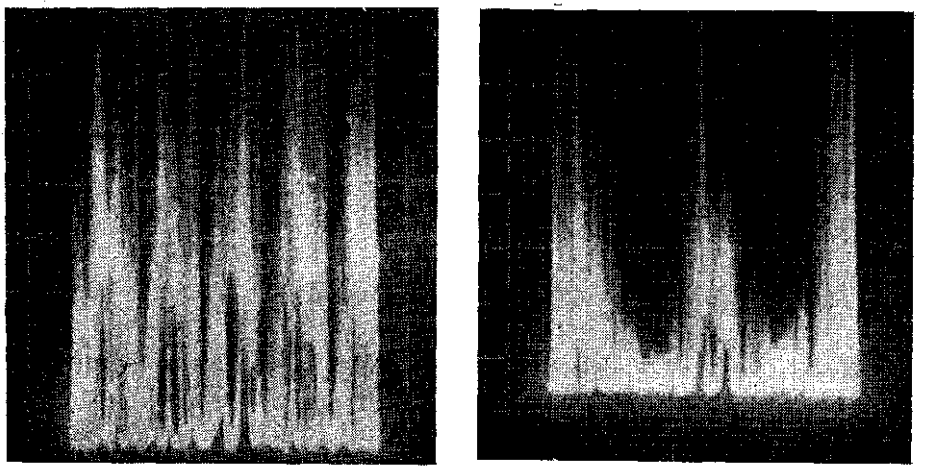
Таким образом, данные эксперимента показывают возможность управления пространственной ориентацией поляризации выходного излучения лазера Nd:YAG с помощью установленного в резонаторе электрооптического элемента $LiNbO_3$.



а *б*

Рис. 3

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Doyle W. M., White M. B., Gerber W. D. Intracavity polarization modulation of a nearly isotropic CO_2 laser.— IEEE, Journal of Quant. Elect., 1970, 6, 457.
2. Липатов А. С., Парыгин В. Н. Конкуренция поляризаций в газовом лазере с малой фазовой анизотропией резонатора.— Квантовая электроника, 1975, 2, 2571.
3. Kimura T., Otsuka K. Thermal effects of a continuously pumped Nd: YAG laser.— IEEE, Journal of Quant. Elect., 1971, 7, 403.
4. Мустель Е. Р., Парыгин В. Н.— Методы модуляции и сканирования света. М., с. 73—78, 1970.

Поступила в редакцию
05.09.78

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1980, Т. 21, № 2

УДК 538.561

Ю. К. АЛЕКСЕЕВ, А. И. КОСТИЕНКО

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЯ ТОКА НА ВИРТУАЛЬНОМ КАТОДЕ

В режиме существования виртуального катода в модифицированном диоде при наличии петли гистерезиса естественно ожидать появление незатухающих колебаний тока при включении в цепь коллектора постоянного сопротивления. Изучение этого явления представляет как

самостоятельный интерес с точки зрения использования диода в качестве источника незатухающих колебаний, так и интерес с точки зрения борьбы с паразитными колебаниями в различных электронных приборах, содержащих виртуальный катод. В настоящей работе сделана попытка изучить условия, необходимые для возникновения генерации, и оценить максимальную частоту колебаний*.

Рассмотрим эквивалентную схему модифицированного диода с сопротивлением R в цепи коллектора (рис. 1). C — емкость, состоящая из емкости межэлектродного промежутка и емкости внешних цепей, U — напряжение стабилизированного источника питания, I_1, I_2 — токи в цепи емкости и сопротивления соответственно, $I(V)$ — ток в цепи коллектора, нелинейным образом зависящий от напряжения на коллекторе V. Легко получить уравнение, описывающее зависимость напряжения на коллекторе от времени t:

$$\frac{dV}{dt}+\frac{1}{RC}V+\frac{1}{C}I(V)=\frac{U}{RC}. \qquad (1)$$

Предположим, что в режиме установившихся колебаний тока точка на графике вольт-амперной характеристики с течением времени перемещается по петле гистерезиса, имеющей прямоугольную форму (рис. 2), а также, что время T_{41}, T_{23} скачков тока на участках 4—1 и

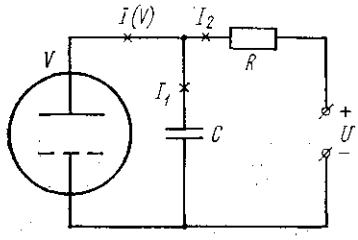


Рис. 1. Эквивалентная схема модифицированного диода с сопротивлением в цепи коллектора

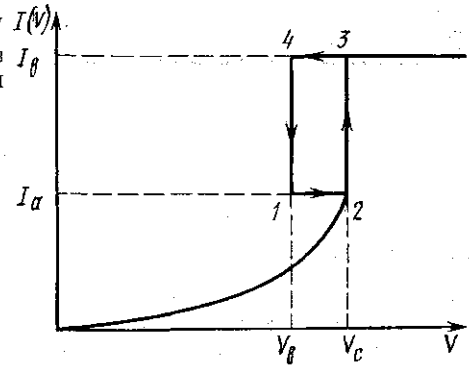


Рис. 2. Идеализированная вольт-амперная характеристика модифицированного диода

2—3 много меньше времени T_{12}, T_{34} движения точки $I(V)$ на участках 1—2 и 3—4. Решая уравнение (1) в этих предположениях, для T_{12} и T_{34} получаем следующее выражение:

$$T_{12}=RC\ln\frac{U-V_{\text{B}}-RI_a}{U-V_{\text{C}}-RI_a},\qquad T_{34}=RC\ln\frac{V_{\text{C}}+RI_b-U}{V_{\text{B}}+RI_b-U}. \qquad (2)$$

Из условий $V_{\text{B}}<V_{\text{C}}$, $T_{12}>0$, $T_{34}>0$ получаем условия возникновения генерации:

$$R>R_0\equiv(V_{\text{C}}-V_{\text{B}})/(I_b-I_a), \qquad (3)$$

$$U_1\equiv V_{\text{C}}+RI_a<U<V_{\text{B}}+RI_b\equiv U_2. \qquad (4)$$

* Оценка мощности и электронного КПД колебаний тока на виртуальном катоде делается в [1].

Из (2) следует выражение для частоты генерации f:

$$f = \frac{1}{RC} \ln^{-1} \left[\frac{(V_C + RI_b - U)(U - V_B - RI_a)}{(V_B + RI_b - U)(U - V_C - RI_a)} \right]. \qquad (5)$$

Выражение (5) было использовано для оценки верхней границы частоты генерации для некоторых реальных случаев. Из этого выражения видно, что при $U \to U_1$ и $U \to U_2$ $f \to 0$. Выбирая напряжение U равным $(U_1 + U_2)/2$, получаем:

$$f = \frac{1}{2RC} \ln^{-1} \left(\frac{\beta + 1}{\beta - 1} \right),$$

где $\beta = R/R_0$.

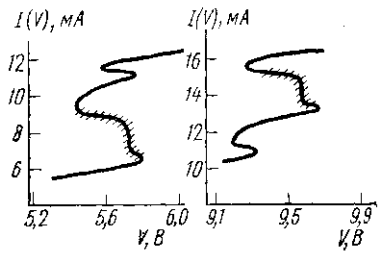


Рис. 3. Экспериментальные вольт-амперные характеристики модифицированного диода с сопротивлением в цепи коллектора. Заштрихованы зоны генерации

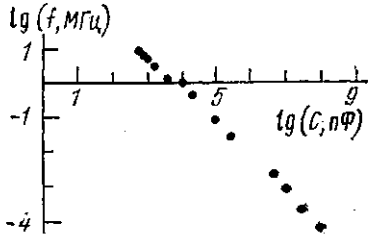


Рис. 4. Экспериментальная зависимость частоты генерации от емкости диодного промежутка

В пренебрежении тепловым распределением скоростей электронов [2] для R_0 можно получить следующее выражение:

$$R_0 = f(\alpha_c) \frac{D^2}{\sqrt{V_1}\, S},$$

где D — длина межэлектродного промежутка, V_1 — потенциал сетки, S — площадь сечения электронного пучка,

$$f(\alpha_c) = \frac{\sqrt[3]{\alpha_c} \left[\left(1 + \sqrt[3]{2}\right) \sqrt[3]{2} - 2 \right] \left(\sqrt[3]{2} - 1 \right)}{\left[(2\alpha_c)^{2/3} - \alpha_c \right] 2{,}335 \cdot 10^{-6}},$$

$\alpha_c = j_c/(2{,}335 \cdot 10^{-6}\, V_1^{3/2}/D^2)$, j_c — плотность тока эмиссии с катода.

Предполагая также, что емкость C обусловлена только междуэлектродной емкостью и что площадь электродов совпадает с площадью электронного пучка, т. е.

$$C = 8{,}854 \cdot 10^{-12} (S/D),$$

получим выражение для частоты генерации в виде

$$f(\text{ГГ}_\text{ц}) = \frac{10^2 \sqrt{V_1}}{1{,}771\, f(\alpha_c)\, D\, \beta \ln \left(\frac{\beta + 1}{\beta - 1} \right)}.$$

Для заданных β, S, D находился максимум этой функции по параметрам V_1 и j_c, одновременно проверялось условие существования петли с двумя скачками тока: $1<\alpha_c<4$.
Примеры результатов расчета приведены в таблице.

β	2	2	2
$S\cdot10^6$ (м²)	1	1	0,5
$D\cdot10^3$ (м)	2	1	0,3
R (кОм)	55,7	4,4	0,56
V_1 (В)	50	500	1000
I_b (мА)	0,2	26,1	410,2
f_{max} (ГГц)	1,9	11,7	55,0

Для экспериментального наблюдения генерации на виртуальном катоде в качестве модифицированного диода использовался промежуток сетка — коллектор клистронов К-37, имеющих плоскую геометрию электродов. Результаты измерений, проведенных на серии клистронов, показали, что при достаточно большой величине сопротивления R можно добиться устойчивости коллекторной цепи по постоянному току. Изменяя величину напряжения U, можно получить график вольт-амперной характеристики внутри петли гистерезиса (рис. 3). На некоторых участках с отрицательным дифференциальным сопротивлением возникает устойчивая генерация релаксационного типа с амплитудой порядка 0,1—1 В. Различие по форме вольт-амперных характеристик внутри петли, видимо, объясняется неоднородностью электронного потока и неодномерностью электрического поля.

Область изменения напряжения U, в которой наблюдается генерация, в ряде случаев не совпадает с областью, определяемой выражением (4), однако опыт показывает, что ориентировочно для поиска зоны генерации на виртуальном катоде выражения (3) и (4) вполне приемлемы.

В диапазоне 10^2—10^7 Гц было также проведено измерение зависимости частоты генерации от емкости диодного промежутка. Для этого к межэлектродному промежутку клистрона подключалась дополнительная емкость и измерялась максимальная частота генерации. Из графика полученной зависимости, приведенного на рис. 4, видно, что в этом диапазоне частота генерации меняется обратно пропорционально емкости диодного промежутка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Девятков М. Н. Генерация на петле гистерезиса в режиме ограничения тока пространственным зарядом.— Электронная техника. Электроника СВЧ. 1979, № 5, 75—78.
2. Гвоздовер С. Д. Теория электронных приборов сверхвысоких частот. М., 1956, 527 с.

Поступила в редакцию
21.03.79