



Авторы:

к.т.н.  
 Альтшуллер М.И.,  
 Пименов В.М.,  
 Мигушов С.Н.,  
 ООО НПП «ЭКРА»,  
 г. Чебоксары, Россия.

# БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩАЯ ЗАЩИТА ТИРИСТОРОВ В УСТРОЙСТВАХ ПЛАВНОГО ПУСКА ОТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

## HIGH-SPEED SHORT CIRCUIT PROTECTION OF THYRISTORS IN SOFT-STARTERS

Аннотация: рассмотрена возможность защиты тиристорных устройств плавного пуска высоковольтных электродвигателей от токов короткого замыкания с помощью быстродействующих предохранителей.

Ключевые слова: короткое замыкание, тиристор, реактор, предохранитель, устройство плавного пуска.

Abstract:

considered the possibility short-circuit protection of thyristors in soft-starters high voltage motors using fast fuses.

Keywords:

short-circuit, thyristor, reactor, fuse, soft-starter.



Альтшуллер Марк Исифович

Родился 05.10.1934 г.; в 1957 г. окончил Горьковский политехнический институт, электротехнический факультет; в 1971 г. защитил кандидатскую диссертацию в Горьковском политехническом институте, тема диссертации «Исследование реверсивного электропривода постоянного тока с симисторным возбудителем», член-корреспондент академии электротехнических наук Чувашской Республики; заведующий отделом электропривода НПП «ЭКРА» г. Чебоксары.

В настоящее время в устройствах плавного пуска высоковольтных электродвигателей для защиты тиристоров от разрушающего действия токов короткого замыкания, как правило, применяются воздушные токоограничивающие реакторы [1]. Выбор реакторов выполняется из условия ограничения тока короткого замыкания на уровне, безопасном для защищаемых тиристоров [2]. При этом должны быть выполнены следующие условия:

- ударный ток короткого замыкания  $I_{y0}$  не должен превышать аналогичного параметра тиристора  $I_{TSM}$ ;
- интеграл Джоуля первой однополярной полуволны тока короткого замыкания ( $I_{y0}^2 t$ ) не должен превышать аналогичный параметр защищаемых тиристоров ( $I^2 t$ );
- напряжение восстановления на тиристорах, закрывающихся после протекания полуволны ударного тока, не должно превышать величины  $U_6 \leq 0,6 U_{RRM}$  [3];
- действующее значение тока реактора не должно превышать его номинального значения.

При обеспечении вышеуказанных условий обеспечивается надежная защита устройств плавного пуска в течение расчетного срока эксплуатации.

Недостатком способа защиты тиристоров с помощью реакторов является высокая стоимость реакторов и их значительные массо-габаритные показатели [4]. Поэтому многие российские фирмы, поставщики устройств плавного пуска, устанавливают эти устройства у заказчиков без защиты от

токов короткого замыкания, ссылаясь при этом на их кратковременную работу. Однако при коротком замыкании в кабеле, через который поступает напряжение на двигатель при плавном пуске, в лучшем случае, выходят из строя последовательно соединенные тиристоры в двух фазах.

Вторым, общеизвестным, способом защиты тиристоров от токов короткого замыкания является применение быстродействующих предохранителей [5]. Выбор предохранителей для защиты тиристоров выполняется с обеспечением следующих условий:

- интеграл Джоуля предохранителя ( $I^2 t$ )<sub>пр</sub> не должен превышать аналогичный параметр защищаемых тиристоров ( $I^2 t$ );
- действующее значение тока устройства плавного пуска не должно приводить к плавлению предохранителя;
- напряжение, возникающее в момент прерывания тока предохранителя, не должно превышать величины  $U_6 \leq 0,6 U_{RRM}(U_{DRM})$  – максимально-допустимого значения напряжения тиристоров.

Рассмотрим эффективность применения вышеуказанных способов защиты тиристоров на примере системы плавного пуска высоковольтных электродвигателей насосной станции БКНС, однолинейная схема электроснабжения представлена на рис. 1.

Электроснабжение блочной комплектной станции БКНС выполнено по типовой двухтрансформаторной схеме с силовыми трансформаторами Т1, Т2 типа ТДНС 10000/35 У1 мощностью 10000 кВА. Питание

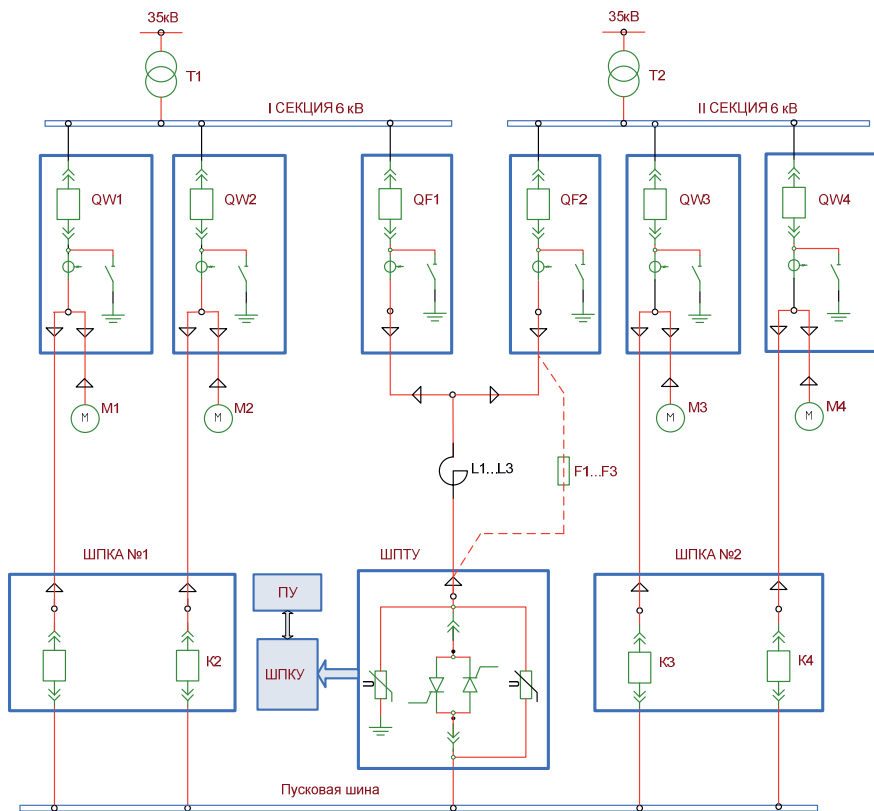


Рис. 1. Однолинейная схема электроснабжения БНЦ

синхронных двигателей M1, M2 (M3, M4) типа СТД 1600 (СТД 2000) в рабочем режиме осуществляется от секций I, II сборных шин  $U_n=6$  кВ через ячейки рабочих выключателей QW1...QW4.

С целью улучшения процесса запуска двигателей используется система плавного пуска, состоящая из:

- шкафа пускового тиристорного устройства исполнения ШПТУ-6-250-УХЛ4 с номинальным значением тока  $I_{н.ШПТУ}=250$  А;
- двух шкафов пусковых коммутационных аппаратов исполнения ШПКА К 2 400 УХЛ4 с контакторами КВТ 10 4 400;
- шкафа пускового контроллера управления ШПКУ;
- пульта управления ПУ.

Шкаф ШПТУ по цепи ввода подключается к секциям I, II сборных шин через ячейки сетевых выключателей

QF1, QF2 и устройства защиты тиристоров от токов короткого замыкания, а именно: токоограничивающие реакторы L1...L3 или быстродействующие предохранители F1...F3.

Плавный пуск двигателей насосной станции производится с пусковыми токами  $I_n=2,55 \cdot I_{ном}=564$ А, где  $I_{ном}$  – номинальное значение тока двигателя СТД 2000. Продолжительность пуска составляет  $t_n=(15-25)$ с. По окончании плавного пуска двигатель подключается к питающей сети через соответствующий рабочий выключатель QW1...QW4. Данная насосная станция спроектирована по принципу повышенной надежности, предполагающему нахождение одного насоса в ремонте, второго в резерве и двух в работе. Соответственно возможен вариант трех пусков подряд: штатный поочередный запуск двух и, при возникновении аварийной ситуации,

выключение аварийного и запуск резервного.

Таким образом, общая продолжительность пусков равна  $\sum t_{пн} \approx (45 \div 75)$  с. В устройствах ШПТУ после поочередного включения двигателей насосов суммарной продолжительностью  $\sum t_{пн} \approx 90$  с с токами  $I_n=3 \cdot I_{ном}$  регламентирован режим снятия нагрузки для охлаждения тиристоров и защитных RC-цепей продолжительностью  $t_{охл} \geq 10$  мин.

Оценим эффективность вариантов защиты.

В устройстве ШПТУ применены тиристоры фирмы ABB Semiconductors типа 5STP08G6500 с максимально-допустимой величиной ударного тока  $I_{TSM}=11,8$  кА и защитным показателем  $(I^2 t)_T=703 \cdot 10^3$  А<sup>2</sup>с. Для ограничения величины ударного тока трехфазного короткого замыкания на уровне  $I_{y0} \leq I_{TSM}$  необходимо установить трехфазный реактор с величиной индуктивного сопротивления

$$X_p \geq \frac{2\sqrt{2}U_n}{\sqrt{3}I_{TSM}} - \frac{U_n^2 \cdot U_k \%}{P_n \cdot 100},$$

где  $U_n, P_n$  – соответственно, номинальные значения напряжения и мощности трансформатора ТДНС 10000;  $U_k \%$  – напряжение короткого замыкания трансформатора ( $U_k \% = 8\%$ ).

В соответствии с принятым регламентом работы устройства ШПТУ действующее значение тока реактора должно быть

$$I_{p,ном} \geq \frac{I_n}{\sqrt{\frac{t_{охл} + \sum t_n}{\sum t_n}}} = 203 \text{ А},$$

Величина максимально-допустимого ударного тока реактора должна быть

$$I_{p,y0} \geq I_{TSM}.$$

Данным параметрам соответствует трехфазный реактор типа РТСТ-6(10)-250, стоимость этого реактора составляет (0,6-0,7) от стоимости устройства плавного пуска.

Защита тиристоров устройства ШПТУ может быть обеспечена высоковольтными предохранителями типа ННД-ВМ с защитным показателем  $(I^2 t)_{np}=559 \cdot 10^3$  А<sup>2</sup>с, меньшим анало-



**Пименов Виктор Михайлович**

родился 07.11.1945 г.; в 1969 г. окончил Пермский политехнический институт, кафедру «Электропривод». Заслуженный изобретатель Чувашской Республики; инженер-конструктор ООО НПП «ЭКРА», г. Чебоксары.



**Мигушов Сергей Николаевич**

родился 01.01.1984 г.; в 2007 г. окончил Чувашский государственный университет, кафедру «Системы автоматического управления электроприводами». Магистр техники и технологии; инженер-программист ООО НПП «ЭКРА», г. Чебоксары.

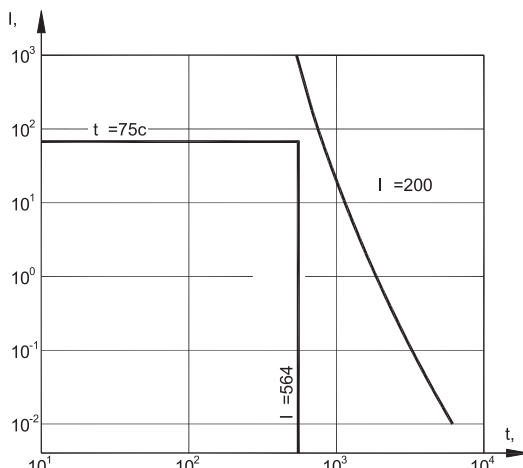


Рис. 2. Пусковые характеристики ШПТУ и высоковольтного предохранителя ННД-ВМ

гичного параметра защищаемого тиристора  $(I_2t)m=703 \cdot 10^3 \text{ A}^2\text{с}$ , номинальным значением тока  $I_n=200 \text{ A}$ , максимально-допустимым током  $I_f=50 \text{ кА}$  и минимальным значением тока плавления  $I_3=690 \text{ A}$  [5]. Стоимость комплекта из трех предохранителей в 20-25 раз дешевле реактора.

По каталожной перегрузочной характеристике предохранителей проверим возможность их применения в циклическом режиме устройства ШПТУ (см. рис. 2). В данном варианте нагрузочная характеристика устройства находится ниже перегрузочной характеристики предохранителя, что гарантирует возможность только одной процедуры поочередного пуска двигателей.

При указанном выше циклическом алгоритме работы устройства ШПТУ необходимо выполнение второго условия,  $t_{охл} \geq 3\tau$ , где  $\tau$  – тепловая постоянная предохранителя, гарантирующего полное охлаждение вставки предохранителя до температуры окружающей среды при снятии нагрузки. Невыполнение данного условия может привести к нарастающим циклическим перегревам вставки предохранителей при токах минимального значения  $I_3=690 \text{ A}$ , и выходу их из строя с разрушением защитной оболочки и открытой дуги. Для исключения данного режима в устройствах ШПТУ предусмотрен защитный алгоритм, блокирующий его включение при  $t_{охл} < 3\tau$ , недоступный для корректировки «любознательным» обслуживающим персоналом.

Насосная станция БКНС рассчитана на длительный режим работы двигателей с пе-

риодическим отключением для проведения профилактических мероприятий не более одного раза в рабочую смену. Соответственно, второе условие по выбору предохранителей выполняется, и защита тиристорных предохранителями является целесообразной по экономической эффективности.

Следует отметить, что кроме экономической эффективности применения предохранителей существует их техническое преимущество, заключающееся в том, что высоковольтные предохранители обеспечивают ограничение величины тока короткого замыкания за счет малой величины интеграла плавления  $I^2t$ . Соответственно, существенно снижается термическое и динамическое воздействие тока короткого замыкания на электрооборудование насосной станции.

**Литература:**

1. Альтшуллер М.И. Опыт по разработке и внедрению систем плавного пуска высоковольтных электродвигателей переменного тока / Марк Альтшуллер // Экспозиция Нефть Газ. – 1/Н (01) февраль 2009 г.
2. РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие материалы по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования / под ред. Б.Н. Неклепаева. – М.: ЭНАС, 2008. – 144 с.
3. Каталог на тиристоры ABB Semiconductors.
4. Каталог на реакторы РТСТ ООО «РосЭнергоТранс».
5. Каталог на высоковольтные предохранители SIBA серии HDD.