в условиях подземного ведения работ.

АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Последнее десятилетие отмечается возрождением исследований в области создания энергоэффективных тяговых электротехнических комплексов (ТЭТК) двухосных электровозов на основе IGBT-преобразователей электрической энергии [1,2]. Созданы и прошли этап предварительных испытаний экспериментальные образцы ТЭТК как постоянного, так и переменного тока [2].

Вместе с тем, наряду с безусловными достоинствами новых образцов испытания высветили ряд проблем, без решения которых освоения серийного выпуска ожидать не приходится.

К числу таковых следует отнести вопросы превентивного упреждения возможностей возникновения аварийных ситуаций, которым, как известно, предшествуют процессы, которые можно было характеризовать как псевдоаварийные [3].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Создание математической модели, позволяющей определять возможность и последствия возникновения псевдоаварийных и аварийных ситуаций в ТЭТК двухосных электровозов с импульсными системами питания тяговых двигателей.

МАТЕРИАЛ ИССЛЕДОВАНИЙ

Структурно ТЭТК постоянного и переменного тока двухосных электровозов практически аналогичны для исследований псевдоаварийных режимов.

Однако, структура контуров преобразования электроэнергии (ЭЭ) этих систем различны, как впрочем различны технически и структуры ТЭТК, построенные на базе тириستров или транзисторов.

Аномальные состояния в тяговых электроприводах вызываются различными факторами, в основном это: короткое замыкание электрической цепи; разрыв электрической цепи; исчезновение или снижение уровня напряжения в

контактной сети ниже допустимого; отклонение параметров слагаемых элементов электропривода от допустимых; импульсные перенапряжения на токоприемнике электровоза; отказ элементов и блоков электропривода; нарушение алгоритма работы и др.

Причем факторы, провоцирующие как псевдо-, так и аварийные режимы ТЭТК, взаимосвязаны и взаимозависимы друг от друга, а их проявления многообразны и не ограничиваются приведенным перечнем.

При этом следует учесть, что вышеизложенные факторы особенно характерны и наиболее часто проявляются в ТЭТК промышленных и особенно в рудничных их видах [1].

Как установлено в [6], наиболее характерными неисправностями элементов, которые не приводят к немедленной потере трудоспособности подвижного состава, но резко повышают вероятность отказов, есть обрывы защитных РС-цепей, нарушение обратной связи по напряжению в режиме электродинамического торможения из-за перегорания резисторов, пробой диодов с последующим нарушением теплового режима дросселя. Данный вид неисправностей может быть выявлен только в процессе диагностирования, поскольку они не имеют внешнего проявления. А в случае несвоевременного их выявления и ликвидации может произойти отказ дорогих элементов, что в конечном счете приведет к значительным капитальным затратам.

При обрыве РС-цепи на соответствующем полупроводниковом приборе силового блока в момент коммутации увеличиваются кратковременные (до 15 мкс) пики напряжения, которые превышают номинальное значение напряжения в несколько раз. Это приводит к внезапному выходу из строя тиристора или диода и к отказам в работе тягового подвижного состава.

Одной из серьезных неисправностей, которые не проявляются, является уменьшения емкости батарей сглаживающего фильтра из-за нарушения герметичности, пробой, а затем перегорание части параллельно соединенных конденсаторов или обрыва их внешних соединений. В результате значительно возрастает уровень пульсации напряжения, что приводит к повышению рабочих напряжений на силовых полупроводниковых приборах, а также интенсифицирует изнашивание тяговых двигателей.

Частным случаем возникновения аварийной ситуации в тиристорно-импульсном преобразователе (ТИП) является возникновение ошибочного импульса при работе системы управления ТЭТК. Снижение величины питающего напряжения или увеличение нагрузки выше допустимого уровня могут привести к перегрузке преобразовательной установки, в результате чего коммутирующий контур будет не в состоянии скоммутировать ток нагрузки.

Для практической реализации комплекса защит ТЭТК необходимо правильно выбрать метод исследования, который в конечном итоге позволит создать модель защиты комплекса, на основе которой должен быть разработан соответствующий алгоритм функционирования системы комплексной защиты. Анализ существующих методов, позволил авторам остановиться на теории сетей Петри (СП) [4].

Для построения модели системы в виде СП необходимо абстрагирование от конкретных физических и функциональных особенностей ее составляющих. Компоненты системы и их действия представляются абстрактными событиями [4]. Это позволяет использовать СП для анализа аномальных режимов функционирования ТЭТК промышленных электровозов, логически подойти к дифференцированию построения ситуационных моделей вышеотмеченных ситуаций с последующим этапом постройки алгоритмов адаптации системы управления и разработки устройств и способов защит.

В качестве первого шага на пути реализации стратегии строения структуры комплексной системы защиты электропривода промышленного (рудничного) контактного электровоза от внештатных ситуаций, проведен анализ функционирования системы данного вида привода с точки зрения возможности возникновения аномальных ситуаций и возможных направлений построения способов защиты от них, рис. 1.

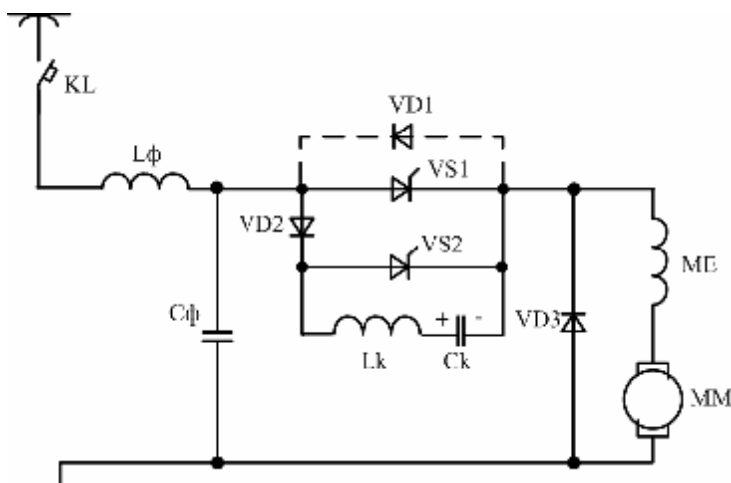


Рис. 1. Упрощенная принципиальная схема тягового электропривода с тиристорным преобразователем

Во время коммутации тока нагрузки может возникнуть неблагоприятная ситуация в результате достижения током нагрузки величины, предельной по коммутационной способности для ТИП, что приведет к срыву процесса коммутации (рис. 2, а).

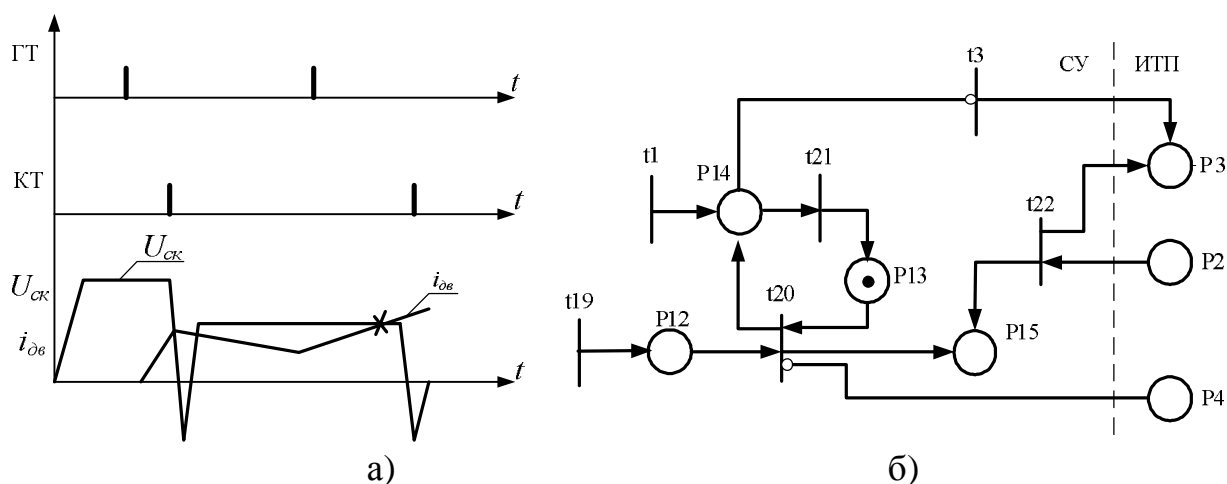


Рис. 2. Временные диаграммы (а) и модель тягового электротехнического комплекса с защитой от срыва коммутации (б), которые иллюстрируют срыв коммутации главного тиристора в результате превышения током нагрузки величины напряжения на коммутирующем конденсаторе, который отвечает предельной коммутационной способности импульсного регулятора

С целью их предупреждения была разработанная модель объекта с защитой от срыва коммутации (рис. 2, б), из анализа которой можно сделать вывод о том, что при повышении тока нагрузки уровня, допустимого по коммутационной способности для ТИП, необходимо сформировать корректирующий сигнал и запретить прохождение импульсов управления на время снижения тока до уровня, при котором возможна коммутация.

Также к подобного рода ситуации может привести ложный импульс в управляющей цепи главного или коммутирующего тиристоров или в обеих цепях одновременно в период отключенного состояния регулятора (рис. 3, а). Модель защиты от срыва коммутации для этого случая приведена на рис. 3, б.

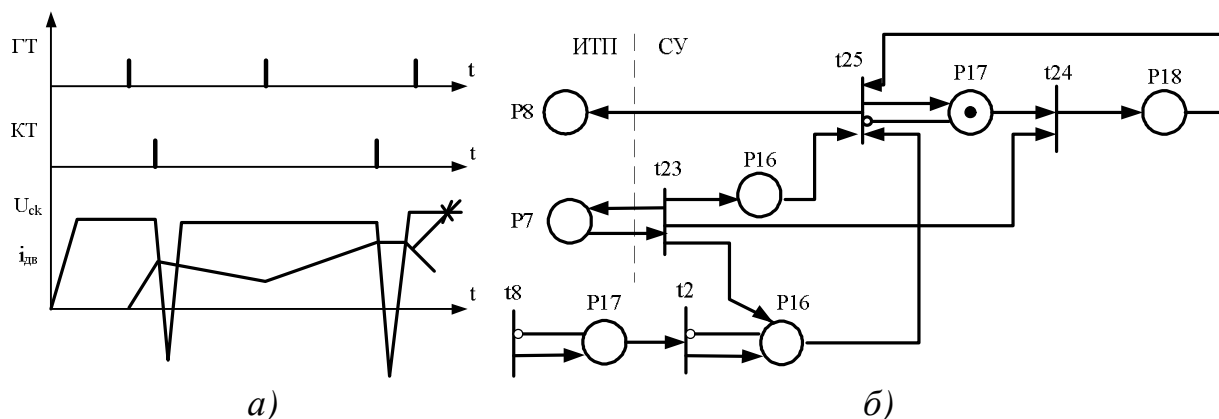


Рис. 3. Временные диаграммы (а) и модель тягового комплекса с защитой от срыва коммутации при ошибочном импульсе в управляющих цепях тиристора к готовности их к работе (б), которые иллюстрируют срыв коммутации главного тиристора ошибочным импульсом в период отключенного стана регулятора

В случае, когда коммутация преобразователя была вызвана возникновением в управляющей цепи коммутирующего тиристора ошибочного импульса, по окончании времени, которое задается таймером, позиция P16 теряет пометку и цепь главного тиристора снова блокируется.

Т.е., с помощью таймера, который считает время коммутации коммутирующего контура, и ключа блокируется цепь главного тиристора.

Рассмотрим возможные аварийные ситуации при работе тягового электропривода переменного тока рудничного контактного электровоза, адаптированная для исследований аварийных процессов (рис. 4).

Модель канала защиты от сверхтоков в тяговой цепи электропривода.

Природа появления сверхтоков в цепях ТЭТК весьма многообразна – от коммутационных перенапряжений до потери управляемости.

Анализ влияющих факторов позволил создать базовую СП для данного случая (рис. 5).

Рассмотрим функционирование модели.

При токе в цепи I более заданного I_{max} позиция P1 приобретает фишку $n=1$, далее сеть срабатывает до упора и останавливается. Преодолеть барьер ТЗ можно только путем вмешательства оператора извне снятием запрета. Аналогично рис. 2 выглядит СП для аварийных состояний по другим параметрам. СП каналов сигналов внутренних датчиков IGB транзисторных модулей и их снабдеров выглядят еще короче.

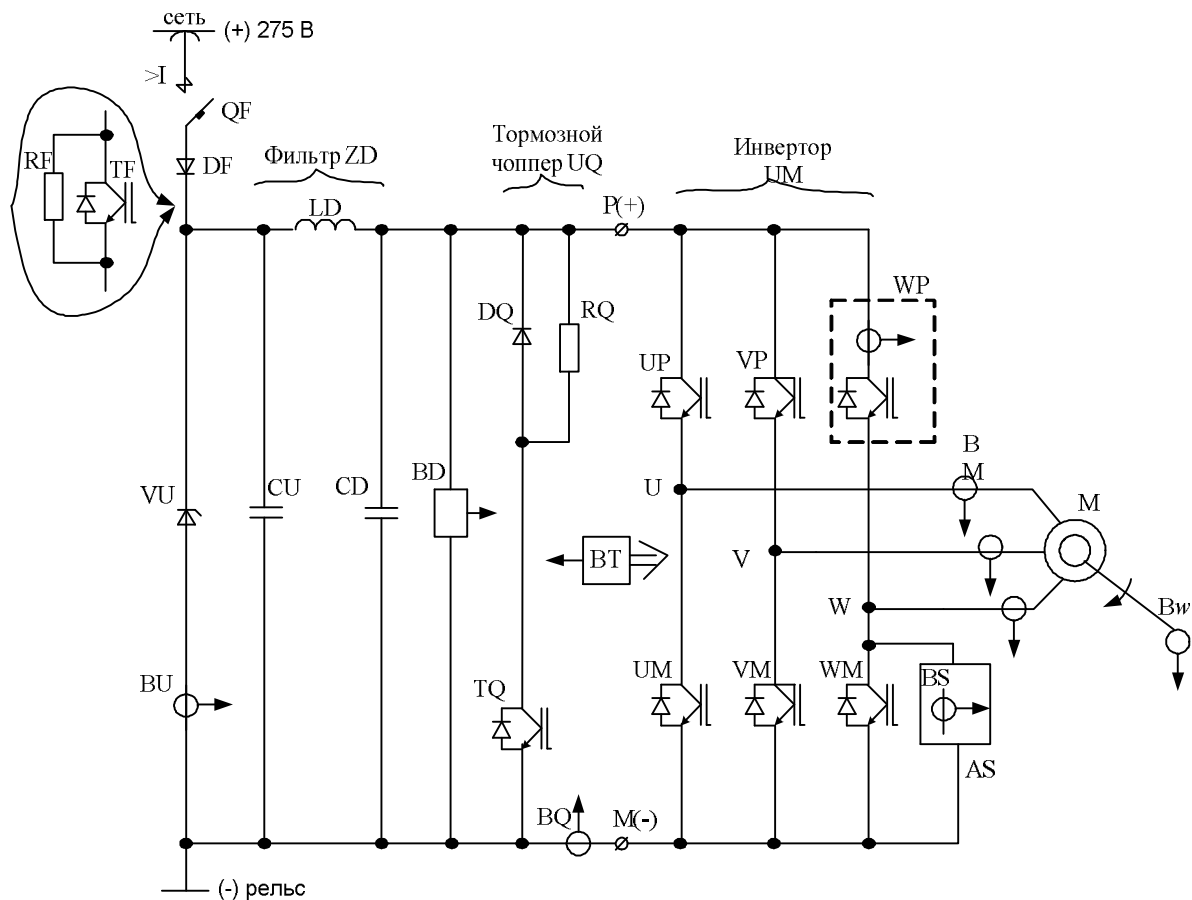


Рис. 4. Упрощенная принципиальная схема тягового электропривода переменного тока рудничного контактного электровоза, адаптированная для исследований аварийных процессов

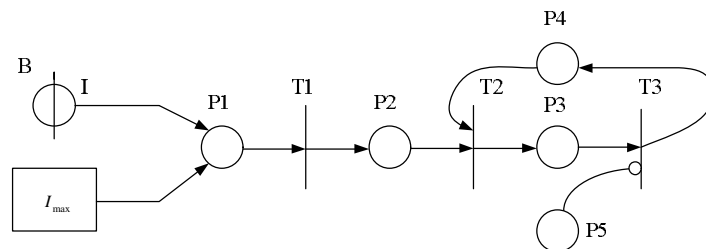


Рис. 5. Базовая сеть Петри канала защиты тягового электропривода от сверхтоков

Модель каналов защиты от сверхнапряжения и выявления недопустимой длительности действия ограничителя напряжения ВU представлена на рис. 6.

Обобщенная СП защитного комплекса системы управления ТЭТК промышленного электровоза, приведенная на рис. 7, построена путем сочетания базовых моделей СП, не выявила функционально избыточных операций и нестыковок позиций, что позволяет принять ее за основу дальнейших исследований системы защиты тягового электропривода переменного тока.

На рис. 8 представлена обоснованная и сконструированная на основе анализа базовой СП функциональная схема системы защиты тягового электропривода переменного тока промышленного (рудничного) электровоза, реализующая необходимый комплекс защитных мер.

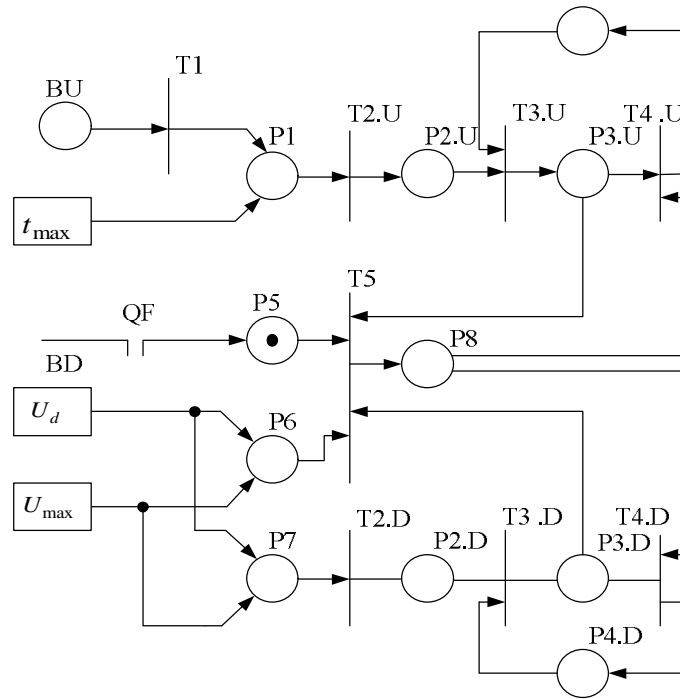


Рис. 6. Базовая сеть Петри каналов сверхнапряжения и сверхдлительности действия ограничителя

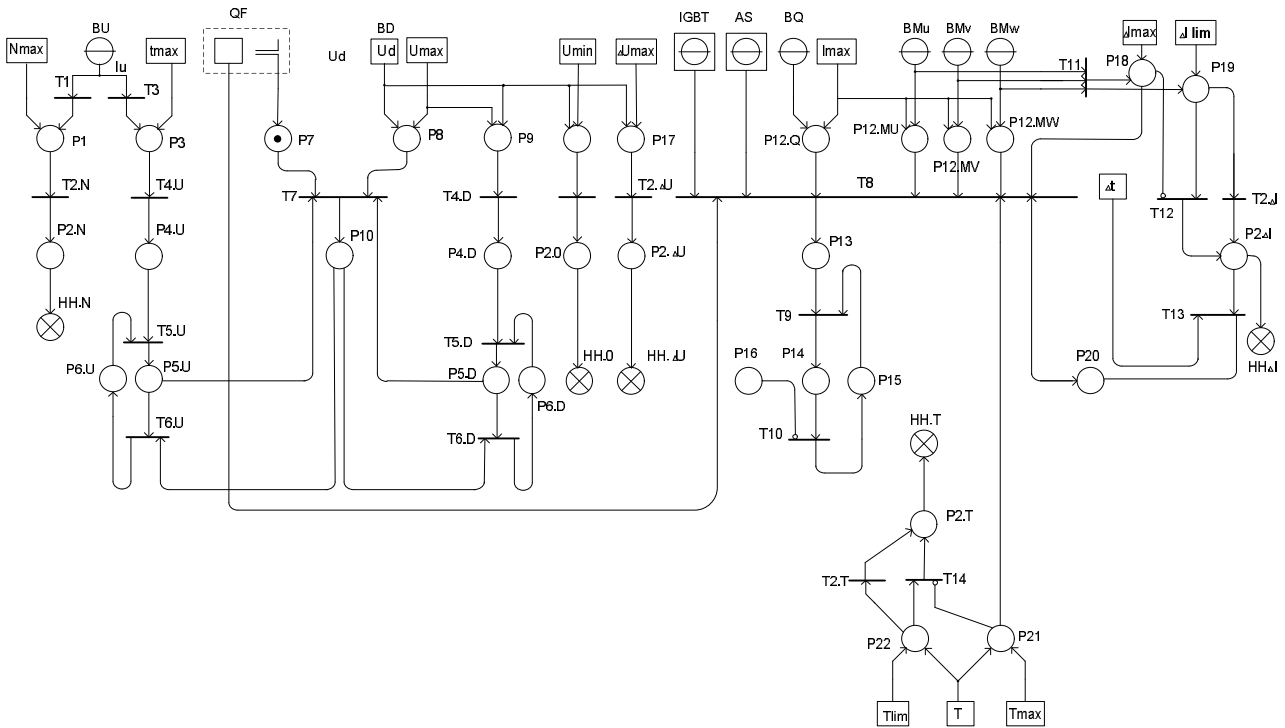


Рис. 7. Обобщенная сеть Петри системы защиты от аномальных ситуаций тягового электропривода переменного тока рудничного контактного электровоза

Обобщая необходимые направления действия системы защиты ТЭТК промышленных электровозов при возникновении внештатных ситуаций, формализуем их следующим образом.

1. При автономном срабатывании автомата QF (по состоянию его блок-контактов), при сигналах датчиков тока BQ и BM, превышающих предельно допустимые значения $I_Q > \max$, $I_m > \max$, при наличии сигналов от внутренних

датчиков тока IGB транзисторных модулей $I_1 > 0$, при срабатывании датчиков тока BS снабберов $I_s > 0$, при сигнале датчика температуры BT более максимально возможного $T > \max$, при недопустимом разбросе сигналов датчиков тока BM $\Delta I_m > \max$ и, наконец, при неудачном автоматическом повторном включении АПВ электропривода в работу блок аварии AF в системе защиты выдает операционный сигнал I_k на отключение инвертора UM и автомата QF, на включение тормозного чоппера UQ для разряда фильтра, запрещает автоматическое повторное включение электропривода в работу, выдает световой аварийный сигнал HF.

2. При сигнале датчика напряжения BD, превышающем предельно допустимый максимальный уровень $U_d > \max$, при недопустимой длительности сигнала датчика тока BU $t_u > \max$ система защиты выдает операционный сигнал I_B на отключение автомата QF и включение тормозного чоппера UQ; затем при сигнале датчика напряжения BD менее допустимого максимального уровня отключает чоппер UQ и по истечении контрольного времени t_k разрешает автоматическое повторное включение автомата QF и работу электропривода, сигнал I_E , и сигнализирует об этом, сигнал HB.

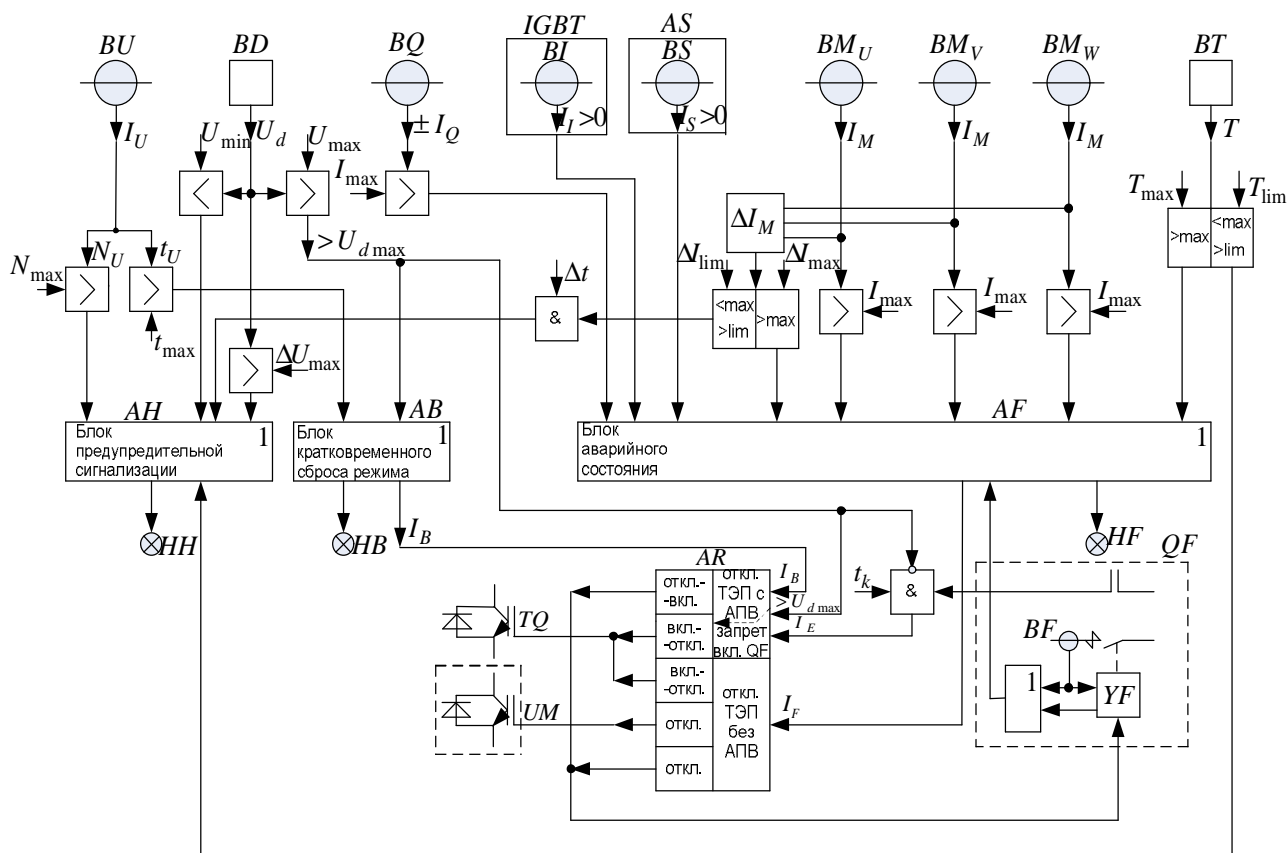


Рис. 8. Функциональная схема системы защиты тягового электропривода переменного тока

3. При сигнале датчика напряжения BD менее допустимого минимального уровня вплоть до нуля $U_d < \min$, при разности мгновенных значений наибольшего и наименьшего сигналов датчика напряжения BD, превышающей заданное значение $\Delta U_d > \max$, при разбросе сигналов датчиков тока BM между собой более заданного уровня, но в пределах дозволенного $\Delta \lim < \Delta i_m < \Delta \max$

непродолжительно $t < t_B$, при превышении сигнала датчика температуры ВТ выше заданного, но кратковременно допустимого уровня $\lim < T < \max$, при достижении предельного значения количества сигналов датчика тока $BU N > \lim$, система защиты выдает предупредительный сигнал НН.

Блоки или узлы предупредительной сигнализации, кратковременного сброса заданного оператором (машинистом электровоза) и системой управления и регулирования АР режима работы ТЭТК, аварийного состояния комплекса по сути выполняют логическую функцию "ИЛИ", то есть повторяют на выходе любой входной сигнал.

Система управления и автоматического регулирования АР тягового комплекса помимо штатных (нормальных) режимов может находиться или в псевдоаварийном или в аварийном режиме работы.

В аварийном режиме система АР отключает тяговой электропривод и не разрешает его повторного включения до устранения одиозных факторов и до вмешательства машиниста электровоза.

В псевдоаварийном режиме система АР кратковременно отключает тяговой электромеханический комплекс, то есть на заданное время t_k сбрасывает запрограммированный режим электропривода, а затем вновь автоматически повторно включает его в функционирование после устранения факторов возбуждающих данный режим работы.

ВЫВОДЫ

1. Анализ условий и мест возникновения нештатных ситуаций, провоцирующих возникновение аномальных процессов при функционировании тяговых электроприводов рудничных контактных электровозов с импульсными преобразователями позволил разработать и рекомендовать для применения классификацию их аномальных ситуаций в функции ситуационных влияющих факторов.

2. Разработана функциональная схема системы защиты от аномальных ситуаций в электроприводе, на базе которой позволительно провести структурный анализ системы защиты и электропривода в целом.

Анализ системы защиты тягового электропривода постоянного и переменного тока по методу СП, позволил разработать модели СП отдельных каналов системы защиты, а также синтезировать обобщенную СП системы защиты тягового электропривода и программу ее реализации при микропроцессорном управлении.

Список литературы

1. Комплекс ресурсо- і енергозберігаючих геотехнологій видобутку та переробки мінеральної сировини, технічних засобів їх моніторингу із системою управління і оптимізації гірничорудних виробництв. Азарян А.А., Вілкул Ю.Г., Капленко Ю.П., Караманиць Ф.І. та ін. – Кривий Ріг: Мінерал. – 2006. – 219 с.
2. Синчук О.Н. Перспективы развития шахтных (рудничных) электровозов с энергосберегающими видами тяговых электроприводов/ О.Н. Синчук, С.В. Лебедин, И.О. Синчук, О.А. Удовенко, О.В. Пасько // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля. – 2006. - №8(102). – С. 83-92.
3. Синчук И.О. Исследование аварийных и псевдоаварийных ситуаций в тяговых электро-

приводах переменного тока с помощью базовых сетей Петри // Техническая электродинамика. – Киев: ИЕД НАН Украины. – 2008. – Тематический вып. Ч. 4. – С. 76-78.

4. Котов В.Е. Сети Петри. – М.: «Наука», 1984. – 158 с.

5. Синчук О.Н. Комбинаторика преобразователей напряжения современных тяговых электроприводов рудничных электровозов / О.Н. Синчук, И.О. Синчук, Н.Н. Юрченко, А.А. Чернышов, О.А. Удовенко, О.В. Пасько, Э.С. Гузов. Научное издание. – Киев: ИЕД НАН Украины, 2006. – 252с.

6. Шматков В.А., Мальцев В.И. Стратегия управления техническим состоянием подвижного состава с тиристорно-импульсными системами управления. Научно-технический сборник. Выпуск 30. – Харьков: Харьковская государственная академия городского хозяйства, 2001. – С. 236-241.

Рекомендовано до друку: професором Івановим О.Б.