

# Герконовые реле с регулируемым порогом срабатывания

Владимир ГУРЕВИЧ,  
к. т. н.

Герконовые реле — широко распространенные в технике компоненты, которые выпускают многие компании. Такие преимущества герконов, как герметичность, длительный срок службы, высокое быстродействие, специальная газовая среда или вакуум, в которых находятся контакт-детали, отсутствие необходимости в регулировке и зачистке контактов, высокий уровень гальванической развязки между входом (катушкой управления) и выходом (герконом), четкий и стабильный порог срабатывания, делают их незаменимыми в целом ряде систем автоматики и измерительной техники.

Помимо обычных и хорошо известных применений герконовых реле, в последнее время их часто используют также в качестве чувствительных элементов тока и напряжения в устройствах, предназначенных для повышения устойчивости микропроцессорных реле защиты к преднамеренным дистанционным деструктивным воздействиям [1, 2]. К таким воздействиям относятся кибератаки [3, 4], направленное ультраширокополосное радиоизлучение высокой интенсивности и мощный электромагнитный импульс [5]. В упомянутых выше устройствах [1, 2] датчики тока и напряжения на герконах должны срабатывать при возникновении аварийного или близкого к аварийному режимов работы объектов электроэнергетики, защищаемых микропроцессорными реле.

Поэтому герконовые реле должны иметь функцию регулирования порога срабатывания. Однако ни одно из выпускаемых промышленностью герконовых реле такой возможностью не обладает, что потребовало разработки новой конструкции этих устройств.

Рассмотрим наиболее приемлемые для указанного применения конструктивные схемы герконовых реле с регулируемым порогом срабатывания (рис. 1).

Наиболее простой вариант — конструктивная схема, приведенная на рис. 1а, с соосным расположением геркона и катушки управления и поступательным перемещением геркона вдоль оси катушки. Максимальной чувствительностью реле обладает, когда межконтактный зазор геркона располагается в центре катушки. При смещении этого зазора относительно центра катушки чувствительность геркона к току, протекающему по катушке, снижается. Однако практическая реализация этой кон-

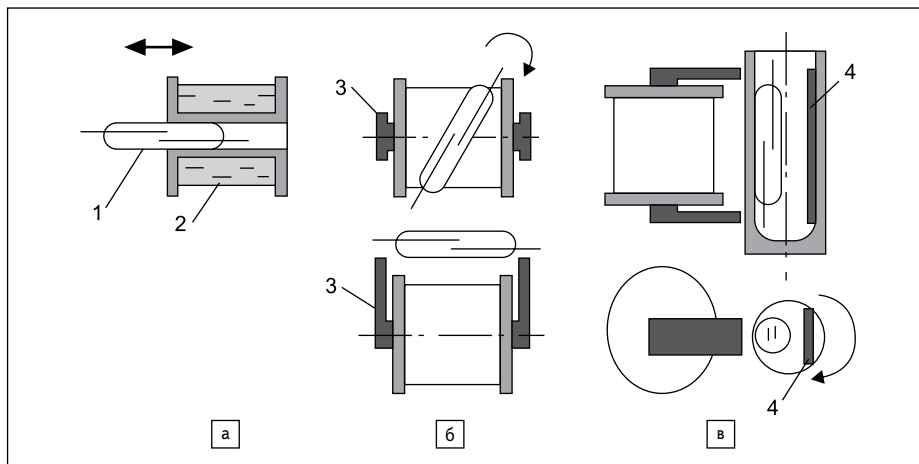


Рис. 1. Конструктивные схемы герконовых реле с регулируемым порогом срабатывания:  
а) с соосным перемещением геркона внутри катушки;  
б) с поворотом оси геркона относительно оси катушки и внешним расположением геркона;  
в) с эксцентричным перемещением геркона и магнитного шунта:  
1 — геркон; 2 — катушка с обмоткой; 3 — ферромагнитный сердечник;  
4 — ферромагнитная экранирующая пластина (магнитный шунт)

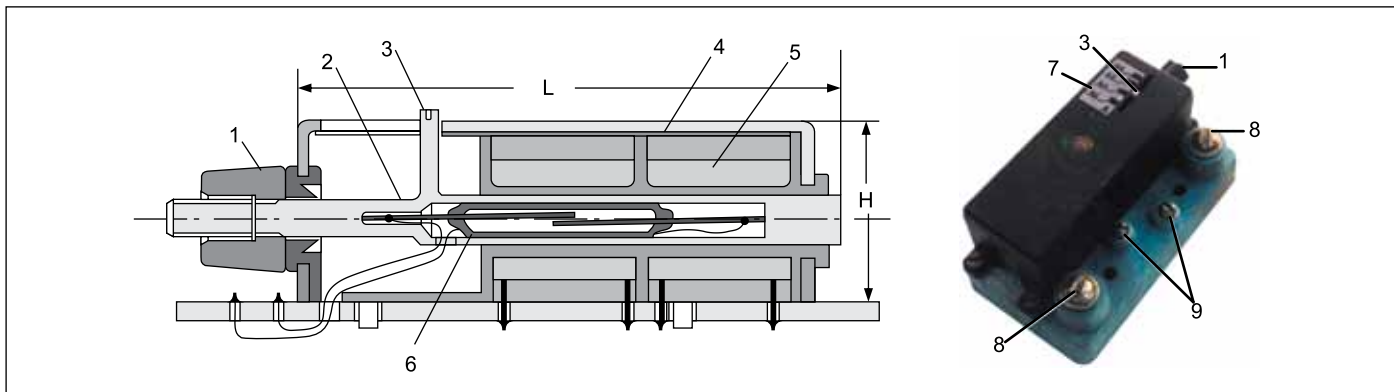
структивной схемы оказалась не очень простой (рис. 2).

Для перемещения геркона потребовалось изготовить узел, аналогичный червячному редуктору, в котором вращение вокруг своей оси ручки 1 с резьбой внутри приводит к перемещению винта с наружной резьбой, расположенного на конце детали 2, с запрессованным в ней герконом. Помимо сложности, недостатком конструкции является большая длина ( $L$ ) реле, превышающая тройную длину колбы геркона. Еще одним минусом конструкции является выход геркона из зоны эффективного магнитного экранирования при выдвигении геркона из катушки. Электрическая прочность изоляции между катушкой и герконом в этой конструкции не превышает 1 кВ.

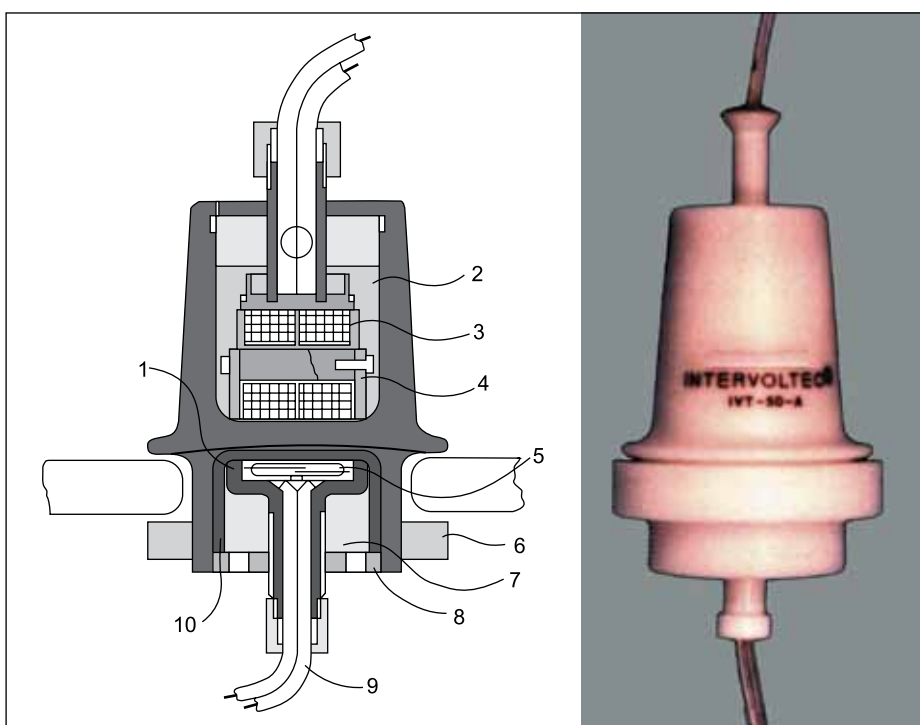
Более простой с точки зрения реализации является конструктивная схема, представленная на рис. 1б. В реле, построенном по этой конструктивной схеме, внутри катушки находится ферромагнитный сердечник с полюсами, а геркон расположен на внешней стороне катушки, и его ось параллельна оси катушки.

Конструктивная реализация реле, выполненного по этой схеме, менее сложна, чем предыдущего (рис. 3).

В положении, показанном на рис. 3, чувствительность реле максимальна. Заглубление реле осуществляется путем поворота геркона таким образом, чтобы между продольными осями катушки и геркона образовался угол. Минимальная чувствительность реле обеспечивается при угле в  $90^\circ$  между упомянутыми осями.



**Рис. 2.** Герконовое реле с регулируемым порогом срабатывания с аксиальным расположением геркона и катушки и с соосным перемещением геркона:  
 1 — вращающаяся ручка настройки; 2 — пластмассовая перемещающаяся деталь с запрессованным в нее герконом; 3 — указатель положения геркона;  
 4 — ферромагнитный экран; 5 — катушка с обмоткой; 6 — геркон; 7 — шкала; 8 — выводы обмотки; 9 — выводы геркона



**Рис. 3.** Реле с регулируемым порогом срабатывания с герконом, расположенным вне катушки, продольная ось которого образует угол с продольной осью катушки:  
 1 — пластмассовая капсула грибовидной формы с гнездом для геркона;  
 2 — заливочный эпоксидный компаунд полости корпуса с катушкой; 3 — катушка; 4 — ферромагнитный сердечник;  
 5 — геркон; 6 — гайка; 7 — заливочный эпоксидный компаунд поворотного корпуса с герконом;  
 8 — гайка-фиксатор поворотного корпуса; 9 — выводы геркона; 10 — поворотный корпус геркона

установлены эксцентрично внутри поворотной ампулы (рис. 4). В положении максимальной чувствительности геркон должен быть максимально приближен к полюсам сердечника обмотки управления, а магнитный шунт — максимально удален. При повороте ампулы геркон удаляется от полюсов сердечника, а его место занимает магнитный шунт, ослабляющий магнитный поток в области геркона. Применение этого магнитного шунта позволило увеличить диапазон регулирования порога срабатывания геркона при малом диаметре поворотной ампулы, то есть уменьшить размеры реле. После настройки реле на выбранный ток срабатывания положение ампулы фиксируется с помощью винта 4. Это реле также обладает высокой электрической прочностью изоляции между герконом и катушкой управления, особенно при использовании проводов в высоковольтной изоляции в качестве выводов катушки и геркона.

Можно создать и дифференциальное реле, реагирующее на разность значений тока или напряжения, подведенных к двум разным входам этого реле (рис. 5), которое также будет иметь регулируемый порог срабатывания.

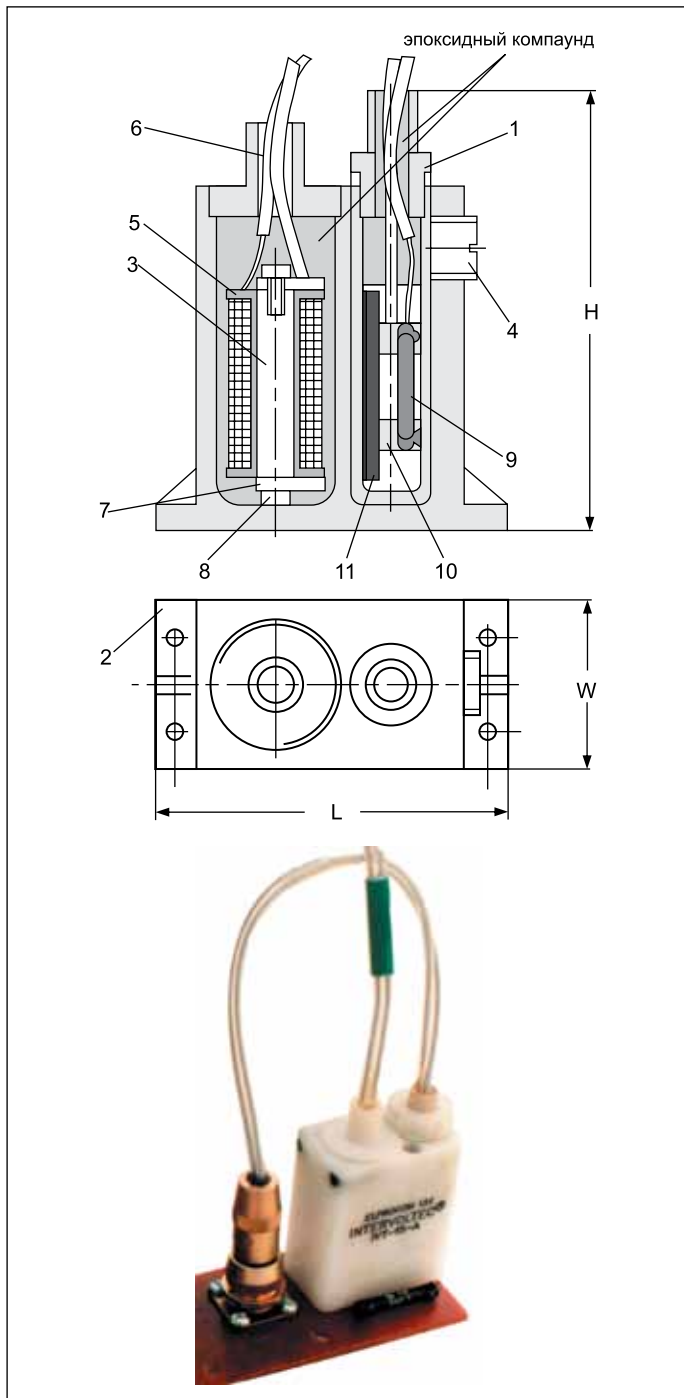
Конструктивная схема этого реле, по сути, является разновидностью схемы на рис. 1в. Ее отличие — две катушки, расположенные в одной плоскости, с противоположных сторон поворотной ампулы с герконом и магнитным шунтом.

В этой конструкции при повороте лимба изменяется взаимное расположение геркона 1 и магнитного шунта 6 относительно полюсов сердечников 4 и 5 катушек управления. В процессе поворота лимба геркон удалится от одной катушки и приближается к другой, в результате чего изменяется степень влияния этих катушек (то есть входных сигналов) на геркон. Если полярность включения катушек выбрать противоположной, то в среднем нейтральном положении поворотного изолятора 10 напряженность магнитного поля в области геркона будет близка к нулю. При повороте изолятора с герконом влияние одной катушки на геркон будет возрастать, а другой — ослабевать.

В этой конструкции регулирование порога срабатывания осуществляется путем поворота в пределах от 0° до 90° корпуса 10 с помощью выходящего наружу конца капсулы с герконом и последующей фиксации его положения гайкой-фиксатором 8. Крепление реле к внешней панели можно осуществить с помощью гайки 6 (как показано на рис. 3) или выступающего фланца с отверстиями и обычных винтов. Реле этого типа имеет корпус цилиндрической формы большого диаметра (превышающего длину колбы геркона). Высота корпуса эквивалентна примерно тройной длине геркона. Электрическая прочность

изоляции между герконом и катушкой в реле этой конструкции значительно превышает уровень предыдущего реле и может достигать десятков киловольт. Достаточно указать, что такая конструкция была реализована автором для напряжения до 70 кВ (при соответствующей толщине и длине изоляционного корпуса и выборе подходящего изоляционного материала для его изготовления).

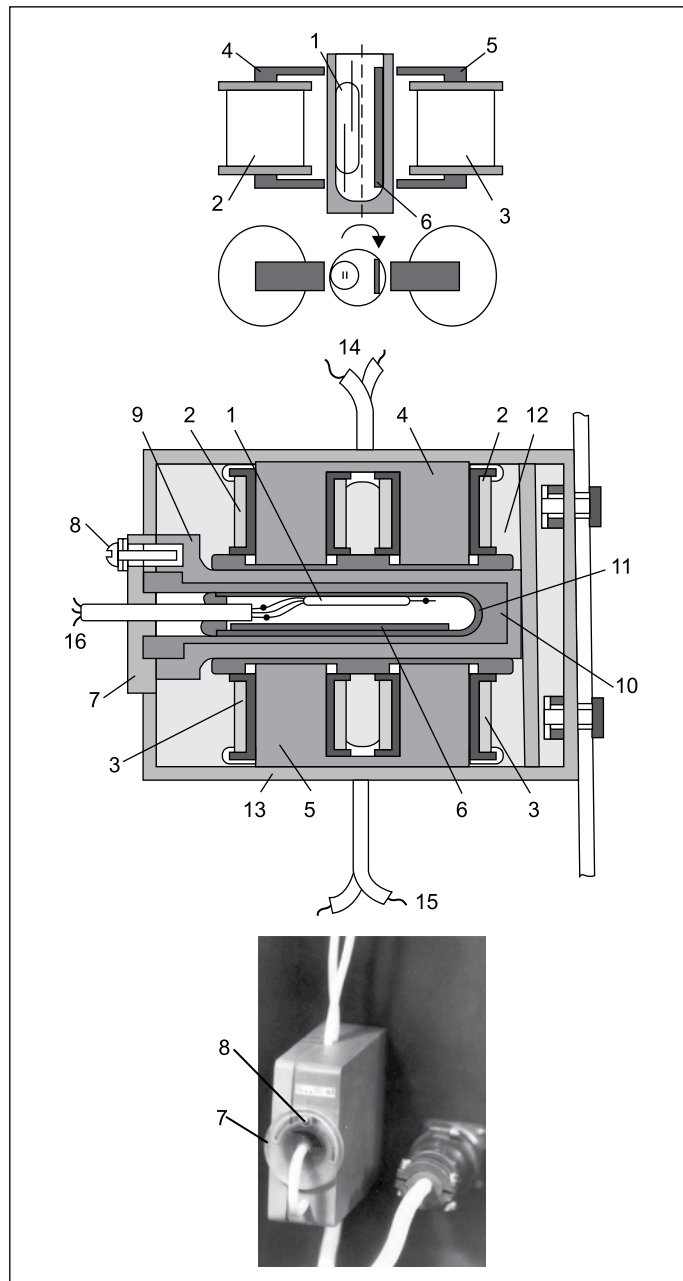
Наиболее компактным является реле с регулируемым порогом срабатывания, реализованное по конструктивной схеме, показанной на рис. 1в. В этом реле геркон и магнитный шунт, расположенные напротив друг друга,



**Рис. 4.** Конструкция компактного реле с регулируемым порогом срабатывания, выполненного по схеме с эксцентричным перемещением геркона:  
1 — выступающая часть поворотного корпуса-ампулы; 2 — крепежные фланцы; 3 — ферромагнитный сердечник; 4 — винт-фиксатор; 5 — катушка с обмоткой; 6 — выводы катушки; 7 — полюса сердечника; 8 — винты крепления полюсов; 9 — геркон; 10 — изоляционные проставки; 11 — магнитный шунт

Конструкция этого реле обеспечивает высокий уровень гальванической развязки между входами и выходом за счет наличия высоковольтного изолятора 9. Если отливать этот изолятор заодно с корпусом из высококачественной пластмассы, а после сборки реле использовать заливку качественным эпоксидным компаундом под вакуумом, то можно достичь электрической прочности изоляции и этой конструкции в десятки киловольт.

Для совместной работы с микропроцессорными реле защиты (как об этом говорится в начале статьи) изоляция в десятки киловольт яв-



**Рис. 5.** Дифференциальное герконовое реле с регулируемым порогом срабатывания:  
1 — геркон; 2 и 3 — катушки с обмотками управления; 4 и 5 — плоские ферромагнитные сердечники П-образной формы; 6 — магнитный шунт; 7 — лимб настройки реле; 8 — фиксатор лимба; 9 — неподвижный изолятор; 10 — поворотная часть изолятора; 11 — ампула с герконом и магнитным шунтом; 12 — заливочный эпоксидный компаунд; 13 — пластмассовый корпус реле прямоугольной формы; 14 и 15 — выводы обмоток управления; 16 — выводы геркона

ляется, разумеется, излишней. Но изоляция в 5–10 кВ импульсного напряжения не мешает, когда нужно создать устройство защиты от воздействия мощного электромагнитного импульса, характеризующегося, как известно, высоким наведенным напряжением. В конструкциях по схемам на рис. 16–в такой уровень изоляции реализуется без всяких проблем, поскольку эти конструкции изначально были разработаны именно для работы при высоком напряжении [6].

Эти конструкции были проверены на практике и показали отличные характеристики и как реле максимального напряжения, и как реле максимального тока. Однако в некоторых практических случаях, например, когда речь идет об их применении в устройствах защиты микро-

процессорных реле, реализующих функцию дистанционной защиты, может потребоваться реле минимального напряжения.

Для реализации функции реле минимального напряжения непосредственно на герконе должна быть размещена дополнительная обмотка L1 с небольшим числом витков. В схеме L1 подключают к стабилизированному источнику напряжения 5 В, а изолированную от геркона рабочую обмотку L2 — через диодный выпрямитель VD2 и сглаживающий конденсатор C1 пленочного типа (рис. 6), обладающие очень большими запасами по напряжению к стандартному трансформатору напряжения. (Входное напряжение со стандартного трансформатора напряжения, применяемого в электроэнергетике, обычно не превышает 100 В.)

Обмотки L1 и L2 включены встречно, так, что суммарное магнитное поле в области геркона близко к нулю в нормальном рабочем режиме. При значительном снижении входного напряжения (на которое одновременно с увеличением тока обычно реагирует дистанционная защита линий электропередачи) магнитное поле обмотки L2 ослабевает, а магнитное поле, создаваемое обмоткой L1, остается неизменным. Результирующее магнитное поле в области геркона возрастает, и он срабатывает. Конструкция самого герконового реле может быть любой (из рассмотренных выше).

В устройстве могут быть использованы диоды типа BY 2000 (Diotec Semiconductor) на напряжение 2000 В и ток 3 А (импульсный ток 80 А) в корпусе типа DO-201 (диаметр — 4,5 мм, длина — 7,5 мм). Конденсатор — типа МКР1Т041007Н00 (WIMA) на 1 мкФ, 1600 В, имеющий размеры 24×45,5×41,5 мм. Эти элементы размещены на печатной плате устройства вне корпуса реле. Использование таких высоковольтных элементов при сравнительно низком напряжении, поступающем на схему после делителя на резисторах R2–R3 (15–20 В), необходимо для обеспечения высокой стойкости устройства к перенапряжениям, генерируемым мощным электромагнитным импульсом.

Во всех описанных реле рекомендуется применять миниатюрные вакуумные герконы, выдерживающие испытательное напряжение не менее 1 кВ и имеющие собственное время срабатывания около 1 мс (таблица).

Изоляционные элементы конструкции всех рассмотренных типов реле должны быть выполнены из литьевого термопластика ULTEM-1000 (Polyetherimide, PEI). Это полупрозрачный материал янтарного цвета, обладающий совокупностью механических, температурных (–55...+170 °С) и электрических (33 кВ/мм,  $tg\delta = 0,0012$ ) свойств, а также малой водопоглощаемостью (0,25% за 24 ч), высокой стойкостью к излучению различных типов и хорошей адгезией к эпоксидным компаундам. А в качестве заливочного эпоксидного компаунда — STYCAST 2651-40 (Emerson & Cumming). Это двухкомпонентный компаунд черного цвета, обладающий хорошими диэлек-

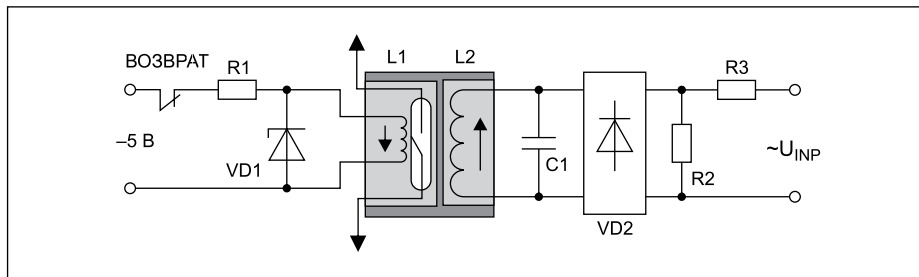


Рис. 6. Герконовое реле минимального напряжения

Таблица. Основные параметры быстродействующих вакуумных высоковольтных герконов некоторых типов

Параметры	MRA5650G	KSK-1A75	HYR2016	HYR1559	MARR-5	KSK-1A85
Тип контакта	NO					
Коммутируемое напряжение, В	1000					
Коммутируемый ток, А	1	0,5	1	0,5	0,5	1
Коммутируемая мощность, Вт	100	10	25	10	10	100
Пробивное напряжение, В	1500	1500	2500	1500	2000	4000
Время замыкания, мс	0,6	0,5	0,8	0,4	0,75	1
Время размыкания, мс	0,05	0,1	0,3	0,2	0,3	0,1
Размеры (диаметр/длина), мм	2,75/21	2,3/14,2	2,6/21	2,3/14,2	2,66/19,7	2,75/21
Чувствительность, ампер-витков	20–60	15–40	15–70	15–50	17–38	20–60

трическими свойствами (18 кВ/мм,  $tg\delta = 0,02$ ) и малой водопоглощаемостью (0,1% за 24 ч). Он может работать при температуре –75...+175 °С и отличается очень низкой вязкостью в жидком состоянии и хорошей адгезией к металлам и пластикам. STYCAST 2651-40 имеет близкий к ULTEM-1000 коэффициент линейного расширения, что немаловажно при работе реле в широком интервале температур. В качестве отвердителя следует применять CATALYST-11.

Необходимо иметь в виду, что заливать геркон непосредственно эпоксидным компаундом нельзя. Геркон нужно предварительно покрыть слоем демпфирующего материала, компенсирующего механические напряжения, возникающие в процессе отверждения эпоксидного компаунда.

Рассмотренные технические решения могут послужить практической основой при подготовке производства реле тока и напряжения с регулируемым порогом срабатывания для устройств, предназначенных для повышения устойчивости микропроцессорных реле защиты к преднамеренным дис-

танционным деструктивным воздействиям, а также для других применений, в которых необходимы герконовые реле с регулируемым порогом срабатывания.

### Литература

1. Гуревич В.И. Устройство защиты релейной защиты // Control Engineering Россия. 2013. № 3.
2. Гуревич В.И. Снижение уязвимости микропроцессорных устройств релейной защиты к преднамеренным дистанционным деструктивным воздействиям // Релейная защита и автоматизация. 2013. № 5.
3. Гуревич В.И. Технический прогресс в релейной защите. Опасные тенденции развития РЗА // Новости электротехники. 2011. № 5.
4. Гуревич В.И. Кибероружие против энергетики // PRO Электричество. 2011. № 1.
5. Гуревич В.И. Микропроцессорные реле защиты. Устройство, проблемы, перспективы. М.: Инфра-Инженерия, 2011.
6. Gurevich V. Protection Devices and Systems for High-Voltage Applications. New York: Marcel Dekker, 2003.