

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ПРОБИВНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ГАЗОНАПОЛНЕННЫХ МАЛОГАБАРИТНЫХ МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫХ КОНТАКТОВ

В.А. Коротченко, д.т.н., В.В. Прадед, С.В. Наумов
390005, ул. Гагарина 59/1, г. Рязань, Россия,
ГОУВПО Рязанский государственный радиотехнический университет

Исследованы зависимости напряжения возникновения газового разряда в герконах МКА-20103 от давления различных газов и межконтактного зазора. Показано, что пробивное напряжение может быть повышено до 700 – 800 В без повышения давления в приборах путем добавления углекислого газа к азоту (50%) и увеличения межконтактного зазора до 100 – 150 мкм с уменьшением жесткости контакт-деталей.

Dependences of the gas discharge ignition voltage in the reed switch MKA-20103 on pressure of the various gases and contact gap have been investigated. It has been shown that breakdown voltage may be increased up to 700 – 800 V without pressure increase in devices by addition of CO₂ to nitrogen (50%) and by contact gap length increase up to 100 – 150 μm with the decrease of the blade mechanical resistance.

Введение

В коммутационной технике широко используются газонаполненные магнитоуправляемые контакты (герконы) с длиной баллона 20 мм, предназначенные для работы при напряжениях 250 В и токе 1 А. В таблице приведены основные параметры геркона МКА-20103 и его зарубежных аналогов. Приборы практически полностью идентичны по большинству параметров, но электрическая прочность (пробивное напряжение) российских герконов гарантируется на уровне 400 В, тогда как зарубежных – в диапазоне 580 – 750 В. Это достигается увеличением давления газа внутри герконов: 1300 – 1500 Торр в зарубежных приборах при 320 Торр в российских. Существенное повышение давления обеспечивается сравнительно сложной операцией заварки герконов в камере с давлением газа 3 – 4 атм. В настоящей работе исследованы возможные способы увеличения пробивного напряжения герконов без применения заварки при повышенном давлении газа.

Таблица

Основные параметры герконов с длиной баллона 20 мм

Параметры герконов	Фирма и тип геркона		
	РЗМКП МКА-20103	HAMLIN MRPR-8	COTO RI-48B
Длина и диаметр баллона, мм	20; 2,54	20,3; 2,84	20,5; 2,7
Зазор и перекрытие, мкм	40-60; (600-800)	56; (350 - 630)	42; (392 - 490)
Давление газа, Торр	320	1300	1460
Коммутируемый / пропускаемый ток, А	1 / 2	1 / 2,5	1 / 2,25
Коммутируемое напряжение (= / ≈), В	250 / 250	250 / 250	200 / 250
Электрическая прочность изоляции, В	400	750	580
Контактное сопротивление, Ом	0,1	0,1	0,09
МДС срабатывания, А	(25 - 40)	(22 - 43)	(24 - 51)
Резонансная частота, Гц	2600	2100	3200

Расчетная часть

Пробивное напряжение герконов («электрическая прочность изоляции») определяется возникновением газового разряда и для плоской системы электродов приближенно может быть рассчитано по соотношению [1]:

$$U_B = \frac{B p d}{\ln(A p d) - \ln \ln(1 + 1/\gamma)}, \quad (1)$$

где U_B - напряжение возникновения разряда; p - давление газа; d - межэлектродное расстояние; A и B - константы, зависящие от рода газа; γ - коэффициент вторичной ионно-электронной эмиссии, зависящий от материала катода и рода газа. В случае азота, используемого для наполнения герконов, $A = 12 \text{ см}^{-1} \cdot \text{Торр}^{-1}$, $B = 342 \text{ В} \cdot \text{см}^{-1} \cdot \text{Торр}^{-1}$.

Из соотношения (1) следует, что зависимость напряжения возникновения разряда от произведения давления газа на межэлектродное расстояние (кривая Пашена) имеет минимум, координаты которого зависят от рода газа и материала катода и определяются формулами:

$$(pd)_m = e \ln(1 + 1/\gamma) / A; \quad U_m = B (pd)_m, \quad (2)$$

где $e = 2,718$ (основание натуральных логарифмов).

Значение коэффициента γ , входящего в соотношения (1) и (2), для азота и материала покрытия контакт-деталей геркона, в литературе не представлены. В связи с этим на рис. 1 приведены графики зависимостей напряжения возникновения разряда в герконах МКА-20103 от давления азота, рассчитанные для ряда значений коэффициента γ в широком диапазоне от 0,0001 до 0,1.

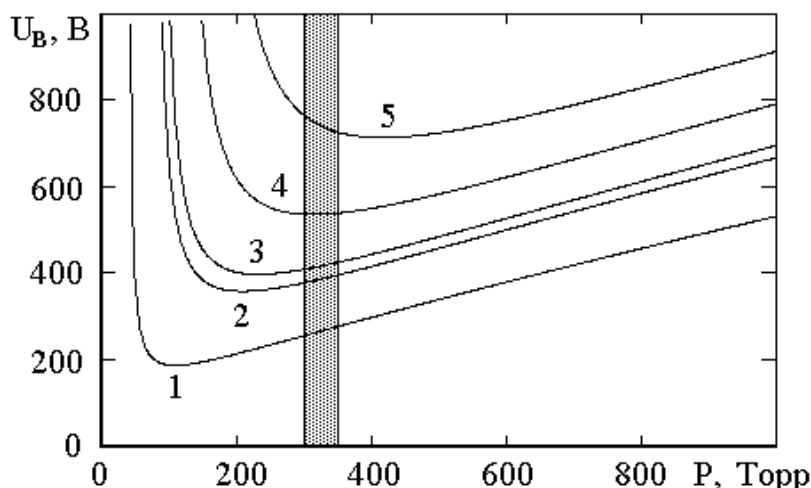


Рис. 1. Зависимости напряжения возникновения разряда в герконах типа МКА-20103 от давления азота при межконтактном зазоре 50 мкм и различных значениях коэффициента вторичной ион-электронной эмиссии γ : 1 – 0,1; 2 – 0,01; 3 – 0,006; 4 – 0,001; 5 – 0,0001. Заштрихованная область соответствует характерному диапазону давления газа в приборах

Напряжение в минимуме кривой 3 на рис. 1 равно 400 В, что соответствует экспериментальным данным (см. далее). Коэффициент γ для этой кривой равен 0,006, что примерно на порядок меньше величины, приводимой, например, для пары азот – никель ($\gamma = 0,077$ [1]). Возможность столь заметного расхождения значений коэффициента γ отмечается в литературе [3]: «для азота при наличии тонкой пленки на поверхности катода, появляющейся в результате реакции O_2 , H_2O или других газов с металлами, коэффициент γ уменьшается так, что преобладающую роль начинают играть процессы, обусловленные излучением, а квантовый выход имеет величину порядка 0,0001 или даже ниже; очистка поверхности ионной бомбардировкой повышает коэффициент более чем на два порядка».

Значение коэффициента 0,006, соответствующее экспериментальному значению минимального напряжения возникновения разряда 400 В, использовалось в дальнейших расчетах. В то же время, не исключалась возможность изменения коэффициента в пределах

нескольких порядков в результате ионной бомбардировки в процессе измерения пробивного напряжения или в течение длительной выдержки в нерабочем состоянии.

Графики, представленные на рис. 1, показывают, насколько существенно может изменяться пробивное напряжение при вариациях коэффициента γ . В частности, отметим, что при уменьшении коэффициента до 0,0001 (кривая 5) условия в герконах соответствуют левой ветви кривой Пашена.

Кривая 3 на рис. 1 показывает, что пробивное напряжение герконов МКА-20103 с ростом давления газа увеличивается сравнительно медленно: приблизительно до 600 В при давлении 760 Торр. Следует ожидать, что такое значение пробивного напряжения должно регистрироваться в «натекающих» герконах с недостаточно высокой герметичностью спаев.

С помощью соотношения (1) оценивалась возможность повышения пробивного напряжения герконов МКА-20103 путем увеличения межконтактного зазора или заменой наполняющего газа. На рис. 2 представлены графики зависимостей напряжения возникновения разряда от межэлектродного расстояния в различных газах, принципиально пригодных для практического использования. Зависимости рассчитаны для характерной величины давления газа 320 Торр. Значения коэффициента γ для неона и аргона взяты из литературы [1] для никелевого катода, а для азота и углекислого газа – из представленных ниже экспериментальных данных.

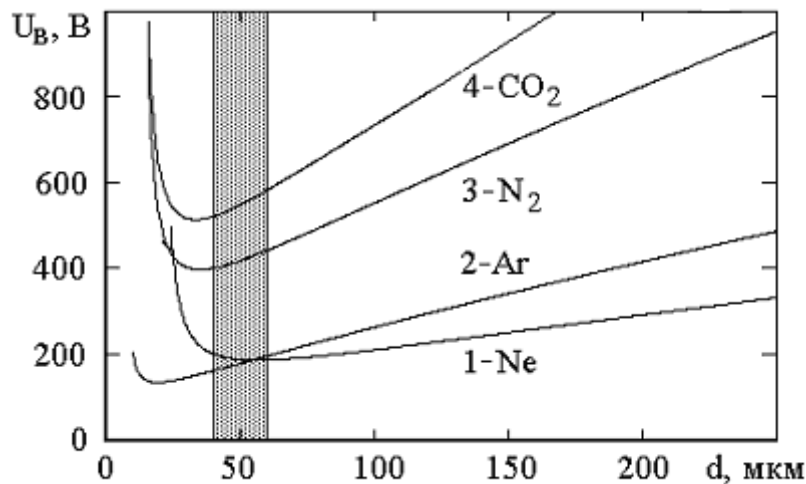


Рис. 2. Зависимости напряжения возникновения разряда в герконах типа МКА-20103 от межэлектродного расстояния для различных газов при давлении 320 Торр: 1 – неон ($\gamma = 0,031$); 2 – аргон ($\gamma = 0,058$); 3 – азот ($\gamma = 0,006$); 4 – углекислый газ ($\gamma = 0,0003$).

Заштрихованная область соответствует характерному диапазону значений межконтактного зазора в приборах

Результаты расчета показывают, что напряжение возникновения разряда в азоте при характерной величине межконтактного зазора 50 мкм существенно (в 2 раза) выше, чем в неоне и аргоне, но приблизительно на 100 В ниже, чем в углекислом газе. С увеличением расстояния до 100 мкм напряжение возникновения разряда увеличивается приблизительно до 550 В для азота и до 750 В для углекислого газа.

Таким образом, расчетные данные, представленные на рис. 1 и 2, свидетельствуют о возможности повышения электрической прочности герконов МКА-20103 до уровня 700 – 800 В путем увеличения межконтактного зазора и применения углекислого газа для наполнения приборов. Возможно также увеличение пробивного напряжения до 1000 В и более путем уменьшения давления ниже 100 Торр.

Экспериментальная часть

Объектами исследования являлись образцы серийных герконов МКА-20103, в баллонах которых с помощью лазера проделывались отверстия диаметром около 1 мм. Образцы помещались в вакуумную камеру, в которую после откачки форвакуумным насосом

напускались различные газы и газовые смеси до давления 0,1 – 2000 Торр. Давление измерялось с помощью деформационных манометрических датчиков.

При различных значениях давления газа с помощью схем, представленных на рис. 3, измерялось напряжение возникновения разряда. Отличие измерительных режимов, обеспечиваемых приведенными схемами, заключалось в разных частотах следования разрядных импульсов тока (амплитуда до 4 мА, длительность 2 мкс – 2 мс). В схеме на рис. 3, а импульсы следовали приблизительно через 0,5 – 1 мс (в зависимости от напряжения возникновения разряда), а в схеме на рис. 3, б – через 10 секунд (частота 0,1 Гц). В первом случае уменьшалось время статистического запаздывания разряда и, соответственно, повышалась стабильность результатов измерения, а во втором обеспечивалось более слабое воздействие разряда на состояние поверхности катода. Первый случай соответствует заводской методике измерения пробивного напряжения герконов. Поэтому в экспериментах в основном использовалась схема 3, а. Схема 3, б позволила оценить влияние разряда на результаты измерений: при частоте 0,1 Гц значения пробивного напряжения обычно были приблизительно на 100 В выше, чем при частоте 1 – 2 кГц.

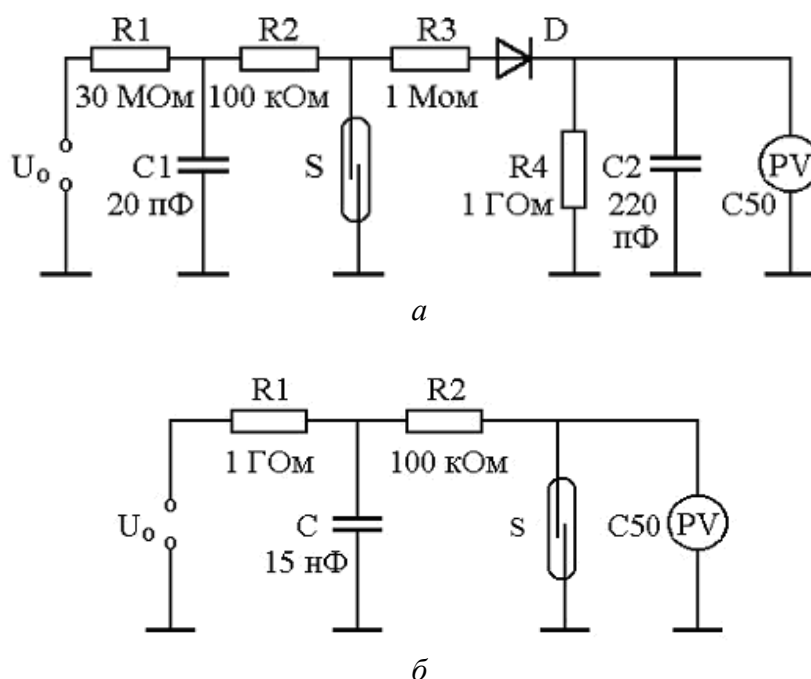


Рис. 3. Электрические схемы для измерения пробивного напряжения: а) – вариант с высокой частотой релаксаций (2 кГц); б) – вариант с низкой частотой релаксаций (0,1 Гц). U_0 - источник постоянного напряжения (1000 В); S - геркон; PV - электростатический вольтметр

На рис. 4 представлены экспериментальные графики зависимостей напряжения возникновения разряда в герконах МКА-20103 от давления азота и его смеси с углекислым газом (50%) в диапазоне 10 – 1400 Торр.

Результаты эксперимента показывают (кривая 1 на рис. 4), что при наполнении герконов азотом для повышения пробивного напряжения до уровня 800 – 900 В давление газа необходимо повысить приблизительно до 2 атм. Однако, если к азоту добавить 50% углекислого газа, то даже при давлении 320 Торр (как в серийных приборах) пробивное напряжение увеличивается с 400 В до приблизительно 650 В, а при увеличении давления до 1 атм напряжение повышается до 900 В (кривая 2).

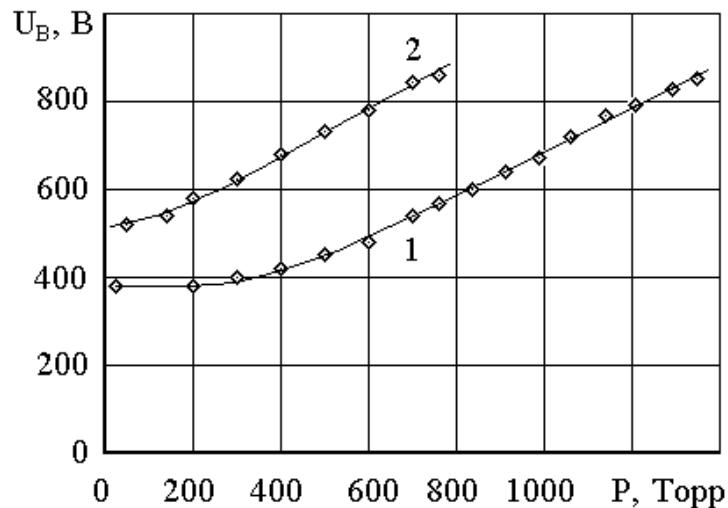


Рис. 4. Зависимости напряжения возникновения разряда в герконах МКА-20103 от давления газа: 1 – азот; 2 – смесь азота с углекислым газом (50%)

Для случая наполнения герконов азотом в экспериментах обнаружено, что напряжение возникновения разряда практически не изменяется при уменьшении давления ниже 200 Торр, тогда как в соответствии с соотношением (1) оно должно резко увеличиваться в области давлений ниже 100 Торр (кривая 3 на рис. 1). Ход экспериментальной зависимости пробивного напряжения от давления азота в области ниже 100 Торр более детально представлен в полулогарифмическом масштабе на рис. 5 (кривая 1), на котором также приведен график расчетной зависимости (кривая 2).

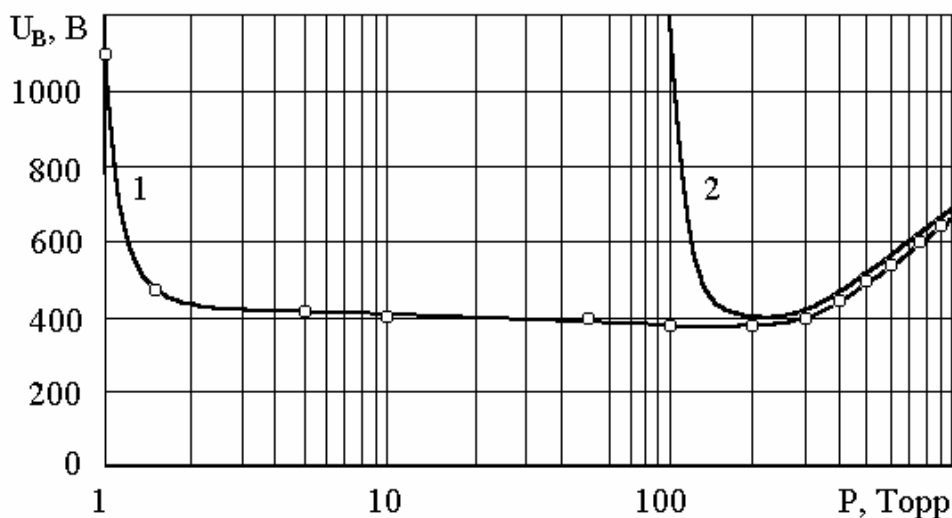


Рис. 5. Экспериментальная (1) и расчетная (2) зависимости напряжения возникновения разряда в герконе типа МКА-20103 от давления азота при межконтактном зазоре 50 мкм

Из рис. 5 следует, что экспериментальное значение напряжения возникновения разряда повышается до 1000 В при уменьшении давления до уровня 1 Торр, тогда как в соответствии с расчетом это должно происходить при давлении 100 Торр. Такое существенное расхождение экспериментальных и расчетных данных объясняется тем, что в расчетах не учитывалась возможность возникновения разряда «по длинному пути» вне зазора – между боковыми поверхностями контакт-деталей или между торцевой поверхностью одной детали и боковой поверхностью другой. Разряд в этом случае развивается вдоль силовых линий электрического поля, длина которых соответствует минимуму кривой Пашена. Поэтому при уменьшении давления газа напряжение возникновения разряда практически не изменяется. Для более подробного выяснения физического механизма такого разряда требуется проведение дополнительных исследований,

в ходе которых необходимо оценить роль зарядов на внутренней поверхности баллона. Практическое значение полученных результатов заключается в экспериментальном подтверждении возможности увеличения пробивного напряжения до уровня 1000 В при давлении азота 1 Торр, которое может быть получено с помощью форвакуумного насоса и без длительного термического обезгаживания баллона и контакт-деталей герконов.

Заключение

Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что пробивное напряжение герконов типа МКА-20103 может быть увеличено до 700 – 800 В без повышения давления газа во внутреннем объеме путем увеличения межконтактного зазора до 100 – 150 мкм и наполнения герконов смесью азота с углекислым газом. Увеличение зазора должно сопровождаться снижением жесткости контакт-деталей для сохранения МДС срабатывания на необходимом уровне. Предварительная оценка с помощью известных [4–6] соотношений показала, что увеличение длины широкого участка контакт-деталей позволяет сохранить высокую чувствительность герконов с увеличенным зазором при незначительном уменьшении резонансной частоты.

Можно предполагать, что введение углекислого газа в состав газового наполнения герконов принципиально может повысить контактное сопротивление и снизить ресурс приборов за счет осаждения углерода на контактирующих поверхностях. Предположение нуждается в экспериментальной проверке.

Повышение пробивного напряжения путем уменьшения давления азота ниже величины 1 Торр с переходом на левую ветвь кривой Пашена представляется интересным техническим решением, которое может существенно уменьшить эрозию контактов, увеличить ресурс приборов и снизить электрические шумы при контактировании. Одним из возможных вариантов реализации решения является разработка групповой технологии откачки и герметизации герконов, изготовленных на используемом в настоящее время оборудовании.

Литература:

1. Энгель А., Штенбек М. Физика и техника электрического разряда в газах, Т. 1. – М., Л.: ОНТИ, 1936.
2. Актон Д., Свифт Д. Газоразрядные лампы с холодным катодом. – М.; Л.: Энергия, 1965.
3. Ретер Г. Электронные лавины и пробой в газах. – М.: Мир, 1965.
4. Буль Б.К., Шоффа В.Н., Умеренков А.С. Учебное пособие по курсу «Электромеханические аппараты автоматики» – М.: МЭИ, 1978. – 48 с.
5. Коробков Ю.С. Расчет магнитоуправляемых контактов: Учебное пособие по курсам «Электромеханические аппараты автоматики». – М.: МЭИ, 1982. – 64 с.
6. Харазов К.И. Переключатели с магнитоуправляемыми контактами. – М.: Энергия, 1978.