

## К ВОПРОСУ О РАСШИРЕНИИ ЗОН КОЛЕБАНИЙ МАЛОСЕГМЕНТНЫХ МАГНЕТРОНОВ

Г. Л. Вительс

Выясняется возможность расширения зон колебаний в малосегментных ( $N = 2, 4, 6$ ) дециметровых магнетронах в режиме  $\pi$ -вида колебаний. Использование широкополосных анодных систем в виде разомкнутых отрезков линий малой электрической длины позволило получить девиацию частоты  $\Delta f/f_{\text{ср}} = \pm 7-12\%$  ( $f_{\text{ср}} \approx 500$  мГц). Анодный ток слабо изменялся с изменением анодного напряжения. Крутизна частотной характеристики зависела от числа сегментов.

1. В опубликованных за последнее время работах [1-3] указывается на возможность получения широкополосной частотной модуляции многосегментных ( $N=12$ ) магнетронов с толстым катодом, работающих в определенных режимах и при наличии нерезонансных анодных систем.

Проведенные в нашей лаборатории экспериментальные исследования малосегментных дециметровых магнетронов [4,5] с тонким катодом и аперийодической анодной нагрузкой, работающих в режиме  $\pi$ -вида колебаний с большими магнитными полями ( $H/H_{\text{кр}} = 1,7 - 2,3$ ) и малыми анодными токами, показали, что в них возможно осуществить частотную модуляцию с девиацией частоты  $\pm 5-10\%$  за счет изменения анодного напряжения. Рассчитанные частотные зависимости [5] качественно согласуются с экспериментом, проведенным в основном с четырехсегментными магнетронами. В свою очередь, ход экспериментальных частотных характеристик достаточно хорошо совпадал с известной зависимостью Постумуса

$$\lambda (\text{см}) = \frac{942 r_a^2 H}{p U_a}. \quad (1)$$

Была произведена попытка использовать в качестве широкополосной анодной нагрузки отрезок двухпроводной линии, являющейся в обычных дециметровых магнетронах частью резонансной колебательной системы (рис. 1).

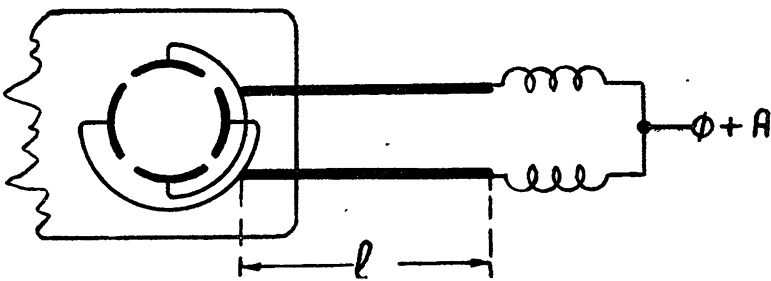


Рис. 1.

Принимая во внимание емкость между сегментами и пренебрегая индуктивностью связей, обеспечивающих  $\pi$ -вид колебаний, можно полагать, что для осуществления широкополосной нагрузки

необходимо иметь отрезок длинной линии с емкостным входным сопротивлением (для предотвращения резонансных явлений в определенном диапазоне частот). Этого можно достичь, используя разомкнутый отрезок двухпроводной линии длиной  $l$ , меньшей четверти длины волны.

Например, для диапазона волн  $50 \div 100$  см при  $l = 5$  см электрическая длина линии ( $\beta l$ ) изменится на  $25^\circ$  (от  $20^\circ$  до  $45^\circ$ ) (рис. 2),

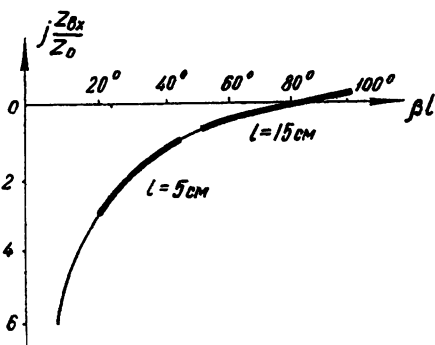


Рис. 2.

а величина входного сопротивления изменяется всего в три раза и имеет достаточно большую величину порядка волнового сопротивления во всем интервале  $\beta l$ .

Использовать линии с длиной, большей четверти длины волны, не представляется интересным, поскольку при небольшом изменении частоты резко меняется величина входного сопротивления такой системы.

Действительно, при  $l = 15$  см электрическая длина линии изменяется на  $55^\circ$  (от  $50^\circ$  до  $105^\circ$ ),

а входное сопротивление имеет большое число раз.

Таким образом, при увеличении  $l$  интервал  $\beta l$  увеличивается и одновременно смещается в сторону больших  $\beta l$ , что приводит к уменьшению входного сопротивления и значительному изменению его величины. При уменьшении же длины  $l$  интервал  $\beta l$  для того же диапазона частот уменьшается; одновременно происходит увеличение входного сопротивления системы при значительно меньшем изменении его абсолютной величины. Аналогичная картина имеет место при использовании малого отрезка длинной линии с небольшой емкостью на конце.

Из изложенного следует, что разомкнутые отрезки в определенном диапазоне частот, соответствующем малым электрическим длинам отрезков, могут быть использованы как аperiодические системы с достаточно большим входным сопротивлением.

Поскольку такие анодные системы предполагалось использовать для получения в магнетронах нерезонансных пролетных колебаний, возникающих при достаточно большом сопротивлении между сегментами, необходимо было убедиться, что наблюдаемые колебания являлись именно такими нерезонансными колебаниями, зависящими от сопротивления системы и от числа сегментов, а не колебаниями типа сплошного магнетрона, обусловленными чисто электронными явлениями в пространстве взаимодействия и не связанными с числом сегментов анода и сопротивлением нагрузки [6,7].

Подобную проверку можно провести, используя свойства короткозамкнутых и разомкнутых отрезков двухпроводной линии различной длины при работе магнетронного генератора в определенной полосе частот, обусловленной его электрическим режимом.

Качественное рассмотрение изменения входного сопротивления короткозамкнутых отрезков линий дает основание предполагать, что при достаточно больших  $l$  будут наблюдаться резонансные колебания  $\pi$ -вида с частотой настроенного контура. С уменьшением длины  $l$ , т. е. с уменьшением входного сопротивления анодной системы, в тех же самых режимах магнетрона можно ожидать появления электронных колебаний типа сплошного магнетрона. С другой стороны, с анодными системами в виде разомкнутых

отрезков двухпроводной линии при относительно большой их длине, по-видимому, также будут наблюдаться резонансные колебания  $\pi$ -вида, а уменьшение  $l$  приведет к образованию широкополосной нагрузки и к возможности получения нерезонансных колебаний  $\pi$ -вида, перестраиваемых в зависимости от анодного напряжения.

2. Были исследованы лампы с  $r_a = 0,5$  см,  $l_a = 1,5$  см,  $r_k = 0,015$  см и различным числом сегментов ( $N = 2, 4, 6$ ), соединенных через один связками для обеспечения  $\pi$ -вида колебаний, а также исследовались магнетроны со сплошным анодом таких же геометрических размеров (по две лампы каждого типа).

Во время эксперимента особое внимание уделялось стабильности источников питания. Для питания накала использовались аккумуляторы, анодное напряжение подавалось от стабилизированного высоковольтного выпрямителя с малым коэффициентом пульсации. Питание электромагнита осуществлялось от генератора постоянного тока 120 в. Для определения относительной интенсивности колебаний использовался аperiодический контур с детектором и микроамперметром. Частота измерялась волномером класса 0,5. Связь генератора с волномером подбиралась по возможности более слабой. Области колебаний снимались по точкам через каждые 50 в.

Для сопоставления зон колебаний разрезных и сплошных магнетронов последние изучались в тех же режимах, что и разрезные магнетроны. Экспериментальные частотные характеристики свидетельствуют о том, что сплошной магнетрон генерирует в достаточно широкой полосе частот. Эти характеристики находятся между теоретическими кривыми, рассчитанными по формуле (1) для  $p = N/2 = 2$  и  $p = 3$  (ближе к зависимости, соответствующей значению  $p = 2$ ).

На рис. 3 представлена серия частотных характеристик, снятая при постоянном магнитном поле  $H = 1200$  эрстед и различных токах накала  $J_H$  для двухсегментного магнетрона. Анодная система представляла собой разомкнутый отрезок двухпроводной линии длиной 5 см. Наиболее широкополосные колебания получались при токе накала  $J_H = 6a$  (при таком токе катод находился в режиме температурного ограничения). Эта зависимость достаточно хорошо совпадает с теоретической (жирная кривая). При токе накала  $J_H = 6,2 \div 6,4 a$  появляются колебания другого типа, соответствующие, по-видимому, электронным колебаниям сплошного магнетрона. Это указывает на критичность выбора температурного режима в данном случае. Аналогичная картина получалась и с другой двухсегментной лампой. Рис. 4 показывает ход частотных характеристик двухсегментного магнетрона при использовании анодной нагрузки в виде короткозамкнутых отрезков лехера различной длины ( $l = 4 \div 20$  см). Как и следовало ожидать, существуют два типа колебаний: резонансные колебания  $\pi$ -вида, соответствующие определенной (достаточно большой) длине линии, и чисто электронные колебания типа сплошного магнетрона. Последние наблюдались при  $l = 4 - 8$  см, когда входное сопротивление анодной системы имеет незначитель-

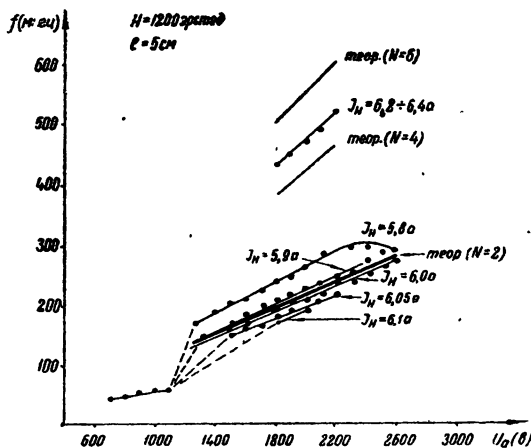


Рис. 3.

ную величину (почти короткое замыкание между сегментами по высокой частоте). На рис. 5 отдельно представлена зависимость частоты генерируемых колебаний от длины короткозамкнутого отрезка линии при  $U_a = 2000$  в,  $H = 1200$  эрстед и  $J_H = 6a$ .

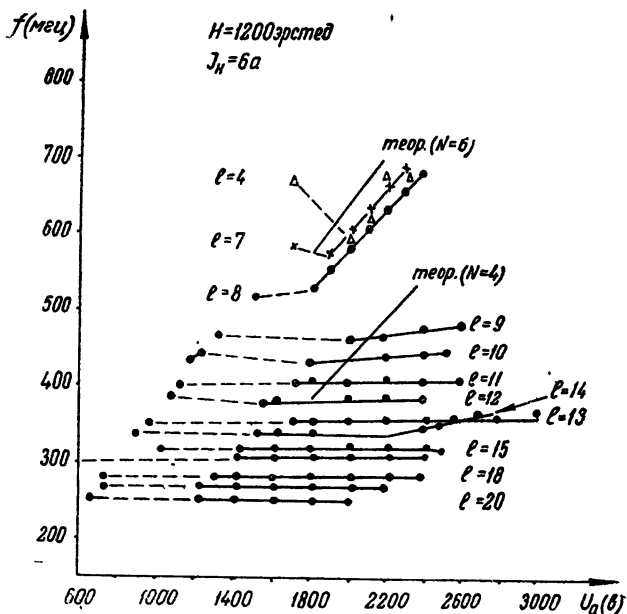


Рис. 4.

Аналогичные исследования были проведены с шестисегментными магнетронами с тонким катодом (см. рис. 6). Длина короткозамкнутого отрезка линии изменялась от 4 до 17 см. При изменении  $l$  от 17 см до 7 см в начале частотных характеристик наблюдались

резонансные колебания  $\pi$ -вида большой интенсивности с частотой настроенного контура. С дальнейшим ростом анодного напряжения появились две частотные зависимости (I и II), существующие одновременно, но по мере уменьшения  $l$  все большая часть колебательной мощности начинает приходиться на колебания, характеризующиеся второй зависимостью. Зависимость I довольно хорошо описывается

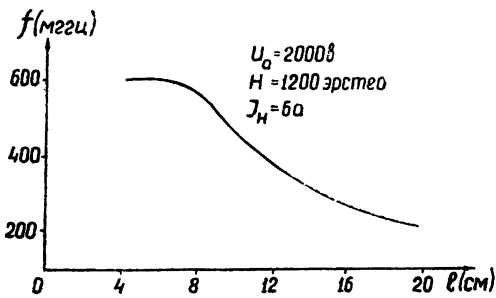


Рис. 5

соотношением (1), рассчитанным для  $p=3$ , в то время как вторая зависимость не удовлетворяет ему. Начиная с  $l=6$  см и меньше существует только один тип колебаний, соответствующий второй кривой. Все это дает основание предполагать, что эта кривая обусловлена колебаниями типа сплошного магнетрона. Для более полного выяснения характера колебаний шестисегментного магнетрона производилась также серия экспериментов с анодной системой в виде разомкнутого лехера различной длины (рис. 7). Резонансные колебания  $\pi$ -вида существуют при больших длинах лехеровых систем ( $l=28 \div 10$  см). Пунктиром обозначены срывы колебаний. При этом наблюдались нерезонансные колебания  $\pi$ -вида, соответствующие соотношению (1) для  $p=3$ . Стабильные нерезонансные колебания  $\pi$ -вида в широком диапазоне изменений анодного на-

пряжения (1100 ÷ 1800 в) наблюдались при  $l = 8 \div 4$  см, причем колебательная мощность увеличивалась при уменьшении длины линии. Все это удовлетворительно согласуется с характером изменения входного сопротивления такой системы.

В шестисегментном магнетроне также наблюдалось изменение генерируемой частоты с ростом тока накала (тока эмиссии). При изменении тока эмиссии от 2,4 до 2,52 ма частота изменялась на 20 мгц, в то время как у двухсегментного магнетрона при увеличении тока эмиссии от 2,32 ма до 2,44 ма частота изменялась на 65 мгц при одной и той же средней частоте.

3. Из приведенных в данном сообщении результатов можно сделать следующие выводы.

Рассмотрение изменения входного сопротивления разомкнутых отрезков длинной линии показывает, что при малой электрической длине ( $\beta l$ ) они могут служить широкополосными системами с достаточно большим входным сопротивлением.

В малосегментных магнетронах ( $N = 2, 4, 6$ ) при использовании таких нагрузок и определенных рабочих режимах [4,5] можно получить достаточно широкополосные ( $\Delta f/f_{cp} = \pm 5 \div 10\%$ ) нерезонансные колебания  $\pi$ -вида, удовлетворяющие соотношению Постумуса.

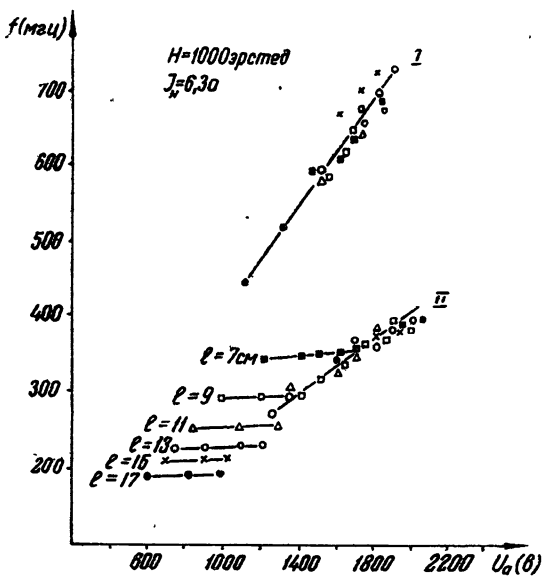


Рис. 6.

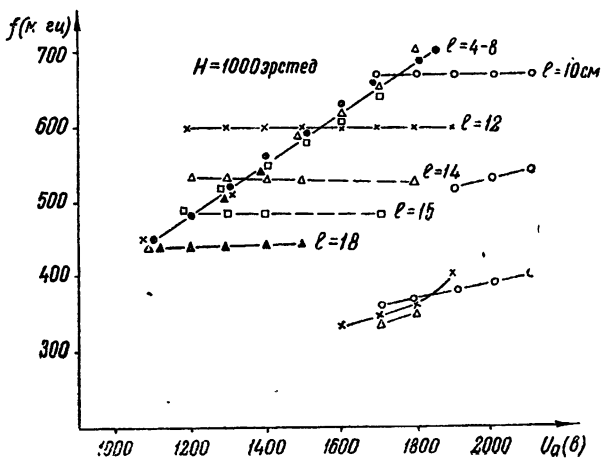


Рис. 7.

Экспериментальные частотные характеристики магнетронов с анодными нагрузками в виде короткозамкнутых и разомкнутых отрезков двухпроводных линий различной длины подтверждают высказанные выше качественные соображения о влиянии анодной нагрузки на генерирование различных типов колебаний: нерезонан-

ных пролетных широкополосных колебаний  $\pi$ -вида, резонансных колебаний этого же вида и колебаний типа сплошного магнетрона.

Изменение генерируемой частоты в зависимости от тока накала, при оптимальной величине которого получается наибольшая девиация частоты, а также возможность перескока с широкополосных колебаний  $\pi$ -вида на колебания другого типа при росте тока накала свидетельствуют о критичности выбора рабочей температуры катода.

В заключение считаю своим долгом выразить благодарность Г. М. Герштейну за ряд ценных советов, данных им при просмотре рукописи.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. H. Welch, Proc. IRE, 41, 1631 (1953).
2. J. S. Needle, IRE Trans., ED—1, 18 (1954).
3. J. Boyd, Conv. Record IRE, 2, 139 (1954).
4. Г. М. Герштейн, Г. Л. Вительс, Радиотехника и электроника, 2, 120 (1957).
5. Г. Л. Вительс, Научный ежегодник СГУ, 1955 (в печати).
6. P. Guenard, O. Huber, Ann. Radioelectr., 7, 252 (1952).
7. В. П. Тынчинский, Ю. Т. Деркач, Радиотехника и электроника, 1, 233 (1956); 1, 344 (1956).

Саратовский государственный  
университет

Поступила в редакцию  
8 января 1958 г.