

ОБЕРТОНЫ КОНТУРА МАГНЕТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА САНТИМЕТРОВЫХ ВОЛН

М. Грехова и В. Гапонов

Описаны магнетроны с внутренними контурами, имеющими ряд негармонических обертонов. Исследовано влияние электронов, эмиттируемых концами нити накала, на мощность колебаний.

1. В литературе неоднократно описывались магнетроны, анодная система которых состоит из двух анодных сегментов и небольшого контура в виде проволочной или ленточной дужки, лежащей внутри баллона. Эта анодная система носит распределенный характер и обладает рядом (в той или иной степени негармонических) обертонов.

Насколько нам известно, возможность возбуждения контура описанного выше типа в обертоне не была экспериментально доказана. Теоретически вычислены собственные частоты этого контура, но условия возбуждения того или иного обертона остаются неисследованными;¹ поэтому, хотя изложенные ниже результаты получены нами еще в 1937—1938 гг., мы все же полагаем, что они и в настоящее время имеют известный интерес, хотя с тех пор техника изготовления магнетронов для сантиметровых волн далеко шагнула вперед.

2. Анодная система магнетрона имела следующий вид (рис. 1,а). К аноду из танталовой жести 0.5 мм приварен контур в виде плоской прямоугольной рамки из той же жести, сложенной вдвое. Контур удобно приваривать к аноду, отгибая в разные стороны концы обеих полосок тантала, из которых он сложен. Отогнутые концы служат радиаторами. Для повышения предела мощности, рассеиваемой на аноде, можно приварить к сегментам анода добавочные радиаторы. Такая конструкция обладает значительной прочностью и не деформируется ни при тренировке, ни в эксплуатации. Именно это свойство контура, имеющего вид плоской прямоугольной рамки, заставило предпочесть его ленточному контуру, который мы применяли раньше.² Вывод колебаний осуществлялся с помощью лехеровой системы, имевшей емкостную связь с контуром (рис. 1,б). Все детали магнетрона могут штамповаться. Сборка магнетрона не представляет никаких трудностей при серийном изготовлении. Колебательная мощность оценивалась по лампочке, включенной в лехерову систему, и одновременно градуировалась термомпара, помещенная в фиксированном положении вблизи магнетрона; таким образом было возможно перейти от больших мощностей к малым (т. е. таким, при которых лампочка не накаливалась до свечения) путем экстраполяции градуировочной кривой термомпары.

Рис. 2 дает представление о возбуждении обертонов контура (данные контура: диаметр анода — 4 мм, длина — 8 мм; рамка прямоугольная, наружная боковая сторона рамки длиной 6.8 см, ширина полосы тантала 1.5 мм).

¹ Вычисление собственных частот было сделано Копилевичем (ЖТФ, VII, вып. 15, 1937) и Кренгаузом (Труды Н.-и. инст. связи морских сил РККА, № 2, 1936). В обеих работах расчеты проверены экспериментально с удовлетворяющими результатами только для основной частоты контура для волн не короче 20 см. Оба автора рассматривают контур как отрезок двухпроводной линии, замкнутый на емкость. Контур, исследованный нами, очень отличен от такой идеализации, и для него этот метод расчета не может дать верных результатов, во всяком случае для обертонов, как это в действительности и оказалось.

² В. М. Бовшеверов и М. Т. Грехова. ЖТФ, V, 60, 1935.

Кривая CC' дает зависимость λ от V_a , вычисленную по формуле $\lambda = \frac{12300 r_a}{6.72 V_a^{1/2}}$, в основе которой лежит предположение, что период колебаний равен времени пробега электронов и что поле между электродами изменяется по логарифмическому закону. Интервалы напряжений V_a , в которых магнетрон фактически возбуждается, даются отрезками 1, 2, 3, 4 (зависимость λ от V_a) и кривыми 1', 2', 3', 4' (зависимость мощности W от V_a). Эти области соответствуют первым четырем собственным частотам контура. Внутри каждой

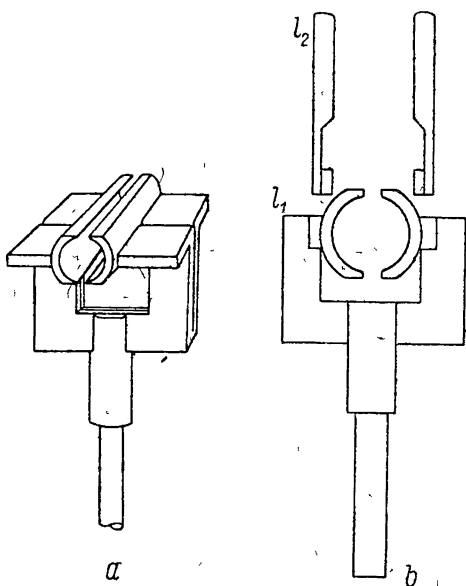


Рис. 1.

области наблюдается небольшое изменение собственной частоты. Отрезки 1, 2, 3, 4 примерно ложатся на кривую, подобную кривой CC' , но с несколько меньшим значением постоянной (между 12300 и 10600). Как и следовало ожидать, обертоны контура оказались в сильной степени негармоническими. Уклонение от гар-

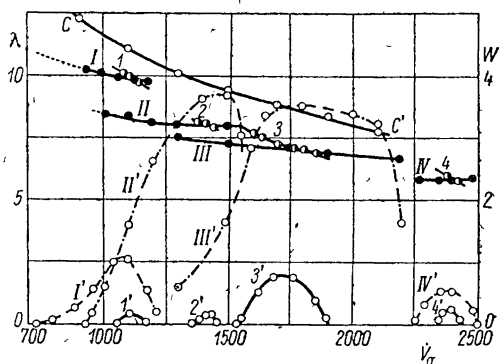


Рис. 2.

моничности обусловлено, во-первых, тем, что размеры сегментов сравнимы с размерами рамки и, во-вторых, большой шириной рамки.

Из рис. 2 видно, что, когда контур возбуждается в том или ином обертоном, время пробега электронов близко к периоду этого обертона. Повышая напряжение и меняя соответственно магнитное поле, можно возбуждать один за другим обертоны все более высокого порядка. Обертоны порядка выше четвертого нам возбуждать не удалось из-за перегрузки анода.

Таким образом контуры могут возбуждаться в довольно широком диапазоне частот (изменение частоты до 40%), хотя и нельзя обеспечить перекрытие всего диапазона без пропусков (пропуски оказались меньше у магнетронов, имевших более длинный анод). Следовательно, продвинуться в область сантиметровых волн можно, уменьшая размеры контура, возбуждаемого в основной частоте, или возбуждая контур больших размеров в обертоном. Само собой разумеется, что оба способа можно совместить, если ставить себе задачу получения кратчайших волн.

Мы в настоящей работе в основном использовали способ возбуждения обертонов контура, сохраняя за контуром такие размеры, чтобы его сборка не оказывалась слишком трудной.

Интересно сравнить мощность и к. п. д. обертонов разных порядков. Для магнетронов, основная волна которых лежала в пределах от 6 до 11 см, к. п. д. основного колебания 2-го и 3-го обертонов получались примерно равными. Для магнетронов, основная волна которых лежала в пределах от 4 до 6 см, к. п. д. только первых двух собственных колебаний примерно одинаковы; к. п. д. обертонов 3-го и 4-го порядка много меньше. Это видно из приводимой таблицы.

№ магнетрона	Порядок обертонна	λ см	V	Колеб. мощность W	Рассеив. мощность W	К. п. д.
I . . .	1	4.4	1400	0.6	28	2.2
I . . .	2	3.8	2000	0.6	30	2.0
I . . .	3	3.3	2400	0.3	47	0.7
II . . .	1	5.3	1150	0.7	25.6	2.7
II . . .	2	4.5	1600	0.7	27	2.6
II . . .	3	3.9	2000	0.4	40	1.0
II . . .	4	3.4	2600	0.2	57.2	0.35

При измерении мощности по лампочке, включенной в лехер, часто наблюдались очень большие потери в стекле лампочки. При этом стекло настолько нагревалось, что наблюдалось его размягчение. Это указывает на то, что колебательная мощность, показанная в таблице, меньше имевшейся в действительности.

Такого же рода потери имеются и в месте впая лехеровой системы в баллон магнетрона. Изменяя место впая, можно было добиться минимума потерь в стекле баллона, помещая впай на расстоянии в четверть волны от конца (в узле напряжения). При этом было отмечено в отдельных случаях увеличение к. п. д. в 1.5—2 раза. Увеличение к. п. д. будет наблюдаться для данного магнетрона только для к. п. д. одного обертонна; для другого обертонна впай нужно было делать в другом месте. В цифры, приведенные в таблице, это обстоятельство вносит некоторую ошибку: место впая неизбежно расположено так, что условия более благоприятны для какого-нибудь одного обертонна, чем для других. Однако заключение о снижении к. п. д. для обертоннов 3-го и 4-го порядка, выведенное из данных таблицы, остается верным; это обстоятельство было многократно проверено на многих магнетронах, у которых вариировалось место впая лехера. Нам представляется возможным, что при иной форме контура удалось бы и для волн в 4—6 см добиться увеличения к. п. д. обертоннов 3-го и 4-го порядка. Этот вопрос остался неразрешенным.

Следует заметить, что магнетрон возбуждается в том или ином обертоне только в очень небольшом интервале анодных напряжений.

3. Одной из причин сужения интервала напряжений, в котором возбуждается магнетрон, следует считать влияние электронов, эмиттируемых из концов нити, выступающих из анода. Эти электроны имеют траектории, отличающиеся от траекторий электронов, эмиттируемых серединой нити, и время пролета, отличное от времени пролета основной массы электронов. Присутствие электронов, эмиттируемых из концов нити, среди основной массы электронов, попадающих на анод из середины нити, должно вредно отзываться на работе магнетрона. Нежелательные электроны можно устранить с помощью „оконечных пластин“ (end plates), введенных Линдером.³ Линдер видел назначение оконечных пластин в уменьшении пространственного заряда внутри анода и подавал на них поэтому большое положительное напряжение, равное примерно половине анодного. Однако уже сам Линдер нашел, что колебания при нулевом напряжении на пластинах могут иметь мощность большую, чем при положительном напряжении. Это указывало на то, что действие пластин во всяком случае не ограничивается влиянием на пространственный заряд.

Для сравнения работы магнетрона с оконечными пластинами с работой обычного магнетрона применялись магнетроны, оконечные пластины которых крепились на гибком стеклянном вводе и могли быть отведены далеко в сторону от анода. Таким образом в одном и том же приборе можно было осуществить переход от простого магнетрона к совершенно такому же, но снабженному оконечными пластинами.

³ Linder, PIRE, 24, 1936.

Статическая характеристика и характеристика среза (cut off) магнетрона с оконечными пластинами при нулевом или отрицательном напряжении V_p на них имели большую крутизну, чем соответствующие характеристики простого магнетрона. При этом крутизна статической характеристики оставалась одинаковой при изменении V_p от $V_p=0$ до $V_p=-\frac{3}{4}V_a$.

На рис. 3 показана зависимость мощности колебаний магнетрона с оконечными пластинами от напряжения на пластинах V_p . Линдером была использована область больших положительных напряжений V_p , отмеченная цифрой 1.

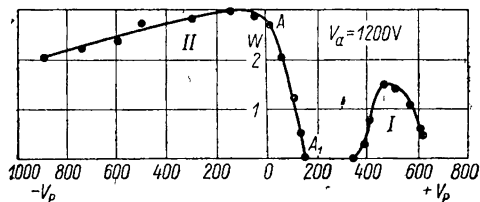


Рис. 3.

Видно, во-первых, что в области отрицательных напряжений V_p мощность больше, чем при положительных V_p , к. п. д. при отрицательных V_p также оказывается больше. Во-вторых, в области отрицательных V_p ток на пластине $I_p=0$, что облегчает питание оконечных пластин. Заслуживает также

внимания участок AA_1 при небольших положительных напряжениях V_p , так как на этом участке удобно осуществлять модуляцию генератора, подавая модулирующее напряжение на боковые пластины.

Крутизна участка AA_1 и смещение зависят как от конструкции магнетрона, так и от V_a .

Для сравнения магнетрона с оконечными пластинами с простым магнетроном в колебательном режиме были также использованы магнетроны с подвижными оконечными пластинами. Результаты нанесены на рис. 2. Области возбуждения различных обертонов даются отрезками I, II, III, IV (зависимость λ от V_a) и кривыми I', II', III', IV' (зависимость W от V_a). Области возбуждения всех обертонов значительно расширились, и мощность колебаний получилась больше. Области возбуждения соседних обертонов могут частично перекрываться, т. е. имеет место своего рода затягивание. Влияние концов нити, естественно, тем меньше, чем больше длина анода, так что оконечные пластины эффективнее в коротких магнетронах, применяемых для получения самых коротких волн. Это обстоятельство было проверено экспериментально на серии магнетронов, отличавшихся только длиной анода.

Горький.
Физико-технический институт.

Поступило в Редакцию
5 февраля 1940 г.