

УДК 621.385.64

К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ ФЛУКТУАЦИЙ В МАГНЕТРОННОМ ДИОДЕ

М. И. Кузнецов

Произведена экспериментальная проверка одной из известных гипотез о механизме флюктуаций в магнетронном диоде, согласно которой флюктуации тока в его междуэлектродном пространстве представляют собой флюктуации тока эмиссии катода, усиленные посредством одного или нескольких известных эффектов — диокотронного усиления, нарастающей группировки, усиления в ускоряемых электронных потоках, усиления в многолучевых электронных потоках и т. п. Установлено, что эта гипотеза неправильна

Одна из наиболее известных гипотез о механизме флюктуаций в магнетронном диоде заключается в том, что флюктуации тока в его междуэлектродном пространстве представляют собой флюктуации тока эмиссии катода, усиленные посредством одного или нескольких известных эффектов — диокотронного усиления [1], нарастающей группировки [2], усиления в ускоряемых электронных потоках [3], усиления в многолучевых электронных потоках [4] и т. п.

В настоящей статье описывается один из способов экспериментальной проверки этой гипотезы, представляющийся наиболее простым и убедительным. Он заключается в сопоставлении реакции магнетронного диода на искусственно созданное локальное регулярное гармоническое возмущение тока эмиссии катода в двух различных режимах. Они должны отличаться друг от друга только величиной анодного напряжения. В первом из них анодное напряжение должно быть настолько больше критического, чтобы не наблюдалось аномально больших «магнетронных» флюктуаций анодного тока. Во втором, напротив, анодное напряжение должно быть намного меньше критического, чтобы в магнетронном диоде наблюдались специфические «магнетронные» флюктуации (см., например, [5, 6]), которые, как известно, на несколько порядков интенсивнее, чем флюктуации в первом режиме.

Если упомянутая выше гипотеза о механизме флюктуаций в магнетронном диоде правильна, то различие интенсивности флюктуаций в этих двух режимах может быть обусловлено только тем, что его электронное облако во втором режиме значительно больше усиливает флюктуации тока эмиссии катода, чем в первом. Очевидно, в этом случае и регулярные локальные гармонические возмущения тока эмиссии катода во втором режиме должны усиливаться значительно больше, чем в первом, особенно если их частота находится в пределах одной из полос спектра, в которых интенсивность флюктуаций имеет максимальную величину. Следовательно, если исследуемая гипотеза о механизме флюктуаций в магнетронном диоде правильна, то его реакция на регулярное локальное гармоническое возмущение тока эмиссии катода в режиме отсечки должна быть значительно больше, чем при анодном напряжении, превосходящем критическое значение. Таким образом, сопоставление экспериментальных данных о реакции магнетронного диода на

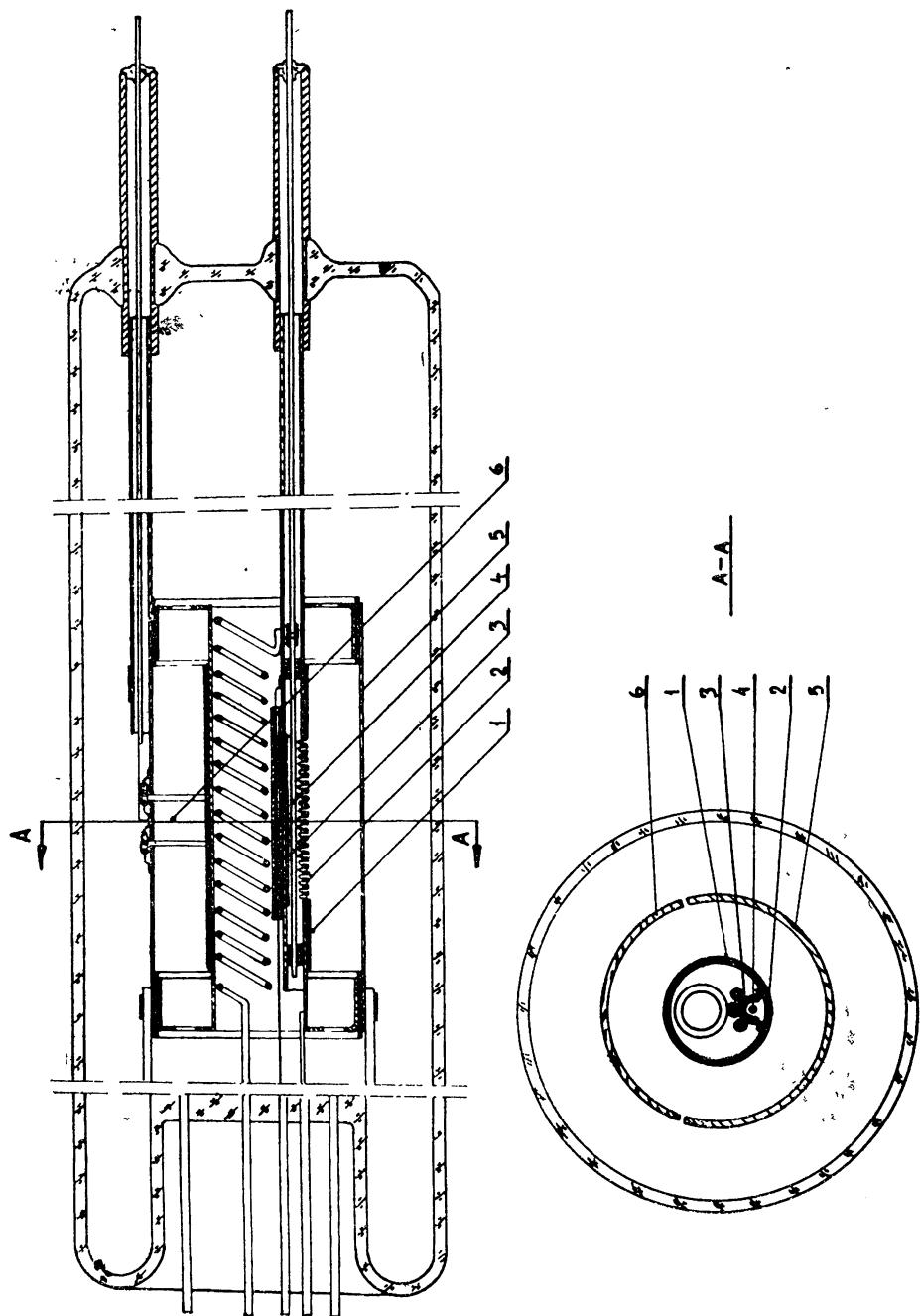


Рис. 1. Схематический чертеж экспериментальной лампы:

1—катод основного диода (длина 80 мм, диаметр 18 мм); 2—щели, соединяющие междуэлектродные пространства основного и внутреннего диодов (модулятора тока); 3—катод внутреннего диода (диаметр 4 мм); 4—анод внутреннего диода (диаметр 1 мм); 5—анод основного диода (диаметр 40 мм); 6—измерительный сектор.

указанные возмущения в этих двух режимах, действительно, позволяет подтвердить или опровергнуть справедливость данной гипотезы о механизме флуктуаций в магнетронном диоде.

Для выполнения экспериментов, цель и содержание которых были изложены выше, нами был сконструирован и изготовлен специальный магнетронный диод. Схематический чертеж этого диода приведен на рис. 1, а общий вид — на рис. 2. Катод диода, как видно из рис. 1, представляет собой цилиндр, внутри которого расположен второй обращенный диод. Часть внутренней стенки основного катода является одновременно и частью катода внутреннего обращенного диода.

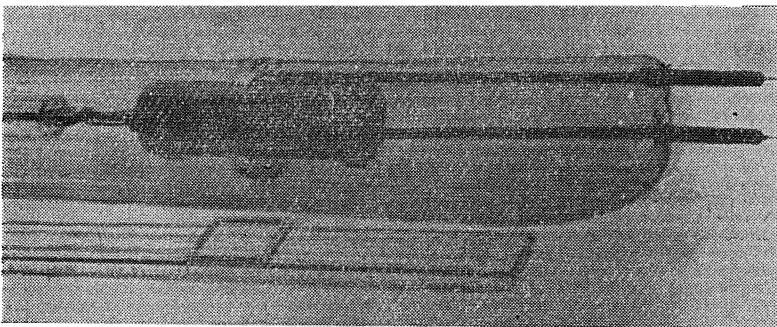


Рис. 2. Общий вид экспериментального магнетронного диода.

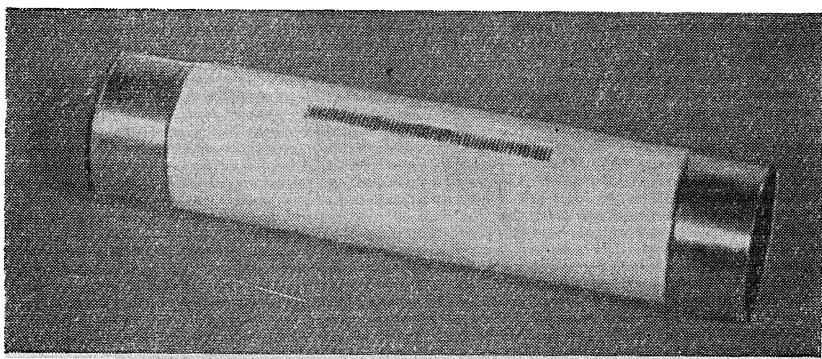


Рис. 3. Катод экспериментального магнетронного диода.

В этой части прорезан ряд тонких коротких щелей ($0,05 \times 1 \text{ мм}$), соединяющих междуэлектродные пространства обоих диодов. Эмитирующее покрытие катодов обоих диодов одинаково и представляет собой оксидный слой толщиной не более $20\text{--}30 \text{ мк}$. Коаксиальная линия, являющаяся продолжением электродов внутреннего диода, соединяет его с коаксиальным выводом, предназначенным для подведения постоянного и переменного напряжения к его электродам. Второй коаксиальный вывод соединяется с измерительным зондом, выполненным в виде ленты, вложенной заподлицо в вырез на поверхности анода основного магнетронного диода и закрепленной там керамическими изоляторами. Для исключения влияния импеданса цепей питания на работу основного магнетронного диода его анод накоротко замыкается по высокой частоте с катодом цилиндрическими слюдяными конденсаторами, расположеными в торцах анодного цилиндра.

Внутренний диод предназначается для осуществления высокочастотной модуляции тока эмиссии катода основного диода. Она достигается следующим образом. На анод диода подается постоянное положительное напряжение, а также высокочастотное напряжение, амплитуда которого не превышает величины постоянного напряжения. Постоянное напряжение подбирается таким образом, чтобы оно было близко к критическому U_{kp} . При выполнении этого условия электроны, вылетающие из катода в положительный полупериод переменного напряжения, попадают на анод. Электроны же, вылетающие из катода в отрицательный полупериод переменного напряжения, возвращаются обратно на катод.

Необходимо подчеркнуть, что измерения проводятся на таких частотах переменного напряжения, которые значительно меньше циклотронной. Поэтому движение электронов происходит в квазистатическом поле, и поток электронов, возвращающихся на катод, сильно модулирован по плотности и практически не модулирован по скорости. Например, при постоянном анодном напряжении $\bar{U}_a = 50$ в, переменном анодном напряжении $\bar{U}_a = 20$ в, напряженности магнитного поля $H = 70$ э и частоте переменного напряжения $f = 30 \div 50$ Мгц модуляция обратного электронного потока по скорости у поверхности катода не превышает 0,1 эв. Следовательно, через щели связи между диодами в междудиэлектродное пространство основного диода направляется электронный поток, модулированный по плотности с частотой переменного напряжения и практически не модулированный по скорости, т. е. отличающийся от основного электронного потока только тем, что его величина меняется по гармоническому закону. Таким образом, внутренний магнетронный диод, действительно, может осуществлять высокочастотную модуляцию плотности тока эмиссии основного катода.

Следует отметить, что высокочастотное поле из внутреннего магнетронного диода практически не проникает в междудиэлектродное пространство основного диода. Это достигается благодаря тому, что, во-первых, щели являются очень тонкими и короткими, а во-вторых, внутренний магнетронный диод работает в режиме с током, ограниченным пространственным зарядом, и, следовательно, при положительном анодном напряжении на аноде поле у поверхности его катода практически равно нулю.

Из изложенного выше очевидно, что в основном магнетронном диоде данной конструкции достаточно хорошо воспроизводятся условия, необходимые для выполнения эксперимента, цель и содержание которых были указаны в начале статьи, — осуществляется гармоническое локальное возмущение тока эмиссии катода и имеется возможность регистрации реакции диода на это возмущение по величине высокочастотного напряжения на измерительном зонде.

Предварительные измерения показали, что при переменном напряжении на аноде модулирующего диода $\bar{U} = 20 \div 30$ в и необходимом интервале значений напряженности магнитного поля переменная составляющая напряжения на зонде оказалась настолько малой по сравнению с шумами в режиме отсечки, что ее пришлось измерять радиометрическим методом. В качестве радиометра был использован радиоприемник П-5-1 и низкочастотная часть стандартного радиометра ИП-3. Низкочастотная модуляция переменной составляющей тока эмиссии, необходимая для работы радиометрической схемы, осуществлялась следующим образом. Прямоугольное напряжение опорного генератора гетеродинного детектора радиометра ИП-3 усиливалось усилителем постоянного тока (U_C на схеме рис. 4). Напряжение на выходе этого

усилителя периодически принимало одно из двух значений: $U_1 \approx U_{kp} = 50$ в, $\bar{U}_2 = 250$ в $> U_{kp}$. Оно через сопротивление величиной 1,5 ком подавалось на анод модулирующего магнетронного диода, на который, кроме того, было подано высокочастотное напряжение от генератора Г4-7А через распределенный усилитель УЗ-5.

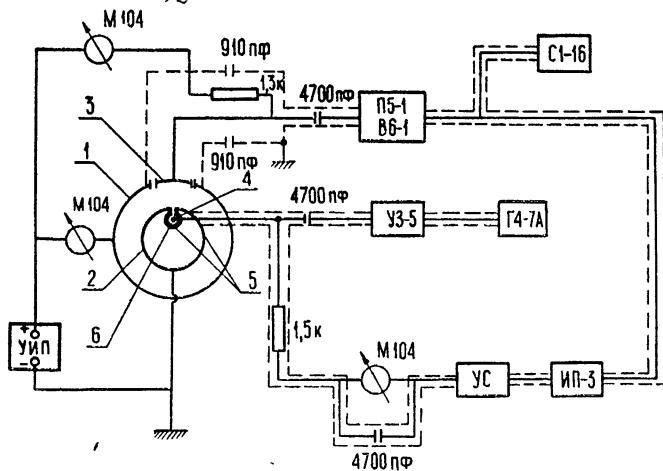


Рис. 4. Блок-схема измерительной установки.

Очевидно, глубина высокочастотной модуляции тока эмиссии в те интервалы времени, когда низкочастотная составляющая анодного напряжения модулирующего диода равнялась $\bar{U}_2 = 250$ в, была значительно меньше, чем при $\bar{U}_1 = 50$ в, т. е. высокочастотная переменная составляющая тока эмиссии модулировалась синхронно с опорным напряжением синхронного детектора радиометра. Остальная часть схемы измерительной установки, изображенной на рис. 4, не нуждается в объяснении.

В процессе экспериментов реакция магнетронного диода на модуляцию тока эмиссии катода в режиме отсечки и его реакция на это возмущение при анодном напряжении, большем, чем критическое, измерялись по величине напряжения на измерительном зонде, как уже было отмечено выше. При тех же режимах основного диода и выключенной модуляции тока эмиссии измерялись шумовые напряжения на зонде. При анодном напряжении, большем, чем критическое, шумовое напряжение зонда оказалось на пороге чувствительности приемника $U_{шум\,д} < 0,3$ мкв. В режиме отсечки во всем исследовавшемся диапазоне частот оно было значительно больше и доходило до тысячи микровольт на некоторых частотах. Если бы предположение о том, что флюктуации тока в магнетронном диоде являются усиленными флюктуациями тока эмиссии катода, оказалось правильным, то на этих частотах высокочастотное напряжение зонда в режиме отсечки $\bar{U}_{магн}$, обусловленное регулярной высокочастотной модуляцией тока эмиссии катода, должно было бы более, чем в 1000 раз превосходить соответствующее высокочастотное напряжение зонда при анодном напряжении, большем, чем критическое $\bar{U}_{диод}$. Оказалось, однако, что неравенство $\bar{U}_{магн} \gg \bar{U}_{диод}$ не выполняется даже в окрестности тех частот, на которых спектральная плотность интенсивности флюктуаций имеет максимальную величину, т. е. упомянутая выше гипотеза неправильна.

Типичные графики, иллюстрирующие этот экспериментальный факт, изображены на рис. 5. Они были сняты при следующих режимах магнетронного диода: $H = 89$ э, $U_a = 178$ в (режим отсечки), $U_a = 360$ в (анодное напряжение больше критического). При $U_a = 178$ в анодный ток был равен 3,2 ма, а при $U_a = 360$ в — 600 ма.

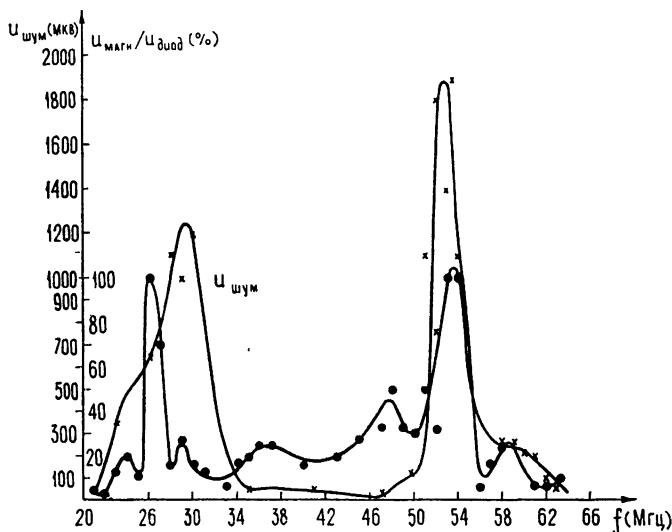


Рис. 5. Спектр шумов магнетронного диода (экспериментальные точки изображены крестиками) и отношение реакции магнетронного диода в режиме отсечки на локальное гармоническое возмущение тока эмиссии с частотой f к его реакции на это же возмущение в докритическом режиме (экспериментальные точки изображены кружочками).

Из графиков рис. 5 видно, что кривая зависимости отношения $\widetilde{U}_{магн}$ к $\widetilde{U}_{диод}$ от частоты, вообще говоря, не подобна кривой зависимости шумового напряжения зонда $U_{шум}$ от частоты. Но первая кривая имеет ярко выраженные максимумы в окрестности максимумов второй. В полном соответствии с [5—7] это показывает, что электронное облако магнетронного диода является резонансной системой, а флукутации в магнетронном диоде являются собственными колебаниями этой системы, возбуждаемыми каким-то некогерентным источником. Из приведенных выше экспериментальных данных совершенно очевидно, что механизм этого источника не сводится к усилению флукутаций тока эмиссии.

ЛИТЕРАТУРА

1. P. Guenard, H. Niberg, Ann. radioel., 1952, p. 252.
2. E. Astrom, Proc. Conferr. on Dynamics of Ionized Media, Lnd., 1951.
3. R. Müller, Archiv el. Übertragung, 9, 505 (1955).
4. A. V. Haefl, Phys. Rev., 74, 1532 (1948).
5. В. А. Бербасов, М. И. Кузнецов, В. Е. Нечаев, Изв. высш. уч. зав — Радиофизика, 3, № 1, 102 (1960).
6. В. А. Бербасов, М. И. Кузнецов, В. Е. Нечаев, Изв. высш. уч. зав. — Радиофизика, 3, № 2, 290 (1960).
7. М. И. Кузнецов, Ю. А. Яблоков, Изв. высш. уч. зав — Радиофизика, 9, № 3, 634 (1966).

TO THE MECHANISM OF FLUCTUATIONS IN A MAGNETRON DIODE

M. I. Kuznetsov

One of the known hypotheses on a mechanism of fluctuations in a magnetron diode is experimentally verified. According to this hypothesis the current fluctuations in its interelectrode space represent the fluctuations of current of the cathode emission which are amplified by one or several known effects—diocotron amplification, increasing bunching, amplification in accelerated electron beams, amplification in multi-velocity electron beams. This hypothesis is found to be incorrect.
