

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ И СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И РЕСУРС ГЕРКОНОВ

В.Н. Шоффа, д.т.н., Б. Медзиньски, д.т.н.*

111250, ул. Красноказарменная 14, г. Москва, Россия,
Московский энергетический институт (Технический университет)

* 50 – 370, ул. В. Выспяньского 27, Вроцлав, Польша,
Вроцлавская Политехника

Анализируется влияние параметров управляющих воздействий на динамические характеристики и ресурс герконов. Даются рекомендации по обеспечению адекватности проведения испытаний герконов на заводе-изготовителе условиям реальной эксплуатации этих устройств у потребителя. Рассмотрены причины возникновения в ряде случаев дребезга герконов при отпускании.

Influence of the control activation parameters on the dynamic characteristics and life time of reed switches is analyzed. Recommendations for adequacy of test performance of reed switches in the manufacturing factory concerning real operating conditions of these devices by the consumer have been provided. Reasons for reed switch bounce when releasing in a number of cases are studied.

Магнитоуправляемые герметизированные контакты (МК) – герконы – для определения их параметров и характеристик (времени срабатывания и отпускания, параметры дребезга, коммутационная износостойкость и т.д.) проходят испытания на заводах-изготовителях в стандартной обмотке (СО) при питании ее прямоугольными импульсами от источника напряжения. Однако на практике роль управляющего элемента могут выполнять: обмотка реле с магнитопроводом, одна или несколько шин с током, подвижный постоянный магнит (ПМ), подвижная ферромагнитная деталь, быстроперемещающийся немагнитный электропроводный экран и т.д. Обмотки в реле часто шунтируются диодами. Управление может осуществляться не от источника напряжения, а от источника тока. В результате динамические процессы в МК, применяемых в различных электротехнических устройствах, отличаются от аналогичных процессов при управлении этими же коммутационными элементами от СО из-за различий в конфигурации, крутизне изменения, максимальном значении, частоте и скважности управляющего магнитного поля. Отличие указанных динамических процессов может явиться причиной расхождения в ресурсе и надежности МК.

1. Влияние режимов управления

Большинство устройств на МК в реальных условиях эксплуатации работают в «разовом режиме» управления. Однако испытания МК и некоторых устройств на их базе, как по временным параметрам, так и по наработке заводы-изготовители проводят в основном в периодическом режиме с высокой частотой коммутации (в России, например, как правило, 50 или 100 Гц при скважности 2). При испытаниях по наработке это сокращает время их выполнения, а при контроле временных параметров – удобнее при использовании осциллографа. Но испытания МК в периодическом режиме на таких частотах могут дать результаты, отличающиеся от результатов, полученных в разовом режиме. Существенное отличие может, например, получиться по параметрам срабатывания (МДС срабатывания, время до первого замыкания, параметры дребезга). Это объясняется тем, что при отпускании замыкающих герконов контакт-детали (КД) после размыкания совершают затухающее колебательное движение (наблюдающийся в ряде случаев дребезг герконов при отпускании и причины его возникновения будут рассмотрены в статье ниже).

1.1. Частота коммутации

На рис. 1 представлены временные диаграммы колебаний КД (зависимость зазора δ между КД от времени t , полученная стробоскопическим методом), напряжения U на обмотке управления и тока I , проходящего через МК. Показаны также время до первого замыкания КД t_1 и время дребезга $t_{др}$. Зазор δ_n соответствует начальному положению КД в их разомкнутом состоянии при длительном отсутствии управляющего напряжения на обмотке, а зазор δ_k – конечному (замкнутому) положению КД.

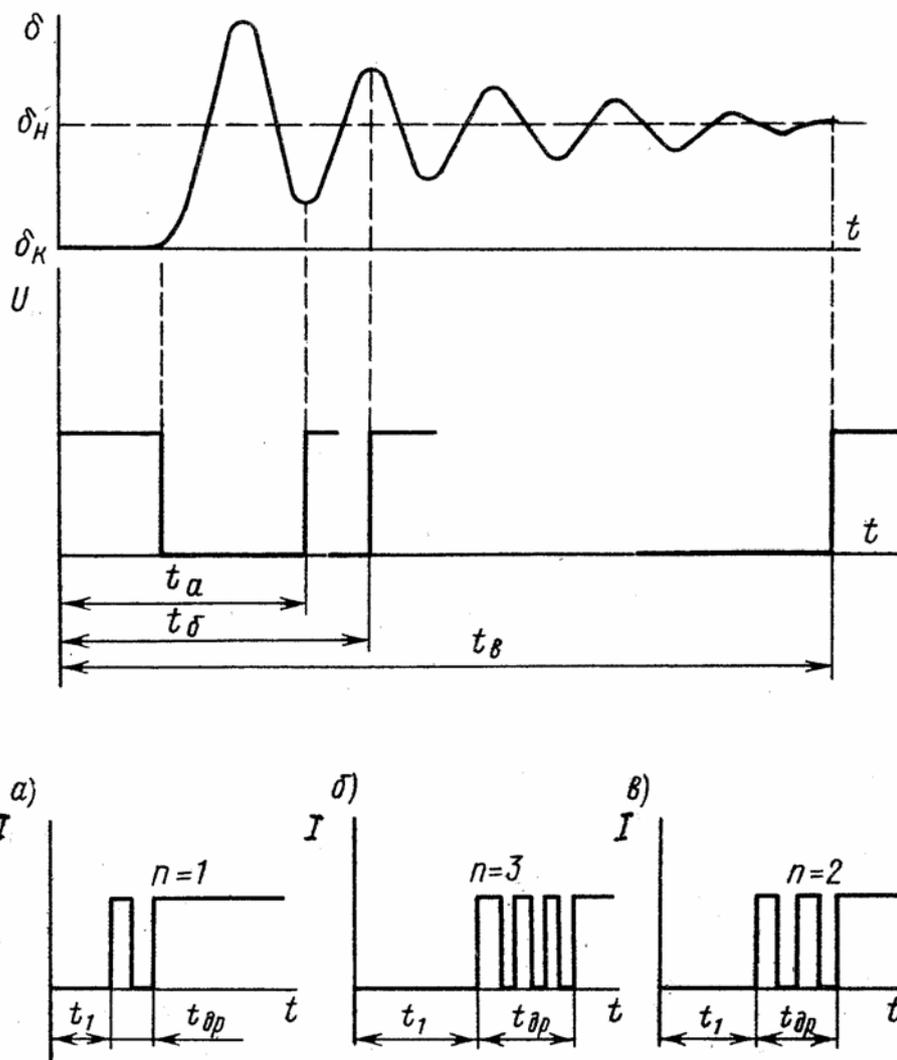


Рис. 1. Зависимость параметров дребезга МК при срабатывании от момента приложения управляющего импульса

В периодическом режиме с малой паузой между импульсами управления движение КД при срабатывании под действием вынуждающей электромагнитной силы начинается не из условия покоя, а во время еще непрекращающегося колебательного процесса. При этом начальные условия движения определяются соотношением времени паузы между импульсами управления и периодом колебаний КД.

Если импульс вынуждающего усилия начинает действовать в момент наибольшего сближения КД (рис. 1а), то их замыкание происходит при наименьшей скорости, что снижает амплитуды их отскоков и, следовательно, дребезг, вплоть до возможного отсутствия последнего. Время до первого замыкания в этом случае минимально.

Если же импульс вынуждающего усилия начинает действовать в момент наибольшего расхождения КД (рис. 1б), то до их замыкания происходит значительное накопление кинетической энергии, что влечет за собой максимальное увеличение амплитуд и количества отскоков, а также времени дребезга и времени до первого замыкания [1].

В разовом режиме управления очередное срабатывание происходит после полного прекращения колебаний КД, поэтому их движение начинается всегда из одинаковых

начальных условий покоя. В этом случае параметры дребезга и время до первого замыкания имеют промежуточные значения между первым и вторым режимами (рис. 1в).

Следовательно, для получения ресурса, соответствующего работе МК в режиме разового запуска, частота коммутаций не должна превышать той, при которой КД к моменту подачи следующего импульса на срабатывание практически завершили бы процесс затухающих колебаний.

Динамические характеристики при управлении МК от обмотки существенно зависят от крутизны фронтов импульсов тока, которые определяются установившимся значением этих импульсов, постоянной времени цепи обмотки и генератора импульсов ГИ, а также наличием диода VD, шунтирующего обмотку К (рис. 2).

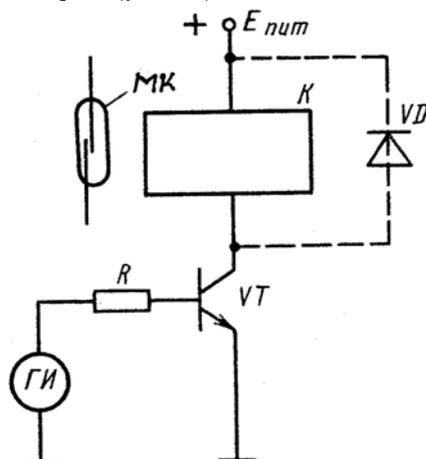


Рис. 2. Принципиальная схема подключения обмотки управления МК к транзисторному ключу

Экспериментальные исследования ряда российских МК по определению максимальных частот коммутации, адекватных условиям разового режима, при управлении от обмотки [1, 3] проводились с использованием источника напряжения в стандартных обмотках и с шунтирующим диодом, поскольку в большинстве случаев эксплуатации герконовых реле используется такой диод и источник с малым внутренним сопротивлением.

Определяя допустимую (максимальную) частоту коммутаций, необходимо помнить, что она зависит от скважности управляющих импульсов. Так, увеличение времени разомкнутого состояния МК при неизменной длительности их замкнутого состояния приводит к уменьшению допустимой частоты коммутаций, и наоборот, уменьшение времени замкнутого состояния до значения, достаточного для завершения процесса колебаний КД при срабатывании, позволяет повысить допустимую частоту.

Определение максимальной частоты коммутации, при которой условия работы МК адекватны условиям разового режима управления, проводились путем плавного уменьшения времени паузы от начального значения (достаточного для успокоения КД) до значения, когда начинается изменяться либо время до первого замыкания, либо «спектр дребезга» (распределение разрывов цепи во времени) [4, 5].

Для получения значений указанной частоты формально следовало бы уменьшать не только длительность паузы, но и длительность импульса, т.е. поддерживать скважность постоянной (например, равной 2, как указано выше). Однако не имело смысла уменьшать длительность импульса ниже значения, при котором полностью завершается дребезг при срабатывании. Поэтому частота варьировалась только за счет изменения паузы при постоянной длительности импульса для определенного типа МК. Испытания проводились с выборкой 20 штук для каждого типа МК с коэффициентом запаса по МДС срабатывания, равным 1,5. Значения максимальных частот коммутации по критерию «спектр дребезга» и критерию «время до первого замыкания» приведены в табл. 1.

Таблица 1

Максимальные частоты коммутации, адекватные условиям разового режима управления

| Тип геркона | Длительность импульса, мс | Частота по дребезгу, Гц | | | | Частота по времени до первого замыкания, Гц | | | |
|-------------|---------------------------|-------------------------|------|------|------|---|------|------|------|
| | | средн. | min | max | x | средн. | min | max | x |
| | | | | | | | | | |
| КЭМ-1А | 5 | 16,3 | 10,3 | 26,3 | 5,8 | 10,0 | 7,7 | 12,5 | 1,7 |
| КЭМ-1Б | 5 | 15,2 | 10,2 | 28,6 | 6,1 | 7,0 | 5,0 | 11,0 | 1,8 |
| КЭМ-1В | 5 | 14,2 | 7,1 | 27,8 | 6,9 | 9,9 | 6,2 | 14,3 | 2,9 |
| КЭМ-20 | 2 | 41,0 | 26,3 | 76,9 | 16,9 | 35,3 | 26,3 | 58,8 | 10,8 |
| КЭМ-2А | 2 | 46,8 | 20,0 | 83,3 | 17,2 | 32,1 | 18,5 | 43,5 | 7,2 |
| КЭМ-2Б | 2 | 42,0 | 27,0 | 71,4 | 15,1 | 36,6 | 25,0 | 58,8 | 8,7 |
| КЭМ-6Б | 4 | 13,5 | 7,7 | 35,7 | 6,3 | 10,8 | 7,1 | 25,0 | 4,1 |
| МКА-27101Б | 4 | 42,5 | 22,7 | 83,3 | 16,1 | 30,6 | 19,2 | 62,5 | 9,5 |
| МКА-20101 | 4 | 39,7 | 18,5 | 76,9 | 16,6 | 35,0 | 17,2 | 55,6 | 10,6 |
| МУК1А-1 | 2 | 50,6 | 32,2 | 90,9 | 19,0 | 39,4 | 27,8 | 76,9 | 12,1 |

^x Среднее квадратичное отклонение

Приведенные в табл. 1 данные даже с учетом уменьшенной при испытаниях длительности импульсов (скважность больше двух) существенно ниже указанных в технических условиях (ТУ) [1, 3]. Таким образом, принятые в ТУ частоты не соответствуют разовому режиму управления. При таких частотах нет однозначности в получаемых результатах по временным параметрам и дребезгу МК, а поскольку спектр дребезга во многом определяет и наработку, то и по результатам наработки.

Максимальная частота повышается, если использовать в МК упоры, ограничивающие перемещение подвижных деталей. В замыкающих МК такими упорами могут служить стенки герметизирующего баллона или выступы на их внутренней поверхности. В переключающих МК таким упором служит размыкаемая КД.

1.2. Схема управления

Сравним теперь динамические процессы отпускания МК при наличии и отсутствии шунтирующего диода в схеме рис. 2.

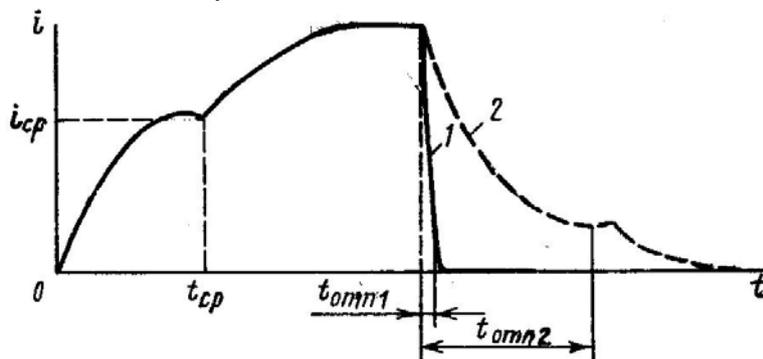


Рис. 3. Влияние диода, шунтирующего обмотку управления МК, на форму тока управления при отпуске

При отсутствии диода быстрое запирающее действие выходного транзистора приводит к возникновению перенапряжения (часто значительного) на обмотке управления из-за ее индуктивности. При этом если транзистор, несмотря на возникающее перенапряжение, запирается сразу после снятия управляющего воздействия, то ток в цепи падает более резко (рис. 3, кривая 1), чем в схеме с диодом (или когда под воздействием упомянутого перенапряжения транзистор остается некоторое время приоткрытым) – рис. 3, кривая 2.

На рис. 4 показаны экспериментальные временные диаграммы изменения магнитного потока Φ в МК, а также движения КД при питании обмотки от источника тока (сплошные линии) и от источника напряжения при наличии диода, шунтирующего обмотку (пунктирные линии) [1].

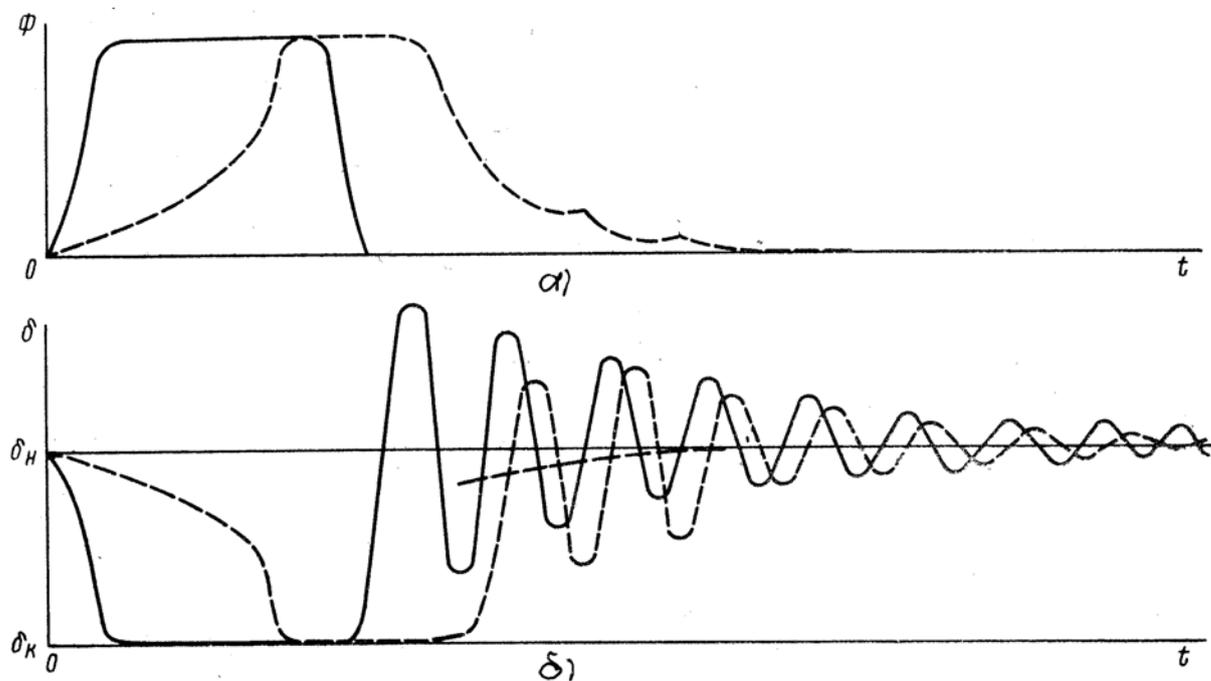


Рис. 4. Влияние режима управления на изменения во времени магнитного потока в МК (а) и расстояния между КД (б)

Как видно из рисунка, плавное уменьшение потока при отпуске (источник напряжения и шунтирующий диод) не только увеличивает время отпуски $t_{\text{отп}}$, но и изменяет характер колебаний КД. При наличии плавно убывающего магнитного потока в рабочем зазоре МК колебания КД смещены в сторону конечного немагнитного рабочего зазора δ_k , а первое максимальное расхождение КД меньше, чем при управлении от источника тока с отсутствием шунтирующего диода. Это, в свою очередь, приводит к более быстрому затуханию колебательного процесса КД. Например, для российского МК типа КЭМ-1 с начальным немагнитным рабочим зазором $\delta_n = 0,17$ мм время до практически полного затухания колебаний КД после отпуски при управлении без шунтирующего диода составило 85 мс, а с диодом 60 мс. Таким образом, скорость изменения управляющего магнитного поля при отпуске также может влиять на ресурс МК.

1.3. Дребезг при отпуске

На больших частотах, когда КД после замыкания не успевают успокоиться до снятия управляющего сигнала, может появиться дребезг при отпуске. В основном это наблюдается у асимметричных конструкций, причем если имеется диод, шунтирующий обмотку управления (рис. 2).

Явление дребезга при отпуске связано в основном с тем, что значение электромагнитной силы, а соответственно, и значение динамической МДС, при которой происходит первое размыкание КД, зависит от положения последних относительно друг друга, изменяющегося, если успокоение КД после предшествующего их замыкания еще не наступило. По этой же причине при непараллельности КД в области их перекрытия дребезг при отпуске может наблюдаться (как у асимметричных, так и симметричных МК) и на малой частоте управляющих сигналов.

Дребезг при отпуске МК, коммутирующих большие токи, может появиться также в связи с электромагнитным действием тока, протекающего через МК [6, 7]. На спектр дребезга при отпуске влияют и электростатические силы, зависящие от коммутируемого напряжения и характера нагрузки.

1.4. Коэффициент запаса по МДС срабатывания

Для обеспечения надежности работы МК с учетом возможного разброса их параметров, воздействия внешних механических нагрузок, обеспечения минимального времени срабатывания, минимального дребезга, а также малого и стабильного контактного сопротивления МК в обмотке управления в установившемся режиме создается рабочая МДС $F_p = K_3 F_{cp}$, где F_{cp} – МДС срабатывания, $K_3 > 1$ – коэффициент запаса по МДС срабатывания. На рис. 5 приведена качественная обобщенная зависимость параметров дребезга при срабатывании МК (время $t_{др}$ и число отскоков n) от K_3 [8]. Зоны I–III соответствуют различным типам и группам МК по МДС срабатывания. Существуют МК, для которых характерны зоны I и II, II и III или же все три зоны.

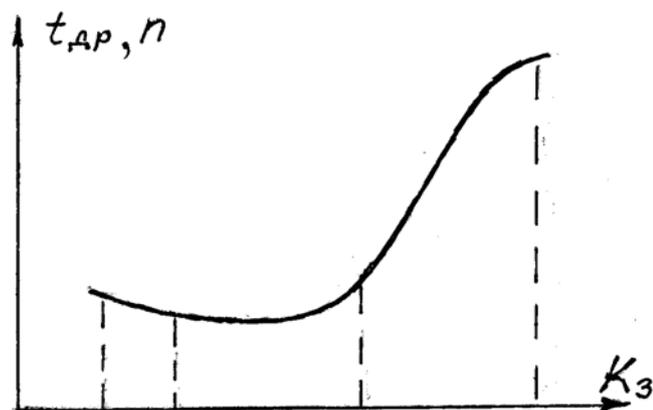


Рис. 5. Обобщенная зависимость параметров дребезга МК от коэффициента запаса по МДС срабатывания

Коэффициент запаса по МДС срабатывания влияет и на характеристики смачиваемых ртутью переключающих МК. При больших коэффициентах запаса и крутом фронте импульса управления увеличивается скорость перемещения подвижного элемента при срабатывании и, следовательно, скорость растяжения жидкостного мостика на размыкаемой КД. В результате на низких частотах коммутации (в случае достаточной подпитки зоны контактирования жидким металлом) увеличивается расстояние между КД, при котором происходит разрыв жидкостного мостика, что может привести к изменению формы коммутации С (перекидной) на форму коммутации Д (переходной).

Однако при очень быстром растяжении жидкостного мостика, особенно на высоких частотах, ухудшаются условия подпитки зоны контактирования жидким металлом. Это может привести к обратному изменению формы коммутации – с Д на С.

1.5. Перерывы в испытаниях по определению ресурса

Число срабатываний сухих МК при испытаниях на наработку с повышенной частотой коммутации нагрузок, сопровождающихся существенным нагревом КД (например, при испытаниях МК повышенной мощности), существенно зависит от перерывов в испытаниях.

В условиях непрерывного режима работы (круглосуточно) обе КД постепенно нагреваются до установившейся температуры, существенно не смещаясь относительно друг друга в течение последующего периода испытаний. Отказ в этом случае при направленном переносе обычно наступает в тот момент, когда глубина кратера и высота пика становятся больше слоя контактного материала, вследствие чего пик из контактного материала приваривается ко дну кратера из железоникелевого сплава КД.

При прерываемом режиме работы наблюдается значительное смещение пиков и кратеров относительно друг друга из-за полного остывания КД. Причина отказов в этом случае – притирание пиков к стенке кратеров при начале следующего цикла испытаний. Чем выше частота коммутаций, тем больше нагрев КД, перенос металла и смещение центров пиков и кратеров, связанное с последующим охлаждением. В результате МК быстрее выходят из строя. На больших частотах коммутаций число срабатываний до первого отказа в

прерываемом режиме работы может быть меньше на порядок и более числа срабатываний до отказа при работе в непрерывном режиме.

2. Влияние способов управления

Характер распределения в пространстве магнитного поля, управляющего конкретным МК в электротехническом устройстве, определяется источником (источниками) этого поля, его (их) расположением в пространстве относительно этого МК, наличием других МК, подвижных или неподвижных дополнительных магнитопроводов, а также быстроперемещающихся электропроводных деталей в устройстве. Все эти факторы условно объединим одним термином – *способ управления МК*.

Влияние изменения способа управления на характеристики МК было рассмотрено на примере сравнения результатов испытаний МК при управлении от СО, подвижным ПМ и в реле. Здесь приведены только некоторые результаты экспериментальных исследований влияния изменения способа управления на дребезг МК при срабатывании.

Для экспериментов по сравнительным испытаниям при управлении от СО и ПМ были отобраны пятнадцать групп российских МК разных типов (выборка – 20 штук МК для каждой группы). Исследуемыми параметрами дребезга выбраны суммарное время $t_{др}$ и число отскоков n . Эксперименты для всех указанных групп МК проводились при управлении от СО, соответствующей МК каждого типа, и от трех разных подвижных ПМ. Продольные оси МК и ПМ были взаимоперпендикулярны. Линейная скорость перемещения ПМ поддерживалась неизменной (1,8 м/с). Число коммутаций для конкретного МК при управлении как от СО (для каждого значения коэффициента запаса по МДС срабатывания), так и от трех ПМ составляло 40. Ток и напряжение при коммутации: для МК с номинальным током 1А – 0,1А, 6В; для МК с номинальным током меньше 1А – 0,01А, 6В; характер нагрузки – активный.

В результате статистической обработки определялись: $t_{др}$ и n – средние значения указанных выше параметров дребезга; S_t^2 и S_n^2 – соответствующие дисперсии; S_t и S_n – соответствующие среднеквадратичные отклонения. Анализ показал, что средние параметры вполне представляют собой вариационный ряд, поэтому сравнение результатов этих экспериментов можно было проводить по средним значениям.

Сопоставление результатов показало, что у девяти групп МК средние значения параметров $t_{др}$ и n при разных коэффициентах запаса по МДС срабатывания (от 1,2 до 2,5) совпадали для обоих видов управления, а у шести групп не совпадали. Для «совпадающих» групп были проведены дополнительные сравнения по спектру дребезга. У большинства МК каждой из этих групп (более 50%) спектры дребезга не совпадали. Несовпадение средних значений параметров и спектров дребезга может стать причиной несоответствия ресурсов МК при изменении способа управления с СО на ПМ.

Были проведены сопоставительные исследования параметров дребезга при срабатывании российских МК типа МКА-27101Б при управлении СО и при их работе в российских четырехгерконовых реле типа РЭС-83 и в шестигерконовых реле типа РЭС-84. Сравнение средних значений параметров $t_{др}$ и n по результатам экспериментов при управлении от СО и в указанных реле осуществлялось для близких значений коэффициентов запаса по МДС срабатывания. В табл. 2 приведены средние значения параметров дребезга и их среднеквадратичные отклонения.

Таблица 2

Результаты статистической обработки измеренных значений параметров дребезга МК типа МКА-27101Б в стандартной обмотке и в реле РЭС-83 и РЭС-84

| | $t_{др,мкс}$ | n | $S_t,мкс$ | S_n |
|---------------------|--------------|-----|-----------|-------|
| Стандартная обмотка | 130,8 | 4,3 | 46,4 | 2,8 |
| Реле РЭС-83 | 90,8 | 2,9 | 28,1 | 1,4 |
| Реле РЭС-84 | 93,8 | 2,5 | 35,1 | 1,3 |

Из табл. 2 видно, что среднестатистические параметры дребезга МК в реле значительно меньше, чем в стандартной обмотке.

Таким образом, проведенные исследования показали, что результаты стандартных испытаний (в том числе – по определению ресурса) на заводах-изготовителях МК могут быть неадекватны испытаниям этих МК в конкретных электротехнических устройствах. Одним из путей решения этой проблемы может служить замена стандартных испытаний в СО на эквивалентные испытания в СО при подаче на них управляющих импульсов определенной формы [9].

Литература:

1. Шоффа В.Н., Хромов С.В., Чичерюкин В.Н., Давыдов С.В. Влияние способов и режимов управления на динамические характеристики магнитоуправляемых контактов // Техника средств связи. - Серия «Техника проводной связи» - 1991. – выпуск 8.
2. Шоффа В.Н., Хромов С.В., Чичерюкин В.Н., Давыдов С.В. Максимальные частоты коммутации, адекватные условиям разового режима управления для отечественных герконов // Электротехника. – 1991. – № 1.
3. Miedzinski B., Cichon M., Shoffa V.N. Maximum Testing of Reed Switch Equivalent to its Single Operation // Proceedings of 47th relay conference, April 19-21, 1999, Newport Beach, California, USA.
4. Шоффа В.Н., Игнатъев В.В., Хромов С.В. Спектр дребезга как информативный параметр для диагностики герконов // Электротехника. – 1994. – № 4.
5. Shoffa V.N., Miedzinski B. Chattering spectrum as a tool for reed switch diagnosis // Proceedings of relay conference, May 9-11, 1994, Boston, Massachusetts, USA.
6. Шоффа В.Н., Суран С. Влияние тока нагрузки на характеристики магнитоуправляемых контактов // Электротехника. – 1977. – № 1.
7. Jansen F.L., Gerritsen F.H., Glashoerster J.H.A., Dorland H.A.H. Increasing The Reliability Of Reed Switch Contacts By Applying Some Newly Developed Tests // Proceedings of the 25th National Relay Conference, April 26-27, 1977, Stillwater, Oklahoma, USA.
8. Шоффа В.Н., Оганесян А.Т., Давыдов С.В. Влияние чувствительности, режима и способа управления на дребезг герконов // Межвузовский сборник научных трудов «Электропривод и автоматизация в машиностроении». – Московский институт приборостроения. – 1989.
9. Шоффа В.Н. Герконы и герконовые аппараты. Справочник. – М.: Изд-во МЭИ, 1993.