Физика плазмы и плазменные методы

УДК 621.3.06

Сильноточные управляемые разрядники для различных применений

Д.Ф. Алферов, М.Р. Ахметгареев, В.А. Сидоров

Проведены экспериментальные исследования влияния конструкции электродной системы управляемых вакуумных разрядников (РВУ) на их коммутационную и отключающую способность при различных параметрах разрядного тока. В качестве объекта исследований использовались РВУ со стержневой электродной системой и РВУ с аксиальным магнитным полем.

PACS: 52.75.Hn

Ключевые слова: вакуумный разрядник, конструкция, экспериментальные исследования, разрядный ток, магнитное поле.

Введение

В связи с интенсивным развитием электроимпульсных технологий и необходимостью совершенствования коммутационных и защитных аппаратов в электроэнергетике возрастает потребность в разработке новых типов управляемых вакуумных разрядников (РВУ). Электродная система РВУ содержит два основных электрода и, как правило, один управляющий электрод. Управляющий электрод устанавливается на одном из основных электродов и отделяется от него с помощью диэлектрической вставки. Комбинация управляющего электрода с диэлектрической вставкой называется узлом запуска. Обычно РВУ размещается в керамическом герметизированном корпусе, который выполняет также функции изолятора. Внутренняя поверхность корпуса защищается от продуктов эрозии основных электродов с помощью экранной системы, которая заметно влияет на распределение электрического поля в РВУ.

Интерес к данному объекту обусловлен такими его преимуществами по сравнению с другими типами коммутирующих устройств как способность работать в широком диапазоне рабочих напряжений и токов без изменения времени включения, высокой стойкостью к аварийным воздействиям и сравнительно низкой стоимостью по сравнению с газоразрядными и полупроводниковыми приборами [1, 2].

Выбор электродной системы и конструктивного исполнения РВУ определяется режимом его использования. Наиболее высокую коммутационную способность (по току и заряду) имеют разрядники, электродная система которых представляет собой набор чередующихся стержней противоположной полярности [3]. При протекании тока по всем стержневым электродам в межстержневых промежутках формируется продольное магнитное поле, которое обеспечивает хорошую коммутационную способность РВУ в сильноточном режиме [4]. Разработанные в ВЭИ разрядники типа РВУ-43 и РВУ-47 широко используются для многократных сильноточных импульсных коммутаций в диапазоне токов 10 – 500 кА с величиной передаваемого заряда в импульсе от 40 Кл до 300 Кл и более при рабочем напряжении 1 – 30 кВ [1, 2]. Однако распространение разрядных каналов от узла поджига в межстержневые промежутки происходит только при токе более 6–9 кА [5], что ограничивает эффективность применения РВУ со стержневой электродной системой для коммутации токов с амплитудой I_m менее 10 кА.

В отличие от импульсных применений, в сетях переменного напряжения РВУ должен быть способным длительно (до десятка миллисекунд) пропускать ток десятки килоампер, надежно включаться при сравнительно малой (до 10^6 А/с) скорости нарастания тока и выдерживать высокие напряжения. Для этих целей может оказаться предпочтительнее использовать РВУ с дисковой электродной системой, которые обладают более высокой электрической прочностью по сравнению с РВУ со стержневой электродной системой. Однако отключающая способность вакуумного промежутка с дисковой электродной системой ограничена вследствие стягивания разрядных каналов при токах более 5 кА и образования анодных пятен. Уменьшить влияние этого эффекта на отключающую способность можно путем формирования в вакуумном промежутке продольно-

Алферов Дмитрий Федорович, гл. научн. сотр.
Ахметгареев Марат Рифатович, научн. сотр.
Сидоров Владимир Алексеевич, вед. научн. сотр.
ФГУП «Всероссийский электротехнический институт им. В.И. Ленина».
Россия, 111250, Москва, ул. Красноказарменная, 12.
Тел.: 8 (495) 361-94-78

Статья поступила в редакцию 25 февраля 2013 г.

© Алферов Д.Ф., Ахметгареев М.Р., Сидоров В.А., 2013

го по отношению к току дуги магнитного поля. Продольное магнитное поле способствует более однородному распределению тока в вакуумном промежутке, и тем самым препятствует образованию анодных пятен [6]. Такое поле используется для повышения отключающей способности вакуумных дугогасительных камер (ВДК). В коммерческих ВДК продольное магнитное поле заданной конфигурации формируется протекающим током в специальных контактных системах (индукторах) [7, 8]. Представляется перспективным использовать аналогичные индукторы и для повышения отключающей способности РВУ. Такие РВУ могут найти применение в сетях переменного напряжения с частотой от 50 Гц до сотен герц. Поэтому создание высоковольтных сильноточных РВУ с дисковой электродной системой, формирующей в межэлектродном промежутке продольное магнитное поле, представляет практический интерес.

В настоящей работе проведены экспериментальные исследования влияния конструкции электродной системы на коммутационную и отключающую способность РВУ при различных параметрах разрядного тока.

Условия эксперимента и методика измерений

Объектом исследований являлись два управляемых вакуумных разрядника РВУ-10 и РВУ-47. Электродная система разрядников, выполненная из композиции CuCr (50/50), размещена в металлокерамическом корпусе диаметром 102 мм и высотой 160 мм. В центре внутренней поверхности одного из электродов установлен узел запуска. Он содержит управляющий электрод, отделенный от основного электрода кольцевой диэлектрической вставкой.

Электродная система разрядника РВУ-47 выполнена в виде шести стержневых электродов чередующейся полярности, размещенных по окружности с внешним диаметром 70 мм (рис. 1, *а*). Диаметр узла запуска равен 10 мм. Размер межстержневого промежутка между соседними стержнями противоположной полярности d = 10 мм, а расстояние между торцом стержня и основанием противоположного электрода h = 18 мм. Аналогичная электродная система с другими характерными размерами используется в сильноточных разрядниках РВУ-43 и РВУ-57. Магнитное поле, формируемое током в стержневых электродах, в каждом межстержневом промежутке имеет продольную и поперечную составляющие относительно направления тока дуги. Влияние продольной составляющей магнитного поля становится существенным при амплитуде тока I_m>10 кА, когда ток начинает протекать по всем стержневым электродам. В этом случае горение сильноточного импульсного разряда происходит в основном в межстержневых промежутках, что уменьшает токовую нагрузку на узел запуска.

Электродная система разрядника РВУ-10 состоит из двух электродов с внешним диаметром 70 мм, разделенных зазором d = 10 мм (рис. 1, *б*). Диаметр узла запуска равен 30 мм. Конструкция основных электродов аналогична конструкции контактной системы ВДК, представленной в работе [9]. Каждый электрод содержит индуктор, выполненный в виде не менее двух ступенчатых кольцевых элементов, и центральный диск. Диск охвачен индуктором, отделен от последнего кольцевым зазором и электрически соединен с индуктором мостиками, расположенными в кольцевом зазоре. Кольцевые элементы индуктора соединены между собой таким образом, чтобы обеспечить однородное распределение азимутального тока в индукторе при горении вакуумной дуги в межэлектродном промежутке РВУ. При одинаковом направлении азимутальных токов в электродах в межэлектродном промежутке формируется аксиальное магнитное поле, препятствующее стягиванию дуги.

Распределение магнитного поля, формируемого током 1 кА в индукторе РВУ-10, было рассчитано с помощью программы "ELCUT". На рис. 2 показано распределение удельной индукции магнитного поля B(мТл/кА) по радиусу r вблизи торцевой поверхности электрода $Z \approx 0$. Видно, что наряду с продольным магнитным полем $B_z(r)$ вблизи периферии электродов формируется заметное радиальное магнитное поле $B_z(r)$. Показано распределение магнитного поля как без учета вихревых токов в торцевой плоскости электродов (рис. 2, *а*), так и с учетом вихревых токов (рис. 2, *б*). Вихревые токи уменьшают продольное магнитное поле вблизи оси РВУ (в 1,5 раза) и максимальную индукцию радиального магнитного поля (в 1,3 раза).

Форма радиального распределения $B_z(r)$ области близка к «колоколообразной» с максимумом

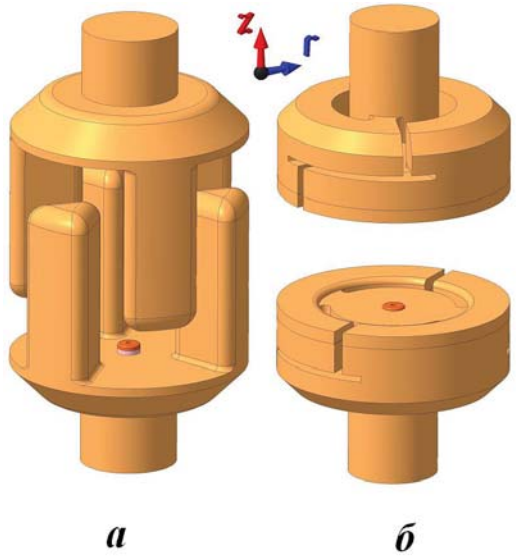

Рис. 1 Электродные системы: а) РВУ-10; б) РВУ-47.

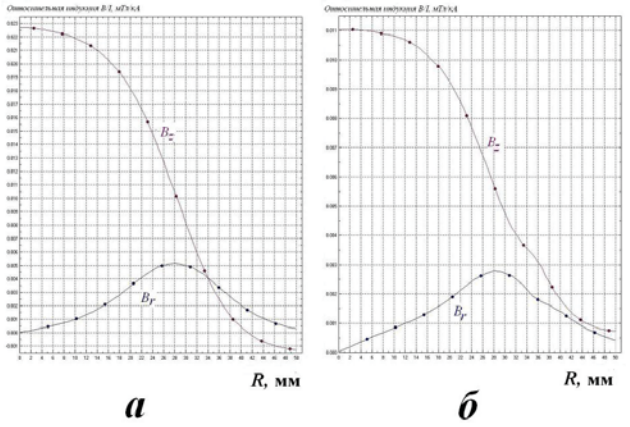

Рис. 2. Радиальное распределение удельного магнитного поля вблизи поверхности электрода РВУ-10:
а) без учета вихревых токов;
б) с учетом вихревых токов.

$B_{zmax}(0) \approx 11$ мТл/кА вблизи оси Z электродной системы РВУ (рис. 2, *б*). Радиальное магнитное поле $B_r(r) \ll B_z(r)$ пренебрежимо мало в приосевой области $r < 10$ мм и максимально на периферии электродов при $r \approx 30$ мм ($B_{rmax}(0) \approx 3$ мТл/ кА).

В дисковой электродной системе минимальное расстояние от узла запуска до поверхности противоположного электрода меньше, чем у разрядника со стержневой электродной системой, что обеспечивает более быстрое заполнение плазмой межэлектродного промежутка и соответственно меньшее время включения РВУ.

Исследования проводились на сильноточном импульсном стенде (рис. 3), содержащем батарею конденсаторов емкостью $C_1 = 12{,}4$ мФ на максимальное напряжение 3 кВ и реактора с индуктивностью L_1 до 0,6 мГн. Сильноточный стенд служит для генерации затухающего синусоидального тока с амплитудой I_m до 50 кА и минимальной частотой 42,5 Гц. Амплитуда тока I_m подбиралась путем изменения зарядного напряжения U_0. Характерной особенностью исследуемого режима при максимальной длительности полуволны тока $T/2 = 8{,}5$ мс является сравнительно малая скорость нарастания тока $di/dt < 10^6$ А/с. Поэтому для надежного включения РВУ длительность инициирующего разряда должна быть не менее 50 мкс. Включение РВУ осуществлялось с помощью системы управления СУ и блока запуска БЗ, формирующего ток инициирующего разряда в форме униполярного импульса с амплитудой ~ 350 А, фронтом ~ 5 мкс и длительностью ~ 70 мкс.

Ток основного разряда i измеряли с помощью низкоомного шунта $R_ш = 0{,}8$ мОм с оптической развязкой и пояса Роговского с чувствительностью 78 кА/В. Соответственно, ток поджига измеряли с помощью пояса Роговского с чувствительностью 115 А/В, а напряжение U на разряднике измеряли высоковольтным пробником Tektronix P5100. Электрические сигналы регистрировали с помощью цифрового осциллографа Tektronix TDS3000B.

Результаты испытаний

Зависимости коммутационной и отключающей способности РВУ от амплитуды тока измерялись при 4-х значениях индуктивности разрядного контура:

- $L_1 \approx 0{,}6$ мГн ($T \approx 17$ мс, $f \approx 60$ Гц), I_m до 10 кА;
- $L_1 \approx 0{,}1$ мГн ($T \approx 7$ мс, $f \approx 140$ Гц), I_m до 20 кА;
- $L_1 \approx 0{,}03$ мГн ($T \approx 4$ мс, $f \approx 250$ Гц), I_m до 40 кА;
- $L_1 \approx 0{,}002$ мГн ($T \approx 0{,}8$-1 мс, $f \approx 1$–1,2 кГц), I_m до 50 кА.

В каждом цикле измерений для фиксированных значений индуктивности и зарядного напряжения проводилось не менее 10 коммутаций. Регистрировались амплитуда тока и напряжение на РВУ.

Характерные осциллограммы напряжения и тока в РВУ-10 и РВУ-47 показаны на рис. 4.

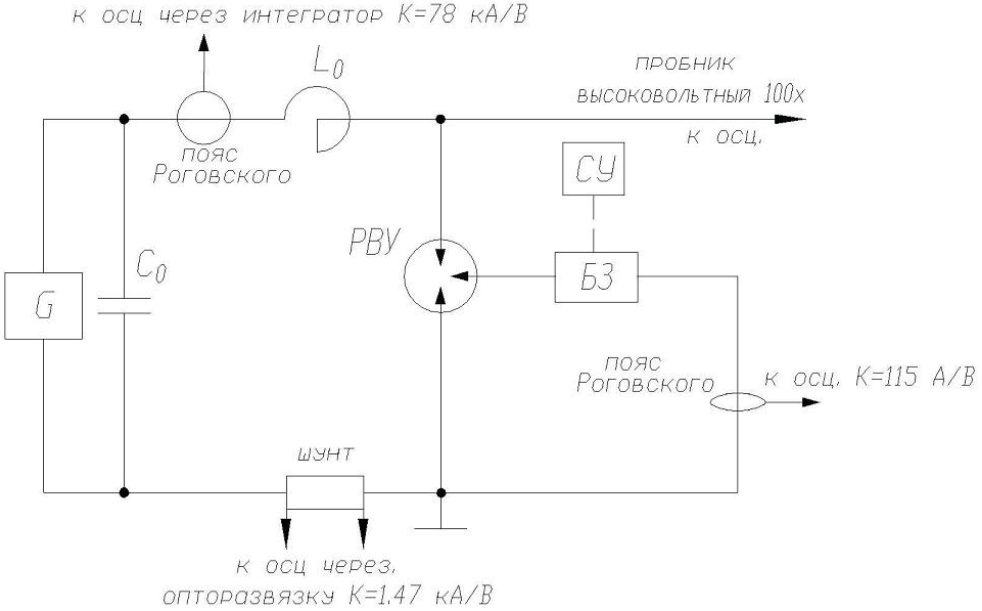

Рис. 3. Схема экспериментального стенда.

Видно, что при частоте тока близкой к промышленной ($f \approx 60$ Гц) и амплитуде тока $I_m \leq 10$ кА напряжение на РВУ-10 изменялось плавно в течение импульса тока и не превышало 50 В (рис. 4, *а*). Напротив, в РВУ-47 на той же частоте $f \approx 60$ Гц при увеличении амплитуды тока более 3 кА наблюдалось возникновение неустойчивой стадии разряда, сопровождаемой появлением высокочастотных осцилляций напряжения, амплитуда которых возрастала до 100 В при $I_m \approx 10$ кА (рис. 4, *б*). На более высокой частоте $f \approx 140$ Гц при увеличении амплитуды тока $I_m > 6$–10 кА появлялись высокочастотные осцилляции напряжения с амплитудой до 100 В в течение фронта тока и в РВУ-10, которые обычно затухали перед началом спада тока (рис. 4, *в*). При аналогичных параметрах тока осцилляции напряжения в РВУ-47 были более интенсивными (более 300 В) и завершались только на спаде тока (рис. 4, *г*). С увеличением амплитуды тока $I_m \geq 15$ кА интенсивность и длительность осцилляций напряжения в РВУ-47 заметно уменьшались, в то время как интенсивность и длительность осцилляций напряжений в РВУ-10 существенно возрастали. Такая тенденция наблюдалась и при увеличении частоты f до 1 кГц. В этом случае интенсивные осцилляции напряжения с амплитудой до 1000 В наблюдались в РВУ-10 практически в течение всего импульса тока (рис. 4, *д*), а в РВУ-47 осцилляции напряжения с амплитудой до 300 В наблюдались лишь в течение начального участка фронта тока (рис. 4, *е*). Осциллограммы на рис. 4, *д* и рис. 4, *е* были получены с учетом компенсации индуктивного падения напряжения $K \cdot di/dt$ на РВУ, где K – коэффициент, учитывающий индуктивность разрядника и размеры контура.

Из анализа осциллограмм следует, что для всех частот f = 100–1000 Гц при превышении мгновенного значения тока $i > 6$–10 кА наблюдалось возникновение неустойчивой стадии в разряднике РВУ-10. С увеличением частоты происходило только существенное увеличение интенсивности высокочастотных осцилляций напряжения. В РВУ-47 возникновение неустойчивой стадии разряда для всех частот f = 60–1000 Гц наблюдалось при меньших, чем в РВУ-10, мгновенных токах $i > 3$–5 кА. При этом интенсивность высокочастотных осцилляций не превышала 300 В.

Вольтамперные характеристики (ВАХ) РВУ-10 и РВУ-47 исследовались при разных частотах тока. Для заданной величины зарядного напряжения U_0 и частоты f проводилось не менее десяти коммутаций тока. Измерялись ток и напряжение на дуге в момент максимального значения тока

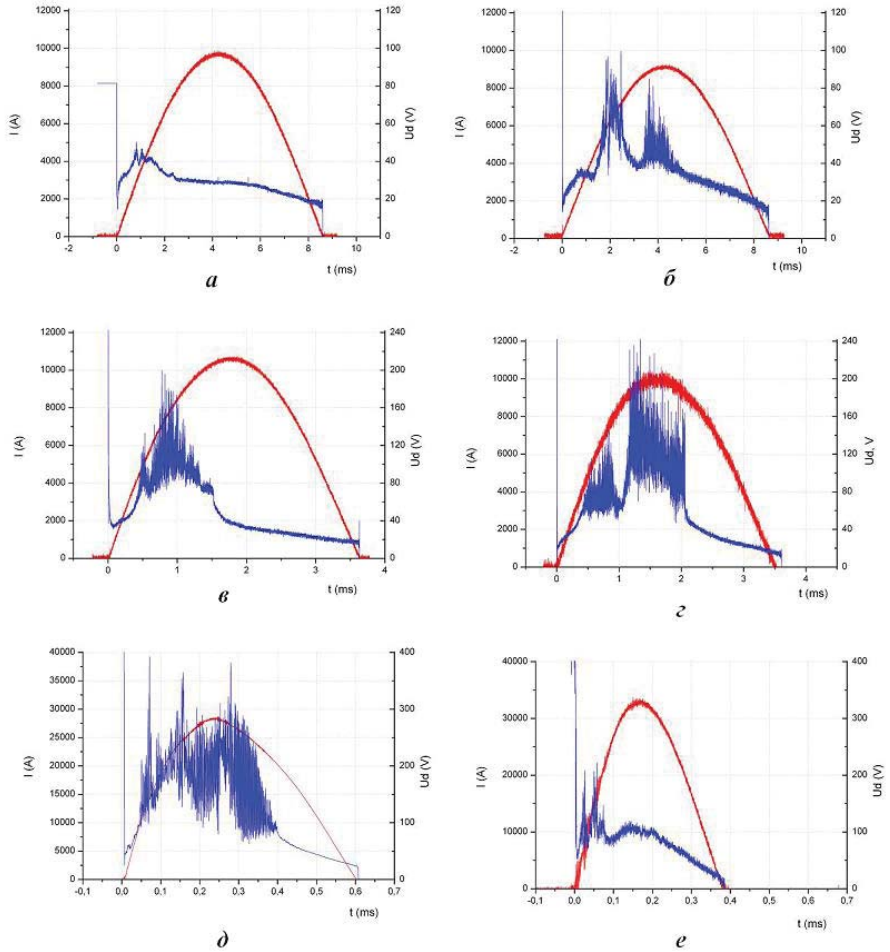

Рис. 4. Осциллограммы токов и напряжений на РВУ:
а) РВУ-10, T=17 мс; б) РВУ-47, T=17 мс; в) РВУ-10, T=7,2 мс; г) РВУ-47, T=7,2 мс; д) РВУ-10, T≈1,2 мс; е) РВУ-47, T≈0,8 мс.

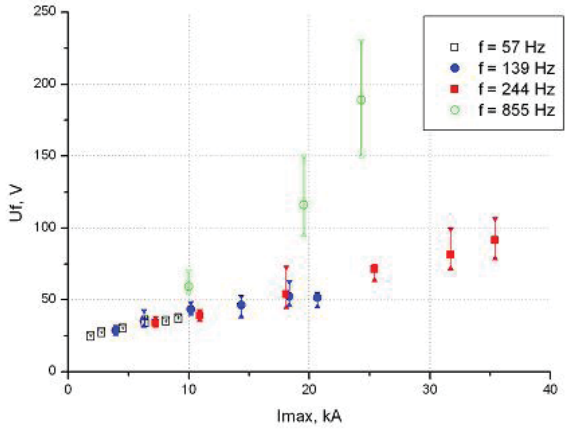

Рис. 5. Зависимости усредненного падения напряжения Uf на РВУ-10 от амплитуды тока Im

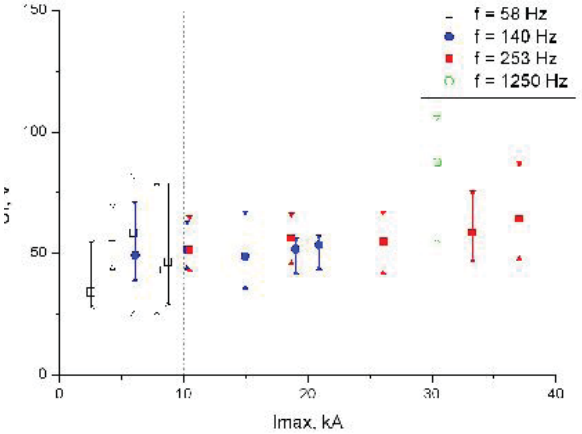

Рис. 6 Зависимости усредненного падения напряжения Uf на РВУ-47 от амплитуды тока Im.

I_m., когда индуктивное падение напряжения на РВУ практически равно нулю.

На рис. 5 показаны зависимости усредненного падения напряжения U_f на РВУ-10 от амплитуды тока I_m и максимальный разброс данных измерений. Аналогичные зависимости для РВУ-47 показаны на рис. 6. Здесь символами (□), (●), (■) и (○) обозначены средние значения падения напряжения U_f, полученные на частотах тока $f \approx 60$ Гц, $f \approx 140$ Гц, $f \approx 250$ Гц и $f \approx 1000$ Гц, соответственно. При наличии высокочастотных осцилляций напряжения вблизи амплитуды тока величина U_f определялась как минимальное напряжение в области токов $i \approx I_m$.

Найденное таким образом среднее падение напряжения U_f вблизи максимума тока в РВУ-10 (рис. 5) увеличивалось практически линейно от 30 В до 100 В с ростом амплитуды тока от 3 кА до 40 кА и слабо зависело от частоты тока до $f \leq 250$ Гц. При $f \approx 1000$ Гц происходило существенное увеличение величины и характера зависимости U_f от I_m. Максимальные значения U_f при $f \approx 1000$ Гц и $I_m >$ 20 кА превышали 200 В. Напротив, в РВУ-47 среднее падение напряжения $U_f \sim 50$ В слабо зависело от амплитуды тока и частоты $f \leq 250$ Гц (рис. 6). При увеличении f до 1000 Гц происходило сравнительно небольшое увеличение U_f до ~ 100 В.

Отключающая способность РВУ определялась из условия успешного отключения не менее 10 коммутаций тока различной частоты f. Регистрировались амплитуда тока и скорость спада тока di_c/dt при успешном отключении. Все РВУ успешно отключали ток до $I_m \leq 10$ кА при $f = 60$ Гц и до $I_m \leq 25$ кА при $f = 140$ Гц. Результаты измерений для $f = 250$ Гц и $f = 1$–1,2 кГц представлены в таблице. Показаны предельные значения максимальной скорости спада тока di_c/dt, его амплитуды I_m, при превышении которых отключение тока в первом нуле не происходило. Здесь же приведено усредненное по 10 коммутациям напряжение U_f.

Из результатов измерений следует, что при напряжении 3 кВ разрядник РВУ-10 в диапазоне частот 60 Гц – 800 Гц отключал ток с амплитудой до $I_m \leq 30$ кА. Разрядник РВУ-47 в диапазоне частот 60 Гц – 250 Гц надежно отключал все токи с максимально достижимой в эксперименте амплитудой до $I_m \leq 40$ кА. При частоте тока $f = 1200$ Гц предельный ток отключения составил $I_m \approx 60$ кА, что соответствует максимальной скорости спада тока $di_c/dt \approx 450$ А/мкс.

Обсуждение результатов

Развитие вакуумного дугового разряда в значительной степени определяется величиной и формой магнитного поля в межэлектродных промежутках, формируемого протекаемым в электродах РВУ током.

При протекании тока в межэлектродном промежутке РВУ-10 формировалось аксиально-симметричное магнитное поле с продольной B_z и радиальной B_r составляющими. Инициация разряда в вакуумном промежутке происходила вблизи внешней поверхности узла запуска на радиусе $r \geq 15$ мм. Соответственно, первоначальный дуговой канал возникал в области между центром и периферией электродной системы, где имеется заметная радиальная составляющая B_r магнитного поля. Взаимодействие B_r с током дуги может привести к перемещению дугового канала в азимутальном направлении [10] и его отклонению от

Таблица.

Предельный ток отключения РВУ

РВУ	*f*, Гц	U_f (В)	I_m (кА)	di_c/dt (А/мкс)
РВУ-10	250	70	35	50
РВУ-10	800	250	30	150
РВУ-47	250	60	> 40	> 60
РВУ-47	1200	40	60	450

анода под действием силы Ампера. В результате в начальной стадии горения вакуумной дуги возможно увеличение падения напряжения на РВУ. Это согласуется с изменением напряжения $U(t)$ в течение первых двух миллисекунд на РВУ-10 (рис. 4, *а*). Можно предположить, что в дальнейшем с ростом тока дуги i происходит расширение занимаемой дуговым каналом области на катоде и ее смещение к центру вакуумного промежутка [10]. В этом случае горение вакуумной дуги происходит в преимущественно продольном магнитном поле B_z, которое препятствует сжатию дуги и обеспечивает ее устойчивое горение. Это объясняет сравнительно малое падение напряжения U_f на рис. 5 при $I_m < 20$ кА.

Наблюдаемое в экспериментах возникновение интенсивных высокочастотных осцилляций напряжения при увеличении амплитуды тока $I_m > 20$ кА может быть обусловлено достижением мгновенным током $i(t)$ критического тока $I_{кр}$, при котором нарушается условие устойчивого горения дуги. Величина $I_{кр} \sim B_z^{2/3} \cdot r_0^{4/3} \cdot d^{-1/3}$ зависит от индукции продольного магнитного поля B_z, от диаметра электродной системы $2r_0$ и от длины межэлектродного промежутка d [11]. В межэлектродном промежутке разрядника РВУ-10 с ростом тока $i(t)$ удельная индукция продольного магнитного поля $B_z(t)/I_m$ увеличивалась до величины $B_{zmax}/I_m \approx 11$ мТл/кА (рис. 2, б). Из эксперимента следует, что такое магнитное поле обеспечивало устойчивость вакуумного дугового разряда при $I_m \leq 30$ кА: $i(t) < I_{кр}$ и $B_{zmax} \leq 330$ мТл. Можно положить, что при $I_m > 30$ кА критический ток $I_{кр}$ для данного диаметра электродной системы РВУ становится меньше I_m вследствие недостаточной для устойчивого токопрохождения индукции магнитного поля B_{zmax}.

Полученный результат согласуется с результатами испытаний ВДК типа КДВ-35-20/1250 с похожей контактной системой, формирующей продольное магнитное поле ($B_{zmax}(r = 0) \sim 9$–10 мТл/кА) [9]. ВДК успешно отключала переменный (50 Гц) ток до 20 кА эфф. при ходе контактов $d = 16$ мм. При этом на осциллограммах высокочастотные осцилляции напряжения имели место только в течение первых 2,5 мс, а затем происходило плавное изменение напряжения.

В отличие от РВУ-10, в РВУ-47 после инициации разряда формируется дуговой канал от узла запуска на торец анодного стержня. При нарастании тока i происходило сжатие дугового канала собственным магнитным полем тока, протекающего только в одном из стержневых электродов [4]. В результате возникала неустойчивость горения дуги, сопровождаемая высокочастотными осцилляциями напряжения. Развитие неустойчивости приводило к более высоким падениям напряжения U_f по сравнению с РВУ-10. При этом значение U_f практически не зависело от амплитуды тока (рис. 4, *б*).

При токах $I_m \geq 20$ кА с увеличением тока происходило образование нового дугового канала в межстержневом промежутке РВУ-47 [4]. Образование нового канала способствует резкому уменьшению напряжения и погасанию первоначального дугового канала. Последующее развитие дугового разряда в значительной степени определялось величиной и формой магнитного поля в межстержневых промежутках, формируемого собственным током. Магнитное поле в каждом промежутке имеет продольную и поперечную составляющие относительно направления тока дуги. Соотношение между этими составляющими зависит от распределения токов по стержневым электродам. Продольная составляющая магнитного поля становится существенной, когда ток протекает по всем стержневым электродам. По-видимому, при увеличении тока именно влиянием продольной составляющей магнитного поля можно объяснить сравнительно низкое падение напряжения U_f при $I_m > 30$ кА.

При увеличении частоты тока f до 1 кГц наблюдалось существенное увеличение интенсивности и относительной длительности осцилляций напряжения в РВУ-10. Это может быть обусловлено заметным ослаблением магнитного поля в вакуумном промежутке вследствие увеличения влияния вихревых токов.

Напротив, в РВУ-47 с увеличением частоты тока f уменьшалось время возникновения и длительность неустойчивой стадии дугового разряда. Это обусловлено уменьшением времени перехода дуги в межстержневой промежуток и быстрым распространением дуги по всем межстержневым промежуткам с увеличением тока. В результате падение напряжения U_f не превышало 100 В и слабо изменялось с увеличением частоты тока f.

Из результатов измерений следует, что предельный ток отключения не увеличивался, как можно было ожидать, с уменьшением длительности полуволны тока $T/2$ в диапазоне частот $f = 50$–1000 Гц. Полученный результат не является очевидным. Успешное отключение тока определяется из условия, что температура нагрева поверхности анода T_a не превышает критическую температуру $T_{кр}$ [12]. При достижении критической температуры $T_a \geq T_{кр}$ концентрация остаточного металлического пара может достигнуть значений, при которых станет возможным пробой вакуумного промежутка под действием восстанавливающегося напряжения. Слабая зависимость $T_{кр}$ (предельного тока отключения) от длительности полуволны тока при фиксированной амплитуде может быть обусловлена, например, увеличением плотности тока с уменьшением $T/2$. Сжатие дугового канала может происходить из-за уменьшения продольной составляющей магнитного поля

вследствие увеличения эффекта экранирования вихревыми токами с увеличением частоты тока. Ограничение роста предельного тока отключения с уменьшением длительности полуволны тока может быть так же обусловлено увеличением скорости спада тока к нулю, что уменьшает скорость восстановления электрической прочности вакуумного промежутка.

Заключение

В результате исследования коммутационной способности РВУ-10 с аксиальным магнитным полем (АМП) и РВУ-47 со стержневой электродной системой (СЭС) в режимах коммутации переменного тока с частотой от 50 Гц до 1000 Гц показано, что:

- при коммутации тока с амплитудой $I_m < 20$ кА в диапазоне частот до сотен герц уровень рассеиваемой энергии значительно меньше в РВУ-10 по сравнению с РВУ-47;
- предельный ток отключения $I_m \approx 30$-35 кА РВУ-10 определяется индукцией и конфигурацией продольного магнитного поля и слабо зависит от частоты тока $f \leq 250$ Гц;
- предельный ток отключения $I_m \approx 60$ кА РВУ-47 слабо зависит от частоты тока $f \leq 1000$ Гц.

В дальнейшем предполагается повысить отключающую способность РВУ с АМП путем увеличения диаметра электродной системы и оптимизации конструкции индуктора.

Из полученных результатов следует, что в коммутационных аппаратах на основе РВУ, предназначенных для электросетей промышленной частоты, может найти применение РВУ с АМП. Это утверждение обусловлено более высокой электрической прочностью РВУ с АМП по сравнению с РВУ с СЭС.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 09-08-00368а

Литература

1. *Алферов Д.Ф., Иванов В.П., Сидоров В.А.,* // ЭЛЕКТРО. 2002. № 2. С. 31
2. *Alferov D.F., Ivanov V.P., Sidorov V.A.,* // IEEE Trans. on Magnetics. 2003. V. 39. No. 1. P. 406
3. *Rich I.A., Farral G.A., Umam I., Sofignek I.C.* Development of a high-power vacuum interrupter / EPRI Rep., EL.-1895.- Project 754-1.- June -1981.
4. *Алферов Д.Ф., Лукацкая И.А., Селикатова С.М., Сидоров В.А.*// Прикладная физика. 2003. № 1. С. 72
5. *Алферов Д.Ф., Сидоров В.А.* // ТВТ. 2001. Т. 39. № 6. С. 865
6. *Miller H.G.* //Contrib. Plasma Phys. 1989. V. 29. No. 3. P. 223
7. *Белкин Г.С., Лукацкая И.А., Перцев А.А., Ромочкин Ю.Г.* //Электротехника. 2001. № 9. С. 9
8. *Homma M., Somei H., Niwa Y., Yokokura K., Ohshima I.* // IEEE Trans. Plasma Sci., 1999. V. 27. No. 4. P. 961
9. *Перцев А.А., Рыльская Л.А., Чистяков С.П.* //Электричество. 1995. № 2. С. 26
10. *Abe J., Tsukima M., Otega H., Miki S., Yoshida T.* Behavior of initial columnar arc in vacuum interrupters with axial magnetic field contacts / Proc. of XXVI-th ISDEIV. 2010. - Braunschweig.
11. *Лондер Я.И., Ульянов К.Н.* // ТВТ. 2007. Т. 45. № 4. С. 499
12 Вакуумные дуги. Теория и приложения /*под редакцией Дж. Лафферти.* Москва, Мир, 1982

Triggering vacuum switch with axial magnetic field

D.F. Alferov, M.R. Akhmetgareev, and V.A. Sidorov

All-Russian Electrotechnical Institute
12 Krasnokazarmennaya str., Moscow, 111250, Russia
Phone: +7 (495) 361-94-78

High current triggered vacuum switch (TVS) has been developed for switching of current in AC networks with frequency from 50 Hz till hundreds Hz. New TVS has disk electrode system which forms axial magnetic field due to ac current flow. Experimental researches of making and breaking ability of new TVS are carried out at various parameters of discharge current. It is shown that TVS is capable to switch repeatedly a current from units up to tens kA with duration up to tens milliseconds.

PACS: 52.75.Hn
Keywords: vacuum switch, construction, эexperimental researches, discharge current, magnetic field.

Bibliography – 12 references *Received February 25, 2013*