

УДК 632.315

Михайлова Л. М.¹*канд. техн. наук, професор, директор навчально-наукового інституту енергетики***E-mail:** *mihajlovaimesg@gmail.com***Думанський О. В.¹***канд. техн. наук, асистент кафедри електротехніки, електромеханіки і електротехнологій, навчально-науковий інституту енергетики***E-mail:** *duman.alexandr@gmail.com*¹*Подільський державний аграрно-технічний університет
Кам'янець-Подільський, Україна*

ДОСЛІДЖЕННЯ ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ НАДВИСОКОЧАСТОТНОГО ДІАПАЗОНУ ДЛЯ ЛІКУВАННЯ СВИНОМАТОК З СИНДРОМОМ МАСТИТ-МЕТРИТ-АГАЛАКТІЯ

Анотація

У статті пропонується дослідити високостабільні джерела електромагнітного поля надвисокочастотного діапазону для лікування тварин, зокрема свиноматок з синдромом мастит-метрит-агалактія. Для створення електротехнологій, пов'язаних з впливом ЕМП на біологічні об'єкти, необхідні дослідження зі створення високостабільних джерел ЕМП НВЧ діапазону, що відповідають високим вимогам по спектру вихідних сигналів, діапазону перебудови частоти і потужності вихідного сигналу.

При лікуванні захворювання свиноматок з синдромом метрит-мастит-агалактія необхідні джерела випромінювання в діапазоні 141 ... 143 ГГц з рівнем вихідної потужності не менше 250 мВт, нестабільністю частоти порядку 10^{-6} ... 10^{-7} , рівнем фазових шумів - 90 ... 100 дБ / Гц на частоті відбудови від несучої 10 кГц.

Один з ефективних шляхів вирішення завдання узгодження імпедансів діодів і навантаження в діапазоні НВЧ зводиться до застосування хвилеводно-коаксіальних ліній з параметрами: $D_2 = 1$ мм, $D_1 = 0,5$ мм, $n = 2$, $a = 1,6$ мм, $b = 0,8$ мм, $L_p = 0,25\lambda$, $W_{ок} = 42$ Ом, $R_p = 0,06$ Ом, $W_{01} = 250$ Ом.

Аналіз отриманих результатів показує, що критичність настройки суматора для отримання максимального ККД знижується при зменшенні R_{op} і збільшенні N . Підвищення ККД підсумовування при збільшенні N пояснюється необхідністю зменшення опору навантаження. Ця особливість, розглянутої схеми, істотно відрізняє її від інших відомих схем у яких ККД підсумовування зменшується при збільшенні N . Для визначення числа діодів, що забезпечують сумарну потужність в межах 250 мВт на частотах 141 ... 143 ГГц були проведені чисельні розрахунки для параметрів діода 2A762A: робочий діапазон частот $f = 140$... 145 ГГц, номінальна потужність = 0,09 Вт, робочий струм $I_0 = 150$ мА, робоча напруга $U_0 = 12$ В, $R_s = 0,5$ Ом, $R_p = 0,06$ Ом, $C = 0,2$ нФ, $p_2 = 1$, $I_0 / I_{ns} = 4$.

Ключові слова: дослідження, випромінювання, джерело випромінювання, діод, діапазон, електромагнітне поле, суматор, генератор.

Вступ. В сучасних умовах великого економічного збитку свинарству завдає хвороба молочної залози у свиней. Основний хворобою молочної залози у свиней, найчастіше, зустрічається метрит-мастит-агалактія, для лікування якої використовуються антибіотики.

У зв'язку з чим збереження і збільшення поголів'я свиней, а також підвищення їх продуктивності пов'язано із застосуванням низькоенергетичних (інформаційних) ЕМП міліметрового діапазону довжин хвиль для немедикаментозного лікування хвороб вимені свиноматок.

Однак розробка терапевтичної електромагнітної технології для лікування запалень вимені у свиней і підвищення їх продуктивності пов'язана з теоретичними і експериментальними дослідженнями з визначення параметрів ЕМП і створення високостабільних по частоті джерел електромагнітного випромінювання НВЧ діапазону.

Аналіз останніх публікацій і досліджень. Експериментальні дослідження щодо впливу електромагнітних полів на фізико-хімічні процеси в біологічних об'єктах та розробкою джерел електромагнітного випромінювання проводяться багатьма науковцями як на території України так і за кордоном. Зокрема, дослідження під керівництвом Е. Піротті, А. Черепнева, О. Черенкова, М. Девяткова, М. Лисиченко, Н. Косуліної, Л. Михайлової показують, що найбільший терапевтичний ефект слід очікувати від інформаційних ЕМП НВЧ діапазону [1, 2, 3].

У літературі описані експериментальні розробки розглянутих розгалужених суматоров потужностей. У діапазоні 94 ГГц був розроблений імпульсний суматор потужностей в якому застосований 4-х гібридний каскад кожен з яких підсумовує потужності двох ЛПД [4]. Суматори подібного типу характеризуються малою щільністю монтажу активних елементів і значними масогабаритними характеристиками.

Мета. Дослідження високостабільних джерел електромагнітного поля надвисокочастотного діапазону для лікування тварин, зокрема свиноматок з синдромом мастит-метрит-агалактія.

Методологія досліджень. Для створення електротехнологій, пов'язаних з впливом ЕМП на біологічні об'єкти, необхідні дослідження зі створення високостабільних джерел ЕМП НВЧ діапазону, що відповідають високим вимогам по спектру вихідних сигналів, діапазону перебудови частоти і потужності вихідного сигналу.

При лікуванні захворювання свиноматок з синдромом метрит-мастит-агалактія необхідні джерела випромінювання в діапазоні 141 ... 143 ГГц з рівнем вихідної потужності не менше 250 мВт, нестабільністю частоти порядку 10^{-6} ... 10^{-7} , рівнем фазових шумів - 90 ... 100 дБ / Гц на частоті відбудови від несучої 10 кГц [5].

Високі вимоги до стабільності частоти, спектру вихідних сигналів змушують при розробці джерел НВЧ коливань звертати особливу увагу на амплітудні та фазові флуктуації. Очевидно, що перспективи поліпшення спектральних характеристик джерел НВЧ коливань пов'язані як з вдосконаленням теоретичних методів розрахунку, так і з вдосконаленням конструкцій відповідних пристроїв і їх елементів. З аналізу випливає, що для задоволення вимоги по потужності випромінювання можливо тільки на основі суматорів. Відсутність суматора потужностей ЛПД в короткохвильової частини спектра НВЧ (понад 100 ГГц), висунуло необхідність створення такого джерела.

Таким чином, актуальним завданням є створення малогабаритного суматора потужності доданих генераторів з високостабільними коливаннями.

Крім того, при створенні ефективних генераторів повинні задовольнятися вимоги оптимального числа діодів в загальному резонаторі, забезпечуватися максимальний ККД і одночасно вирішуватися завдання роботи кожного діода в режимі максимальної потужності.

При паралельному включенні генераторних діодів в єдину електродинамічну систему частота автоколивань повинна визначатися резонансною частотою резонатора і має виконуватися вимога придушення паразитних типів коливань. Крім того, повинні задовольнятися вимоги оптимального складання потужностей діодів, забезпечуватися максимальний ККД підсумовування і одночасно вирішуватися завдання роботи кожного діода в режимі максимальної потужності на резонансній частоті резонатора. Для визначення параметрів електродинамічної системи багатодіодного генератора розглянемо схему побудови однодіодного генератора з включенням високодобротного

резонатора на прохід. Схема генератора з прохідним резонатором з навантаженням $R_{ap} < W_{0k}$ представлена на рисунку 1.

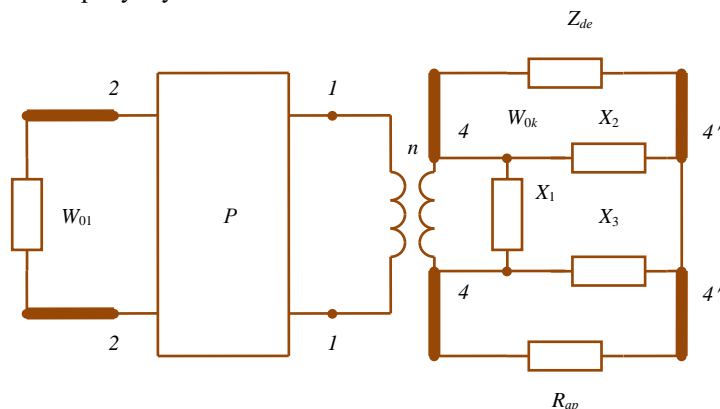


Рис. 1. Еквівалентна схема генератора з прохідним резонатором:
P - відкритий бочкоподібний резонатор; **W_{01}** - хвильовий опір хвилеводу виведення потужності; **W_{0k}** - хвильовий опір хвилеводно-коаксимальної лінії з діодом;
 R_{ap} - антипаразитне поглинаюче навантаження.

Згідно [6], елементи схеми X_2 , X_3 в широкому діапазоні частот можуть не враховуватися, реактивний елемент X_1 включається в коливальний контур між коаксиалом і хвилеводом виведення потужності. В результаті, уявімо схему СВЧ ланцюга з прохідним резонатором (рисунок 2).

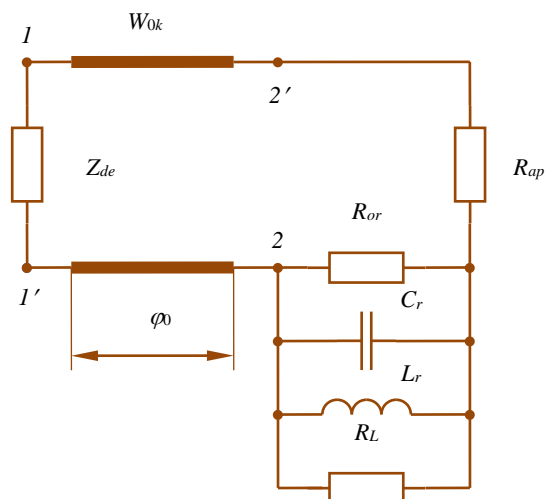


Рис. 2. Спрощена еквівалентна схема однодіодного генератора з прохідним резонатором:

R_{or} - опір резонатора; **R_L** - опір корисного навантаження. Діод з еквівалентним опором Z_{de} підключений до клем $1-1'$; **W_{0k}** - хвильовий опір коаксимальної лінії.

Значення R_{or} , R_L визначимо безпосередньо в коаксимальній лінії при налаштуванні коливальні системи в резонанс [7]. В цьому випадку:

$$R_{0r} = W_{0k} (K_0 - R_{ap}'); R_L = W_{0k} \frac{(K_L - R_{ap}') (K_0 - R_{ap}')}{(K_0 - R_{ap}')}, \quad (1)$$

де K_L - зв'язок при навантаженому резонаторі

$$K_0 = R_{0r} (W_{0k} + R_{ap}'); R_{ap}' = \frac{R_{ap}}{W_{0k}}.$$

Для заданої геометрії ОБР і, що збуджується в ньому ТМ₁₅₃₁ типу коливачів, добротність резонатора визначається ступенем його зв'язку з прямокутним хвилеводом

$$K_0 = \frac{R_{0r}}{W_{01}}.$$

Розглядаючи випадок включення ідентичних діодів, і однакових антипаразитних опорів R_{ap} у всіх плечах сумматора було встановлено, що величина оптимального навантаження резонатора і максимальний ККД високочастотного ланцюга визначаються виразами [7]:

$$\left(\frac{R_L}{W_0}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{R_{ap}'}{N}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{K_0 - R_{ap}'}{\left[\left(K_0 - R_{ap}'\right) + \frac{R_{ap}'}{N}\right]^{\frac{1}{2}}}; \quad (2)$$

$$\eta_{max} = \frac{(K_0 - R_{ap}')N}{\left\{\left(R_{ap}'\right)^{\frac{1}{2}} + \left[\left(K_0 - R_{ap}'\right)N + R_{ap}'\right]^{\frac{1}{2}}\right\}^2}. \quad (3)$$

У режимі максимальної потужності модуль негативного опору діода не перевищує 2 ... 3 Ом. У зв'язку з цим при включенні ЛПД в хвилеводи стандартного перетину і коаксіальні лінії передачі з імпедансами W_0 і W_{0k} коефіцієнт трансформації активної складової навантаження до діода перевищує величину $K_0 = \frac{W_0}{|R_d|} > 50 - 100$. Забезпечення

оптимальних коефіцієнтів трансформації діодів при включенні в ланцюзі СВЧ, особливо в діапазоні НВЧ, і полягає основна трудність побудови ефективних сумматорів потужності з мінімальними енергетичними втратами.

Один з ефективних шляхів вирішення завдання узгодження імпедансів діодів і навантаження в діапазоні НВЧ зводиться до застосування хвилеводно-коаксіальних ліній (рисунк 3).

Коаксіальна лінія 2 з діаметром зовнішнього і внутрішнього провідника D_2 і D_1 з діодом 1 навантажена на антипаразитний опір 3 і пов'язана з прямокутним хвилеводом 4 розмірами $a \times b$. Узгодження низкоомного діода з високоомним навантаженням здійснюється шляхом підбору геометричних параметрів коаксіальної лінії і положення L_p короткозамикаючого поршня 5.

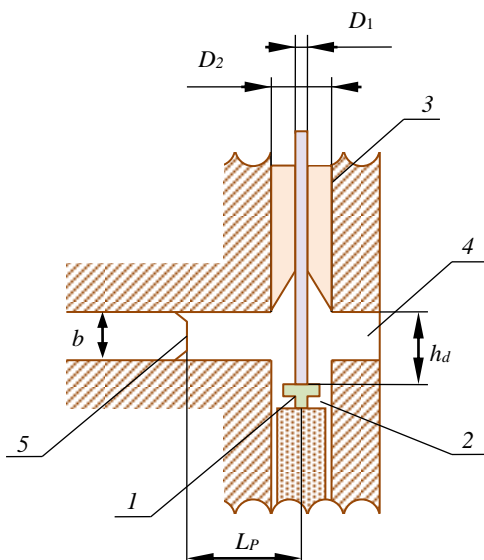


Рис. 3. Конструктивна схема ГЛПД з хвилеводно-коаксіальною лінією

Опір втрат такого резонатора, приведені до пучності струму, визначається за формулою [6]:

$$R_p \cong k \times 5,72 \cdot 10^{-4} \frac{2\pi}{\sqrt{\lambda}} \left[\frac{W_{0k}}{15} + n \frac{\lambda}{D_1} \left(1 + e^{-\frac{W_{0k}}{60}} \right) \right], \quad (4)$$

де $W_{0k} = 60 \ln \frac{D_2}{D_1}$ – хвильовий опір коаксіальної лінії;

λ – довжина хвилі;

n – кількість напівхвиль в лінії,

$k = 1,92$ с для латуні.

Хвильовий опір прямокутного хвилеводу визначимо, використовуючи формулу:

$$W_{01} = 120\pi \frac{b}{a} \left[1 - \left(\frac{\lambda}{2a} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}}. \quad (5)$$

Визначимо параметри хвилеводно-коаксіальної лінії, необхідні для розрахунку коливальні системи багатодіодного генератора 2-х міліметрового діапазону довжин хвиль.

Результати досліджень. Хвилеводно-коаксіальна лінія має наступні параметри: $D_2 = 1$ мм, $D_1 = 0,5$ мм, $n = 2$, $a = 1,6$ мм, $b = 0,8$ мм, $L_p = 0,25\lambda$, $W_{0k} = 42$ Ом, $R_p \cong 0,06$ Ом, $W_{01} \cong 250$ Ом.

На рисунках 4 і 5 представлені розраховані залежності $(R_L/W_{0k}) = f(K_0, R_{ap}, N)$ і $\eta_{Lmax} = f(K_0, R_{ap}, N)$.

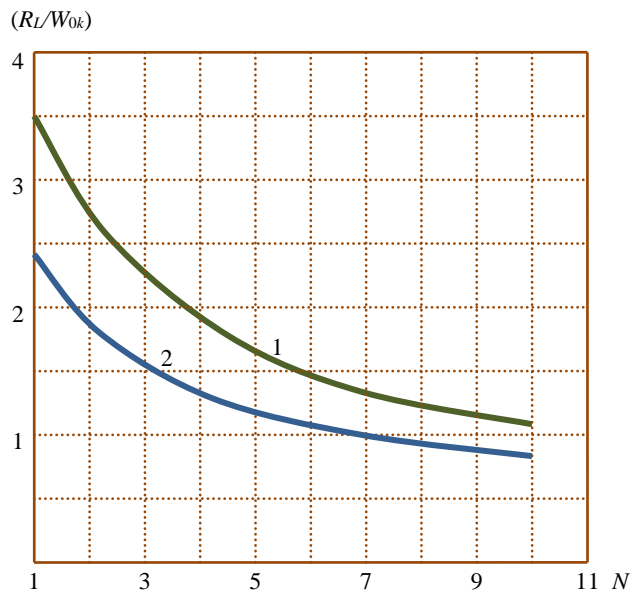


Рис. 4. Залежність оптимального опору навантаження $(R_L / W_{0k})_{opt}$ від величини сумуючих діодів і величини антипаразитного опору R_{ap} :
 $K_0 = 15$ - величина зв'язку діодної лінії з резонатором; 1 – $R_{ap} = 0,5$ Ом; 2 – $R_{ap} = 1,0$ Ом.

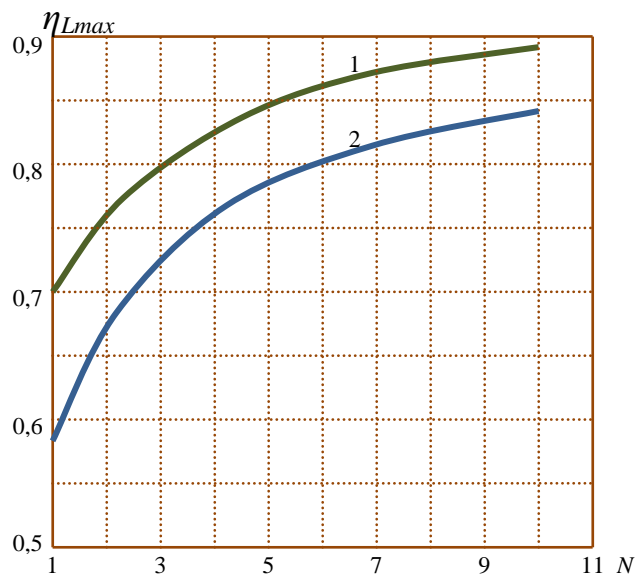


Рис. 5. Залежність максимального ККД підсумовування N діодів в схемі із загальним резонатором при різних величинах антипаразитного опору R_{ap} і величини зв'язку $K_0 = 15$: 1 – $R_{ap} = 0,5$ Ом; 2 – $R_{ap} = 1,0$ Ом

Аналіз отриманих результатів показує, що критичність настройки суматора для отримання максимального ККД знижується при зменшенні R_{ap} і збільшенні N . Підвищення ККД підсумовування при збільшенні N пояснюється необхідністю

зменшення опору навантаження. Ця особливість, розглянутої схеми, істотно відрізняє її від інших відомих схем [7] у яких ККД підсумовування зменшується при збільшенні N . Для визначення числа діодів, що забезпечують сумарну потужність в межах 250 мВт на частотах 141 ... 143 ГГц були проведені чисельні розрахунки для параметрів діода 2A762A: робочий діапазон частот $f = 140 \dots 145$ ГГц, номінальна потужність = 0,09 Вт, робочий струм $I_0 = 150$ мА, робоча напруга $U_0 = 12$ В, $R_s = 0,5$ Ом, $R_p = 0,06$ Ом, $C = 0,2$ пФ, $p_2 = 1$, $I_0 / I_{ns} = 4$ [7].

Беручи ККД системи 0,8 - число діодів визначимо з виразу:

$$N \geq P_{\text{вих}} / \eta \cdot P_{\text{ном}} = 0,25 / 0,8 \times 0,09 = 3,47 \approx 4.$$

Висновки і перспективи. Результати чисельного аналізу показали, що забезпечити вимоги, що пред'являються до джерела випромінювань в діапазоні частот 141 ... 143 ГГц з вихідною потужністю не менше 250 мВт, можливо на основі суматора потужностей чотирьохдіодного генератора на ЛПД з ОБР.

Список використаних джерел

1. А. Д. Черенков, Л. Ф. Кучин. Влияние низкоэнергетических МП на клетки тканей вымени коров больных маститом. *Вісник ХДТУСУГ*. 2001. Вип. 6. С. 32–33.
2. Н. Д. Девятков, М. Б. Голот, О. В. Бескид. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. Москва : Радио и связь, 1991. 169 с.
3. Л. Н. Михайлова, А. Н. Мороз. Физиологические особенности мастита свиней и методы его лечения. *Вісник національного технічного університету «ХПІ»*. Нові рішення в сучасних технологіях. 2010. № 33. С. 31–35.
4. Бугаев А. В., Касаткин Л. В. Каскадное суммирование мощностей ЛПД в режиме внешней синхронизации. *Электронная техника. Серия 1. Электроника СВЧ*. 1989. Вып. 10. С. 22 – 27.
5. Михайлова Л. Н. Определение параметров электродинамической системы многодиодного генератора крайневых частотного диапазона. *Вісник національного технічного університету «ХПІ»*. Нові рішення в сучасних технологіях. 2011. № 54. С. 138–141.
6. Левин Л. Теория волноводов. Методы решения волноводных задач. Москва : Издательство радио и связь, 1981. 211 с.
7. Касаткин Л. В., Лошицкий П. П. Эквивалентная схема высокочастотной цепи ГЛПД с внутриволноводным открытым резонатором. *Электронная техника. Серия 1. Электроника СВЧ*. 1974. № 5. С. 21 – 26.

Дата надходження статті до редакції: 13.10.2020
1 рецензування 29.11.2020 Прийняття в друк: 22.12.2020

Mikhailova L.M.¹

Ph.D., Professor, director of the Educational and Scientific Institute of Energy

E-mail: mihajlovaimesg@gmail.com

Dumanskyi O.V.¹

Ph.D., assistant

*of the Department of Electrical Engineering, Electromechanics
and Electrical Technologies, Educational and Scientific Institute of Energy*

E-mail: duman.alexandr@gmail.com

¹State Agrarian and Engineering University in Podilya
Kamianets-Podilskyi, Ukraine

STUDY SOURCES OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD OF THE HIGH-HIGH FREQUENCY RANGE FOR THE TREATMENT OF SOWS WITH MASTIT-METRIT-AGALACTIA SYNDROME

Abstract

The article proposes to investigate highly stable sources of the electromagnetic field of the ultrahigh frequency range for the treatment of animals, in particular sows with mastitis-metritis-agalactia syndrome. To create electrical technologies related to the influence of EMF on biological objects, research is needed to create highly stable microwave EMF sources that meet high requirements for the spectrum of output signals, the range of frequency adjustment and power of the output signal.

In the treatment of sows with metritis-mastitis-agalactia, radiation sources in the range of 141 ... 143 GHz with an output power level of at least 250 mW, frequency instability of the order of 10^{-6} ... 10^{-7} , phase noise level - 90 are required. ... 100 dB / Hz at the rebuild frequency from a carrier of 10 kHz.

One of the effective ways to solve the problem of matching the impedances of the diodes and the load in the microwave range is to use waveguide-coaxial lines with the parameters: $D_2 = 1$ mm, $D_1 = 0.5$ mm, $n = 2$, $a = 1.6$ mm, $b = 0$, 8 mm, $L_p = 0.25\lambda$, $W_0k = 42$ Ohm, $R_p = 0.06$ Ohm, $W_0l = 250$ Ohm.

Analysis of the results shows that the criticality of the adder setting to obtain the maximum efficiency decreases with decreasing R_{ap} and increasing N . The increase in the summation efficiency with increasing N is due to the need to reduce the load resistance. This feature of the considered scheme significantly distinguishes it from other known schemes in which the summation efficiency decreases with increasing N . To determine the number of diodes providing total power within 250 mW at frequencies 141 ... 143 GHz, numerical calculations were performed for the diode parameters 2A762A: operating frequency range $f = 140$... 145 GHz, rated power = 0.09 W, operating current $I_0 = 150$ mA, operating voltage $U_0 = 12$ V, $R_s = 0.5$ Ohm, $R_p = 0.06$ Ohm, $C = 0.2$ pF, $p_2 = 1$, $I_0 / I_{ns} = 4$.

Discussion: The results of numerical analysis showed that to meet the requirements for the radiation source in the frequency range 141 ... 143 GHz with an output power of at least 250 mW, it is possible on the basis of the power adder of a four-diode generator on LPD with OBR.

Keywords: research, radiation, radiation source, diode, range, electromagnetic field, adder, generator.

References

1. Cherenkov, A.D. & Kuchin, L.F. (2001). Vliyanie nizkoenergeticheskikh EMP na kletki tkaney vyimeni korov bolnykh mastitom. *Visnik HDTUSG*, 6, 32–33 [in Russia].
2. Deviatkov, N. D., Holot, M. B., & Beskyd, O. V. (1991). *Myllymetrovyye volny y ykh rol v protsesakh zhyznedeiatelnosti*. Moscow: Radyo y sviaz [in Russia].
3. Mykhailova, L.M., & Moroz, A. N. (2010). Fyzyolohycheskye osobennosti mastyta svynei y metody ego lecheniya. *Visnyk natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. *Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh*, 33, 31–35. [in Russia].
4. Buhaev, A. V., & Kasatkyn, L. V. (1989). *Kaskadnoe summyrovanye moshchnosti LPD v rezhyme vneshnei synkhronyzatsyy*. *Elektronnaia tekhnika. Seryia 1. Elektronika SVCh*, 10, 22–27. [in Russia].
5. Mykhailova, L. N. (2011). Opredelenye parametrov elektrodynamicheskoi systemy mnohodyodnogo heneratora krainevysokochastotnoho dyapazona. *Visnyk natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. *Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh*, 54, 138–141. [in Russia].
6. Levyn, L. (1981). Teoriya volnovodov. *Metodi resheniya volnovodnykh zadach*. Moscow : Yzdatelstvo radyo y sviaz. [in Russia].
7. Kasatkyn, L. V., & Loshytskyi, P. P. (1974). Ekvyvalentnaia skhema visokochastotnoi tsepy HLPD s vnutryvolnovodnim otkritim rezonatorom. *Elektronnaia tekhnika. Seryia 1. Elektronika SVCh*, 5, 21–26. [in Russia].

Received: 10/13/2020

Revision: 11/29/2020 Accepted: 12/22/2020