

Бесферритная индукционная люминесцентная лампа на частотах 2,65 и 13,56 МГц при мощностях 80–160 Вт

Дж. МАЙЯ, О.А. ПОПОВ¹, Р.Т. ЧАНДЛЕР

Panasonic Electric Works of America, Уоберн, Массачусетс, США

В настоящей статье обсуждаются основные электрические и светотехнические характеристики дешёвой и простой в изготовлении мощной (80–160 Вт) индукционной люминесцентной лампы, работающей на разрешённых частотах 2,65 и 13,56 МГц, и состоящей из стеклянной цилиндрической трубы и катушки индуктивности, охватывающей трубку по её продольному периметру.

Схематический чертеж лампы представлен на рис. 1 (Детали см. в [10]). Индуктивный разряд зажигался

в цилиндрических стеклянных трубках диаметром 5 см и длиной 30 см и 40 см. Холодная зона, температура которой контролировала давление паров ртути в трубке, находилась в откаченном отростке и обеспечивала оптимальное давление паров ртути в колбе (6×10^{-3} мм рт. ст). Давления инертного газа (аргон) 0,1 и 0,3 мм рт.ст. были выбраны как оптимальные для получения максимального светового потока лампы. На внутреннюю поверхность стенок трубы были нанесены люминофор и защитное покрытие.

Катушка индуктивности, состоящая из нескольких витков, размещалась на внешней стороне цилиндрической трубы, вдоль её оси, индуцируя в трубке замкнутый ВЧ ток, текущий вдоль стенок трубы параллельно виткам катушки. Катушка была изготовлена из медного провода (калибр # 14) с тонким серебряным покрытием, имеющим низкое удельное сопротивление, $\rho < 5 \times 10^{-4}$ Ом/см, на частотах 2–14 МГц. Использовались катушки с числом витков $N = 2–4$, что обеспечи-

вало достаточно высокую для работы на мегагерцовых частотах индуктивность катушки, $L_c = 2,3–10$ мГн, и ее хорошую добротность, $Q_c = \omega L_c / R_c = 120–400$, где R_c – активное сопротивление катушки.

Питание лампы осуществлялось с помощью схемы, представленной схематически на рис. 2. Синусоидальный ВЧ сигнал подавался с задающего генератора (Philips PM 5193) на широкополосный усилитель (ENI A-300), а оттуда на направленный ответвитель (Werlatone C5100), соединённый с измерителем мощности (Boonton RF4300). Усиленный сигнал подавался на согласующий контур L -типа, составленный из переменных воздушных конденсаторов, C_{ser} и C_{sh} , а затем – на индуктивную катушку исследуемой лампы. Разрядная колба с катушкой были помещены в фотометрический шар диаметром 100 см, соединённый с компьютеризированным прибором с зарядовой связью, что позволяло непосредственно измерять полный световой поток в люменах – Φ_V ; распределение излучения по спектру – $\phi(\lambda)$; цветовую температуру – $T_\text{ц}$; общий индекс цветопередачи – R_a ; координаты цветности x и y .

Измерения показали, что зажигание лампы (переход слаботочного емкостного разряда в яркий и сильноточный индуктивный разряд) на мегагерцовых частотах происходило при малых мощностях лампы, $P_3 = 4–6$ Вт. Напряжение на катушке индуктивности в момент зажигания лампы, V_3 , практически не менялось с частотой поля f : в лампе с 3-витковой катушкой V_3 уменьшалось от 600 В (7 МГц) до 580 В (10 МГц). В то же время ток катушки, I_3 , при зажигании лампы резко падал с ростом f , как (f^{-1}): с 3,3 А (7 МГц) до 2,3 А (10 МГц).

При работе лампы в установившемся режиме (после 2 ч работы) на мощностях лампы $P_L = 60–120$ Вт напряжение и ток катушки, V_c и I_c , практически не менялись с мощностью лампы, но имели различную зависимость от частоты поля. Например, в лампе с 3-витковой катушкой

¹ Полный текст статьи депонирован в редакции журнала.
E-mail: popovs@comcast.net

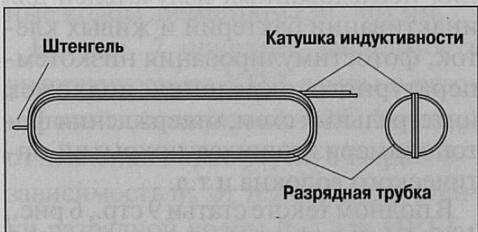


Рис. 1. Схематический чертеж индукционной лампы

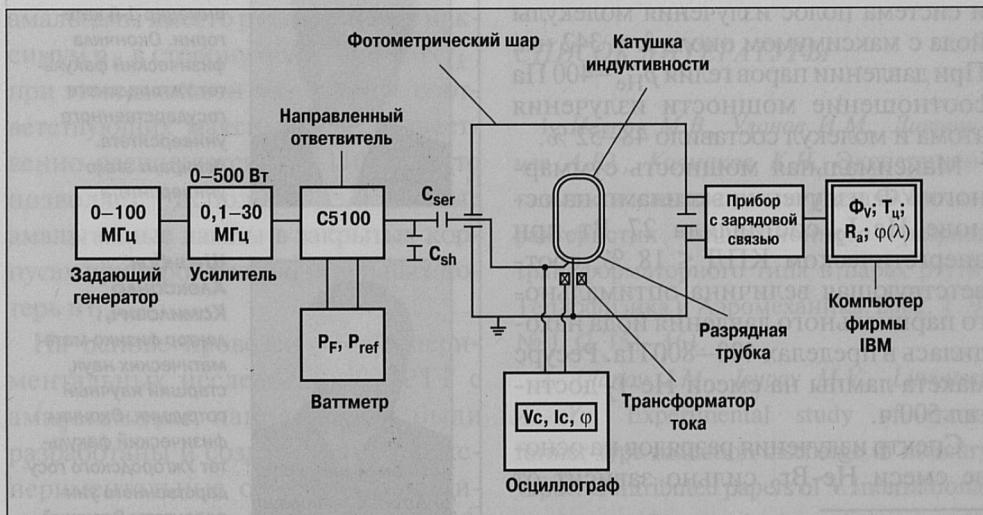


Рис. 2. Блок-схема питания лампы и измерения ее электрических и светотехнических характеристик

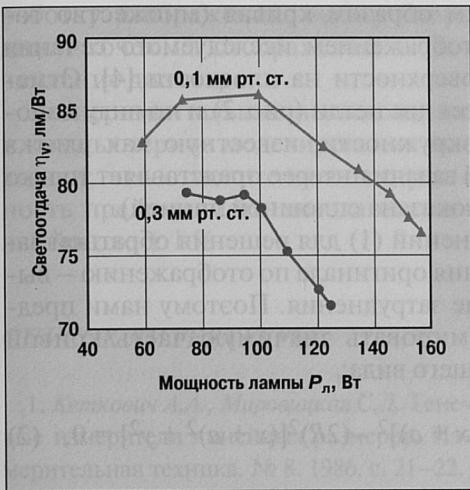


Рис. 3. Световая отдача лампы η_V , как функция мощности лампы, P_L . Диаметр трубки 5 см, длина 30 см. Число витков в катушке $N = 2$. Давление аргона в трубке 0,1 и 0,3 мм рт. ст. Частота возбуждения разряда 13,56 МГц

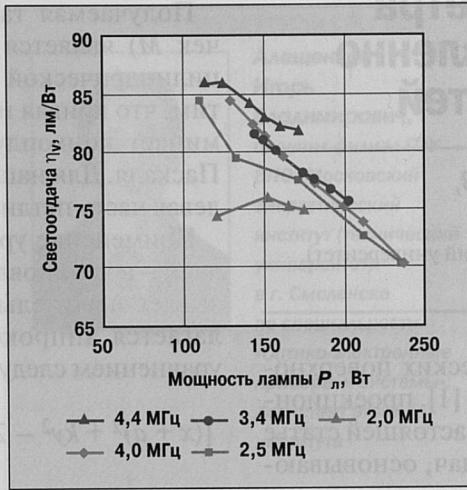


Рис. 4. Световая отдача лампы, η_V , как функция мощности лампы, P_L . Диаметр разрядной трубы 5 см, длина 40 см. Давление аргона 0,1 мм рт. ст. Число витков индуктивной катушки $N = 3$. Частоты возбуждения разряда – 2,0; 2,5; 3,4; 4,0 и 4,4 МГц

при работе на фиксированной мощности 80 Вт напряжение катушки V_c возрастало от 470 В (7 МГц) до 540 В (10 МГц); в то время как ток катушки I_c уменьшался с 2,8 А (7 МГц) до 2,3 А (10 МГц).

Потери мощности в катушке, P_k , «следовали» за изменениями тока катушки, I_c . По мере того, как с ростом мощности, поглощаемой плазмой, разряд переходил из смешанного (емкостной и индуктивный разряды) в чисто индуктивный разряд и заполнял собой весь объем трубы, потери в катушке уменьшались и на мощностях 40–80 Вт составляли 4–6 Вт. С дальнейшим ростом мощности лампы, $P_L > 80$ Вт, ток и напряжение лампы увеличивались, что сопровождалось ростом потерь мощности в катушке индуктивности. Как показали наши измерения, потери в катушке растут также с увеличением частоты поля, что, возможно, связано с возрастанием напряжённости электрического поля в плазме индуктивного разряда (E_{pl}) при увеличении частоты поля. Например, при работе на мощности 140 Вт увеличение частоты поля с 7 МГц до 13,56 МГц ведёт к росту потерь в индуктивной катушке от 6 Вт до 10,5 Вт.

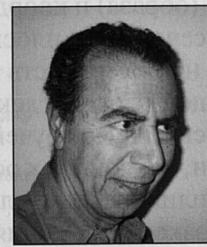
Световая отдача лампы, $\eta_V = \Phi_V / P_L$, работающей на частоте 13,56 МГц и использующей 2-витко-

вую катушку, представлена на рис. 3, как функция мощности лампы, P_L , для двух давлениях аргона: 0,1 и 0,3 мм рт. ст. Видно, что на малых мощностях лампы, 60–80 Вт светоотдача лампы растет с P_L , достигая своего максимума на $P_L = 75$ –100 Вт: 86 лм/Вт (0,1 мм рт. ст.) и 79 лм/Вт (0,3 мм рт. ст.). Дальнейшее увеличение мощности лампы ведёт к снижению светоотдачи, что связано с ростом плотности плазмы и, соответственно, частоты тушащих соударений электронов с резонансно-возбуждёнными атомами ртути.

Мы провели фотометрические измерения лампы в области другой разрешённой частоты, $f = 2,65$ МГц. На рис. 4 приведена зависимость светоотдачи лампы от её мощности, P_L , полученная на частотах 2,0–4,4 МГц с использованием 3-витковой катушки индуктивности. Разрядная трубка имела диаметр 5 см и длину 40 см; давление аргона в трубке было 0,1 мм рт. ст. Из рис. 4 видно, что при фиксированной мощности лампы её светоотдача растет с частотой возбуждения разряда, достигая своего максимума на частоте 2,5–3,0 МГц. И, как следует из рис. 3 и 4, лампа, работающая на частотах 3–4 МГц, имеет в диапазоне мощностей 120–160 Вт более высокие, чем на частоте 13,56 МГц светоотдачи.

Заметим, что полученная в нашей лампе на мощности 165 Вт светоотдача 80 лм/Вт весьма близка к светоотдаче лампы QL-160 (Philips), работающей на частоте 2,65 МГц и потребляющей практически ту же мощность, но имеющей более сложную и дорогостоящую конструкцию, включающую внутреннюю полость, ферритовый сердечник и охлаждающую его структуру [13].

Список литературы приведён в дополненном полном тексте.



Джекоб Майя
(Jakob Maya),

доктор философии.
Окончил Йельский
университет, США.
В 70–80-е годы —

директор отделения
НИР компании

Sylvania, США. С 1993 г. — директор
светотехнической лаборатории
и вице-президент компании Panasonic
Electric Works of America.

Член организационного комитета
международного симпозиума по физике
и технике источников света



Попов
Олег
Алексеевич,

кандидат физико-математических наук.
Окончил МЭИ
в 1965 г. Старший
научный сотрудник
светотехнической

лаборатории компании Panasonic Electric
Works of America. Занимается разработкой
и исследованиями безэлектродных ламп



Роберт Т. Чандлер
(Robert T. Chandler).

Окончил университет
Fairleigh Dickinson
в штате Нью-Джерси,
США. Старший
инженер свето-
технической
лаборатории

компании Panasonic Electric Works
of America. Занимается разработкой
и технологией люминесцентных ламп