

УДК 621.316

А. Г. Сосков, докт. техн. наук,
Н. О. Сабалаева, канд. техн. наук,
А. В. Дорохов, канд. техн. наук
 Харьковская национальная академия городского хозяйства
 тел. (057) 707-31-11

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И РАСЧЁТ БЕСКОНТАКТНЫХ АВТОМАТОВ-ПУСКАТЕЛЕЙ НА БАЗЕ МОЩНЫХ ТИРИСТОРОВ С ПОВЫШЕННОЙ ПЕРЕГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ

Введение. В силовых коммутационных полупроводниковых аппаратах (КПА) мощные управляемые полупроводниковые приборы выполняют роль силового ключа, коммутирующего цепь нагрузки. С точки зрения разработчиков силовой части этих аппаратов указанный ключ должен обладать идеальными свойствами, т.е. мгновенно, при нулевой мощности управления переключать бесконечно большие токи и блокировать бесконечно большие напряжения, иметь нулевые остаточные напряжение и ток утечки, что пока это достижимо только при моделировании электрических схем на ЭВМ. Практические ключи могут лишь в некоторой степени приближаться к «идеальным».

В связи с необходимостью постоянно снижать массогабаритные показатели коммутационных аппаратов, не ухудшая при этом их эксплуатационные характеристики, разработчики всегда стремились создать коммутационный аппарат, обеспечивающий предельную коммутационную способность на уровне автоматических выключателей и коммутационную способность на уровне пускателей (контакторов). Такие аппараты, объединяющие в одном изделии защитный и пускорегулирующий аппараты, получили название автоматов-пускателей. К сожалению, образцы этих устройств, даже лучших, выполненных на основе традиционных решений, принятых при разработке контактной коммутационной аппаратуры, не отвечали поставленным требованиям, т.е. эти автоматы-пускатели имели существенно худшие технические характеристики в сравнении с заменяемой парой - автоматический выключатель и пускатель. Использование в силовой цепи этих аппаратов мощных тиристорных ключей с повышенной перегрузочной способностью позволило успешно разрешить указанную проблему.

Требования, предъявляемые к бесконтактным автоматам-пускателям (БАП). БАП должны обеспечивать надежную работу в длительном, кратковременном и повторно кратковременном режимах с учетом специфических особенностей нагрузки; безотказно выполнять защитные функции при возникновении ненормальных режимов работы (короткие замыкания, перегрузки, недопустимое снижение напряжения, обрывы фаз), при этом максимальные величины токов и напряжений в полупроводниковых элементах аппарата не должны превышать значения, равного 0,85 от предельно-допустимого значения указанных величин [1].

Также БАП должны допускать высокую частоту включений, вплоть до плавного регулирования тока нагрузки; обеспечивать минимальное время отключения цепи в аварийных режимах.

Важным требованием является обладать высокая технологичность конструкции БАП, а также удобство и безопасность при их обслуживании.

Желательно, чтобы БАП обеспечивали возможность дистанционного управления для осуществления автоматизации управления;

Целесообразно использовать БАП в качестве защитного аппарата, обеспечивающего управление работой потребителя (двигателя, нагревательной установки, плавильной печи и т.п.).

Наиболее полно отвечает указанным выше требованиям трёхполюсный БАП переменного тока, электрическая схема которого представлена на рис. 1.

Рассмотрение данного аппарата в качестве примера обусловлено тем, что КПА переменного тока имеют существенно большее применение, чем КПА постоянного. Так как все три полюса БАП полностью подобны друг другу, на электрической схеме показан только первый полюс.

Строение и принцип действия бесконтактного автомата-пускателя переменного тока. Каждый полюс выключателя содержит следующие функциональные узлы:

- полупроводниковый (тиристорный) ключ ПК, состоящий из двух встречно-параллельно включенных тиристоров VS1 и VS2;
- схему запуска, состоящую из оптронного тиристора U1, ограничивающего ток резистора R5, выпрямительного моста VD3-VD6, обеспечивающую подачу управляющего сигнала на тиристоры ПК во включенном состоянии аппарата;
- демпфирующую цепь, содержащую резистор R2 и конденсатор C1, служащую для ограничения амплитуды и скорости нарастания восстанавливающегося напряжения на тиристорах ПК;
- защитные элементы (резисторы R3, R4 и конденсаторы C2, C3), повышающие помехоустойчивость тиристоров ПК;
- цепь контроля, содержащую диод VD1, светодиод VD2 и резистор R1, служащую для сигнализации о работоспособности тиристоров ПК (в исправном состоянии ПК светодиод должен светиться в отключенном состоянии выключателя и должен погаснуть во включенном).

Кроме того, в состав БАП входят:

- блок управления БУ, состоящий из кнопок SB1 (Пуск) и SB2 (Стоп), маломощного тиристора VS3, обеспечивающего подхват кнопки SB1, ограничивающего резистора R11, трех светодиодов оптронных тиристоров U1 – U3, транзисторного ключа VT1, шунтирующего светодиода оптронных тиристоров, транзисторного ключа VT2, прерывающего ток тиристора VS3 и содержащий цепь контроля (резистор R7, светодиод VD7), сигнализирующую об исправной работе БУ;
- блок датчиков БД, содержащий датчики тока ДТ и датчики напряжения ДН;
- блока микропроцессорного БМП, обеспечивающего выдачу сигналов на выключение транзисторного ключа VT2 в ненормальных режимах работы выключателя на основании информации, поступающей с блока датчиков, а также на выключение – включение транзисторного ключа VT1, обеспечивая работу БАП в автоматическом режиме по заданной программе, которая может задаваться по отдельному входу БМП (задатчику программы).

Работает рассматриваемый БАП следующим образом. При нажатии кнопки SB1(Пуск) напряжение U_y через ограничивающий резистор R11 поступает на светодиоды оптронных тиристоров, обеспечивая таким образом подачу управляющего напряжения на тиристоры ПК и их включение. Силовые тиристоры первого полюса включаются по цепи: открытый оптронный тиристор U1, резистор R5, выпрямительные диоды VD3, VD6 (VD4, VD5), управляющий переход тиристора VS1 (VS2). При каждом последующем переходе тока в силовой цепи через нуль кратковременно

возникающее напряжение на тиристорах приводит к их повторному включению по указанной выше цепи.

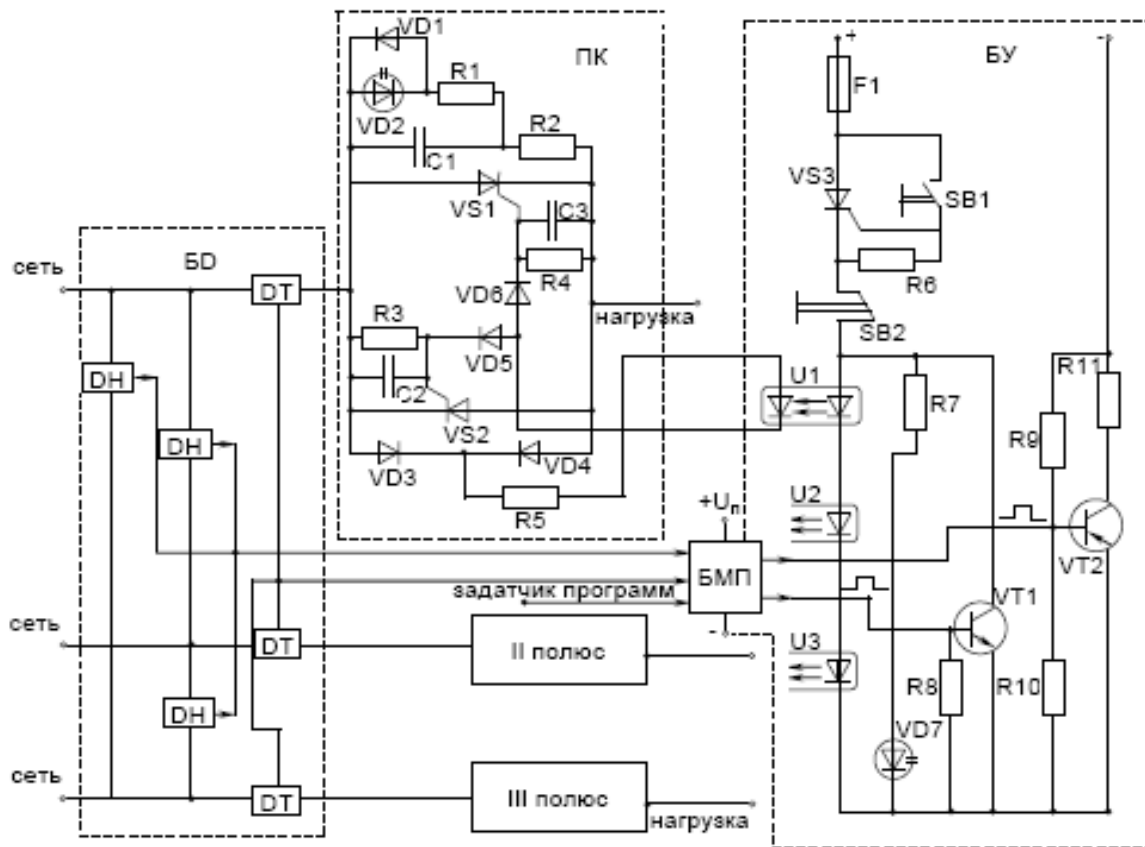


Рис. 1. - Схема электрическая бесконтактного автомата-пускателя переменного тока

При нажатии кнопки SB2 (Стоп) цепь питания светодиодов оптронных тиристоров размыкается (тиристор VS3 переходит в непроводящее состояние), оптронные тиристоры выключаются. Вследствие этого при первом же переходе тока в силовой цепи через нуль тиристоры ПК отключаются, обеспечивая выключение БАП. При автоматическом управлении работой аппарата вместо кнопки SB2 используется транзисторный ключ VT1, шунтирующий цепь светодиодов оптронных тиристоров U1-U3. По программе, заданной по входу «Задатчик программ», БМП обеспечивает подачу положительных импульсов на вход VT1. При этом длительность положительного импульса определяет время выключенного состояния аппарата, а длительность паузы между импульсами – время включенного состояния. Полное выключение БУ по-прежнему осуществляется с помощью кнопки SB2.

В ненормальных режимах работы БАП по информации, поступающей с блока датчиков БМП, выдает положительный импульс уже на вход транзисторного ключа VT2, который, запираясь, прерывает ток в цепь тиристора VS3, обеспечивая выключение аппарата так же, как и в случае с нажатием кнопки SB2. Наличие микропроцессорного устройства позволяет запрограммировать любой необходимый закон работы защиты в аварийных режимах. В данном аппарате при необходимости вместо кнопок могут использоваться дополнительные транзисторные ключи.

Расчет схем управления и защиты производится известными методами [1, 3-8].

Расчет силовой части бесконтактного автомата-пускателя. Расчет силовой части автомата-пускателя базируется на методах расчета, представленных в [1-3,].

Предлагается следующий алгоритм такого расчета:

- по заданному номинальному току аппарата на основе методов расчета токовой нагрузки и теплового режима управляемых полупроводниковых приборов (УПП) в непрерывном режиме работы выбирается тип силового тиристора (либо тиристорного модуля) по току, при этом предварительно предполагается, что напряжение класса тиристорov не менее $2 U_{m\phi}$ ($U_{m\phi}$ – амплитуда фазного напряжения);

- для выбранного типа тиристора (модуля) с помощью методов расчета теплового режима УПП в повторно-кратковременном режиме определяется номинальный рабочий ток БАП при заданных частоте и продолжительности включения, здесь же, используя методы прогнозирования циклоустойкости УПП, определяют, при необходимости, и этот параметр тиристорov;

- с помощью методов расчета теплового режима УПП в кратковременном режиме определяется перегрузочная способность аппарата по току ($I_{ном} = f(t)$), при этом защитная характеристика устройства максимальной токовой защиты должна всегда проходить ниже этой характеристики;

- при заданном минимальном значении $\cos \phi_n$ с помощью методов расчета теплового режима УПП в импульсном режиме определяется максимально возможное значение ударного тока короткого замыкания, отключаемого без повреждения БАП, которое с учетом коэффициента запаса $k_3 = 0,85$ и определяет предельную коммутационную способность аппарата;

- по заданному номинальному напряжению для выбранной схемы ПК с помощью методов расчета коммутационных перенапряжений на УПП при отключении активно-индуктивной нагрузки определяются оптимальные (по минимуму перенапряжению и его скорости нарастания) параметры защитной RC-цепи;

- на основании анализа результата расчета коммутационных перенапряжений на тиристорах в различных режимах работы БАП (реверс и отключение асинхронных двигателей, отключение короткого замыкания, воздействие внешних перенапряжений и т.п.), определяются максимально возможные значения коммутационных перенапряжений и скорости их нарастания, по которым выбирают класс тиристорov по напряжению и группу по du/dt с учетом $k_3 = 0,85$. В табл. 1 приведены результаты расчёта с помощью предложенного алгоритма силовой части БАП, где в качестве силовых тиристорov использовались наиболее совершенные образцы изделий фирмы Semikron.

Таблица 1

Результаты расчета параметров основных элементов силовой части БАП

Основн. параметры БАП		Расчетные параметры					
Ном. ток, А	Ном. напряжение, В	Тип силового тиристора	Класс по напряжению	Ном. рабочий ток, А*	Параметры RC-цепи		Предельная коммутационная способность, кА
					R, Ом	C, мкФ	
63,0	380	Thyristor Modules SKKT250 (2 тиристора в модуле)	8	50	22,0	0,5	4,5
100,0		Thyristor Modules SKKT330 (2 тиристора в модуле)		80			4,5
160,0		Thyristor Modules SKKT500 (2 тиристора в модуле)		125			8,5
250	660	Line thyristor SKT 1000 (таблеточный)	14	200			10,0
400		Line thyristor SKT 1800 (таблеточный)		320			22,0

Примечание: * Этот параметр рассчитан для частоты включений 1200 вкл/час и продолжительности включений 15%.

Выводы. Использование в силовой цепи БАП мощных тиристорных ключей с повышенной перегрузочной способностью позволило заметно улучшить коммутационные характеристики этих современных аппаратов, что позволило их использование вместо пары - автоматический выключатель и пускатель.

На основании приведенного алгоритма расчёта БАП с помощью ЭВМ были рассчитаны основные элементы силовой части бесконтактных автоматов-пускателей на номинальные токи от 63 до 400 А.

Поскольку БАП всегда устанавливают вблизи потребителя, а значит он всегда, достаточно удален от источника питания, то полученные результаты предельной коммутационной способности БАП полностью отвечают предъявленным требованиям к этому типу аппаратов [1].

Литература

1. Сосков А.Г. Полупроводниковые аппараты: коммутация, управление, защита: учеб. для студ. вузов / А.Г. Сосков, И.А. Соскова. – К: Каравелла, 2005. – 344 с.
2. Воронин П.А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Издательский дом «Додэка - XXI», 2005 – 384 с.
3. Колонтаєвський Ю.П. Електроніка та мікросхемотехніка: підруч. для студентів ВНЗ / Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков; за ред. А.Г.Соскова. – Вид. 2-е, переробл. і допов. – К.: Каравела, 2009. – 416 с.
4. Титце У. Полупроводниковая схемотехника: справочное руководство / У. Титце, К. Шенк; пер. с нем. А.И. Иванов. – М.: Мир, 1982. – 512 с.
5. Хорвиц П. Искусство схемотехники: В 3-х т.; пер. с англ. / П. Хорвиц, У. Хилл. – Изд. 4-е., перераб. и доп. – М.: Мир, 1993.
6. Електротехніка і мікросхемотехніка: підруч. для студентів ВНЗ, що навчаються за напрямками «Електромеханіка» та «Електротехніка»: у 4-х т. / В.І.Сенько, М.В.Панасенко, Е.В.Сенько та ін.; за ред. В.І. Сенько. – К.: Обереги, 2000.
7. Токхайм Р. Микропроцессоры: Курс и упражнения: пер. с англ. / Р. Токхайм; под ред. В.Н. Грасевича. - М.: Энергоатомиздат, 1988. – 336 с.
8. Макарычев Ю.М. Микропроцессоры в электрических аппаратах / Ю.М. Макарычев, С.Ю.Рыжков, Т.П.Жизарева – М.: Изд-во МЭИ, 1997. – 265 с.

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ Й РОЗРАХУНОК БЕЗКОНТАКТНИХ АВТОМАТІВ-ПУСКАЧІВ НА БАЗІ ПОТУЖНИХ ТИРИСТОРІВ З ПІДВИЩЕНОЮ ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНОЮ ЗДІБНІСТЮ

А. Г. Сосков, Н. О. Сабалаєва, О. В. Дорохов

Розглянуто принципи побудови і методи розрахунку сигової частини найбільш розповсюджених безконтактних автоматів-пускатів на базі новітніх напівпровідникових приладів.

THE PRINCIPLES OF ENGINEERING AND CALCULATION OF NONCONTACT ELECTRIC APPARATUS ON BASE OF HIGH-POWER THYRISTORS WITH BETTER OVERLOADING CHARACTERISTIC

A. G. Soskov, N. O. Sabalaeva, A. V. Dorohov

The principles of engineering and methods of calculation of the power part in noncontact electric apparatus on base of new semiconductor devices have been observed.