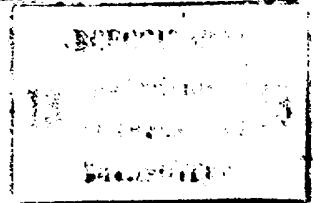




3 (50) Н 01 J 25/06

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ



ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

- (21) 2854307/18-25
 (22) 18.12.79
 (46) 30.05.84. Бюл. № 20
 (72) Е.М. Закутов, Ю.Д. Черноусов
 и В.Д. Шемелин
 (71) Институт химической кинетики
 и горения СО АН СССР
 (53) 621.385.6(088.8)
 (56) 1. Корнилов С.А. Деление частоты
 в пролетном клистроне с двумя
 зазорами. "Радиотехника и электро-
 ника", т. 3, № 4, 1958, с. 522.
 2. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ,
 т. 2, М., "Высшая школа",
 1972, с. 55 (прототип).
 (54) МОНОТРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР И СПОСОБ
 ГЕНЕРАЦИИ КОЛЕБАНИЙ В НЕМ
 (57) 1. Моноотронный генератор, со-
 держащий инжектор электронов, соос-
 но ему расположенный резонатор с про-
 летным каналом и выводом энергии,
 коллектор, отличающийся
 тем, что, с целью обеспечения возмож-
 ности генерации субгармоник, повыше-
 ния КПД, уменьшения пускового тока,
 в инжектор введено устройство форми-
 рования электронных сгустков, при

этом резонатор настроен на частоту f , определяемую следующим соотношением:

$$f/f_0 = n/m,$$

где f_0 - частота следования электро-
 нных сгустков;

n, m - целые числа и $n/m < 1$.

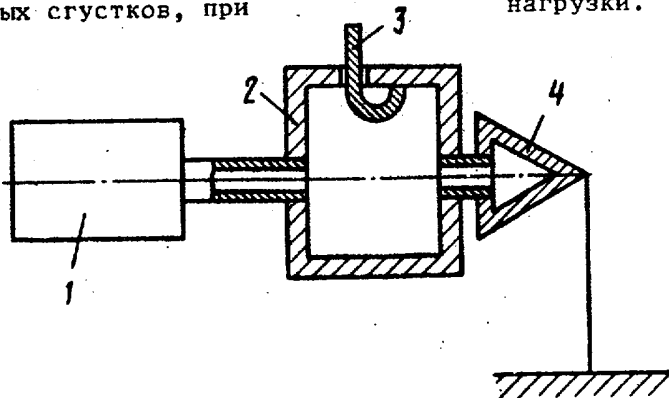
2. Способ генерации колебаний в
 моноотронном генераторе по п.1,
 включающий операцию ввода электро-
 нного потока в пролетный канал резо-
 натора, отличающийся
 тем, что при $f/f_0 = 1/2$ невозмущен-
 ный угол пролета электронных
 сгустков в резонаторе и величину
 среднего тока I выбирают из следую-
 щих соотношений:

$$(\theta_0 - 1)(1 + \sin \theta_0) - 1 + 2 \cos \theta_0 > 0,$$

$$I_0 > \frac{2 \theta_0^3}{(\theta_0 - 1)(1 + \sin \theta_0) - 1 - \cos \theta_0} \frac{U_0}{R_1},$$

где U_0 - напряжение инжекции элект-
 ронных сгустков;

R_1 - шунтовое сопротивление ре-
 зонатора с учетом внешней
 нагрузки.



Фиг.1

09 SU (11) 814162 A

Изобретение относится к области СВЧ-техники, а более конкретно к источникам СВЧ-мощности, и может быть использовано в ускорительной технике.

Известен пролетный клистрон, содержащий инжектор электродов и резонаторы [1]. Генерация субгармоник основной частоты производится при инжекции модулированного электронного пучка в резонатор с двумя зазорами. Этот клистрон имеет сложную конструкцию, требует длительной настройки перед включением и обладает невысокой надежностью.

Известен моноотронный генератор СВЧ-колебаний, работающий при отрицательной активной электронной проводимости рабочего зазора резонатора - моноотрон, содержащий инжектор электронов, соосно ему расположенный резонатор с пролетными каналами и выводом энергии и коллектор [2]. Генерация в монотроне осуществляется путем ввода электронного потока в пролетный канал резонатора с невозмущенным углом пролета $5/2\pi$ [2]. Несмотря на внешнюю простоту, такие генераторы широко не используются, так как обладают низким КПД и требуют большого пускового тока.

Целью изобретения являются создание на основе принципа действия моноотрона устройства для генерации субгармоник, повышение КПД и уменьшение пускового тока.

Поставленная цель достигается тем, что в моноотронном генераторе, содержащем инжектор электронов, соосно ему расположенный резонатор с пролетным каналом и выводом энергии и коллектор, в инжектор введено устройство формирования электронных сгустков. Резонатор настроен на частоту f , определяемую следующим соотношением

$$f/f_0 = n/m,$$

где f_0 - частота следования электронных сгустков,

n, m - целые числа и $n/m < 1$.

Генерация субгармоник в моноотронном генераторе осуществляется путем ввода электронного потока в пролетный канал резонатора. При $f/f_0 = 1/2$ невозмущенный угол пролета θ_0 электронных сгустков в резонаторе и вели-

чину среднего тока I_0 выбирают из следующих соображений

$$(\theta_0 - 1)(1 + \sin \theta_0 - 1 + 2 \cos \theta_0) > 0,$$

$$I_0 > \frac{2 \theta_0^2}{(\theta_0 - 1)(1 + \sin \theta_0 - 1 + \cos \theta_0)} \frac{U_0}{R_1},$$

где I_0 - средний ток;

θ_0 - невозмущенный угол пролета сгустков в резонаторе;

U_0 - напряжение инжекции электронных сгустков;

R_1 - шунтовое сопротивление резонатора с учетом внешней нагрузки.

На фиг. 1 представлена схема моноотронного генератора; на фиг. 2 - зависимость функции $\Phi(\theta)$ от невозмущенного угла пролета θ_0 электронных сгустков в резонаторе; на фиг. 3 результаты расчета на ЭВМ баланса энергии зависимости электронного КПД от амплитуды напряжения на резонаторе при различных значениях невозмущенного угла пролета; на фиг. 4 представлена рабочая характеристика моноотронного генератора со следующими параметрами: невозмущенный угол пролета $\theta_0 = 2,67$, напряжение инжекции электронных сгустков $U_0 = 50$ кВ; сопротивление нагрузки, перечисленное к зазору резонатора, $R_H = 0,52$ МОм, шунтовое сопротивление резонатора без учета внешней нагрузки $R_0 = 3,70$ МОм, средний за период ток $I_0 = 10$ А; частота субгармоники f в два раза меньше частоты следования электронных сгустков f_0 , т.е. $f/f_0 = 1/2$; КПД устройства $\eta_y = 70\%$; электронный КПД $\eta = 80\%$.

Предлагаемый моноотронный генератор работает следующим образом.

Инжектор электронов 1 формирует электронные сгустки, которые поступают в резонатор 2 и взаимодействуют с его продольным электрическим полем. В результате происходит преобразование кинетической энергии электронов в энергию СВЧ-колебаний резонатора на частоте субгармоники. Энергия выводится через устройство 3, а электроны собираются на коллекторе 4.

Рассмотрим физические процессы, происходящие в моноотронном генераторе, в сравнении с прототипом.

Непрерывный пучок в моноотроне может быть рассмотрен (для анализа) как последовательность большого числа сгустков за период колебаний ре-

зонатора. Если это число сгустков N стремится к бесконечности, то получим обычный моноотрон с непрерывным пучком. Начнем теперь уменьшать число N . Таким образом, формально можно утверждать, что моноотрон делит бесконечно высокую частоту $f_0 = Nf$ в N раз и является генератором частоты f .

При конечном N в расчете можно рассмотреть просто баланс энергий - разницу между энергией сгустков на входе и на выходе из резонатора. Наиболее просто это сделать для $N=2$.

Расчет электронного КПД устройства при $N=2$ сделан в предложении малой фазовой протяженности сгустков. Вначале допускается наличие некоторого продольного электрического поля в резонаторе, а затем показывается, что при определенных условиях на длину резонатора или (что то же самое) на величину невозмущенного угла пролета, энергия сгустков на выходе резонатора становится меньше, чем их энергия на входе. Разница между этими энергиями, отнесенная к энергии сгустков на входе, является электронным КПД η устройства. В рассмотренном случае $N=2$ получено для малых ξ :

$$\eta = \theta_0^2 \Phi(\theta_0) \xi^2 \quad (1)$$

$$\Phi(\theta_0) = (\theta_0 - 1)(1 + \sin \theta_0) - 1 + 2 \cos \theta_0;$$

где $\xi = \frac{eU}{m\omega^2 d^2}$ - безразмерная амплитуда напряжения на резонаторе;

$\frac{e}{m}$ - удельный заряд электрона;

U - напряжение на резонаторе;

$$\omega = 2\pi f;$$

d - длина резонатора.

Функция $\Phi(\theta_0)$ имеет ряд интервалов или зон генерации (см. фиг. 2), в которых она принимает значения большие нуля. В этих зонах происходит перекачка энергии сгустков в энергию СВЧ-полей резонатора. Однако из-за диссипации энергии в стенках резонатора величина η должна быть достаточно большой. Это соответствует существованию пускового тока - минимальной величины конвекционного тока сгустков, при которой "подкачка"

энергии в резонатор больше, чем потери в нем. Расчет этой величины для $N=2$ дает

$$I_{\text{пуск}} = \frac{2\theta_0^2}{\Phi(\theta_0)} \cdot \frac{U_0}{R_1} \quad (2)$$

Выражение (1) для η справедливо при малых ξ . При достаточно больших баланс энергий был рассчитан на ЭВМ. Результаты приведены на фиг. 3.

КПД устройства η_y - это отношение мощности, идущей в полезную нагрузку, подключенную к резонатору, к мощности пучка. С другой стороны

$$\eta_y = \eta_1 - \eta_0; \quad (3)$$

$$\eta_1 = \frac{U^2}{2R_1 U_0 I_0}; \quad \eta_0 = \frac{U^2}{2R_0 U_0 I_0}; \quad R_1 = \frac{R_0 R_H}{R_0 + R_H},$$

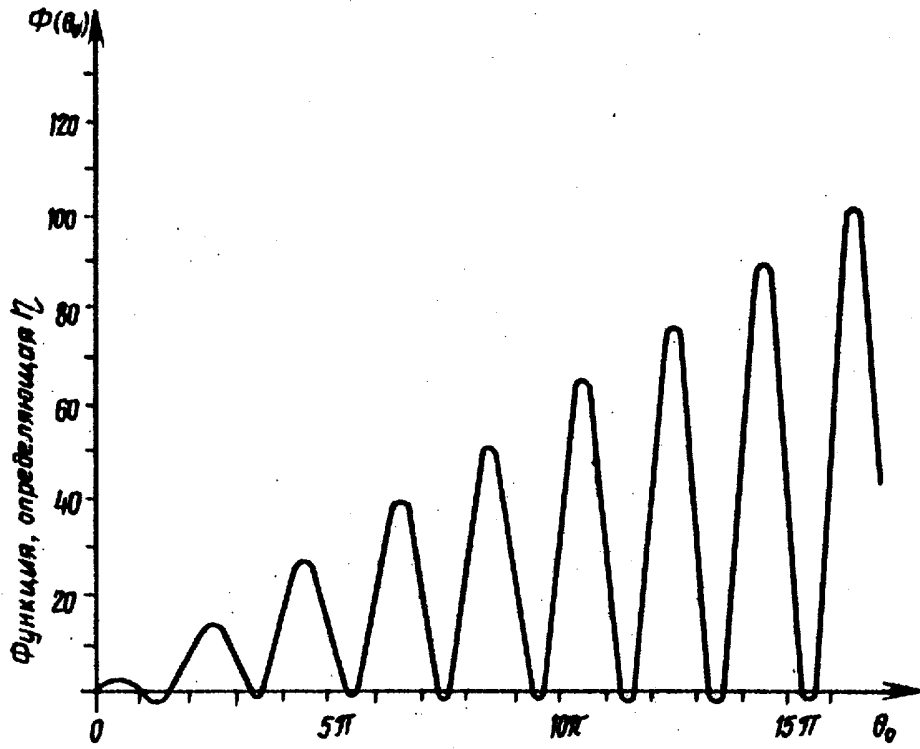
где R_0 - шунтовое сопротивление резонатора без учета внешней нагрузки;

R_H - сопротивление нагрузки, пересчитанное к зазору резонатора.

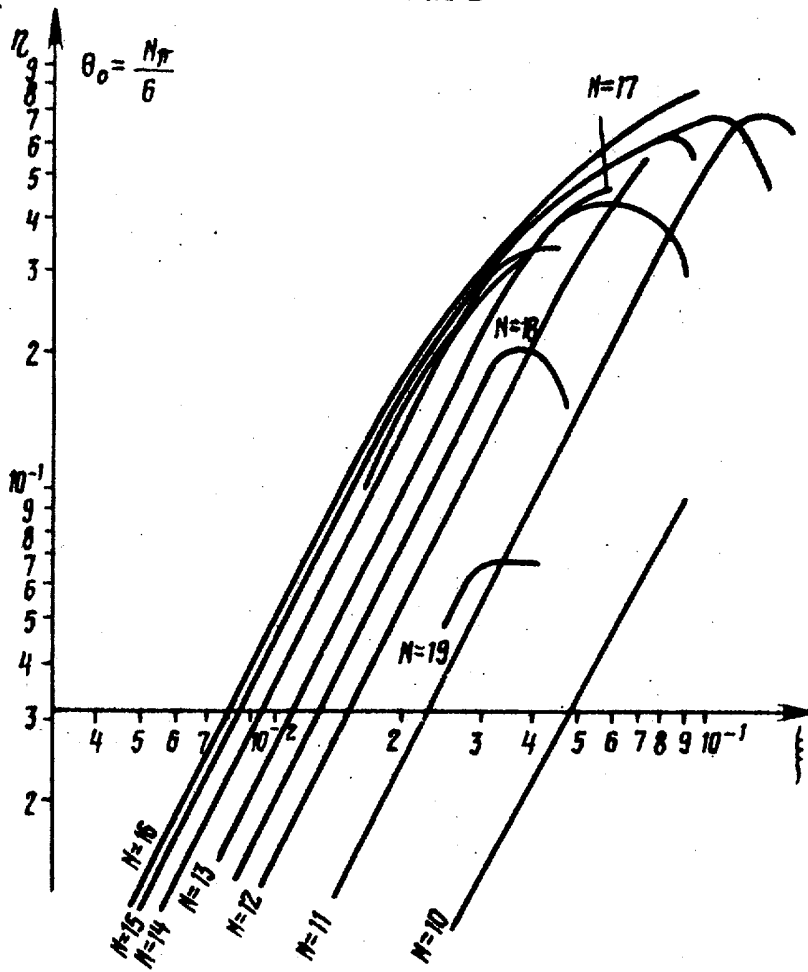
Первое из равенств (3) показывает, что полезная мощность, выделяемая устройством в нагрузку, есть разность между полной рассеиваемой СВЧ-мощностью и СВЧ-мощностью, рассеиваемой в резонаторе. Поскольку η и η_0 пропорциональны ξ^2 , на графике в логарифмическом масштабе изображающие их прямые параллельны между собой и параллельны прямолинейной части кривой $\eta(\xi)$ (см. фиг. 4). Точка пересечения $\eta(\xi)$ и $\eta_1(\xi)$ является рабочей точкой устройства. В ней энергия, отобранная у пучка распределяется между резонатором и нагрузкой. При напряжении меньшем, чем в рабочей точке, разность между мощностями $\eta U_0 I_0$ и $\eta_0 U_0 I_0$ идет на повышение напряжения в резонаторе.

Проведенные испытания показали работоспособность описанного моноотронного генератора.

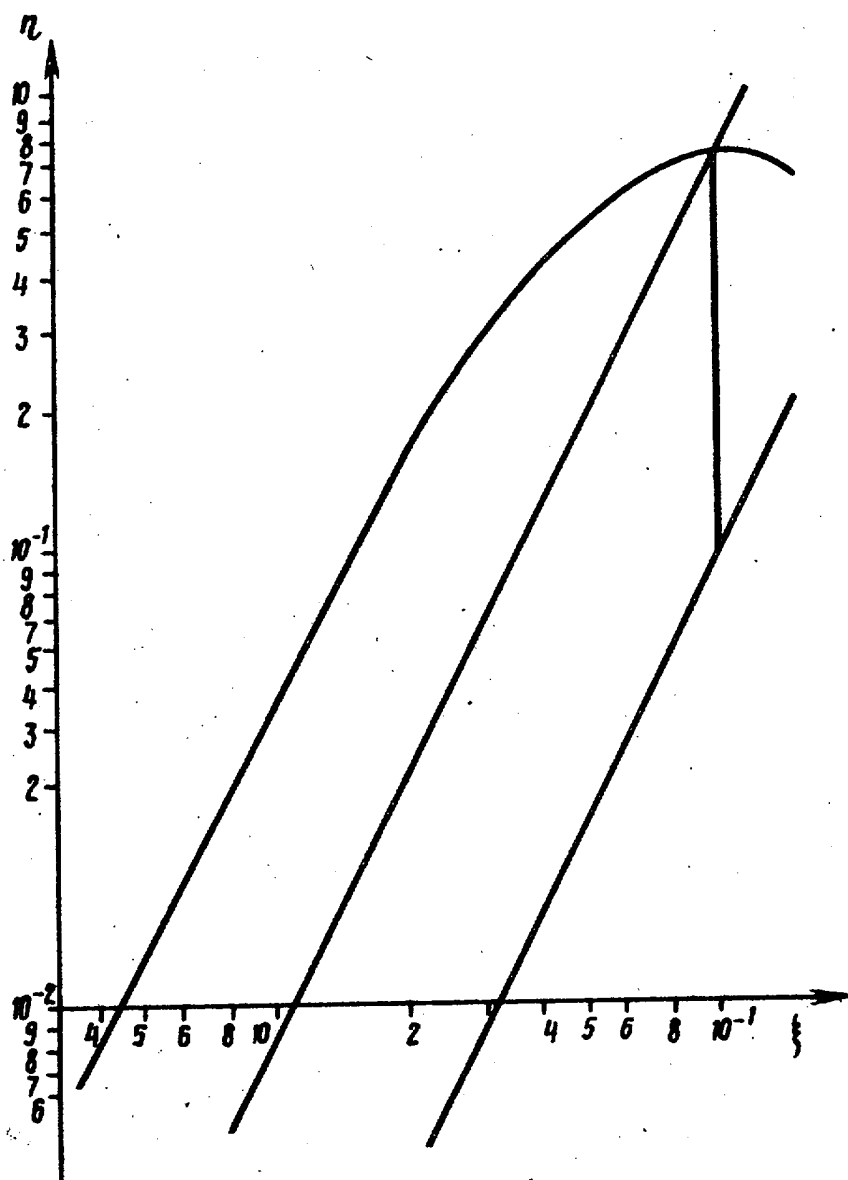
Предлагаемый моноотронный генератор позволяет генерировать СВЧ-колебания на частоте субгармоники, имеет высокий КПД, малый первеанс пучка ($P_{\mu} \approx 2 \cdot 10^{-2}$), что крайне важно при практическом использовании, малую величину пускового тока.



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг.4

Редактор Л. Утехина

Техред Т.Дубинчак

Корректор Л.Шеньо

Заказ 3920/4

Тираж 683

Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета СССР
по делам изобретений и открытий
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Филиал ИПИ "Патент", г. Ужгород, ул. Проектная, 4