

[6] Федосеев В.Г., Адамсон П.В. — Квантовая электроника, 1982, т. 9, № 5, с. 993–1005.

[7] Малышев В.И. Введение в экспериментальную спектроскопию. М.: Наука, 1979. 480 с.

Поступило в Редакцию
22 августа 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 23

12 декабря 1988 г.

О ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТЫ ИЗЛУЧЕНИЯ ВНЕШНИМ СИГНАЛОМ В СВЧ-ТРИОДЕ С ВИРТУАЛЬНЫМ КАТОДОМ

В.П. Григорьев, А.Г. Жерлицын,
Т.В. Коваль, С.И. Кузнецов,
Г.В. Мельников

Известно, что генерация электромагнитных колебаний в триоде с виртуальным катодом (ВК) обусловлена нелинейностью колебаний, совершаемых электронами в потенциальной яме, и происходит на частоте, равной частоте осциллирующих электронов [1, 2]. Эта нелинейность, связанная как с релятивизмом, так и с сильноточностью, приводит к зависимости частоты осциллирующих частиц от энергетических характеристик такого движения. Поэтому изменение частоты излучения в триоде с ВК можно осуществить, изменяя амплитуду колебаний или относительную массу электронов путем воздействия на них внешним электромагнитным полем. Наиболее эффективный вклад внешнего поля в изменение движения осциллятора будет в области ВК, где кинетическая энергия электронов близка к нулю. В этой области достаточно невысокой напряженности внешнего поля по сравнению с ускоряющим полем, чтобы заметно изменить амплитуду колебаний электронов и частоту излучения. В настоящей работе приводятся первые результаты исследования возможности изменения частоты излучения в триоде с ВК под действием внешнего сигнала.

Экспериментальные исследования перестройки частоты излучения $f_{изл}$ в триоде с виртуальным катодом под действием внешнего ВЧ-поля проведены на установке, схема которой приведена на рис. 1. СВЧ-триод с ВК представляет собой металлическую камеру диаметром 35 см, длиной 40 см, в которой расположены катод диаметром 10 см и анод-сетка диаметром 20 см. Анод-катодный промежуток равен 1.4 см, геометрическая прозрачность сетки $T = 0.7$. Эксперименты проводились при напряжении в катод-анодном промежутке 200 кВ, длительность импульса напряжения ~ 1 мкс. Для создания внешнего высокочастотного поля в области электронного потока использовался импульсный магнетронный генератор

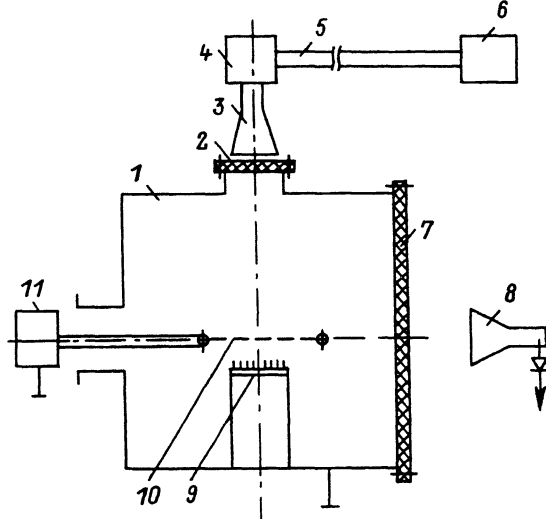


Рис. 1. Экспериментальная установка. 1 - камера СВЧ-триода; 2 - окно ввода внешнего сигнала; 3, 8 - антенна; 4 - трансформатор типа волны; 5 - волновод; 6 - генератор внешнего ВЧ-поля; 7 - окно вывода излучения; 9 - катод; 10 - анод-сетка; 11 - источник высокого напряжения.

мощностью до 400 кВт, длительностью импульса 1.5 мкс и частотой генерации $f_r = 2850$ МГц. Импульс ускоряющего напряжения в катод-анодный промежуток триода подавался с запаздыванием относительно внешнего СВЧ-сигнала. Это связано с тем, что наиболее эффективное воздействие внешнее поле на движение электронов оказывает до начала генерации, которая начинается не с момента подачи импульса ускоряющего напряжения, а при достижении в триоде порогового тока [2]. В это время электронный поток представляет облако некогерентных осцилляторов, у которых, благодаря нелинейности движения, под действием внешнего сигнала изменяется частота осцилляций. В ходе эксперимента мощность внешнего сигнала и его частота были постоянными. Магнетрон обеспечивал величину напряженности электрического поля в области ВК, равную 2-3 кВ/см. В работе было рассмотрено влияние расстройки по частоте между внешним сигналом f_r и частотой осцилляции электронов f_e , которая в отсутствие внешнего сигнала равна частоте генерации в триоде. Экспериментальные результаты приведены в таблице

Из таблицы видно, что под действием внешнего сигнала происходит изменение частоты излучения. Во всех случаях мощность СВЧ-излучения была порядка 100-200 МВт. При малой расстройке по частоте (эксперимент № 3) внешнее поле оказывает слабое влияние на изменение частоты генерации, которое, вероятно, связано с

Эксперимент №	1	2	3	4
f_e , МГц				
f_e	2580	2620	2820	2900
f_r	2850	2850	2850	2850
$\delta = f_r - f_e$	+270	+230	+30	-50
$f_{нзл}$	3030	3020	2880	2750

довольно малой напряженностью поля внешнего сигнала $|E|$ по сравнению с ускоряющим полем, $|E|/E_{уск} \ll 1$. Здесь определяющее действие на изменение $f_{нзл}$ оказывала величина расстройки δ

Теоретический анализ перестройки частоты генерации в триоде с ВК под действием внешнего сигнала, подаваемого до появления когерентного излучения, можно провести, учитывая поле пространственного заряда пучка, внешние ускоряющие и высокочастотные поля. В этом случае для потенциальной ямы, близкой к параболической, нелинейное движение релятивистского электрона при наличии внешнего поля описывается уравнением:

$$\ddot{z} + \Omega_0^2 z = -\frac{eE}{2m} e^{i\omega t} + \frac{3}{2} \frac{\dot{z}^2}{c^2} \left(z \Omega_0^2 + \frac{eE}{2m} e^{i\omega t} \right) + \text{к.с.} \quad (1)$$

Здесь нелинейность движения электрона обусловлена зависимостью релятивистской массы электрона от его скорости, $\Omega_0 = (2eV/md^2)^{1/2} = 2\pi f_0$ — механическая частота осцилляций электрона в потенциальной яме, V — ускоряющий потенциал, приложенный к промежутку катод-сетка d , $\omega = 2\pi f_r$, к.с. — означает комплексно сопряженные величины. Используя для решения уравнения (1) метод растянутых координат [3] и представляя $z = z_0 + z_1 + \dots$, $\Omega = \Omega_0 + \Omega_{1a} + \Omega_{1b} + \dots$, $z_0 = (a/2)e^{i\Omega_0 t} + (b/2)e^{i\omega t} + \text{к.с.}$, где a — амплитуда собственных колебаний электрона, получим, что амплитуда вынужденных колебаний $|b|$ и изменение частоты $\Omega_{1b} = 2\pi f_{1b}$, обусловленное нелинейностью движения в поле внешней волны, описываются системой уравнений

$$\frac{b}{a} \frac{\Omega_{1b} - \delta}{\Omega_0} = -\frac{d|E|\Omega_0}{4V\omega}, \quad \frac{\Omega_{1b}}{\Omega_0} = -\frac{3}{8} (\gamma - 1) \frac{b}{a} \left(2 + \frac{b}{a} \right), \quad (2)$$

где

$$\Omega_0 + \Omega_{1a} = 2\pi f_e, \quad \Omega_{1a} = -(3/8)(\gamma - 1)\Omega_0, \quad \Omega = 2\pi f_{нзл}, \quad \gamma - 1 = eV/mc^2.$$

В предположении малости уровня внешнего сигнала из решения системы (2) получим выражение для f_{1b}

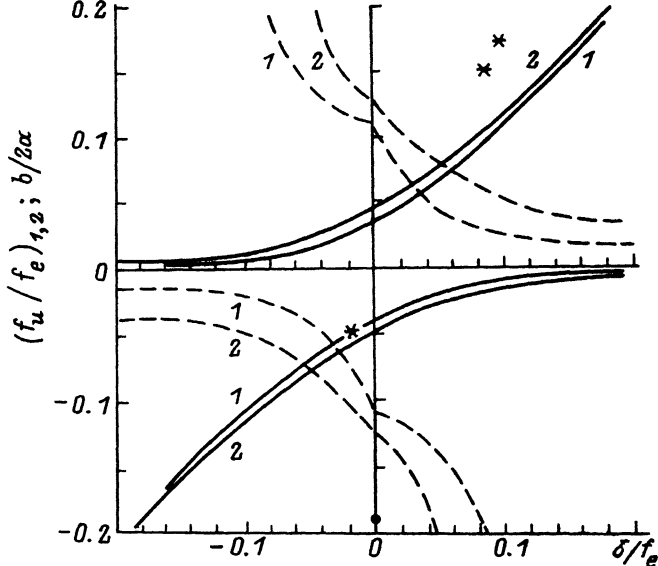


Рис. 2. Зависимость f_u/f_e - (сплошные линии) и $(b/2a)$ - (штриховые линии) от расстройки δ/f_e : 1 - $|E|d/V = 1/60$, 2 - $|E|d/V = 1/30$, * - экспериментальные точки.

$$\left(\frac{f_u}{f_e}\right) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\delta}{f_e} \pm \left[\frac{\delta^2}{f_e^2} + \frac{3}{4} (\gamma-1) \frac{d|E|}{V} \frac{f_0^2}{f_r f_e} \right]^{1/2} \right\}. \quad (3)$$

Зависимость изменения частоты, а также отношения $b/2a$ от расстройки и уровня внешнего сигнала, включая область экспериментальных параметров, представлена на рис. 2. Отмеченные на рисунке экспериментальные точки хорошо согласуются с (3). Из рис. 2

следует, что в области расстроек $\frac{\delta^2}{f_e^2} \ll \frac{3}{4} \frac{(\gamma-1)f_0^2}{f_r f_e} \frac{d|E|}{V}$ воз-

можна перестройка частоты за счет изменения напряженности внешнего поля. Однако наиболее эффективно перестройка частоты генерации в триоде с ВК осуществляется при совместном изменении расстройки и увеличением амплитуды внешнего сигнала. Из рис. 2 также видно, что принятое нами предположение $|b|/2a \ll 1$ для рассматриваемых экспериментальных параметров $d|E|/V = 1/60$ хорошо удовлетворяется в диапазоне расстроек $|\delta| < 0.1 f_e$.

Таким образом, проведенные исследования показывают возможность перестройки частоты СВЧ-излучения в триоде с ВК путем изменения расстройки частоты и уровня напряженности внешнего высокочастотного сигнала.

- [1] Григорьев В.П., Диденко А.Н. – Сб. Генераторы и усилители на электронных потоках. МГУ, 1987, с. 96–102
- [2] Григорьев В.П., Жерлицын А.Г., Кузнецов С.И., Мельников Г.В. – Физика плазмы, 1988, т. 14, в. 2, с. 210–217.
- [3] Найфе А. Введение в методы возмущений. М.: Мир, 1984. 536 с.

Поступило в Редакцию
29 августа 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 23

26 декабря 1988 г.

НИЗКОЧАСТОТНЫЙ ПИК ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ
ПРИ ПЕРИТЕКТИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ $\alpha + \alpha' \rightleftharpoons \alpha + \beta$
В СИСТЕМЕ Nb-H

М.Я. Кац, Л.В. Спивак

В килогерцевом диапазоне частот в сплавах Nb-H ($H/Nb < 0.09$) в интервале температур 180–300 К был обнаружен размытый пик внутреннего трения (ВТ) [1]. Температура и высота пика (Q_m^{-1}) зависели от концентрации водорода в сплаве, что позволило интерпретировать его как пик осаждения, обусловленный выделением гидрида ниобия (β -фаза) из твердого раствора (α -фаза). При исследовании низкочастотных пиков осаждения ($f \sim 1$ Гц) в сплавах с меньшим содержанием водорода ($H/Nb < 0.04$) авторы работ [2–4] пришли к заключению, что природа таких пиков ВТ связана с переориентировкой кристаллов β -фазы в знакопеременном поле напряжений. При прочих равных условиях высота пика ВТ уменьшалась с уменьшением скорости нагрева, и уже при $T = 0.16$ К/мин пик ВТ практически исчезал. В моно и полидоменном β -гидриде ниобия наблюдались на частотах 10 мГц аномалии упругих констант и пик ВТ при фазовом переходе $\alpha' \rightleftharpoons \beta$ ($T = 383$ К) [5]. По сделанному в [5] предположению, природа пика ВТ связана с релаксацией Зинера (переориентировка водородной гантели в поле напряжений), на которую, возможно, накладывается релаксация Ландау–Халатникова или λ -переход. Результаты исследования ВТ в сплавах Nb-H ($0.1 \leq H/Nb \leq 0.5$) неизвестны, что скорее всего связано с определенной ограниченностью в применении высокочастотных методик для исследования превращений в двухфазных и многофазных системах.

При охлаждении из однородной α -области сплавы Nb-H (10–50 ат. % Н) претерпевают спинодальный распад $\alpha \rightleftharpoons \alpha + \alpha'$, и при достижении тройной точки ($T_p = 363$ К) происходит перитек-