

УДК 533.9

Н.Н. Бочкарев, С.М. Гавриленко

## Широкополосный излучатель акустических волн на принципе модуляции одноэлектродного факельного разряда

Приведено описание разработанного и изготовленного плазменного излучателя акустических волн. Излучатель, работающий на принципе модуляции одноэлектродного высокочастотного факельного разряда, имеет недостижимую для электродинамических излучателей верность передачи широкополосного акустического сигнала. Амплитудно-частотная характеристика излучателя существенно гладкая в диапазоне частот до нескольких мегагерц, что позволяет считать такой излучатель эталонным.

**Ключевые слова:** акустические волны, излучатель, модуляция, одноэлектродный разряд, плазма.

В последнее время интерес проявляется к нетрадиционным акустическим излучателям, использующим газоразрядную плазму в воздухе при атмосферном давлении.

Электроискровые акустические излучатели обеспечивают большие уровни и высокую стабильность звуковых давлений, однако обладают значительной эрозией электродов, имеют характерный гребенчатый спектр излучения и существенные нелинейные искажения.

Большие возможности качественного воспроизведения высоких звуковых частот открывает применение плазменного акустического излучателя, основанного на одноэлектродном высокочастотном факельном разряде. Этот способ известен давно [1], но незаслуженно забыт. Интерес к таким излучателям возобновился в 80-х годах прошлого столетия [2].

Плазменный акустический излучатель, работающий на принципе амплитудной модуляции высокочастотного факельного разряда ограниченного объема с температурой 4000–4600 К, обладает минимальными нелинейными искажениями.

Для решения ряда научных и технических задач в области акустики часто требуется использование нестандартных регистрирующих датчиков, характеристики которых необходимо определить, например амплитудно-частотные (АЧХ) и фазочастотные (ФЧХ) характеристики акустического датчика, изготовленного из пьезокерамики для работы в полосе частот шириной в несколько мегагерц. Стандартных калибраторов для такого диапазона частот не имеется, а использование различного рода электродинамических, пьезо- или других излучателей для целей калибровки нецелесообразно, поскольку их характеристики имеют резонансный характер.

С целью решения этой технической задачи предлагается использовать плазменный излучатель акустических волн, принцип работы которого заключается в следующем. При подаче на электрод высокочастотного напряжения с частотой, например, 27 МГц со свободного конца электрода возбуждается высокочастотный факельный разряд, который формируется под действием конвективных потоков и горит неограниченное время. Благодаря низкой температуре плазмы, эрозия электрода низкая и существенным образом не влияет на стабильность горения разряда. Если высокочастотное напряжение промоделировать по амплитуде, то объем токоведущего канала высокочастотного факельного разряда будет меняться с частотой модулирующего напряжения. Изменение объема плазмы приводит к изменению давления в воздухе с частотой модуляции. Ввиду высокой подвижности ионизованных частиц плазменный излучатель акустических волн способен воспроизводить без заметных частотных и переходных искажений не только звуковые колебания, но и ультразвук мегагерцового диапазона частот.

На рис. 1 показан внешний вид плазменного излучателя акустических волн, а на рис. 2 – его принципиальная схема.

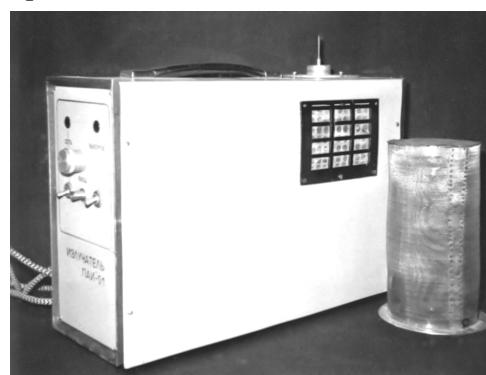


Рис. 1. Плазменный излучатель акустических волн.  
Защитная сетка снята с вольфрамового электрода  
в верхней части корпуса

Высокочастотный факельный разряд мощностью ~20 Вт возбуждается в открытом пространстве с тонкого стержневого вольфрамового электрода. Через концентрический трубчатый фидер электрод соединен с ламповым высокочастотным генератором, который создан на основе генераторной лампы ГМИ-6. Рабочая частота – 13 МГц. Предусмотрена возможность плавного изменения мощности возбуждаемого с электрода высокочастотного факельного разряда. Продольный (по вертикали) размер плазменного канала, возникающего на конце вольфрамового электрода, в 5–10 раз больше его диаметра и примерно равен 1–1,5 см.

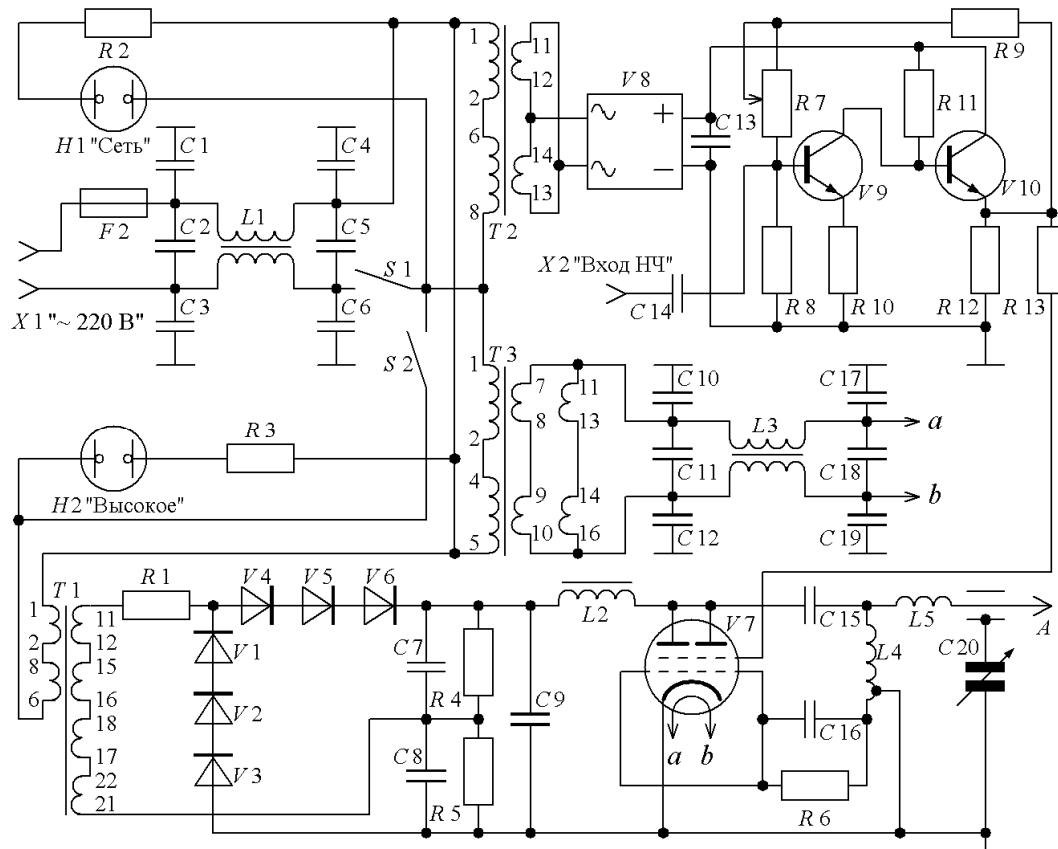


Рис. 2. Принципиальная схема плазменного излучателя акустических волн

На рис. 3 приведены АЧХ: 1 – плазменного излучателя акустических волн; 2 – акустической системы электродинамического типа промышленного изготовления высшей категории сложности 100АС-060. АЧХ измерены на расстоянии 1 м способом плавного изменения частоты от минимальной до максимальной в звуковом диапазоне с использованием измерительного комплекта фирмы Robotron. АЧХ акустической системы электродинамического типа существенно «изрезана», а ее неравномерность составляет  $\sim 26$  дБ, особенно в области частот 1–5 кГц, что обусловлено резонансными свойствами подвижной механической системы излучателей такого типа.

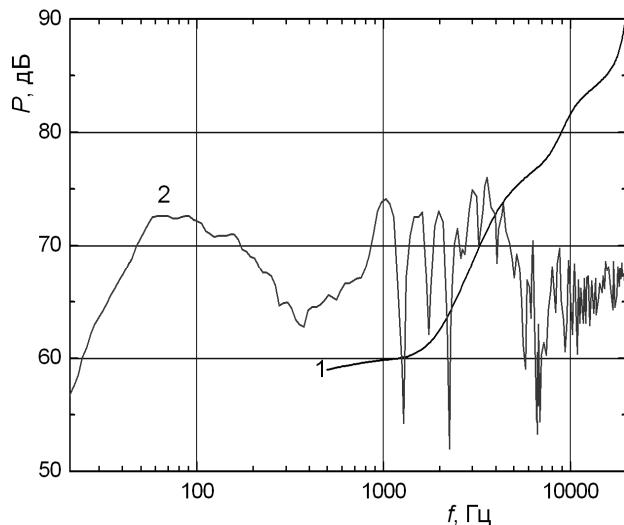


Рис. 3. АЧХ, измеренные на расстоянии 1 м методом «скользящей частоты»: 1 – плазменный излучатель акустических волн; 2 – акустическая система высшей категории сложности 100АС-060

Согласно рис. 3, плазменный излучатель акустических волн имеет существенно гладкую АЧХ, не имеющую выраженных резонансов. При необходимости путем введения корректирующей RC-цепочки в схему модуляции высокочастотного напряжения можно устранить плавный подъем АЧХ (~30 дБ), преобразовав ее практически в плоскую. Устранить резонансный характер АЧХ для электродинамического излучателя принципиально невозможно.

Коэффициент полезного действия созданного плазменного излучателя акустических волн составляет несколько сотых долей процента и может быть увеличен подбором специальных конструктивных особенностей.

Оценки показывают, что при использовании мощного диффузного разряда со скоростью плазменного потока 10 м/с и площадью сечения разряда 18 см<sup>2</sup> при температуре плазмы 2000 К возможно существенное повышение коэффициента полезного действия подобного излучателя, а предполагаемая акустическая мощность может составить более 800 Вт.

Таким образом, использование плазменного излучателя акустических волн позволяет выполнить амплитудно-частотную калибровку по звуковому давлению нестандартного широкополосного оборудования, поскольку такой излучатель имеет недостижимую для известных способов генерации ширину полосы воспроизводимых частот при незначительных нелинейных и амплитудно-частотных искажениях.

Работа выполнена при поддержке госконтракта № 14.740.11.0076 ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России».

#### *Литература*

1. Плоткин Е. Звуковоспроизводящий агрегат с ионофоном / Е. Плоткин, Б. Карапеев, В. Прютц // Радио. – 1959. – № 12. – С. 18–22.
2. Broomhead L. Haut-parleur: le plasma donne la haute-fidelite // Sciences et Avenir. – 1981. – № 407. – Р. 24–29.

---

#### **Бочкарев Николай Николаевич**

Д-р физ.-мат. наук, научный сотрудник  
Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск  
Тел.: +7-906-951-15-90  
Эл. почта: bonic@iao.ru

#### **Гавриленко Сергей Михайлович**

Инженер ООО «АСУ-эксперт»  
Тел.: (382-2) 22-78-09  
Эл. почта: sleda@list.ru

Bochkarev N.N., Gavrilenko S.M.

#### **A broadband radiator of acoustic waves based on the modulation principle of one-electrode flare discharge**

The developed and manufactured plasma radiator of acoustic waves is described. The radiator, which operates on the principle of one-electrode high-frequency flare discharge, has a high fidelity of broadband acoustic signal, unattainable for electrodynamic radiators. The radiator frequency response function is absolutely smooth in the frequency range up to several MHz. It allows for the generator to be considered as a reference one.

**Keywords:** acoustic waves, generator, modulation, one-electrode discharge, plasma.