

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПУЧКОВОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТЬЮ С ПОМОЩЬЮ МОДУЛЯЦИИ

А.К.Березин, Я.Б.Файнберг, И.А.Безъязычный

Одной из наиболее важных задач, связанных с экспериментальным исследованием микронеустойчивостей в плазме, является изучение возможности управления этими неустойчивостями.

В настоящей работе исследуется вопрос об управлении пучковыми неустойчивостями с помощью первоначальной модуляции пучка и задания начального возмущения нефлуктуационного характера от внешнего источника [1,2]. Показано, что управление интенсивными высокочастотными колебаниями, возбуждаемыми в результате развития пучковой неустойчивости с мощностью порядка 100 кэВ , может быть осуществлено при наложении на вход системы пучок-плазма очень слабого регулярного сигнала в $10^5 - 10^6$ раз меньше мощности возбуждаемых колебаний.

Введение начального регулярного возмущения позволяет управлять характером возбуждаемых колебаний и превращать стохастические (нерегулярные) колебания в регулярные. В зависимости от мощности внешнего сигнала время корреляции возбуждаемых интенсивных колебаний при развитии пучковых неустойчивостей может изменяться в широких пределах (от 2 до 500 нсек и больше).

Для исследования характера возбуждаемых колебаний в работе использовался метод непосредственного наблюдения формы возбуждаемых колебаний с помощью скоростного осциллографа и последующего их Фурье-анализа.

Так как интенсивность возбуждаемых колебаний в наших экспериментах весьма велика, то естественно было ожидать возникновения нелинейных эффектов, в частности появления гармоник основной частоты возбуждаемых колебаний. Ввиду того, что появление нелинейных эффектов облегчается с уменьшением частоты (параметр нелинейности

$$\mu = eE\lambda / mc^2 \beta \left(1 - \frac{v_{\phi}}{v}\right)^2; \quad \beta = v_{\phi} / c,$$

где e и m — заряд и масса электрона, c — скорость света в вакууме, E — напряженность высокочастотного электрического поля, λ — длина волны, v_{ϕ} — фазовая скорость волны, v — скорость пучка), то для наблюдения использовались сравнительно низкие частоты, значительно меньшие частот, соответствующих максимальной интенсивности.

На рис.1,а, б представлена форма возбуждаемых полей, временная автокорреляционная функция и частотный спектр возбуждаемых колебаний при наличии и в отсутствии модуляции (для интенсивных электронных пучков с мощностью $\sim 600 \text{ кэВ}$, 25 а , 25 кэВ и длительности импульса $4,5 \text{ нсек}$, электронная плотность плазмы $n \sim 6 - 8 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$, рабочий газ — азот, воздух при давлении $6 \cdot 10^{-4} \text{ тор}$). Частота модуля-

ции 291 МГц, мощность модуляции ~6,5 квт. Напряженность магнитного поля до 2000 гс. Мощность возбуждаемых колебаний составляла ~100 квт. Сравнение этих рисунков показывает, что модуляция при-

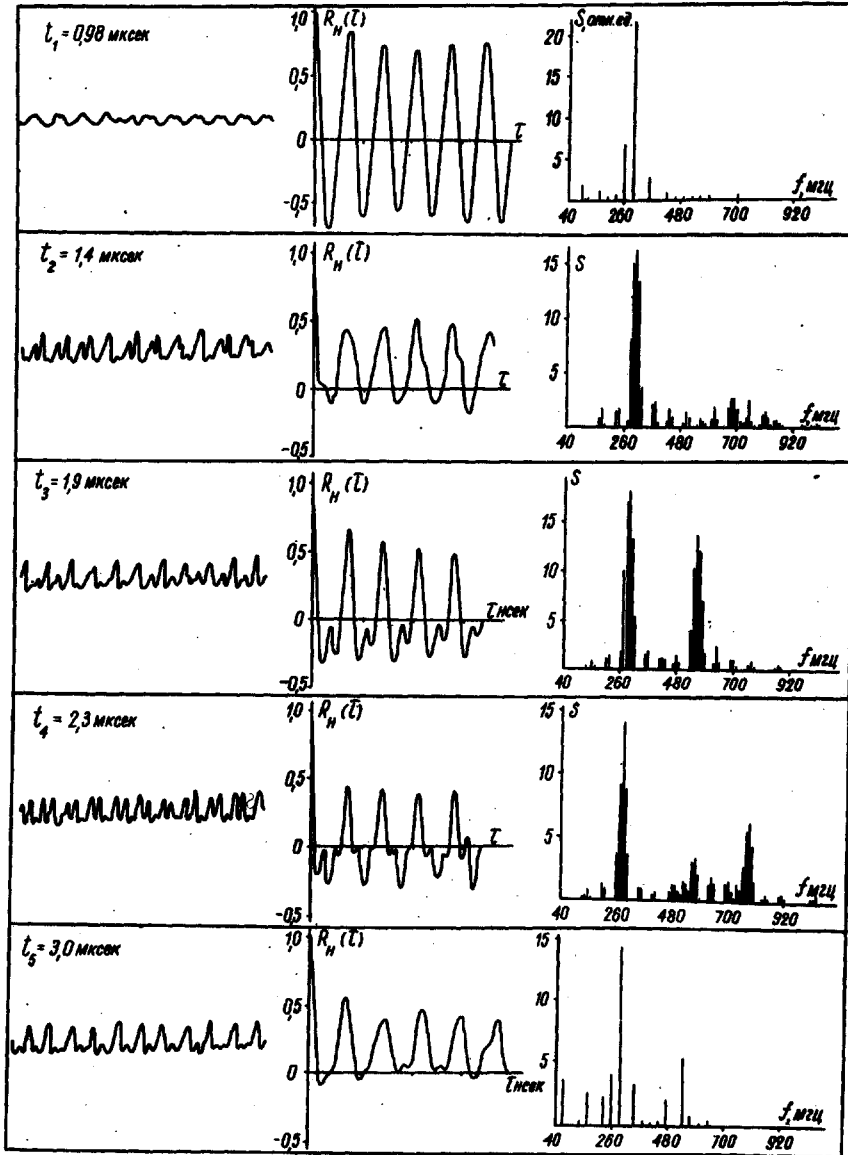


Рис.1,а

водит к сильному сужению спектра по частотам. Время корреляции также сильно возрастает от 4–2 нсек в отсутствие модуляции до 0,5 мксек при модуляции*, т.е. возбуждаемые колебания становятся значительно более регулярными.

Очень важным представляется то обстоятельство, что управление интенсивными колебаниями может быть осуществлено при наложении на вход системы пучок-плазма очень слабого регулярного сигнала $\sim 0,1 \text{ вт}$, в $10^5 - 10^6$ раз меньше мощности возбуждаемых колебаний (рис.2).

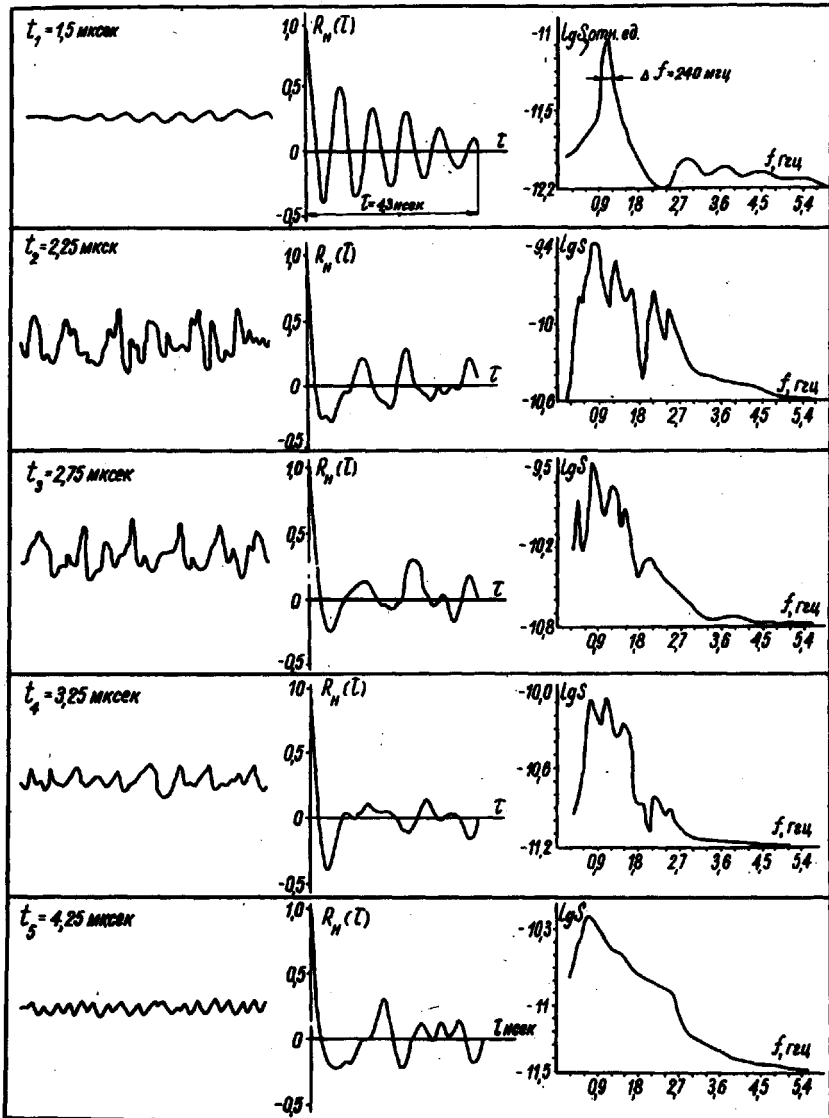


Рис.1, б

Существенным отличием этого случая от приведенных на рис.1,а является то, что в первом случае модуляция осуществлялась на частоте 291 МГц, значительно меньше основной частоты возбуждаемых колебаний $f \sim 880 \text{ МГц}$. При этом значительное сужение спектра достигалось при больших мощностях модуляции $\sim 6,5 \text{ кВт}$. В случае, показанном на рис.2, модуляция осуществлялась на частотах, близких к воз-

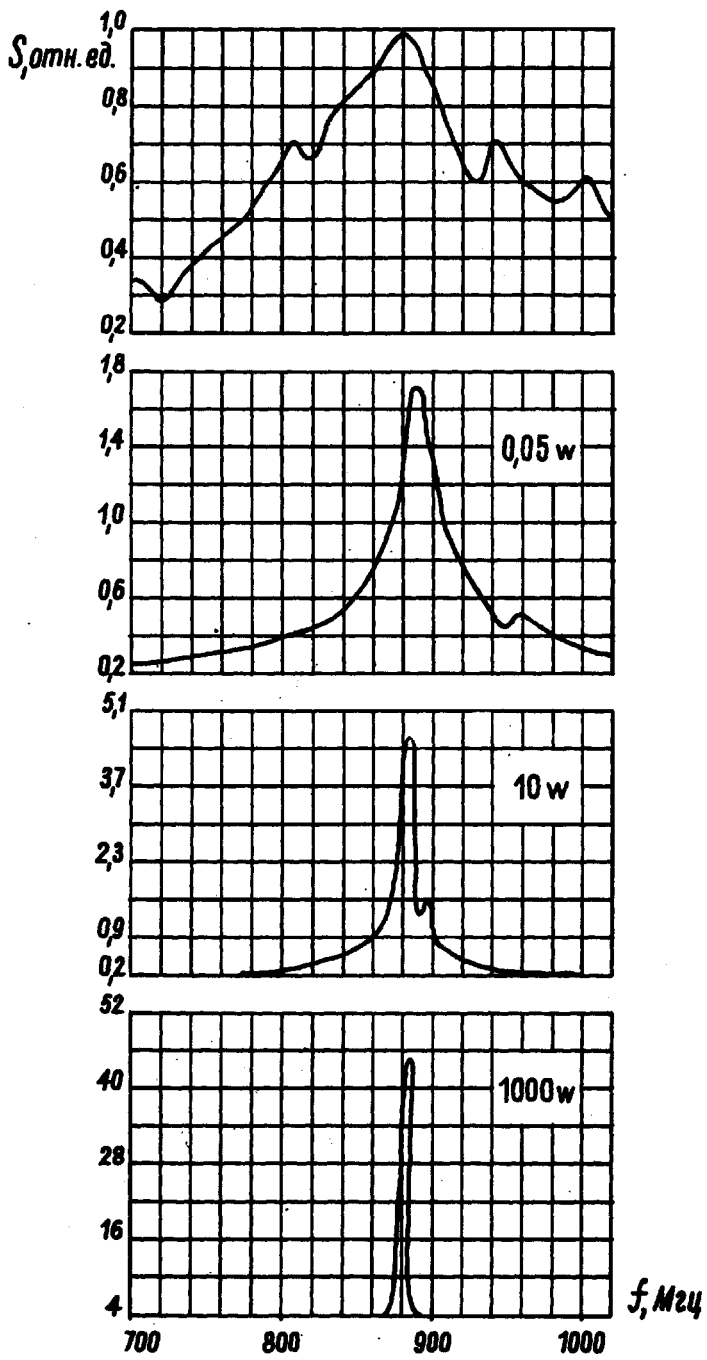


Рис.2

буждаемым с максимальной интенсивностью ($f \sim 880 \text{ МГц}$). В этом случае требуемые для управления спектра мощности составляют десятки ватта. Заметим, что относительно большие мощности и низкие частоты были использованы в предыдущих случаях для того, чтобы возбудить нелинейные волны в результате пучково-плазменного взаимодействия. Как видно на рис. 1, а, увеличение мощности модуляции приводит к сильной нелинейности возбуждаемых колебаний (интенсивность колебаний спадает к концу токового импульса).

Подробное описание экспериментальной установки приведено в работе [3]. Высокочастотные колебания исследовались в диапазоне 100–7000 МГц. Модуляция электронного пучка и отбор мощности ВЧ колебаний осуществлялись при помощи спиральных переходов [3] на частотах 291 и 880 МГц.

Таким образом в проведенных экспериментах показана возможность управления пучковыми неустойчивостями: степенью регулярности возбуждаемых колебаний, шириной спектра и формой возбуждаемых колебаний (степенью нелинейности).

Физико-технический институт
Академии наук Украинской ССР

Поступило в редакцию
15 декабря 1967 г.

Литература

- [1] Я.Б.Файнберг. АЭ, 11, 313, 1961.
- [2] В.Д.Шапиро. Диссертация, Дубна, ОИЯИ, 1963.
- [3] А.К.Березин, Я.Б.Файнберг и др. Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research, 1, 515, 1966, IAEA, Vienna.

* Специальные измерения, аналогичные описанным в [3], показали, что время корреляции увеличивается с возрастанием уровня мощности модуляции следующим образом: 250 нсек при 6,5 кэВ, 500 нсек при 10 кэВ.