

СТАНУТ ЛИ ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ РЕЛЕ АЛЬТЕРНАТИВОЙ РЕЛЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ?

Виктор Никитин, начальник технического отдела ОАО НПК «Северная заря»

На примере упрощенных структур в статье рассматриваются технические возможности электромагнитных и твердотельных реле, вытекающие из их принципа действия. Далее в статье сопоставляются реальные типовые представители электромагнитных и твердотельных реле для коммутации токов до 1,0...1,5 А и до 25,0 А, дается обоснование доминирующему положению электромагнитных реле на рынке комплектующих изделий и предлагается возможный сценарий радикального перехода к твердотельным реле.

С развитием силовой полупроводниковой электроники, т.е. с конца 60-х годов прошлого столетия, возникли условия для создания полупроводниковых реле, которые, благодаря отсутствию механического контакта, способны обеспечивать бездуговую коммутацию электрических цепей и тем самым повышать, как ожидалось, надежность и продолжительность эксплуатации средств связи, технологического оборудования, систем телемеханики, автоматического управления и т.д.

При этом считалось, что, по мере дальнейшего совершенствования оптоэлектронных и магнитоуправляемых полупроводниковых приборов, будут созданы технические решения, которые исключат основное преимущество электромагнитных реле перед полупроводниковыми. Иначе говоря, предполагалось, что будут получены эффективные средства гальванического разделения входных и выходных цепей полупроводниковых реле при сохранении сопротивления изоляции и ее электрической прочности на уровне, достаточном для удовлетворения практических нужд.

Развитие техники конструирования и технологического обеспечения производства полупроводниковых реле дает основание утверждать, что поставленные ранее задачи сегодня в основном выполнены.

Поступающая на рынок обширная номенклатура твердотельных реле, выпускаемых десятками фирм, обладает техническими характеристиками, которые, в ряде случаев, не уступают аналогичным характеристикам электромагнитных реле. Достигнута, на-

пример, полная сопоставимость величин сопротивления изоляции и электрической прочности между входными и выходными цепями конкурирующих реле.

Полупроводниковые и электромагнитные реле коммутируют сопоставимые токи и напряжения. Сопоставимы диапазоны температур, в которых работают те и другие реле. Тем не менее, твердотельные реле пока не стали универсальными комплектующими изделиями, какими являются реле электромагнитные.

Попробуем объяснить причину сложившегося положения и хотя бы приблизительно оценить возможность расширения в ближайшие годы областей применения твердотельных реле за счет реле электромагнитных.

Для этого сопоставим упрощенные структуры этих изделий. Будем считать, что электромагнитное реле и реле твердотельное есть четырехполюсник. При этом вход каждого четырехполюсника образован узлом управления, а выход — коммутирующим элементом.

Узел управления электромагнитного реле представим в виде электромагнита, а коммутирующий элемент — в виде контактной системы, приводимой в действие подвижным элементом электромагнита. Количество контакт-деталей в системе и количество образованных ими контактов может быть любым. Контакты могут иметь различное функциональное назначение (переключающий, замыкающий, размыкающий).

Узел управления твердотельным реле — это, как правило, оптоэлектронный прибор, далее оптрон. В ка-

честве коммутирующего элемента в реле постоянного тока чаще всего используется составной транзистор или комбинация транзисторов.

В реле переменного тока коммутирующий элемент — это управляемый диод (тиристор или симистор). Коммутирующий элемент в твердотельном реле выполняет, как правило, функцию замыкающего контакта.

Заметим, что, наряду с разделением входных и выходных цепей в твердотельных реле с помощью оптрона, известны реле, например, фирмы «Teledyne», где разделение осуществляется с помощью трансформатора. Однако это не влияет на результаты проводимого сопоставления, поскольку характеристики узла управления в обоих случаях совпадают.

Несмотря на условность структуры представленных четырехполюсников, их рассмотрение позволяет достаточно полно определить природу физических возможностей и основных технических различий электромагнитных и твердотельных реле.

Для начала заметим, что в рассматриваемых реле узлы управления, кроме управления коммутирующим элементом, осуществляют еще одну важнейшую функцию — гальваническое разделение цепей управления и коммутации. В электромагнитных реле такое разделение достигается за счет изоляционных свойств материала каркаса катушки электромагнита и изоляции обмоточных проводов. Это позволяет обеспечить сопротивление изоляции между входом узла управления и контактной системой не менее 10^{10} Ом при электрической прочности изоляции 500 В даже для малогабаритных реле размером $9,4 \times 9,4 \times 6,9$ мм и массой 2,6...3,0 г. При необходимости дальнейшее повышение сопротивления изоляции обеспечивается уже конструктивно путем увеличения поверхностного сопротивления элементов конструкции.

Что касается электрической прочности, то для электромагнитных реле эта характеристика ограничивается только размерами конструкции и свойствами примененных материалов и может быть любой.

В узлах управления неполяризованного электромагнитного реле к форме и полярности управляющего сигнала не предъявляются особые требования. Например, таким сигналом может быть напряжение или ток, изменяющиеся монотонно, с ненормированной скоростью. Возможно также управление с помощью импульса, сформированного электронным ключом, механическим или ртутным контактом.

Узел управления поляризованных электромагнитных реле, т.е. реле, содержащих постоянный магнит в магнитной цепи электромагнита, требует нормирования полярности управляющего сигнала. Кроме того, бистабильные поляризованные реле управляются, как правило, импульсным сигналом.

Энергетические характеристики узла управления электромагнитного реле зависят от типа конструкции, размеров электромагнита и коммутирующего элемента. Мощность, потребляемая узлом управления, повышается с увеличением коммутационных возможностей реле.

Стандартная величина мощности, потребляемой узлами управления электромагнитными неполяризованными реле при коммутации токов до 1,0 А, составляет 0,45 Вт, при этом минимальная величина потребляемой мощности находится в пределах 0,2...0,25 Вт. Для подобных реле на токи 2,0...5,0 А эта характеристика составляет уже 0,75...1,2 Вт, хотя известны и более эффективные узлы управления, потребляющие в процессе работы не более 0,25 Вт. Узлы же управления неполяризованными реле на токи 10,0...25,0 А требуют 1,2...2,45 Вт потребляемой мощности.

Более экономичны поляризованные бистабильные реле, которые управляются кратковременными импульсами напряжения или тока длительностью 15...75 мс. Энергозатраты для переключения таких поляризованных реле составляют 0,03...0,15 Дж.

Узлы управления электромагнитных реле не чувствительны к изменениям управляющего сигнала на ± 15 –20%, а также к его кратковременным превышениям относительно номинального значения в 2–3 раза.

Узел управления, благодаря своей инерционности и высокой прочности изоляции, обеспечивает устойчивость работы реле в целом и сохранность своих характеристик при воздействии различного рода помех, в том числе и при воздействии атмосферных разрядов с амплитудой 1,0...5,0 кВ.

Следует заметить, что время срабатывания и отпускания электромагнитного реле является совокупным параметром, который зависит от свойств электромагнита и механических характеристик контактной системы и потому однозначно (в строгом смысле этого слова) узел управления не характеризует. Усредненное значение времени срабатывания и отпускания составляет 2...5 мс для реле, коммутирующих токи до 1,0 А (размер 9,4 × 9,4 × 6,9 мм) и 15...18 мс для реле на токи 10,0...25,0 А (размер 26,0 × 26,0 × 26,0 мм).

В твердотельном реле узел управления с оптроном осуществляет передачу управляющего воздействия к коммутирующему элементу за счет использования физических характеристик световода, исключая тем самым электрическую связь между входом и выходом. При этом обеспечивается сопротивление изоляции не ниже 10^{10} Ом и электрическая прочность 1,0...1,5 кВ.

Среди многообразия известных типов твердотельных реле имеется обширная группа, которая работает только совместно с внешними ТТЛ-схемами, формирующими управляющий сигнал с заданными параметрами переднего и заднего фронта. Заметим, что в отдельных случаях узел управления у таких реле имеет дополнительный третий вывод и тогда это реле уже не является четырехполюсником в строгом смысле этого слова.

Изложенное относится к реле, предназначенным для коммутации небольших токов, например, 0,09...1,3 А. Для сильноточных реле, коммутирующих токи 10,0...25,0 А, строгие требования к форме и параметрам управляющего сигнала не предъявляются, в связи с чем необходимость в дополнительном третьем выводе в данных реле отсутствует.

Использование оптрона в узле управления твердотельного реле предопределяет требования к нормированию полярности управляющего напряжения (тока) независимо от того, коммутирует реле постоянный или переменный ток.

Энергетические характеристики узла управления твердотельным реле в значительной степени зависят от параметров оптрона. В общем случае, для подавляющего большинства типов реле, управляющее напряжение может находиться в пределах 3,8...32,0 В или 3,0...16,0 В, а управляющий ток — в пределах 10,0...30,0 мА. При этом коммутирующий элемент переходит в открытое состояние в

самом начале указанного диапазона напряжений, т.е. при напряжении 3,8...4,0 В.

Таким образом, минимальная мощность управляющего сигнала для твердотельного реле различных типов, коммутирующих токи от 50,0 мА до 25,0 А, находится в пределах 0,04...0,12 Вт. Для типовых режимов управления (5,0 В, 16,0 В и 32,0 В) мощность управляющего сигнала будет лежать в пределах 0,1...0,15 Вт; 0,24...0,32 Вт и 0,35...0,64 Вт соответственно.

Твердотельное реле не критично к изменениям напряжения управления, поскольку эта характеристика представлена довольно широким диапазоном, в любой точке которого обеспечивается предусмотренный режим работы коммутирующего элемента.

При рассмотрении характеристик быстродействия будем иметь в виду, что время включения и отключения твердотельного реле определяется свойствами всех технических средств, использованных в его конструкции, поэтому выделять узел управления для оценки параметров нет необходимости.

Считается, что быстродействие твердотельного реле существенно отличается от аналогичного параметра реле электромагнитного. Практика конструирования и использования полупроводниковых реле однозначно это мнение не подтверждает.

На самом деле быстродействие реле не всегда совместимо с условиями его работы в реальных электрических цепях, где постоянно проявляются последствия переходных процессов, что может приводить к несанкционированному включению коммутирующего элемента.

Кроме того, быстродействие оказывается невостребованным, если твердотельное реле коммутирует цепи управления исполнительных механизмов, принцип действия которых предопределяет их инерционность. Здесь имеются в виду электродвигатели, электромагнитные муфты, электромагнитные клапаны, контакторы, а также лампы накаливания.

Тем не менее, временной диапазон, характеризующий быстродействие твердотельных реле (время включения и отключения), весьма широк: от 1,5...2,5 мкс до 0,7...2,2 мс. Начальная часть этого временного диапазона относится к реле с коммутирующим элементом на симисторе. Более длительное время распространяется на реле с транзисторами, хотя

и здесь может быть обеспечено время включения 20 мкс, а время отключения 175 мкс.

После того, как проведена оценка основных характеристик узлов управления, рассмотрим коммутирующие элементы электромагнитных и полупроводниковых реле. Ранее было отмечено, что коммутирующий элемент электромагнитного реле — это его контактная система, базовый элемент которой — механический контакт. В открытом состоянии такой базовый элемент обеспечивает «видимый» разрыв в коммутируемой цепи. Следствием этого является отсутствие токов утечки, хорошее сопротивление изоляции (на уровне поверхностного сопротивления элементов конструкции), а также возможность конструктивно, за счет конфигурации контактов и межконтактного зазора устанавливать необходимый уровень электрической прочности, независимо от полярности приложенного напряжения. Наличие «видимого» или физического разрыва исключает несанкционированное замыкание коммутируемой цепи при любых скоростях изменения напряжения, какие только возможны в электрических цепях. Другими словами, разомкнутый механический контакт не чувствителен к «эффекту du/dt ». Наконец, «видимый» разрыв гарантирует наиболее эффективную защиту оборудования и безопасность обслуживающего персонала от последствий нестационарных процессов, возникающих в системе электрообеспечения.

Замкнутый механический контакт электромагнитного реле, изготовленный из материала с высокой электро- и теплопроводностью, имеет сопротивление 10...100 мОм в зависимости от конструкции контактной системы. Максимальное падение напряжения на замкнутом контакте электромагнитного реле при коммутации токов 2,0 А и выше не превышает 100...150 мВ. Замкнутый механический контакт устойчив к кратковременному (длительностью не более 0,2 с) превышению пропускаемого через него тока относительно его номинального значения в 5—10 раз. Нормированные уровни токов, которые коммутирует механический контакт: от 1 мкА до 25,0 А и выше при напряжении от нескольких милливольт до 115...220 В независимо от рода тока. При этом, в процессе коммутации активной нагрузки, механический контакт выдерживает перегрузки по току относительно его номинального значения в 2—4 раза.

Все сказанное о разомкнутом и замкнутом контактах, а также о контакте, совершающим коммутацию цепей нагрузки, распространяется и на контактную систему электромагнитного реле в целом. Заметим, что контактная система, как правило, содержит не один, а несколько контактов, обычно от двух до шести. При этом контактная система может состоять из замыкающих, размыкающих и переключающих контактов или из их комбинаций.

Контактная система электромагнитного реле характеризуется ее механической и электрической износостойкостью.

Механическая износостойкость — это способность контактной системы совершать без разрушений заданное нормативным документом число коммутационных циклов совместно с электрической нагрузкой или без нее, с сохранением установленных для каждого из этих случаев сопротивления изоляции и ее электрической прочности. В современных электромагнитных реле, коммутирующих токи до 1,0 А, достигнута механическая износостойкость 10^7 коммутационных циклов. Для контактных систем, коммутирующих токи 5,0...25,0 А минимальная механическая износостойкость — 2×10^5 коммутационных циклов. При выборе и эксплуатации электромагнитного реле ориентируются обычно на его электрическую износостойкость, технический смысл которой, по нашему мнению, пояснений не требует.

В контактных системах, имеющих совершенную конструкцию и рассчитанных на коммутацию малых токов и напряжений, показатели механической и электрической износостойкости совпадают. Эти же конструкции способны выполнить 10^6 коммутационных циклов в электрических цепях постоянного тока с активной нагрузкой 0,5 А при напряжении 28,0 В.

Минимальная электрическая износостойкость контактных систем, рассчитанных на коммутацию токов 5,0...25,0 А, находится в пределах 5×10^4 ... 10^5 коммутационных циклов.

Следует иметь в виду, что индуктивные нагрузки, электродвигатели и лампы накаливания усложняют работу механических контактов. Поэтому, в зависимости от конкретных условий работы контактной системы, приоритетом может быть показатель электрической износостойкости, например, 10^5 коммутационных циклов. Тогда для каждого типа нагрузки значение коммутируемого тока снижается отно-

сительно номинального тока: до 30% для индуктивных нагрузок, до 2,5 раз при нагрузке контактной системы электродвигателем и до 5 раз при нагрузке лампой накаливания. Если же, напротив, приоритет отдается нагрузке — тогда снижается показатель электрической износостойкости.

Кроме постоянного тока, контактная система электромагнитного реле коммутирует цепи переменного тока на частотах до 600 МГц, а для контактных систем специализированных (высоочастотных) конструкций диапазон частот увеличивается до 2...3 ГГц.

Приведенные характеристики контактной системы (коммутирующего элемента) электромагнитного реле остаются неизменными при температуре 185°C, т.е. при максимальной температуре, которая устанавливается во внутреннем объеме этого изделия, работающего в диапазоне температур —65...125°C.

Возвращаясь к твердотельному реле, точнее к его коммутирующему элементу, необходимо подчеркнуть, что этот коммутирующий элемент выполняет функцию только замыкающего контакта.

В разомкнутом состоянии коммутирующего элемента, т.е. в состоянии, когда полупроводниковый прибор представляет собой высокое сопротивление, в цепи нагрузки протекает ток утечки, величина которого зависит от типа прибора, его температуры и приложенного напряжения.

Если коммутирующий элемент выполнен на полевом транзисторе с МОП-структурой (MOSFET), то ток утечки не превышает 10 мкА при температуре 25°C и 100 мкА при ее повышении до 125°C. При этом указанные уровни токов совпадают как для реле, коммутирующих токи 0,5...1,5 А, так и для реле на токи 20,0...25,0 А.

Для коммутирующего элемента на транзисторе Дарлингтона ток утечки существенно выше: 3 мА при нормальной температуре и 10 мА при температуре 110°C. Для коммутирующих элементов на симисторах ток утечки также не превышает 10 мА во всем диапазоне рабочих температур. Можно считать, что ток утечки удваивается с удвоением напряжения в цепи нагрузки.

Электрическая прочность коммутирующего элемента не нормируется как самостоятельный параметр. В то же время для каждого типа реле устанавливается некоторое предельное значение коммутируемого напряжения, которое не должно быть превы-

шено. Для реле с коммутирующим элементом на транзисторах типовое предельное напряжение 50 В, в случае использования симистора — 250 В. При этом для отдельных типов реле допускается повышение коммутируемого напряжения в 2 раза относительно предельно допустимых значений.

Область применения твердотельного реле определяется типом полупроводникового прибора коммутирующего элемента: для коммутации цепей постоянного тока это транзисторы, коммутация переменного тока более эффективно осуществляется симисторами.

Коммутирующий элемент реле постоянного тока критичен к полярности коммутируемого тока и всегда имеет соответствующую маркировку.

Проводящие свойства замкнутого коммутирующего элемента чаще всего оцениваются величиной падения напряжения на нем, хотя качество коммутирующего элемента может характеризоваться и величиной электрического сопротивления. Величина падения напряжения является функцией протекающего через коммутирующий элемент тока и зависит от типа примененного полупроводникового прибора. Для коммутирующего элемента на симисторе эта величина составляет 0,8...1,5 В при повышении тока от минимального до максимального значения. Эта же величина составляет 1,1...2,7 В при использовании транзистора Дарлингтона и 0,2...1,5 В при использовании полевого транзистора. Включенный коммутирующий элемент на полевом транзисторе характеризуется также электрическим сопротивлением, величина которого 0,06...1,6 Ома.

Наличие тока утечки через разомкнутый коммутирующий элемент и падения напряжения на нем в замкнутом состоянии налагают ограничение при определении нижних уровней коммутируемых токов и напряжений. Как правило, нижний уровень коммутируемого тока не должен быть меньше десятикратной величины тока утечки.

Что же касается минимального напряжения, то оно не должно быть меньше десятикратной величины падения напряжения на симисторе и двукратной величины падения напряжения на транзисторе Дарлингтона.

Для коммутирующего элемента на полевом транзисторе нижние уровни тока и напряжения приближены к нулю.

Для правильного использования твердотельного реле важнейшее значение, наряду с номинальными ха-

рактеристиками, имеют характеристики перегрузки его коммутирующего элемента.

Показателем перегрузки является кратковременное увеличение тока, протекающего через включенный коммутирующий элемент в течении определенного времени при нормированной температуре окружающей среды или корпуса реле.

Для коммутирующего элемента на симисторе ток перегрузки может превышать номинальное значение на 1000% в течении 16 мкс при температуре 25°C. В случае увеличения времени перегрузки, например, до 10 с, амплитуда тока перегрузки может быть выше номинального тока только на 150%. Для коммутирующего элемента на транзисторах амплитуда тока перегрузки не может превышать номинальный ток более, чем на 20%, если время действия перегрузки менее 0,1 с.

В реальных условиях работы твердотельного реле его коммутирующий элемент, кроме перегрузок по току, которые являются реакцией на нагрузки на управляющие команды, подвергается также воздействию импульсов напряжения с высокой скоростью изменения фронтов. И если коммутирующий элемент на транзисторах можно считать не чувствительным к такому воздействию, или к «эффекту du/dt », то при использовании симистора возникает опасность несанкционированного включения коммутирующего элемента при определенных скоростях изменения напряжения в цепях нагрузки. С учетом этого изготовитель твердотельных реле указывает величину du/dt , при которой включения коммутирующего элемента не происходит. Обычно эта величина 200...400 В/мкс.

Если твердотельное реле коммутирует переменный ток, то, как правило, для них устанавливается диапазон рабочих частот 45...440 Гц, что дает возможность использования этих реле как в промышленности, так и в аппаратуре подвижных объектов, где источники электрообеспечения на 400 Гц более предпочтительны. Реле с коммутирующим элементом на полевых транзисторах (MOSFET) могут коммутировать цепи переменного тока на частоте до 1 МГц.

В коммутирующем элементе твердотельного реле, независимо от типа полупроводникового прибора, его основная характеристика — коммутируемый ток — подтверждена заметным влиянию положительных температур. Из-за интенсивного нагрева коммути-

рующего элемента во включенном состоянии это влияние тем сильнее, чем выше установленный для него номинальный ток. Уже при температуре 30°C режим коммутации токов 10,0...25,0 А обеспечивается этими реле только совместно с радиатором охлаждения или при монтаже на теплопроводящие поверхности. Если радиатор не используется, то коммутируемый ток следует снизить относительно продекларированной изготовителем величины номинального тока на 40—60%. Дальнейшее повышение температуры до 90...110°C приводит к необходимости снижать коммутируемый ток на 80% для реле с радиатором и на 90%, если он отсутствует.

Для коммутирующего элемента на токи 0,5...1,0 А коммутируемый при температуре 30°C ток снижается относительно номинального только на 20%. Что же касается максимальных рабочих температур 90...110°C, то здесь, так же как и при коммутации сильных токов, необходимо снижать номинальные уровни токов на 85—90%.

Теперь, после того, как рассмотрены основные различия электромагнитных и твердотельных реле, вытекающие из их принципа действия, сформируем обобщенные характеристики этих изделий и очертим области их применения.

Типовым представителем электромагнитных реле на токи до 1,0 А будем считать современное реле фирмы «Teledyne» серии 134, технические характеристики которого, так же как и характеристики других типовых представителей, соответствуют военным стандартам США.

При габаритных размерах 9,4 × 9,4 × 9,53 мм и массе 4,2 г (металлостеклянный корпус «centigrad») реле содержит 2 переключающих контакта с сопротивлением 0,1 Ом, которые коммутируют постоянный и переменный ток. Число его коммутационных циклов, в зависимости от величин коммутируемых токов и напряжений, находится в пределах $10^5...10^7$. Реле коммутируют активные и индуктивные нагрузки, а также нагрузки в виде лампы накаливания. Максимальное коммутируемое постоянное напряжение равно 28 В, переменное — 115 В, 400 Гц.

Электрическая мощность, необходимая для управления реле этой серии — 0,22 Вт, максимальное время включения — 4,0 мс, время отключения — 2,0 мс. Диапазон рабочих температур, в котором сохраняются все указанные характеристики: —65...125°C.

Типовым представителем для твердотельных реле на токи 0,25...1,35 А может быть изделие фирмы «Teledyne» серии 685-2. Реле смонтировано в аналогичном корпусе «centigrad» размером 9,4 × 9,4 × 8,51 мм и массой 3,0 г.

Коммутирующий элемент выполняет функцию замыкающего контакта, предназначенного для работы в цепях постоянного тока. Электрическое сопротивление включенного коммутирующего элемента 0,28...0,33 Ом. Максимальное коммутируемое напряжение 60 В, максимальный ток 1,35 А при температуре 30°C. С повышением рабочей окружающей температуры до 110°C коммутируемый ток необходимо снизить до 0,05 А.

Время включения реле равно 0,8 мс, время отключения — 2,0 мс. Для включения реле этого типа требуется электрическая мощность 0,9 мВт. Реле работает в диапазоне температур —55...110°C.

Что следует из приведенных обобщений, касающихся слаботочной группы электромагнитных и твердотельных реле, коммутирующих токи до 1,0...1,5 А?

В первую очередь, выделяется универсальность контактной системы электромагнитного реле, которая способна работать — можно сказать без преувеличения — во всех электрических режимах, предложенных практикой, обеспечивая высокое качество коммутации электрических цепей и высокую температурную устойчивость. Еще одной особенностью электромагнитного реле является способность его контактной системы выполнять функцию переключающего контакта без энергетической поддержки.

В типовом представителе твердотельного реле единственной характеристикой, вызывающей интерес при использовании, является низкая мощность управления. Однако с таким твердотельным реле успешно конкурирует электромагнитное реле серии 136С фирмы «Teledyne» с сопоставимыми габаритными размерами, во внутреннем объеме которого установлен полевой транзистор с МОП-структурой.

Рассмотрим теперь типовые реле сильноточной группы с коммутирующими элементами на токи до 25,0 А.

Для электромагнитных реле это может быть изделие серии М320 или М322 фирмы «Leach» с одним переключающим контактом. Габаритный размер реле 24,6 × 24,2 × 12,6 мм при массе 50 г, время включения

и отключения составляет 10...15 мс. Реле коммутируют постоянный ток при напряжении 30 В и переменный при напряжении 115 В, 400 Гц. Мощность, необходимая для включения реле: 1,3 Вт для реле М320 и 0,013 Вт для реле М322 (поляризованное бистабильное реле). Падение напряжения на замкнутом контакте реле: 150...175 мВ. Реле способны коммутировать активную и индуктивную нагрузки, а также электродвигатель и лампу накаливания. Механическая износостойкость реле: 2×10^5 циклов коммутации. Технические характеристики сохраняются во всем диапазоне рабочих температур, т.е. —70...125°C.

Типовым представителем твердотельных реле сильноточной группы будем считать реле фирмы «Teledyne» серии 653-1, поскольку оно, как и электромагнитное реле, имеет один коммутирующий элемент.

Основные характеристики реле: габаритный размер реле 61,5 × 39,8 × 33 мм при массе 170 г, падение напряжения на включенном коммутирующем элементе — 1,0...2,7 В, мощность управления — 0,08...0,32 Вт, время включения — 20 мкс, время отключения — 175 мкс. Реле коммутируют только постоянный ток при напряжении до 50 В. Диапазон рабочих температур: —55...110°C. При этом с повышением температуры до 110°C коммутируемый ток потребует снизить до 5,0 А, если реле смонтировано на теплоотводящей стойке или шасси, и до 1,0 А, если реле не снабжено дополнительным теплоотводом.

Среди приведенных характеристик типовых представителей сильноточной группы реле опять превалирует универсальность контактной системы электромагнитного реле, высокое качество коммутации, температурная устойчивость. В дополнение к сказанному нужно добавить, что масса электромагнитного реле сильноточной группы в 3,4 раза, а объем в 11 раз меньше, чем у реле твердотельного.

Представленные материалы позволяют сделать следующие выводы:

— благодаря универсальности, устойчивости к температурным и радиационным воздействиям при достаточно высокой электрической совместимости с исполнительными механизмами и коммуникациями, электромагнитные реле еще длительное время сохраняют доминирующее, безальтернативное положение среди технических средств, предназначенных для

коммутации электрических цепей постоянного и переменного тока;

— высокое быстродействие, низкая энергоемкость цепей управления и критичность коммутационных характеристик к повышенным температурам предопределили для твердотельных реле предпочтительную область применения: функция согласования выходных цепей управляющих машин, контроллеров, микропроцессоров с промежуточными исполнительными механизмами и коммуникациями, главным образом, переменного тока.

Такой вывод, по нашему мнению, исчерпывающим образом отвечает на вопрос, содержащийся в названии статьи. Поэтому ожидать в ближайшие годы расширения областей применения твердотельных реле за счет электромагнитных пока оснований нет. Более того, развитие техники пока не дает оснований для оптимизма при оценке дальнейшего развития функций твердотельных реле. Это связано, в первую очередь, с проблемой совершенствования выходного узла твердотельных реле с целью придания ему функции переключающего контакта без энергетической поддержки и увеличения числа выходных узлов в одном изделии при снижении его объема — проблемой, которая в течение уже нескольких десятков лет не может найти разрешения.

В то же время область использования твердотельных реле, главным образом реле переменного тока, можно было бы расширить при устранении, или хотя бы при ослаблении, зависимости коммутируемого тока от температуры. Это может быть достигнуто как за счет применения средств принудительного охлаждения, включая использование эффекта Пельтье, так и за счет повышения рабочей температуры полупроводниковых приборов.

Радикальный же переход к использованию твердотельных реле, произойдет, по-видимому, тогда, когда принцип действия исполнительных механизмов будет другим, т.е. включение и отключение этих механизмов будет проходить без поглощения и выделения электромагнитной энергии с многократным повышением ее уровня.

До этого времени и те и другие реле будут присутствовать на рынке комплектующих изделий при некотором относительном повышении производства твердотельных реле по мере расширения применения электронных средств автоматического управления во всех областях деятельности человека.