

Значительное изменение l_0 на кривой 3 объясняется приближением углов падения к скользящим ($l_0 \sim 1/k_{z4}$). Но и в этой области углов падения можно ослабить изменение l_0 , одновременно управляя магнитными или диэлектрическими характеристиками слоя 3.

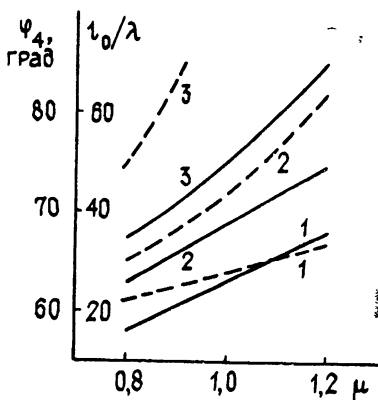


Рис. 2. Зависимость резонансного угла φ_4 (сплошная линия) и характерной длины связи волновода с призмой (пунктирная линия) от магнитной проницаемости феррита: $\epsilon_2 = 11$, $\epsilon_1 = 2$; кривая 1 — $2\pi d_2/\lambda = 0,85$; 2 — 1,1; 3 — 1,53; магнитная проницаемость меняется, как в [6].

Остановимся теперь на вопросе о фокусировке излучения [4, 5]. Для слабой фокусировки необходимо, чтобы при смещении вдоль волновода линейно изменялся резонансный угол φ_4 [5]. Нетрудно убедиться, что это может быть достигнуто линейным изменением μ вдоль волноводного слоя 2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иогансен Л. В.—ЖТФ, 1962, 31, с. 406; Авторское свидетельство № 150542.— Бюл. изобрет., 1962, № 19.
2. Beurse S. V.—Microwaves, 1979, 18, p. 34.
3. Bardati F., Lampariello P.—IEEE Trans Microwave Theor. Tech., 1979, MTT-27, p. 679.
4. Иогансен Л. В., Малов В. В.—Изв. вузов — Радиофизика, 1978, 21, № 7, с. 1060.
5. Малов В. В., Туровцев А. В., Иогансен Л. В.—Изв. вузов — Радиофизика, 1981, 24, № 5, с. 636.
6. Редечкин В. Н.—Радиотехника, 1976, 31, с. 37.

Всесоюзный заочный институт текстильной и легкой промышленности

Поступила в редакцию 19 ноября 1981 г.

УДК 621.3.032.266

КЛИСТРОН С РЕЛЯТИВИСТСКИМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ*

А. С. Ельчанинов, Ф. Я. Загулов, С. Д. Коровин,
В. В. Ростов, А. В. Сморгонский

Релятивистские электронные пучки, формируемые сильноточными ускорителями, могут быть использованы для создания не только высокоэффективных СВЧ генераторов [1, 2], но, согласно теории [3, 4], и усилителей когерентного электромагнитного излучения. Однако реализация таких усилителей осложняется тем, что разрыв между мощностью релятивистских электронных пучков и мощностью стандартных СВЧ генераторов, которые было бы удобно применять в качестве входных модулирующих устройств, очень велик. Поэтому в усилителе с мощным пучком, но не слишком большим коэффициентом усиления, КПД оказывается невысоким [5].

Паллиативным решением проблемы может служить создание секционированного усилителя, во входном резонаторе которого реализуется режим автоколебаний. Ниже приводятся результаты эксперимента по исследованию работы прибора клистронного

* Работа доложена на II Всесоюзном семинаре по релятивистской электронике, Томск, 1980.

типа в таком режиме*. Инжектором пучка служил сильноточный ускоритель «Синус» [7], создававший электронный поток с параметрами: напряжение пучка 430 кВ, ток 2 кА, длительность импульса 25 нс. Собственно клистрон состоял из двух распределенных резонаторов и разделяющей их трубки дрейфа (рис. 1). Входной резонатор был образован отрезком круглого гофрированного волновода длиной в 1,5 волноводные длины волны для рабочей моды E_{01} , ограниченного с катодного конца закрывающим отверстием, а с коллекторного — закрывающей трубкой дрейфа. Второй резонатор, образованный также отрезком гофрированного волновода, представлял собой, фактически, твистронную выходную секцию, примыкающую катодным концом к трубке дрейфа и согласованную на открытом коллекторном конце со свободным пространством. Суммарная длина обоих резонаторов была меньше необходимой для самовозбуждения прибора на механизме ЛОВ. Длину трубки дрейфа можно было менять, помещая между резонаторами цилиндрические вставки различной длины

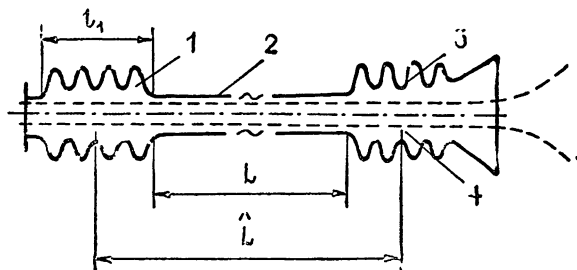


Рис. 1. Схематическое изображение клистрона с релятивистским электронным пучком
1—входной самовозбуждающийся резонатор, 2—трубка дрейфа, 3—выходная секция, 4—кольцевой электронный пучок.

Излучаемая из открытого конца выходного рупора мощность частично перехватывалась приемным рупором и подавалась по стандартному волноводу на охлаждаемый азотом германский детектор. Весь приемный тракт, включая детектор, предварительно калибровался по известному источнику излучения с длиной волны, близкой к рабочей $\lambda = 3,2$ см. Форму диаграммы направленности, а по порядку величины, и уровень выходной мощности можно было определить по свечению табло из неоновых лампочек, расположенному на расстоянии нескольких метров от излучающего рупора (рис. 2).

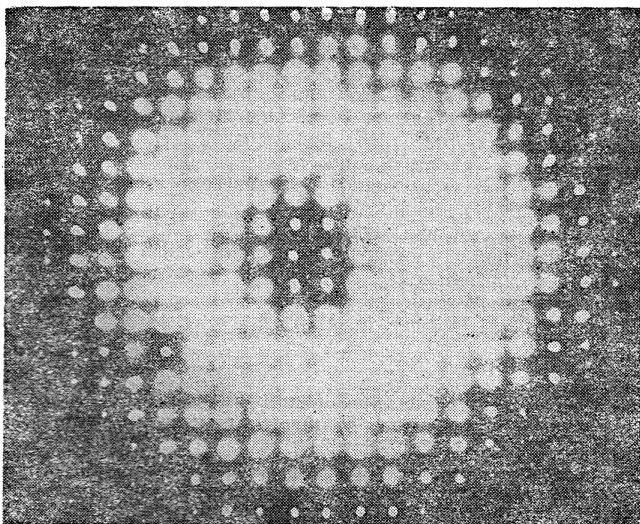


Рис. 2. Свечение мозаичного табло под действием волны E_{01} , генерируемой клистроном.

В эксперименте снималась зависимость выходной мощности от длины трубки дрейфа L (рис. 3). Плавность зависимости $P(L)$ свидетельствует о том, что развязка между резонаторами за счет закрывающей трубки дрейфа превышала (по расчетам во много раз) коэффициент усиления, так что самовозбуждался только первый резонатор, а не весь прибор в целом. По приведенной зависимости, имеющей явно выраженный максимум, на основании простейшей кинематической теории [1] можно оценить имевшую место в приборе модуляцию пучка по энергии. Считая, что при достижении максимума мощности параметр группировки $X = \omega \hat{L} \Delta v / v^2$ принимает оп-

* Впоследствии этот режим работы клистрона изучался в [6]

тимальное значение $X = 1,84$, и учитывая, что для релятивистского пучка приращения скорости и энергии связаны соотношением $\Delta v/v \simeq (1/\gamma^2) (\Delta \psi/\psi)$, получаем

$$\Delta\gamma/\gamma = 1,81\lambda\beta\gamma^2/2\pi L \simeq 0,2$$

Здесь $\omega = 2\pi c/\lambda$ — рабочая частота колебаний, $\beta = v/c$, v — скорость частиц пучка, $\gamma = (1-\beta^2)^{-1/2}$ — их релятивистский фактор, Δv , $\Delta\gamma$ — изменения скорости и энергии частиц, вызванные взаимодействием их с полем входного резонатора, \hat{L} — эффективная длина трубки дрейфа, принимаемая равной расстоянию между центрами резонаторов.

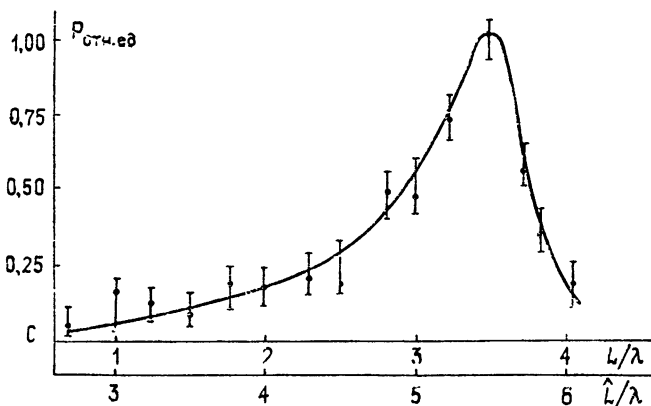


Рис. 3. Зависимость мощности излучения от длины трубки дрейфа.

Зная уровень модуляции, можно оценить величину поля рабочей гармоники во входном резонаторе $E_p \simeq \frac{mc^2}{e} \frac{\Delta\gamma}{\gamma} \frac{\gamma-1}{l_1} \simeq 10 \text{ кВ/см}$ (l_1 — длина входного резонатора)

Величина поля основной гармоники по теоретическим расчетам [8], подтвержденным электродинамическими измерениями, была примерно в 5 раз выше. Следовательно, энергия, запасенная в резонаторе, пропорциональна $W_1 \propto (5E_p)^2$.

Величины полей и количество запасенной в выходном резонаторе энергии непосредственно определяются по значению достигнутой выходной мощности $P = 300 \text{ МВт}$. Такая мощность соответствует КПД прибора свыше 30%. Отношение энергий, запасенных в выходном и входном резонаторах, составляет при этом $K_w = 7$. Отметим, что если разделить коэффициент усиления клистрона по току как отношение максимальной амплитуды рабочей гармоники тока к ее значению на выходе из первого резонатора, то получается несколько меньшая величина $K_I = 4$.

В заключение обратим внимание на то, что описанный здесь способ генерации непохроматического одномодового излучения может быть распространен на системы с повышенным сечением выходной («усилительной») секции — при условии, что модулирующая секция работает в одномодовом режиме.

Авторы выражают благодарность Г. А. Меслячу, М. И. Петелину и Н. Ф. Ковалеву за обсуждение результатов.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Сб Релятивистская высокочастотная электроника — Горький: ИПФ АН СССР, 1979.
- 2 Сб. Релятивистская высокочастотная электроника. Проблемы повышения мощности и частоты излучения. — Горький: ИПФ АН СССР, 1981.
- 3 Ковалев Н Ф, Сморгонский А В — Радиотехника и электроника, 1975, 20, № 6, с 1305
- 4 Ковалев Н Ф, Кольчугин Б. Д., Кротова З. Н. — Радиотехника и электроника, 1975, 20, № 6, с 1309; № 12, с. 2636
- 5 Жерлицын А. Г. и др. — ЖТФ, 1979, 49, № 11, с 2480
- 6 Афонин А М и др. — Тезисы докладов IV Всесоюзного симпозиума по сильноточной электронике — Томск: ИСЭ СО АН СССР, 1982, Ч II, с. 148
- 7 Загулов Ф. Я и др. — Приборы и техника эксперимента, 1976, № 5, с. 18
- 8 Ковалев Н Ф. — Электронная техника Сер. I, Электроника СВЧ, 1978, вып. 3, с. 102.

Институт сильноточной электроники
СО АН СССР
Институт прикладной физики
АН СССР

Поступила в редакцию
22 июля 1982 г.