

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

А. С. Ельчанинов, С. Д. Коровин, Г. А. Месяц, В. В. Ростов, Вынужденное ондуляторное излучение в режиме высокого КПД, *Письма в ЖТФ*, 1984, том 10, выпуск 18, 1113–1117

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.9.172

25 января 2025 г., 23:15:27



На рис. 2 представлены результаты расчета восстановленной таким методом функции экранирования $\chi(x)$. При больших величинах x восстановленная функция $\chi(x)$ дает существенно заниженные по сравнению с функцией Томаса-Ферми (b) значения, что согласуется с известными представлениями [3].

Функция $\chi(x)$ получена для среднего интегрального спектра атомных электронов и имеет универсальный характер. Аналогичные расчеты могут быть проделаны и для любого конкретного атома с достаточно большим Z .

Предложенный в настоящей работе метод решения обратной задачи и восстановления атомного потенциала достаточно прост, принципиально отличается от уже известных методов и корректен в рамках квазиклассического приближения. Достоинством описанного метода является также то, что он не связан с модельными расчетами в теории рассеяния, характерными для большинства обратных задач.

Л и т е р а т у р а

- [1] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика, М.: Наука, 1982.
- [2] Карлсон Т.А. Фотоэлектронная и Оже-спектроскопия. Л.: Машиностроение, 1981.
- [3] Киржниц Д.А., Лозовик Ю.Е., Шпатаковская Г.В. - УФН, 1975, т. 117, с. 3.

Ростовский государственный
университет

Поступило в Редакцию
31 октября 1983 г.
В окончательной редакции
14 декабря 1983 г.

Письма в ЖТФ, том 10, вып. 18

26 сентября 1984 г.

ВЫНУЖЕННОЕ ОНДУЛЯТОРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В РЕЖИМЕ ВЫСОКОГО КПД

А.С. Ельчанинов, С.Д. Коровин,
Г.А. Месяц, В.В. Ростов

В настоящее время интенсивно исследуется вынужденное ондуляторное излучение релятивистских электронов в режиме преобразования частоты. При этом достигается длина волны $\lambda \approx d/\gamma$, где d - пространственный период магнитного поля в ондуляторе, а γ - релятивистский масс-фактор. Однако генераторы такого типа (убитроны) могут использоваться и иметь КПД взаимодействия $\geq 20\%$ [1, 2], не уступающий черенковским приборам, в случае, когда частоты волны накачки Ω и сигнала ω соизмеримы ($\omega \approx \Omega = k\bar{v}_{||}$;

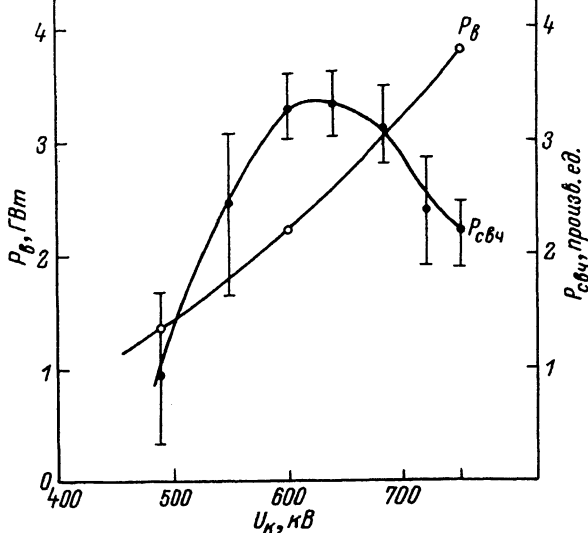


Рис. 1. Зависимость изменения мощности сильноточного электронного пучка и высокочастотного излучения от величины напряжения в коаксиальном диоде с магнитной изоляцией.

$k = \frac{2\pi}{d}$, $V_{||}$ - продольная скорость электронов). Последний вариант убитрона может служить альтернативой при выборе пути дальнейшего повышения мощности излучения, генерируемого сильноточным электронным пучком.

Единственный в этом направлении эксперимент [3] представлял собой реализацию генератора встречной волны с $\lambda \approx 3$ см, мощностью ~ 30 МВт и КПД $\sim 5\%$. В качестве аналога такого прибора можно рассматривать карсинотрон. Если в черенковском приборе периодически изогнута поверхность электродинамической системы, то в ондуляторе имеет место периодически искривленная траектория электронов. Вместе с тем, в убитроне из-за поперечного характера взаимодействия электронов с волной (в случае, когда их движение не слишком замагничено внешним однородным магнитным полем) появляется привлекательная возможность работы с азимутально симметричными модами *Ном* круглого волновода. Как известно, в волнах такого типа отсутствуют электрические поля на стенке, что, в свою очередь, открывает практически неограниченные перспективы повышения мощности. Для любого другого типа волны, по-видимому, проблемы развития пристеночного электронного разряда [4] должны оставаться в силе, как и в черенковских приборах с гофрированной стенкой волновода [5]. Более того, можно предположить ситуацию,

при которой относительно высокие моды H_{02}, H_{03} и т.д. будут оставаться единственными „выживающими“ среди всей „сильных конкурентов“ (например, мод шепчущей галереи) из-за того, что последние, достигнув совершенно незначительного уровня мощности, сами себе сформируют „электронную нагрузку“ [5].

Необходимо также отметить, что при выборе механизма генерации симметричных H -волн с помощью сильнооточного электронного пучка можно было бы остановиться на магнитотормозном излучении. Так, один из наиболее мощных слаборелятивистских гиротронов [6] работает на моде H_{02} . Однако при переходе к релятивистским энергиям гиротрон „теряет часть своих достоинств“ [7], главным образом, снижается полный КПД [8]. Вместе с тем, опыт работы с гиротронами как в вопросах селекции мод, так и в выборе геометрии резонатора, весьма полезен, если проектировать убитрон в режиме генерации на квазикритических частотах.

Для проведения эксперимента на ускорителе „СИНУС-6“ [9] была выбрана мода H_{01} цилиндрического резонатора гиротронного типа с добротностью основного колебания порядка $(1.5 \div 2) \cdot 10^3$ ($L \approx 8\lambda$). Период ондулятора рассчитывался из условия $kV_{110} \approx \frac{c\mu_{01}}{R}$ ($\mu_{01} = 3.83$, R - радиус цилиндрического резонатора) с учетом необходимой расстройки. Подавление вырожденной с H_{01} моды E_{11} обеспечивалось выбором места инжекции пучка и величины ведущего магнитного поля. Так, в случае азимутально-симметричной накачки соответствующие коэффициенты связи электронов с комбинационными волнами [10] можно представить в виде

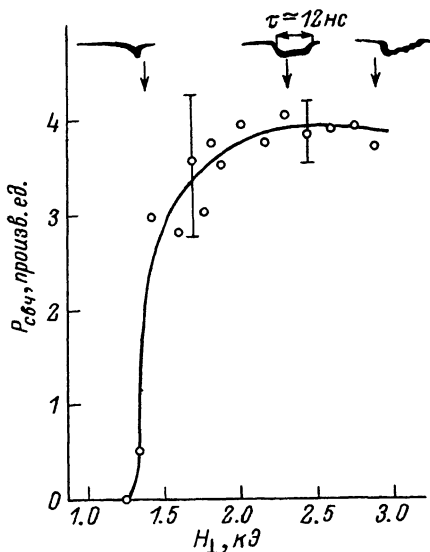
$$G^{E_{11}} \approx \beta_{110}^2 \left[\frac{1}{1-\alpha} J_0\left(\mu_{01} \frac{r_b}{R}\right) + \frac{1}{1+\alpha} J_2\left(\mu_{01} \frac{r_b}{R}\right) \right] I_1(k^- r_b),$$

$$G^{H_{01}} = \frac{2}{1-\alpha^2} J_1\left(\mu_{01} \frac{r_b}{R}\right) I_1(k^- r_b).$$

Здесь J_k - функции Бесселя k -го порядка, I_1 - модифицированная функция Бесселя 1-го порядка; $\alpha = \frac{H_0}{H_p}$, где H_p - соответствует режиму двойного циклотронного резонанса $\frac{eH_p}{mc\omega_0} = k^- v_{110}$; H_0 - ведущее однородное магнитное поле; r_b - радиус пучка. Приведенные выражения справедливы при условии $|1-\alpha| > \frac{1}{N}$ (N - число периодов ондулятора). Для $\frac{r_b}{R} = 0.5 \div 0.8$ и $\alpha \lesssim 0.7$ имеет место неравенство $G^{E_{11}} < 0.3 G^{H_{01}}$.

Изготовленный ондулятор представлял собой систему из $2N$ катушек с чередующимся направлением намотки. Такая конструкция ондулятора позволяет варьировать величину радиальной компоненты магнитного поля H_r независимо от значения однородного поля H_0 (в черенковском приборе этому соответствовало бы изменение глубины гофрировки). Для того чтобы исключить возможное увеличение разброса скоростей электронов на входе в резонатор, необходи-

Рис. 2. Зависимость высокочастотной мощности от амплитуды ондуляторной накачки при фиксированных параметрах тока пучка (5 кА), энергии электронов (620 кэВ) и магнитного поля (9.5 кЭ).



~ 3 кЭ. Расчетная величина стартового тока ~ 1 кА приблизительно соответствовала $\alpha = 0.7$ и $H_r = 1$ кЭ.

Коррекция настройки синхронизма с рабочей модой осуществлялась подбором энергии электронов. На рис. 1 показаны поведение мощности пучка (P_B , ГВт) и мощности излучения волны H_{01} ($P_{свч}$, произв. ед.) при оптимальных накачках в зависимости от прикладываемого к катоду напряжения. Энергия электронов, подсчитанная с учетом „провисания“ потенциала, находилась в пределах 450–680 кэВ, а измеренный ток пучка – $3 \div 5.5$ кА. Измерения проводились для случая однородного магнитного поля 9–10 кЭ. При этом зависимость генерируемой мощности от величины накачки иллюстрируется на рис. 2. Приближение к резонансному магнитному полю $H_p \approx 14 \div 15$ кЭ приводило к снижению как оптимальной накачки, так и максимальной мощности генерации.

Для идентификации моды контролировалась диаграмма направленности, поляризация и длина волны ($\lambda \approx 18$ мм). Максимальная мощность, найденная интегрированием диаграммы с использованием калибровки детектора в 3-сантиметровом диапазоне, составляла 300 МВт.

Время установления генерации ($\sim 10 \div 15$ нс) при максимальных сигналах занимало приблизительно половину длительности импульса напряжения (рис. 2).

Таким образом, в релятивистском убитроне, работающем в режиме генерации симметричной магнитной волны H_{01} цилиндрического резонатора, возможно достижение КПД генерации $\geq 10\%$.

Авторы искренне признательны В.Л. Братману, А.В. Сморгонскому, Г.Г. Денисову за полезные обсуждения результатов работы.

Л и т е р а т у р а

- [1] Братман В.Л., Гинзбург Н.С., Петелин М.И., Сморгонский. В кн.: Релятивистская высокочастотная электроника. Горький, ИПФ АН СССР, 1979, с. 217.
- [2] Петелин М.И., Сморгонский А.В. - Радиофизика, 1973, т. 16, № 2, с. 294.
- [3] Кременцов С.И., Райзер М.Д., Сморгонский. - Письма в ЖТФ, 1976, т. 2, № 10, с. 453.
- [4] Александров А.Ф., Бляхман Л.Г., Глазуо С.Ю., Нечаев В.Е. В кн.: Релятивистская высокочастотная электроника, вып. 3, Горький, ИПФ АН СССР, 1983, с. 219.
- [5] Ельчанинов А.С., Загулов Ф.Я., Корovin С.Д., Месяц Г.А., Ростов В.В. - Письма в ЖТФ, 1981, т. 7, № 19, с. 1168.
- [6] Быксв Ю.В., Власов С.Н., Гольденберг А.Л. и др. В сб.: Гиротрон, Горький, ИПФ АН СССР, 1981, с. 185.
- [7] Братман В.Л., Гинзбург Н.С., Нусинович Г.С., Петелин М.И., Юлпатов В.К. В кн.: Релятивистская высокочастотная электроника. Горький, ИПФ АН СССР, 1979, с. 157.
- [8] Братман В.Л., Гинзбург Н.С., Нусинович Г.С. - Письма в ЖТФ, 1977, т. 3, № 18, с. 961.
- [9] Ельчанинов А.С., Загулов Ф.Я., Корovin С.Д., Месяц Г.А., Ростов В.В. В кн.: Релятивистская высокочастотная электроника, вып. 2, Горький, ИПФ АН СССР, 1981, с. 5.
- [10] Гинзбург Н.С. В кн.: Релятивистская высокочастотная электроника, вып. 3, Горький, ИПФ АН СССР, 1983, с. 7.

Институт сильноточной
электроники СО АН СССР,
Томск

Поступило в Редакцию
3 мая 1984 г.