

04:09

Экспериментальное исследование электрической прочности H_{011} - и E_{111} -типов колебаний в цилиндрическом резонаторе, находящемся под газовой компрессией

© В.А. Августинovich, С.Н. Артеменко, П.Ю. Чумерин

Научно-исследовательский институт ядерной физики при Томском политехническом университете, 634050 Томск, Россия

(Поступило в Редакцию 25 мая 1996 г. В окончательной редакции 20 ноября 1997 г.)

Экспериментально показано, что для повышения энергозапаса накопительных резонаторов, находящихся под газовой компрессией, предпочтительными являются типы колебаний, в которых электрические составляющие полей не взаимодействуют с внутренними поверхностями резонатора.

Проблемы с электрической прочностью, которые возникают в установках высокого напряжения, находящихся под газовой компрессией, связаны с наличием в реальном разрядном промежутке источников локального усиления поля микронеоднородностями на поверхности электродов и частицами примесей в газовой среде [1,2]. Влияние источников локального усиления поля можно уменьшить, используя различные способы механической и химической обработки поверхности электродов, методы газовой очистки, кондиционирование электродов и диэлектрической среды. В разрядных промежутках устройств СВЧ можно возбуждать электрические поля, которые не взаимодействуют с внутренними поверхностями электродинамической системы. Таким способом исключается влияние микронеоднородностей на электрическую прочность газовой изоляции.

Целью настоящей работы является экспериментальная демонстрация возможности увеличения энергозапаса накопительного резонатора, находящегося под газовой компрессией, путем возбуждения в нем колебаний, электрические составляющие полей которых не взаимодействуют с внутренними поверхностями. Исследования проводились путем сравнения электрической прочности резонатора, заполненного азотом до давления $10^5 - 1.6 \cdot 10^5$ Па, когда в нем поочередно возбуждались колебания типа H_{011} и E_{111} .

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Использовался цилиндрический медный резонатор стоячей волны 10 диаметром $4.38 \cdot 10^{-2}$ м и длиной $3.49 \cdot 10^{-2}$ м. В резонаторе поочередно возбуждались два типа волн. На частоте $9.36 \cdot 10^9$ Hz возбуждалась волна H_{011} , а на частоте $9.34 \cdot 10^9$ Hz — волна E_{111} . Требуемые типы колебаний возбуждались через круглое отверстие связи, расположенное на одной из торцевых крышек резонатора на середине радиуса, как показано на рис. 1. Подсветка разрядного объема осуществлялась через второе аналогичное отверстие выполненное на этой же крышке симметрично первому относительно центра крышки. При этом в качестве источника ультрафиолетового излучения использовался электрический разряд в запердельном круглом волноводе, подсоединенном соосно к отверстию подсветки. Элементы разрядника 11

располагались на достаточном удалении от отверстия подсветки с целью избежания их влияния на добротность и рабочую частоту исследуемых колебаний.

Снятие вырождения H_{011} - и E_{111} -типов колебаний обеспечивалось отверстиями возбуждения и подсветки в силу различной чувствительности рабочих частот этих колебаний к возмущающему действию указанных отверстий.

Негруженные добротности E_{111} - и H_{011} -типов колебаний составляли соответственно 5750 и 11 700.

Возбуждение резонатора осуществлялось от перестраиваемого магнетронного генератора 1 с выходной мощностью до $2 \cdot 10^5$ W и длительностью импульса 10^{-6} s. Генератор работал с частотой следования импульсов 50 Hz. Согласование режима работы генератора на резонансную нагрузку обеспечивалось с помощью циркулятора 3 и фазовращателя 5. Отвод мощности, отраженной от отверстия связи резонатора, осуществлялся в нагрузку 4. Переменным аттенюатором 6 регулировался уровень поступающей на вход резонатора мощности. Развязка по давлению между резонатором и подводимым трактом обеспечивалась с помощью радиопрозрачного герметизированного окна 8. Резонатор наполнялся азотом с помощью системы напуска 9. Перед наполнением газом резонатор откачивался форвакуумным насосом.

Для устранения разброса значений напряженности поля пробоя момент запуска искрового разрядника высоковольтным модулятором 12 совпадал с началом процесса возбуждения резонатора. Синхронизация всех частей установки осуществлялась блоком 2. В эксперименте регистрировались уровни мощности падающей и отраженной волн с помощью направленного ответвителя 7, калиброванных детекторных секций и осциллографа С1-75. Уровень поля пробоя в резонаторе определялся методом пробивной мощности [3].

Для того чтобы разделить источники локального усиления поля, находящиеся в объеме резонатора и на его внутренней поверхности, перед наполнением азот пропускался через газовый фильтр. На рис. 2 представлены зависимости напряженности поля пробоя от давления азота, полученные в эксперименте для H_{011} - и E_{111} -типов колебаний, а также результаты расчета, проведенного исходя из уравнения баланса электронов по данным

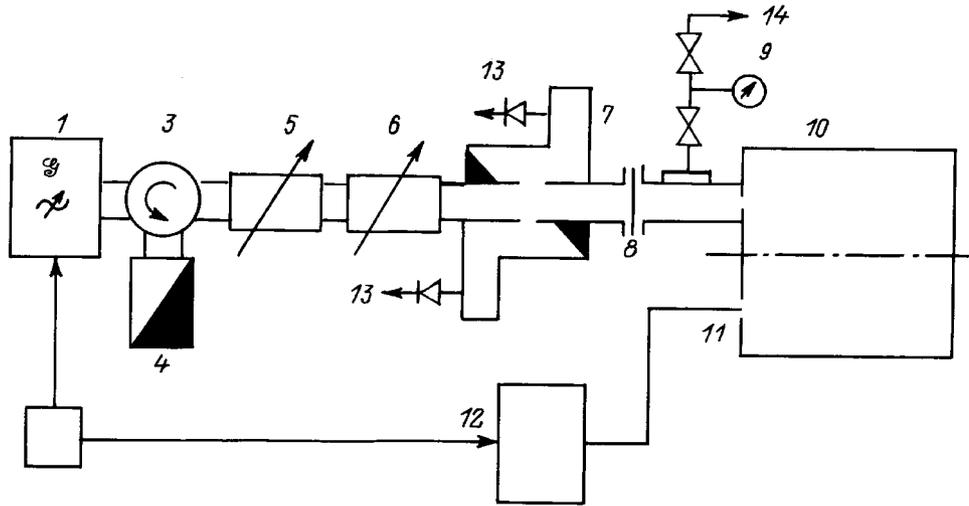


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 — СВЧ генератор, 2 — блок синхронизации, 3 — циркулятор, 4 — поглощающая нагрузка, 5 — фазовращатель, 6 — аттенюатор, 7 — направленный ответвитель, 8 — радиопрозрачное окно, 9 — система напуска газа, 10 — резонатор, 11 — искровой разрядник, 12 — высоковольтный модулятор, 13 — к осциллографу, 14 — к баллону с газом.

работ [4,5] без учета влияния частиц примесей и микроненодностей. Для E_{111} -типа колебаний указана составляющая напряженности электрического поля на торцевой крышке резонатора. В расчетах учитывалось, что нарастание поля в резонаторе осуществляется по экспоненциальному закону

$$E = [E_{\max}/\sqrt{2}] [1 - \exp(-t/\tau)],$$

где E_{\max} — максимальное значение поля в резонаторе, τ — постоянная времени резонатора, t — время.

Расчетные зависимости в диапазоне исследованных давлений носят линейный характер. Небольшое различие полей пробоя H_{011} - и E_{111} -типов колебаний объясняется различием в законе нарастания поля в резонаторе. В случае наполнения резонатора газом без предварительной очистки уровни поля пробоя H_{011} - и E_{111} -типов колебаний слабо различаются, а начиная с давления $\sim 10^6$ Па перестают зависеть от увеличения давления. Исследования влияния кондиционирования поверхности стенок резонатора и диэлектрической среды, проведенные при давлении $1.6 \cdot 10^6$ Па, показывают, что при получасовой тренировке пробоями уровень поля пробоя H_{011} - и E_{111} -типов колебаний составляли соответственно $3.5 \cdot 10^7$ и $2.5 \cdot 10^7$ В/м.

В экспериментах, в которых напуск газа осуществлялся через фильтр, уровень поля пробоя H_{011} -типа колебаний, начиная с давления более 10^6 Па, становится существенно большим по отношению к E_{111} -типу колебаний и при давлении $1.6 \cdot 10^6$ Па превышение составляет $9 \cdot 10^6$ В/м.

Наблюдаемые отклонения экспериментальных зависимостей поля пробоя от линейного закона связаны с влиянием различных источников локального усиления поля. В экспериментах, в которых газ наполнялся без предварительной очистки, очевидно, основным источником, снижающим поле пробоя, являлись частицы

примесей, находящиеся в объеме резонатора. Поэтому электрическая прочность E_{111} - и H_{011} -типов колебаний различаются на величину, близкую к той, которая получена путем расчета. Кондиционирование диэлектриче-

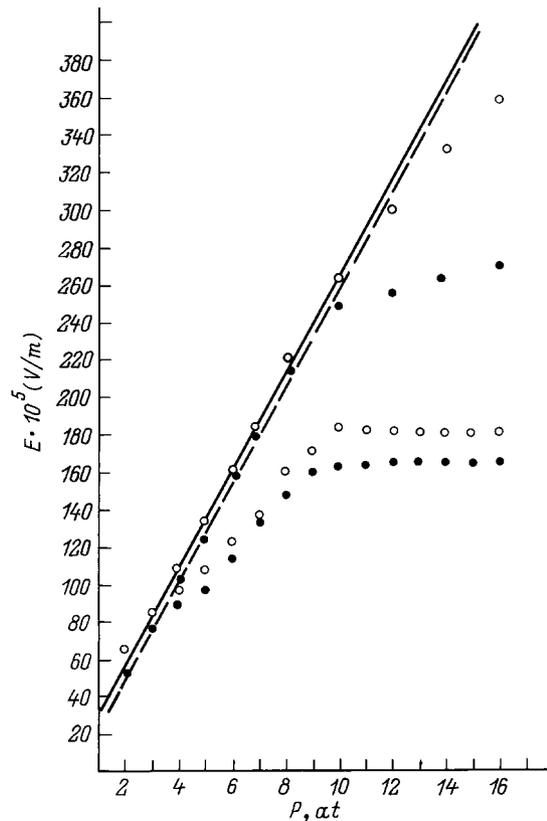


Рис. 2. Зависимости напряженности поля пробоя (E) от давления азота (P): \circ — H_{011} -тип колебаний, \bullet — E_{111} -тип колебаний, сплошная кривая — расчетная зависимость для H_{011} -типа колебаний, штриховая — для E_{111} -типа колебаний.

ской среды и очистка газа позволили уменьшить влияние частиц примесей в объеме резонатора на его электрическую прочность. Это привело к увеличению уровня поля пробоя H_{011} -типа колебаний по отношению к E_{111} -типу.

Таким образом, в работе экспериментально показано, что при выполнении определенных технологических операций над газовой средой, заполняющей накопительный резонатор, более предпочтительными для повышения энергозапаса являются типы колебаний, в которых электрические составляющие ВЧ поля не замыкаются на стенки резонатора.

Список литературы

- [1] Ушаков В.Я. Изоляция установок высокого напряжения. М.: Энергоатомиздат, 1994. 496 с.
- [2] Разевиг Д.В., Соколова М.В. Расчет начальных и разрядных напряжений газовых промежутков. М.: Энергия, 1977. 200 с.
- [3] Райцын Д.Г. Электрическая прочность СВЧ устройств. М.: Сов. радио, 1977. 168 с.
- [4] Мак-Дональд А. Сверхвысокочастотный пробой в газах. М.: Мир, 1969. 206 с.
- [5] Лупан Ю.А. // ЖТФ. 1976. Т. 46. Вып. 11. С. 2321–2326.