

УДК 621.317.78

А.В.Балабанов (асп., каф. РТТК), А.В.Смирнов, к.ф.-м.н., доц.

### АМПЛИТУДНЫЕ ШУМЫ СВЧ ГАЗОВОГО РАЗРЯДНИКА

ABSTRACT: The theoretical model is offered, allowing to establish relation between spectral density of relative amplitude fluctuations and temperature of noise of plasma. Results of experimental researches of noise of the MICROWAVE gas resonant arrester, confirming model in a range of frequencies of the analysis are given. The material may be useful at designing devices with the given properties of noise.

Газовый резонансный разрядник (ГРР) применяется в цепях защиты входных цепей СВЧ приемника от мощного сигнала, способного нарушить работу чувствительной аппаратуры. Режим запираения достигается за счет появления СВЧ разряда в разрядных промежутках под действием входной мощности, превышающей пороговую. Возникающая при этом электронно-ионная плазма является источником шумов. Оценка их уровня представляет интерес с практической точки зрения (например, при создании приборов с заданными шумовыми свойствами). При этом изучение шумов СВЧ ГРР важно и с позиции расширения знаний о физике процессов, происходящих в низкотемпературной плазме и при газовом разряде на СВЧ, особенно с учетом того, что в литературе этому вопросу уделено мало внимания.

В данной работе предлагаются как теоретические предположения о характере шумов ГРР, так и результаты экспериментального исследования маломощного разрядника типа РР-83А-1.

Шум, излучаемый плазмой на частоте  $f$ , можно измерить прямым методом - с помощью приемника, настроенного на эту частоту [1]. При этом отсчет можно делать как в единицах мощности, так и единицах шумовой температуры  $T_{ш}$ , которая связана со спектральной интенсивностью выражением:

$$T_{ш}(f) = S_p(f)/k, \quad (1)$$

где  $k$  - постоянная Больцмана. Однако, при измерении шумов, локализованных вблизи несущей частоты, прямой метод малопригоден из-за мешающего действия регулярного сигнала. Информацию о такого рода шумах можно получить, используя методы детектирования, например, корреляционный метод, т.к. интенсивность шума предполагается невысокой [2]. Можно связать получаемые при таком методе значения спектральной плотности относительных флуктуаций амплитуды  $S_a(f)$  с  $T_{ш}$ . Как амплитудный, так и фазовый шум могут содержать аддитивную и модуляционную компоненты. Аддитивная возникает как результат биений между регулярным колебанием с частотой  $f_0$  и СВЧ шумами, находящимися от несущей на частотных расстояниях, равных  $F$  (т.е.  $F = f - f_0 \ll f_0$ ). Т.к. амплитудная и фазовая компоненты аддитивного шума равны между собой, их спектральная интенсивность вдвое меньше, чем у породившего их шума [1]:

$$S_a(f) = S_p(f_0) / 2P_{пр} = 2(\tau/N)(v^2 / (v^2 + 4\pi^2 f_0^2))^2 \quad (2)$$

С другой стороны, появление и исчезновение каждого электрона являются независимыми событиями. Среднее число электронов  $N$  определяется средним временем их жизни  $\tau$ . Если мгновенно ввести возмущение числа электронов, то установление к стационарному состоянию происходит по экспоненциальному закону [3]  $\Delta N(t) = \Delta N_0 \exp(-t/\tau)$ . Спектр процесса, образованного суммированием таких случайно возникающих импульсов имеет вид [4]:

$$S_N(F) = 4\Delta N^2 \tau / (1 + (2\pi F \tau)^2), \quad (3)$$

где  $\Delta N^2$  - дисперсия случайных отклонений. Естественно предположить, что распределение количества электронов в единицу времени подчиняется статистике

Пуассона. В этом случае [4]  $\Delta N^2=1/2N$  и спектр относительных флуктуаций амплитуды колебаний, порождаемых флуктуациями количества электронов, будет:

$$Sa_{\downarrow}(F)=2(\tau/N)/(1+(2\pi F\tau)^2) \quad (4)$$

Эти шумы наложатся на шумы тепловой природы и полный амплитудный шум будет равен:

$$Sa(F)=Sa_{\uparrow}(F)+ Sa_{\downarrow}(F) \quad (5)$$

При оптимальной плотности газа, когда  $v=2\pi f_0$ , амплитудный шум тепловой природы на низких частотах  $F \ll f_0$  станет:

$$Sa_{\uparrow}(F)= \tau/2N \quad (6)$$

и формула принимает вид:

$$Sa(F)=Sa_{\uparrow}(F)+ Sa_{\downarrow}(F)= \tau/2N+2(\tau/N)/(1+(2\pi F\tau)^2) \quad (7)$$

На частотах анализа  $F \ll 1/\tau$  уровень модуляционного шума оказывается в 4 раза выше уровня теплового происхождения, т.е.:

$$Sa(F_{нч})=5Sp/2P_{пр} \quad (8)$$

Тогда для ГРП связь между спектром относительных флуктуаций амплитуды и шумовой температурой, с учетом формулы (1) установится:

$$T_{ш}=(2P_{пр}/5k) Sa \quad (9)$$

Экспериментальное исследование ГРП типа РР-83А-1 проводилось на установке и согласно методике, которые были описаны в [2]. Результаты измерений спектральной интенсивности относительных флуктуаций амплитуды позволяют говорить о качественном и, в некоторой мере, количественном, подтверждении приведенной теоретической модели. Спектры, измеренные в диапазоне частот анализа 3...600 кГц, равномерны. Нет составляющих фликкерного или генерационно-рекомбинационного вида, подобных флуктуациям в твердотельных и вакуумных электронных приборах. Отсутствуют и спектры, характерные для развитого динамического хаоса, при грубом усреднении меняющиеся по закону  $1/F$  или  $1/F^2$ . В плазме газового разряда такие спектры не обнаружены, что свидетельствует об отсутствии неустойчивостей, порождающих коллективные явления: быстропеременное электрическое поле препятствует формированию в плазме каких-либо устойчивых когерентных структур, делает движение каждого электрона и иона в значительной мере индивидуальным. Статистическое усреднение такого движения приводит к равномерным спектрам, характерным, например, для теплового или дробового шума, или для генерационно-рекомбинационного шума со временем рекомбинации, обратная величина которого больше верхней частоты анализа (в случае эксперимента- 600кГц). Измеренный уровень флуктуации амплитуды СВЧ-колебания, прошедшего через плазму газового разряда, равный  $Sa=-160\text{дБ/Гц}$  при пересчете его согласно формуле (9) дает шумовую температуру порядка 4000К, что совпадает с данными, полученными прямым методом.

*Заключение.* Предложена теоретическая модель, позволяющая установить связь между спектральной плотностью относительных амплитудных флуктуаций и шумовой температурой плазмы. Проведены экспериментальные исследования, подтверждающие модель в диапазоне частот анализа.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. С.А. Корнилов, В.А. Савшинский, С.Д. Уман Шумы клистронных генераторов малой мощности. М.: Сов.радио, 1972.
2. А.В. Балабанов, А.В. Смирнов К вопросу об изучении СВЧ шумовых процессов в плазме ГРП. XXIX Неделя науки СПбГТУ Ч. VI Материалы межвуз. науч. конф. СПб: СПбГТУ, 2001
3. Ю.П. Райзер Физика газового разряда. М.: Наука, 1987
4. А. Ван дер Зил. Шум. (Источники, описание, измерение). М.: Сов.радио, 1973.