



Электрический двигатель ставит новые задачи

Силовые реле Tyco Electronics для гибридных автомобилей



Михаил Поляков

Автомобили с гибридным приводом, а за ними и автомобили с полностью электрическим двигателем приобретают все большую популярность. Toyota заявила о продаже миллионного по счету гибридного автомобиля, Mitsubishi начала серийное производство электромобиля, способного заряжаться от обычной розетки, американская фирма Zero серийно производит несколько моделей мотоциклов с питанием от аккумуляторных батарей. В эту гонку включилась и Россия: в начале 2011 г. компания «ё авто» официально представила первые экземпляры «ё мобиля» с гибридным приводом и роторно-пластинчатым двигателем внутреннего сгорания. Появление в конструкции автомобиля мощных генераторов и электромоторов ставит перед инженерами новые задачи, требует применения иных материалов и электронных компонентов. В статье описан круг проблем, возникающих при передаче большой электрической мощности в бортовых сетях автомобиля, и способы их решения. В качестве рекомендованных для этого компонентов представлена продукция Tyco Electronics — одного из мировых лидеров в производстве компонентов для силовых электрических цепей.

Энергию для научно-технической революции XIX века дали уголь и нефть. На протяжении всей истории автотранспорта слова «машина» и «бензин» были неразрывно связаны. Сегодня мы становимся свидетелями революционных изменений всей автоиндустрии в целом. Силовые агрегаты, использовавшие традиционные источники топлива, сменяются электрическими машинами. Автомобиль с гибридным приводом стал обычным явлением. В ближайшие годы аккумуляторные батареи и топливные ячейки в качестве основного источника энергии машины перестанут казаться экзотикой. Изменения можно наблюдать во всех без исключения узлах автомобилей. То, что раньше приводилось в движение механической передачей или не было автоматизировано вообще, получает более простой и надежный электрический привод. В качестве примеров можно привести электроусилитель руля, пришедший на смену гидравлическому, электриче-

ские стеклоподъемники. Изменения не ограничены одной отдельно взятой отраслью промышленности. Меняется инфраструктура и как часть ее — система передачи и распределения электроэнергии.

Высоковольтные предохранители — необходимость

Независимо от энерговооруженности (мощность может колебаться от 10 и до более чем 120 кВт) оборудованная электрической силовой установкой машина всегда будет иметь одни и те же особенности. В частности, напряжение на силовых высоковольтных аккумуляторах в десятки раз превосходит напряжение в бортовой сети 12/24 В автомобиля с обычным двигателем внутреннего сгорания. Как результат, ужесточаются требования, предъявляемые ко всем элементам для построения электрической сети. К примеру, физический контакт человека с оголенными токонесущими эле-

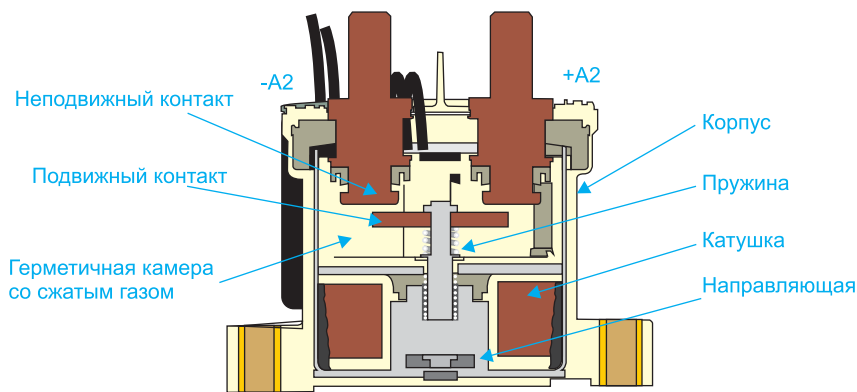
ментами теперь должен быть полностью исключен. Напряжения могут достигать 1000 В, а токи короткого замыкания — многих килоампер.

В ряде случаев необходимо иметь возможность полного отключения высоковольтного аккумулятора от всей остальной электрической сети, размыкания высоковольтной цепи одновременно в нескольких местах. Такая потребность может возникнуть во время технического обслуживания, но важнее всего предусмотреть экстренное отключение аккумулятора в нештатной ситуации, при аварии или выходе из строя электрической системы. Меры безопасности продиктованы простыми законами физики: при коротком замыкании вся запасенная в аккумуляторе энергия перейдет в тепло.

Проблема безопасности при отказе от традиционных видов топлива не только не исчезает, как это могло бы показаться, а наоборот встает острее. Одни только реле не могут решить задачу экстренного отключения аккумулятора. Эффективным оказывается применение реле в сочетании со специальными высоковольтными предохранителями.

Конструкция и применение высоковольтных реле

Самая большая проблема любого высоковольтного реле — это электрическая дуга, неизменно возникающая при размыкании контактов. Гашение электрической дуги осуществляется несколькими способами. Зачастую в силовых реле контакты помещены в камеру, заполненную сжатым водородом или азотом. Специальные магниты отклоняют электрический разряд



● Рис. 1. Силовое реле Thyro Electronics в разрезе

и «выталкивают» его из пространства между контактами (в слаботочных реле задача решается одними только магнитами). Типовая конструкция силового высоковольтного реле изображена на рис. 1.

Если сравнивать высоковольтное реле с обычным 12-В, то они, по сути, имеют одинаковое устройство, а их характеристики описывают одни и те же физические величины. Рабочее напряжение порядка киловольта приводит к многократному усложнению всех задач, ужесточению требований. Особенности конструкции, не игравшие большой роли в низковольтных реле, выходят на первое место.

Время переключения реле зависит от расстояния между контактами. В высоковольтном реле это расстояние оказывается на порядок больше, и следовательно, острее встает необходимость найти способ это расстояние сократить. Время срабатывания реле увеличивается из-за диода, который ставится параллельно управляющей катушке для гашения в ней высоковольтных выбросов. После отключения катушки ток продолжает какое-то время течь через диод, и реле не переключается. Этот эффект становится особенно заметен, когда для управления реле используется широтно-импульсная модуляция (ШИМ).

Скорость движения контактов при размыкании цепи должна быть как можно больше. Но в то же время большая скорость движения контактов вызывает их дребезг при замыкании. Контакты соударяются и отскакивают друг от друга большое число раз, это сопровождается искрением, нагревом и расплавлением небольшой части их поверхности. Контакты могут просто слипнуться.

Проблему решают при помощи специальной цепи предварительной зарядки, речь о которой пойдет ниже. Цепь предварительной зарядки — это одна из отличительных особенностей высоковольтных систем коммутации.

Предварительная зарядка и процесс включения

На рис. 2 изображена упрощенная схема питания контроллера управления двигателем. Линии В+ и В- идут к клеммам аккумулятора. Два силовых реле могут работать независимо друг от друга. После реле, перед контроллером двигателя установлен фильтрующий конденсатор. Слаботочное реле и резистор образуют цепь предварительной зарядки. Процесс включения начинается с замыкания силовым реле линии В-. Искрения при этом не происходит, так как реле на линии В+ при этом разомкнуты и ток в цепи не течет. Затем замыкается реле предварительной зарядки. Ток через него ограничивает резистор. Процесс зарядки конденсатора обычно длится несколько сотен миллисекунд. Когда конденсатор оказывается заряжен до 90–95% от но-

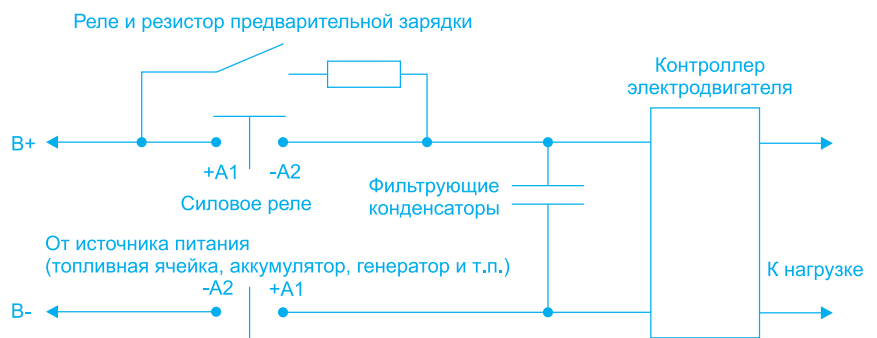
минального напряжения, замыкается силовое реле на линии В+. После этого ток перестает течь через реле предварительной зарядки, и оно может быть отключено. При зарядке конденсатора через силовое реле неизбежно протекает большой импульс тока. Предварительная зарядка конденсатора до 90–95% от номинального напряжения снижает этот ток в 10–20 раз. Схема предварительной зарядки работает, только если контроллер двигателя отключен и не разряжает фильтрующий конденсатор.

Работа под нагрузкой и процесс отключения

В штатном рабочем режиме силовые реле на линиях В- и В+ пропускают токи до нескольких сотен ампер. Перед отключением реле контроллер двигателя должен сократить потребляемый ток, насколько это возможно. Первым размыкается реле на линии В+. Размыкание происходит при номинальном рабочем напряжении, при этом в реле между контактами может возникнуть электрический разряд, как это было описано выше. Реле на линии В- замыкается, уже будучи обесточенным.

Отключение нагрузки в аварийном режиме

Аварийное отключение подразумевает отсутствие каких бы то ни было подготовительных действий, направленных на уменьшение тока в цепи. Первым размыкается реле на линии В+, и именно оно должно быть рассчитано на переключение при максимальных рабочих токах и напряжениях. В системах питания автомашин с электрическими двигателями это напряжения порядка киловольта и токи до несколь-



● Рис. 2. Силовое реле и цепь предварительной зарядки в высоковольтной системе питания автомобиля



● Рис. 3. Силовое реле Tusco Electronics EV200

ких сотен ампер. Между размыкающимися контактами при этом возникает электрический разряд, разрушительное действие которого необходимо прогнозировать и учитывать.

Помимо всего прочего, параметры такого разряда зависят от сопротивления питающих кабелей, их паразитных емкости и индуктивности. Энергия заряженного конденсатора пропорциональна квадрату напряжения. Поэтому влияние паразитных емкостей на работу системы с напряжением порядка киловольта на 3 порядка больше, чем их влияние в классической 12-В бортовой сети автомобиля.

Это еще один пример того, как высокие напряжения усложняют стоящие перед разработчиком задачи.

Короткое замыкание и предохранитель

Ток короткого замыкания зависит от очень многих факторов. Для рассматриваемых нами систем можно назвать среднее значение 4 кА. С развитием технологий внутреннее сопротивление аккумуляторов и вообще всех цепей

уменьшается, поэтому в ближайшее время эту оценку придется увеличить еще в полтора раза.

Понятно, что возникновение короткого замыкания требует немедленного размыкания цепи. Для того чтобы коммутировать такие большие токи при помощи реле, их массу и габариты пришлось бы увеличить во много раз. Обычные штатные реле не выдерживают не только переключения при токах в несколько килоампер, они не могут даже просто пропускать их. Контакты реле начинают нагреваться, плавиться, искрить, и от этого нагреваются еще быстрее. Для экстренного размыкания цепи в случае короткого замыкания используются плавкие предохранители.

Подведем итоги

XXI век открыл для инженеров новое направление — проектирование высоковольтных систем питания электромобилей. На первый взгляд может показаться, что решение подобных задач не должно требовать никаких специфических знаний: электрический ток открыли не вчера, а электромоторы и ге-

нераторы вряд ли еще смогут удивить какими-то принципиально новыми решениями. Все сложности, как это обычно бывает, кроются в деталях. Система электропитания автомобиля должна быть легкой и занимать минимальный объем пространства, это ставит жесткие ограничения на максимальные рабочие и пиковые токи. Рабочие напряжения до 1000 В и токи короткого замыкания в несколько килоампер в условиях того, что все автомашины, так или иначе, попадают в аварии, делают крайне важным вопрос безопасности. В аварийном режиме силовая цепь должна размыкаться одновременно в нескольких местах при помощи реле и включенных последовательно с ними плавких предохранителей. Для решения всех указанных задач применяются специальные компоненты Tusco Electronics.

Продукция Tusco Electronics

Разработчику, столкнувшемуся с задачей построения силовой электрической цепи, следует обратить внимание на продукцию Tusco Electronics. Эта компания производит компоненты для промышленных высоковольтных систем уже несколько десятилетий, и ее решения прекрасно себя зарекомендовали. Tusco Electronics предлагает своим потребителям большой выбор реле, разъемов, плавких предохранителей, электронику для создания систем защиты от перегрева и прочие сопутствующие компоненты. Изделия сопровождаются качественной технической документацией, на сайте компании работает служба технической поддержки.

Компания Tusco Electronics добилась больших успехов в уменьшении массогабаритных характеристик силовых компонентов и как следствие — снизила их стоимость для конечного потребителя. В качестве примера на рис. 3 изображено реле EV200 Tusco Electronics. При массе 430 г оно способно пропускать ток до 500 А при напряжении до 2200 В в течение 10 с, ток в 300 А — в течение 100 с. Ресурс этого реле составляет 1 млн переключений.

Для ознакомления с возможностями некоторых высоковольтных реле Tusco Electronics в таблице 1 приведены их параметры.

Таблица 1. Технические характеристики высоковольтных реле Tusco Electronics

Наименование	Рабочее напряжение, В	Рабочий ток, А	Управляющее напряжение, В	Масса, кг
EV200ADANA	2200	500	9–36	0,43
EV250-1A	2200	400	12	0,8
EV500-4A	1800	750	24	1,53
H-14	12 000	30	12	3,5
HC-4	8000	15	26	0,7
PD90XC57	1800	90	24	0,45
PD90XB57	1800	90	125	0,45