



УКРАЇНА

(19) UA (11) 61842 (13) U
(51) МПК (2011.01)
H01J 25/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ПІДСИЛЕННЯ РАДІОХВИЛЬ

1

2

(21) u201102533

(22) 03.03.2011

(24) 25.07.2011

(46) 25.07.2011, Бюл.№ 14, 2011 р.

(72) БЕЛЯВСЬКИЙ ЄВГЕН ДАНИЛОВИЧ, САУРОВА ТЕТЯНА АСАДОВНА, ТЕЛИЧКІНА ОКСАНА ВОЛОДИМИРІВНА

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

(57) Спосіб підсилення радіохвиль, який включає формування електронного потоку електронною пушкою, екранованою від магнітного фокусуєчого поля, створення азимутально-несиметричного електромагнітного поля в електродинамічній системі, модуляцію електронного потоку електромагнітним полем і передачу енергії електронного потоку електромагнітному полю, який **відрізняється** тим, що встановлюють електромагнітне поле з фазовою швидкістю V_ϕ і соленоїдальне магнітне фокусуєче поле з поздовжньою складовою магнітної індукції B , зменшують амплітуду електромаг-

нітного поля щонайменше на одній ділянці електродинамічної системи, виконуючи одночасно щонайменше один стрибок магнітної індукції і фазової швидкості, який задовольняє умові:

$$\Delta V_\phi = \left(n \cdot \frac{e}{m_0} / 2\omega \right) \Delta(B \cdot V_\phi),$$

де ΔV_ϕ - зміна фазової швидкості, $\Delta(B \cdot V_\phi)$ - зміна добутку $(B \cdot V_\phi)$, n - номер азимутальної хвилі,

$\frac{e}{m_0}$ - відношення заряду електрона до його маси

спокою, ω - колова частота сигналу, а одночасно на ділянках до та після стрибка змінюють фазову швидкість і вибирають магнітне поле так, щоб виконувались умови:

$$\left(\omega - n \cdot \frac{e}{m_0} \cdot \frac{B}{2} \right) \frac{dV_\phi}{dz} > 0; \quad 2\omega < \frac{e}{m_0} B,$$

де z - довжина в напрямку осі соленоїда.

Корисна модель відноситься до області надвисоких частот і може використовуватись для створення підсилювальних електронних приладів НВЧ О-типу.

З відомих технічних рішень найбільш близьким аналогом по технічній сутності є спосіб підсилення [1], який базується на створенні азимутально-несиметричної модуляції повздовжньої швидкості електронного пучка, який знаходиться в однорідному магнітному полі соленоїда, заекранованого від електронної пушки, електронно-хвильовому підсиленні на ділянці дрейфа та перекачці енергії електронного пучка, що обертається, у вихідну НВЧ-потужність. Недоліком відомого способу підсилення НВЧ коливаль є порівняно невеликий ККД (40 %).

Задачею корисної моделі є підвищення ККД підсилення НВЧ-радіохвиль.

Поставлена задача досягається тим, що в способі підсилення радіохвиль, який ґрунтується на формуванні електронного потоку електронною пушкою, екранованою від магнітного фокусуєчого

поля, створенні азимутально-несиметричного електромагнітного поля в електродинамічній системі, модуляції електронного потоку електромагнітним полем і передачі енергії електронного потоку електромагнітному полю, новим є те, що встановлюють електромагнітне поле з фазовою швидкістю V_ϕ і соленоїдальне магнітне фокусуєче поле з поздовжньою складовою магнітної індукції B , зменшують амплітуду електромагнітного поля щонайменше на одній ділянці електродинамічної системи, виконуючи одночасно щонайменше один стрибок магнітної індукції та фазової швидкості, які задовольняють умову:

$$\Delta V_\phi = \left(n \cdot \frac{e}{m_0} / 2\omega \right) \Delta(B \cdot V_\phi), \quad (1)$$

де ΔV_ϕ - зміна фазової швидкості, $\Delta(B \cdot V_\phi)$ - зміна добутку $(B \cdot V_\phi)$, n - номер азимутальної

(13) U

(11) 61842

(19) UA

хвилі, $\frac{e}{m_0}$ відношення заряду електрона до його маси спокою, ω - колова частота сигналу, θ - а одночасно на ділянках до та після стрибка змінюють фазову швидкість і вибирають магнітне поле так, щоб виконувались умови:

$$\left(\omega - n \cdot \frac{e}{m_0} \cdot \frac{B}{2} \right) \frac{dV_\phi}{dz} > 0; \quad 2\omega < \frac{e}{m_0} B, \quad (2)$$

де z - довжина в напрямку осі соленоїда.

Підвищення ККД досягається наступним чином. Пучок, який формується електронною пушкою, екранованою від магнітного поля, обертається як ціле навколо осі цього поля. Створене в електродинамічній системі азимутально-несиметричне електромагнітне поле взаємодіє з електронами, які обертаються у магнітному полі, групуючи їх у поздовжньому напрямку, причому групування електронів та їх взаємодія з азимутально-несиметричною електромагнітною хвилею суттєво залежить від магнітного поля та номера азимутальної хвилі. При виконанні умов (2) після ділянки зі зниженою амплітудою хвилі виникає автозахват електронних згустків полем електромагнітної хвилі і, як наслідок, здійснюється стійка передача енергії від захвачених електронів електромагнітній хвилі, що і забезпечує високий ККД.

Монотонно змінювати V_ϕ у відповідності до умови (2) можна тільки до тих пір, доки будуть виконуватись умови реалізованості (умови можливості навіски спіралі та ін.). Якщо в точках, де порушуються умови реалізованості, ввести одночасно стрибок магнітної індукції та фазової швидкості у відповідності до умови (1), яка є умовою збереження стійкості взаємодії, то V_ϕ можна відновити до початкового значення, тобто продовжити взаємодію пучка та поля і, як наслідок, додатково збільшити ККД підсилювача до значень, що суттєво перевищують ККД найближчого аналога.

На фігурі приведена схема виконання підсилювача, який може реалізувати заявлений спосіб підсилення радіохвиль.

Підсилювач включає екрановану від магнітного поля пушку 1, колектор 2, магнітну систему 3 і сповільнюючу систему (СС) 4 з азимутально-несиметричним видом коливань, змінними опором зв'язку та фазовою швидкістю (зміна опору зв'язку показана умовно на кресленні зміною діаметра спіралі; зміною кроку спіралі показана на кресленні зміна фазової швидкості, стрибок магнітного поля показаний зміною внутрішнього діаметру магнітної системи).

Для забезпечення азимутально-несиметричного поля хвилі підсилювач НВЧ може бути виконаний на СС, наприклад, у вигляді спіралі з ребристим екраном для створення азимутальної гармоніки. Колектор 2 в запропонованому приладі реалізації заявленого способу є струмоприймачем. Магнітна система 3 може бути виконана у вигляді соленоїда або імпульсного, або надпровідного; зокрема, на основі явища високо-

температурної надпровідності для отримання необхідних значень магнітного поля B .

Підсилення НВЧ - сигналів реалізується наступним чином.

Електронний потік, який формується електронною пушкою 1, екранованою від магнітного поля, яке створюється магнітною соленоїдальною системою 3, взаємодіє з азимутально-несиметричним полем СС, 4. При цьому відбувається групування електронів у поздовжній складовій електричного поля хвилі, при чому на процес групування електронів суттєво впливає фокусуюче магнітне поле. Для з'ясування цього впливу розглянемо взаємодію електронного потоку, що обер-

тається з кутовою швидкістю $\dot{\Theta} = \frac{e}{m_0} \cdot \frac{B}{2}$ (перед-

бачається повне екранування катоду від магнітного поля), із азимутально-несиметричною хвилею. Відносно руху електронів у незабуреному потоці при відсутності ВЧ поля використовують наступні припущення:

- радіальна координата r електрона є повільно змінюючою функцією вздовж осі z ;

- поздовжні швидкості електронів у будь-якому поперечному перерізі пучка однакові;

Відповідно, взаємодію електронів і хвилі розглянемо при наступних припущеннях:

- використовується нерелятивістське наближення;

- високочастотною модуляцією поперечної швидкості електронів можна знехтувати;

- можна знехтувати ВЧ складовою поля об'ємного заряду.

При прийнятих допущеннях вихідна система рівнянь руху має наступний вигляд:

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = \eta \operatorname{Re} \left[-j E e^{j(\omega t - n\Theta - \int h_0 dz)} \right], \quad (3)$$

$$\frac{d\Theta}{dt} = \dot{\Theta}(z)$$

де, $\eta = \frac{e}{m_0}$, t - поточний час, Θ - азимуталь-

на координата $h_0 = \frac{\omega}{V_\phi}$, E - амплітуда хвилі; V_ϕ -

фазова швидкість.

Введемо нову незалежну змінну:

$$x = \omega t - n\Theta - \int h_0 dx.$$

При цьому система рівнянь (3) наводиться до наступного вигляду:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{h_0} \cdot \frac{dx}{dt} \right) = -\eta E \left[\sin x + \sin \Psi_0 - \frac{\sin \Psi_0}{\omega - n\dot{\Theta}} \frac{dx}{dt} \right], \quad (4)$$

де

$$\sin \psi_0 = \frac{E_e}{E}; E_e = -\frac{d}{dz} \left[\frac{(\omega - n\dot{\Theta})^2}{2\eta h_0^2} \right]. \quad (5)$$

Якщо в правій частині рівняння (4) знехтувати членом, який містить

$\frac{dx}{dt}$, то це рівняння співпадає за формою із рівнянням руху у автофазній ЛБХ [2], [3] із еквівалентним статичним полем E_e , причому режиму підсилення сигналу, згідно [2], відповідає умова:

$$E_e > 0. \quad (6)$$

У загальному випадку, коли не можна знехтувати членом, що містить $\frac{dx}{dt}$ правій частині (4),

умови (6) вже не достатньо для існування режиму захвату згустків при підсиленні ВЧ поля; необхідно ще виконати умову стійкості коливань електронів у згустку. Для визначення цієї умови розглянемо

випадок повільної зміни величин E , $\eta\dot{\Theta}$, $\sin \psi_0$ на періоді коливань електрона, коли ці величини можна вважати постійними на цьому періоді. У цьому випадку можна ввести нову незалежну змінну $x_1 = x + \psi_0$ і записати (4) у вигляді системи рівнянь першого порядку:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= h_0 x_2, \\ \frac{dx_2}{dt} - \eta E \left[\sin(x_1 - \psi_0) + \sin \psi_0 - \frac{h_0 \sin \psi_0}{\omega - n\dot{\Theta}} x_2 \right] &= 0, \end{aligned} \quad (7)$$

причому $x_1 = 0$, $x_2 = 0$ - частинний розв'язок цієї системи. Стійкість цього рішення можна дослідити за методом Ляпунова [4], якщо взяти в якості функції Ляпунова величину:

$$V_1 = \frac{x_2^2}{2} + \frac{\eta E}{h_0} [\cos \psi_0 - \cos(x_1 - \psi_0) + x_1 \sin \psi_0],$$

яка виразно позитивна поблизу $x_1 = x_2 = 0$ та має знакопостійну похідну

$$V_2 = \frac{dV_1}{dt} = \frac{\eta E h_0 \sin \psi_0}{\omega - n\dot{\Theta}} x_2^2,$$

знак якої залежить від знака коефіцієнта при x_2^2 .

Тому, відповідно з теоремами Ляпунова [4], положення рівноваги $x_1 = 0$, $x_2 = 0$ стійко, якщо $V_2 \leq 0$, тобто при

$$\frac{\eta E h_0 \sin \psi_0}{\omega - n\dot{\Theta}} \leq 0 \quad (8)$$

При виконанні цієї умови захвачені у згусток електрони не можуть його покинути, тобто виникає автозахват електронів (автофазний режим).

З урахуванням визначення $\sin \psi_0$ та $\dot{\Theta}$ умови (8) і (6) записуються відповідно так:

$$\left(\omega - n \frac{e B}{m_0} \frac{1}{2} \right) \frac{dv_\phi}{dz} > 0; \quad 2\omega < \frac{e}{m_0} B \quad (9)$$

Таким чином, при виконанні умов (9) буде здійснюватися стійке перетворення енергії пучка в енергію електромагнітної хвилі, тобто підсилення ВЧ поля з високим ККД, який обмежується тільки можливістю монотонної зміни V_ϕ відповідно з умовами (9) (можливістю зменшення кроку СС). Якщо в точках, де порушуються умови реалізованості, ввести стрибок магнітної індукції і фазової швидкості так, щоб величина

$$\frac{(\omega - n\dot{\Theta})^2}{2\eta h_0^2} = \text{const}, \quad (10)$$

то еквівалентний потенціал $U_E = \int_0^z E_E dz$ буде

безперервним у точці стрибка B і V_ϕ (умова стійкості взаємодії пучка і хвилі [2]).

При цьому V_ϕ можна відновити до початкового значення, тобто продовжити взаємодію пучка та поля і, як наслідок, додатково збільшити ККД підсилювача до значень 80-95 %, що суттєво перевищує ККД прототипу, що характерно для автофазних приладів при виконанні умов реалізованості [2].

Умова (10) еквівалентна умові (1), якщо ввести ΔV_ϕ та $\Delta(B \cdot V_\phi)$.

Якщо умови (9), (10) не виконуються, то порушується стійкість згустка електронів і стійкість взаємодії пучка з НЧ-полем, що призводить до обмеження ККД (до значень ККД найбільш близького аналога ~40 %).

Корисна модель може використовуватись при розробці потужних підсилювачів НВЧ сигналів.

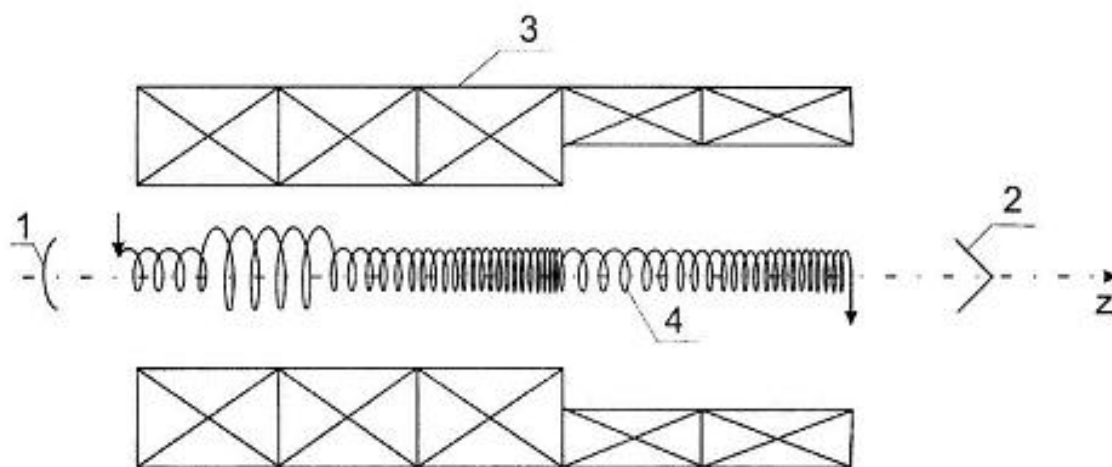
Джерела інформації:

1. Авторское свидетельство СССР, № 1730972А1, Н01J25/00 10.07.89 (вх. 64 от 3.08.92), Способ усиления СВЧ-колебаний.

2. Белявский Е.Д. О режиме работы приборов О-типа с захватом электронных сгустков полем электромагнитной волны. Радиотехника и электроника, 1971 г. №1, с.208.

3. Белявский Е. Д. Автофазная ЛБВ. - Электронная техника. Сер.1, Электроника СВЧ, 1973 г., вып. 4, с.30.

4. Ж. Ла-Сааль, Лифшец С. Исследование устойчивости прямым методом Ляпунова. Перевод с англ. "Мир", 1964 г.

**Fig.**