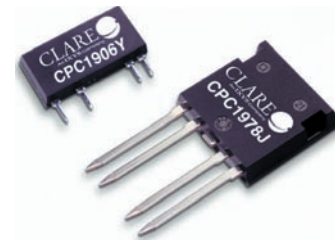


Преимущества OptoMOS твердотельных реле Clare



Юрий Коваль, руководитель технического отдела ООО «СЭА Электроникс»
E-mail: yurikov@sea.com.ua

На украинском рынке сейчас представлено большое количество электромеханических (электромагнитных) реле в различных применениях, однако всегда ли это оправданно и оптимально, особенно когда это касается вопросов компактности, надежности, ударостойкости, взрывобезопасности, магнитной невосприимчивости и энергопотребления.

ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ РЕЛЕ

Благодаря последним достижениям в полупроводниковой технологии от таких производителей как Clare, International Rectifier, Vishay, NAIS, NEC, Excel Cell Electronics (ECE), Протон (г. Орел, Россия), Cosmo, Srydom, Legerity и др. появилось целое поколение твердотельных реле (ТТР), имеющих неоспоримые преимущества по сравнению с электромеханическими.

Многие разработчики электронных схем по достоинству оценят преимущества OptoMOS (полупроводниковая технология опторазвязки компании Clare с использованием на выходе транзисторных ключей со структурой металл-оксид-полупроводник, сокращенно — МОП) твердотельных реле относительно электромеханических реле (ЭМР) с теми же схемными функциями. Перечислим основные преимущества твердотельных реле перед электромеханическими:

- ТТР обычно меньше по размерам, чем ЭМР, что сохраняет больше свободного места на печатных платах;
- ТТР имеют большую надежность и износостойкость, так как нет движущихся механических частей или контактов, имеющих ограниченное количество переключений;
- ТТР обеспечивают переключение без «дребезга» контактов, из-за которого может образовываться искра, дуга или радиопомеха;
- ТТР потребляют меньшую мощность и имеют меньше тепловыделений;

- ТТР имеют меньшую стоимость и вес. Компания Clare, основанная в 1937 году и вошедшая затем в состав корпорации IXYS, серийно производит твердотельные оптореле и оптоусилители с транзисторным (МОП или биполярный) и симисторным выходом (скоро ожидается появление модели с выходным напряжением на 1000 В), заменяющие электромеханические реле в аппаратуре телефонных станций, программируемых логических контроллеров и промышленной автоматике, устройствах сигнализации, измерительной и научной аппаратуре, медицине и др. Кроме того, эта компания производит электролюминесцентные лампы и драйверы к ним, уникальные оптодрайверы с автосмещением (CPC1580, CPC1590, CPC1520G) для МОП или IGBT транзисторов, не требующие дополнительного изолированного источника питания, солнечные элементы и др.

Выходные каскады большинства твердотельных реле компании Clare построены по МОП-технологии, в результате чего характеристики этих реле для коммутации аналоговых сигналов по утечкам и потерям лучше, чем у твердотельных оптореле с тиристорными или биполярными ключами, хотя и стоимость OptoMOS ТТР будет несколько выше. По сравнению с тиристорным выходом, МОП-ключ обладает линейной зависимостью тока от напряжения во включенном состоянии, причем падение напряжения на ключе составляет менее 0.6 В. Выходной ключ на

основе сдвоенного МОП-транзистора обеспечивает двунаправленное переключение нагрузки и допускает работу с переменным током. В отличие от своих основных конкурентов компания Clare сумела создать силовые OptoMOS ТТР на большие токи или напряжения, например, модели CPC1709 (60 В, 22 А) и CPC1986 (1000 В, 1.6 А), сверхминиатюрные — в SOP-4 корпусе — CPC1393 с нагрузочным напряжением до 600В, а также более широкую гамму микросхем с уникальными характеристиками для телекоммуникационных применений (например, LCAS 10-полюсный оптопереключатель CPC7595, который уже способен выдерживать резкое изменение напряжения помехи на абонентской линии с крутизной до 500 В/мксек, что пока недостижимо для конкурентов, например, компании Legerity с семейством VE750. Среди достижений других производителей можно отметить ТТР по МОП технологии от компании Vishay, с очень малыми токами управления (около 0.23 мА). Это модели LH1525, LH1526, а также ТТР с очень малым (5 Ом при токе 100 мА) сопротивлением включения (модель — VO1400AEFTR). Компания International Rectifier выделяется среди других производителей более быстродействующими моделями МОП ТТР серии PVA, которые позволяют коммутировать сигналы с частотой от 2 до 25 кГц, а также так называемыми оптоизоляторами серии PVI, функционально представляющими собой светоизлучающий диод на входе и фотодиодную матрицу с номинальным напряжением 5 В на выходе, к которой можно непосредственно подключить управляющий электрод выходного транзистора. В этом случае разработчик может построить реле с напряжениями и токами коммутации, значительно превосходящими стандартные ИС твердотельных реле. ЗАО «Протон» — ведущий производи-

тель изделий оптоэлектронной техники в России и странах СНГ, осуществляющий полный цикл производства ТТР с МОП-ключами от кристаллов до модулей и законченных изделий, в том числе и для спецтехники с широким диапазоном рабочих температур.

ПРИМЕНЕНИЯ ТТР

Твердотельные реле могут заменять электромеханические реле во многих применениях, включая:

- телекоммуникации;
- передачу данных;
- промышленную автоматику;
- системы охранной сигнализации.

ОПТОМОС ТЕХНОЛОГИЯ ТТР ФИРМЫ CLARE

Твердотельные оптореле функционально представляют собой широкий спектр комбинаций «светодиод — электронный ключ» (одна пара (1-FORM), две пары (2-FORM), ключ нормально замкнут (1-FORM-B), ключ нормально разомкнут (1-FORM-A), один ключ замкнут, другой разомкнут 2-FORMA&B), обеспечивающих гальваническую развязку между входом и выходом до напряжения 5000 В (среднеквадратичное значение), диапазон рабочих температур -40...+85 °С и различающихся по времени переключения, сопротивлению канала в открытом состоянии и стоимости.

OptoMOS технология Clare использует полупроводниковую технологию, обеспечивающую изоляцию слабо-сигнальных переключающих решений. OptoMOS одиночное твердотельное реле включает в себя три основные функциональные схемы, использующие четыре дискретных полупроводниковых чипа (см. рис. 1). Входная схема №1 содержит один чип светодиод (FD), преобразующий входной управляющий ток в инфракрасное (ИК) излучение. Инфракрасный свет затем, пройдя некоторое расстояние в корпусе реле, преобразуется в интегрированной матрицей (схема №2) фотогальванических ячеек (ФЯ) в напряжение, требуемое для управления встроенными МОП транзисторами (схема №3), переключающими нагрузку.

ИК излучение от чип светодиода, отраженное от купола (см. рис. 1) поступает на чип ФЯ (PV) через прозрачный диэлектрический материал, без теплопередачи и ухудшения сопротив-

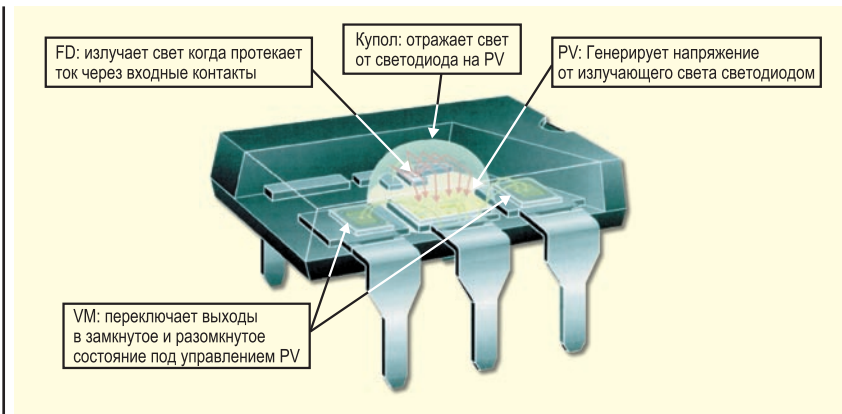


Рисунок 1 Внутренняя структура твердотельного реле Clare

ления изоляции между входом и выходом оптопары.

Благодаря оптической развязке между входной управляющей цепью и выходным каскадом достигается полная гальваническая развязка по напряжению между входом и выходом от 1500 В до 5300 В в зависимости от типа прибора. В табл. 1 приведены параметры сигнальных ТТР, изготовленные по МОП-технологии, пользующиеся высоким спросом на украинском рынке.

LCAS (Line Card Access Switch) многополюсные оптопереключатели (до 10-ти переключателей в одном корпусе) для линейных карт функционально заменяют все электромеханические реле со двоянным переключающим контактом (2-FORM-C), обеспечивая максимальную гибкость при проектировании линейных карт для традиционной голосовой и более новой, интегрированной голосовой+цифровой (IVD) систем передачи данных в автоматических телефонных станциях (СО) и в цифровых системах концентрации телефонных линий (DLC). Типичными функциями реле для линейных карт являются разрыв линии, звонок, тест абонентской линии и др.

Все эти функции требуют способности выдерживать высоковольтные сигналы и тесты на разряды молнии. LCAS оптопереключатели — это монолитные ИС, производимые по уникальной 320В технологии VCDMOS компании Clare, которая представляет собой изолированный канал, размещенный на толсто-плочной подложке типа кремний на изоляторе (SOI).

OptoMOS ТТР, твердотельные переключатели переменного тока (AC) и LCAS оптопереключатели компании Clare обеспечивают широкий выбор для разработчика типов переключающих контактов, запирающих напряжений и нагрузочных токов. Рис. 2 демонстрирует возможность подбора силовых ТТР Clare с током до 22.8 А и напряжением до 1000 В.

Уникальные силовые ТТР компании Clare демонстрируют результат объединения технологий корпорации IXYS, давшей выходную часть оптореле в виде силового МОП транзистора, и компании Clare, давшей управляющую часть (высокоэффективный GaAlAs инфракрасный светодиод) и опторазвязку ТТР (см. рис. 3).

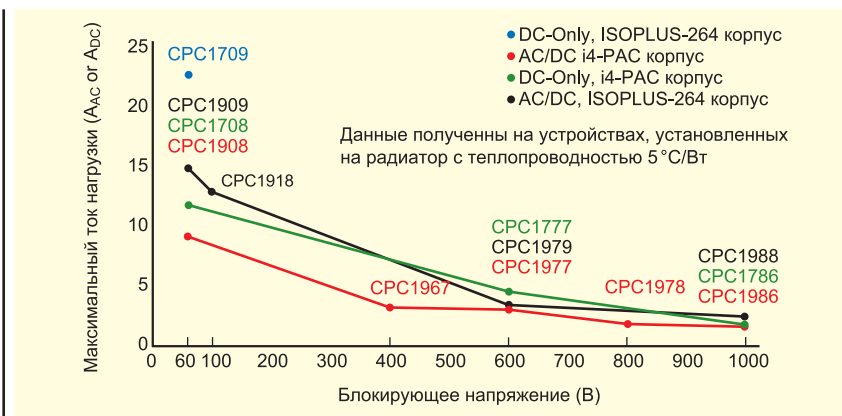
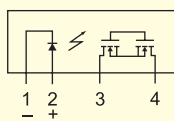
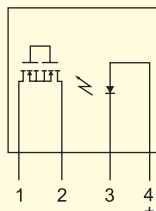


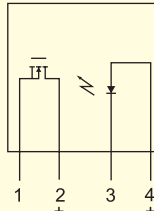
Рисунок 2 Характеристики ТТР компании Clare

Power SIP
1 to 3 Watts

*i4-PAC™ и ISOPLUS264
выпускаются в версиях AC/DC и DC

i4-PAC™
5 to 10 Watts

AC/DC версия*

ISOPLUS264
10 to 20 watts

DC версия*

Благодаря этой комбинации удалось снизить сопротивление включения выходного транзистора и повысить его нагрузочные по току характеристики (см. табл. 2, 3). Силовые оптореле 1-FORM-A (один нормально разомкнутый контакт) оптимальны для использования в таких применениях как управление двигателями, робототехника, медицинское оборудование, железная дорога и контроль движения, бытовые приборы, промышленный контроль, измерительное оборудование и подсистемы ввода-вывода, авиакосмическая и военная индустрия.

Рисунок 3 Внутренняя структура силовых реле с AC/DC или DC 1-FORM-A выходом

Таблица 1. Характеристики сигнальных твердотельных реле

Наименование	Макс. напряжение (В)	Макс. ток (мА)	Сопротивл. во включенном состоянии (Ом)	Напряжение изоляции (В)	Ток упр. (мА)	Время переключения Ton/Toff (мсек)	Тип корпуса	Производитель
1-FORM-A выходной контакт								
K449KP1AP	40	250	5	3000	5	5/2	4 Pin DIP	Протон
CPC1017N	60	150	16	1500	1	10/10	4 Pin SOP	Clare
VO1400AEFTR	60	100	5	1500	1	0.5/0.5	4 Pin SOP	Vishay
CPC1018N	60	600	0.8	1500	2	3/2	4 Pin SOP	Clare
PVA1354N	100	375	5	4000	5	0.15/0.125	8 Pin DIP	International Rectifier
KP293KP1Б	230	100	25	1500	5	2.2	6 Pin DIP	Протон
CPC1035N	350	100	35	1500	2	2/1	4 Pin SOP	Clare
CPC1225N	400	120	30	1500	2	2/1	4 Pin SOP	Clare
PVT412	400	140	27	4000	3	2/0.5	6 Pin DIP	International Rectifier
CPC1393	600	100	50	5000	5	5/5	4 Pin SOP	Clare
LCA110	350	120	35	3750	2	3/3	6 Pin DIP	Clare
LCA110L*	350	120	35	3750	2	3/3	6 Pin DIP	Clare
LCA120	250	170	20	3750	5	5/5	6 Pin DIP	Clare
LCA120L*	250	150	20	3750	5	3/3	6 Pin DIP	Clare
LCA127	250	200	10	3750	5	5/5	6 Pin DIP	Clare
LCA127L*	250	170	15	3750	5	5/5	6 Pin DIP	Clare
LCA710	60	1000	0.5	3750	10	2.5/0.25	6 Pin DIP	Clare
LCA712	60	1000	0.5	3750	10	2.5/0.25	6 Pin DIP	Clare
PVG612S	60	1000	0.5	4000	5	2/0.5	6 Pin SOIC	International Rectifier
LCA715	60	1800	0.25	3750	10	2.5/0.25	6 Pin DIP	Clare
PLA160	300	50	100	3750	10	0.05/0.05	6 Pin DIP	Clare
LH1525AT	400	125	36	5300	0.23	1/0.9	6 Pin DIP	Vishay
K293KP12БП	400	700	2.5	1500	10	20/5	12 Pin SIP	Протон
PVX6012 (с IGBT)	400	1000	2.5 В напр. насыщения	3750	5	7/1	14 Pin DIP	International Rectifier
PLA170	800	100	50	3750	5	5/5	6 Pin DIP	Clare
CPC1002N	60	700	0.55	1500	2	5/2	4 Pin DIP	Clare
2-FORM-A выходные контакты								
KP293KP3Б	230	80	25	1500	5	2.2	8 Pin DIP	Протон
LAA110	350	120	35	3750	5	3/3	8 Pin DIP	Clare
LAA110L*	350	120	35	3750	5	3/3	8 Pin DIP	Clare
LH1526AAC	400	100	36	5300	0.23	1/0.9	8 Pin DIP	Vishay
PVT422S	400	120	35	4000	2	2/2	8 Pin SOIC	International Rectifier
EPR312A408	400	130	30	2500	5	1/1	8 Pin SOIC	ECE
PAA110	400	150	22	3750	5	1/0.25	8 Pin DIP	Clare
PAA140	400	250	8	3750	5	3/1	8 Pin DIP	Clare
1-FORM-B выходной контакт								
CPC1130N	350	120	30	1500	2	2/2	4 Pin SOP	Clare
CPC1135N	350	120	35	1500	1	2/2	4 Pin SOP	Clare
CPC1150N	350	120	50	1500	2	1/2	4 Pin SOP	Clare
LH1501BT	350	150	25	3750	1	3/3	6 Pin DIP	Vishay
LCB127	250	200	10	3750	5	5/5	6 Pin DIP	Clare
PLB150	250	250	7	3750	5	1/2.5	6 Pin DIP	Clare

Обозначения: для SMD-корпуса от Clare в конце названия для DIP исполнения добавляется суффикс «S»,

* — по выводу есть схема токового ограничения при к.з.

SIP корпус силовых оптореле Clare (семейства ISOPLUS) выгодно отличаются по выводам с аналогами оптореле от других производителей. А корпуса i4-PAC™ и ISOPLUS264 уникальному технологическому про-

цессу, при котором кремниевый кристалл спаян с DCB теплопроводящей керамической подложкой. Это позволяет достичь низкого теплового сопротивления и высокого напряжения изоляции между входом и выходом. Для корпуса, например, ISOPLUS264 тепловое сопротивление будет не более 0.3 °C/Вт, а напряжение изоляции — не менее 2500 В.

Таблица 2. Характеристики силовых оптореле с AC/DC 1-FORM-A выходом

Наименование	Максимальное напряжение (В)	Максимальный ток (сКЗ)		Сопротивление во включенном состоянии (Ом)	Входной ток управления (мА)	Время переключения Ton/Toff (мкс)	Тип корпуса	Производитель
		Без радиатора (А)	С радиатором 5 °C/Вт (А)					
CPC1909	60	6.5	15	0.1	10	25/10	ISOPLUS-264	Clare
CPC1918	100	5.25	13	0.1	10	25/10	ISOPLUS-264	Clare
CPC1979	600	1.4	3.5	0.75	10	25/5	ISOPLUS-264	Clare
CPC1988	1000	0.9	2.25	2.5	10	20/5	ISOPLUS-264	Clare
CPC1908	60	3.5	8.5	0.3	10	20/5	i4-PAC	Clare
5П19Б3	400	0.7	—	5	10	20/5	DIP-12	Протон
CPC1967	400	1.35	3.35	0.85	10	20/5	i4-PAC	Clare
CPC1977	600	1.25	3.1	1	10	20/5	i4-PAC	Clare
CPC1978	800	0.75	1.85	2.3	10	20/5	i4-PAC	Clare
CPC1986	1000	0.65	1.6	3.0	10	20/5	i4-PAC	Clare
CPC1906Y	60	2	—	0.3	10	10/5	Power SIP	Clare
CPC1916Y	100	2.5	—	0.34	10	5/3	Power SIP	Clare
CPC1926Y	250	0.7	—	1.4	10	10/10	Power SIP	Clare
CPC1973Y	400	0.35	—	5	10	5/3	Power SIP	Clare
CPC1981Y	1000	0.18	—	18	10	10/5	Power SIP	Clare

Таблица 3. Характеристики силовых оптореле с DC 1-FORM-A выходом

Наименование	Максимальное напряжение (В)	Максимальный ток (сКЗ)		Сопротивление во включенном состоянии (Ом)	Входной ток управления (мА)	Время переключения Ton/Toff (мкс)	Тип корпуса	Производитель
		Без радиатора (А)	С радиатором 5 °C/Вт (А)					
CPC1709	60	9	22.8	0.05	10	25/10	ISOPLUS-264	Clare
CPC1708	60	4	11.85	0.08	10	20/5	i4-PAC	Clare
CMX60D20	60	20	—	0.0033	15	2/0.3	4pin-SIP	Crydom
AQZ105	100	2.6	—	0.17	1	5/3	4pin-Pin SIL	NAIS
Визо-600	600	2	4	3	10	10/10	i-PAC	Протон
CPC1777	600	1.5	4.6	0.5	10	20/5	i4-PAC	Clare
CPC1786	1000	0.65	1.75	2	10	20/5	i4-PAC	Clare

Таблица 4. Сравнение размеров ТТР и ЭМП

Наименование	Корпус	Количество контактных полюсов	Площадь занимаемая одним контактным полюсом (мм ²)
Твердотельные реле			
CPC7581BA LCAS	16 SOIC	4	54
CPC7582BA LCAS		6	27
CPC7583BA LCAS	28 SOIC	10	32
CPC7581MA LCAS	16MLP	4	21
CPC7582MA LCAS		6	10.5
CPC7583MA LCAS	28 MLP	10	13
LCA110 OptoMOS	6-pin SMT	1	53
LAA110 OptoMOS	8-pin SMT	2	30.5
CPC1035 OptoMOS	4-pin SOP	1	16
Электромеханические реле			
Герконовое реле	4-pin SIP	1	97
SMD герконовое реле	4-Pin GULL	1	116
2 FORM С ЭМП	3-ье поколение	4	77
2 FORM С ЭМП	4-тое поколение	4	36.5

КОМПАКТНОСТЬ ТТР

ТТР имеет значительно меньшие габаритные размеры в сравнении с ЭМП с теми же параметрами. При современных требованиях к проектам, когда место на печатной плате очень экономится, вопросы размера компонентов как никогда актуальны. Сравнение физических размеров ТТР и ЭМП в табл. 4 в терминах — площадь, занимаемая на печатной плате, на количество переключающих контактов показывает неоспоримое преимущество ТТР.

ПРЕИМУЩЕСТВА ТТР В СРАВНЕНИИ С ЭМП ДЛЯ МОНТАЖА НА ПЕЧАТНУЮ ПЛАТУ

В применениях, связанных с монтажом на печатную плату, ТТР имеет несколько неоспоримых достоинств по сравнению с ЭМП:

- ТТР не имеет взаимного влияния с электромагнитным полем;
- ТТР не генерирует электрические шумы;
- ТТР более устойчив к ударным нагрузкам и вибрации;
- ТТР не генерирует и не воспринимает электромагнитных помех;
- в современном производстве печатных плат с SMT монтажом (SMT-технология поверхностного монтажа), ТТР имеет преимущества по малому занимаемому месту и объему.

Магнитное взаимодействие и восприимчивость к электромагнитному полю

ЭМП при работе излучает магнитное поле. Это поле по распространению не ограничивается корпусом реле, а распространяется далее. Влияние магнитного поля между соседними электромагнитными компонентами должно учитываться при разводке печатных плат (см. рис. 4).

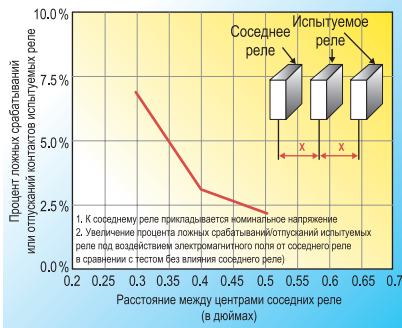


Рисунок 4 Требования по минимальной дистанции между соседними ЭМР

Для уменьшения влияния магнитным полем при монтаже ЭМР руководствуются следующими рекомендациями:

- не допускайте в местах расположения ЭМР попадание магнитных частичек или грязи;
- возле ЭМР магнитное поле более 8000 А/м недопустимо;
- при монтаже нескольких ЭМР в ряд обязательно соблюдайте минимально-допустимый интервал между соседними реле.

Для удовлетворения требованиям по электромагнитному влиянию, сказывающемуся в виде ложных срабатываний (pull-in) или отпусков (drop-out) соседнего реле, по периметру ЭМР обычно резервируется область на печатной плате шириной 5 мм, что увеличивает стоимость этого решения.

Для ТТР магнитное влияние отсутствует, так как нет электромагнитной катушки, благодаря чему печатная плата получается более компактной.

Шумы и изоляция

В отличие от ТТР ЭМР генерирует электрические и акустические шумы, которые могут быть проблематичными для применений с монтажом на печатную плату. В руководствах по применению ЭМР приводятся следующие рекомендации:

- реле может быть источником шума для полупроводниковых цепей, что должно учитываться при расположении ЭМР относительно других полупроводниковых компонентов на печатной плате;
- располагайте ЭМР и полупроводниковые компоненты как можно дальше друг от друга;
- устанавливайте обратный диод, подавляющий обратную волну э.д.с. самоиндукции индуктивной катушки ЭМР, как можно ближе к выводам обмотки;

- не прокладывайте проводники для звуковых сигналов вблизи ЭМР;
- проектируйте цепи, соединяющиеся с выводами ЭМР, как можно более короткими;
- если проводники чувствительных цепей вынуждены проходить вблизи ЭМР — экранируйте эти проводники.

ТТР — это интегральная схема (ИС). Она не является источником акустических и электрических шумов, и нет необходимости специального рассмотрения расположения ТТР относительно других полупроводников на печатной плате.

Ударная нагрузка и вибрация

В сравнении с ТТР ЭМР более чувствительна к ударным нагрузкам и вибрации. Более того, при конструировании необходимо учитывать расположение ЭМР относительно направления распространения ударной нагрузки и вибрации.

В идеале, ЭМР должно быть установлено так, чтобы любой удар или вибрация прикладывались под прямым углом к направлению перемещения контактов. Когда катушка ЭМР обесточена, устойчивость к ударным нагрузкам и вибрации наиболее уязвима. ЭМР обычно имеют устойчивость к ударным нагрузкам только 50 г ($g = 9.81 \text{ м/с}^2$ ускорение свободного падения) и устойчивость к вибрации лишь 20 г. Необходимость заданной ориентации направления перемещения контактов в ЭМР может быть усложняющим фактором при проектировании печатных плат с большим количеством реле.

ТТР же не имеет движущихся механических частей и поэтому не чувствительна к ударным нагрузкам и вибрации. При испытании ТТР фирмы Clare была получена устойчивая работа этого ТТР при ударной нагрузке 500 Гаусс в течение 0.5 сек в любом направлении.

ИЗОЛЯЦИЯ МЕЖДУ ВХОДОМ И ВЫХОДОМ

Для применений, требующих высокую изоляцию между входом и выходом, например, в схемах интерфейсов телефонных линий, ТТР — это лучший выбор. ТТР компании Clare 100% испытаны на напряжение пробоя (НП). Минимально-допустимое напряжение пробоя для ТТР в 4-х выводном корпусе — 1500 В rms в течение 60 секунд. Остальные типы ТТР компании Clare вы-

держивают либо 3750 В, либо 5000 В в течение 60 секунд.

В ЭМР изоляция между входом и выходом рассматривается, в основном, как сопротивление изоляции. Этот термин определяет сопротивления между всеми изолированными проводящими секциями реле, а именно: изоляцию между катушкой и контактами, между разомкнутыми контактами и между контактом и любым проводником или корпусом реле с земляным потенциалом. Из-за физических ограничений в конструкции реле (например, ограниченная величина промежутка между разомкнутыми контактами) и используемым материалом ЭМР в сравнении с ТТР обычно имеет несколько меньшее пробивное напряжение — 1000 В rms.

НАРАБОТКА НА ОТКАЗ

Все электронные компоненты имеют определенный период наработки на отказ. ЭМР со своими подвижными механическими частями, контактными поверхностями и проводными обмотками имеют большую вероятность отказа, чем у ТТР. Кроме того, надежность наиболее критичных элементов ТТР — светодиода и оптоизолятора, в последние годы значительно улучшилась.

В прошлом при изготовлении дискретных и модульных оптоэлектронных устройств существовали проблемы, связанные с дрейфом электрооптических параметров через какое-то время. Наибольший вклад в этот дрейф и, следовательно, вклад в сокращение времени наработки на отказ оказывал светодиод, наиболее критичный элемент ТТР. В последнее время, благодаря новым разработкам, живучесть и стабильность параметров светодиодов удалось значительно увеличить по времени. Недавнее испытание оптических компонентов твердотельного реле показало, что среднее время наработки на отказ (MTBF) светодиода, запитанного прямым током 10 мА, который используется в ТТР компании Clare, — 290 875 часов или 33.20 года с 90% коэффициентом достоверности.

По вопросам заказа твердотельных реле фирмы Clare обращайтесь к официальному дистрибьютору на территории Украины — компании «СЭА Электроникс»:

тел.: (044) 296-24-00,
e-mail: info@sea.com.ua