

К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ УСИЛЕНИЯ В ОДНОЛУЧЕВОЙ ЭЛЕКТРОННО-ВОЛНОВОЙ ЛАМПЕ

И. Г. Козлов

На основании полученных ранее экспериментальных результатов рассмотрена с новой точки зрения работа однолучевой лампы Гаева. Вычислены области усиления прибора для некоторых значений ускоряющего напряжения. Полученные результаты находятся в удовлетворительном соответствии с экспериментальными результатами.

В связи с предпринятым изучением структуры и некоторых специфических особенностей электронных потоков, используемых в современных электровакуумных приборах СВЧ, было проведено экспериментальное исследование распределения скоростей электронов в ленточном электронном потоке, сформированном прожектором типа Пирса [1].

Исследование проводилось методом цилиндрического конденсатора Юза—Рожанского [2] в отпаянном приборе при давлении $p \leq 10^{-6}$ мм рт. ст.; разрешающая способность $V/\Delta V$ анализатора была равна 35.

Полученные результаты представлены графически на рис. 1,

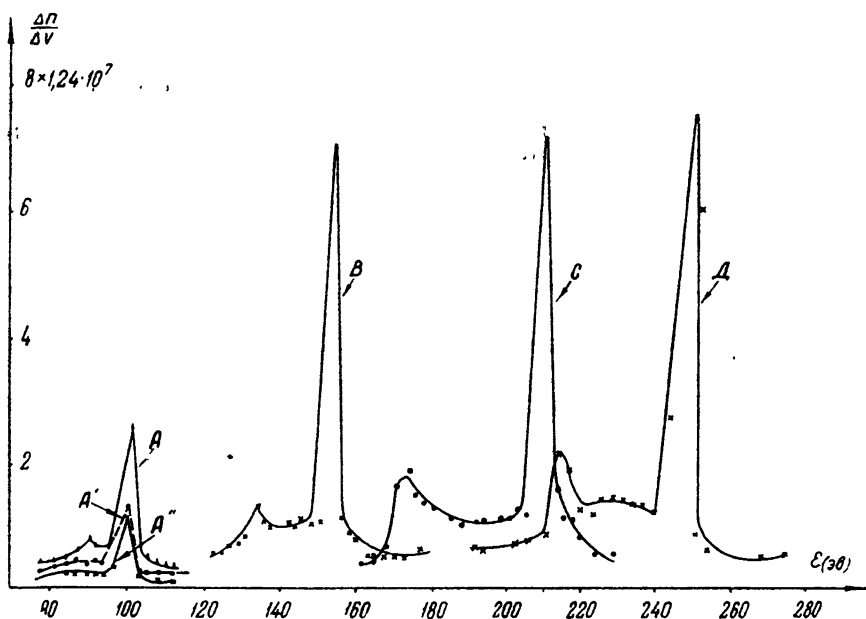


Рис. 1. Экспериментальная зависимость распределения количества электронов $\Delta n/\Delta V$ от их энергии ϵ :

(А) — ускоряющее напряжение $u_a = 100$ в, ток пучка $J = 0,2$ ма; (А') — $u_a = 100$ в, $J = 0,13$ ма; (А'') — $u_a = 100$ в, $J = 0,1$ ма; (В) — $u_a = 150$ в, $J = 0,42$ ма; (С) — $u_a = 200$ в, $J = 0,55$ ма; (Д) — $u_a = 250$ в, $J = 0,75$ ма.

где по оси абсцисс отложены энергии электронов ε , по оси ординат — число электронов, приходящихся на интервал разрешимых скоростей.

Как видно из рассмотрения экспериментальных кривых, наряду с основными максимумами, примерно соответствующими ускоряющим напряжениям, наблюдается появление и рост вторых максимумов, меньших по величине и отделенных от основных интервалами в несколько десятков вольт. Интенсивность дополнительных максимумов возрастает с увеличением ускоряющего напряжения U_a .

Эти явления с качественной стороны представляются аналогичными экспериментальным результатам Деймонда [3] и Макмиллена [4], исследовавшим распределение скоростей в потоках электронов, проходивших через газовые среды (гелий, аргон, водород; $p \approx 10^{-2} - 10^{-3}$ мм рт. ст.). Результаты проведенных наблюдений [1], по-видимому, можно объяснить в первом приближении так же, как результаты [3,4], а именно — влиянием на распределение скоростей неупругих соударений электронов с молекулами газов или вторичной эмиссией.

Наличие в распределении электронов по скоростям двух максимумов, достаточно отчетливо выраженных и наблюдаемых при таких давлениях остаточных газов, которые обычно устанавливаются в электровакуумных приборах, позволяет, по нашему мнению, обосновать работу однолучевой электронно-волновой лампы Гаева [5]. Анализ процессов в этой лампе представляется тем более интересным, что ранее предложенное для объяснения ее работы допущение о своеобразном распределении потенциала по сечению потока не может, как показал Кент [6], объяснить возникновение более или менее резко выраженных линий в спектре электронных скоростей.

Предположим, что в электронном потоке, используемом в однолучевой лампе Гаева, в силу описанных выше причин, установилось распределение по скоростям, аналогичное приведенному на рис. 1. Допустим далее, что фокусирующее однородное магнитное поле, направленное по оси потока, не искажает функции распределения для осевых компонент скорости. Задание функции распределения электронов по скоростям дает возможность определить полосу частот и максимальное усиление на единицу длины, характеризующие однолучевую лампу при данной структуре электронного потока.

Для решения задачи может быть применено дисперсионное уравнение Власова [7], которое при помощи подстановок

$$R = (\omega_1/\omega_2)^2; \quad W = \omega/\omega_2; \quad z = \beta v_2/\omega_2$$

приводится к виду:

$$\frac{R}{[W - (v_1/v_2)z]^2} + \frac{1}{(W - z)^2} = 1, \quad (1)$$

где ω_1 и ω_2 — частоты собственных колебаний плазмы для потоков, соответствующих максимумам функций распределения; v_1 и v_2 — средние скорости соответствующих электронных потоков; ω и v — частота и фазовая скорость волны; $\beta = \omega/v$ — постоянная распространения.

Как показал численный расчет, разбросом скоростей в соответствующих электронных потоках можно пренебречь.

Используя значения средних плотностей пространственных зарядов пучков и величины их поперечных сечений, можно опре-

делить значения частот плазмы, соответствующих основным максимумам: при $u_a = 150$ в $\omega_2 = 3,4 \cdot 10^8$ гц; при $u_a = 200$ в $\omega_2 = 3,5 \cdot 10^8$ гц и при $u_a = 250$ в $\omega_2 = 3,86 \cdot 10^8$ гц. (Следует заметить, что приводит-

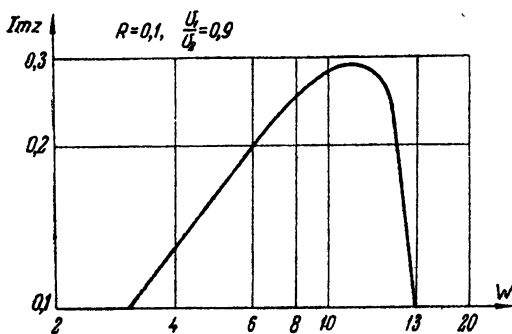


Рис. 2.

мые значения ω_2 несколько завышены, так как площадь поперечного сечения потока принималась равной площади анодного отверстия электронного прожектора.)

Для указанных анодных напряжений параметры v_1/v_2 и R уравнения (1) равны соответственно 0,9 и 0,1. Этому случаю отвечает кривая, представленная на рис. 2 и являющаяся решением уравнения (1) [8].

Используя эту кривую и выражение для усиления на единицу длины

$$G = 20 \lg \frac{u_2}{u_1} = 8,7 \frac{\text{Im}z \omega_2}{v_2} \text{ дб/м} \quad (3)$$

(u_1 и u_2 — значения напряжений СВЧ соответственно при $x = a$ и $x = a + 1$), а также приведенные выше значения ω_2 , найдем области усиления лампы и значения коэффициента усиления для центров этих областей (см. рис. 3).

Из рис. 3 следует, что рассматриваемое устройство является весьма широкополосным усилителем (если входные и выходные цепи не налагают частотных ограничений): например, на уровне в 35 дб может усиливать полосу частот $\Delta f = 550 \div 600$ мгц, что при частоте $f_0 = 7 \cdot 10^8$ гц составляет около 81%. С ростом ускоряющего напряжения область усиления смещается в сторону более высоких частот. Усиление при $u_a = 150$ в несколько больше, чем при $u_a = 200$ в и 250 в. Заметим, что равенство коэффициентов усиления для центров областей, соответствующих $u_a = 200$ в и $u_a = 250$ в, может быть объяснено на основании элементарной теории ЭВЛ.

Отмеченные закономерности подтверждаются экспериментальными результатами, установленными Гаевым при исследовании однолучевой лампы. Это обстоятельство может в известной мере служить подтверждением правильности высказанных выше предположений.

В настоящее время проводится более детальное экспериментальное и теоретическое исследование эффектов, которые могут быть обусловлены особым характером спектра электронных скоростей в потоках.

В заключение работы автор приносит глубокую благодарность П. В. Голубкову за предложение темы и руководство работой.

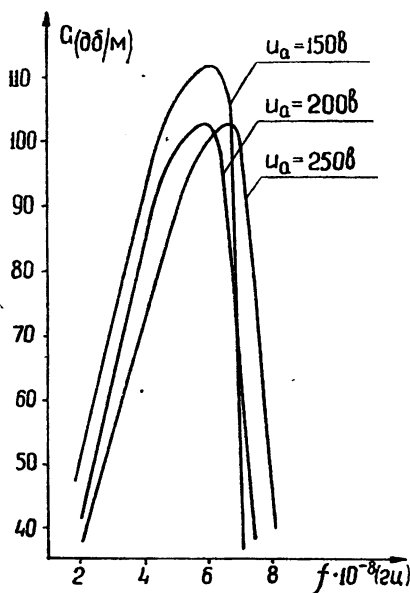


Рис. 3. Зависимость усиления на единицу длины от частоты усиливаемых сигналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Г. Козлов, Исследование распределения скоростей электронов в электронных потоках, Доклад на II Всесоюзной конференции по радиоэлектронике, М., 1957.
2. A. L. L. Huges a. V. Rojansky, Phys. Rev., 34, 284 (1929).
3. E. G. Dymond, Phys. Rev., 29, 433 (1927).
4. I. H. McMillen, Phys. Rev., 36, 1034 (1930).
5. A. V. Haeff, Proc. IRE, 37, 4 (1949).
6. G. Kent, J. Appl. Phys., 25, 32 (1954).
7. А. Н. Власов, ЖЭТФ, 8, 291 (1938)
8. I. Pierse, J. Appl. Phys., 20, 1060 (1949).

Саратовский государственный
университет

Поступила в редакцию
11 декабря 1957 г.