

# ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 621.52.002.2

## МОДЕЛЬ ПЛАЗМЕННОЙ АНТЕННЫ

**В. К. Свешников**

*ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт им. М. Е. Евсевьева», г. Саранск, Российская Федерация*

В статье для демонстрационного эксперимента по физике, радиотехнике предлагается в качестве приемной телевизионной антенны использовать плазменный вибратор, изготовленный на базе люминесцентной лампы.

*Ключевые слова и фразы:* плазма, вибратор, подвижность, фидер, ди-электрик, частота, электрод.

Перспективным направлением в развитии антенных устройств для космической радиосвязи является разработка и использование плазменных антенн. Активным элементом таких антенн могут служить образуемое при сгорании топлива пламя ракет, проводящее радиоволны, потоки заряженных частиц, выбрасываемых из сопел ионных реактивных двигателей, и др.

В качестве модели плазменной антенны при постановке демонстрационного эксперимента в курсах физики и радиотехники целесообразно использовать газоразрядную плазму, возбуждаемую в люминесцентных лампах. Применение газоразрядных ламп позволяет обеспечить наглядность, содержательность и эстетичность проводимого эксперимента [1]. В качестве приемной телевизионной антенны нами предлагается использовать несимметричный плазменный вибратор, изготовленный на базе люминесцентной лампы.

Активная проводимость  $\delta$  плазмы связана с концентрацией электронов соотношением [2]:

$$\delta = \frac{e^2 n v}{m} (v^2 + \omega^2), \quad (1)$$

где  $v$  – частота упругих при соударении электронов с атомами газа;  $m$  – соответственно заряд и масса электрона;  $\omega$  – круговая частота высокочастотного напряжения.

В плазменном столбе разряда люминесцентной лампы радиуса  $R$  концентрация  $n$  электронов связана с током  $I$  разряда и подвижностью  $b$  электронов соотношением:

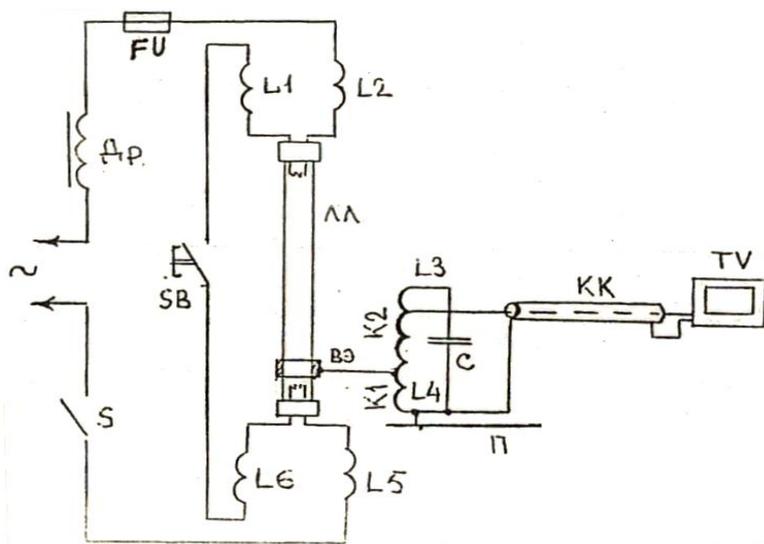
$$n = \frac{I}{\pi R^2 e b E} \quad (2)$$

Тогда уравнение (1) с учетом равенства (2) примет вид:

$$\delta = evI / \pi R^2 m (v^2 + \omega^2) b E. \quad (3)$$

Из выражения (3) следует, что при возбуждении разряда в лампе, когда ток  $I=0$  и, следовательно,  $\delta = 0$ , плазменный столб является проводником высокочастотного сигнала, который можно использовать в качестве антенны.

Простейшей антенной в диапазоне метровых волн служит несимметричный четвертьволновый штыревой вибратор, соединенный с радиоприемным устройством фидером. На рисунке 1 приведена схема установки для демонстрации плазменной антенны. На внешней поверхности люминесцентной лампы (ЛЛ) у нижнего катода закреплен внешний электрод (ВЭ), с которого снимается высокочастотный сигнал. Применение ВЭ позволяет исключить гальваническую связь между сетью и телевизионным приемником (TV). В этом случае проводимость сигнала от плазменного столба к внешнему электроду осуществляется емкостью  $C$  цилиндрического конденсатора, обкладками которого являются прилегающая к колбе лампы плазма и внешний электрод, а диэлектриком служит стеклянная колба.



**Рис. 1.** Принципиальная схема установки для демонстрации плазменной антенны:

Др – дроссель, ЛЛ – люминесцентная лампа, ВЭ – внешний электрод,

КК – коаксиальный кабель, TV – телевизионный приемник

Емкость  $C$  цилиндрического конденсатора с шириной  $h$  кольцевого электрода рассчитывается по известной формуле:

$$C = 2\pi\epsilon\epsilon_0 h / \ln \frac{r_2}{r_1}, \quad (4)$$

где  $\varepsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость колбы лампы,  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая постоянная,  $r_1, r_2$  – соответственно внутренней и внешней радиусы колбы лампы.

Соответствующим выбором ширины  $h$  кольца ВЭ можно достичь значительной емкости переходного конденсатора, при которой передача принимаемого сигнала антенной будет происходить без потерь. Так, рассчитанная по формуле (4) емкость переходного конденсатора для лампы ЛБ-40 с шириной электрода  $4 \cdot 10^{-2}$  м и  $\varepsilon \approx 7$  (с учетом слоя люминофора на внутренней поверхности колбы) составляет 260 пФ. Сопротивление этой емкости телевизионному сигналу на средней частоте 80 МГц, соответствующей третьему каналу, составляет несколько Ом, что практически не влияет на уровень принимаемого сигнала.

Антенна соединяется со входом приемника посредством коаксиального кабеля (КК). Как известно, эффективная передача от антенны на вход приемника возможна в режиме бегущей волны сигнала в фидерной линии, что наблюдается в случае, если сопротивление антенны равно волновому сопротивлению КК. Поскольку входное сопротивление антенны равно 36 Ом [3], а волновое сопротивление КК, на работу с которым рассчитано большинство телевизионных приемников, равно 75 Ом, нами применена автотрансформаторная связь антенны с КК.

Колебательный контур  $L_3C$  в схеме является также фильтром, который ограничивает поступление радиопомех, генерируемых люминесцентной лампой на вход приемника. С целью уменьшения шунтирования контура входной проводимостью кабеля его центральная жила подключается к части витков контурной катушки  $L_3$ .

При проектировании антенны коэффициенты трансформации между антенной и контурной катушкой  $k_1$  и между кабелем и контурной катушкой  $k_2$  рассчитываются по формулам [4]:

$$k_1 = \sqrt{\pi \delta_k f_0 C / g_a}, \quad k_2 = \sqrt{\pi (\delta_k - 2\delta) / g_k},$$

где  $\delta_k$  – собственное затухание контура, которое определяют по заданной полосе пропускания  $\Delta f$ :  $\delta_k = \frac{\Delta f}{f_0}$ ;  $f_0$  – резонансная частота контура;  $C$  – емкость входного контура;  $g_a, g_k$  – входная проводимость соответственно антенны и кабеля;  $\delta$  – собственное затухание контура на минимальной частоте сигнала ( $\delta \approx 0.01$ ). Индуктивности катушек  $L_1, L_2, L_3, L_6$  ограничивают шунтирование принимаемого антенной высокочастотного сигнала сетью.

Для проведения демонстрационного эксперимента установка с помощью тумблера включается в сеть. Возбуждение разряда в лампе производится нажатием на пусковую кнопку SB. Далее настройкой гетеродина приемника добиваемся на экране телевизора устойчивого изображения и звука. После этого тумблером S отключаем лампу от сети и наблюдаем прекращение в ней разряда, а также пропадание звука и изображения на экране телевизора. Этот

опыт показывает, что плазменный столб проводит электромагнитные волны и может быть использован в качестве антенны.

В установке использована люминесцентная лампа ЛБ-40. Высота антенны определяется максимальной длиной волны и выбирается из условия  $I = (0,25 + 0,28)\lambda$  [3]. В лампе ЛБ-40 активная длина плазменного столба равна 1,1 м, что приблизительно соответствует 1/4 длины волны третьего частотного телевизионного канала, в котором эффективность антенны максимальна.

Внешний кольцевой электрод изготовлен из никелевой фольги толщиной 0,2–0,4 мм и шириной 4 см. Он охватывает колбу лампы в области катода.

Противовесом антенны является медный провод диаметром 4–8 мм и шириной 1 м. Индуктивность катушек  $L_1, L_2, L_3, L_6$  равна 0,01 Гн.

Контурная катушка  $L_я$  рассчитана на среднюю резонансную частоту, соответствующую третьему телевизионному каналу. Внутренний диаметр каркаса катушки – 9 мм. Внутри него размещен сердечник из латуни Л-62 диаметром 5 мм и длиной 10 мм. Катушка содержит 9 витков провода ПЭЛШО 0,89 с отводами соответственно от 6-го и 8-го витков. В схеме использован подстроечный конденсатор емкостью  $6 \div 25$  пФ. Антенна соединяется со входом приемника коаксиальным кабелем типа РК-75-2-2I длиной 1 м. В установке использован дроссель ВИА 40/50.

Предложенная антенна может быть использована также для приема радиовещательных станций в диапазоне ультракоротких волн. В этом случае вместо телевизионного приемника может быть взят радиоприемник с УКВ ЧМ диапазоном с частотами 65,8–73,0 мГц. Входное сопротивление автомобильных радиоприемников обычно равно 150 Ом [5], поэтому для согласования антенны со входом приемника центральная жила коаксиального кабеля подсоединяется непосредственно к началу контурной катушки  $L_3$ . Настройка антенны производится по максимальному уровню принимаемого сигнала путем перемещения внешнего электрода вдоль лампы и изменением емкости  $C$  подстроечного конденсатора.

### Литература

1. Свешников, В. К. Состояние и перспективы использования разрядных ламп в демонстрационном эксперименте / В. К. Свешников, С. Н. Федоткина // Учебный эксперимент в высшей школе. – 1997. – № 1. – С. 31–42.
2. Гинзбург, В. Л. Распространение электромагнитных волн в плазме / В. Л. Гинзбург. – М. : Наука, 1967. – 685 с.
3. Григоров, И. Н. Антенны. Городские конструкции / И. Н. Григоров. – М. : Радиософт., 2010. – 293 с.
4. Доброневский, О. В. Справочник по радиоэлектронике / О. В. Доброневский. – Киев : Вища шк., 1971. – 360 с.
5. Крунин, И. Т. Автомобильные радиоприемники / И. Т. Крунин. – М. : Энергия. – 1978. – 177 с.