

Об особенностях реле управления отключающими катушками высоковольтных выключателей

В. И. Гуревич, канд. техн. наук, эксперт МЭК

Как известно, коммутационная способность контактов реле определяется (при прочих равных условиях) площадью контактной поверхности, массой контактов, контактным нажатием и межконтактным зазором. Чем большие значения имеют эти параметры, тем выше коммутационная способность контактов. Поэтому мощные контакты отличаются от маломощных прежде всего своими размерами и зазором. Для создания большого контактного нажатия и для перемещения более тяжелых контактов на большее расстояние требуется и более крупная и мощная катушка. Таким образом, можно констатировать, что для коммутации более мощной нагрузки требуется и более крупное реле, рис. 1. В старых электромеханических реле защиты в качестве элемента, включающего отключающую катушку высоковольтного выключателя, использовалось специальное встроенное промежуточное реле, обычно с фиксацией положения после срабатывания и ручным возвратом (seal-in relay) и со встроенным флажком (target), индицирующим состояние реле. Такое реле называется “auxiliary seal-in relay with target” и имеет мощные контакты с большим зазором, специально рассчитанные на включение тока до 30А при напряжении 250В постоянного тока.

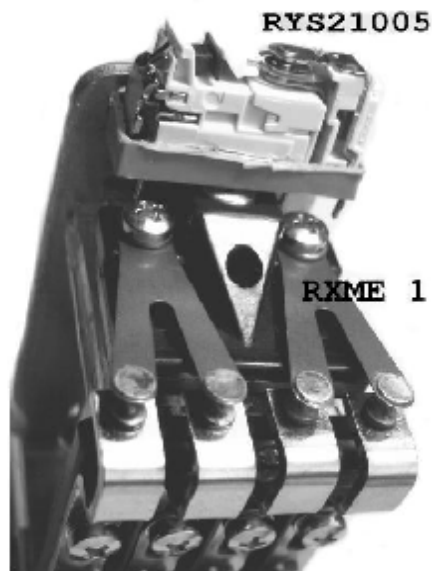


Рис. 1. Субминиатюрное реле RYS 21005 расположенное на контактах с двойным разрывом V-образной формы промежуточного реле типа RXME 1, предназначенного для управления отключающей катушкой выключателя.

В реле защиты следующего поколения: электронных аналоговых (или статических), выполненных на микросхемах и транзисторах, сохранилась тенденция использования встроенных крупных выходных реле с мощными контактами, предназначенными для включения отключающей катушки выключателя, рис. 2.



Рис. 2. Полупроводниковые реле защиты со встроенными мощными выходными реле

Некая новая реальность возникла при переходе на защиты самого последнего поколения – микропроцессорные [1, 2]. Жесткая конкурентная борьба на рынке и стремление к максимальному уменьшению размеров микропроцессорных защит привели к использованию в качестве выходных элементов субминиатюрных электромагнитных реле, рис. 3.

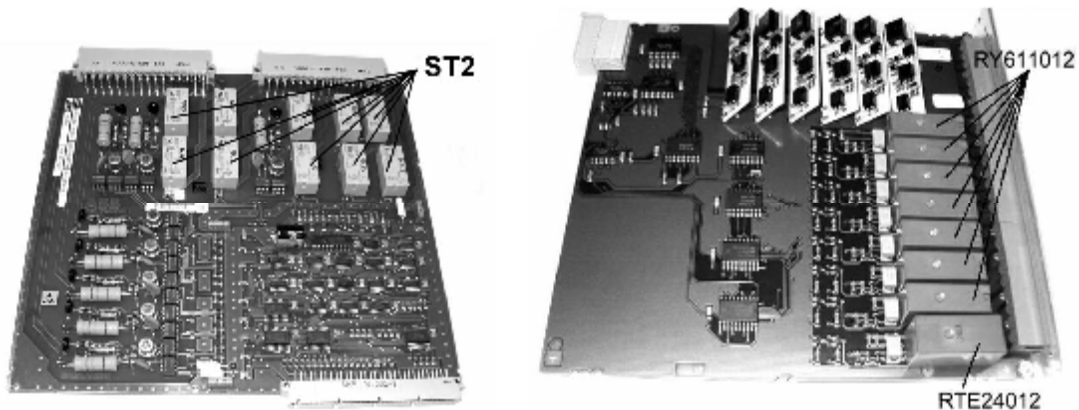


Рис. 3. Платы микропроцессорных реле защиты с субминиатюрными выходными реле

В соответствии с характеристиками производителя, эти реле предназначены для применения в системах промышленной автоматики, в электронных источниках питания, в телевизорах, в бытовой технике, в компьютерах и системах связи, таймерах и т.п. В технических характеристиках на эти реле коммутационная способность на постоянном токе ограничивается, как правило, на уровне 28 – 30 В и только для чисто активной нагрузки. Вместе с тем, такой параметр, как максимальная коммутируемая мощность на постоянном токе (иногда это кривые коммутационной способности на постоянном токе) дает возможность рассчитать максимальный коммутируемый ток при напряжении 250 В постоянного тока, табл. 1. Как видно из таблицы, значения этих токов, даже при чисто активной нагрузке, в 20 – 40 раз меньше, чем на переменном токе. Что касается коммутации индуктивной нагрузки на постоянном токе, то такая способность этих реле вообще не предусматривается в технических характеристиках

Табл.1. Коммутационные параметры субминиатюрных электромагнитных реле применяемых в микропроцессорных устройствах защиты в качестве выходных реле.

Тип реле (производитель)	Максимальная коммутируемая мощность (для резистивной нагрузки)		Номинальный ток и номинальное напряжение (для резистивной нагрузки)		
	Перем.	Пост.	Перем.	Пост.	250 В пост.
ST (Matsusita)	2000 ВА	150 Вт	8 А; 380 В	5 А; 30 В	0.40 А
JS (Fujitsu)	2000 ВА	192 Вт	8 А; 250 В	8 А; 24 В	0.35 А
RT2 (Schrack)	2000 ВА	240 Вт	8А; 250 В	8А; 30 В	0.25 А
RYII (Schrack)	2000 ВА	224 Вт	8А; 240 В	8А; 28 В	0.28 А
G6RN (Omron)	2000 ВА	150 Вт	8 А; 250 В	5 А; 30 В	-
G2RL-1E (Omron)	3000 ВА	288 Вт	12 А; 250 В	12 А; 24 В	0.30 А

Что же позволило производителям микропроцессорных защит использовать миниатюрные (то есть маломощные) реле для прямого включения отключающей катушки выключателя? Может быть, уменьшились требования к контактам управления отключающей катушкой? Отнюдь нет! В технических спецификациях на все микропроцессорные устройства защиты производителями гарантируется коммутация тока не менее 30А при напряжении 250В постоянного тока. Может быть, сами миниатюрные реле достигли такого уровня совершенства, что теперь они способны включать индуктивные нагрузки (катушки) с током 30А при напряжении 250В постоянного тока? Увы, технические спецификации на субминиатюрные реле, используемые в микропроцессорных устройствах защиты, о таких возможностях миниатюрных реле умалчивают. Зато инженеры компаний-производителей этих реле, к которым автор обращался с прямым запросом, категорически отвергают наличие таких способностей у реле, используемых в микропроцессорных защитах. Получается, что производители микропроцессорных защит комплектуют столь ответственные и дорогостоящие (10 – 15 тыс. долларов) устройства, как микропроцессорные защиты, заведомо негодными элементами? Из отчетов об испытаниях коммутационной способности выходных реле, представленных по нашему запросу крупнейшими мировыми производителями микропроцессорных защит, следует, что эти реле успешно выдержали испытания и признаны годными для применения. Но где же в таком случае логика? Может быть, эти испытания производители микропроцессорных защит проводят не так как следует? Но, с другой стороны, ведь микропроцессорные защиты с этими миниатюрными выходными реле успешно функционируют во многих энергосистемах мира уже не мало лет. Так может быть реальные условия эксплуатации этих реле намного легче, чем требования, записанные в технической спецификации? Попробуем разобраться в сложившейся ситуации. Прежде всего, рассмотрим реальные параметры отключающих катушек выключателей, рис. 4.

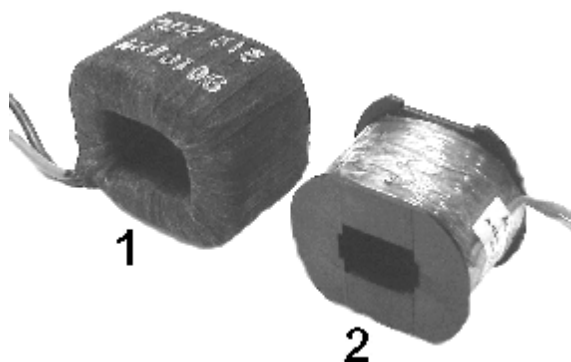


Рис. 4. Отключающие катушки выключателей класса 160 - 170 кВ различных производителей
1 – Hitachi Kokubo Works (GE-Hitachi, USA);
2 – AQ Trafo AB (Sweden)

В таблице 4 приведены результаты измерений основных параметров отключающих катушек (L1, L3, L4) высоковольтных выключателей некоторых типов, а также катушки (L2) специального быстродействующего промежуточного реле с фиксацией положения и ручным возвратом (Lockout), включаемого, иногда, между реле защиты и выключателем.

Таблица 2. Основные параметры отключающих катушек высоковольтных выключателей некоторых типов и специального промежуточного реле с фиксацией и ручным возвратом.

Параметр	Единица измерения	L1	L2	L3	L4
Ток, I	А	1.25	2.5	5	12
Индуктивность катушки с сердечником, L	Н	0.5	1.0	1.0	0.22
Сопротивление катушки, R	Ω	200	100	50	22
Постоянная времени, $\tau = L/R$	ms	2.5	10	20	10
Энергия магнитного поля, E	J	0.40	3.12	12.50	15.80

Из анализа параметров катушек, представленных в этой таблице можно сделать некоторые интересные выводы.

Во-первых, промежуточное реле с фиксацией положения и ручным возвратом (Lockout), является для контактов миниатюрных выходных реле нагрузкой ничуть не меньшей, чем отключающие катушки выключателей, рис. 5.



Рис. 5. Быстродействующее промежуточное реле с фиксацией положения и ручным возвратом (Lockout), 12HEA61 типа.

Эксперименты, выполненные автором с этим реле, показали, что даже мощные контакты этого реле (диаметр контакта 6 мм, зазор между контактами около 8 мм) не способны отключить собственную катушку управления, включенную последовательно с нормально замкнутыми контактами, при напряжении 250В постоянного тока. И только две последовательно включенные пары контактов (как показано на схеме, рис. 5) способны разорвать дугу, возникающую на контактах в момент отключения. В последующей модификации этого реле (HEA62) даже для двух пар таких мощных контактов решили облегчить процесс коммутации и зашунтировать катушку специальной дугогасящей цепочкой, состоящей из диода и резистора. Представленные в табл. 3 данные

производителя дают наглядное представление о степени влияния характера нагрузки на коммутационную способность даже таких мощных контактов.

Табл.3. Коммутационная способность мощных силовых контактов реле Lockout.

Нагрузка	Максимальный коммутируемый ток (А) для соответствующего количества последовательно включенных контактов		
	1	2	4
250 В пост. тока, индуктивная	0.7	1.75	6.5
220 В перем. тока, активная	25	50	-
220 В перем. тока, индуктивная	12	25	40

Во-вторых, постоянная времени $\tau = L/R$, которой обычно характеризуется вид нагрузки, не является достаточно информативным показателем, позволяющим делать выводы о реальной коммутационной способности контактов. Например, как видно из таблицы 2, в катушках L2 и L4 с одинаковой L/R запасается существенно различная энергия, которая рассчитывается по формуле:

$$E_L = \int_0^I id\psi = \int_0^I Lidi = \frac{LI^2}{2},$$

где L – индуктивность нагрузки;
 I – ток в нагрузке.

Именно эта энергия магнитного поля и выделяется на контактах в процессе коммутации. Это значит, что контакты реле будут изнашиваться по-разному при коммутации катушек L2 и L4 с одинаковой величиной L/R .

В третьих, величина коммутируемого тока без указания других параметров индуктивной нагрузки (как, например, в таблице 3), не является параметром, достаточным для однозначной оценки коммутационной способности контактов. Например, ток в катушке L2 всего лишь вдвое превышает ток в катушке L1, тогда как энергия, запасаемая в L2, почти в 8 раз превышает энергию, выделяемую при коммутации в L1. Эксперименты на этих катушках с визуальной фиксацией мощности дуги на контактах подтвердили эти выводы.

В связи с изложенным, в качестве показателя, характеризующего индуктивную нагрузку для контактов реле, предлагается использовать энергию, магнитного поля этой нагрузки. В нашем конкретном случае для номинальных напряжений 250 и 125В постоянного тока этот показатель будет иметь вид:

$$E_{250} = 0.125I\tau,$$

$$E_{125} = 0.062I\tau$$

где I – ток в нагрузке в амперах;
 τ – постоянная времени нагрузки в миллисекундах.

Таким образом, из рассмотрения реальных параметров отключающих катушек выключателей и быстродействующего промежуточного реле Lockout можно сделать вывод о том, что они действительно представляют собой серьезные индуктивные нагрузки для контактов выходных реле устройств защиты.

Обосновывая способность миниатюрных электромагнитных реле управлять катушками отключения высоковольтных выключателей, производители

микропроцессорных защит обычно ссылаются на то обстоятельство, что контакты этих реле только ВКЛЮЧАЮТ отключающую катушку выключателя.

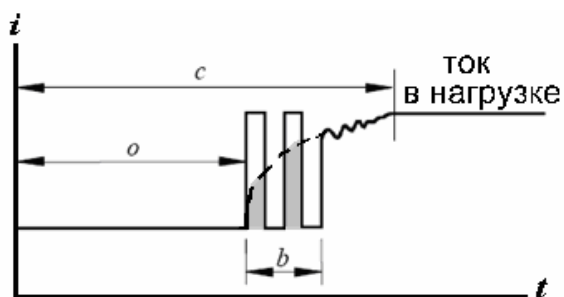


Рис. 6. Процесс замыкания нормально открытого контакта реле в соответствии с международным стандартом IEC 61810-7

o – время до первого соударения контактов; c – полное время замыкания; b – время дребезга контактов.

Отключение этой катушки, сопровождаемое интенсивной дугой, осуществляется вспомогательными нормально-замкнутыми контактами самого выключателя, а не контактами миниатюрного реле, поэтому-де и удаётся маломощными контактами миниатюрных реле включать мощные отключающие катушки выключателей. Так ли однозначно такое утверждение? Ведь хорошо известно, что замыкание контактов электрических аппаратов сопровождается многократными отскоками контактов после первого замыкания и последующими повторными замыканиями (этот процесс получил название “bouncing” или «дребезг»). Этот факт отражен и в технической литературе и в стандартах, рис. 6. Это означает, что никакого «чистого замыкания» контактов, без многократных размыканий в процессе срабатывания реле, просто не существует. Конечно, время нахождения контактов в открытом состоянии (то есть при горящей дуге) при отскоках незначительно, но малые расстояния между контактами в этот период времени и следующее за этим их сжатие делает опасность приваривания контактов вполне реальной. Поэтому в существующих стандартах нет больших различий между замыканием и размыканием цепей с индуктивной нагрузкой на постоянном токе при оценке коммутационной способности контактов. Так, например, для категории применения DC-13 (управление электромагнитами, катушками соленоидов и клапанов) в соответствии со стандартом IEC 60947 ток включения контактов, как и ток отключения, не должны превышать номинального (т.е. длительного) тока, в то время как для контактов, работающих на переменном токе, допускается 10 кратное значение тока включения, табл.4.

Таблица 4. Коммутационная способность контактов в зависимости от типа нагрузки для электромагнитов управления, клапанов и соленоидов

Категория применения (IEC 60947-4)	Род тока	Коммутационная способность контактов в режиме нормальных коммутаций					
		включение			выключение		
		ток	напряжение	cosφ	ток	напряжение	cosφ
AC-15	Пер.	$10 I_N$	U_N	0.3	$10 I_N$	U_N	0.3
DC-13	Пост.	I_N	U_N	-	I_N	U_N	-
Коммутационная способность контактов в режиме редких коммутаций							
AC-15	Пер.	$10 I_N$	$1.1 U_N$	0.3	$10 I_N$	$1.1 U_N$	0.3
DC-13	Пост.	$1.1 I_N$	$1.1 U_N$	-	$1.1 I_N$	$1.1 U_N$	-

Примечание:

I_N и U_N - номинальные значения токов и напряжений нагрузок, коммутируемых контактами реле

Однако, из вышеизложенного еще нельзя сделать однозначный вывод о том, что контакты миниатюрных реле, осуществляющие включение отключающих катушек выключателей или катушек мощных быстродействующих промежуточных реле, действительно подвергаются значительным перегрузкам. Дело в том, что во время включения индуктивной нагрузки ток в ней нарастает не сразу, а по экспоненте. А это означает, что разрывы цепи нагрузки во время дребезга контактов происходят при токе, меньше номинального (см. рис. 6). С другой стороны, тот факт, что выходные контакты миниатюрных реле в устройствах защиты не выходят из строя при первом же включении, а работают достаточно долго в реальных условиях эксплуатации, также не доказывает, что эти контакты работают в нормальном для них режиме. Это обусловлено тем, что даже при заметной дуге на контактах, отказ коммутации (то есть не замыкание или не размыкание контактов) происходит далеко не сразу. Имеет место достаточно длительный процесс накопления дефектов на поверхности контактов в результате интенсивного испарения контактного материала с одного контакта и переноса его на другой контакт. Возрастает переходное сопротивление контактов и, следовательно, и их температура. В миниатюрных реле это приводит к расплавлению пластмассового корпуса возле контактов, загрязнению контактов и дальнейшему росту переходного сопротивления. После нескольких тысяч таких коммутаций в обычном реле происходит окончательное сваривание контактов или обрыв одного из контактов, что является полным отказом реле. Поскольку электромагнитные реле предназначены, обычно, для сотен тысяч или даже миллионов коммутаций, то режим работы, при котором вместо миллиона коммутаций реле выходит из строя уже при нескольких тысячах коммутаций, является не допустимым и не разрешается изготовителями этих реле. С другой стороны, выходные реле в устройствах защиты не работают с такой интенсивностью. Максимальное количество срабатываний таких реле за весь срок их службы вряд ли превысит несколько тысяч. Отсюда становится понятным, почему реле, работающие в ненормальном для них режиме, тем не менее, обеспечивают работоспособность защит и даже успешно проходят испытания на предприятиях-изготовителях защит. Именно эти два факта всегда приводятся компаниями-производителями устройств релейной защиты в оправдание возможности использования миниатюрных реле для прямого отключения высоковольтных выключателей. Но действительно ли это означает отсутствие проблемы в этом вопросе? Ведь процесс отказа контактов реле в таком режиме работы является статистическим, а момент отказа зависит от накопленных дефектов и их величины, что в свою очередь, определяется конкретными параметрами отключающих катушек, частотой срабатывания реле защиты, технологическими особенностями конструкции контактов и разбросами их параметров при сборке реле. Чем дольше работает такое реле, тем выше вероятность его отказа, а, следовательно, и отказа защиты важного энергетического объекта. Таким образом, речь идет не том, что миниатюрное электромагнитное реле, используемое в устройстве защиты, выходит из строя сразу же после первого включения или после определенного количества включений, а о том, что в процессе эксплуатации происходит прогрессирующее снижение его надежности и резкий рост вероятности выхода из строя.

Связи с изложенным, возникает вопрос о методике испытания миниатюрных реле в режимах, не предусмотренных и не разрешенных официально изготовителем этих реле, о критериях годности и т.д. Возможно, нам удастся найти ответы на вопросы и прояснить ситуацию с помощью международных стандартов в этой области. Какие же это стандарты? Судя по названиям, для реле управления отключающими катушками выключателей подходят два основных стандарта: стандарт МЭК (IEC) 60947-5-1 (Электромеханические устройства управления и коммутационные аппараты низковольтных распределительных устройств) и стандарт IEEE C37.90 (Реле и релейные системы, связанные с электрическими силовыми аппаратами), табл. 5.

Табл.5. Объекты, на которые распространяются стандарты IEC 60947-5-1 и IEEE C37.90

IEC 60947-5-1	IEEE Std. C37.90
<p>Устройства управления и коммутационные аппараты, предназначенные для управления, сигнализации, блокировок и т.п. распределительных устройств КРУ и КТП.</p> <p>Стандарт распространяется также на специальные типы коммутационных аппаратов, связанные с другими устройствами, главные цепи которых покрываются другими стандартами.</p>	<p>Реле и релейные системы, используемые для защиты и управления силовыми аппаратами.</p> <p>Стандарт не распространяется на реле, изначально разработанные для промышленной автоматики, аппаратуры связи или другой аппаратуры, не предназначенной для управления силовыми аппаратами.</p>

В соответствии с приведенными определениями оба стандарта очень близки, хотя область применения стандарта C37.90 представляется как часть более широкой области применения стандарта 60947-5-1. Обращает внимание довольно странное ограничение стандарта C37.90: исключение из области его покрытия реле общепромышленной автоматики и других реле, не предназначенных специально для управления силовыми аппаратами. Какие такие серьезные принципиальные отличия имеются между реле промышленной автоматики, предназначенными для управления катушками мощных контакторов, катушек соленоидов и клапанов систем управления технологическими процессами и реле, предназначенных для управления катушками отключения выключателей? Те же напряжения, те же токи, те же мощности! Это ограничение C37.90 не столь безобидно как кажется и имеет весьма далеко идущие последствия, так как с одной стороны стандарт описывает процедуру испытаний реле, специально предназначенных для включения отключающих катушек выключателей, а с другой – исключает из рассмотрения реле, общепромышленного назначения, не предназначенные специально для управления силовыми аппаратами. Это означает, что этот стандарт не может применяться к микропроцессорным устройствам защиты, в которых используются миниатюрные выходные реле (исначально предназначенные для промышленной автоматики, аппаратуры связи или другой аналогичной аппаратуры, а не для управления силовыми аппаратами) в качестве элементов, непосредственно управляющих отключающими катушками выключателей.

Не менее странные отличия имеются и в методике испытания реле, предлагаемых этими стандартами, табл.6.

Почему коммутационную способность контактов, специально предназначенных для включения отключающих катушек выключателей (то есть значительной индуктивной нагрузки), стандарт C39.70 предписывает испытывать на чисто активной нагрузке? Почему ток включения жестко задан в этом стандарте величиной 30А, тогда как отключающие катушки современных выключателей рассчитаны на значительно меньшие токи? Почему не оговорены критерии пригодности реле в процессе испытаний? С другой стороны, почему коммутируемый ток в стандарте IEC 60947-5-1 при испытаниях не превышает 1.1А? Почему отдельно не выделен режим включения нагрузки без отключения (то есть типичный режим работы контактов реле, управляющего выключателем)?

Недоумение вызывает и анализ требований стандартов к испытаниям диэлектрической прочности изоляции реле. Так, например, в стандарте IEC 60947-5-1 приводится перечень частей реле, между которыми прикладывается испытательное напряжение. Оказывается, выходных контактов реле в этом перечне нет! Стандарт IEC 60255-5 допускает возможность испытания этих контактов, но предполагает необходимость согласования такого испытания и величины испытательного напряжения между производителем и пользователем.

Табл. 6. Некоторые технические параметры испытаний коммутационной способности реле по стандартам IEC 60947-5-1 и IEEE C37.90

IEC 60947-5-1		IEEE Std. C37.90
1	Тип нагрузки: дроссель с воздушным зазором, соединенный последовательно с резистором, $L/R < 300$ мс.	Тип нагрузки: активная (резистор)
2	Коммутируемый ток (в категория применения DC-13, N300) 1.1А. Все другие виды применений должны быть согласованы между производителем и пользователем	Ток включения – 30 А
3	Количество коммутационных циклов – 5000 с интервалом 10 с.	Количество циклов включения – 2000 в последовательности: 0.2 с – включен, 15 с – выключен
4	Критерии пригодности: <ul style="list-style-type: none"> - отсутствие механических или электрических повреждений; - отсутствие сваривания контактов или протяженной дуги - способность выдерживать напряжение промышленной частоты $2U_{НОМ}$, но не менее, чем 1000 V. 	Критерии пригодности: не указаны

Как показывает практика, потребитель чаще всего ничего не знает об этом пункте стандарта и не согласовывает отдельно требования к контактам выходных реле с производителем.

Таблица 7. Коммутационные параметры выходных реле, приведенные в спецификации микропроцессорных защит, производимых компанией AREVA

Дистанционная защита линий MiCOM P433; Дифференциальная токовая защита MiCOM P541-P546 Производитель: AREVA	Параметр, приведенный в технической документации на защиту	Наш комментарий
Номинальное напряжение, В	300	1. Простейший расчет показывает, что включающая способность контактов для постоянного тока 250А при напряжении 300В составит 75 тыс. Вт, что является чистой фантастикой не только для миниатюрного реле, но и для более мощных промежуточных реле промышленного типа.
Длительный ток, А	10	
Кратковременный ток, А (для 3 сек)	30	
Включающая способность, А (для 30 мс)	250	
Отключающая способность:		
- активная нагрузка, пост. ток, Вт (для контактов общего применения)	50	2. Отключающая способность контактов миниатюрных реле 7500 Вт на постоянном токе при напряжении 300В – это такая же фантастика, не имеющая ничего общего с реальными параметрами реле, см. табл. 1.
- активная нагрузка, пост. ток, Вт (для усиленных контактов)	7500	
- индуктивная нагрузка, пост. ток, Вт (для контактов общего применения)	62.5	
- индуктивная нагрузка, пост. ток, ВА (для усиленных контактов)	2500	
- активная нагрузка, перем. ток, Вт	2500	
- смешанная нагрузка, $\cos \varphi = 0.7$, ВА	2500	

Это позволяет производителю указывать в технической документации, что технические параметры его защиты полностью соответствуют требованиям стандарта без всяких дополнительных оговорок.

Стандарт С37.90 относится к испытаниям выходных контактов реле защиты совершенно иначе. Он предусматривает такое испытание, но только в процессе производства реле, то есть фактически, не разрешает потребителю самостоятельно проверять этот важнейший параметр реле. Почему? К сожалению, автору не удалось получить внятных ответов на все эти вопросы даже у рабочей группы IEEE, ответственной за этот стандарт. А ведь этими стандартами активно пользуются производители микропроцессорных устройств защиты, ссылаются на них в своей документации и проводят по ним собственные испытания.

Отсутствие четкости в международных стандартах приводит к ошибкам и в технических спецификациях на современные микропроцессорные устройства защиты. Автор проанализировал технические спецификации многих типов таких устройств ведущих компаний мира в части коммутационной способности выходных реле, в том числе: 7SD61, 7SA522 (Siemens); MiCOM P541, P546 (Areva); T60, D60, L90 (General Electric); REL561, REL670 (ABB); BEI-GPS100, BEI-CDS240 (Basler) и др. Во всех из них обнаружилось либо ошибки и неточности, либо просто отсутствие важнейших параметров, не позволяющее сделать однозначный вывод о пригодности таких реле. В качестве примера можно привести параметры, приведенные в спецификации на реле компании Areva, табл. 7.

На неоднократные обращения автора в компанию Areva с просьбой объяснить эти странные параметры, он вначале получал разную информацию, не имеющую отношения к поставленным вопросам, а затем и вовсе перестал получать ответы.

Выводы.

1. В настоящее время не существует однозначных доказательств того, что контакты миниатюрных электромагнитных реле, широко используемых в микропроцессорных защитах, работают в допустимых для них режимах и обеспечивают требуемую надежность при включении отключающих катушек выключателей.
2. Производители миниатюрных электромагнитных реле, используемых в микропроцессорных защитах, должны включить в технические спецификации на свои реле такой параметр, как включение без отключения индуктивных нагрузок на постоянном токе напряжением 125 и 250 Вольт в режиме редких коммутаций.
3. Международные стандарты, затрагивающие коммутационную способность контактов реле, должны быть дополнены параметром, оговаривающим включение без отключения индуктивной нагрузки, соответствующей реальным параметрам отключающих катушек выключателей или мощных промежуточных реле. Эти стандарты должны быть согласованы друг с другом.
4. Предлагается рассмотреть возможность замены параметра $\tau = L/R$ на параметр, характеризующий энергию коммутации E для ряда номинальных напряжений.
5. Должен быть разработан стандарт (или отдельный параграф к существующим стандартам) на типовое обозначение набора важнейших параметров коммутационной способности контактов реле, обязательных для указания в технической документации и примеры записи таких параметров в технической спецификации.
6. Требования к испытаниям контактов реле, специально предназначенных для включения отключающей катушки выключателя (IEEE St. C37-90), должны быть приведены в соответствие с реальными условиями эксплуатации. Критерии

пригодности контактов в процессе испытаний должны включать анализ их состояния, позволяющий обеспечить требуемую надежность коммутации.

7. Производители микропроцессорных защит должны пересмотреть технические спецификации в части параметров контактов выходных реле и привести их в соответствие с реальностью.
8. Потребители микропроцессорных защит должны более внимательно анализировать спецификации приобретаемого ими оборудования и требовать от производителей протоколы испытаний на соответствие требованиям стандартов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gurevich V. *Electric Relays: Principles and Applications*. – CRC Press (Taylor & Francis Group), London – New York, 2005, 704 p.
2. Gurevich V. *Nonconformance in Electromechanical Output Relays of Microprocessor-Based Protection Devices Under Actual Operation Conditions*. – “*Electrical Engineering & Electromechanics*”, 2006, vol. 1, pp. 12 – 16.