

- [2] Бурицкий К.С., Золотов Е.М., Прохоров А.М., Черных В.А. - Квантовая электроника, 1981, т. 8, № 4, с. 805-811.
- [3] Marcuse D. - IEEE J. of Quant. El., 1982, v. QE-18, N 3, p. 393-398.
- [4] Alferness R.C. - IEEE Trans. Microwave Theory and Technology, 1982, v. MTT-30, N 8, p. 1121-1137.
- [5] Анго А. Математика для электро- и радиоинженеров, М.: Наука, 1967. 780 с.

Институт общей физики
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию
17 марта 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 13

12 июля 1988 г.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ДИСПЕРСИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛАКА
В НЕОДНОРОДНЫХ СКРЕЩЕННЫХ ПОЛЯХ

С.А. Левчук, Г.Г. Соминский,
С.В. Воскресенский

Электронный пространственный заряд высокой плотности, удерживаемый в скрещенных электрическом и магнитном полях, является своеобразной активной средой широкого класса устройств сильноточной электроники. Коллективные колебания объемного заряда определяют, как правило, основные их характеристики. В реализуемых на практике системах удерживающие заряд поля существенно неоднородны. Поэтому колебания носят трехмерный характер [1, 2]. К тому же они чувствительны к малым возмущениям и нестационарны [3]. Все это делает трудноразрешимой задачу экспериментального определения дисперсионных характеристик такой сложной колебательной системы, поскольку требует использования слабовозмущающих методов исследования, обладающих одновременно высокими показателями пространственного и временного разрешения.

В настоящей работе показана возможность использования для получения такой информации разработанной недавно новой методики [4]. Были измерены дисперсионные характеристики электронного облака в типичной системе со скрещенными полями - мощном импульсном усилителе-амплитроне десятисантиметрового диапазона длин волн с размерами пространства взаимодействия: диаметр катода 18 мм, диаметр анода 28 мм, длина анода 35 мм.

Определение характеристик колебаний проводилось на основе рассмотрения ВЧ модуляции потоков электронов, попадающих через три малые (диаметром 0.5 мм) отверстия внутрь вторично-эмиссионного

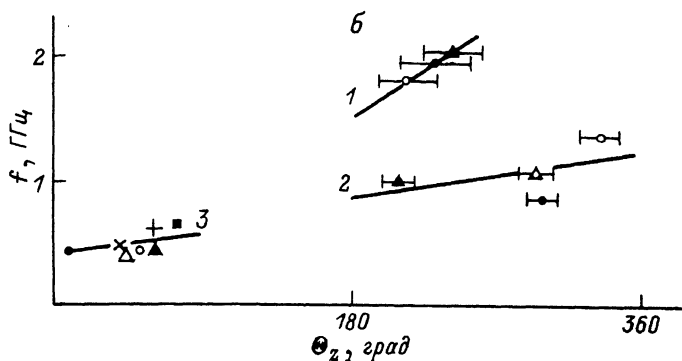
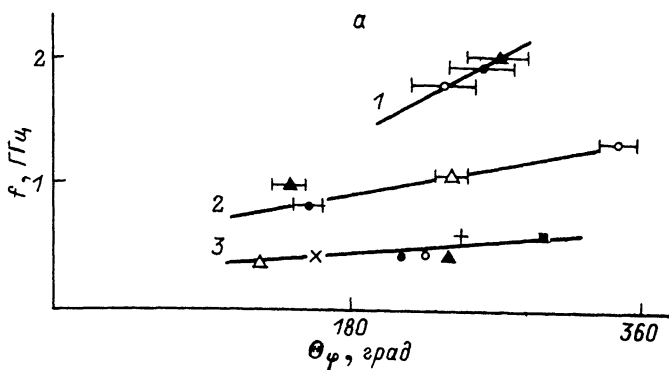


Рис. 1. 1–3 – ветви зависимостей частоты колебаний f от сдвига фазы θ_φ в азимутальном направлении (рис. 1,а) и от сдвига фазы θ_z вдоль магнитного поля (рис. 1,б), измеренные при анодном напряжении $U_a = 10.4$ кВ и магнитном поле $B = 0.12$ Тл. Значения частоты, определенные в разных временных реализациях, обозначены разными точками.

катода на специальные коаксиальные коллекторные системы. Два из отверстий были смещены друг относительно друга на 5 мм в азимутальном и два – на 5 мм в аксиальном направлении. Сравнение временных реализаций в сигналах через эти отверстия, регистрируемых с помощью высокочастотных осциллографов типа С7–10Б, позволяло определить не только спектральные, но и фазовые характеристики колебаний и выявить закономерности коллективных движений электронного облака. Измерения проводились во временных реализациях $5 \div 100$ нс на плоской вершине импульсов анодного напряжения длительностью 4 мкс. Для определения спектра частот и фазовых характеристик временные реализации обрабатывались методом быстрого преобразования Фурье с использованием ЭВМ. Сдвиги

фаз θ в сигналах с разных коллекторных систем определялись для выделенных частот f с повышенной интенсивностью колебаний. Погрешность в определении фаз линейно возрастала с величиной f , но, например, при $f = 1$ ГГц не превышала 10° .

Чтобы практически исключить возмущающее воздействие отверстий в катод на состояние пространственного заряда, они были закрыты мелкоструктурной сеткой с ячейками 70 мкм. Развязка коллекторных систем по высокой частоте во всем исследованном интервале частот 0.1–2,5 ГГц была не менее 70 дБ.

На рис. 1 приведены типичные зависимости частоты f колебаний от сдвига фазы θ_φ в азимутальном направлении (рис. 1,а) и от величины θ_z сдвига фазы вдоль магнитного поля (рис. 1,б), характеризующие дисперсионные свойства электронного облака. Для наблюдаемых колебаний, как правило, одновременно отличны от нуля θ_φ и θ_z . Это свидетельствует о существовании „винтовых” мод, связанных с движением сгустков пространственного заряда вдоль магнитного поля и в азимутальном направлении. Во всех исследованных режимах (в интервале изменения магнитного поля $0.1 \leq B \leq 0.135$ Тл и анодного напряжения $U_a \leq 15$ кВ) выделяются три ветви зависимостей $f(\theta_\varphi)$ и $f(\theta_z)$ для колебаний с существенно отличающимися значениями фазовой скорости v_φ . Если предположить, что наблюдаемые колебания развиваются в областях пространственного заряда, где значения v_φ близки к скорости электронов в попутном с волной направлении, из полученных данных следует, что ветви 1–3 рис. 1 соответствуют колебаниям в разных по радиальной координате r слоях электронного облака. Оценки, проведенные с учетом известной [2, 5] зависимости от r азимутальной и аксиальной составляющих скорости электронов, показали, что ветви 1, 2 соответствуют колебаниям у границы электронного облака (вблизи радиуса синхронизма r_c). Эти данные согласуются с известными из литературы сведениями [1, 2] об аксиальных и азимутальных колебаниях пространственного заряда в системах со скрещенными полями. Ветвям 3 на частотах, близких к эффективной плазменной частоте f_p [5], соответствуют меньшие значения фазовой скорости, и в рамках принятой гипотезы о синхронизме движения электронов с волнами пространственного заряда эти ветви должны соответствовать колебаниям в прикатодной области ($r < r_c$).

Существование колебаний в разнесенных по радиусу слоях электронного облака может быть объяснено с учетом закономерностей взаимодействия попутно движущихся потоков заряженных частиц (см., например, [5]). Такое взаимодействие наиболее эффективно при некоторых оптимальных соотношениях скоростей потоков. Можно ожидать поэтому, что колебания у границы втулки электронного облака, взаимодействуя с волнами пространственного заряда у катода, будут раскачивать колебания в этой области. Возможно и обратное влияние.

Согласно проведенным измерениям, даже в рабочем режиме амплитрона (при выходной мощности $P_o \sim 100$ –150 кВт), колебания в потоке электронов на катод на частотах, близких к f_p , по интен-

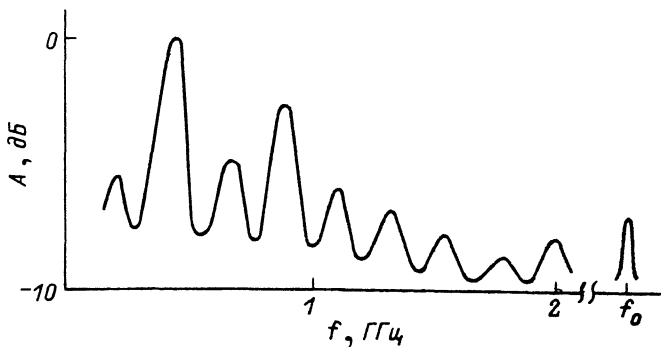


Рис. 2. Усредненная во времени амплитудно-частотная характеристика колебаний в токе одной из коллекторных систем, полученная при анодном напряжении $U_a = 10.4$ кВ и магнитном поле $B = 0.12$ Тл. f_0 - частота входного сигнала.

сивности не уступают колебаниям на частоте входного сигнала (см. типичную амплитудно-частотную характеристику на рис. 2). Отсюда следует необходимость учета обнаруженных „плазменных“ колебаний при рассмотрении не только волновых явлений, но и условий поддержания пространственного заряда за счет вторичной эмиссии с катода.

Л и т е р а т у р а

- [1] Соминский Г.Г. - Письма в ЖТФ, 1977, т. 3, № 4, с. 181-185.
- [2] Соминский Г.Г. В сб.: Лекции по электронике СВЧ. Саратов: Изд. СГУ, 1978, кн. 3, с. 119-138.
- [3] Левчук С.А., Соминский Г.Г., Яруничев А.В. - Труды ЛПИ № 412, Л. ЛПИ, 1985, с. 75-78.
- [4] Соминский Г.Г., Богданов Л.Ю., Левчук С.А. В сб.: Лекции по электронике СВЧ. Саратов: СГУ, 1986, кн. 1, с. 228-238.
- [5] Шевчик В.Н., Шведов Г.Н., Соболева А.В. Волновые и колебательные явления в электронных потоках на СВЧ. Саратов: СГУ, 1962, с. 335.

Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина

Поступило в Редакцию
31 марта 1988 г.