

## К ВОПРОСУ О ГЕНЕРИРОВАНИИ СПЕКТРА ЧАСТОТ КОНУСНЫМ МАГНЕТРОНОМ

М. М. Филиппов

На основе известного свойства магнетрона с неразрезным анодом генерировать электронные колебания, частота которых не зависит от собственных частот присоединенной к нему колебательной системы, высказывается идея о возможности генерирования спектра частот. Для этой цели используется магнетрон со сплошным анодом в форме усеченного конуса в неоднородном магнитном поле. Последнее должно удовлетворять критическим условиям в любом поперечном сечении анода. Приводятся данные предварительного эксперимента, полученные с конусным магнетроном.

Известно, что магнетрон с неразрезным (сплошным) цилиндрическим анодом в скрещенных электрическом и магнитном полях генерирует вблизи критического режима колебания, которые называют пролетными, циклотронными, циклоидальными или, наконец, электронными колебаниями первого рода. Частота их не зависит от собственных частот присоединенной к магнетрону колебательной системы; длина волны связана с магнитным полем простым соотношением, получившим многочисленные экспериментальные подтверждения [2,5,6,7]:

$$\lambda = \frac{K}{H}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  — длина волны (см),  $H$  — напряженность внешнего магнитного поля (эрстеды),  $K$  — постоянная, имеющая значения в пределах от 10 до 21 тыс. гс·см [3,4].

Величина критического магнитного поля в (1) определяется приближенной формулой [5]:

$$H = \frac{6,72 \sqrt{u_a}}{r_a}, \quad (2)$$

где  $u_a$  — потенциал анода относительно катода (в),  $r_a$  — радиус анода (см).

Из (1) и (2) видно, что при соблюдении критических условий длина волны пролетных колебаний пропорциональна радиусу анода:

$$\lambda = C_0 r_a, \quad (3)$$

где

$$C_0 = \frac{K}{6,72 \sqrt{u_a}}. \quad (4)$$

В магнетроне со сплошным анодом, радиус которого непрерывно меняется от значения  $r_1$  до значения  $r_2$  ( $r_1 < r_2$ ), можно обеспечить соблюдение критических условий в любом поперечном сечении анода. Для этого достаточно магнетрон с анодом в форме усеченного конуса поместить в такое неоднородное магнитное поле, которое меняется вдоль оси магнетрона так, что напряженность  $H$  его линейно убывает с ростом координаты  $x$  (начало координат

находится в вершине конуса, рис. 1). При этом сохраняется неизменным отношение

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{x_2}{x_1}. \quad (5)$$

В соответствии с формулой (3) можно ожидать, что магнетрон будет генерировать некоторый спектр частот. Крайние значения длин волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ , соответствующие этому спектру, определяются при данном  $u_a$ , согласно (3), размерами радиусов  $r_1$  и  $r_2$  малого и большого сечений анода магнетрона соответственно. Это предположение вполне допустимо для малого раствора конуса, т. е. для небольшого отношения  $r_2/r_1$ .

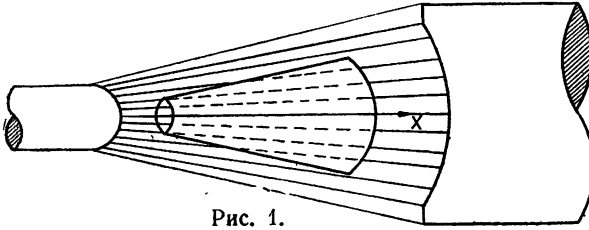


Рис. 1.

Результаты предварительной экспериментальной проверки высказанных соображений кратко излагаются ниже.

### 1. ЛАМПЫ. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Изготовленные в лабораторных условиях конусные магнетроны имели танталовый анод и вольфрамовый прямоканальный катод. Размеры испытанных ламп приведены в таблице 1.

Магнитное поле требуемой конфигурации подбиралось экспериментально. Полюсные наконечники в виде частей поверхности внутренней и внешней сфер разного радиуса обеспечивали приблизительно требуемую неоднородность поля.

Изменением расстояния между полюсами и дополнительной коррективкой было получено магнитное поле, практически удовлетворяющее поставленной задаче. В этом можно убедиться по статическим характеристикам ламп. Для сравнения они снимались в однородном и неоднородном полях. На рис. 2 приведен пример такой характеристики лампы № 1, где кривая 1 соответствует однородному, кривая 2—неоднородному полю. По оси абсцисс нанесен ток  $J_m$  в катушках электромагнита

Таблица 1

РАЗМЕР	Лампа	
	№ 1	№ 2
Длина анода (мм)	20,0	18,3
Малый радиус анода $r_1$ (мм)	2,1	3,1
Большой радиус анода $r_2$ (мм)	3,0	4,3
Радиус катода (мм)	0,085	0,100

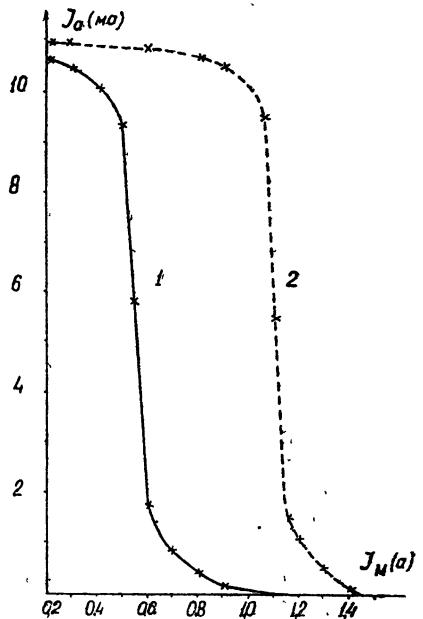


Рис. 2. Статические характеристики конусного магнетрона ( $u_a = 250$  в,  $J_s = 11$  мА): Кривая 1—однородное магнитное поле; кривая 2—линейно меняющееся магнитное поле.

(напряженность  $H$  прямо пропорциональна  $J_m$ ), по оси ординат — ток  $J_a$  на анод магнетрона. Из рисунка видно, что спад статической характеристики в однородном магнитном поле начинается значительно раньше и происходит менее резко по сравнению с характеристикой в неоднородном поле. Это указывает на выполнение критических условий во втором случае по всей длине анода. Аналогичные характеристики для магнетрона № 2 здесь опущены.

## 2. ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Для каждого магнетрона были получены характеристики возбуждения трех типов: зависимость относительной интенсивности генерируемых колебаний 1) от величины  $H$  напряженности магнитного поля (рис. 3а); 2) от потенциала на аноде (относительно катода (рис. 3б); 3) от тока накала (или эмиссии катода; рис. 3в).

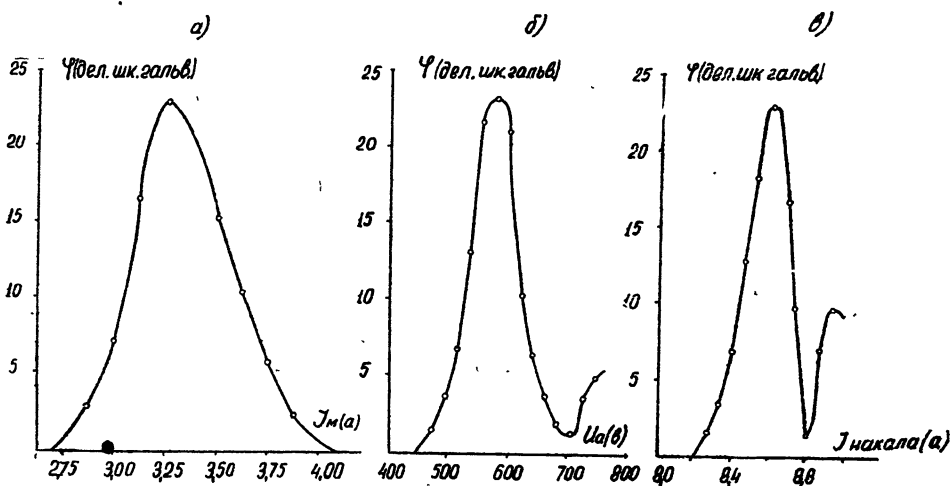


Рис. 3.

Наличие генерации фиксировалось по отклонению стрелки гальванометра  $\varphi$  с помощью петлевой антенки с детектором, расположенной вблизи магнетрона. По величине показаний гальванометра можно судить об относительной интенсивности генерируемых колебаний. Результаты исследования обеих ламп в принципе не отличаются, поэтому приводятся данные главным образом для лампы № 1.

На рис. 3 по осям ординат нанесены показания гальванометра (в делениях шкалы), по осям абсцисс —  $J_n$  — ток накала,  $u_a$  — анодное напряжение,  $J_m$  — ток в обмотке электромагнита соответственно. Такие характеристики позволяют установить оптимальное значение каждой из последних трех величин (в пределах возможного в условиях опыта варьирования), которые обеспечивают максимальную интенсивность колебаний, генерируемых данным магнетроном. Кроме того, характеристики рис. 3 свидетельствуют о возникновении колебаний в конусном магнетроне только при определенном соотношении между  $u_a$  и  $H$ .

У магнетрона № 1 оптимум имел место при  $u_a = 580$  в,  $J_m = 3,25$  а,  $J_s = 20$  ма, а для магнетрона № 2 — при  $u_a = 1972$  в,  $J_m = 3,2$  а,  $J_s = 65$  ма ( $J_s$  — ток эмиссии катода). Значению тока в обмотке электромагнита  $J_m = 3,25$  а соответствовали величины  $H$  в плоско-

сти малого и большого сечений анода магнетрона, равные 1420 и 680 эрстед соответственно. Для магнетрона № 2 при  $J_m = 3,2$  а, такие же измерения дали 1720 и 880 эрстед. Вычисленные значения критических величин напряженности  $H_{кр}$  для статического режима, соответствующие оптимальным значениям потенциалов анода, равным 580 в и 1972 в, оказались примерно в 1,5 раза меньше измеренных. Такое расхождение объясняется, по-видимому, кроме ошибок измерения и расчета, неучтенными при вычислении переменными составляющими потенциала анода.

Длины волн измерялись волномерами типа ФТК с индикатором, цена деления которого равна  $0,6 \cdot 10^{-6}$  а; антенны волномера удалялись примерно на  $60 \div 80$  см от магнетрона. Показания волномера, регистрировавшего генерацию магнетрона № 1 (в оптимальном режиме), оставались почти неизменными ( $60 \div 70$  делений шкалы индикатора) во всем диапазоне перестройки контура волномера ( $15 \div 30$  см). Другой волномер фиксировал колебания, генерируемые магнетроном № 2, и также давал почти постоянные показания индикатора ( $30 \div 35$  делений шкалы) по всему диапазону перестройки ( $53 \div 65$  см). Мощность (интегральная) генерируемых колебаний не измерялась. Более детальное обследование спектра не выполнено из-за отсутствия набора волномеров, перекрывающих весь диапазон от 3 до 100 см или иных подходящих для этой цели анализаторов.

Наличие колебаний в магнетроне с неразрезным цилиндрическим анодом, частота которых не зависит от параметров внешней колебательной системы, известно давно. В настоящее время подобные колебания исследуются в многорезонаторных магнетронах [8]. Наблюдение аналогичных колебаний в конусном магнетроне с магнитным полем, линейно убывающим вдоль оси магнетрона, выполнено, по-видимому, впервые. Предварительный эксперимент показал возможность генерирования таким магнетроном спектра частот. Для выяснения вопроса, является ли этот спектр сплошным или дискретным, необходим более тщательный анализ составляющих. Это предполагается выполнить в ближайшем будущем.

Чрезвычайно желателен, разумеется, теоретический анализ процессов в конусном магнетроне; такой анализ, однако, далек еще от совершенства и для других типов магнетрона.

Предварительный эксперимент проведен в 1952—1953 гг. Некоторая часть его выполнена бывшим дипломантом Ленинградского университета Э. В. Кальяновым, которому автор выражает свою благодарность.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Калинин, Дециметровые и сантиметровые волны, Связьиздат, М., 1939.
2. В. И. Калинин, Генерирование дециметровых и сантиметровых волн, Связьиздат, М., 1948.
3. С. Я. Брауде, ЖТФ, 10, 217 (1940).
4. С. Я. Брауде, ЖТФ, 15, 107 (1945).
5. A. Zâcêk, Hochfrequenztechnik und Electroakustik, 32, 172 (1928).
6. А. А. Слуцкий, Д. С. Штейнберг, Журн. Русск. физико-химич. общества, 8, 938 (1926).
7. К. Окабе, Proc. IRE, 17, 652, 1929.
8. В. П. Тычинский, Ю. Т. Деркач, Радиофизика и электроника, 1, 733 (1956); 1, 344 (1956).