

# ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА В ГЕРКОНАХ

В.А. Коротченко – д.т.н., Д.В. Суворов, Е.И. Панкратов  
390005, ул. Гагарина 59/1, Рязань, Россия,  
Рязанская государственная радиотехническая академия

*Газовое наполнение герконов принципиально позволяет зажигать разряд между разомкнутыми контактами и использовать его для дополнительной обработки контакт-деталей после заварки или для диагностики готовых изделий.*

*Исследованы характеристики разряда для одного из наиболее распространенных типов герконов – МКА-14103. Параметры разрядного промежутка, характерные для данного типа геркона: газ – азот, давление – около 300 Торр, межэлектродное расстояние – 20 мкм, площадь – 0.5 мм<sup>2</sup>. Условия приблизительно соответствуют минимуму кривой Пащенко.*

*Gas filling of reed switches essentially permits to allow the discharge between open contacts and to use it for additional treatment of blades after sealing or for diagnostics of finished products.*

*Discharge characteristics for one of the most widespread reed switch types - MKA-14103 are investigated. Discharge gap parameters typical for this reed switch type: gas - nitrogen, pressure – approx. 300 torr, interelectrode distance - 20 μm, area - 0.5 мм<sup>2</sup>. Conditions approximately satisfy a minimum of Paschen curve.*

## 1. Разряд при постоянном напряжении источника питания

Разряд исследовался с помощью схемы, представленной на рис. 1а. Средний ток разряда ограничивался большим (68 МОм) сопротивлением на уровне сотен микроампер, что исключало разрушение покрытия контактов. Разряд возникал при напряжении 300-400 В (при нескольких включениях и для разных экземпляров герконов) в виде коротких (150 нс) импульсов с фронтом нарастания 60 нс, с амплитудой тока порядка 1 мА и периодом следования около 10 мкс (рис.1б). Прерывистый характер тока обусловлен тем, что стационарное значение тока разряда при напряжении зажигания сравнительно велико и не обеспечивается разрядной цепью в непрерывном режиме из-за большого ограничительного сопротивления. Ток лишь кратковременно поддерживается в миллиамперном диапазоне зарядом, накопленным в межконтактной и внешней паразитной емкости (около 1 пФ). В результате напряжение на ней быстро уменьшается, становится недостаточным для поддержания разряда, ток прекращается, емкость вновь заряжается до напряжения зажигания разряда и процессы повторяются.

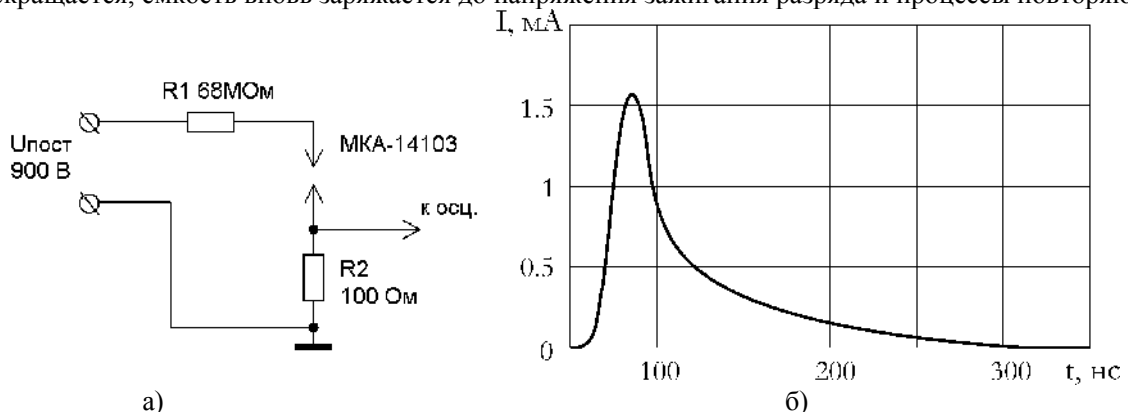


Рис. 1. Схема включения геркона (а) и импульс разрядного тока (б).

## 2. Импульсный режим горения разряда

Импульсы напряжения амплитудой 500-1000 В формировались электронным ключом на высоковольтном биполярном транзисторе (рис. 2). Длительность импульсов варьировалась в пределах 20-300 мкс при частоте следования 0.1–3 кГц. В сравнении с режимом постоянного напряжения источника питания величина ограничительного резистора существенно уменьшалась (до 10–100 кОм), амплитудное значение тока составляло 3–60 мА, но среднее значение тока разряда по-прежнему оставалось достаточно низким.

С помощью осциллографа определены напряжение горения нормального тлеющего разряда (НТР) – около 200 В и величина тока, соответствующая переходу разряда в аномальный (АТР) – 30 мА. При увеличении тока НТР путем уменьшения сопротивления ограничительного резистора визуально

наблюдалось расширение области свечения разряда из зазора геркона на всю поверхность контакт-детали, являющейся катодом. Переход НТР в АТР сопровождался увеличением напряжения горения (до 240 В при импульсном значении тока 50 мА). Определены значения среднего времени статистического запаздывания разряда для различных значений частоты следования импульсов – 5 мкс при 3 кГц и 50 мкс при 100 Гц. Увеличение запаздывания при снижении частоты предположительно связано с уменьшением послеразрядной эмиссии электронов из катода с течением времени.

Длительное (более 10 мин.) воздействие разряда на контакты при сравнительно большом значении среднего тока (1 мА) приводило к заметному ионному распылению катода и образованию металлической пленки на стеклянной оболочке прибора, что необходимо учитывать при разработке режимов газоразрядной обработки контактов герконов.

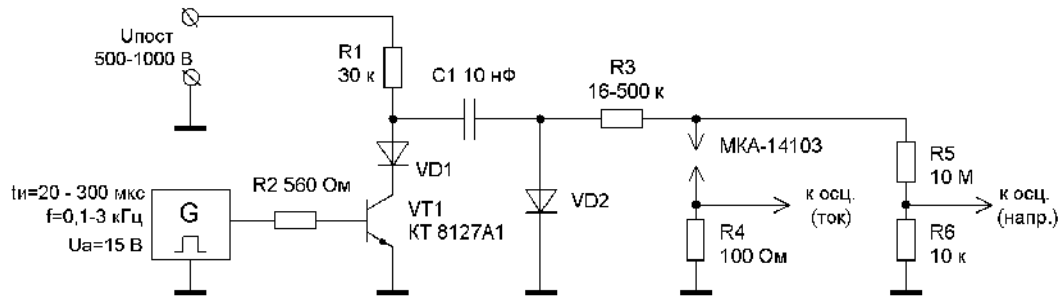


Рис. 2. Схема формирования импульсов напряжения и измерения параметров разряда.

Осциллограммы импульсов напряжения на разрядном промежутке и тока разряда в герконе при двух значениях ограничительного резистора представлены на рис. 3. Начальный участок импульса напряжения соответствует статистическому запаздыванию разряда. Запаздывание сравнительно мало (около 5 мкс), что объясняется высоким уровнем экзоэлектронной (послеразрядной) эмиссии в условиях высокой частоты следования импульсов. На начальном участке, вероятно, развиваются серии электронных лавин, с избытком возобновляемых на катоде фотонами и ионами [4]. Ток этих лавин недостаточен для заметного снижения напряжения при выбранных значениях ограничительного резистора, но лавины ведут к росту количества выходящих из катода электронов, к накоплению ионного пространственного заряда и перераспределению потенциала в промежутке. В результате ток резко увеличивается и формируется тлеющий разряд (протяженные почти горизонтальные участки на осциллограммах). При значении ограничительного сопротивления 50 кОм амплитуда импульса тока разряда составляла около 12 мА (напряжение горения - 200 В, НТР), а при величине сопротивления 16 кОм увеличивалась почти до 50 мА (напряжение - 240 В, АТР). Небольшой наклон вершин импульсов тока связан с разрядом переходной емкости (C1 на рис. 2).

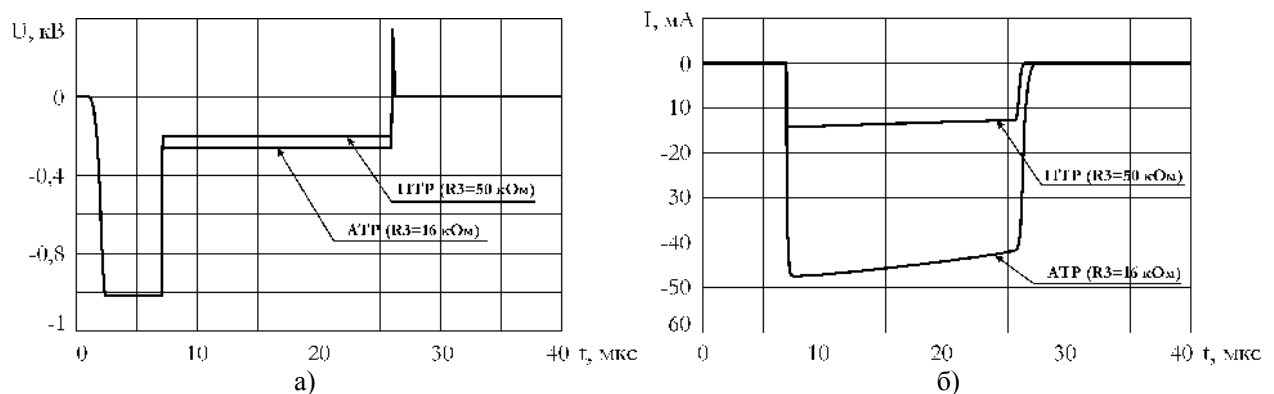


Рис. 3. Осциллограммы напряжения (а) и тока (б) при амплитуде импульсов 1 кВ, частоте следования 2,5 кГц и двух значениях ограничительного резистора (16 кОм и 50 кОм).

### 3. Обсуждение результатов

Вблизи минимума кривой Пашена напряжение возникновения самостоятельного разряда  $U_{\theta}$  достаточно точно определяется соотношением [1]:

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

где  $A = 14,2 \text{ Торр}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$  (для азота);  $B = 342 \text{ В Торр}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$  (для азота);  $p$  - давление газа (Торр);  $d$  - межэлектродное расстояние (см);  $\gamma$  - коэффициент электронно-ионной эмиссии, зависящий от рода газа и материала катода. Из соотношения (1) определяются координаты минимума кривой Пашена:

$$(pd)_m = 2,718 \ln(1 + 1/\gamma) / A; \quad U_m = B (pd)_m. \quad (2); (3)$$

Величина коэффициента  $\gamma$ , соответствующая материалу покрытия контакт-деталей герконов, в литературе не приводится. Значение коэффициента можно оценить по напряжению возникновения разряда, определенному экспериментальным путем (раздел 1), с помощью соотношения (1). Расчет дает  $\gamma = 0,0088$ . По этой величине с помощью формул (2) и (3) рассчитываются координаты минимума кривой Пашена:  $(pd)_m = 0,907 \text{ Торр} \cdot \text{см}$  и  $U_m = 310 \text{ В}$ . Произведение  $(pd)$  для межконтактного зазора геркона, составляет  $0,6 \text{ Торр} \cdot \text{см}$ , что соответствует левой ветви кривой Пашена (вблизи минимума).

Полученное значение коэффициента  $\gamma$  позволяет оценивать с помощью соотношения (1) ожидаемые изменения напряжения возникновения разряда, обусловленные отклонением параметров разрядного промежутка от исходных. Например, при увеличении давления газа до  $760 \text{ Торр}$  из-за натекания воздуха напряжение возникновения разряда уменьшится с  $350 \text{ В}$  приблизительно до  $343 \text{ В}$  (без учета изменения состава газа). Аналогичным образом можно получить, что при увеличении зазора до  $40 \text{ мкм}$  из-за нестабильности технологического процесса напряжение уменьшится с  $350 \text{ В}$  до  $321 \text{ В}$ . В случае уменьшения зазора до  $12 \text{ мкм}$  расчет показывает, что напряжение зажигания разряда увеличится до  $1631 \text{ В}$ , однако реально напряжение так резко не увеличится, а останется примерно на уровне  $310\text{-}350 \text{ В}$  из-за развития разряда "по длинному пути" (вне зазора), где произведение  $(pd)$  соответствует минимуму кривой Пашена.

Возможность зажигания разряда "по длинному пути" ведет к ошибке в результате приведенного выше расчета коэффициента  $\gamma$ , поскольку наблюдаемое в эксперименте напряжение возникновения разряда может соответствовать не левой ветви кривой Пашена, а ее минимуму. В этом случае расчет по соотношениям (2) и (3) дает  $\gamma = 0,0048$ , а  $(pd)_m = 1,02 \text{ Торр} \cdot \text{см}$ . Расчет по соотношению (1) при уточненном значении коэффициента  $\gamma$  дает величину напряжения возникновения разряда после натекания воздуха до атмосферного давления  $372 \text{ В}$ , что больше исходного значения  $350 \text{ В}$ .

Результаты исследования разряда в режиме постоянного источника питания показывают, что напряжение возникновения разряда в герконах типа МКА-14103 слабо зависит от давления газа и межконтактного зазора, и его целесообразно использовать в качестве информативного параметра при контроле изделий. Представленные математические соотношения и примеры их применения необходимо учитывать при исследовании разряда в других типах герконов с более высокими значениями зазора и давления газа, соответствующими правой ветви кривой Пашена, где напряжение возникновения разряда более существенно зависит от давления газа и межэлектродного расстояния.

Время статистического запаздывания зажигания разряда есть величина случайная, среднее значение которой определяется, прежде всего, процессами послеразрядной эмиссии и уровнем ионизирующего излучения [3]. Первый из двух факторов главным образом зависит от частоты импульсов и свойств поверхности (контактов), что открывает возможность эффективной диагностики состояния поверхности контактов геркона.

Импульсный режим разряда может быть использован для дополнительной обработки контакт-деталей герконов ионной бомбардировкой. Разряд целесообразно возбуждать при сравнительно высоком (порядка  $1 \text{ кВ}$ ) напряжении, существенно превышающем напряжение возникновения разряда. Компьютерное моделирование с помощью разработанной ранее модели [2] показало, что в таких условиях обеспечивается быстрое и устойчивое нарастание тока. При длительности импульсов  $25 \text{ мкс}$ , частоте следования порядка  $1 \text{ кГц}$ , ограничительном сопротивлении около  $50 \text{ кОм}$  и импульсном токе  $10 \text{ мА}$  среднее значение тока было достаточно малым (около  $250 \text{ мкА}$ ). Регулировка скважности импульсов или ограничительного резистора позволяет легко изменять значение среднего тока. Импульсную электроразрядную обработку контакт-деталей герконов целесообразно опробовать на первом этапе в применении к изделиям, отбракованным по недопустимо большому сопротивлению в замкнутом состоянии.

## Литература

1. Физика и техника электрического разряда в газах. Энгель А., Штенбек М. Т. 1. - М.; Л.: ОНТИ, 1935.
2. Начальная стадия тлеющего разряда в перенапряженном режиме. Коротченко В.А, Чижиков А.Е., Иванов А.В. // Изв. РАН, сер. Физическая. 2003, т. 67, № 9, С. 1259–1262.
3. Экзоэлектронная эмиссия. Под ред. Кобозева Н. И., - М.; ИЛ, 1962.
4. Электронные лавины и пробой в газах. Г. Петер. - М.: Мир, 1968.