



УДК 621.373

DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-47

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ВЗАЄМОДІЇ РАДІОІМПУЛЬСІВ НВЧ ВИПРОМІНЮВАННЯ З РОСЛИННИМ СЕРЕДОВИЩЕМ КАРТОПЛІ

Сілі І. І., к. т. н.

<http://orcid.org/0000-0002-6603-2174>

Таврійський державний агротехнологічний університет

e-mail: ivan.sili@tsatu.edu.ua

Анотація – наукові та практичні дослідження останніх років показують, що альтернативою хімічному методу захисту рослин може бути метод на основі екологічно безпечної і ефективної енергоінформаційної радіоімпульсної біотехнології. Для визначення біотропних параметрів радіоімпульсного випромінювання (частота заповнення імпульсів, період проходження імпульсів та їх тривалість, експозиція), які матимуть негативну пригноблюючу дію на колорадського жука та його личинок у рослинному середовищі картоплі, необхідні теоретичні та математичні дослідження процесу взаємодії радіоімпульсних випромінювань з комахами шкідниками картоплі. Основною характеристикою таких досліджень є розрахунок параметрів взаємодії радіоімпульсів НВЧ випромінювання з рослинним середовищем картоплі.

В попередніх дослідженнях було описано процес взаємодії радіоімпульсів НВЧ випромінювання з рослинним середовищем картоплі, проведено аналіз можливості використання високостабільного по частоті діодного генератора для зовнішньої синхронізації потужних радіоімпульсних діодних джерел. Приведено результати розрахунку генератора імпульсної дії міліметрового діапазону, який формує імпульси заданої тривалості з необхідним рівнем потужності енергоінформаційної радіоімпульсної біотехнології та результати роботи по конструюванню синхронізуючого генератора на лавино-пролітних діодах для систем знищення шкідників картоплі, представлено конструкцію генератора у вигляді хвилевідно-штирьової моделі, на основі еквівалентної схеми обчислено параметри хвилевода та лавино-пролітного арсенід-галієвого діода типу 3A730A.

В даній роботі представлено подальший розгляд радіоімпульсної біотехнології знищення шкідників картоплі та проведено розрахунок параметрів взаємодії радіоімпульсів НВЧ випромінювання з рослинним середовищем картоплі на основі попередніх досліджень. На основі еквівалентної схеми визначено формули для розрахунку активної і реактивної складової опору $p-n$ переходу діода, параметрів стабілізуючого резонатора, зокрема наведено формулу для розрахунку добротності резонатора, визначено вираз опору навантаження хвилеводу.

Ключові слова: генератор НВЧ, лавинно-пролітний діод, НВЧ випромінювання, імпульсний генератор, суматор, потужність випромінювання.



Постановка проблеми. Наукові та практичні дослідження останніх років показують, що альтернативою хімічному методу захисту рослин може бути метод на основі екологічно безпечної і ефективної енергоінформаційної радіоімпульсної біотехнології [1,2]. Для визначення біотропних параметрів радіоімпульсного випромінювання (частота заповнення імпульсів, період проходження імпульсів та їх тривалість, експозиція), які матимуть негативну пригноблюючу дію на колорадського жука та його личинок у рослинному середовищі картоплі, необхідні теоретичні та математичні дослідження процесу взаємодії радіоімпульсних випромінювань з комахами шкідниками картоплі [3]. Основною характеристикою таких досліджень є розрахунок параметрів взаємодії радіоімпульсів НВЧ випромінювання з рослинним середовищем картоплі.

Аналіз останніх досліджень. В дослідженні [4] описано процес взаємодії радіоімпульсів НВЧ випромінювання з рослинним середовищем картоплі та отримано рівняння усередненого значення електричного поля електродинамічної моделі рослинного середовища картоплі з колорадським жуком.

В роботі [5] проведено аналіз можливості використання високостабільного по частоті діодного генератора для зовнішньої синхронізації потужних радіоімпульсних діодних джерел. Визначено, що стабілізація частоти в генераторі на безкорпусному лавинно-пролітному діоді здійснюється високодобротним циліндричним об'ємним резонатором прохідного типу. В результаті теоретичного аналізу в статті на основі еквівалентної схеми встановлені параметри безкорпусного діода, визначена величина зв'язку високодобротного циліндричного резонатора з хвилеводною системою генератора і її конструктивні параметри.

В роботі [6] приведено результати розрахунку генератора імпульсної дії міліметрового діапазону, який формує імпульси заданої тривалості з необхідним рівнем потужності енергоінформаційної радіоімпульсної біотехнології.

В роботі [7] приведені результати роботи по конструюванню синхронізуючого генератора на лавино-пролітних діодах для систем знищення шкідників картоплі та представлено конструкцію генератора у вигляді хвилевідно-штирьової моделі, на основі еквівалентної схеми обчислено параметри хвилевода та лавино-пролітного арсенід-галієвого діода типу 3A730A.

Формулювання цілей статті. В даній роботі пропонується продовжити розгляд радіоімпульсної біотехнології знищення

шкідників картоплі та провести розрахунок параметрів взаємодії радіоімпульсів НВЧ випромінювання з рослинним середовищем картоплі на основі попередніх досліджень, наведених в наукових роботах [1, 6 та 7].

Основні матеріали дослідження. Для визначення параметрів діода синхронізуючого генератора скористаємося методикою, наведеною в роботі [8] для режиму слабкого сигналу.

Спрощена еквівалентна схема ЛПД з урахуванням втрат в базі транзистора наведена на рис.1.

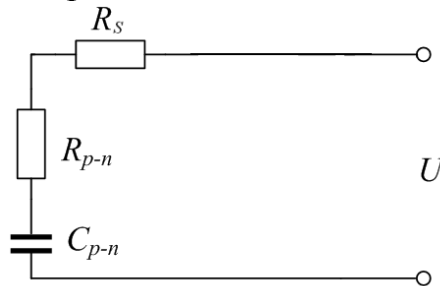


Рис. 1. Еквівалентна схема діода

Елементи в еквівалентній схемі мають наступне призначення: C_{p-n} - ємність $p-n$ переходу; R_s - опір втрат у базі і контурах діода.

У режимі слабкого сигналу активна R_{p-n} і реактивна X_{p-n} складові опору $p-n$ переходу діода визначаються наступними виразами [8]:

$$R_{p-n} = -\frac{1}{\omega \cdot C_{p-n}} \cdot \left(1 - \frac{l_\delta}{l_w}\right) \cdot \frac{\beta_n^2}{1 - \beta_n^2 + \delta^2} \cdot [(1 - \beta_n^2) \cdot \xi(\theta) - \delta \cdot \lambda(\theta)]; \quad (1)$$

$$X_{p-n} = -\frac{1}{\omega \cdot C_{p-n}} \cdot \left\{1 + \frac{\beta_n^2}{(1 - \beta_n^2) \cdot \delta} \cdot \left(1 - \frac{l_\delta}{l_w}\right) \cdot [\delta \cdot \xi(\theta) + (1 - \beta_n^2) \cdot \lambda(\theta)]\right\}, \quad (2)$$

де: τ_δ - час прольоту носіями заряду шару множення;

v - швидкість дрейфу носіїв;

θ - кут прольоту носіїв заряду;

τ - час прольоту носіїв заряду дрейфової області.

Розрахункові залежності опорів діода типу 3A760 наведені в табл. 1.

Для визначення параметрів стабілізуючого резонатора можливо використати наступні вирази [9]

$$L_p = \frac{\mu_0 h}{4\pi}, \quad (3)$$

де $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-9}$ Гн/см - магнітна проникність;

h - висота резонатора.

Таблиця 1

Розрахункові залежності параметрів ЛПД 3А730А для різних робочих струмів і частоти 20 ГГц

I_0 , мА	160	170	180
$\beta_{\text{д}}^2$	0,63	0,67	0,71
R_{p-n} , Ом	-2,94	-2,56	-2,0
X_{p-n} , Ом	-70,4	-76,16	-83,2

Ємність C_p визначається формулою [9]

$$C_p = \varepsilon_0 \frac{R^2}{(\mu_{ni})^2 h}, \quad (4)$$

де $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-14}$ Ф/см - діелектрична проникність;
 $\mu_{ni} = 3,832$ – корінь функції Бесселя для хвилі H_{011} ;
 R – радіус циліндричного резонатора.

Добротність резонатора Q_p визначається [9]

$$Q_p = \frac{1}{\chi} \frac{R}{(1 + \frac{R}{h})}, \quad (5)$$

де $\sigma = 15,8 \cdot 10^6$ 1/Ом·м – питома провідність латуні.

Зосереджена активна провідність резонатора G [9]

$$G = \frac{\omega_0 \cdot C_p}{Q_p}, \quad (6)$$

Проведені розрахунки показали, що для резонатора з розмірами $R = 32$ мм, $h = 7,5$ мм, величина параметрів резонатора дорівнює: $C_p = 0,0845$ пФ, $L_p = 7,5$ нГн, $Q_p = 5400$, $G = 0,235 \cdot 10^{-5}$ См.

Так як резонатор призначений для стабілізації частоти генератора, то в даному випадку зв'язок між резонатором і хвилеводною лінією l_1 здійснюється щілиною діаметром δ в нескінченно тонкій стінці. Елемент зв'язку являє собою шунтуючу індуктивність для хвилеводної системи генератора, відносна провідність якої визначається виразом [8]

$$\frac{B_u}{Y'_0} = \frac{\lambda}{\pi R} \cdot \frac{(4\pi \cdot R)^2}{\delta^2}, \quad (7)$$

де a – ширина хвилеводної системи;

δ – діаметр елемента зв'язку.

З урахуванням того, що при резонансі реактивна провідність резонатора дорівнює нулю, то величина активної провідності резонатора G' на частоті ω_0 , перерахована на кінець хвилеводної лінії l_1 , буде визначатися з рівняння

$$G' = G \cdot \frac{Q_p}{Q_{\text{вн}}}, \quad (8)$$

де $Q_{\text{вн}}$ – зовнішня добротність резонатора.

Проведений числовий аналіз показав, що для $\frac{Q_{\text{вн}}}{Q_p} = 0,5$ та $\delta = 2 \text{ мм}^2$, $B_u = 1,24 \text{ См}$, $G' = 0,47 \cdot 10^{-5} \text{ См}$, а опір навантаження на кінці лінії l_1 буде дорівнювати

$$R_{ll} = \frac{1}{G' - jB_u} = a_1 + jb_1 = (0,3 \cdot 10^{-5} + j0,81) \text{ Ом}. \quad (9)$$
$$R_{ll} = (0,3 \cdot 10^{-5} + j0,81)$$

При реалізації на практиці припущення про малість втрат в високочастотному ланцюзі визначимо опір навантаження хвилеводу зліва і праворуч від прохідного резонатора. Зліва з боку резонатора опір навантаження хвилеводу визначається виразом

$$Z_{\text{exl}} = \frac{a_1(1 + \text{tg} \beta l_1) + j[b_1 + (Z_0 - \frac{b_1^2}{Z_0} - \frac{a_1^2}{Z_0})\text{tg} \beta l_1 - b_1 \text{tg}^2 \beta l_1]}{1 - (2b_1 / Z_0)\text{tg} \beta l_1 + (1 / Z_0^2)(b_1 + a_1)\text{tg}^2 \beta l_1}. \quad (10)$$

На підставі еквівалентної схеми [4] опір в площині діода буде визначатися з рівняння

$$Z_d = R_{p-n} + j(-X_{p-n} + X_a - X_c). \quad (11)$$

З боку резонатора навантаження хвилеводу визначається виразом

$$Z_{\text{ex2}} = Z_0 \frac{\frac{Z_0}{Z_2} + j(\frac{Z_0^2}{Z_2} - 1) \cos \beta l_2 \cdot \sin \beta l_2}{\frac{Z_0^2}{Z_2} \cos^2 \beta l_2 + \sin \beta l_2}. \quad (12)$$

Оскільки навантаженням хвилеводної лінії праворуч від резонатора є електродинамічна система з шістьма діодами, то навантаження, створюване системою буде визначатися виразом

$$Z_2 = -R'_d / 6, \quad (13)$$

де R'_d – активний опір корпускулярного діода 3A762.

Висновок. В даній роботі представлено подальший розгляд радіоімпульсної біотехнології знищення шкідників картоплі та проведено розрахунок параметрів взаємодії радіоімпульсів НВЧ випромінювання з рослинним середовищем картоплі на основі попередніх досліджень. На основі еквівалентної схеми визначено формули для розрахунку активної R_{p-n} і реактивної X_{p-n} складової опору $p-n$ переходу діода, параметри стабілізуючого резонатора зокрема наведено формулу для розрахунку добротності резонатора, визначено вираз опору навантаження хвилеводу.

Список використаних джерел

1. Сілі І. І. Енергоінформаційна радіоімпульсна біотехнологія і електронні системи знищення шкідників картоплі : дис. ... канд. техн. наук : 05.11.17. Харків, 2015. 159 с.
2. Сили І. І. Применение информационно-энергетических излучений для угнетения репродуктивной способности колорадского жука. *Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України*. Харків, 2015. С. 47-49.
3. Сили І. І. Теоретический анализ процесса взаимодействия радиоимпульсов с колорадскими жуками в растительной среде картофеля. *Технологический аудит и резервы производства*. 2015. № 4. С. 55-59.
4. Сілі І. І. Визначення параметрів електродинамічної моделі рослинного середовища картоплі з колорадським жуком. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер. Техніка та енергетика АПК*. 2016. № 242. С. 256-261.
5. Сілі І. І., Черенков О. Д. Параметри і стабільність частоти діодного генератора з резонатором прохідного типу. *Енергосбереження. Енергетика. Енергоаудит*. 2015. № 9. С. 53-59.
6. Сілі І. І. Параметри імпульсного генератора на лавинно-пролітних діодах для знищення шкідників картоплі жуком. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2018. Вип. 8, т. 2. URL: <http://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/article/view/45/14>.



7. Сілі І. І. Розрахунок параметрів синхронізуючого генератора на лавинно-пролітних діодах. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2019. Вип. 19, т. 2. С. 222-228.
8. Крылов Н. Н. Теоретические основы радиотехники. Москва: Морской транспорт, 1961. 416 с.
9. Лебедев И. В. Техника и приборы СВЧ. Москва: Высшая школа, 1970. 440 с.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАДИОИМПУЛЬСОВ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ С РАСТИТЕЛЬНОЙ СРЕДОЙ КАРТОФЕЛЯ

Сили И. И.

Аннотация – научные и практические исследования последних лет показывают, что альтернативой химическому методу защиты растений может быть метод на основе экологически безопасной и эффективной энергоинформационной радиоимпульсной биотехнологии. Для определения биотропных параметров радиоимпульсного излучения (частота заполнения импульсов, период следования импульсов и их длительность, экспозиция), которые будут иметь отрицательное угнетающее действие на колорадского жука и его личинок в растительной среде картофеля, необходимы теоретические и математические исследования процесса взаимодействия радиоимпульсных излучений с насекомыми вредителями картофеля. Основной характеристикой таких исследований является расчет параметров взаимодействия радиоимпульсов СВЧ излучения с растительной средой картофеля.

В предыдущих исследованиях было описано процесс взаимодействия радиоимпульсов СВЧ излучения с растительной средой картофеля, проведен анализ возможности использования высокостабильного по частоте диодного генератора для внешней синхронизации мощных радиоимпульсных диодных источников. Приведены результаты расчета генератора импульсного действия миллиметрового диапазона, который формирует импульсы заданной длительности с необходимым уровнем мощности энергоинформационной радиоимпульсной биотехнологии и результаты работы по конструированию синхронизирующего генератора на лавинно-пролетных диодах для систем уничтожения вредителей картофеля, представлено конструкцию генератора в виде волноводно-штыревой модели, на основе эквивалентной схемы обчислено параметры волновода и лавинно-пролетного арсенид - галиевого диода типа 3A730A.

В данной работе представлено дальнейшее рассмотрение радиоимпульсной биотехнологии уничтожения вредителей картофеля и проведен расчет параметров взаимодействия радиоимпульсов СВЧ излучения с растительной средой картофеля на основе предыдущих исследований. На основе эквивалентной схемы определены формулы для расчета активной и реактивной составляющей сопротивления $p-n$ перехода диода, параметров стабилизирующего резонатора, в



частности приведена формула для расчета добротности резонатора, определено выражение сопротивления нагрузки волновода.

Ключевые слова: генератор СВЧ, лавинно-пролетный диод, СВЧ излучение, импульсный генератор, сумматор, мощность излучения.

THE PARAMETERS CALCULATION OF INTERACTION BETWEEN RADIO-PULSED MICROWAVE RADIATION AND PLANT ENVIRONMENT OF POTATO

I. Sili

Summary

Scientific and practical studies of recent years show that an alternative to the chemical method of plant protection could be a method based on environmentally safe and efficient energy-information radio-pulse biotechnology. To determine the biotropic parameters of radio pulse radiation (pulse filling frequency, pulse period and duration, exposure), which will have a negative effect on the Colorado potato beetle and its larvae in the potato plant environment, it is necessary to determine the interaction between radio pulse radiation and potato's insect pests. The main characteristic of such studies is the calculation of the interaction parameters between radio pulses microwave radiation and the plant environment of potatoes.

In previous studies, the process of interaction of radio pulses of microwave radiation with the plant environment of potatoes was described, and the possibility of using a highly stable frequency diode generator for external synchronization of high-power radio pulse diode sources was analyzed. The results of the calculation of the pulse generator of the millimeter-wave range, which generates pulses of a specific duration with the required power level of the energy-information radio-pulse biotechnology, and the results of the design of the synchronizing generator on avalanche-span diodes for potato pest destruction systems, are presented. Based on the equivalent scheme, the parameters of the waveguide and avalanche-span gallium arsenide diode type 3A730A.

This paper presents a further consideration of radio-pulse biotechnology for the destruction of potato pests and calculates the parameters of the interaction between radio pulses microwave radiation and the potato plant environment based on previous studies. On the basis of the equivalent scheme, formulas for calculating the active and reactive component of the p-n junction resistance of the diode, parameters of the stabilizing resonator are determined, in particular, a formula is given for calculating the resonator Q factor, the expression for the waveguide load is determined.

Keywords: microwave generator, IMPATT diode, ultra-high frequency UHF radiation, pulse generator, an adder, radiation power