

В статье более подробно рассматривается ряд утверждений, высказанных автором статьи, опубликованной в Эл 3/2014.

## Когда наступит конец эры электромеханических реле?

### Продолжаем обсуждение

Владимир Гуревич, канд. техн. наук, г. Хайфа

Одним из многочисленных применений полупроводниковой техники стало создание и освоение производства, так называемых, твердотельных полупроводниковых реле в конце 1960-х – начале 1970-х гг. В первое время, под влиянием эйфории, вызванной грандиозными успехами полупроводниковой техники, возникли предположения и прогнозы о приближающемся закате эры электромеханических реле. Многие заводы, выпускавшие такие реле, стали закрываться или перепрофилироваться под выпуск новых твердотельных реле. Однако эта эйфория очень быстро прошла, когда выяснилось, что новые реле в принципе не могут заменить электромеханические реле в связи с принципиальными особенностями своей конструкции. В частности, в связи с тем, что в отличие от электромеханических реле, твердотельные реле не замыкают и не размыкают цепь, как электромеханические реле, а лишь изменяют свое внутреннее сопротивление от относительно высокого значения до относительно низкого. С этого момента все стало на свои места, и на протяжении вот уже более 40 лет электромеханические реле развиваются и производятся параллельно и совершенно независимо от твердотельных реле. Уже несколько десятков лет в среде специалистов не говорят о «конце эры электромеханических реле».

В связи с этим, появление в печати статьи Геннадия Котова «Когда наступит конец эры электромеханических реле?», опубликованной в Эл 3/2014 г., вызывает ряд вопросов. Рассмотрим несколько тезисов из этой статьи.

*Контактная пара реле обладает уникальными электрическими характеристиками, не воспроизводимыми в полном объеме ни одним элементом твердотельной электроники. Основные из них – возможность коммутации цепей, работающих как на переменном, так и на постоянном токе, крайне малое переходное сопротивление замкнутых контактов (десятые и сотые доли Ом), высокое электрическое сопротивление изоляции между управляющими и исполнительными цепями.*

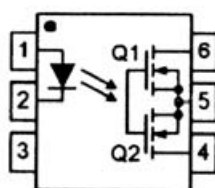


Рис.1

На самом деле, на рынке существует много типов твердотельных реле, выполненных на базе симисторов (в англоязычной технической литературе они называются TRIAC), предназначенных для коммутации переменного тока, а также на базе мощных транзисторов, предназначенных для коммутации цепей постоянного тока. Комбинация из выпрямительного диодного моста и одного транзистора, включенного в диагональ этого моста, позволяет коммутировать как переменный, так и постоянный ток одним и тем же реле. Такую же возможность имеют твердотельные реле, содержащие два встречно-параллельно включенных транзистора, каж-



Рис.2

дый из которых пропускает одну полуволну переменного тока (рис.1). Для коммутации переменного тока выводы 4 и 6 соединяют вместе, а коммутируемую цепь включают последовательно с объединенными выводами 4-6 и выводом 5.

Что касается изоляции между управляющей и исполнительной цепями, то в твердотельных реле она достигается даже проще и легче чем в электромеханических реле за счет оптической гальванической развязки между этими цепями. Электрическая прочность изоляции между управляющими и исполнительными цепями в обычных твердотельных реле составляет 2-7 кВ, а в реле со встроенным в р-п-переход оп-

тическим волокном, выходящем наружу из корпуса реле, может достигать десятков и сотен киловольт, тогда как в обычных электромеханических реле она не превышает 1,5 – 2,5 кВ. Существуют также специальные типы твердотельных реле с внутренним оптическим каналом увеличенной длины, а также электромеханические реле с усиленной изоляцией входа от выхода (речь идет о напряжениях в десятки киловольт). Поэтому говорить о преимуществах одного вида реле над другим по этому параметру бессмысленно.

На **рис.2** показаны электромеханические герконовые реле, предназначенные для работы при напряжениях 5 – 70 кВ между входом (катушкой управления) и выходом (герконом).

*Единственным отрицательным моментом в работе ЭМ реле является электрическая эрозия, которая разрушает соприкасающиеся поверхности контактов, но **проявляется она лишь***

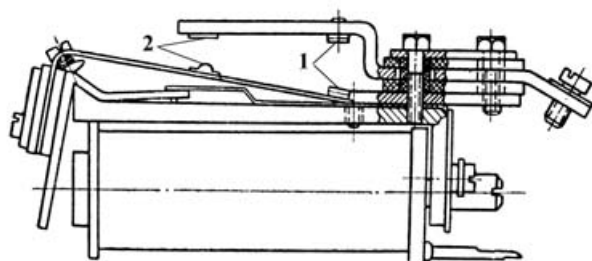


Рис.3

*только при размыкании цепей со значительной индуктивной нагрузкой или при коротком замыкании в цепи контактов. Эрозия основана на явлении разрушения контактов при электрическом разряде между ними и сопровождается переносом материала с одного контакта на другой. В этом явлении наименее исследован механизм выброса металла.*

На самом деле электрическая эрозия контактов сопровождается коммутацией цепей при любом характере нагрузки, а не только при наличии индуктивности. Другое дело, что при коммутации индуктивности она более интенсивна.

«Механизм выброса металла» на самом деле хорошо изучен и описан.

*Учитывая, что величина эрозионного разрушения уменьшается с ростом температуры плавления металла, то при использовании в качестве материала для изготовления контактов тугоплавких металлов, например вольфрама и его сплавов, их эрозия, при прочих равных условиях, понижается, и контакты оказываются более долговечными.*

Использовать вольфрам «в качестве материала для изготовления контактов» невозможно вследствие его очень высокого электрического сопротивления. Вольфрам используется лишь в качестве вспомогательных дугогасительных контактов в контактной системе с так называемой двустадийной коммутацией, предназначенной для коммутации цепей на постоянном токе с высокой индуктивностью.

На **рис.3** показано реле с контактной системой с двустадийной коммутацией, содержащей дугогасительные контакты 1 из вольфрама и основные контакты 2 из сплава на основе серебра.

В этой контактной системе первыми замыкаются контакты 1 из вольфрама, которые затем шунтируются контактами 2 из сплава на основе серебра. Размыкание происходит в обратном порядке: сначала размыкаются основные контакты, а затем дугогасительные контакты на основе вольфрама. Такой порядок коммутации достигается за счет гибкости длинной подвижной контактной пружины, прогибающейся в своей центральной части. Таким образом, ток через вольфрамовые контакты проходит в течение очень короткого промежутка времени лишь в моменты замыкания и размыкания внешней цепи.

*Совершенно недопустимо и мостовое сваривание, когда свариваются общий, фронтальной и тыловой контакты. Чтобы этого избежать, общие и тыловые контакты для реле ответственных цепей (реле 1-го класса надежности) изготавливают из серебряного сплава, а фронтальные контакты – из графито-серебряного композита, увеличивают зазор между контактами, находящимися в крайних положениях, устанавливают на якоре антимагнитный штифт и т.д.*

Применяемая автором статьи терминология: «общий, фронтальной и тыловой контакты», «реле 1-го класса надежности» относится к очень узкой специальной области – устройствам железнодорожной автоматики и телемеханики и нигде больше в технике не используется.

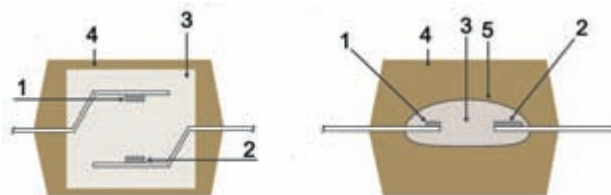


Рис.4

Никакого «ясного и понятного определения пар контактов как «общий- фронтальной» и «общий-тыловой» – не существует в общепринятой технической литературе и стандартах вне области железнодорожной автоматики.

Что касается принятых названий контактов НО и НЗ (они еще назывались «замыкающиеся» и «размыкающиеся») то они всегда указываются для обесточенного состояния реле и поэтому никакой путаницы не возникает.

Что касается «установленного на якоре антимагнитного штифта», то вопреки утверждению автора, он не имеет никакого отношения к свариванию контактов и предназначен для исключения залипания магнитной системы из-за остаточного намагничивания в реле с катушкой управления постоянного тока.

*Оптоэлектронное реле состоит из светодиода, свет которого падает на линейку последовательно соединенных фотодиодов, и элементов коммутации, образующих выходную ступень прибора.*

На самом деле, только некоторые специальные типы таких реле содержат «линейку последовательно соединенных фотодиодов». В типовых конструкциях никакой такой «линейки» нет. На **рис.4** показаны два варианта типовой конструк-

ции оптоэлектронного реле (оптрона). 1 – светодиод (излучающий элемент), 2 – фотодиод (приемный элемент), 3 – прозрачный изоляционный материал (силиконовый гель), 4 – корпус, 5 – светоотражающее покрытие.

На **рис.5** приведена схема внутренних соединений оптоэлектронных реле: слева – тиристорного, справа – транзисторного.

Следующим пунктом в поисках аналогий являются исполнительные цепи. Контакты ЭМ реле представляют собой изделия из металла, графита или металлокерамики. Они способны без искажения формы пропускать электрические токи напряжением от долей вольта до тысяч вольт (хотя это уже не является реле в обычном понимании) и с частотой от нуля до сотен кГц. ТТ реле подобный универсализм, увы, недоступен.

Это неверно. Во-первых, контакты реле не изготавливаются из чистого графита. Иногда они изготавливаются из композита

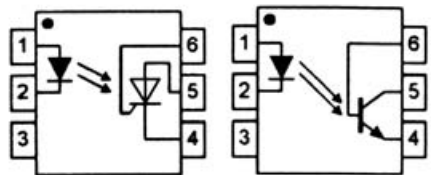


Рис.5

медно-серебряного сплава с графитом. Композит содержащий небольшое количество графита и графит – это все-таки разные вещи.

Во-вторых, на рынке электротехнической продукции уже десятки лет присутствуют вакуумные и газонаполненные реле, коммутирующие напряжения в единицы-десятки киловольт, а также высокочастотные реле, предназначенные для коммутации цепей с частотой не до сотен кГц, как пишет автор статьи, а до десятков-сотен МГц, и даже до единиц ГГц.

На **рис.6** показаны высоковольтные вакуумные реле американской фирмы Gigavac, а на **рис.7** - фирмы Jennings Technolog.

На **рис.8** показано высокочастотное реле фирмы Jennings Technology



Рис.8



Рис.6



Рис.7

Полупроводниковых реле, которые могут коммутировать напряжения в тысячи вольт, не существует.

Это не так. Массовые IGBT-транзисторы в миниатюрных корпусах типа TO-247, предназначенные для распайки на печатную плату, выдерживают напряжения 1600 – 1700 В (IXGH25N160, IXGH16N160), 2500 В (IXLF19N250A), и даже 4000 В (IXEL40N400). В отличие от транзисторов других типов, IGBT-транзисторы предназначены для работы именно в качестве коммутирующих устройств.

А тиристор типа SL2500JX21 фирмы Toshiba со встроенным в управляющий переход оптическим волокном, (**рис.9**), может коммутировать напряжение 6000 В при токе 2500 А.

Немецкая фирма Behlke выпускает твердотельные полупроводниковые реле, способные коммутировать напряжения до 65 кВ и импульсные токи до 10 кА (**рис.10**).

Если коммутирующим элементом ТТ реле являются тиристоры (симисторы), то коммутировать постоянный ток они не могут.

Это не так - тиристоры еще как применяют для коммутации постоянного тока. Уже не один десяток лет в промыш-



Рис.9

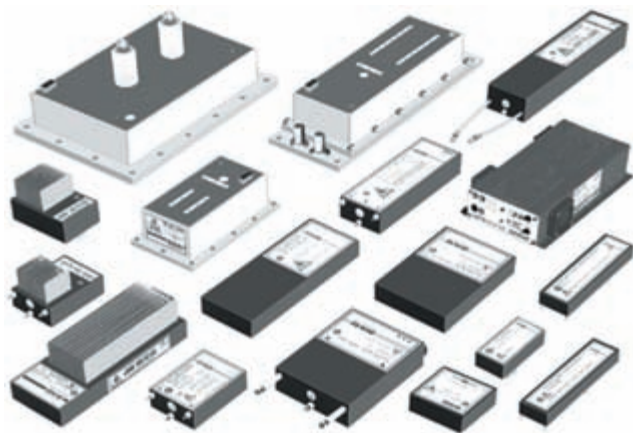


Рис.10

ленности работают мощные тиристорные преобразователи частоты для мощных электроприводов прокатных станов на металлургических предприятиях, приводов бумагоделательных машин, мощных подъемных кранов и т.д. В этих устройствах переменный ток промышленной частоты сначала превращается в постоянный, а затем с помощью тиристоров постоянный ток превращается в переменный ток с регулируемой частотой. Это превращение осуществляется путем коммутации с большой частотой цепи постоянного тока тиристорами.

Кроме того, уже несколько десятков лет на рынке существуют запираемые тиристоры (в англоязычной литературе они называются Gate Turn-Off Thyristor – GTO). Эти тиристоры запираются при подаче импульса тока на управляющий электрод.

Читателям, заинтересованным в получении более подробных сведений и знаний в области электрических реле различных типов, а не только рассмотренных выше, можно порекомендовать книгу «Электрические реле. Устройство, принцип действия и применения. Настольная книга инженера», выпущенную в 2011 г. издательством «Солон-Пресс». Книгу можно приобрести через Интернет-магазины или заказать непосредственно в издательстве.

