УДК 537.525

DOI: 10.17223/00213411/62/11/92

П.А. БОХАН¹, П.П. ГУГИН¹, Д.Э. ЗАКРЕВСКИЙ^{1,2}, М.А. ЛАВРУХИН¹**ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУБНАНОСЕКУНДНОГО
ПЛАЗМЕННОГО КОММУТАТОРА ***

Представлены результаты исследования частотных характеристик субнаносекундного плазменного коммутатора, основанного на комбинации разрядов: «открытого» разряда или разряда в полой катодной трубке и разряда в капилляре, вынесенного из внутренней полости плазменного катода. Показано, что при различных устройствах плазменного катода и капиллярной секции при наличии внешнего экрана, обеспечивающего емкостной разряд и соответственно исключение из механизма задержки развития пробоя периода слабого размножения электронов в капилляре, обеспечиваются высокие значения частоты следования импульсов. Продемонстрировано, что при напряжении $U = 30$ кВ в режиме цуга импульсов достигается частота следования $f = 100$ кГц для капилляра круглого сечения при $p_{\text{He}} \leq 2.6$ Торр и для щелевого при $p_{\text{He}} \leq 3.5$ Торр.

Ключевые слова: плазменный коммутатор, комбинация разрядов, частотные и обострительные свойства.

Введение

В работах [1, 2] было показано, что газоразрядные устройства на основе «открытого» разряда (ОР) с генерацией встречных электронных пучков – кивотронов – могут быть перспективными приборами для генерирования высоковольтных импульсов с предельно достигнутыми по отдельности значениями параметров: скорость нарастания тока до 500 А/(нс·см²); плотность тока j до 1 кА/см², рабочие напряжения U до 120 кВ; время коммутации (время спада напряжения на коммутаторе) τ_s до 100 пс при $U = 25$ кВ и характерных частотах следования импульсов f – несколько кГц; степень компрессии импульсов $S = \tau_d / \tau_s$ – отношение времени задержки развития пробоя τ_d к величине τ_s до $S \approx 40$ – 50 [3].

Одним из недостатков кивотрона является ярко выраженная зависимость времени задержки развития пробоя от частоты следования импульсов (ЧСИ) $\tau_d(f)$. Величина τ_d с ростом f сильно уменьшается, что связано с недостаточной скоростью рекомбинации плазмы в межимпульсном интервале [4]. Так, в гелии при $U = 10$ кВ и $f = 10$ кГц значение τ_d лежит в диапазоне $\tau_d \approx 30$ – 40 нс [5, 6]. Это вынуждает либо значительно уменьшать время подъема напряжения на электродах устройства, что представляет непростую задачу, либо ухудшать коммутационные характеристики самого кивотрона за счет уменьшения давления гелия p_{He} и/или использования в качестве рабочего газа – водорода [6]. Последнее позволяет увеличить рабочий диапазон вплоть до $f = 100$ кГц. Но в этом случае значительно возрастают значения остаточного сопротивления коммутатора и времени коммутации τ_s (до $\tau_s \approx 3$ – 5 нс при $U = 10$ кВ). Это приводит к тому, что применение кивотронов в источниках питания, например газовых лазеров, при высоких ЧСИ становится неэффективным.

Решение задачи повышения частоты следования импульсов кивотрона возможно за счёт введения в конструкцию секции, которая, с одной стороны, затруднила бы зажигание, но, с другой – слабо влияла на развитие и горение разряда и обеспечивала ускорение рекомбинации плазмы в межимпульсный период. В качестве такого устройства, например, можно использовать капилляр круглого или прямоугольного сечения. Исследования газового разряда в капилляре, в том числе с использованием в качестве плазменного катода (ПК) – разряда в полой катодной трубке (РПК), в котором достигаются импульсы тока с наносекундным фронтом нарастания, известны [7–9]. В работе [8] продемонстрировано, что наличие интенсивного электронного пучка, генерируемого РПК, в значительной степени влияет на формирование проводимости в самом капилляре, позволяя получать скорость нарастания тока более 1 кА/нс, ограниченную только собственными ёмкостью и индуктивностью комбинированного устройства.

Первые эксперименты с разрядным устройством на основе объединения в едином газоразрядном объеме двух последовательно включенных разрядов: «открытого» разряда и разряда в капилляре – энтроном (коаксиальный ОР – коаксиальный капиллярный разряд) продемонстрирова-

* Работа поддержана грантом Российского научного фонда, проект № 19-19-00069.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>