

УДК 621.374

Козак О.В.
к.т.н., в.о. доцента
Вільчинська Д.В.
к.с.-г.н., асистент
Герасимов П.В.
сарший. викладач

кафедра енергетики та електротехнічних систем
в агропромисловому комплексі
Інженерно-технічний факультет
Подільський державний аграрно-технічний університет
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: oceanalex@gmail.com
E-mail: vilchinskaya83@mail.ru
E-mail: itf.pdatu@gmail.com

Семенішина І.В.
к. ф.-м. н., доцент

кафедра фізико-математичних та загальнотехнічних
дисциплін Інженерно-технічний факультет
Подільський державний аграрно-технічний університет
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: itf.pdatu@gmail.com

АНАЛІЗ ТЕПЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАВИННО-ПРОЛЬОТНОГО ДІОДА В РЕЖИМІ КОРОТКИХ ІМПУЛЬСІВ

Можливості створення потужних джерел імпульсного випромінювання залежать від наявності відповідних напівпровідникових приладів і схеми підсумовування. Проведено оцінку допустимих значень імпульсної потужності генераторів від зміни температури активної області напівпровідникових діодів протягом тривалості імпульсу. Для виконання вимоги когерентності і стабільності амплітудно-фазових параметрів в імпульсному режимі використано зовнішню синхронізацію імпульсних генераторів високостабільним безперервним сигналом. Як джерело вхідного сигналу використовуємо генератор на ЛПД, із стабілізуючим високочастотним об'ємним резонатором прохідного типу. Визначення досяжних енергетичних характеристик генератора вимагає знання температурного режиму діода в залежності від його геометрії та параметрів імпульсного режиму живлення. Проведений аналіз показав, що для знищення біологічних шкідників кореневої системи плодових культур необхідні імпульсні генератори з вихідною потужністю до 1,5 кВт.

Ключові слова: теплопровідність; тривалість імпульсу; шпаруватість імпульсів; тепловий опір; імпульсна потужність діодних генераторів.

Вступ. При роботі діодних генераторів в імпульсному режимі потужність, яка віддається в навантаження тим більше, чим менша тривалість імпульсу. У тих випадках, коли тривалість імпульсу значно перевищує час розвитку теплового пробую, для оцінки допустимих значень імпульсної потужності необхідно знати закон зміни максимальної температури активної області напівпровідника протягом тривалості імпульсу.

Максимальна вихідна потужність імпульсних діодних генераторів обмежується насамперед розігрівом активних ділянок напівпровідника [1, 2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для ряду спрощених моделей в літературі отримано аналітичні залежності температури активної ділянки лавино-пролітних діодів (ЛПД) від часу [3,4]. Однак ці залежності для кількісних оцінок енергетичних параметрів імпульсних діодних генераторів непридатні, тому що в них не врахована залежність теплопровідності матеріалу від зміни температури активної області напівпровідника протягом тривалості імпульсу.

Мета. Визначення досяжних енергетичних характеристик імпульсного діодного генератора від величини тривалості імпульсу.

Методологія. Рівень НВЧ потужності, що генерується ЛПД, визначається в основному чотирма параметрами: напругою пробою U_{np} , щільністю робочого струму J_0 , опором втрат діода R_s і площею p - n переходу S . Щільність робочого струму J_0 обмежена гранично допустимою потужністю розсіювання на одиницю площі діода і визначається температурою p - n переходу, ефективністю тепловідведення і режимом роботи.

Максимальні потужності ЛПД обмежені насамперед розігрівом активних ділянок напівпровідника до температур, при яких відбувається тепловий пробій (руйнування) p - n переходу.

У тих випадках, коли тривалість імпульсу значно перевищує час розвитку теплового пробою, для оцінки граничних допустимих значень імпульсної потужності достатньо знати закон зміни максимальної температури активної області напівпровідника протягом тривалості імпульсу.

Результати. Теплову модель ЛПД представлено на рисунку 1. Напівпровідникова структура 1 з одного боку монтується на мідній тепловідній основі 2, а з іншого боку, за допомогою монтажної пластини 3 з'єднана з фланцем 4 металокерамічного корпусу 5 діода.

Для даної моделі розрахунок зводиться до наступного:

- потужність імпульсного теплового потоку P_i , що надходить в перетин p - n переходу, представляється сталою:

$$P_0 = P_i / Q,$$

де $Q = T/t_i$ – шпаруватість імпульсних посилок;

- теплопровідна основа має задані величини коефіцієнтів теплопровідності напівпровідникового матеріалу χ і тепловідводу, $\sigma = (\chi \cdot \rho \cdot c)^{1/2}$, де χ , ρ , c – відповідно теплопровідність, теплоємність і питома щільність матеріалу тепловідведення. Значення χ , ρ , c для міді, алмаза, кремнію, арсеніду галію і ряду інших матеріалів наведені в [7].

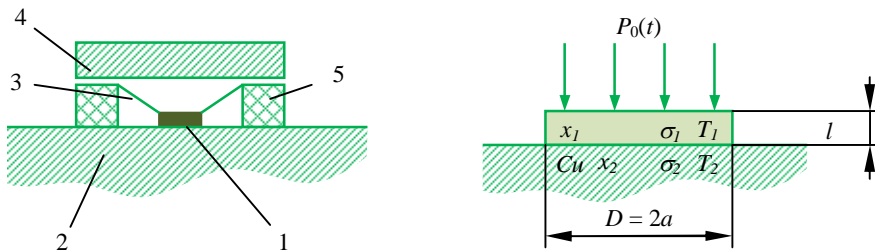


Рис. 1. Теплова модель діода і його одновимірний еквівалент

При роботі ЛПД в режимі коротких імпульсів з тривалістю, вибором часу теплової релаксації діодної структури можна досягти істотного збільшення вихідної потужності ЛПД [2]:

$$\tau_a = \frac{a^2}{4\chi}, \quad (1)$$

де a – радіус діода;

χ – температуропровідність матеріалу тепловідводу.

Як показано в роботі [6], виграш у величині розсіюється, а, отже, і корисної потужності, яку дає перехід до імпульсного режиму стає істотним при:

$$t_i p \quad 2t_a \quad (2)$$

Залежності $\tau_a(a)$ приведені на рисунку 2. Видно, що при $\tau_i \leq 100$ та умові (2) задовільняють напівпровідникові структури з розмірами $a > 10$ мкм з мідним тепловідводом.

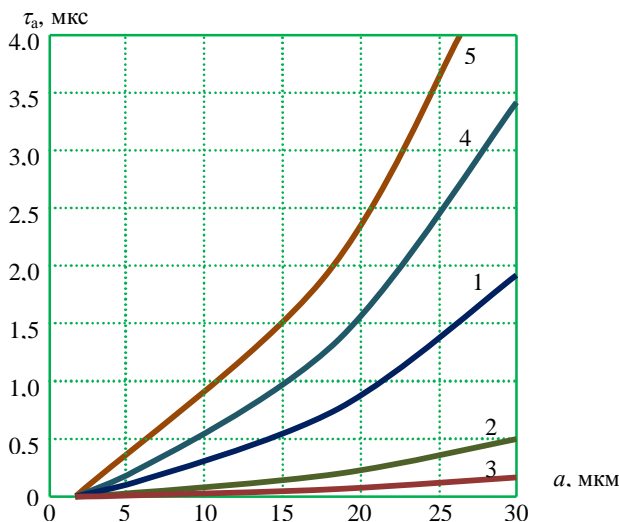


Рис. 2. Залежність часу теплової релаксації τ_a від розміру структури a для необмеженого тепловідводу з різних матеріалів:

1 – мідь, 2 – 3 алмаз з теплопровідністю відповідно $10 \text{ Вт/см}^2\cdot\text{град}$ і $20 \text{ Вт/см}^2\cdot\text{град}$;
4 – кремній n -типу; 5 – кремній n^+ -типу.

За умови (1) імпульсний тепловий опір $R_T(\tau_i)$, який характеризує перегрів активного шару з контактною площею S до кінця пульсу, визначається виразом [5]:

$$R_T(\tau_i) = 2 \left(\frac{\tau_i}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{1}{\pi a^2 \sigma_\Sigma} \approx \frac{\tau_i^{\frac{1}{2}}}{S \sigma_\Sigma}, \quad (3)$$

де $\sigma_\Sigma = \sigma_T + \sigma_\Pi$ (σ_T і σ_Π) – коефіцієнти температуропровідності тепловідводу і напівпровідника відповідно.

Саме ці величини визначає, згідно (3), миттєве значення максимальної температури активного шару і тепловий опір $R_T(t)$ в інтервалі $\tau_i < t < \tau_a$, в якому наростання температури відбувається найбільш різко.

На рис. 3 представлена залежність теплового опору R_T від тривалості імпульса τ_i , розрахована по формулі (3).

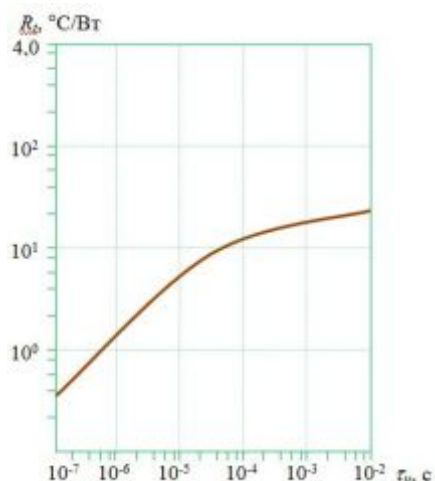


Рис. 3. Залежність теплового опору діода від тривалості імпульсу

З рисунка 3 видно, що при рівномірному розподілі джерел тепла в активному шарі, температура цього шару наростає лінійно при $\tau_i \leq \tau_a$ і при $\tau_i > \tau_a$ подальше наростання температури відбувається значно повільніше. Вираз для визначення максимальної величини щільності струму, обмежуючий допустимий перегрів діода визначається виразом [5]:

$$J_0 = \frac{\Delta T_i}{U_0 \left(\frac{\tau_i^{1/2}}{\sigma_T} + S \cdot R_T \right) \cdot (1 - \eta)}, \quad (4)$$

де $\Delta T_i = 200^\circ\text{C}$; $\eta = 10\%$; $R_T = 0,678^\circ\text{C/Вт}$; $\sigma_{II} = 0,88 \text{ Вт}\cdot\text{с}^{1/2}/\text{см}^2\cdot\text{град}$; $\sigma_T = 3,75 \text{ Вт}\cdot\text{с}^{1/2}/\text{см}^2\cdot\text{град}$; $s = 1 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2$; $\tau_i = 0,1 \text{ мкс}$; $U_0 = 50 \text{ В}$.

З виразу (4) визначаємо, що допустима щільність імпульсного струму джерела живлення ЛПД, обмежується тепловим перегрівом діода 200°C складає 29 кА/см^2 .

Висновки. Виходячи з проведеного дослідження, викладена методика розрахунку дозволяє для конкретно обраних параметрів ЛПД і тепловідводу визначити гранично допустимі значення щільності струму живлення і імпульсної потужності протягом тривалості імпульсу.

Список використаних джерел

1. Козак А. В. Анализ процесса воздействия электромагнитных импульсных сигналов на биологических вредителей находящихся в почве [Текст] / А.В.Козак, И.И.Гордийчук, И.В.Семишнина, Д.В.Вильчинская // MOTROL. Commission of Motorization and energetics in agriculture. – 2015. – Vol. 17. – No. 1. – С. 45–50.
2. Потапский, П.В. Теоретическое обоснование создания импульсного генератора для повышения иммунитета животных [Текст] / П. В. Потапский, И.Д. Гарасимчук, А. В. Козак, Л.Н.Михайлова // MOTROL. Commission of Motorization and energetics in agriculture. – 2015. – Vol. 17. – No. 5. – С. 62–66.
3. Ясинский, В. К. Тепловой режим импульсных генераторных диодов [Текст] / В.К. Ясинский // Радиотехника и электроника. – 1975. – Т. XX, № 1. – С. 224 – 226.
4. Касаткин, Л В. Полупроводниковые устройства в миллиметровом диапазоне длин волн [Текст] / Л.В. Касаткин, В. Е. Чайка // Севастополь : Издательство Вебер. – 2006. – 319 с.

5. Тагер, А. С. К расчету тепловых характеристик полупроводниковых структур в режиме коротких импульсов [Текст] / А.С. Тагер // Серия 1. Электроника СВЧ. – Вып. 5 – 1981. – С. 3–7.
6. Ходневич, А. Д. Зависимость выходной мощности ГЛПД от емкости p-n перехода [Текст] / А. Д. Ходневич // Серия 1. Электроника СВЧ. – 1974. – Вып. 2. – С. 34–44.
7. Горбачев, А.В. Каскадное суммирование мощностей ЛПД в режиме внешней синхронизации [Текст] / А. В. Горбачев, Л. В. Касаткин // Электронная техника. – 1982. – Вып. 10. – С. 22–27.

References

1. Kozak, Alexandr, Gordyichuk, Yvan, Semenishina, Irina, & Vilchinska, Dariya (2015). Analiz procesa vozdeystviya elektromagnitnih impulsnih signalov na biologicheskikh vreditel'nykh nahodyachsya v pochve [Analysis of the effects of pulsed electromagnetic signals on biological pests in the soil]. *MOTROL. Commission of Motorization and energetics in agriculture*, 17(1), 45–50.
2. Potapskij, P.V., Garasimchuk, I.D., Kozak, A.V., & Mihajlova, L.N. (2015). Teoreticheskoe obosnovanie sozdaniya impul'snogo generatora dlja povysheniya immuniteta zhivotnykh [A theoretical study on the development of the pulse generator to enhance animal immunity]. *MOTROL. Motorization and power industry in agriculture. Lublin, Vol. 17, 5*, 62–66.
3. Yasinskiy, V. K. (1975). Teplovoy regim impul'snih generatornih diodov [Heat mode pulse generator diodes]. *Radyotekhnika y elektronika*, 1(20), 224–226.
4. Kasatkin, L.V., & Chayka, V.E. (2006). *Poluprovodnikovye ustroystva v milimetrovom diapazone dlin voln* [Semiconductor devices in millimeter wavelength range]. Sevastopol: Izdatelstvo Veber [Publisher Weber].
5. Tager A.S. (1981). K raschetu teplovuh karakteristik poluprovodnikovuh struktur v regime korotkih impulsov [Calculation of thermal characteristics of semiconductor structures in the short pulse mode]. *Elektronika SVCH [Series 1. Microwave Electronics]*, 5, 3–7.
6. Hodnevich, A.D. (1974). Zavisimost vihodnoy mochnosti GLPD ot emkosti p-n perehoda [output ATDG dependence on the capacity of p-n transition]. *Seriya 1. Elektronika SVCH [Series 1. Microwave Electronics]*, 2, 34–44.
7. Gorbachov, A.V., & Kasatkin, L.V. (1982). Kaskadnoe sumirovanie moschnostey LPD v regime vneshney sinhronizacii [Cascade summation LPD capacity in external synchronization mode]. *Elektronnaya tehnik [Electronic Engineering]*, 10, 22–27.

Дата надходження статті до редакції: 14.02.2016.

1 рецензування: 29.02.2016, прийняття в друк: 15.03.2016 .

Received: 14.02.2016. 1st. Revision: 29.02.2016. Accepted: 15.03.2016

Alexandr Kozak
Cand. Sc. (Techn.)
Associate Professor

Dariya Vilchinskaya
Cand. Sc. (Agric.)

Petro Gerasimov
Senior Lecturer
Associate Professor

Irina Semenishina
Cand. Sc. (Physical-
Mathematical)
Associate Professor

Department of Energy and Electrical Systems in Agriculture
Engineering Faculty
State Agrarian and Engineering University in Podilya
Kamenets-Podilsky, Ukraine
E-mail: oceanalex@gmail.com
E-mail: vilchinskaya83@mail.ru
E-mail: itf.pdatu@gmail.com

Department of Physical-mathematical and Technical
Disciplines
Engineering Faculty
State Agrarian and Engineering University in Podilya
Kamenets-Podilsky, Ukraine
E-mail: itf.pdatu@gmail.com

ANALYSIS OF THERMAL CHARACTERISTICS OF AVALANCHE - TRANSIT DIODE IN TERMS OF SHORT PULSES

Determination of inaccessible energy characteristics of a pulsed diode oscillator of the value of the pulse width is shown. Microwave power level generated by the ATD, is mainly determined by four parameters: U_{np} breakdown voltage, operating current density J_0 , the resistance R_s of the diode losses and the area of the p-n junction S . J_0 operating current density is limited by the maximum allowable power dissipation per unit area of the diode and is determined by the temperature of the p-n junction, heat dissipation efficiency and mode of operation. Ability to create high-power pulsed radiation sources depend on the availability of relevant semiconductor devices and summing circuit. The estimation of the permissible values of the pulsed power generator by changing the active semiconductor diode temperature during the pulse duration. To fulfill the requirements of coherence and stability of amplitude and phase settings in the pulse mode using an external sync pulse generators highly stable continuous signal. As the input source using ATD generator, with a stabilizing high-Q cavity resonator transmission type. Determination of achievable energy characteristics of the generator requires a knowledge of the temperature of the diode mode, depending on its geometry and parameters of pulsed power mode. The analysis showed that for the destruction of biological pest root fruit crops needed pulse generators with output power up to 1.5 kW. The method of calculation allows for specifically shaped structure and heat settings determine the maximum allowable value of current density and pulse power supply for a pulse.

Keywords: *thermal conductivity, pulse width, duty cycle, thermal resistance, diode pulsed power generators.*

Александр Козак

к.т.н., и.о. доцента

Дария Вильчинская

к.с.-х.н., ассистент

Петр Герасимов

старший преподаватель

кафедра энергетики и электротехнических систем в агропромышленном комплексе

Инженерно-технический факультет

Подольский государственный аграрно-технический университет

Каменец-Подольский, Украина

E-mail: oceanalex@gmail.com

E-mail: vilchinskaya83@mail.ru

E-mail: itf.pdatu@gmail.com

Ирина Семенишина

к. ф.-м.н., доцент

кафедра физико-математических и общетехнических дисциплин Инженерно-технический факультет

Подольский государственный аграрно-технический университет

Каменец-Подольский, Украина

E-mail: itf.pdatu@gmail.com

АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАВИННО – ПРОЛЮТНОГО ДИОДА В РЕЖИМЕ КОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ

Возможности создания мощных источников импульсного излучения зависят от наличия соответствующих полупроводниковых приборов и схемы суммирования. Проведена оценка допустимых значений импульсной мощности генераторов от изменения температуры активной области полупроводниковых диодов в течение длительности импульса. Для выполнения требования когерентности и стабильности амплитудно-фазовых параметров в импульсном режиме используем внешнюю синхронизацию импульсных генераторов высокостабильным непрерывным сигналом. В качестве источника входного сигнала используем генератор на ЛПД, со стабилизирующим высокодобротным объемным резонатором проходного типа. Определение достижимых энергетических характеристик генератора требует знания температурного режима диода в зависимости от его геометрии и параметров импульсного режима питания. Проведенный анализ показал, что для уничтожения биологических вредителей корневой системы плодовых культур необходимы импульсные генераторы с выходной мощностью до 1,5 кВт.

Ключевые слова: *теплопроводность; длительность импульса; скважность импульсов; тепловое сопротивление; импульсная мощность диодных генераторов.*