Расчет силовых элементов регуляторов мощности

Игорь Иванов,
инженер КИПиА Калашниковского электролампового завода (КЭЛЗ)

С бесконтактными коммутаторами и регуляторами мощности читатели могли познакомиться в предыдущих номерах АиП. Сомневаться в преимуществе метода регулировки с помощью блоков управления (БУСТ и БКСТ) не приходится. Но разработчик, пожелавший применить их на практике, сталкивается с задачей выбора силовых элементов. Силовые элементы и систему охлаждения нужно закупать дополнительно, что скажется на общих затратах. Не получится ли так, что сам блок стоит 3500 рублей, а со всеми элементами цена возрастет до 20 тысяч?

Компания ОВЕН несколько лет выпускает блок управления симисторами и тиристорами – БУСТ. Недавно в продажу поступил новый блок БКСТ – прибор для дискретного включения нагрузки, предназначенный для ШИМ или on/off регулирования. Силовые элементы и охладитель покупатель должен выбрать сам, исходя из конкретных условий.

Представим себе ситуацию, при которой необходимо управлять нагревателем мощностью 50 кВт, который состоит, например, из трех ТЭНов (или множества инфракрасных ламп). В этом случае нагрузку можно равномерно разделить на три фазы. Максимальный ток, протекающий через нагрузку, по каждой фазе равен:

I=P/3x220=75,7≈76А. На этот ток и будем подбирать компоненты и по ходу выясним, что же выгоднее – применить БУСТ с отдельно закупленными симисторами (тиристорами) или же купить готовый регулятор мощности с встроенными силовыми элементами.

Регулятор мощности

Для того, чтобы выбрать регулятор мощности, нужно знать максимальный ток, рабочее напряжение и выбрать способ управления. Для трехфазной нагрузки можно использовать три однофазных регулятора или один трехфазный. Первый вариант будет стоить чуть дороже, но обеспечит большую надежность системы.

Регуляторы мощности делают многие фирмы. Например, в качестве регуляторов с фазовым управлением подойдет МБТ1Ф160Т2 на 160 А (Термодат), с рабочим напряжением от 30 до 380 В и естественным охлаждением. Им можно управлять по интерфейсу RS-485 при помощи токового аналогового сигнала или вручную (потенциометром). Цена однофазного модуля – 18 000 руб., трехфазного – 46 000 руб.

Можно выбрать импортный регулятор, например, SIPIN W2 (китайского производства) – с минимальными функциями управления – токовым сигналом, сигналом напряжения и ручным способом управления. Охлаждение – вентилятор, включающийся и выключающийся автоматически. Цена 6800 руб. за однофазный блок на 100 А, и 8500 руб. на 125 А (цена подкупает и настораживает одновременно).

Можно обратиться и к европейским производителям. К примеру, регулятор Lumel RP1 (Польша) тоже имеет минимальные функции управления, но, в отличие от предыдущих, он может работать с индуктивной нагрузкой. Имеются модели с вентилятором и без него. Однофазная модель на 125 А стоит 17000 руб.

Остается выбрать производителя, закупить приборы и можно начинать монтаж системы. Если бюджет позволяет и есть модели с естественной системой охлаждения, то лучше остановить свой выбор на них - самых дорогих, но вместе с тем и самых надежных.

БУСТ и симисторы

Расчет системы, состоящей из нескольких функциональных элементов (полупроводники – охладитель - БУСТ) более сложен. Для начала определим границы применимости БУСТ. Для того чтобы симистор или тиристор перешел в проводящее (включенное) состояние, через цепь управления необходимо подать ток выше отпирающего тока управления I_{gt} (I_y), и напряжение выше постоянного напряжения управления V_{gt} (U_y). Максимальный ток управления, который может выдать БУСТ, составляет 600 мА при амплитуде управляющих импульсов 5 В. Например, симистору ТС143-1000 с рабочим током 1000 А для открывания нужен ток 300 мА и напряжение 3 В. У симисторов с меньшим рабочим током – ток открывания также 300 мА и ниже. Поэтому БУСТ пригоден для решения подавляющего большинства задач.

Симистор выбирается с запасом, т.е. при рабочем токе 76 А нужен симистор на 100 А. Можно использовать, ТС251-100 на 100 А или ТС251-125 на 125 А. Возьмем с запасом. При естественном охлаждении с симистором ТС251-125 часто используют радиатор 0151. Казалось бы, все подготовили, можно

закупать элементы и монтировать систему. Однако после монтажа и запуска объекта может обнаружиться, что при полной мощности симисторы разогреются до 150 °С (при максимально допустимой температуре 125 °С).

Причина в том, что радиатор не способен рассеять всю выделяемую симистором мощность. Приблизительно рассчитать выделяемую мощность симистора можно так: каждый симистор в открытом состоянии имеет падение напряжения на силовых электродах симистора (V_{tm} (U_{oc})). Обычно оно составляет: 1 – 2,5 В в зависимости от типа симистора и протекающего тока. Произведение падения напряжения на протекающий ток равно теряющейся мощности. Определить падение напряжения можно по ВАХ (рис.1) или по справочным данным. Для этого нужно знать два параметра: пороговое напряжение V_{to} ($U_{пор}$) и динамическое сопротивление Rt ($R_{дин}$). Формула расчета падения напряжения: ($V_{to}+R_{tx}I_t$), где I_t – действующий ток. Выделяемая мощность равна: $P=(V_{to}+R_{tx}I_t)xIt$.

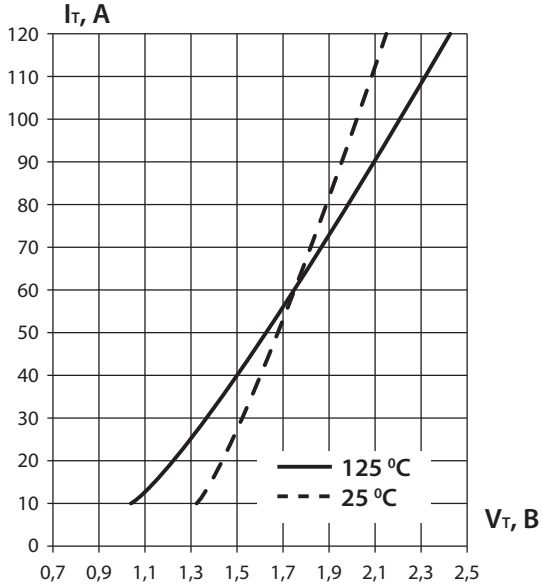
У симистора ТС251-125 (V_{to}=1,25В; R_t=3.5 мОм, таким образом, мощность выделяемая симистором равна: (1,25+0.0035x76)x76=115,2. Максимальная же рассеиваемая мощность охладителя О151 только 50 Вт. Поэтому необходимо либо устанавливать активную систему охлаждения, либо использовать больший радиатор, в противном случае симисторы не проработают и недели.

Удобнее, с моей точки зрения, рассчитать примерную выделяемую мощность симистора, подобрать охладитель способный ее рассеять, и уже в последнюю очередь подобрать сам симистор под данный охладитель.

Как было сказано ранее, мощность рассеивания на максимальной мощности составляет 100-120 Вт, в зависимости от симистора. Для данного диапазона мощностей выбор радиаторов невелик - О271 и О281 (мощность рассеивания обоих – 130 Вт). Охладитель О281 предназначен для симисторов ТС171 и ТС271 (250 А). Охладитель О271 предназначен для симисторов ТС161 и ТС261 (160-200 А).

Параметр «максимальная мощность рассеивания» говорит о том, что при этой мощности радиатор нагреется до температуры 85-90 градусов (плюс температура окружающей среды). Если он неизвестен то его можно рассчитать по формуле P=T/R, где R - тепловое сопротивление «контактная поверхность-среда» радиатора, T - максимально допустимая температура.

Выберем симистор. Симисторы ТС161 и ТС261 близки по параметрам, но ТС261 имеет большую стойкость к кратковременным перегрузкам и имеет чуть меньшее падение напряжения на силовых электродах. Остановим свой выбор на ТС261-160 (V_{to}=1,15В, R_t=2,7мОм), таким образом, рассеиваемая мощность симистора равна: P=(1,15+0,0027x76)x76= 103 Вт. При температуре окружающей среды 25°С, симистор разогреется примерно до 85-90°С, при максимальной температуре 125°С - это допустимо.



Симистор используется в общепромышленной сети 3x220 В, схема соединения – «звезда» с нулем в общей точке нагрузок. К симистору в закрытом состоянии прикладывается напряжение 220 В. Максимальное значение напряжение ($U_м$), прикладываемое к симистору, в закрытом состоянии не должно превышать допустимое значение повторяющегося импульсного напряжения ($U_{зс,п}$), которое определяет класс симистора. Максимальное значение напряжения, приложенное к симистору, зависит от амплитудного значения напряжения питающей сети с учетом возможного его повышения на 10% ($К_с$=1,1) и максимально допустимого значения перенапряжения ($К_п$=1,5).

Из этого следует, что максимальное значение напряжения которое может быть приложено к симмистору 510,4 В. Значит симистор нужен классом не ниже шести, так как импульсные напряжения в промышленной сети могут быть гораздо выше учтенных при расчете, кроме того, возможно приложение линейного напряжения к симмистору – например, при пробое симистора и обрыве нулевого провода, или при неправильном подключении. Поэтому лучше выбрать класс по напряжению не ниже 9 - 10.

Поэтому нужный нам симистор – ТС261-160-10. Для защиты от короткого замыкания нужно установить автоматический отсекатель. Максимальный ток в нагрузке – 76 А, из стандартного ряда значений ближайший по номиналу тока автомат на 80 А. Однако на максимальной мощности автомат будет нагреваться и может сработать теплозащита. Лучше остановиться на номинале 100 А, например на ИЭК ВА 47-100.

Выбор симисторов для использования в схеме соединения «треугольник» имеет некоторые особенности. Допустим мощность нагревателя 10 КВт, тогда протекающий фазный ток будет равен 10000/380 = 26 А. Этот ток можно принять за расчетный только для схемы соединения «разомкнутый треугольник». В схеме же соединения «замкнутый треугольник» через симистор протекает линейный ток, равный $I_{фазный}\sqrt{3}$, то есть при такой схеме за расчетный ток следует принимать 45 А. При рас-

чете максимального действующего напряжения приложенного к закрытому симистору (U_C) нужно принять равным 380. Поэтому класс напряжения должен быть не ниже 9.

Подбор основных комплектующих завершен, осталось закупить различные элементы для монтажа: провод на нужный ток, клеммные зажимы, варисторы, резисторы и конденсаторы. Последние устанавливаются параллельно силовым электродам симистора и необходимы для защиты от кратковременных высоковольтных выбросов. При монтаже нужно учесть, что радиатор электрически не изолирован от симистора, поэтому крепеж необходимо производить на непроводящем материале. Для лучшей теплоотдачи радиатор лучше разместить вертикально. Если установлена воздушная система охлаждения, то поток воздуха от вентилятора нужно направлять снизу-вверх вдоль ребер радиатора. Чтобы симисторы не нагревали друг друга, нужно расположить их на некотором расстоянии друг от друга.

Система охлаждения

Существуют три вида систем охлаждения – естественная (конвективная), принудительная (воздушная) и жидкостная (пропускание воды через рубашку). Жидкостная система применяется для очень мощных приборов, коммутирующих большие токи, и в большинстве случаев использовать ее нецелесообразно. В случае принудительного охлаждения, например, в условиях сильной запыленности воздуха вентилятор быстро засорится и остановится, придется его снимать, чистить, смазывать или менять на новый.

Разработчику системы (имеется в виду конечный пользователь – инженер КИП или АСУ) стоит стремиться использовать естественную систему охлаждения. Помимо надежности естественная система охлаждения предпочтительней еще и с точки зрения затрат. Посчитаем, сколько будет стоить система с естественной и принудительной системой охлаждения. Цены получены у производителя тиристоров, симисторов и радиаторов «Электровыпрямитель» (г. Саранск). Сравним систему, которую выбрали первой – ТС251-125 и 0151 с системой ТС261-160 и 0271. Цена ТС251-125 – 1768 руб., 0151 – 328 рублей, в сумме 2096 руб. Цена ТС261-160 – 1806 руб., 0271 – 561 руб., в сумме 2367 рублей. Разница равна цене дешевого китайского вентилятора, необходимого для охлаждения первой системы. Таким образом, материальной выгоды нет или она минимальна.

Применения БУСТ

С тиристорами.

БУСТ способен работать и с тиристорами. Недостаток такой системы в том, что элементов нужно в 2 раза больше. Преимущество – нагрузка разделяется поровну на оба прибора, поэтому тиристоры можно брать с током вдвое ниже номинального. Также снижается мощность, выделяемая каждым прибором, поэтому можно использовать радиаторы с меньшей теплоотдачей.

С тиристорными и симисторными модулями.

Главное преимущество модулей – отвод тепла через керамику, изолирующую медное основание. В этом случае охладитель не будет, как в случае с тиристорами и симисторами, находиться под напряжением, что повысит безопасность системы и упростит монтаж. Кроме того модули имеют меньшее падение напряжения по сравнению с симисторами.

С дискретными симисторными модулями.

Многие фирмы производят готовые симисторные модули – бесконтактные пускатели, имеющие RC-цепочки и варисторы, и построенные по примерно одинаковой схеме. Такие модули предназначены для вкл/выкл- или ШИМ-регулирования. Переделать подобные модули для использования с БУСТ не составит большого труда. Преимущества данного выбора – разработчику не нужно рассчитывать охладитель, подбирать симистор, внешний охладитель изолирован от токоведущих цепей, Недостаток – более высокая цена, а переделка модуля, скорее всего, лишит вас гарантии.

С регуляторами старых образцов с и аналогичными.

Сегодня на некоторых объектах сохранились и продолжают работать П- и ПИД-регуляторы старых образцов, например, такие как: Р-111 + У-252 и т.п. При модернизации объектов с подобными приборами не стоит пренебрегать использованием уже установленных тиристорных усилителей. Достаточно адаптировать схему под БУСТ, «выбросив» из схемы все кроме тиристоров, радиаторов и защиты.

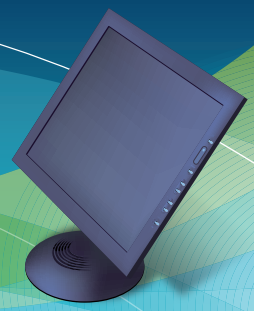
Посчитаем сколько в итоге может стоить система с отдельно закупленными симисторами, радиаторами и элементами монтажа. Ориентировочные цены приведены в таблице.

Итог

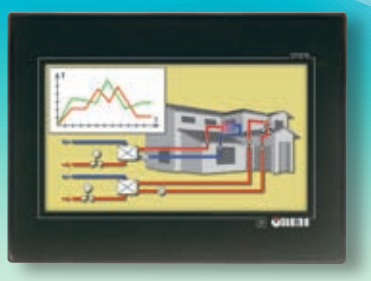
Цена системы с использованием БУСТ ниже, по сравнению с ценой регуляторов мощности на тот же ток. Кроме того, дальнейшая эксплуатация и ремонт, обойдутся дешевле. Например, в случае короткого замыкания или перенапряжения менять, скорее всего, придется симисторы стоимостью 1800 руб., а в случае с регулятором мощности – целиком регулятор за 6800-18000 руб.

Элемент	Цена	Количество	Цена за комплект (руб.)
Тиристор ТС261-160-10	1806	3	5420
Охладитель 0271	561	3	1680
ОВЕН БУСТ	3200	1	3200
ИЭК ВА 47-100	170	3	500
Прочее (ИЭК ЗНИ 35 мм, крепеж на DIN рейку, провод)	≈1000	1	≈1000
		ИТОГО:	11800 руб.

Операторские панели ОВЕН



Операторские панели представляют собой компактные специализированные устройства, позволяющие решать задачу организации человеко-машинного интерфейса при управлении различным оборудованием. Такие устройства приобретают все большую популярность при создании систем управления на базе свободно программируемых контроллеров.



Панель СМИ1 с простой настройкой и яркими светодиодными индикаторами предназначена для построения несложного человеко-машинного интерфейса в системах управления с небольшим количеством параметров.

Панель имеет 2 четырехразрядных семисегментных индикатора, позволяющих отображать по 2 оперативных параметра на двух экранах, и редактировать до 16 конфигурационных параметров.

В СМИ1 интегрированы два независимых интерфейса RS-485 и RS-232, которые обеспечивают одновременную работу по протоколам ОВЕН или Modbus.

СМИ1 может быть использована в системах управления, построенных на базе контроллеров ОВЕН ПЛК, терморегуляторов ОВЕН (ТРМ2хх, ТРМ101, ТРМ138), модулей ввода/вывода МВА8, МВУ8), а также приборов других производителей, поддерживающих протокол Modbus. Панель может применяться для индикации параметров работы оборудования, для задания уставок, порогов срабатывания компараторов и аварий, коэффициентов регулирования и прочих конфигурационных параметров системы.

Цена: 2360 руб.

Панель ОВЕН ИП320 предназначена для организации человеко-машинного интерфейса в системах управления и регулирования промышленных линий или установок средней степени сложности с числом контролируемых параметров порядка 100 единиц.

Панель имеет графический монохромный дисплей диагональю 3,7" и разрешением 192x64 точек и возможностью отображения текстовой и графической информации, которые могут быть сгруппированы на нескольких экранах.

ИП320 имеет один интерфейс, который может одновременно работать в режимах RS-485 и RS-232. Обмен данными по сети осуществляется по протоколу Modbus RTU. Панель поддерживает совместную работу с ОВЕН ПЛК, с модулями ОВЕН МВА8, МВУ8, МДВВ, а также приборами и контроллерами других производителей.

Панель специально разработана для условий промышленных применений. Соответственно, имеет защиту от внешних воздействий, отличается удобством обслуживания и достаточной для подобных применений производительностью. Она может использоваться совместно с ПЛК для автоматизации систем управления климатом, вентиляцией, для автоматизации зданий, систем «Умный дом».

Цена: 4956 руб.

ОВЕН СП270 – операторская панель с сенсорным экраном, может использоваться в качестве средства визуализации различных приложений, для которых требуется большая наглядность и отображение значительного объема данных. Широкие возможности панели, позволяют использовать ее в системах с числом параметров превышающим сотни единиц.

Панель имеет сенсорный экран диагональю 7" с разрешением 480x234 точек и поддержкой 256 цветов.

СП270 имеет два независимых последовательных интерфейса RS-232 и RS-232/RS-485, которые позволяют одновременно работать с оборудованием, с различными сетевыми характеристиками. Поддержка протокола Modbus (RTU/ASCII) обеспечивает работу панели с приборами ОВЕН и с устройствами других производителей, поддерживающими этот протокол.

Панель позволяет создавать отдельные экраны настроек и конфигурирования, настраивать автоматическое переключение по определенному событию. На отдельных экранах панели можно выводить оперативное состояние управляемого объекта, журнал событий и тревог.

Панель СП270 может применяться для автоматизации промышленных установок, станков, сложных технологических линий в пищевой, легкой, химической промышленности, в металлургии, энергетике, сельском и коммунальном хозяйстве.

Цена: 13570 руб