

ДОПОВІДІ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНСЬКОЇ РСР

Серія „А“

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНІ
ТА ТЕХНІЧНІ НАУКИ

ОКРЕМИЙ ВІДБИТОК

№ 9

КИЇВ, 1976 р.

Фізика

УДК 538.574.6

І. М. БАЛАКЛИЦЬКИЙ, Г. С. ВОРОБИОВ, О. І. ЦВИК,
член-кореспондент АН УРСР В. П. ШЕСТОПАЛОВ

ГЕНЕРАТОР ДИФРАКЦІЙНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ МІЛІМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ З ВІДБИВАЧЕМ ЕЛЕКТРОННОГО ПОТОКУ

Питанням дослідження ефекту дифракційного випромінювання (ДВ), збуджуваного електронним потоком, який рухається над періодичною структурою, і створення за цим принципом генераторів дифракційного випромінювання (ГДВ) міліметрового і субміліметрового діапазонів присвячено ряд праць [1—3]. Позитивні властивості ГДВ зазначених діапазонів порівняно з іншими приладами електроніки НВЧ потребують подальшого удосконалення конструкцій відомих приладів [1] (збільшення ККД, зменшення пускових струмів, габаритів фокусуємих систем тощо) і створення нових методів більш ефективного перетворення кінетичної енергії електронного потоку в енергію ДВ.

Порівняно невисокий ККД діючих генераторів (1—4%) [1] зумовлений тим, що при одноразовому прольоті електронного потоку над дифракційними ґратками в об'ємі відкритого резонатора лише частина кінетичної енергії електронного пучка перетворюється в енергію високочастотного поля, а значна частина енергії електронів на колекторі перетворюється у теплову.

Ефективність перетворення енергії електронів в енергію випромінювання можна значно підвищити методом фазового фокусування, наприклад, за рахунок зміни фазової швидкості електромагнітної хвилі або швидкості електронного потоку вздовж довжини дифракційних ґраток. Однак і в цьому випадку в прольотних ГДВ не вдається звести до нуля залишкову кінетичну енергію електронів.

У зв'язку з цим постає питання про доцільність зниження потенціала колектора в генераторі або застосування замість колектора відбивачів електронного потоку, щоб електронний пучок, який осідає на колекторі, повернути знову у простір взаємодії для повторного перетворення його кінетичної енергії в енергію ДВ.

У цьому повідомленні наведено результати експериментальних досліджень ГДВ міліметрового діапазону ($\lambda = 3,8 \div 5,6$ мм), в якому замість колектора використовувався відбивач електронного потоку.

Відкритий резонатор генератора утворений сфероїдним дзеркалом з радіусом кривини 110 мм (апертура — 40 мм) і циліндричним дзеркалом (кривина — 130 м) з дифракційними ґратками (ширина — 10 мм, довжина — 40 мм, період — 0,4 мм, глибина канавок — 0,88 мм, ширина канавок — 0,15 мм), розміщеними в центрі дзеркала уздовж його твірної. Довжина циліндричного дзеркала резонатора дорівнювала довжині дифракційних ґраток, а ширина — 58 мм. Стрічковий електронний потік перерізом $5 \times 0,2$ мм² створювався двоелектродною гарматою і фокусувався у просторі взаємодії магнітним полем. Високочастотна енергія крізь щілину зв'язку, розміщену в центрі сферичного дзеркала, надходить у хвилеводно-вимірювальний тракт, у якому контролюється вихід-

на потужність, довжина хвилі або частота генерації і спостерігається на осцилографі зони генерації. Живлення відбивача здійснюється від стабілізованого джерела постійної напруги з регулюванням — $0 \div -4$ кВ.

Експериментальні дослідження показують, що робота приладу значною мірою залежить від співвідношення $\xi = \frac{U_0}{U_k}$, де U_0, U_k — негативні напруги на відбивачеві і катоді електронної гармати.

Розглянемо два випадки.

1. Якщо $U_0 = 0$ і в прольотному ГДВ не збуджуються коливання (або збуджуються поблизу стартових умов, де потужність генерації не-

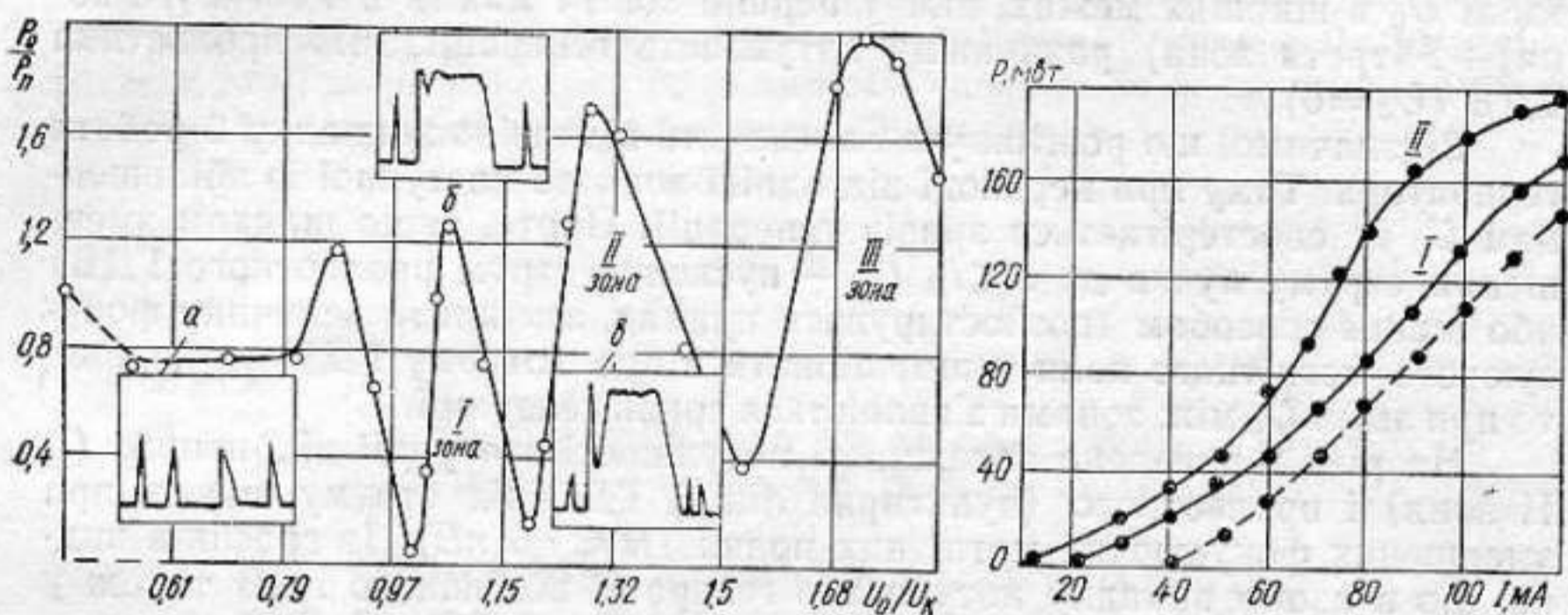


Рис. 1. Залежність потужності генерації відбивного ГДВ від напруги на відбивачеві.

Рис. 2. Залежності потужності генерації відбивного і прольотного ГДВ від струму пучка при зменшуваному фокусуючому магнітному полі.

значна), то при нарузі відбивача $\xi > 1$ ($U_k = \text{const}$) збуджуються зони генерації, перестроювані за частотою при зміні напруги на відбивачеві в межах $400 \div 600$ В, а кількість зон залежить від співвідношення між U_0 і U_k . Рівень потужності, що генерується в цих зонах, такого ж порядку, як і в прольотному ГДВ, однак при значно менших струмах пучка ($10 \div 20$ мА в постійному режимі). В розглядуваному випадку взаємодія електронного потоку з високочастотним полем відкритого резонатора відбувається майже так, як у відбивному клістріні. При першому прольоті електронного пучка над періодичною структурою за рахунок взаємодії електронів з високочастотним полем ДВ потік спочатку модулюється за швидкістю, а потім (при відбиванні) модуляція за швидкістю перетворюється в модуляцію за густиною заряду. При виконанні квазі-синхронізму однією із хвиль просторового заряду з фазовою швидкістю електромагнітної хвилі просторової дифракційної гармоніки збуджується когерентне дифракційне випромінювання.

2. У другому випадку, коли $U_0 = 0$ і в прольотному ГДВ збуджується високочастотне коливання на частоті f , то із збільшенням напруги на відбивачеві ($\xi > 1$) з'являються також зони генерації на частоті f , де потужність генерації в $2 \div 3$ рази (при струмах пучка $50 \div 120$ мА) зростає порівняно з прольотним ГДВ. На відміну від випадку 1 у даному режимі при зміні напруги на відбивачеві при переході від однієї зони до наступної генерація повністю не зривається.

На рис. 1 наведено залежності потужності генерації приладу у відносних одиницях (P_0 — вихідна потужність ГДВ з відбивачем, P_n — потужність прольотного ГДВ, коли $U_0 = 0$) при струмах пучка 60 мА і фокусуючому магнітному полі — $2,5$ кЕ ($P_n^{\text{max}} \approx 0,4 \div 0,5$ Вт). Тут же наведено сигнали генерації приладу для $\xi < 1$ (a — прольотного) і $\xi > 1$ ($b, в$ — I, II — зони відбивного ГДВ відповідно) в процесі зміни U_0 ($U_k = -2,3$ кВ, $\lambda = 4,06$ мм).

Із графіків видно, що для прольотного ГДВ при збільшенні напруги на відбивачеві від 0 до $\xi \approx 0,82$ ($U_0 = -1,87$ кВ, $U_k = -2,3$ кВ) потужність генерації зменшується на 20÷25% порівняно з $U_0 = 0$, однак при $\xi \approx 0,83$ спостерігається збільшення потужності на 20%, зумовлене фазуванням електронного потоку.

Якщо $\xi > 1$, генератор починає збуджуватися у відбивному режимі. У межах зміни напруги на відбивачеві 1,01÷1,119 формується перша зона високочастотних коливань, потужність генерації якої при $\xi = 1,06$ на 30% більша, ніж для $U_0 = 0$. При $\xi > 1,06$ формується друга ($\xi = 1,19 \div 1,52$) і третя ($\xi > 1,52$) зони, в яких частота перестроюється при зміні U_0 в ширших межах, ніж у першій зоні, і мають в 1,7 (друга зона) ÷ 2 (третя зона) рази вищу потужність генерації, ніж прольотний ГДВ ($U_0 = 0$).

Відзначимо, що розглянута залежність відповідає випадку 2 роботи генератора. Тому при переході від однієї зони до наступної із збільшенням U_0 не спостерігається зривів генерації. Проте, якщо шляхом зменшення струму пучка до $I < I_n$ (I_n — пусковий струм прольотного ГДВ) або іншим способом (роз'юстирувати прилад, зменшити величину фокусуєчого магнітного поля тощо) зірвати в прольотному ГДВ коливання, то при зміні U_0 між зонами з'являються зриви генерації.

На рис. 2 наведено залежності потужності генерації відбивного (I, II зони) і прольотного (пунктирна лінія) ГДВ від струму пучка при зменшених фокусуєчих магнітних полях ($H \approx 1,6$ кЕ). Із графіків видно, що в цьому випадку потужність генерації відбивного ГДВ також у декілька разів вища, ніж у прольотному. Якщо $I < 50$ мА (поблизу пускових струмів прольотного ГДВ), то прилад працює в основному за рахунок відбивання електронного потоку (режим I), а пускові струми генератора з відбивачем в 3÷4 рази менші, ніж у прольотному генераторі.

Дослідження перестройки генератора при зміні напруги на відбивачеві в межах зони генерації (безпотужна перестройка) показує: у приладі з добротністю резонатора ≈ 8000 частота змінюється на 2 ÷ 4 МГц, що відповідає крутизні $3 \div 5 \frac{\text{кГц}}{\text{В}}$.

Отже, експериментальні дослідження показують, що ГДВ з відбивачем можуть працювати при значно менших струмах і фокусуєчих магнітних полях, ніж прольотні ГДВ. Наявність безпотужної перестройки в межах зони генерації в генераторі дифракційного випромінювання свідчить про практичну можливість створення приладів гетеродинного типу з автоматичним підстроюванням частоти високочастотних коливань.

Література

1. В. П. Шестопапов, І. М. Балаклицький, О. О. Третьяков, Б. К. Скринник, Вісн. АН УРСР, 3, 27 (1972).
2. І. М. Балаклицький, В. Г. Курин, Б. К. Скринник, О. А. Третьяков, В. П. Шестопапов, ПТЭ, 2, 276 (1971).
3. Ф. С. Русин, Г. Д. Богомоллов, Письма в ЖТЭФ, 6, 4 (1966).

Інститут радіофізики і електроніки
АН УРСР

Надійшло
17.XI 1975 р.

DIFFRACTION RADIATION GENERATOR FOR MILLIMETRE RANGE WITH A REFLECTOR OF ELECTRON FLOW

Summary

The diffraction radiation generator (DRG) for a millimetre range ($\lambda=3.8+5.6$ mm) with a reflector of electron flow instead of commutator is experimentally studied. It is established that the reflectors used in the diffraction radiation generator allow one to reduce considerably starting currents of the generator, to retune generation frequency (non-power retuning) by changing voltage on the reflector, to increase the generation power at small magnetic focusing fields where the output power of the spanned DRG is negligible. The investigation results are presented by graphs.

УДК 621.385.69

В. Є. БУДАНОВ, М. М. СУСЛОВ,
член-кореспондент АН УРСР В. П. ШЕСТОПАЛОВ

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НА «ХОЛОДНІЙ» МОДЕЛІ ВИПРОМІНЮВАННЯ З ВІДКРИТОГО РЕЗОНАТОРА ГЕНЕРАТОРА ДИФРАКЦІЙНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Експериментальне дослідження закономірностей діючих генераторів дифракційного випромінювання (ГДВ) в основному проводилось в «гарячих» умовах і пов'язане з необхідністю підтримування високого вакууму, наявності відповідних електронно-оптичних систем, фокусуємих магнітних полів тощо. Сам процес вимірювань не дозволяв з заданою точністю визначати енергетичний баланс в ГДВ, і, як наслідок цього, з'ясувати причини порівняно невисоких ККД генератора та ін.

Деякі нові можливості у вивченні властивостей реальних ГДВ при дослідженні «холодної моделі» (ХМ) ГДВ, яка є відпаяним екземпляром діючого ГДВ, де відсутні електронна гармата і колектор, а над відбивними дифракційними ґратками розміщено діелектричний хвилевод, який збуджується від зовнішнього джерела того ж діапазону, що і модельований ГДВ (детально цей пристрій описано в [1]). З допомогою ХМ ГДВ в [1] вдалося оцінити коефіцієнт ефективності збудження відкритого резонатора (ВР) ГДВ.

У даному повідомленні встановлюються канали, по яких убуває значна доля енергії ($\geq 80\%$), що віддається поверхневими полями електронного потоку або діелектричного хвилеводу перетворенням їх в об'ємні хвилі дифракційного випромінювання, які не трансформуються у власні поля ВР ГДВ.

Відомо [2], що енергія, яка надходить в ВР, витрачається на омичні і дифракційні втрати, втрати на зв'язок з навантаженням і втрати при збудженні резонатора. Перші три втрати енергії детально вивчено в [3] у припущенні стопроцентної ефективності збудження ВР ГДВ дифракційним випромінюванням. Проте розходження теоретичних і експериментальних результатів (експериментальні дані для пускових струмів, ККД і т. д. ГДВ звичайно занижені порівняно з теорією) призводило до необгрунтованого вибору коефіцієнта ефективності збудження ВР порядку 50% або менше.