

НЕЛИНЕЙНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОЛЕБАНИЙ В СИСТЕМЕ ПЛАЗМА-ПУЧОК

И.П.Шашурин

При взаимодействии электронного пучка с поперечно-ограниченной плазмой в магнитном поле в условиях, когда $f_p > f_H$, в некоторых режимах оказывается возможным одновременное возбуждение сверхвысокочастотных колебаний.

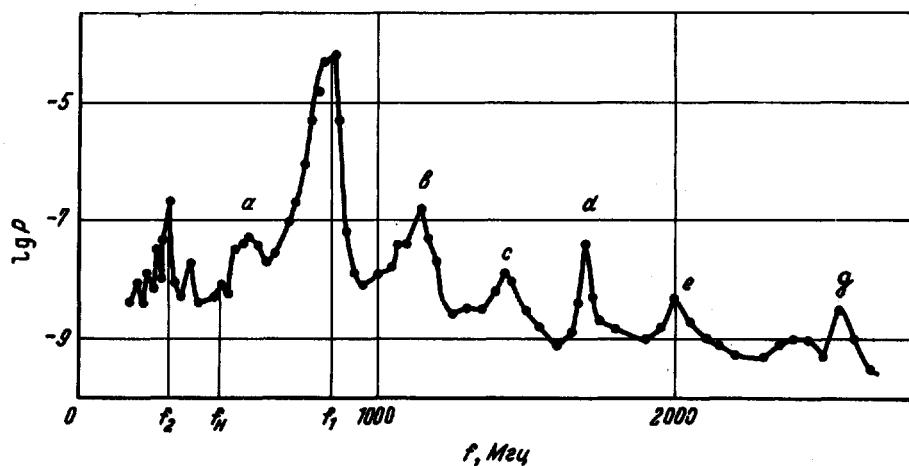


Рис.1. Спектр колебаний, измеренный на расстоянии $z = 150$ мм от электронной пушки. Режим: i пучка = 17,5 мА, $v_0 = 820$ см/с, $H = 166$ э, $p = 3 \cdot 10^{-2}$ мм рт.ст., $f_1 = 850$ МГц, $f_2 = 300$ МГц. Отождествление пиков: $a = f_1 - f_2$, $b = f_1 + f_2$, $c = 2f_1 - f_2$, $d = 2f_1$, $e = 2f_1 + f_2$, $g = 3f_1$.

кочастотных колебаний в двух областях частот [1]. Первая из этих областей лежит на частотах близких к f_p и обусловлена поляризационным взаимодействием пучка с плазмой, тогда как вторая возникает на частотах ниже f_H и обусловлена взаимодействием медленной волны

пространственного заряда пучка с прямой плазменно-волноводной волной. Обе неустойчивости носят конвективный характер, их амплитуда возрастает от электронной пушки к коллектору.

Следует ожидать, что в условиях нелинейной среды, какой является плазма, при одновременном возбуждении нескольких колебаний должно иметь место их взаимодействие. В настоящей работе были предприняты эксперименты по обнаружению и изучению свойств такого взаимодействия.

Исследования проводились на установке, описанной ранее в работе [2]. Электронный пучок с током до 25 мА и энергией частиц до 1,5 кэВ

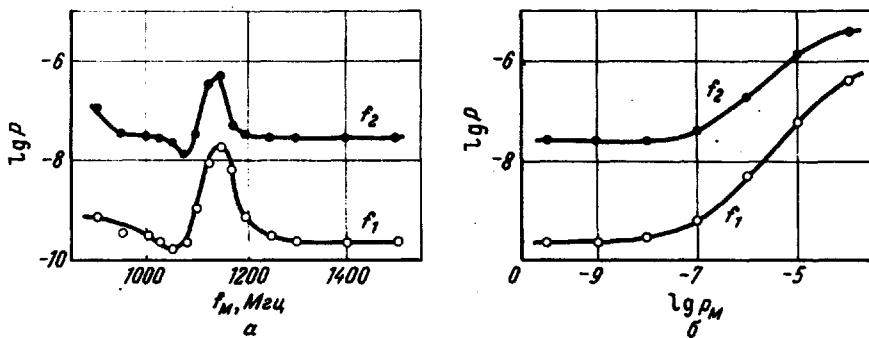


Рис.2. Зависимость интенсивности колебаний на частотах f_1 и f_2 от a – частоты модулирующего сигнала ($P_M = 3 \cdot 10^{-6}$ си), b – мощности модулирующего сигнала, когда $f_M = f_B$

инжектировался в пространство взаимодействия, находящееся в продольном магнитном поле напряженностью до 300 э. Колебания принимались на спираль, которая могла передвигаться от пушки до коллектора. Спектр колебаний исследовался с помощью комплекта узкополосных измерительных приемников или анализатора спектра С4-5.

В начальной части лампы (расстояние от электронной пушки $z < 70$ мк), где интенсивность колебаний мала, спектр колебаний состоит только из двух пиков на частотах f_1 и f_2 , которые соответствуют указанным выше двум областям колебаний. В тех сечениях лампы, где интенсивность колебаний на этих частотах достаточно велика ($z > 100$ мк), спектр колебаний усложняется (рис.1). В нем появляется целый ряд новых пиков колебаний, которые можно отождествить с некоторыми высшими гармоническими и комбинационными частотами от f_1 и f_2 , появившимися, очевидно, за счет нелинейных эффектов.

Учет нелинейного взаимодействия колебаний, проведенный, например, в работе [3], приводит к заключению о тесной взаимосвязи между амплитудами колебаний подобного спектра. Потому следует ожидать, что принудительное изменение амплитуды любого из пиков колебаний должно отзываться на величине всех остальных.

Для проверки этого предположения электронный пучок на выходе из пушки модулировался с помощью небольшой вспомогательной спирали монохроматическим сигналом с некоторой частотой f_M . При этом регистрировалась амплитуда колебаний в сечении $z = 70 \text{ mm}$ на частотах f_1 и f_2 . Случай, когда f_M изменялась в окрестности суммарной комбинационной частоты $f_b = f_1 + f_2$ изображен на рис.2,а. Пока частота f_M далека от f_b , модуляция пучка не оказывает заметного влияния на колебания с частотами f_1 и f_2 . При совпадении f_b и f_M интенсивность колебаний на f_1 и f_2 существенно возрастает. Такой же эффект

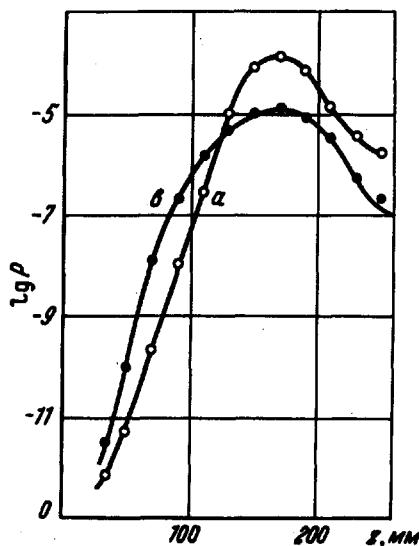


Рис.3. Распределение интенсивности колебаний вдоль лампы на частоте f_1 *a* – в отсутствие модуляции пучка; *b* – при модуляции пучка монохроматическим сигналом с частотой f_M ($P_M = 3 \cdot 10^{-6} \text{ эВ}$)

(хотя и менее интенсивный) можно наблюдать, когда f_M совпадает с любой из других комбинационных частот. На рис.2,б изображена амплитудная зависимость этого эффекта. Когда модулирующий сигнал с частотой $f_M = f_b$ достаточно велик, то можно получить возрастание колебаний на f_1 и f_2 на два-три порядка. При этом следует отметить, что наблюдавшееся в экспериментах возрастание пиков на частотах f_1 и f_2 , как и следовало ожидать, влекло за собой также возрастание интенсивности остальных комбинационных и высших гармонических частот спектра.

Наблюдаемый эффект можно рассматривать, как трехплазменное взаимодействие, приводящее к распаду волны с $f_M \sim f_b$ на две других с час-

тотами f_1 и f_2 , соответствующих наиболее интенсивным колебаниям, имеющимся в спектре [4].

Необходимо отметить, что эти явления наблюдаются лишь в первой половине лампы, где интенсивность колебаний возрастает экспоненциально по мере удаления от пушки (рис.3). В той части лампы, где интенсивность колебаний приближается к максимуму ($z > 130 \text{ mm}$), начальная модуляция пучка на частоте f_B приводит не к увеличению, а к уменьшению колебаний на f_1 . Этот эффект аналогичен, по-видимому, тому подавлению сверхвысокочастотных колебаний, которое наблюдали авторы работы [5] при модуляции электронного пучка монохроматическим сигналом.

В заключение считаю своим долгом выразить благодарность С.М.Левитскому и В.Н.Ораевскому за многие ценные советы и указания.

Киевский
Государственный университет
им. Т.Г.Шевченко

Поступило в редакцию
21 июля 1967 г.

Литература

- [1] С.М.Левитский, И.П.Шашурин. УФЖ, 13, 1968 (в печати).
- [2] С.М.Левитский, И.П.Шашурин. ЖЭТФ, 52, 350, 1967.
- [3] К.С.Карплюк, В.Н.Ораевский. Письма ЖЭТФ, 5, 451, 1967.
- [4] В.Н.Ораевский, Р.З.Сагдеев. ЖТФ, 32, 1291, 1962; А.А.Галеев,
В.И.Карпман. ЖЭТФ 44, 592, 1963.
- [5] А.К.Березин, Г.П.Березина, Л.И.Болотин, Ю.М.Ляпкало, Я.Б.Файн-
берг. АЭ, 18, 315, 1965.