

Из формул видно, что волновые векторы излучения лежат на черенковском конусе в полупространстве  $y > 0$  и интенсивность излучения различна для различных образующих этого конуса.

Можно найти полную энергию, излученную на единицу времени, на единичном интервале частот, интегрируя формулу (9) по углу  $\varphi$ . Получаем

$$\frac{dW_{\omega}}{dt d\omega} = \frac{q^2 c^2}{\omega V \cos^2 \Psi} \frac{(1 + \beta^2) + \alpha^2 (1 - \beta^2)}{\left[ 1 - \alpha^2 \left( 1 - \frac{1}{\beta^2} \right) \right]^{3/2}} \quad (10)$$

При малых углах  $\Psi$  формула (9) и результат, приведенный в [1], совпадают.

Как любезно сообщила нам И. Н. Арутюнян, она пришла к тем же результатам другим методом.

Автор выражает глубокую благодарность Б. М. Болотовскому за постоянный интерес к работе и полезные обсуждения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Болотовский Б. М., Гинзбург В. Л. Препринт № 152, ФИАН, 1971; «Успехи физических наук», 106, 577, 1972.
2. Гинзбург В. Л. ЖЭТФ, 62, 173, 1972.
3. Франк И. М. «Изв. АН СССР», 2, 3, 1942.
4. Эйдман В. Я. «Изв. вузов», радиофизика, 4, 1972.

Поступила в редакцию  
22.1 1973 г.

Кафедра  
теории атомного ядра

УДК 533.9.15

А. А. БРАНДТ, В. Г. ЗАХАРОВ, Ю. В. ТИХОМИРОВ

### ПРОЦЕССЫ УСТАНОВЛЕНИЯ В ПЛАЗМЕННОМ ВАРАКТОРЕ

Чтобы полностью использовать преимущества плазменных варакторов [1, 2] по сравнению с полупроводниковыми, необходимо показать, что они способны работать в импульсном режиме и при значительной импульсной мощности, т. е. что протекающие в варакторе процессы установления будут иметь длительность, много меньшую, чем длительность импульсов излучения.

Для выяснения причин уменьшения эффективности преобразования плазменных умножителей в импульсном режиме [3, 4, 5] была проведена серия экспериментов по исследованию процессов установления стационарных характеристик плазменного варактора. Ввиду того что импульсный метод исследования переходных процессов требовал создания мощного импульсного генератора, у которого и мощность, и длительность импульсов должны были меняться в широких пределах при сохранении достаточно хорошей формы, был использован метод кратковременного выключения мощности СВЧ-генератора, работавшего в непрерывном режиме. Выключение генератора осуществлялось подачей отрицательных запирающих импульсов на сетки ламп. Для обеспечения достаточной крутизны фронтов на сетки ламп генератора подавался импульс с амплитудой до 100 В, что дало возможность получить длительность фронта выключения генерации не более 0,2 мкс, так же, как и длительность фронта включения генерации. Измеренное на выходе СВЧ-тракта без плазмы процентное содержание гармоник составляло: для второй гармоники  $3 \cdot 10^{-2}\%$ , для третьей  $3 \cdot 10^{-3}$ , для четвертой и пятой  $3 \cdot 10^{-5}\%$ . Для образования плазмы в варакторе использовался воздух: постоянное давление внутри разрядной камеры устанавливалось и поддерживалось достаточно точно и в течение продолжительного времени, необходимого для измерений.

Зависимость времени задержки установления амплитуды сигнала на уровне 0,7 от максимального, т. е. стационарного значения, по сравнению с тем же временем

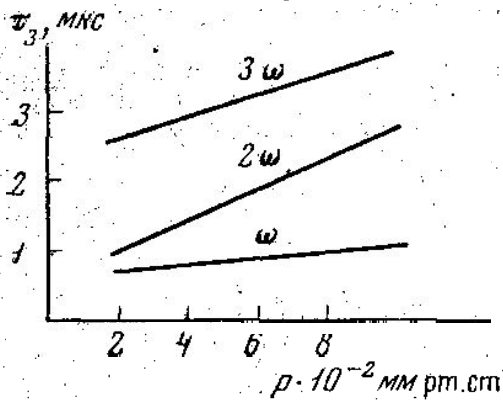


Рис. 1. Зависимость времени задержки установления амплитуды сигнала от давления газа для различных гармоник

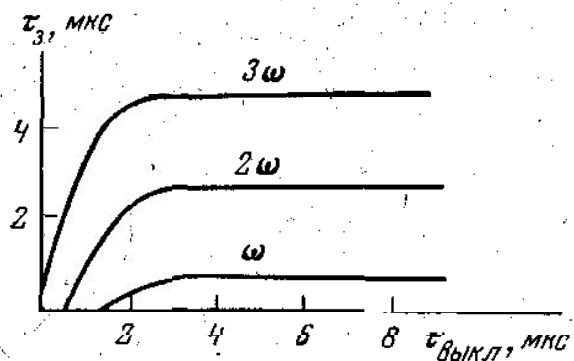


Рис. 2. Зависимость времени задержки генерации гармоник от времени выключения генератора

в тракте без плазмы от давления газа для различных гармоник показана на рис. 1. Из рисунка видно, что задержка существенно зависит от номера гармоники, увеличиваясь у высших гармоник, а уменьшение давления приводит к уменьшению задержки. Исследовалась зависимость времени задержки генерации различных гармоник от времени выключения генератора, представленная на рис. 2, где видны следующие характерные особенности: 1) наличие стационарной задержки, когда время выключения превышает 4 мкс, при этом  $\tau_3$  не зависит от  $\tau_{\text{выкл}}$ ; 2) быстрый рост времени задержки от нуля до стационарного значения при времени выключения  $\tau_{\text{выкл}}$  меньше 4 мкс; 3) отсутствие задержки для основной частоты, когда  $\tau_{\text{выкл}} < 1$  мкс, а для второй гармоники, когда  $\tau_{\text{выкл}} < 0,5$  мкс.

Следовательно, время установления оптимальных условий для прохождения основной частоты и оптимальных условий для генерации гармоник составляет для  $\omega$  — 1 мкс, для  $2\omega$  — 2 мкс, а для  $3\omega$  — около 3 мкс при давлении воздуха 0,06 мм рт. ст. Время полного разрушения условий для прохождения излучения на основной частоте 3—4 мкс, а для гармоник 2—3 мкс.

Кроме того, было обнаружено значительное уменьшение времени задержки, когда величина постоянной составляющей напряжения на электродах увеличивается свыше напряжения, возникающего между электродами плазменного варактора в отсутствие дополнительного смещения (напряжения холостого хода  $U_{xx}$ ). Уменьшение же напряжения ниже  $U_{xx}$  не влияет на время задержки. На рис. 3 изображены зависимости  $\tau_3$  от напряжения при различных временах выключения генератора, а цифрами над кривыми указаны времена выключения. Увеличение отрицательного напряжения между центральным электродом и плазмой ведет к уменьшению тока электронов на этот электрод, определяющего интенсивность процесса демаксвеллизации функции распределения.

Изменение функции распределения (демаксвеллизация) происходит вследствие преимущественного поглощения поверхностью центрального электрода наиболее быстрых электронов плазмы. Электромагнитная волна распространяется внутри плазменного варактора с плазмой критической концентрации в основном вдоль обедненного электронами приэлектродного слоя [6]. Внутри обедненного слоя успевают диффундировать только быстрые электроны, и если их число уменьшается, то уменьшается «загрязненность» обедненного слоя электронами, вносящими диссипативные потери. Следовательно, эти потери уменьшаются. При больших отрицательных напряжениях между центральным электродом и плазмой ток электронов на центральный электрод близок к нулю, а функция распределения электронов в плазменном варакторе остается максвелловской. При этом время установления условий для прохождения излучения стремится к нулю, что и наблюдается в эксперименте.

Приведенные рассуждения предполагают, что за время выключения генератора (несколько микросекунд) концентрация и температура плазмы не успевают существенно измениться, однако может произойти процесс максвеллизации функции распределения электронов. Оценки показывают, что время полной максвеллизации для данных условий эксперимента составляет несколько микросекунд [6], что хорошо соответствует измеренному времени выключения генератора, при котором еще сохраняются хорошие условия для прохождения излучения основной частоты через варактор (1 мкс). За такое короткое время выключения СВЧ напряжения функция распределения электронов не успевает максвеллизироваться. Время максвеллизации, как видно из рис. 2, близко

к 4 мкс, поскольку при  $\tau_{\text{выкл}} > 4$  мкс время задержки  $\tau_3$  не зависит от времени выключения  $\tau_{\text{выкл}}$ .

Таким образом, находят объяснение результаты экспериментов с плазменными умножителями, работающими в импульсном режиме. При малой длительности импульсов СВЧ-излучения функция распределения электронов остается максвелловской, что

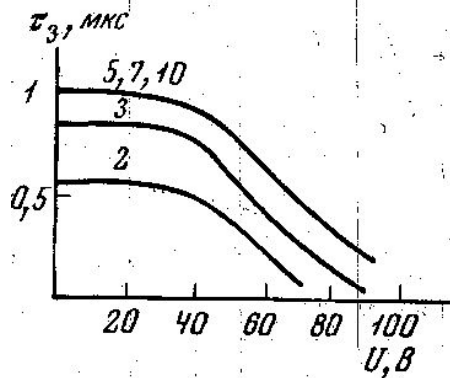


Рис. 3. Зависимость времени задержки от напряжения при различных временах выключения генератора

сопровождается большими потерями излучения и слабой нелинейностью варактора. Одним из методов борьбы с потерями может явиться увеличение постоянной составляющей напряжения между электродами варактора. Улучшения нелинейных характеристик можно добиться понижением давления газа и уменьшением размеров разрядного объема, т. е. ускорением процесса демаксвеллизации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Брандт А. А., Бовин С. В., Тихомиров Ю. В. «Вестн. Моск. ун-та», физ., астрон., № 4, 1969.
2. Брандт А. А., Бовин С. В., Тихомиров Ю. В. «Вестн. Моск. ун-та», физ., астрон., № 4, 1970.
3. Krenz J. H., Kino G. S. Proceedings of the Congress on Microwave tubes, Sept, 1962.
4. Baird J. R., Coleman F. D. PIRE, 49, No. 12, 1961.
5. Biergum N., Walsh D. Journ. of Electr. and Control., 186, 626, 1960.
6. Тихомиров Ю. В. Реферат кандид. диссертации. МГУ, 1972.

Поступила в редакцию  
16.1 1974 г.

Кафедра  
физики колебаний

УДК 551.466.3

Г. Е. КОНОНКОВА, В. Ч. МАЦАКОВ

### К МЕТОДИКЕ ПРЯМЫХ РЕГИСТРАЦИЙ МГНОВЕННЫХ СКОРОСТЕЙ ВЕТРА НАД ВОЛНАМИ

Физика процессов мелкомасштабного взаимодействия океана и атмосферы в первую очередь должна опираться на данные измерений турбулентности в приводном слое атмосферы, ветрового волнения и турбулентности в верхнем слое океана.

Прямое экспериментальное исследование этих процессов связано с серьезными техническими трудностями, прежде всего с необходимостью конструкции аппаратуры с высокочувствительными, малоинерционными, малогабаритными датчиками. Приборами для прямых пульсационных измерений турбулентных потоков являются анемометры с тензометрическими датчиками, электрические термоанемометры, акустические анемометры, а также прибор, в основу которого положен принцип многокомпонентных весов и пленочный термоанемометр. Последний позволяет производить регистрации высокочастотных компонентов пульсаций [1].

В настоящее время для измерения гидродинамических параметров применяются электронно-механические преобразователи — механотроны [2, 3]. С помощью механо-