

УДК 621.385.6

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СУЩЕСТВОВАНИЯ СТАТИЧЕСКОГО СИНХРОННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛАКА В ПРЕДОСЦИЛЛЯЦИОННОМ РЕЖИМЕ МАГНЕТРОНА

В. А. Бербасов, Л. М. Грошков, М. И. Кузнецов

Приводятся результаты измерений напряженности электрического поля в нерегулярной части электронного облака магнетронного диода при магнитных полях, существенно больших критического. Сравнение результатов эксперимента с расчетными данными, полученными в работе [5], показывает, что в цилиндрическом магнетроне в предосцилляционных режимах состоянии пространственного заряда в нерегулярной части электронного облака близко к статическому синхронному.

В [1-3] были разработаны методы расчета распределения заряда в нерегулярной* части электронного облака плоского магнетрона, находящегося в предосцилляционном режиме (магнетронного диода). Расчет проводился путем решения уравнения диффузии электронов, проходящей под воздействием шумовых полей. Но после опубликования этих работ стало известно, что в цилиндрическом магнетроне те двухслойные состояния пространственного заряда в регулярной части электронного облака, которые принимались за исходные в [1-3], в практически интересных случаях существовать не могут [4]. Единственным возможным состоянием в этой части электронного облака оказывается простое однослойное двухпоточное состояние. С учетом этого обстоятельства в [5] были решены диффузионные уравнения, в результате чего стало ясно, что имеется весьма широкий интервал значений диффузионного тока, текущего на анод через нерегулярную часть электронного облака, при которых угловая скорость дрейфа находящихся в ней электронов практически не зависит от радиуса точки наблюдения (рис. 1). Иначе говоря, было установлено, что пространственный заряд в нерегулярной части электронного облака может находиться в режиме, близком к так называемому статическому синхронному. Как известно, это возможно только при квадратичном распределении потенциала в рассматриваемой области $U(r) = Cr^2$.

Анализ решений диффузионных уравнений, полученных в [5], показывает, что механизм, благодаря которому устанавливается и поддерживается такое распределение потенциала, функционирует следующим образом. В самом начале формирования нерегулярной части электронного облака плотность находящегося в ней заряда мала и напряженность электрического поля убывает с ростом радиуса точки наблюдения. Соответственно убывает угловая скорость дрейфа электронов

* Здесь, как и в [1-3], нерегулярной называется та часть электронного облака, в которую электроны, эмиттируемые катодом, могут попасть только при наличии случайных полей. В отличие от нее часть, в которую указанные электроны попадают и без помощи случайных полей, называется регулярной.

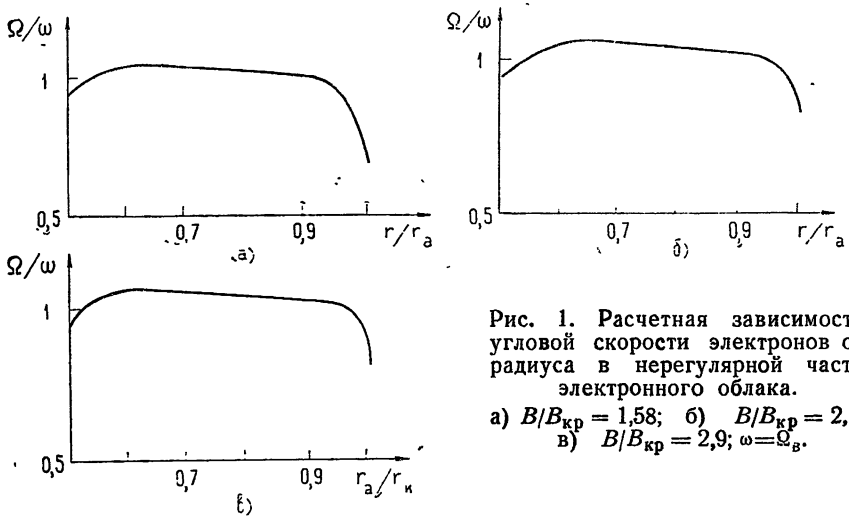


Рис. 1. Расчетная зависимость угловой скорости электронов от радиуса в нерегулярной части электронного облака.

$$\Omega = \frac{\omega_H}{2} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4}{B\omega_H r} \frac{dU}{dr}} \right) \approx \frac{dU}{dr} \frac{1}{r} \frac{1}{B}$$

и возрастает разность между величиной Ω и Ω_B — угловой скоростью шумовых волн, вызывающих диффузионное движение электронов, так как величина Ω_B очень близка к угловой скорости дрейфа электронов на границе между регулярной и нерегулярной частями электронного облака

Следовательно, воздействие шумового поля на электроны уменьшается, и коэффициент диффузии электронов с ростом радиуса точки наблюдения убывает. На начальной стадии формирования электронного облака особенно резкое уменьшение коэффициента диффузии происходит на небольшом участке вблизи внутренней границы нерегулярной части электронного облака, т. е. вблизи ее границы с регулярной (напомним, что согласно [1] коэффициент диффузии $D \sim \frac{1}{(\Omega - \Omega_B)^2}$). Поэтому приток электронов в данный участок со стороны регулярной части электронного облака не компенсируется диффузионным током электронов, вытекающим из него через его внешнюю границу в направлении к аноду. В результате плотность заряда на этом участке возрастает. Ее рост продолжается до тех пор, пока из-за увеличения электрического поля и соответствующего уменьшения разности $(\Omega - \Omega_B)$ величина коэффициента диффузии на внешней границе рассматриваемого участка не приблизится к величине коэффициента диффузии на его внутренней границе, т. е. пока величина $(\Omega - \Omega_B)$ на внешней границе не станет такого же порядка, как на внутренней.

С этого момента плотность заряда на рассматриваемом участке больше возрастать не будет, а его внешняя граница станет внутренней границей нового участка наиболее резкого изменения коэффициента диффузии. По перечисленным выше причинам через некоторое время и на новом участке плотность заряда увеличится до такой величины, что на его внешней границе разность $(\Omega - \Omega_B)$ приблизится к нулю, сильно возрастет коэффициент диффузии, рост плотности заряда внутри этого участка прекратится и начнется быстрый рост плотности заряда на следующем участке и т. д. Таким образом, через некоторое

время во всей нерегулярной части электронного облака установится такое распределение заряда, при котором разность $(\Omega - \Omega_B)$ станет очень малой, т. е. установится режим, близкий к статическому синхронному.

Экспериментально установлено, что в цилиндрических магнетронах с тонкими катодами статический синхронный режим действительно существует [6]. Чтобы убедиться, что он имеет место и в магнетронах с толстыми катодами, мы провели детальные измерения распределения потенциала в магнетроне с отношением $r_a/r_k = 2,5; 3$. Измерения были выполнены при помощи метода, описанного в [7]. По их результатам построена кривая, отображающая зависимость отношения $\frac{dU}{dr} \frac{1}{r}$ от радиуса (рис. 2). Как видно из графиков, это отношение практически остается постоянным во всей нерегулярной части электронного облака.

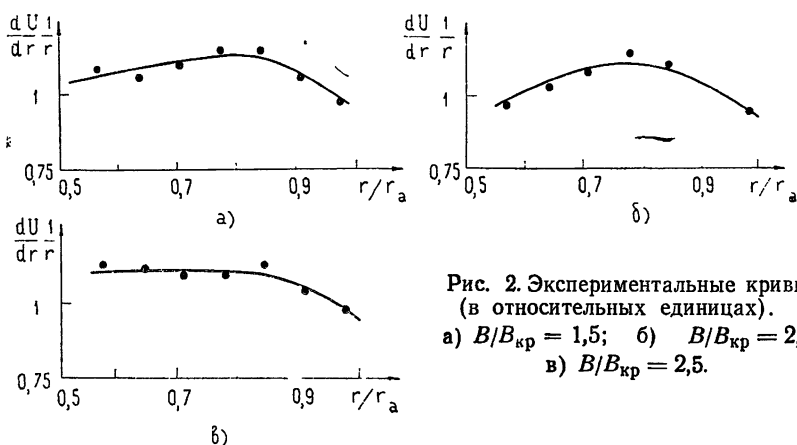


Рис. 2. Экспериментальные кривые (в относительных единицах).
а) $V/B_{кр} = 1,5$; б) $V/B_{кр} = 2,1$;
в) $V/B_{кр} = 2,5$.

Таким образом, и в цилиндрических магнетронах с толстыми катодами в предосцилляционных режимах состояние пространственного заряда в нерегулярной части электронного облака близко к статическому синхронному. Это существенно упрощает анализ возбуждения рабочих колебаний в магнетронном генераторе. В частности, наличие статического синхронного состояния в нерегулярной части электронного облака магнетрона в предосцилляционном режиме позволяет объяснить «мягкий» характер возбуждения колебаний в магнетроне. Как показано в [8], электрон может быть захвачен в спицу, если скорость его дрейфа отстает от фазовой скорости волны поля не более чем на величину

$$\Delta\Omega = |\Omega - \Omega_B| < \Omega_B \frac{\tilde{E}}{E},$$

где \tilde{E} и E — переменная и постоянная радиальные компоненты электрического поля. Следовательно, все электроны статического синхронного слоя могут быть сгруппированы в спицы высокочастотным полем ничтожно малой величины, если угловая фазовая скорость поля совпадает с фазовой скоростью этого слоя. Иными словами, возбуждение колебаний в магнетронах действительно может носить «мягкий» характер.

Однако необходимо иметь в виду, что время установления рассмотренного выше состояния пространственного заряда может оказаться

сравнимым с характерным временем нарастания анодного напряжения магнетрона [9]. Очевидно, что в таких случаях пользоваться результатами настоящей работы для анализа процессов возбуждения колебаний в магнетроне не следует.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. И. Кузнецов, Электронная техника, сер. 1, Электроника СВЧ, вып. 11, 28 (1969).
2. Л. М. Грошков, М. И. Кузнецов, Изв. высш. уч. зав. — Радиофизика, 9, № 5, 998 (1966).
3. М. И. Кузнецов, Электронная техника, сер. 1, Электроника СВЧ, вып. 12, 83 (1970).
4. В. Е. Белов, Л. В. Родыгин, Л. С. Родыгина, А. Д. Юнаковский, Тезисы докладов VI Межвузовской конференции по электронике СВЧ, Минск, 1969, стр 124
5. М. И. Кузнецов, В. А. Бербасов, И. Н. Железцова, Изв. высш. уч. зав. — Радиофизика, 15, № 2, 283 (1972).
6. O. D o s c h l e r, Ann. de Radioel., 3, 27 (1948).
7. Л. М. Грошков, Изв. высш. уч. зав. — Радиофизика, 9, № 1, 167 (1966).
8. П. Л. Капица, Электроника больших мощностей, т. 1, изд. АН СССР, М., 1962.
9. В. А. Бербасов, Электронная техника, сер. 1, Электроника СВЧ, вып. 8, 96 (1969).

Горьковский государственный университет

Поступила в редакцию
21 октября 1971 г.

EXPERIMENTAL VERIFICATION OF THE EXISTENCE OF STATIC
SYNCHRONOUS STATE OF AN ELECTRON CLOUD IN A PRE-
OSCILLATION MAGNETRON REGIME

V. A. Berbasov, L. M. Groshkov, M. I. Kuznetsov

The paper presents the results of measurements of the electric field intensity at an irregular part of an electron cloud of the magnetron diode in magnetic fields essentially larger than the critical one. A comparison of the experimental results with the calculation data obtained in paper [5] indicates that in a cylindrical magnetron in a pre-oscillation regime, the spatial charge state at the irregular part of the electron cloud is close to the static synchronous one.