

Высокочастотное возбуждение активных сред на основе перестраиваемых транзисторных ВЧ-генераторов в диапазоне (1÷3) МГц в импульсно-периодическом режиме

А.М. Вальшин, Д.А. Абзалилов

Уфимский университет науки и технологий
450076, Уфа, Россия, Заки Валиди, 32, amvals@mail.ru

В работе проведены исследования процессов возникновения и развития газоразрядных процессов с помощью новых способов возбуждения активных сред и создание новых источников спонтанного и когерентного излучения, использованием перестраиваемых транзисторных ВЧ-генераторов в импульсно-периодическом режиме в диапазоне (1÷3) МГц. При высокочастотном зажигании лампы-вспышки продемонстрирована возможность получения как одностримерного канала разряда, так и многостримерного канала разряда.

Ключевые слова: ВЧ генератор, высокочастотная индукционная накачка, высокочастотная емкостная накачка, импульсно-периодический режим, одностримерный канал разряда, многостримерный канал разряда; RF generator, high-frequency induction pumping, high-frequency capacitive pumping, pulse-periodic mode, single-dimensional discharge channel, multi-dimensional discharge channel.

Введение

Одной из актуальных проблем физики газовых разрядов является поиск новых способов возбуждения активных сред и создание новых источников спонтанного и когерентного излучения. Эти способы возбуждения должны превосходить существующие по эффективности ввода энергии в активные среды. При этом они должны обеспечивать эффективность, надежность и стабильность работы как источников накачки, так и параметров излучения.

Большинство исследователей используют промышленные генераторы высокочастотных (ВЧ) колебаний (13,56 МГц) непрерывного действия, например ГВЧ-1000, которые имеют выходное сопротивление 50 или 75 Ом. При исследовании газоразрядной плазмы, как правило, импеданс плазмы существенно меньше 50 Ом, поэтому необходимо использование согласующего устройства, которое в свою очередь приводит к ограничению или усложнению ввода энергии в плазму [1, 2]. В работах [3, 4] проведены исследования по созданию газоразрядных источников излучения с возбуждением импульсным индукционным разрядом. Индукционный способ возбуждения основан на использовании явления электромагнитной индукции, который заключается в том, что через катушку-соленоид пропускается импульсный ток. Магнитное поле этого тока переменное, внутри соленоида индуцируется вихревое электрическое поле. Силовые линии его представляют собой замкнутые окружности, concentric с витками соленоида. Это электрическое поле может зажигать и поддерживать импульсный разряд в газовых средах по аналогии с индукционным ВЧ-разрядом [5]. Особенностью зажигания импульсного индукционного поперечного разряда в инертных газах в зависимости от параметров LC-генератора накачки и типов индукторов возбуждения состоит в том, что колебательный процесс является затухающим, при этом необходимо использование высокого напряжения заряда в накопительных конденсаторах (десятки кВ) и использование газового или воздушного искрового разрядника, тиратрона [6] для запуска колебательного контура.

Целью данной работы является исследования процессов возникновения и развития газоразрядных процессов с помощью новых способов возбуждения активных сред и создание новых источников спонтанного и когерентного излучения, использование перестраиваемых высокочастотных колебаний в импульсно-периодическом режиме в зависимости от параметров высокочастотного генератора.

Результаты исследования

Экспериментальная установка (рис. 1) состоит из высокочастотного генератора синусоидальных колебаний (ВЧГ), работающего в импульсно-периодическом режиме, благодаря малому выходному сопротивлению, непосредственно подключается в последовательный колебательный контур, состоящий из индуктивности и емкости, поэтому нет никакой необходимости в согласующем устройстве между генератором и нагрузкой. ВЧГ — это оригинальный высокочастотный генератор собственной разработки с независимой плавной перестройкой частоты в диапазоне (1–3,2) МГц с малым выходным сопротивлением (около 1 Ом). ВЧГ работает в импульсно-периодическом режиме, частота следования импульсов регулируется в пределах (1–12) Гц, а длительность пачки импульсов в пределах (25–1000) мкс. Лампа-вспышка включается параллельно емкости колебательного контура. При совпадении частоты генератора с собственной частотой колебательного

контура возникает резонанс напряжения. Измеряя резонансную частоту контура без лампы и с зажженной лампой, а также измеряя резонансную характеристику тока от частоты в колебательном контуре, мы сможем определять как параметры контура, так и параметры канала разряда плазмы.

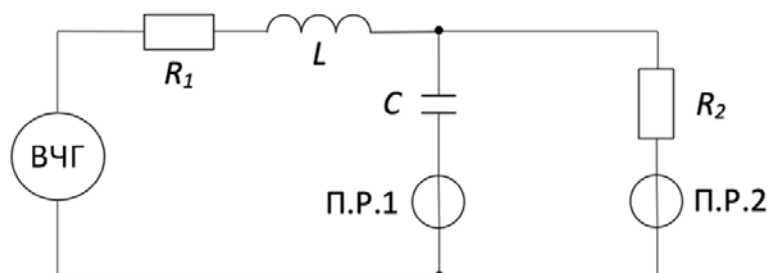


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: ВЧГ — высокочастотный генератор; R_1 — активное сопротивление контура; L и C индуктивность и емкость контура; П.Р.1 и П.Р.2 — пояса Роговского; R_2 — эквивалентное сопротивление канала разряда лампы-вспышки

На рис. 2 приведена фотография с нашей предыдущей работы [9] одностримерного канала разряда в лампе с водяным охлаждением при ВЧ-накачке (3 МГц) с амплитудой ВЧ-колебаний около порога зажигания последовательностью пачки импульсов длительностью 1 мс.



Рис. 2. Фотография одностримерного канала разряда в лампе с водяным охлаждением при ВЧ-накачке (3 МГц) с амплитудой около порога зажигания последовательностью пачки импульсов длительностью 1 мс

В данной работе была продемонстрирована (рис. 3) получение многостримерного канала разряда в лампе с водяным охлаждением при ВЧ-поджиге (1,5 МГц) с амплитудой ВЧ-колебаний около порога зажигания последовательностью пачки импульсов длительностью 25 мкс.



Рис. 3. Фотография многостримерного канала разряда в лампе с водяным охлаждением при ВЧ-поджиге (1,5 МГц) с амплитудой около порога зажигания последовательностью пачки импульсов длительностью 25 мкс. $P = 35$ кВт

Таким образом нами при высокочастотном зажигании лампы-вспышки продемонстрирована возможность получения как одностримерного канала разряда, так и многостримерного канала разряда.

В работе [7, 8] нами было продемонстрировано увеличение эффективности газоразрядных ламп, так и гелий неоновый лазера ВЧ-индукционной накачкой по сравнению с традиционной накачкой.

В работе [9] вместо ВЧ-накачки представлены испытания нового полупроводникового генератора двойных импульсов с применением биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT) для генерации плазмы в импульсном режиме.

В работах [10–12] проведены исследования газоразрядных ламп-вспышек для накачки твердотельных лазеров при ВЧ-емкостной электродной накачке. Обнаружено кратное снижение порога зажигания коммерческих ламп-вспышек для твердотельных лазеров при ВЧ-накачке на частоте несколько МГц, а также селективное подавление излучения в видимом диапазоне и усиление атомных линий газа наполнителя лампы. ВЧ-генератор обеспечивал режим накачки лампы непрерывной синусоидой колебаний, а также в форме пачек, заполненных синусоидой, длительность пачек и интервал между ними варьировалась. Схема эксперимента оставалась аналогичной рис. 1.

В дальнейшей работе нами была сделана модификация ВЧ-накачки и предложена схема комбинированной накачки, состоящей из высокочастотного поджига, далее блока высокочастотного розжига-раскачки, а также разряда конденсатора с регулируемым напряжением разряда. Схема блока питания комбинированной накачки приведена на рис. 4.

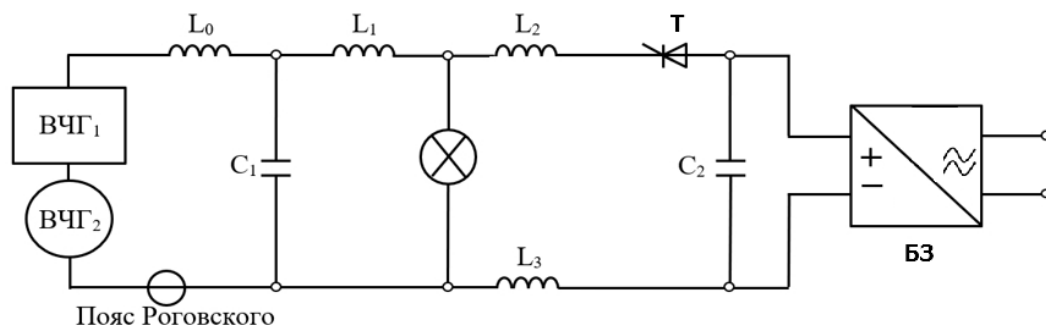


Рис. 4. ВЧГ₁ — генератор поджига; ВЧГ₂ — генератор розжига-раскачки; L₀ и C₁ — индуктивность и емкость последовательного колебательного контура; C₂ — конденсатор накачки; БЗ — блок заряда, обеспечивает заряд конденсатора C₂ регулируемым напряжением; Т — тиристор, управляет разрядом конденсатора накачки C₂ после выключения ВЧ-розжига-раскачки

На базе этой установки достигнуто 3-кратное снижение порога генерации Nd:YAG-лазера по сравнению с разрядом емкости без ВЧ розжига. Установлено, что интенсивность свечения лампы-вспышки при ВЧ-розжиге также возрастает в 3 раза одновременно с уменьшением импеданса плазмы, что важно для задач сокращения длительности импульса накачки [13].

Заключение

В работе проведены исследования процессов возникновения и развития газоразрядных процессов с помощью перестраиваемых транзисторных ВЧ-генераторов в импульсно-периодическом режиме в диапазоне (1÷3) МГц как при индукционной, так и при емкостной накачке, а также при комбинированной накачке, состоящей из высокочастотного поджига, далее блока высокочастотного розжига-раскачки, а также разряда конденсатора с регулируемым напряжением разряда. При высокочастотном зажигании лампы-вспышки продемонстрирована возможность получения как одностримерного канала разряда, так и многостримерного канала разряда.

Список литературы

1. Дресвин С.В., Бобров А.А., Лелевкин В.М. ВЧ-и СВЧ-плазмотроны. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. 319 с.
2. Кралькина Е.А. Индуктивный высокочастотный разряд низкого давления и возможности оптимизации источников плазмы на его основе // Успехи физических наук. 2008. Т. 178. № 5. С. 519–540.
3. Ражев А.М., Мхитарян В.М. F1-лазер в области 703–731 нм с возбуждением индукционным поперечным разрядом // Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики. 2005. Т. 82. № 5. С. 290–294.
4. Федоров А.И. Особенности формирования импульсного индукционного разряда для накачки газоразрядных источников излучения // Письма в Журнал технической физики. 2009. Т. 35. № 20. С. 48–54.
5. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1987. С. 511.
6. Юдин Н.А. Нестабильность срабатывания тиратронов в источниках питания лазеров на парах металлов // Приборы и техника эксперимента. 2015. № 1. С. 57–62.
7. Вальшин А.М., Першин С.М., Михеев Г.М. Ограничение кратного снижения порога пробоя коммерческой лампы-вспышки лазера при кГц-накачке // Краткие сообщения по физике ФИАН. 2019. Т. 46. № 6. С. 8–16.
8. Вальшин А.М., Гарнов С.В., Бельков С.А., Першин С.М. Высокочастотное (МГц) зажигание коммерческих ламп-вспышек для твердотельных лазеров // Доклады Российской Академии Наук. Физика, Технические Науки. 2022. Т. 502. С. 19–24.
9. Torrado N.E. et al. Double pulse generator for unipolar discharges in long plasma tubes for the awake experiment // IEEE Transactions on Plasma Science. 2023. Т. 51. № 12. С. 3619–3627.
10. Вальшин А.М., Орлович В.А., Бельков С.А., Першин С.М., Гришин М.Я., Пузыревский В.И. Высокочастотный розжиг лампы YAG:Nd³⁺-лазера с кратным уменьшением интенсивности излучения видимого диапазона // Журнал прикладной спектроскопии. 2025. Т. 92. № 2. С. 211–215.

11. Вальшин А.М., Орлович В.А., Бельков С.А., Першин С.М., Пузыревский В.И. 3-кратное снижение порога генерации и 2-кратное увеличение КПД Nd³⁺: YAG лазера при ВЧ раскачке поджига лампы // Инженерная физика. 2023. Т. 12. С. 3–10.
12. Valshin A.M., Tavlykaev R.F., Mikheev G.M., Pershin S.M. Increase in the power of a commercial He–Ne laser under combined pumping // Physics of Wave Phenomena. 2015. V. 23. N 3. Pp. 199–201. DOI: 10.3103/S1541308X15030061.
13. Valshin A.M., Pershin S.M., Mikheev G.M. Increase in the efficiency of energy injection into discharge plasma and the luminous efficiency of luminescent lamps during high-frequency pumping // Bulletin of the Lebedev Physics Institute. 2017. Vol. 44. N 8. P. 228–231. DOI: 10.3103/S1068335617080036.

A.M. Valshin, D.A. Abzalilov. **High-frequency excitation of active media based on tunable transistor RF generators in the range of (1÷3) MHz in a pulse-periodic mode.**

The paper investigates the processes of occurrence and development of gas discharge processes using new methods of excitation of active media and the creation of new sources of spontaneous and coherent radiation using tunable transistor RF generators in the pulse-periodic mode in the range (1–3 MHz). With high-frequency ignition of a flash lamp, the possibility of obtaining both a single-dimensional discharge channel and a multi-dimensional discharge channel is demonstrated.