

## ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ГАЗОВЫЙ РАЗРЯД ВНУТРИ ФЕРРИТОВОГО КОЛЬЦА

**А. О. Поживилко, С. В Мозгалёв**

*Белорусский государственный университет, г. Минск;  
rozhivilkoao@mail.ru, mozgalevsv@mail.ru;  
науч. рук. - В. М. Борздов, д-р физ.-мат. наук, проф.;  
В. А. Зайков, ст. преп.*

В данной работе исследованы особенности процессов зажигания и горения высокочастотного газового разряда внутри спиралевидного индуктора и ферритового кольца с целью повышения однородности и устойчивости горения разряда. Для зажигания высокочастотных разрядов внутри ферритового кольца разработан генератор, мощностью до 300 Вт, работающий на частотах от 10 до 30 МГц. В работе использовались ферритовые кольца марки 100 ВЧ диаметром 10 см.

**Ключевые слова:** Индукционный разряд, ферритовое кольцо.

Высокочастотный газовый разряд (ВЧ разряд) зажигают в высокочастотном электромагнитном поле. ВЧ разряды применяют для накачки газоразрядных лазеров, травления и обработки поверхностей. Конструктивной особенностью источников ВЧ плазмы [2] является наличие газоразрядной камеры (обычно - кварцевой или стеклянной трубки), на которую намотаны витки индуктора, который питается переменным током.

Как следует из закона электромагнитной индукции, напряжённость пропорциональна расстоянию от оси и максимальна вблизи витков. В экспериментах [3] индукционный разряд зажигался с помощью спиралевидного индуктора. Газоразрядная трубка, распложенная внутри спиралевидного индуктора, нагревалась и стекло раскалялось в местах, где она касалась витков индуктора. В этом случае при увеличении мощности генератора возникает реальная опасность расплавления стекла и разрыва газоразрядной трубки.

Для решения этих проблем было предложено вместо длинного прямого индуктора разряд зажигать внутритороидального ферритового кольца на которое намотаны витки катушки, питающейся переменным током, более однородно по сравнению со спиралевидным индуктором. Зажигание ВЧ разряда внутри ферритового кольца повышает однородность горения разряда и уменьшает опасность расплавления материала трубки.

Несложно показать, что электрическое поле, создаваемое ферритовым кольцом, эквивалентно магнитному полю постоянного кругового тока и более однородно по сравнению со спиралевидным индуктором.

Электрическая напряжённость  $E$  в центре кольца радиуса  $r$ , на которое намотана катушка, содержащая  $N$  витков провода, определяется формулой

$$E = \frac{\mathcal{E}_{si}}{2rN}$$

Для исследования ВЧ разрядов внутри ферритового кольца был разработан генератор, схема которого приведена на рис. 1.

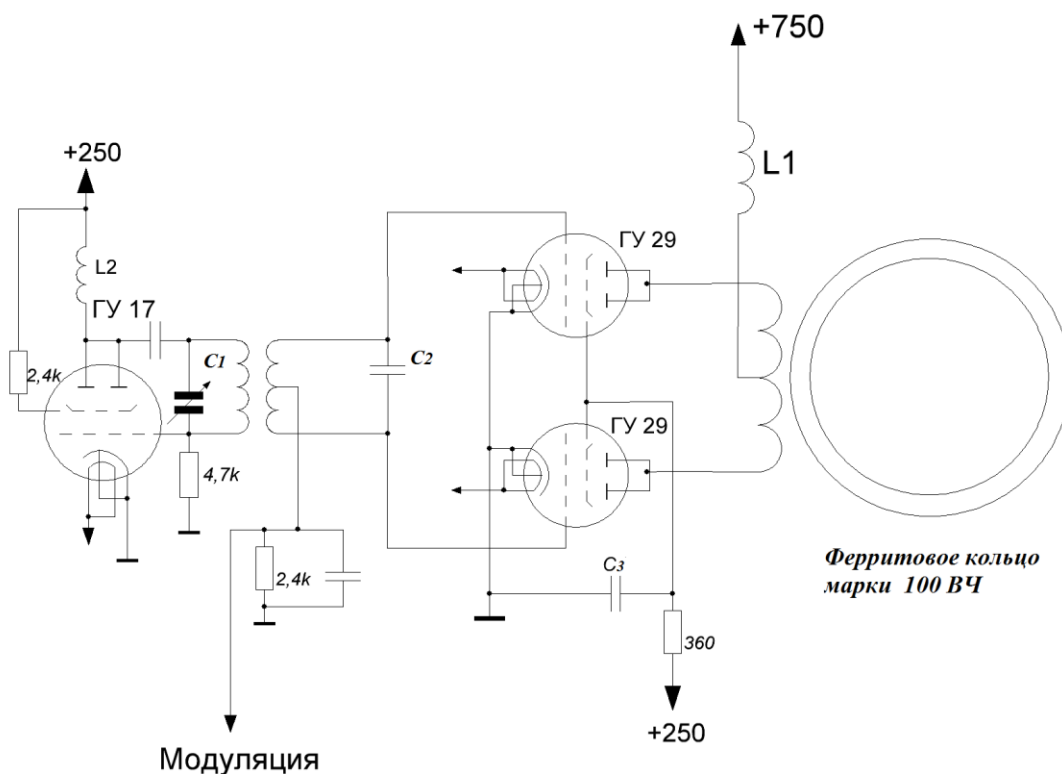


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема генератора

Задающий генератор собран на тетраде ГУ 17, выходной каскад реализован по двухтактной схеме на ГУ 29. На ферритовое кольцо намотана катушка из 20 витков, к концам которой подключены аноды генераторных ламп, в середине катушки сделан отвод. Параметры ферритового кольца: внутренний диаметр 80 мм, внешний 125 мм, высота 17 мм. Катушка L1 намотана на каркас диаметром 17 мм, содержит 20 витков с зазором 1 мм. Катушка L2 намотана на каркас диаметром 22 мм, содержит 7 витков с зазором 2 мм.

Двухтактная схема существенно ослабляет постоянное подмагничивание ферритового кольца и позволяет наблюдать зажигание и горение ВЧ разряда в широком диапазоне частот от 10 до 30 МГц. Подавая на вход для модуляции сигнал на частотах от 10 до 20 кГц, можем слышать звук.

На рис. 2 представлены фотографии газовых разрядов в бактерицидной трубке, расположенной внутри ферритового кольца.

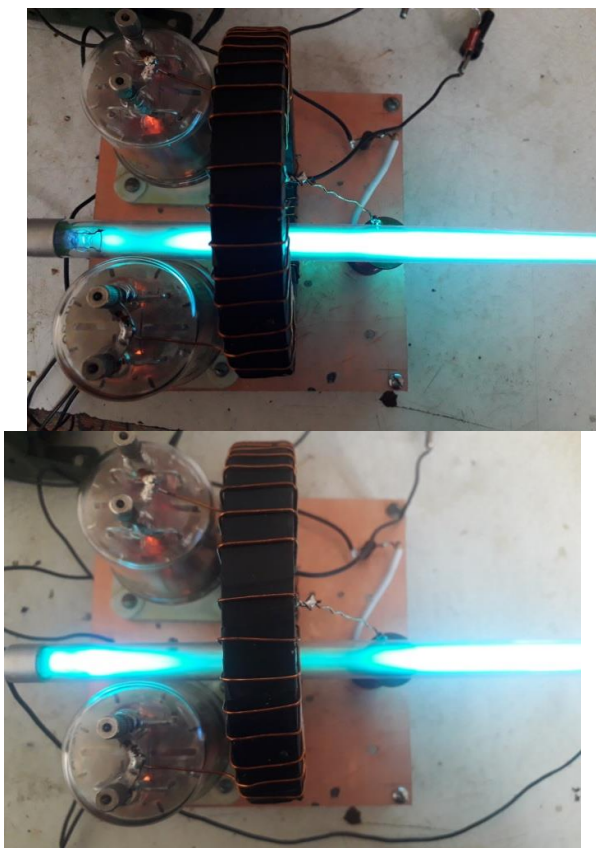


Рис. 2. Индукционный разряд в бактерицидной трубке

Фотография справа была сделана, когда концы трубки были замкнуты проводом, а частота ВЧ генератора была равна  $\approx 15$  МГц. При этом наблюдалось ослабление свечения газа вблизи плоскости ферритового кольца, которое может быть объяснено выталкиванием плазмы из области сильного электромагнитного поля.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен метод зажигания ВЧ разряда внутри ферритовых колец, при котором электрическое поле внутри ферритового кольца более однородно по сравнению со спиралевидным индуктором. В экспериментах ВЧ разряд зажигался в газоразрядной трубке при

помещении её в ферритовое кольцо марки 100 ВЧ диаметром 10 см на частотах до 30 МГц. Предложенный способ зажигания ВЧ разряда позволяет повысить однородность горения разряда и уменьшить опасность расплавления материала трубки.

#### **Библиографические ссылки**

1. *Бонч-Бруевич А. М.* Применение электронных ламп в экспериментальной физике. Государственное издательство технико-теоретической литературы. М., 1956.
2. *Кралькина Е. А.* Индуктивный разряд низкого давления и возможности оптимизации источников плазмы на его основе // *Успехи физических наук.* 2008. Т. 178, № 5. С. 19-40. DOI: 10.3367/UFNr.0178.200805f.0519.
3. *Поживилко А. О.* Разработка источника питания высокочастотного магнетронного распылителя // Науч. конф. студентов и аспирантов БГУ: сборник работ 77-й науч. конф., Минск, 2020.