

# Высоковольтный автомобильный контактор

## EVC 250 TE Connectivity

Контактор EVC 250 предназначен для применения в системах питания гибридных приводов, полностью электрических транспортных средствах и транспортных средствах на топливных элементах, а также в бортовых системах зарядки. В комбинации предохранителей и реле контактор используется для гальванической развязки, он был специально разработан специалистами компании TE Connectivity с учетом требований для данной области применения. Статья основана на технической документации компании TE Connectivity [1] и соответствующих спецификациях.

Перевод:  
Владимир Рентюк

Виктор Виноградов

elmeh@ptelectronics.ru

### Введение

К транспортным средствам с батарейным питанием относятся системы приема, накопления и хранения электроэнергии, которые отличаются большим объемом накопления энергии и высокой удельной мощностью. Они должны быть оснащены защитными устройствами, такими как предохранители, автоматические выключатели или главные контакторы, на случай перегрева аккумуляторных систем хранения энергии из-за перегрузки по току. Это соответствует положениям Регламента Европейской экономической комиссии «ECE R-100, Battery-Powered Electric Vehicles» («ECE R-100, электрические транспортные средства с батарейным питанием»). Аналогичное требование содержится и в стандарте LV123 [2] для автомобилей, выпускаемых немецкими автопроизводителями. В Российской Федерации в этом направлении еще недавно действовал

ГОСТ Р 50030.4.1-2012 (МЭК 60947-4-1:2009) «Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 4. Контакторы и пускатели. Раздел 1», который с 1 марта 2022 года заменил ГОСТ IEC 60947-4-1-2021.

Что касается непосредственно контакторов, то это не электромеханические реле в полном смысле, хотя их принцип действия в целом одинаков. Согласно определению, данному в ГОСТ Р 50030.4.1-2012, «контакторы переменного и постоянного тока предназначены для замыкания и размыкания электрических цепей, а в комбинации с соответствующими реле и для защиты этих цепей от возможных рабочих перегрузок».

Требования стандарта LV123 гласят: *«В случае перегрузки по току накопитель энергии и/или высоковольтная батарея должны быть отделены от высоковольтной цепи постоянного тока с помощью подходящих контакторов, независимо от направления протекания тока».*

Это означает, что:

- оба полюса аккумулятора должны быть отсоединены от электрической системы транспортного средства [3];
- главный контактор не должен размыкаться без причины;
- главный контактор должен размыкаться при выключении сигнала активации [4];
- предохранитель и главный контактор должны надежно отделять аккумуляторную систему от двигателя в случае перегрузки токами, например при аварии [5];
- главный контактор должен сохранять полную функциональность, то есть проводить или разделять токи, пока не сработает предохранитель;
- размыкающие контакторы должны обеспечивать достаточное сопротивление изоляции между системой накопления энергии и транспортным



средством после отключения в условиях неисправности.

Архитектура, учитывающая эти требования, представлена на рис. 1.

В соответствии с требованием п. 1 имеется два главных контактора: один из них прерывает отрицательный полюс батареи, другой — положительный. В цепи положительного полюса предусмотрен предохранитель. На входе инвертора установлены фильтрующие конденсаторы, которые при замыкании цепи создают большой пусковой ток, ограниченный только сопротивлением кабеля и собственным импедансом источника — батареи. Эффективное сопротивление находится в диапазоне около 100 мОм. Чтобы снизить нагрузку на компоненты при включении, емкость заряжается перед замыканием главного контактора через цепь предварительного заряда. При уровне предварительного заряда 95% система батарей 450 В будет генерировать пусковой ток, ограниченный примерно 230 А. При каждом запуске автомобиля ток должен включаться главным контактором.

Главный контактор EVC 250 (рис. 2) был разработан именно для этого применения. В отличие от других герметичных и газонаполненных коммутационных решений контактор EVC 250 с оптимизированной конструкцией коммутационной камеры обеспечивает возможность отключения полного тока даже в условиях пониженного атмосферного давления на высоте до 5000 м над уровнем моря. Контактор EVC 250 соответствует требованиям ISO 6469 [6] и DIN EN 60664 (IEC 60664) [7] для устройств управления с номинальным напряжением менее 500 В постоянного тока. В Российской Федерации в этом направлении действует ГОСТ Р ИСО 6469-1-2016 «Транспорт дорожный на электрической тяге. Требования безопасности. Часть 1», который с 1 марта 2022 заменен на ГОСТ Р ИСО 6469-1-2021 и ГОСТ Р МЭК 60664.1-2012 «Координация изоляции для оборудования в низковольтных системах. Часть 1. Принципы, требования и испытания».

На завершающем этапе разработки продукта специалистами компании TE Connectivity была



Рис. 2. Внешний вид контактора EVC 250 TE Connectivity

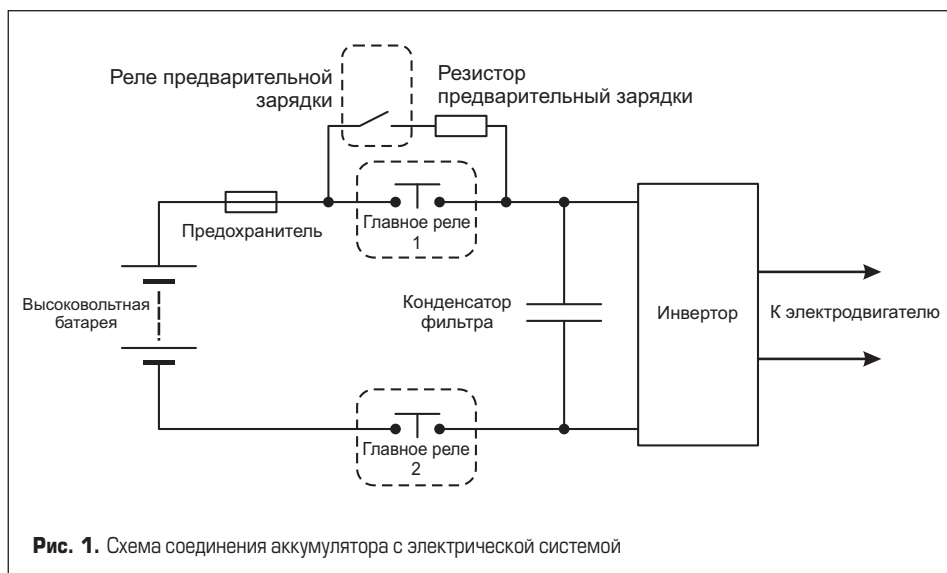


Рис. 1. Схема соединения аккумулятора с электрической системой

успешно реализована упрощенная механическая конструкция, оптимизированная для полностью автоматической сборки. Кроме того, в конце срока службы, несмотря на ожидаемый износ контактов, устройство должно быть способно выдерживать перегрузку по току.

### Технические требования к контактору

#### Ограничения и поведение при перегрузке

Согласно требованиям стандарта IEC 60947-2 [8] (в Российской Федерации действует аналогичный документ — ГОСТ Р 50030.2-2010 (МЭК 60947-2:2006) «Аппаратура распределения и управления низковольтная»), номинальные наибольшие отключающие способности ( $I_{CU}$ ) и номинальный кратковременно выдерживаемый ток ( $I_{CW}$ ) главного контактора должны соответствовать характеристикам предохранителя. При обнаружении перегрузки по току контактор размыкается по истечении заданного времени задержки. В случае жесткого короткого замыкания такая задержка предотвращает переключение

контактором нагрузки, превышающей его номинальный предел. Другими словами, выдержав определенное время, контактор должен быть способен отключить уровень тока, который был недостаточно высок для срабатывания предохранителя в течение выдержки времени.

Поскольку собственное сопротивление автомобильных батарей находится в диапазоне 100 мОм, токи короткого замыкания могут достигать уровня 6000 А и более. Исходя из типичной характеристики предохранителя, как показано на рис. 3, и времени реакции системы на уровне 200 мс, следует, что неповрежденный контактор, имеющий возможность отключения, должен пропускать ток до 6000 А в течение 5 мс или 2000 А в течение 20 мс.

При нормальных условиях эксплуатации к главному контактору предъявляются следующие требования:

- подключение батареи к предварительно заряженному фильтру;
- обеспечение полной гальванической развязки, когда автомобиль выключен;
- передача тока до 100 А с малой рассеиваемой мощностью.

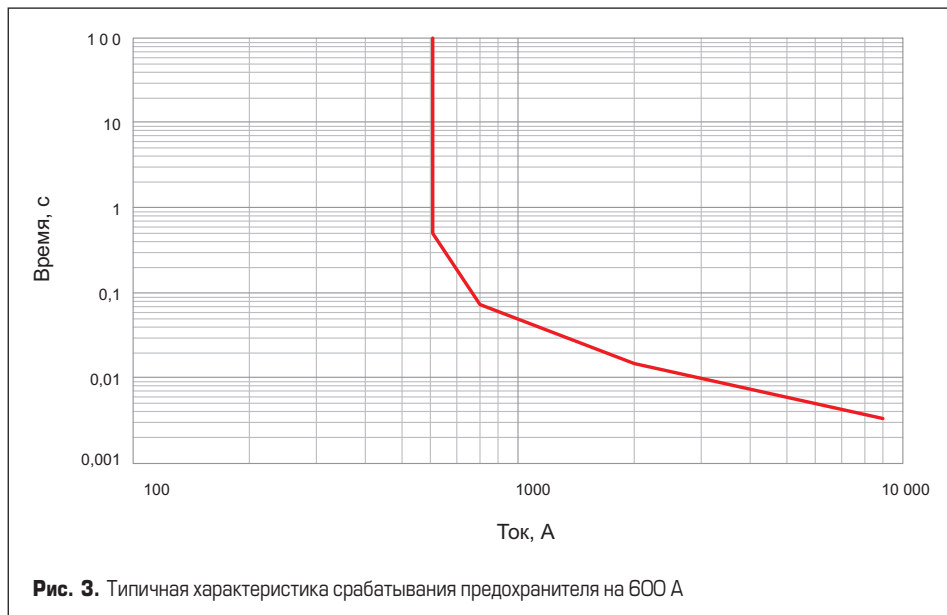


Рис. 3. Типичная характеристика срабатывания предохранителя на 600 А

**Таблица 1.** Допустимый длительный ток для различных сечений нагрузочного кабеля (выделен зеленым)

Ток, А	250	300	350	400	500
Площадь поперечного сечения, мм <sup>2</sup>	Допустимый ток при T <sub>ум</sub> = +25°C				
35					
50					
70					
85					
115					

Ток, А	250	300	350	400	500
Площадь поперечного сечения, мм <sup>2</sup>	Допустимый ток при T <sub>ум</sub> = +65°C				
35					
50					
70					
85					
115					

Ток, А	250	300	350	400	500
Площадь поперечного сечения, мм <sup>2</sup>	Допустимый ток при T <sub>ум</sub> = +85°C				
35					
50					
70					
85					
115					

Ток, А	250	300	350	400	500
Площадь поперечного сечения, мм <sup>2</sup>	Допустимый ток при T <sub>ум</sub> = +105°C				
35					
50					
70					
85					
115					

Требования к случаям отказа:

- в случае перегрузки (особенно при коротком замыкании) контакты должны оставаться замкнутыми, пока контактор активен;
- контактор должен сохранять способность размыкать цепь после периода перегрузки;
- контактор должен быть способен отключать токи до 2000 А.

**Значения характеристик главного контактора EVC 250**

Магнитная система EVC 250 сконструирована таким образом, что контакты остаются замкнутыми даже во время падения напряжения при запуске двигателя внутреннего сгорания в гибридных автомобилях. В соответствии с требованиями ISO 6469 и IEC 60664 контактор обеспечивает гальваническую развязку между бортовой сетью автомобиля и аккумуляторной батареей. При нормальной работе контакторы включаются после 95%-ной предварительной зарядки емкости фильтра и должны отключаться до 30 А при 450 В за цикл включения. Рабочие характеристики контактора EVC 250 [9] удовлетворяют приведенным выше требованиям.

**Контактная система**

Зазоры внутри главного контактора EVC 250 соответствуют требованиям стандарта IEC 60664. Стандартная версия EVC 250 рассчитана на напряжение нагрузки до 450 В и ток 6000 А на высоте до 5000 м и категорию перенапряжения I. Для более высоких напряжений (до 1000 В) требуется более мощная версия однокатушечного контактора EVC 250.

Отвод тепла от реле обеспечивается, главным образом, кабелями нагрузки. Достаточное сечение проводников имеет большое значение, поскольку слишком маленькое сече-

ние превратит кабели в источник тепла для контактора, а не в теплоотвод. Допустимый длительный ток для различных сечений нагрузочного кабеля при разных температурах приведен в таблице 1.

Поскольку длительность воздействия импульса сверхтока мала, передачей тепла от контактной системы в окружающую среду можно пренебречь и считать, что все тепло поглощается контактами, контактным мостиком и подключенными проводами.

В то время как способность проводить токи до 1000 А зависит только от эффективности теплопередачи и, возможно, от длительности действия тока, для импульсов большого тока более важной становится статическая конструкция, обеспечивающая контактное усилие. Дело в том, что эффект силы, вызванной протоком и действующей против статической контактной силы, показан на рис. 4. Если ток протекает через петлю гибкого проводника, то сила, создаваемая магнитным полем тока, выталкивает петлю наружу.

Сила отталкивания увеличивается с квадратом силы тока. При токе 1000 А сила отталкивания на контактном мостике, показанном на правом рисунке, составляет уже около 1 Н. Если ток превышает порог левитации, контакты разъединятся и образуется дуга. Затем контакты либо свариваются, либо устройство под действием выделяемого тепла после размыкания контактов горящей дугой разрушается. Допустимая максимальная продолжительность сверхтока для EVC 250 указана в таблице 2.

Сверхтоки ниже порога левитации приведут к повышению температуры контактов, вплоть

до температуры плавления. Затем контактная часть механически разрушится, и контактное давление резко уменьшится, так что отрыв контактов произойдет и при более низком токе. Как только дуга сгорит, сопротивление дуги ограничит дальнейшее увеличение тока. Поэтому контакты снова сомкнутся и немедленно сварятся.

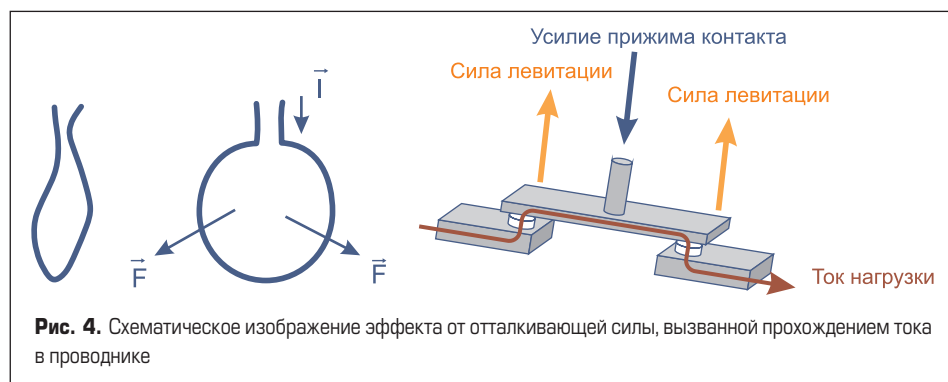
Если в устройстве, заполненном газом под давлением, сверхток значительно превышает предельный ток, свободно горящая дуга создаст такое сильное давление в контактной камере, что корпус может взрывоподобно разрушиться. В таких условиях конструкция контактора EVC 250 без использования избыточного давления имеет преимущество. Избыточное давление может выйти без повреждения корпуса, что значительно снижает вероятность разрушения компонента взрывоподобным образом.

Еще одна особенность контактора EVC 250 заключается в его способности размыкать высокое напряжение, что достигается за счет большого зазора между контактами, специальной конструкции контактной камеры и использования сильных постоянных магнитов. Магнитное поле от магнитов, расположенных в зоне формирования дуги, «выдувает» ее из зоны контакта. Благодаря расположению постоянных магнитов контактор EVC 250 обладает асимметричной коммутационной способностью, в зависимости от направления тока нагрузки.

На рис. 5 показано влияние тока на расположение контактов для двух направлений тока — заряда и разряда батареи. Дуга отклоняется либо в сторону, либо к центру. На правом

**Таблица 2.** Допустимая длительность импульсных токов для контактора EVC 250

Импульс тока, А	Длительность импульса, мс
6000	20
5000	100
4000	500
3000	1000



**Рис. 4.** Схематическое изображение эффекта от отталкивающей силы, вызванной прохождением тока в проводнике

рисунке видно, что при больших токах две дуги могут слиться в центре. В этом случае прерывание тока становится невозможным. Это приводит к указанным ниже пределам коммутационной способности главного контактора EVC 250. Граничные условия приведены в таблице 3.

Поскольку контактная камера контактора EVC 250 негерметична и контакты подвергаются воздействию кислородсодержащей атмосферы, в качестве контактного материала используется оловянно-серебряный сплав. Благодаря этому достигается хорошая устойчивость контактов к сварке.

**Релейный привод**

Большое расстояние между контактами необходимо для обеспечения достаточного сопротивления изоляции при пониженном давлении воздуха. Для того чтобы электромагнитный привод реле мог преодолеть столь существенное расстояние, требуется относительно большой ток в приводной катушке. Соответственно, ток срабатывания (замыкания) после замыкания контактов реле должен быть уменьшен до тока удержания. В противном случае катушка будет подвержена сильному нагреву током управления. Существует две возможности адаптации мощности катушки контактора EVC 250 к текущим требованиям.

**EVC 250 в варианте с одной катушкой и внешним уменьшением тока**

В однокатушечном варианте контактора EVC 250 снижение тока обеспечивается внешней цепью вне реле в электронике контроллера. Например, для снижения эффективного тока срабатывания катушки после первых 100 мс до тока удержания можно применить метод широтно-импульсной модуляции (ШИМ), как это показано на рис. 6.

Однокатушечный вариант контактора EVC 250 (V23720-A0001-A001) имеет сопротивление катушки 4 Ом. Для ее полного замыкания необходимо обеспечить ток приблизительно 1,8 А в течение не менее 20 мс. Затем, чтобы уменьшить мощность до 64 Вт, которая в противном случае может привести к тепловой перегрузке катушки, не более чем через 0,5 с ток должен быть снижен менее чем до 800 мА.

Схема, представленная на рис. 7, является решением схемы драйвера, которая, кроме всего прочего, обеспечивает размагничивание, необходимое при деактивации реле. В момент отключения напряжения энергия, накопленная в катушке, вследствие явления самоиндукции генериру-

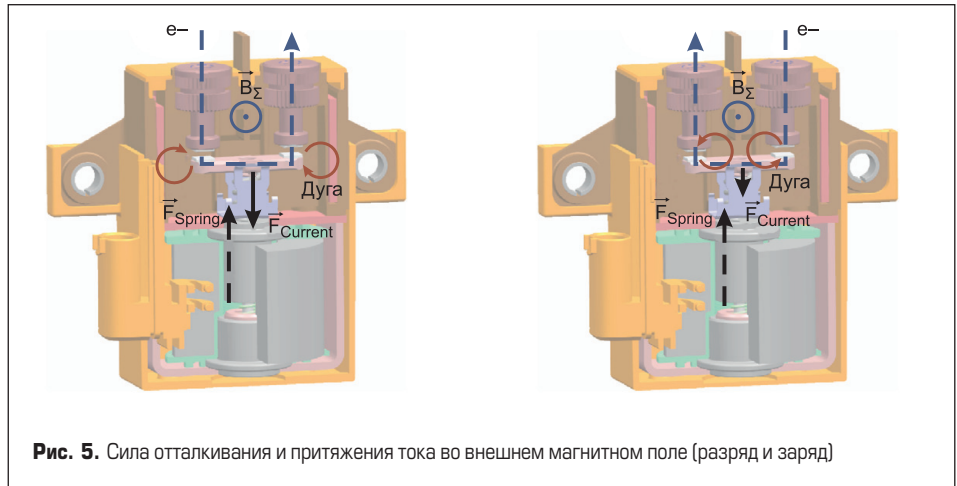


Рис. 5. Сила отталкивания и притяжения тока во внешнем магнитном поле (разряд и заряд)

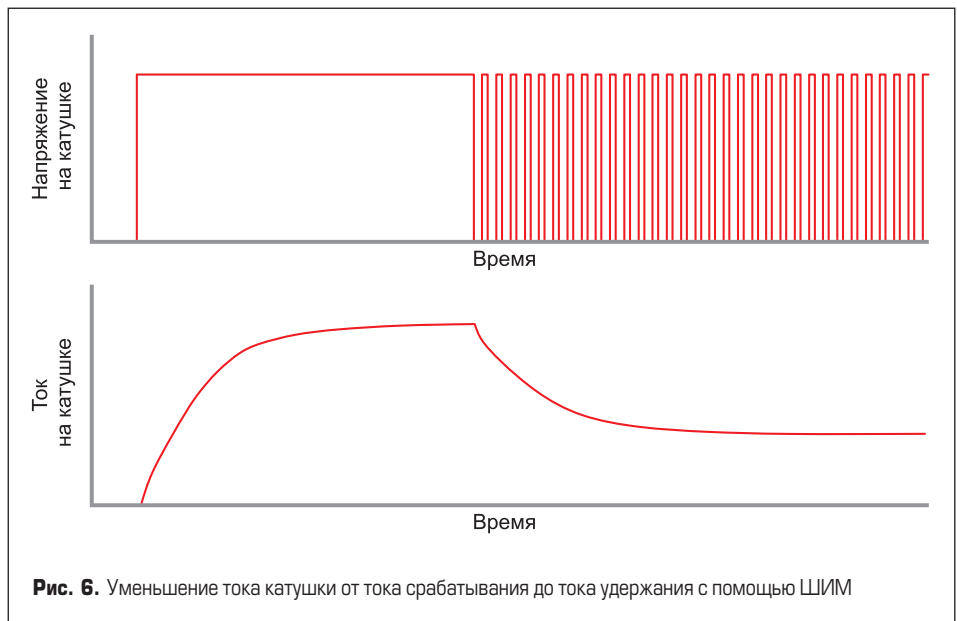


Рис. 6. Уменьшение тока катушки от тока срабатывания до тока удержания с помощью ШИМ

ет очень высокий пик напряжения, вызванный электродвижущей силой. Соответственно, для защиты электронных компонентов схемы управления от этого напряжения параллельно катушке понадобится демпферная цепь.

Сигнал ШИМ в схеме генерируется транзистором верхнего плеча (HS), в то время как нижний транзистор (LS) по входу разрешения (Enable) обеспечивает быстрое включение/выключение. Напряжение от самоиндукции, генерируемое в выключенном состоянии ШИМ, ограничивается диодом на правой стороне катушки до значения ниже 1 В. Из-за низкого прямого сопротивления прямо смещенного диода и относительно большой индуктивности постоянной времени и, следовательно, пульсации тока катушки относительно малы. Это благоприятно для работы

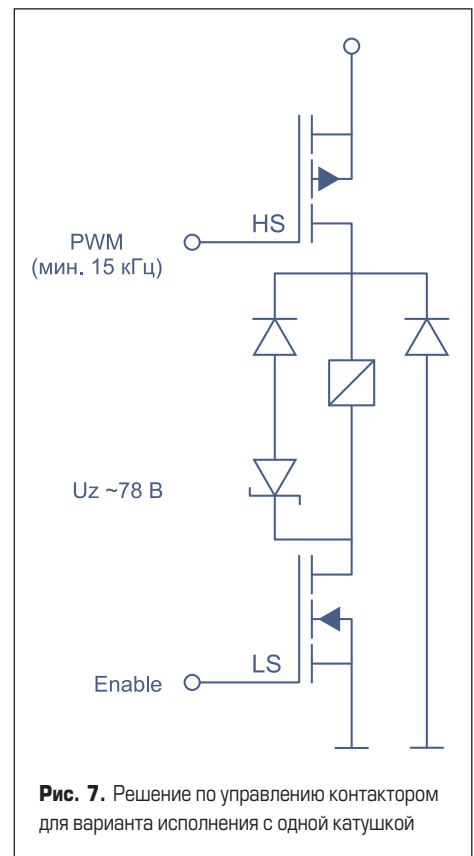


Рис. 7. Решение по управлению контактором для варианта исполнения с одной катушкой

Таблица 3. Граничные условия коммутации для контактора EVC 250

	Ток, А Вкл./Выкл.	Напряжение, В Вкл./Выкл.	Циклы переключения	Сопротивление изоляции, R <sub>iso</sub>
Заряд/Разряд	200/27	22,5/450	100 000 100 000	> 1ГОм
	30/30			
Заряд	0/100	450	50	> 100 МОм
	0/200			
Разряд	0/500	400	1	> 100 кОм
	0/1000			
	0/2000			
	0/3000			



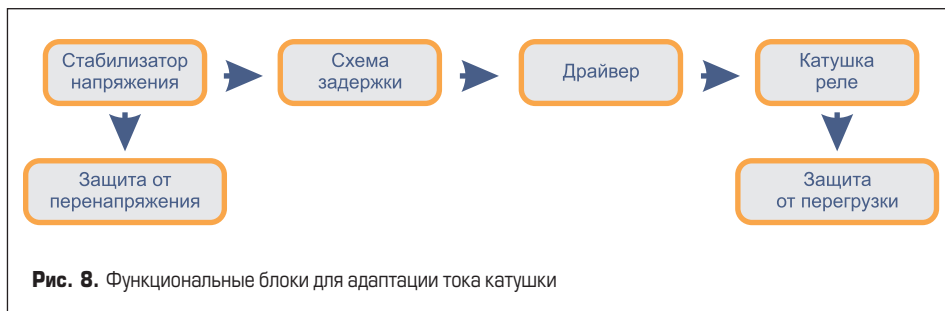


Рис. 8. Функциональные блоки для адаптации тока катушки

ШИМ, пока контактор включен, однако при выключении ток катушки уменьшается медленно, и якорь реле начинает отходить от замкнутого положения с задержкой. При отключении большого тока нагрузки такое замедленное размыкание приведет к увеличению времени горения дуги, а в худшем случае — к разрушению контактора.

Однако если для выключения используется нижний транзистор, то размагничивание происходит через диод стабилитрона и замедление движения якоря больше не наблюдается. При напряжении ограничения несколько выше 60 В замедление движения якоря контактора уже не происходит.

### Двухкатушечный вариант с внутренним уменьшением тока катушки

Помимо варианта с одной управляющей катушкой (V23720-A0001-A001), контактор EVC 250 доступен и в варианте с двумя катушками (V23720-A0002-A001) с внутренним снижением тока катушки [9]. Необходимые меры для управления функциями катушки описаны на блок-схеме, показанной на рис. 8. Временная диаграмма изменения сопротивления и тока приведена на рис. 9.

Данное исполнение может быть напрямую подключено к источнику питания, без принятия каких-либо дополнительных мер. Внешний контроль напряжения питания также не требуется. Параллельно рабочей катушке установлена дополнительная катушка

с низким сопротивлением, которая обеспечивает дополнительный магнитный поток, необходимый для срабатывания контактора при напряжении 7 В. Удерживающая катушка имеет сопротивление 36 Ом, а дополнительная — 4 Ом. При подаче напряжения на клеммы катушки напряжение уровня тока срабатывания будет достигнуто в течение 100 мс. Через 200 мс дополнительная низкоомная обмотка катушки отключается. После деактивации реле схема снова готова к следующей операции уже через 200 мс. Потребляемая мощность удерживающей обмотки катушки контактора обычно составляет 4 Вт при напряжении 12 В. Таким образом, контактор может постоянно работать при температуре окружающей среды вплоть до +105 °С. Одно из важных условий, необходимое для работы этого решения, — соблюдение полярности подключения обмоток.

### Заключение

Главный контактор EVC 250 — это продукт следующего поколения, специально созданный для использования в гибридных, полностью электрических и топливных элементах, а также в системах зарядки транспортных средств и работающий без контактной камеры под давлением. Новый EVC 250 отличается увеличенным зазором между контактами, оптимизированной динамикой переключения, высокоэффективными дугогасящими магнитами и другими характеристиками для эффективного кон-

троля дуги переключения. Контакттор обеспечивает номинальный постоянный ток 250 А, что позволяет безопасно выдерживать короткое замыкание 6 кА и соответствует жестким требованиям к переключению в гибридных и электрических транспортных средствах. Сервисная замена из-за потери давления или утечки газа больше не требуется. Инновационный дизайн контактора EVC 250 обеспечивает компактные размеры 93×55,3×49,8 мм (3,7×2,2×2,0 дюйма).

В дополнение к стандартной версии с отдельными катушками для втягивания и удержания с автоматическим внутренним переключателем доступна и вторая версия с одной катушкой для импульсного возбуждения (ШИМ). EVC 250 соответствует требованиям изоляции IEC 60664. Без ущерба для основных характеристик контактора через него в течение 20 мс А могут протекать сверхтоки силой до 6000 А. Превышение сверхтока может ограничить функцию коммутации, но не приводит к опасным состояниям.

Дополнительную информацию по контактору EVC 250 компании TE Connectivity можно получить на странице продукта [10] и в его спецификации [9].

### Литература

1. EVC 250 Main Contactor. A high-voltage contactor for hybrid- and battery-electric vehicles (HEV, PHEV, BEV). White Paper. 2014 TE Connectivity. [www.te.com/content/dam/te-com/documents/automotive/global/evc-250-whitepaper-eng.pdf](http://www.te.com/content/dam/te-com/documents/automotive/global/evc-250-whitepaper-eng.pdf)
2. LV 123 Elektrische Eigenschaften und Elektrische Sicherheit von Hochvolt-Komponenten in Kraftfahrzeugen — Anforderungen und Prüfungen Ausgabe 2009-05.
3. SAE J1766; Recommended Practice for Electrical and Hybrid Vehicle Battery Systems Crash Integrity Testing; (Item 3.4.2) APR 2005.
4. SAE J2344 Guidelines for Electric Vehicle Safety; 2010-03-05.
5. SAE J2289 Electric Drive Battery Pack System: Functional Guidelines, 2008-07-29.
6. ISO/NP 6469-4 Electrically propelled road vehicles - Safety specifications. Part 4: Post crash electrical safety requirements.
7. DIN EN 60664-1 VDE 0110-1:2008-01, Isolationskoordination für elektrische Betriebsmittel in Niederspannungsanlagen, Teil 1: Grundsätze, Anforderungen und Prüfungen, (IEC 60664-1:2007); Deutsche Fassung EN 60664-1:2007.
8. IEC 60947-2; Low-voltage switchgear and controlgear; 2009-05-27.
9. Automotive Relays High Voltage Contactors. EVC 250 Main Contactor. 09-2014, Rev. 0914 2014, Tyco Electronics Corporation, a TE Connectivity Ltd. company. [www.te.com/content/dam/te-com/documents/automotive/global/evc-250-datasheet.pdf](http://www.te.com/content/dam/te-com/documents/automotive/global/evc-250-datasheet.pdf)
10. High Voltage Automotive EVC 250 Main Contactor. [www.te.com/usa-en/products/relays-contactors-switches/contactors/automotive-contactors/evc-250-main-contactor-evc-250.html?tab=pgp-story](http://www.te.com/usa-en/products/relays-contactors-switches/contactors/automotive-contactors/evc-250-main-contactor-evc-250.html?tab=pgp-story)

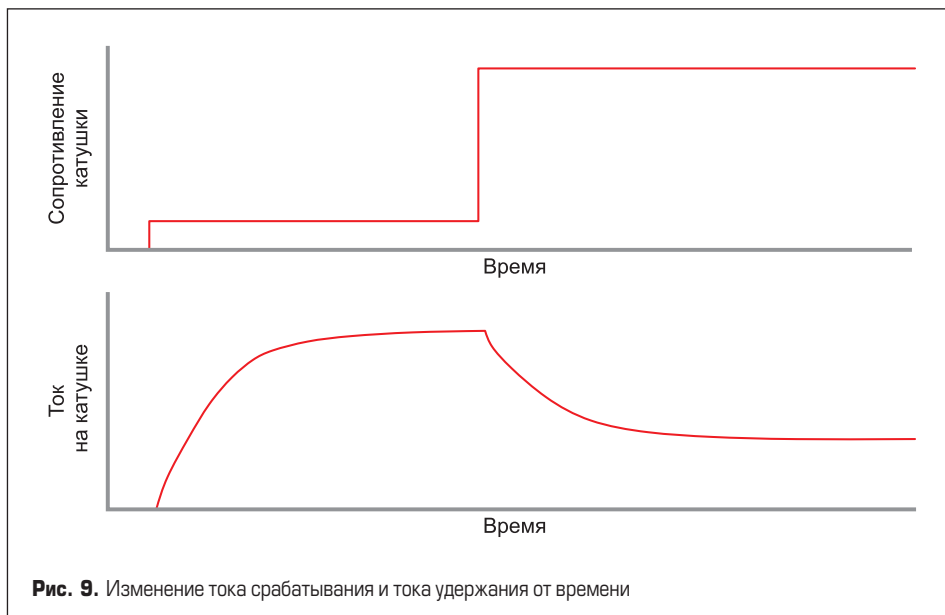


Рис. 9. Изменение тока срабатывания и тока удержания от времени