

индекс 3624



Препринт ЕФИ-1012(62)-87

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
YEREVAN PHYSICS INSTITUTE

К.З.БАБАЯН,С.Г.ГЕВОРГЯН,Н.М.ДОБРОВОЛЬСКИЙ
Р.Т.МИНА,Г.Д.МОВСЕСЯН

ГЕНЕРАТОР НА ТУННЕЛЬНОМ ДИОДЕ
ДЛЯ КРИОГЕННЫХ УСТРОЙСТВ

ЦНИИАтоминформ
ЕРЕВАН — 1987

Կ.Զ. ԲԱՐԱՅԱՆ, Ս.Գ. ԳԵԼՈՐԳԹԱՆ, Ն.Մ. ԳՈՐԳՈՎՈԼՍԿԻ,
Ռ.Թ. ՄԻՆԱ, Գ.Դ. ՄՈՎԱՆՅԱՆ

ԹՈՒՆԵԼԱՅԻՆ ԴԻՈԴՈՎ ԱԵՆԱՏՈՂ ԳԵՆԵՐԱՏՈՐ
ԿՐԻՈԳԵՆԱՅԻՆ ՍԱՐՔԵՐԻ ՀԱՄԱՐ

Հայանում ենք հեղուկ հելիումի շերմաստիճանում գործող թունելային դիոդով աշխատող զենեքատորի փորձառական և տեսական հետազոտությունների արդյունքները: Ուսումնասիրված է զենեքատորի ամպլիտուդի և համախոլթյան կախվածությունը շեղման լարումից: Բերվում են զենեքատորում օգտագործված թունելային դիոդի վոլտապերային բնութագիրը, ինչպես նաև համախոլթյան կայունության փորձառական ուսումնասիրության արդյունքները:

Երևանի Ֆիզիկայի ինստիտուտ

Երևան 1987

©

Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по атомной науке и технике (ЦНИИатоминформ) 1987 г.

Широкое применение автогенераторов на туннельном диоде (ТД) в криогенной экспериментальной физике и технике [1] связано с тем обстоятельством, что они могут быть собраны в виде отдельных модулей, помещаемых в криостат в непосредственной близости от криогенного объекта. В работах [2-4] генераторы на ТД использовались для исследования перегретого метастабильного состояния в гранулированных сверхпроводниках первого рода. В этих экспериментах необходимо, чтобы величина измерительного магнитного ВЧ-поля была, по крайней мере, на два-три порядка меньше ширины сверхпроводящего перехода, особенно при исследовании вблизи критической температуры сверхпроводников. При использовании генераторов на ТД в устройствах, работающих при низких и сверхнизких температурах, недопустимость значительного тепловыделения также приводит к необходимости ограничивать амплитуду генерации.

В настоящей работе приводятся результаты экспериментального и теоретического исследования зависимости частоты и амплитуды ВЧ-колебаний от напряжения смещения на ТД для генератора, который использовался в работах [3,4] для исследования метаста-

бильных фаз олова. Амплитуда измерительного магнитного ВЧ поля на образце определялась пересчетом из измеренных значений амплитуды колебаний V_d на ТД. Исследована также стабильность частоты генерации и снята вольт-амперная характеристика (ВАХ) использованного в генераторе ТД.

Принципиальная электрическая схема генератора приведена на рис.1. Сопротивления $R_1 - R_4$ служат для выбора необходимого напряжения смещения V_d на туннельном диоде. Конденсаторы C_1 и C_2 являются фильтрующими. Катушка связи L_c предназначена для измерения амплитуды напряжения переменного тока на туннельном диоде V_d . Часть генератора, обведенная на рис.1 пунктиром, была изготовлена в виде отдельного модуля, который помещался в гелиевый криостат.

В качестве туннельного диода применялся обращенный туннельный диод марки АИ402Б. Радиочастотная катушка колебательного контура $L = L_1 + L_2$ была намотана на кварцевую трубку наружным диаметром 8 мм и содержала 31 виток с отводом от II-го витка. На том же каркасе помещался виток связи L_c . Сопротивления R_p и R_4 были изготовлены из манганинового провода диаметром 1,06 мм и были бифилярно намотаны на керамические трубки диаметром 3 мм. В качестве ёмкости колебательного контура C и ёмкости C_2 применялись конденсаторы марки КСО-1 с малым температурным коэффициентом ТКЕ. Источником тока служила батарея "Марс" напряжением 1,5 В. Генератор работал на частоте 10 МГц при температуре $T \sim 3$ К

Вольт-амперная характеристика туннельного диода при температуре $T \sim 3$ К, измеренная с точностью 1%, приведена на рис.2.

Из рисунка видно, что отрицательный участок ВАХ исследованного диода при указанной рабочей температуре находится между напряжениями смещения $V_{d\min} = 0,075$ В и $V_{d\max} = 0,5$ В, при которых ток через диод достигает своих экстремальных значений.

Зависимости амплитуды и частоты переменного напряжения в режиме генерации также приведены на рис.2. В генераторе наблюдался мягкий режим возбуждения, начиная с напряжения $V_{d1} = 0,09$ В. С увеличением V_d амплитуда монотонно увеличивалась, достигая своего максимума при $V_{d2} = 0,410$ В. При дальнейшем увеличении V_d амплитуда генерации уменьшалась, и при значении $V_{d3} = 0,435$ В колебания орывались. При уменьшении с этого значения напряжения смещения V_d колебания вновь возникали уже при меньших значениях $V_{d4} = 0,343$ В. Амплитуда колебаний при этом восстанавливалась полностью. Таким образом, слева наблюдался мягкий режим генерации, а справа - жесткий, с ярко выраженным гистерезисом. Следует отметить также, что максимум амплитуды генерации $V_d = 0,3$ В не совпадал по положению с точкой перегиба ВАХ и лежал справа от нее.

Относительное изменение частоты в зависимости от V_d по порядку величины не превышало $5 \cdot 10^{-4}$ и по характеру напоминало аналогичную зависимость для низких температур из работы [5]. На рисунке приведен график зависимости сдвига частоты Δf относительно её минимального значения непосредственно перед срывом колебаний.

Исследования гармонического состава генерируемых колебаний показали, что при выбранном значении R_p амплитуды высших гармоник оказались более чем на порядок ниже амплитуды основ-

ной гармонике.

Зависимость амплитуды генерации V_a от напряжения смещения для данного генератора была также рассчитана на основе квазилинейного метода [6], основанного на методе энергетического баланса. При этом для каждого заданного значения V_d значение V_a определялось из уравнения автогенератора с отрицательным сопротивлением [6,7].

$$1 - |G_-(V_a, V_d)| \cdot R_{эфф} = 0, \quad (I)$$

где $G_-(V_a, V_d)$ - средняя за период дифференциальная проводимость ТД, а $R_{эфф}$ - эффективное сопротивление потерь генератора в целом.

Величина $G_-(V_a, V_d)$ определялась с помощью ЭВМ усреднением в гармоническом приближении дифференциальной проводимости ТД с использованием аппроксимации ВАХ на отрезке $V_d \pm V_a$. На рис.3 приведены рассчитанные таким образом зависимости $|G_-(V_a, V_d)|$ для ряда заданных значений V_d как параметра. Характерной особенностью этих зависимостей является наличие второго экстремума при ненулевых значениях V_a для больших напряжений смещения V_d , лежащих на ВАХ правее точки перегиба, т.е. неоднозначность функции $G_-(V_a, V_d)$ при этих значениях V_d .

Значение $R_{эфф}$ не поддается точному расчету потому, что зависит как от номинальных значений элементов электрической схемы, так и от конструктивного исполнения. Поэтому в работе

$R_{эфф}$ определялось при согласовании рассчитанного и экспериментального значений V_d , соответствующих точке срыва генерации. На рис.3 для иллюстрации графического способа решения уравнения (I) проведена горизонтальная линия, соответствующая возможному значению $1/R_{эфф}$. При заданных значениях V_d и $R_{эфф}$ амплитуда генерации V_a определялась как абсцисса точки пересечения графика $|G_-(V_a, V_d)|$ и линии $1/R_{эфф} = const$. При наличии двух точек пересечения устойчивому состоянию генерации соответствует правая, при этом осуществляется жесткий режим генерации. Случай касания соответствует срыву колебаний и, как отмечалось выше, используется для сопряжения расчетных и фактических значений V_d при срыве генерации и для определения значения $R_{эфф}$.

Рассчитанные подобным методом зависимости $V_a(V_d)$ для ряда значений $R_{эфф}$ как параметра приведены на рис.4. Из рисунка видно, что существует критическая величина потерь (точка 7), ниже которой генерация невозможна. При увеличении $R_{эфф}$ выше критического значения возникает область генерации по V_d . По мере увеличения $R_{эфф}$ от критического значения происходит плавный переход от симметричных кривых $V_a(V_d)$ с мягким режимом возбуждения слева и справа к асимметричным кривым с мягким режимом возбуждения слева и жестким режимом с гистерезисом справа.

Для исследуемого генератора $R_{эфф}$ оказалось равным 10,3кОм. Расчетная зависимость $V_a(V_d)$ при этом значении $R_{эфф}$ построена сплошной линией на рис.2 с учетом поправки на "автосмещение"[6].

не превышающей, однако, для данного генератора 3%. Как видно из рисунка, использованный метод расчета позволил достичь не только качественного, но и количественного согласия с измеренными значениями амплитуды генерации.

Амплитуда измерительного магнитного ВЧ поля, пересчитанная из зависимости $V_d(V_d)$ с учетом неполного включения контура и величины его добротности, не превышала 0,1 мкТ вблизи порога генерации. Максимальное значение магнитного ВЧ поля на образце составляло 0,7 мкТ и достигалось при максимальных уровнях генерации.

Исследования стабильности частоты генерации показали, что при условии стабильности элементов колебательной системы L, C и элементов внешней цепи (таких как R_p , C_2), основным фактором, приводящим к нестабильности частоты генератора, является нестабильность напряжения смещения V_d . При стабильном V_d кратковременная нестабильность частоты исследованного генератора составила $\Delta f/f \approx 5 \cdot 10^{-8}$, а долговременная (за 60 мин.) - $\Delta f/f_0 \approx 10^{-7}$. Нестабильность частоты генератора оказалась максимальной вблизи точки перегиба отрицательного участка вольт-амперной характеристики ТД. В частности, при существовании постоянного дрейфа напряжения смещения ($\Delta V_d \approx -0,1$ мВ за время измерения) нестабильность частоты тоже носила в основном дрейфовый характер и монотонный уход частоты составлял ~ 160 Гц/мВ при нестабильности $\Delta f/f \approx 10^{-7}$.

Таким образом, настоящий генератор позволяет получать в определенных условиях небольшую амплитуду стабильных по частоте автоколебаний с мягким режимом возбуждения. Амплитуда коле-

баний может быть рассчитана, исходя из ВАХ ТД с помощью квазилинейного метода с использованием одного подгоночного параметра - напряжения смещения на диоде при срыве генерации, по величине которого определяется также эффективное сопротивление потерь генератора $R_{эфф}$ в целом.

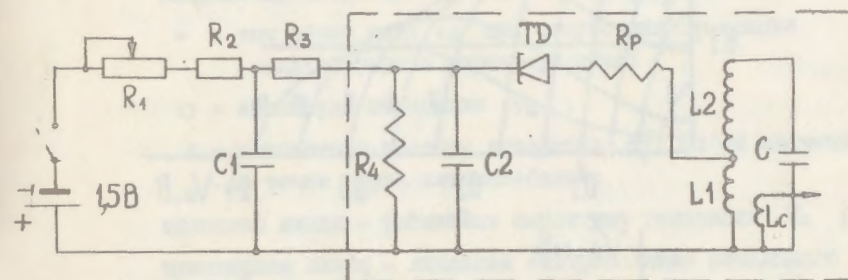


Рис. 1

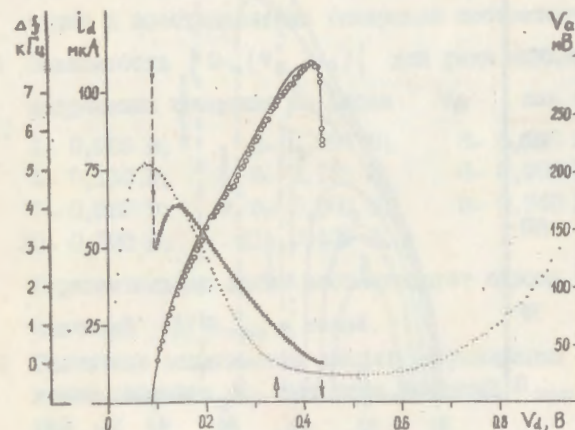


Рис. 2

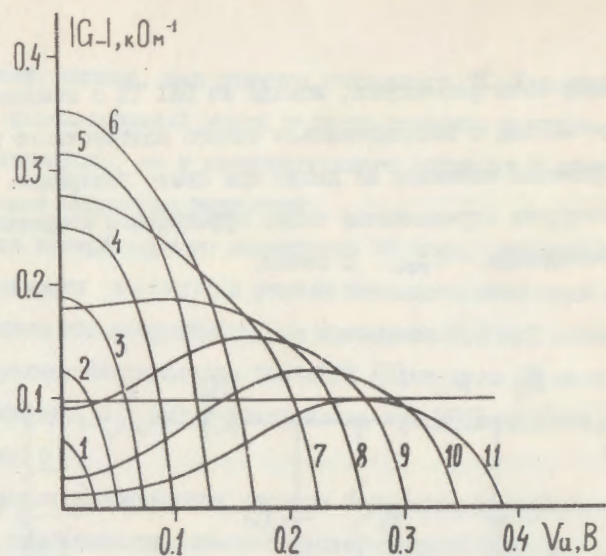


Рис.3

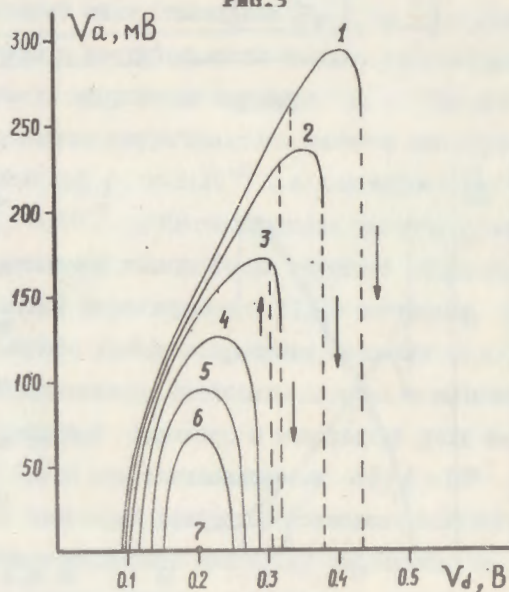


Рис.4

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Рис.1 Принципиальная электрическая схема генератора на туннельном диоде. Пунктиром обозначена охлаждаемая часть генератора.

Рис.2 Измеренные характеристики генератора на ТД как функции напряжения смещения V_d при температуре $T = 3\text{ K}$:

- - ток через диод i_d при отсутствии генерации (вольт-амперная характеристика);
- - амплитуда генерации V_a ;
- × - отклонение частоты генерации Δf от её значения в точке срыва автоколебаний;

сплошная линия - расчетная амплитуда генерации V_a ;
 пунктирная линия - линейная экстраполяция начального участка экспериментальной зависимости $\Delta f(V_d)$.
 Стрелками (↓) и (↑) указаны напряжения смещения при срыве и восстановлении генерации соответственно.

Рис.3 Зависимость $|G_-(V_a, V_d)|$ для ряда заданных значений напряжения смещения на диоде V_d , как параметра:

- | | | |
|--------------|--------------|-------------|
| 1- 0,085 В; | 2- 0,095 В; | 3- 0,110 В; |
| 4- 0,130 В; | 5- 0,160 В; | 6- 0,200 В; |
| 7- 0,260 В; | 8- 0,300 В; | 9- 0,340 В; |
| 10- 0,390 В; | 11- 0,435 В. | |

Горизонтальная линия соответствует одному из возможных значений $1/R_{эфф} = const$.

Рис.4 Расчетные зависимости амплитуды генерации V_a от напряжения смещения V_d для ряда значений $R_{эфф}$ как параметра:

1- 10,30 кОм; 2- 7,80 кОм; 3- 6,10 кОм;
4- 4,72 кОм; 5- 3,85 кОм; 6- 3,33 кОм;
7- 2,85 кОм.

Стрелками (↑) и (↓) указаны напряжения срыва и восстановления автоколебаний соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дегрифт В., Лав.Д. Моделирование генераторов на туннельных диодах. Приборы для научных исследований, 1981, № 5, с.70.
2. Drukier A.K., Yuan L.C.L. Superheated Superconducting Suspension as Transition Radiation Detector, Nucl.Instr. and Meth. 1976, vol.133, p.213.
3. Арутюнян М.А., Бабаян К.З., Габриелян К.С. и др. Исследование сверхпроводящего коллоидного детектора рентгеновского излучения. Материалы II симпозиума по переходному излучению частиц высоких энергий, Ереван, 1984, с.736.
4. Бабаян К.З. и др. Исследование сверхпроводящего коллоидного детектора рентгеновского излучения. Труды II Всесоюзной конференции по техническому использованию сверхпроводимости, Ленинград, 1984, т.2, с.13.
5. Дегрифт В.. Генератор на туннельном диоде для измерений с точностью 10^{-9} при низких температурах. Приборы для научных исследований 1975, № 5, с.104.
6. Акчурин Э.А., Рудь В.В., Спирин В.Я. Туннельные диоды в технике связи. М.: Связь, 1971.
7. Магнус К. Колебания. М.: Мир, 1982.

Рукопись поступила 27 августа 1987 г.