

## МАГНЕТРОНЫ ДЛЯ ДЕЦИМЕТРОВЫХ ВОЛН

В. М. Бовшеверов и М. Т. Грехова

**Краткое содержание.** В настоящей заметке изложены некоторые результаты работы по возбуждению волн в диапазоне 10—40 см с помощью магнетрона с анодом, состоящим из двух сегментов (так называемого магнетрона с разрезным анодом). Получен экспериментальный материал, позволяющий построить колебательный контур на заданную волну в данном диапазоне. Исследованы два режима колебаний, соответствующие верхнему и нижнему изгибу (характеристики). Показана возможность динатронных колебаний в условиях, соответствующих не только нижнему, но и верхнему изгибу характеристики.

### Введение

Новый электронный прибор — магнетрон с разрезным анодом, состоящим из двух сегментов, в последнее время привлекает к себе все большее внимание. Магнетрон с разрезным анодом находит себе применение в технике, заменяя в некоторых случаях трехэлектродную лампу. Особенно широко возможно использование в области ультракоротких и дециметровых волн. Это объясняется главным образом тем, что коэффициент полезного действия в этом диапазоне частот для магнетронного генератора много больше, чем для обычного генератора с триодом, а также тем, что междуанодная емкость магнетрона существенно меньше междуэлектродной емкости ламп. Однако решение ряда вопросов, и чисто практических и относящихся к выяснению физической природы колебаний в магнетроне, еще только намечается. В настоящей заметке изложены результаты одной части работ по магнетронным генераторам, проводимых в лаборатории колебаний ГИФТИ, именно результаты исследований магнетронного генератора волн длиной 10—40 см.

**§ 1.** Для получения волн, длины которых лежат в диапазоне 10—40 см, весьма удобны магнетроны с колебательным контуром внутри баллона, сделанным из широкой ленты (рис. 1). Преимущество магнетрона такого типа заключается в том, что только контур, сделанный из широкой ленты при достаточно больших размерах анода, дающих возможность значительного рассеивания на нем, может иметь основную волну, лежащую в исследуемом диапазоне.

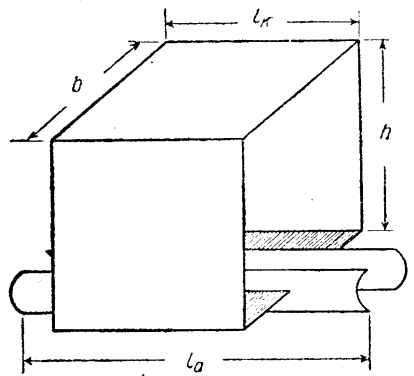


Рис. 1.

Однако расчет собственной волны такого „ленточного“ контура по его геометрическим данным сделать вряд ли возможно. Нам известны только расчеты параметров контуров, сделанных или из цилиндрической проволоки, или из полосы, ширина которой мала в сравнении с радиусом контура (например, формула Релея для самоиндукции круга, сделанного из полосы). Это последнее требование выполняется для исследованных нами магнетронов. Таким образом, зависимость между геометрическими данными контура и его собственной длиной волны, без знания которой невозможно построение магнетрона на заданную частоту, приходится устанавливать эмпирически, хотя качественно легко предвидеть, каким образом будет влиять на частоту изменение тех или иных данных внутри контура. Для установления указанной зависимости был сделан ряд магнетронов, данные которых вместе с длинами генерируемых ими волн приведены в таблице 1. Обозначения в таблице ясны из рис. 1.

В таблице 1 сведены результаты для 5 серий исследованных нами магнетронов. В сериях I и II каждый магнетрон имеет  $l_a = l_k$ , но это значение  $l_a$  и равное ему  $l_k$  меняется от магнетрона к магнетрону внутри каждой серии. Серии отличаются друг от друга диаметрами анодов и значениями  $b$  и  $h$ .

Таблица 1

№ серии	№ магнетрона	$d_a$	$l_a$	$l_k$	$h$	$b$	$\lambda$
I	39	5	30	30	20	20	27,3
I	15	5	20	20	20	20	27
I	7	5	15	15	20	20	26,8
I	20	5	10	10	20	20	27,1
II	11	3	30	30	15	15	21,5
II	12	3	20	20	15	15	22,5
II	6	3	15	15	15	15	22
II	5	3	10	10	15	15	22,2
III	40	5	30	30	20	20	27,2
III	90	5	30	20	20	20	30
III	89	5	30	15	20	20	32,4
III	91	5	30	10	20	20	34,5
III	92	5	30	5	20	20	39,7
IV	41	6	20	20	20	20	26,8
IV	16	6	20	15	20	20	30
IV	17	6	20	10	20	20	32,2
IV	18	6	20	5	20	20	35
V	100	5	20	20	20	40	36,4
V	33	5	20	20	25	25	32,5
V	50	5	20	20	20	25	29,5
V	47	5	20	20	20	20	26,8
V	43	5	20	20	15	15	19,5
V	101	5	20	20	10	10	12,4

Из таблицы видно, что увеличение  $l_a$  и  $l_k$  при сохранении равенства между ними и неизменных остальных размеров не влияет на длину волны. Магнетроны серий III и IV характеризуются различными значениями отношения  $\frac{l_k}{l_a}$ . Длины и диаметры анодов магнетронов этих серий различные, но для обеих серий ширина щели примерно равна  $\frac{1}{3}$  диаметра. На рис. 2 результаты исследований магне-

тронов серий III и IV изображены графически в такой форме: на оси абсцисс отложены  $\frac{l_k}{l_a}$ , а на оси ординат отложены  $\frac{\lambda}{\lambda_0}$ , где  $\lambda$  — длина волны какого-нибудь магнетрона из серий III и IV, а  $\lambda_0$  — длина волны магнетрона, у которого  $\frac{l_k}{l_a}=1$ , а остальные данные, имеющие значение для длины волны контура, т. е.  $b$ ,  $h$ , и отношение между диаметром анода и шириной щели такие же, как у магнетрона, дающего волну  $\lambda$ .

Цифры, стоящие около экспериментальных точек, указывают, из какой серии взят магнетрон. Точки, полученные для обеих серий, хорошо ложатся на одну и ту же кривую.

V серия магнетронов была построена для выяснения влияния размеров контура. Результаты исследований этой серии графически изображены на рис. 3, где по оси ординат отложена длина волны,

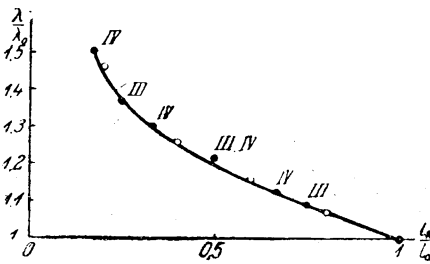


Рис. 2.

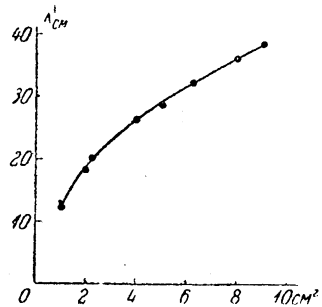


Рис. 3.

а по оси абсцисс — площади контуров. (Ширина щели и длина анода для всей серии одна и та же.) Двумя кривыми рис. 2 и 3 можно воспользоваться для вычисления длины волны любого магнетрона с „ленточным“ контуром и щелью, ширина которой приблизительно равна  $\frac{1}{3}$  диаметра анода, и анодом, диаметр которого лежит в пределах 3—6 мм. Для этого по кривой 3, исходя из площади витка рассчитываемого магнетрона, находим  $\lambda_0$ , т. е. длину волны при — и затем по кривой 2, исходя из значения  $\frac{l_k}{l_a}$  рассчитываемого магнетрона, находим  $\lambda$ , т. е. его длину волны.

Приведем два примера, в одном из которых магнетрон сильно отличается от магнетрона серий III, IV и V, на основании опытов с которыми были построены кривые 2 и 3: 1) магнетрон № 13  $d_a=3$  мм;  $l_a=15$  мм;  $l_k=3$  мм;  $b=h=10$  мм генерирует волну длиной 18 см, а расчет по кривым 2 и 3 дает  $\lambda=18,1$  см; 2) магнетрон № 24;  $d_a=5$  мм;  $l_a=20$  мм;  $l_k=10$  мм;  $b=h=25$  мм генерирует волну 39,1 см, а вычисление по кривым = 39,3 см. Совпадение вполне удовлетворительно. Кроме того с помощью этих кривых был построен магнетрон на волну 10 см. Кривая рис. 2 хорошо представляется формулой:  $\frac{\lambda}{\lambda_0} = 1 - a l_k \frac{l_k}{l_a}$ , где  $a=0,287$ . На рис. кружками отмечены точки, вычисленные по этой формуле, которые хорошо ложатся на кривую. Кривую 3 также можно представить формулой  $\lambda^2 = aS$ , где  $a=172$ . Этими двумя эмпирическими формулами можно пользоваться для вычисления длины волны магнетрона с „ленточным“ контуром.

§ 2. При исследовании генерирования дециметровых волн магнетроном с внутренним контуром нами обнаружено было существование нескольких максимумов интенсивности колебаний в зависимости от напряжения на аноде  $E_a$  при постоянном магнитном поле  $H$ , а также несколько (4—5) максимумов интенсивности в зависимости от  $H$  при постоянном  $E_a$ . На рис. 4

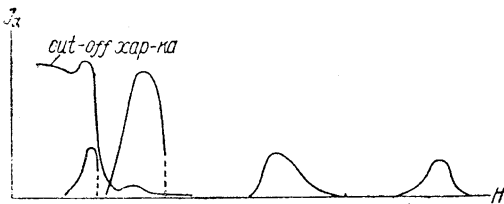


Рис. 4.

приведена характерная кривая зависимости интенсивности колебаний от  $H$  при постоянном  $E_a$ . Кривая состоит из нескольких горбов, причем каждый из них имеет один максимум. При возрастании  $E_a$  вся кривая смещается вправо.

Максимум первого горба всегда имеет место при таких  $E_a$  и  $H$ , которые соответствуют верхнему изгибу cut-off характеристики, т. е. при полях, близких к критическому.<sup>1</sup> Максимум второго горба имеет место при полях несколько больших критических, т. е. вблизи нижнего изгиба cut-off характеристики, а остальные горбы лежат в области полей много больших критических. Назовем колебания, получающиеся при значениях  $E_a$  и  $H$ , соответствующих первому горбу—первой областью колебаний, соответствующих второму горбу—второй областью и т. д. В настоящей заметке мы остановимся только на первых двух областях. На рис. 5 приведены 2 кривые зависимости  $H$  от  $E_a$  для максимумов интенсивности, причем кривая I относится к максимумам 1-го горба, а кривая II—к максимуму 2-го. Пунктиром изображена кривая зависимости критического поля от  $E_a$ , полученная из cut-off характеристик. Ход кривых рис. 5 зависит только от геометрических размеров электродов и не зависит от геометрических данных внутреннего контура, иными словами—не зависит от частоты коле-

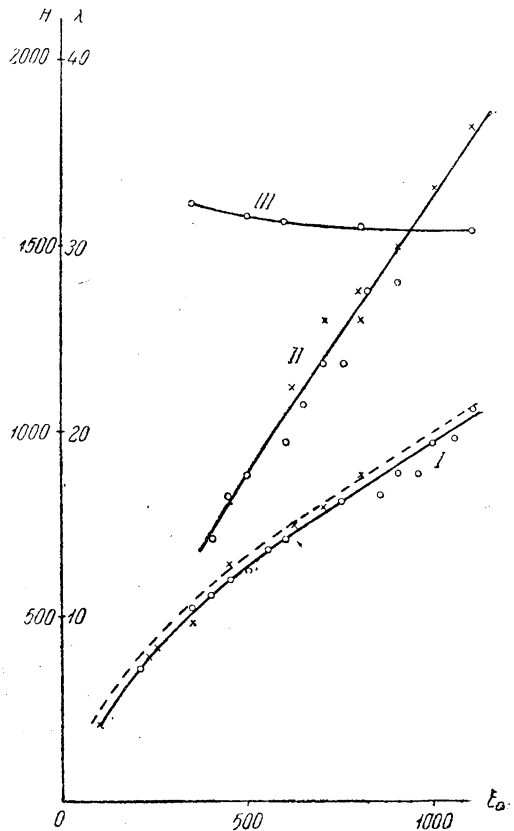


Рис. 5.

<sup>1</sup> Так, для краткости будем называть кривую зависимости анодного тока от магнитного поля  $I_a$  при постоянном напряжении анода.

баний генерируемых магнетронов; например точки кривых рис. 5 были получены из измерений с двумя магнетронами, у которых  $d_a=5$  мм и  $l_a=20$  мм, а контуры их были таковы, что волна одного магнетрона была 22,5 см, а другого—31 см. Каждый магнетрон генерирует волну одной и той же длины на верхнем и нижних изгибах cut-off характеристики.

Эта волна является основной волной его контура. Длина волны на всем интервале напряжения  $E_a$  почти не зависит от последнего (кривая 3 рис. 5). Точно так же изменения пространственного заряда практически не влияют на длину волны; например при изменении тока эмиссии от 20 мА до 200 мА длина волны изменяется на 0,5 мм. Ничтожность зависимости частоты колебаний от  $E_a$  и пространствен-

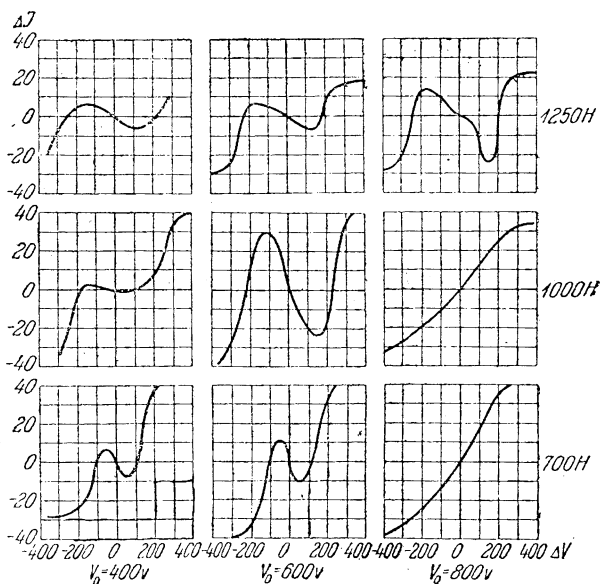


Рис. 6.

ного заряда приводит к заключению, что колебания в первой и второй областях не принадлежат к типу „электронных“.<sup>1</sup> В самом деле, из элементарных соображений легко подсчитать, что в случае „электронных“ колебаний изменение напряжения в пределах, указанных на рис. 5, вызвало бы изменение длины волны на 30%, и изменение пространственного заряда от насыщения до нулевого значения вызвало бы изменение длины волны на 15%.

Для снятия статических характеристик был изготовлен ряд магнетронов, электроды которых имели такую же форму и размеры, как и магнетроны, данные которых приведены в таблице 1, но с выводами от обоих сегментов анода. Полученные статические характеристики для магнетронов с электродами такими же, как у магнетронов, по данным которых построены кривые рис. 4, приведены на рис. 6. Из них видно, что небольшая крутизна характеристик наблю-

<sup>1</sup> Колебания, период которых не зависит от контура, а зависит исключительно от времени полета электронов Мегау и пр., исследователи называют „электронными“.

дается примерно при тех же значениях  $H$  и  $E_a$ , которые соответствуют кривой 2 рис. 4. Если же к этим магнетронам присоединить контуры с собственными волнами в диапазоне 3—10 м, то также на обоих изгибах cut-off характеристик, т. е. в обеих так называемых областях, наблюдаются колебания. Необходимо отметить, что для ультракоротких волн настройка магнитным полем и напряжением  $E_a$  на верхнем изгибе cut-off характеристики столь же острая так же, как и для дециметровых волн, а на нижнем существенно более тупая, чем для дециметровых волн. Как для дециметровых, так и для ультракоротких волн мощность колебаний на верхнем изгибе в 2—3 раза, а к. п. д. в 5—10 раз меньше, чем для колебаний на нижнем изгибе.

Сравнивая условия возбуждения дециметровых и ультракоротких волн, можно сказать следующее: в обоих случаях колебания получаются при одних и тех же значениях  $E_a$  и  $H$  (на одних и тех же участках cut-off характеристики), и как раз при этих значениях  $E_a$  и  $H$  статические характеристики магнетрона имеют падающие участки (рис. 6), мощность и к. п. д. при переходе от верхнего к нижнему изгибу cut-off характеристики изменяются в обоих случаях одинаковым образом; напряжение  $E_a$  и пространственный заряд в обоих случаях одинаково мало влияют на частоту. Таким образом аналогия условий возбуждения дециметровых и ультракоротких волн также подтверждает, что не только колебания, получающиеся на нижнем сгибе характеристики, не электронные, но и колебания на верхнем сгибе характеристики безусловно не электронного характера. Хотя в ряде случаев было отмечено, что интенсивность этих колебаний возросла, когда время пролета электронов было довольно близко собственному периоду контура. Кроме этих колебаний при полях, меньше критических, еще до верхнего изгиба cut-off характеристики также наблюдались колебания малой интенсивности, для которых было отмечено возрастание интенсивности при совпадении времени пролета электронов с периодом контура. Период этих колебаний определялся также периодом контура. Относительно амплитуд получающихся колебаний необходимо отметить, что амплитуды в случае генерации дециметровых волн очень малы. Доказательством этого может служить то, что анодный ток при колебаниях нижней части cut-off характеристики возрастает на 1—2 мА и достигает 2—5 мА. Конечно, мощность колебаний и амплитуды колебательных напряжений возрастает при увеличении напряжения и соответствующего ему поля, но при малых полях и напряжениях увеличить мощность сколько-нибудь существенно (в несколько раз) можно только введением асимметрии в расположение электродов магнетрона. Введение асимметрии в расположение электродов магнетрона дало возможность увеличить мощность получаемых дециметровых волн в 4—7 раз для одинаковых напряжений анода.

Г. Горький, ИФТИ  
Горьковского университета  
Лаборатория колебаний

Поступило в Редакцию  
31 июля 1934 г.