

($\alpha = 96^\circ$) при несимметричном возбуждении имеем два всплеска σ_s ; во втором ($\alpha = -12^\circ$) при облучении объекта вдоль плоскости симметрии добротный всплеск исчезает, т.к. он связан с возбуждением несимметричного колебания, имеющего противофазные поля в отдельных уголках. Надо заметить, что во всех случаях (в том числе и при больших N (рис. 1)) самый низкочастотный из „мультиплета” резонансов связан с синфазным колебанием, которое оказывается и наименее добротным. Угловое распределение вторичного рассеянного поля в этом случае носит почти изотропный характер.

Обнаруженный эффект может найти применение в практике построения антенных систем и в радиолокационных измерениях при необходимости в простых объектах с резонансно большим или малым поперечником рассеяния.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Ч у м а ч е н к о В.П. // Р и Э. 1988. Т. 33. № 8. С. 1600-1607.
- [2] К и н г Р., У Т а й - Ц з у н ь. Рассеяние и дифракция электромагнитных волн. М.: ГИИЛ. 1962. 193 с.
- [3] В а й н ш т е й н Л.А. // Электромагнитные волны. М.: Радио и связь. 1988. 440 с.

Институт радиофизики
и электроники АН УССР,
Харьков

Поступило в Редакцию
25 июля 1989 г.
В окончательной редакции
4 декабря 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 7 12 апреля 1990 г.

09; 10

© 1990

МОШНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ КЛИСТРОН НА ОСНОВЕ ПУЧКА СО ВЗРЫВНОЙ ЭМИССИЕЙ

В.М. Д у в и д з о н, А.Ю. П а у т к и н,
В.В. С и н ц о в, В.И. С м и л г а,
А.В. Т е р е б и л о в, А.Б. Т и м о х и н,
Д.М. Ш а ф р а н о в

В последние годы бурно развивается релятивистская электроника. Достигнут уровень СВЧ мощности генераторов в 10^{10} Вт. Большое внимание уделяется и созданию усилителей на электронных пучках, формируемых катодами со взрывной эмиссией. Большие токи пучков

и сильные шумы в потоках затрудняют создание эффективных релятивистских усилителей. Определенные успехи достигнуты при создании усилителей на основе периодических структур при очень коротких импульсах (2 нс), обеспечивающих работу без паразитной генерации [1]. Высокие уровни мощности получены в клистронах со взрывной эмиссией: 1.8 ГВт на частоте 1.3 ГГц при длительности импульса 30 нс [2], 200 МВт на частоте 11.4 ГГц при той же длительности импульса [3]. Представляет интерес создание усилителей на РЭП с большей длительностью импульса.

Эксперименты проводились с инжектором электронов, описанным в [4]. Длительность импульса ускоряющего напряжения составляла 3–5 мкм при амплитуде $U = (200-400)$ кВ. Использовался трубчатый пучок, сформированный взрывоэмиссионным катодом в виде полого цилиндра диаметром 30 мм из нержавеющей стали. Ток пучка в указанном диапазоне ускоряющих напряжений составлял $I = (250-600)$ А. Пучок транспортировался в магнитном поле однослойного соленоида с напряженностью до 8 кГс. Средний диаметр пучка (по максимуму плотности тока), измеренный как методом рентгеновской диагностики, так и по автографам на мишенях-коллекторах, составлял 26 мм. Для обрезания ореола, составляющего до 20 % тока пучка, перед электродинамической структурой была установлена графитовая диафрагма с внутренним диаметром 28 мм.

Электродинамическая структура клистрона состояла из пяти резонаторов тороидального типа, разделенных запердельными трубками дрейфа с внутренним диаметром 30 мм. Запитка первого резонатора осуществлялась по коаксиальному кабелю петлей с КСВН 1, 2. Вторая (измерительная) слабосвязанная (10 дБ) петля позволяла контролировать мощность модулирующего сигнала в первом резонаторе. СВЧ мощность из выходного резонатора выводилась через два симметричных окна в коаксиальную линию, нагруженную на согласованный излучающий рупор. Внутренняя труба коаксиала служила коллектором пучка электронов. Значения добротности резонаторов Q_i , отстройки частоты f_i/f_0 и длины трубок дрейфа приведены в таблице.

Теоретический анализ параметров клистрона проводился путем численного моделирования с использованием метода крупных частиц и двумерной модели электронного потока. В пятирезонаторном варианте получены расчетные значения электронного КПД 40 % и усиления 50–60 дБ. Анализ показал сильную зависимость усиления от среднего радиуса кольцевого электронного потока.

СВЧ-п р о б о й в р е з о н а т о р а х. Контроль мощности по измерительной петле позволил установить, что время, через которое наступает пробой первого резонатора, зависит от его расстояния до катода. При расстоянии 250 мм СВЧ пробой первого резонатора от модулирующей мощности (100–500) Вт наступал не более чем через 200 нс. При максимально возможном в установке расстоянии 1200 мм пробой первого резонатора наступал

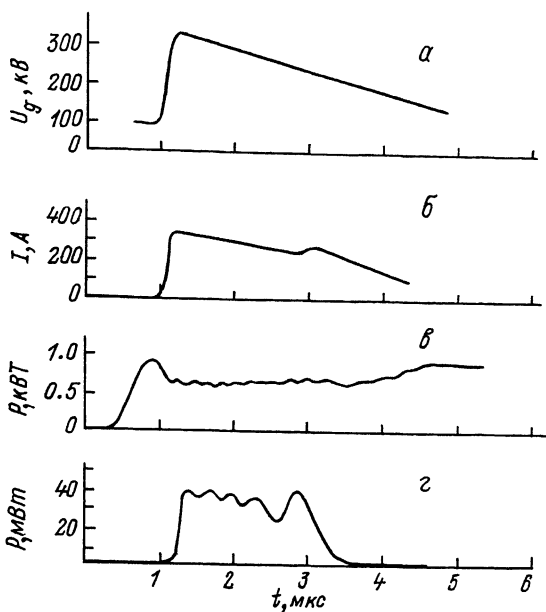


Рис. 1. Осциллограммы характерных импульсов: а – ускоряющее напряжение, б – ток пучка, в – модулирующий СВЧ-сигнал в первом резонаторе, г – выходной СВЧ-сигнал.

Номер резонатора	1	2	3	4	5
Q_i	100	400	600	600	40
f_i/f_0	1	1.0015	1.003	1.01	1
$l, \text{мм}$	118	160	267	100	-

через 2–4 мкс после начала импульса тока. При увеличении ускоряющего напряжения и тока пучка пробой наступает раньше. СВЧ-пробой в остальных резонаторах специально не исследовался. Однако следует отметить, что в четвертом и пятом резонаторах на стенках видно значительно большее число характерных следов СВЧ-пробоев, чем в первых трех резонаторах. Следует отметить, что нанесение сажи на поверхность резонаторов уменьшает вероятность пробоев и повышает стабильность работы клистрона.

Режим усиления. На рис. 1 приведены типичные осциллограммы импульса ускоряющего напряжения, тока пучка,

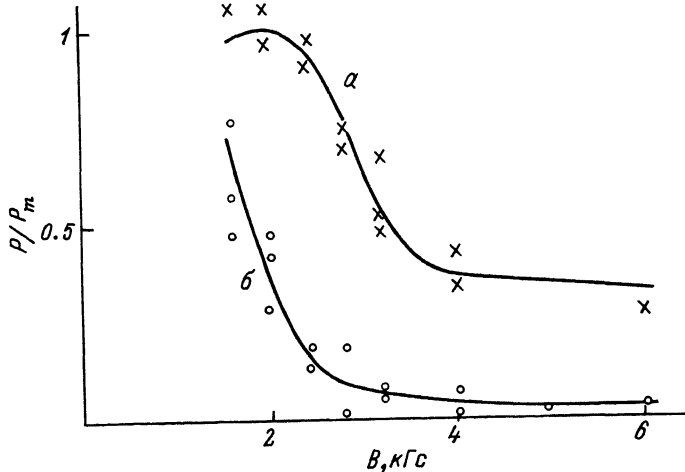


Рис. 2. Зависимость мощности СВЧ-излучения от магнитного поля в канале транспортировки пучка $U_g^{max} = 250$ кВ: а - усиленный сигнал, б - сигнал генерации.

модулирующего и усиленного выходного СВЧ сигналов. Средние длительности усиленного сигнала не превышает 2 мкс, что вызвано СВЧ-пробоями в электродинамической системе. Мощность излучения из выходного рупора определялась двумя способами: 1) по поглощенной калиброванным калориметром энергии с учетом огибающей СВЧ импульса; 2) по интегрированию диаграммы направленности излучения, измеренной с помощью калиброванных датчиков СВЧ.

Значения уровня выходной мощности, полученные этими методами, хорошо согласуются между собой (расхождение не превышает 15 %). Уровень измеренной мощности при магнитном поле (2.5 кГс) составил 35 МВт. При этом КПД равен 43 %, коэффициент усиления 45 дБ. Зависимость величины выходной мощности ($P_{\text{вых}}$) от уровня модулирующего сигнала ($P_{\text{вх}}$) является типичной с насыщением при больших значениях $P_{\text{вх}}$. Увеличение ускоряющего напряжения приводит к росту выходной мощности при одновременном уменьшении длительности. При ускоряющем напряжении 350 кВ получена мощность 80 МВт при длительности 200 нс, КПД = 41 %, коэффициент усиления 40 дБ. Длительность же сигнала

с измерительной петли первого резонатора составляла при этом 1 мкс, что свидетельствует о пробое в выходных резонаторах структуры. Максимальная величина усиления наблюдается в области магнитных полей $B = 2$ кГс (рис. 2). Аналогично усиленному сигналу ведет себя генерация на основной гармонике, причем во всем диапазоне уровень ее мощности ниже уровня мощности усиленного сигнала более чем на 10 дБ. Следует отметить особо, что наряду с усилением на основной гармонике, наблюдается усиленный сигнал на второй гармонике основной частоты с максимальной мощностью 5 МВт.

Таким образом, в данной работе продемонстрирована возможность работы усилительного клистрона с взрывоэмиссионным катодом при длительности сигнала 2 мкс и уровне выходной мощности более 30 МВт. Основной проблемой дальнейшего увеличения длительности импульса и выходной мощности является предотвращение СВЧ-пробоя в резонаторах.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] К о р о в и н С.Д., М е с я ц Г.А., Р о с т о в В.В., Ш п а к В.Г., Я л а н д и н М.И. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. С. 1072-1076.
- [2] F r i e d m a n M., K r a l l J., L a n a n d Y.Y., S e v l i n V. Proceeding of SPIE, vol 873, 92-103, 1988.
- [3] A l l e n M.A. R.F. Power Sources SLAC-PUB 4646, May 1988.
- [4] А р т а м о н о в В.И., Д у б о в о й Л.В., Д у в и д з о н В.М., С м и л г а В.И. // ПТЭ. 1985. № 3. С. 22-24.

Поступило в Редакцию
14 июля 1989 г.