

Шуклін Г.В., к.т.н; Пєпа Ю.В., к.т.н;
Коліда В.П., магістр; Науменко А.В., аспірант

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ СТОХАСТИЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ РОБОТИ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ГЕНЕРАТОРІВ ШУМОВИХ СИГНАЛІВ

Shuklin G.V., Pepa Y.V., Kolida V.P., Naumenko A.V. Application of stochastic programming method for analysis of semiconductor noise signal generators. In this work it is proposed to use the method of stochastic programming to obtain the values of key parameters of electronic components of electrical circuits, which are used to prevent leakage of confidential information due to electromagnetic radiation. The essence of the application of this method is to determine the optimal value of the power of the output noise-like signal generated by the noise generator, which provides the highest quality of interference aimed at suppressing a dangerous signal, the leakage of which is possible due to the side electromagnetic radiation at the object of information activity. The purpose of the article is to determine the condition of optimal generation of noise-like signals of semiconductor elements with specified characteristics and to optimize the maximum output power of the noise signal. Results: The article shows the use of linear and stochastic programming methods to estimate the required parameters of the noise generator by the criterion of the maximum output power of the noise signal at the load resistance. Conclusions: the conducted stochastic optimization showed the relationship of the output random variable from the initial conditions imposed on the semiconductor element, and allowed to obtain fixed optimal values of the load resistance parameters for a given optimization criterion. If we impose an additional condition of a given accuracy on the solution of this problem, we can significantly improve the quality of control of the parameters of the noise semiconductor element. Further research can be directed to determine the distribution of a random noise signal at the output of the device to counteract information leakage through the channel of side electromagnetic radiation and interference, that is, at the output of the power amplifier of the generator-jammer, to which the antenna is connected.

Keywords: *stochastic programming, noise generator, gaussian noise, optimal generation*

Шуклін Г.В., Пєпа Ю.В., Коліда В.П., Науменко А.В. Застосування методу стохастичного програмування для аналізу роботи напівпровідникових генераторів шумових сигналів. В роботі запропоновано використовувати метод стохастичного програмування для отримання значень ключових параметрів роботи електронних компонентів електричних схем, які застосовуються для запобігання витоку конфіденційної інформації за рахунок побічного електромагнітного випромінювання. Сутність застосування такого методу полягає в визначенні оптимального значення потужності вихідного шумоподібного сигналу, що сформований генератором шуму і який забезпечує найбільшу якість завади, яка направлена на придушення небезпечного сигналу, витік якого можливий за рахунок побічного електромагнітного випромінювання на об'єкті інформаційної діяльності.

Ключові слова: *стохастичне програмування, шумогенератор, гаусовський шум, оптимальна генерація*

Вступ

Постановка задачі. Ефективність застосування апаратури протидії витоку інформації визначається спеціальними оцінювальними показниками, які пов'язані з відповідними значеннями певних параметрів роботи електронних компонентів електричних схем, що застосовуються в ній. Якщо досліджувати роботу електричних схем, то можна стверджувати, що електронні компоненти виконують своє функціональне призначення лише за умови, що їх власні параметри знаходяться в допустимих межах. В інших випадках погіршуються технічні показники апаратури протидії і її ефективність застосування суттєво знижується. Розрахунок пристроїв захисту інформації і протидії витоку, як правило, виконується при фіксованих характеристиках елементів електричних схем, але обов'язково слід враховувати випадки роботи схем зі змінними параметрами елементів.

Рішення таких задач може бути спрощено при застосуванні методів лінійного параметричного програмування до якого зводяться деякі задачі стохастичного програмування. При цьому пошук максимального (чи мінімального) значення деякої лінійної функції багатьох змінних є вирішальним для ефективного застосування пристроїв протидії витоку інформації.

В статті пропонується дослідити роботу напівпровідникових елементів в якості шумогенераторів та знайти екстремум цільової функції, якою є середня вихідна напруга що пов'язує технічні показники, як напівпровідникового елемента, так і деякі параметри радіоелементів схеми шумогенератора.

Аналіз літературних джерел. В класичних моделях дослідження роботи електричних схем є однозначна задача, тобто певний взаємозв'язок вихідних параметрів схеми від вхідних, причому їх кількість може бути довільною. Рішення таких задач лежить у просторі рішень, які задовольняють вимогам (технічним характеристикам) або накладеним початковим умовам [1]. В якості оцінювального параметру досить часто обирають критерій або цільову функцію (потужність, напругу, діапазон частот тощо) [2]. Подібні задачі відносяться до класу задач з параметричною невизначеністю [3]. Якщо невідомі величини, як правило завжди позитивні (опір, напруга, струм), то оцінювальний параметр, що підлягатиме оптимізації, лінійно залежить від вхідних невідомих і тоді рішення таких задач однозначно зведеться до задач лінійного програмування [4]. У випадках дії випадкових процесів є неможливість безпосереднього використання вихідних сигналів схеми і моделей, а задача перейде до категорії задач зі стохастичним програмуванням [3], а в якості оцінювального критерію задається цільова функція, яка залежить від розподілу ймовірностей випадкової величини [5]. Оцінка роботи такої схеми дещо ускладнюється, якщо закон розподілу невідомий або відмінний від гаусового. Одним із способів подолання зазначеної проблеми, є використання числових рядів на основі ортогональних базисів [5], якими можна описати випадкові процеси генерування шумових сигналів [5]. В роботі [6] запропоновано спосіб перехоплення інформації, яка передається по радіотехнічному каналу з використанням енергії діодного генератора шуму, який застосовується в якості протидії радіозакладному пристрою за умови рівності потужностей радіозакладного пристрою та шумогенератора. Застосовуючи обмеження на кількість членів ряду, за допомогою якого розкладається функція потужності від гармонійних складових шумового сигналу, можна суттєво спростити дослідження електричних схем і отримати за певних умов достатньо просте математичне рішення, яке дозволить оцінити ефективність роботи напівпровідникового елемента за певних обмежувальних умов, накладених на його режим роботи. Це дає можливість здійснювати блокування використання шумоподібного сигналу в якості несучого коливання для інформаційного сигналу. В результаті дослідження роботи напівпровідникових елементів в якості генераторів шумових сигналів отримуються залежності, які пов'язують параметри власне самого елемента і вихідні параметри схеми шумогенератора в цілому.

Мета та задачі дослідження. Визначити умови оптимальної генерації шумоподібних сигналів напівпровідникових елементів з заданими характеристиками та провести оптимізацію за максимумом вихідної потужності шумового сигналу.

Викладення основного матеріалу

Розглянемо схему (рис.1) генерації шумоподібного флуктуаційного шуму напівпровідникового стабілітрону на опорі навантаження R_n .

На рис.1 позначено: HE – напівпровідниковий елемент; I – струм; P_1 – вхідна потужність з напівпровідникового елемента; P_2 – вихідна шумова потужність; $r_{вн}$ – внутрішній опір напівпровідникового елемента; R_n – опір навантаження.

На вході формувача шумового сигналу з заданими характеристиками розглядається гаусовий шум $N(0,1)$, а на виході квазігаусовий шум з невідомим математичним сподіванням і дисперсією.

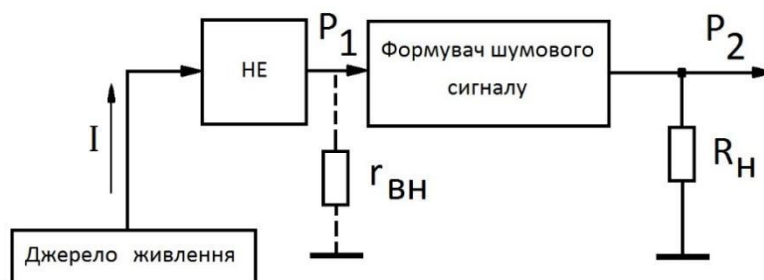


Рис. 1. Структурна схема генерування шуму

Досліджується вихідна випадкова напруга при постійному струмі I і ставиться задача в виборі такого опору навантаження R_n , щоб середня вихідна випадкова напруга

$$\overline{U}_e(R_n) = I \cdot R_n \quad (1)$$

досягала свого максимального значення. При фіксованому струмі I цільова функція (1) лінійна. Якщо розглядати два значення U_1 і U_2 випадкової напруги (1), одному з яких поставити у відповідність відносний час τ протягом якого $U_e = U_1$, то відносний час, протягом якого $U_e = U_2$ дорівнюватиме $1 - \tau$.

Нехай $p = p(\tau)$ – щільність розподілу того, що $U_e = U_1$, то середнє значення напруги (1) буде визначатись наступним чином:

$$\overline{U}_e(\tau) = U_1 \cdot \tau + (1 - \tau) \cdot U_2. \quad (2)$$

Тоді, з урахуванням (2) середнє значення вихідної напруги буде визначатись наступним чином

$$\overline{U}_e(p) = \int_0^1 \overline{U}_e(\tau) \cdot p(\tau) d\tau. \quad (3)$$

Підставивши (2) в (3), маємо

$$\overline{U}_e(p) = U_1 \cdot \int_0^1 \tau \cdot p(\tau) d\tau + U_2 \cdot \int_0^1 (1 - \tau) \cdot p(\tau) d\tau. \quad (4)$$

Якщо в (4) покласти

$$\lambda_1 = \int_0^1 \tau \cdot p(\tau) d\tau; \quad \lambda_2 = \int_0^1 (1 - \tau) \cdot p(\tau) d\tau, \quad (5)$$

то представлення (4) можна записати у вигляді:

$$\overline{U}_e(p) = \lambda_1 \cdot U_1 + \lambda_2 \cdot U_2, \quad (6)$$

де $\lambda_1 + \lambda_2 = 1$.

Нехай тепер u_1^* та u_2^* – допустимі значення діапазонів напруг роботи напівпровідників. Тоді, запишемо співвідношення для потужностей P_1 і P_2 . Маємо

$$P_1 = \frac{(U_1 + u_1^*)^2 + (U_1 + u_2^*)^2}{R_n + r_{\text{вн}}} + \frac{u_2^*}{r_{\text{вн}}}. \quad (7)$$

$$P_2 = \frac{(\overline{U}_s(p) + u_1^*)^2 + (\overline{U}_s(p) + u_2^*)^2}{R_n + r_{\text{вн}}} + \frac{u_2^*}{r_{\text{вн}}}. \quad (8)$$

Із залежності (7) отримуємо залежність величини $R_n = R_n(r_{\text{вн}})$. Маємо

$$R_n = \frac{(U_1 + u_1^*)^2 + (U_1 + u_2^*)^2}{P_1 \cdot r_{\text{вн}} - u_2^*} \cdot r_{\text{вн}}. \quad (9)$$

Маючи залежність (9) нам необхідно досягти максимального значення вихідної шумової потужності P_2 (8). Максимум цієї потужності досягається при максимумі середньої вихідної напруги (2).

На основі отриманих експериментальних даних при роботі стабілітрона, побудовано залежності (рис. 2) опору навантаження R_n від внутрішнього опору $r_{\text{вн}}$ за формулою (9) та визначено область допустимих значень для заданого типу напівпровідникового елемента.

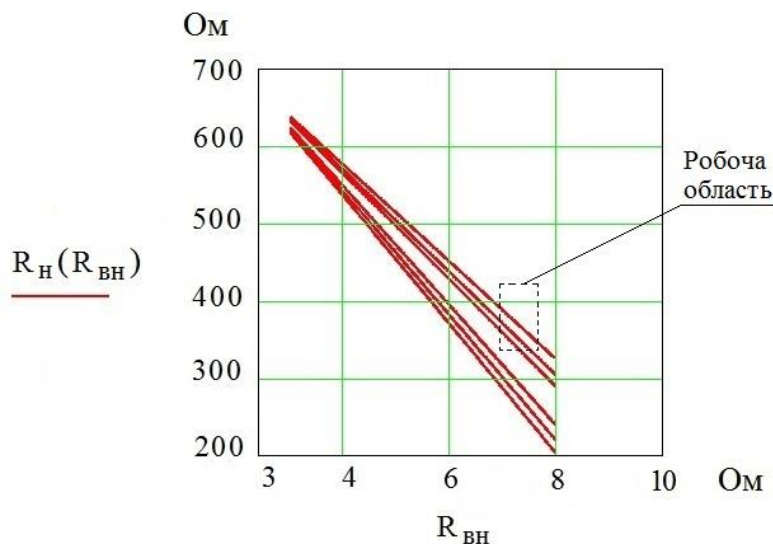


Рис. 2. Залежності опору навантаження R_n від внутрішнього опору $r_{\text{вн}}$ напівпровідникового елемента

З рис. 2 видно, що залежності можна вважати лінійними в робочій області, а їх кут нахилу визначається допустимими значеннями відхилень напруги стабілізації стабілітрона. Визначимо на сім'ї характеристик робочу область, як відхилення величини діапазону напруг стабілізації, заданого типу стабілітрона.

Після відповідних розрахунків, отриманих на основі тих самих експериментальних даних, побудовано графік (рис. 3) стохастичної оптимізації за максимумом потужності P_2 , отриманого за формулою (8).

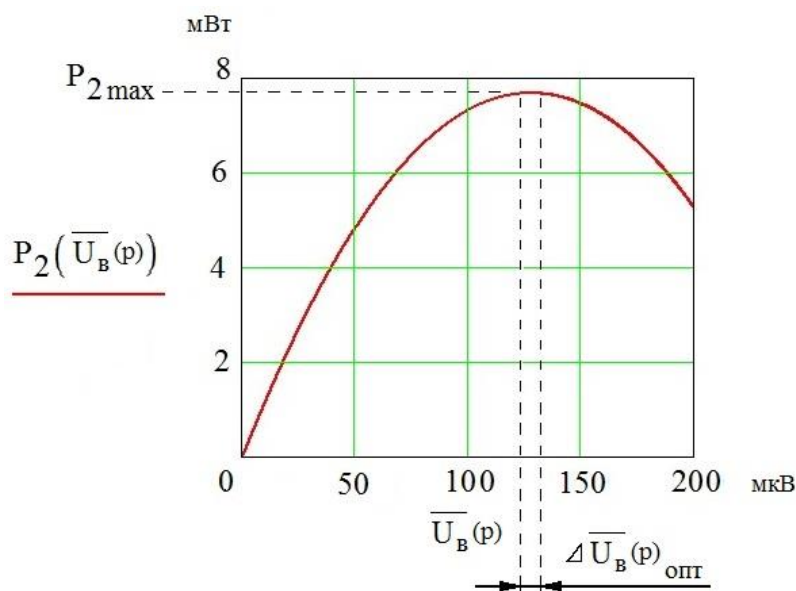


Рис. 3. Визначення оптимального значення вихідної потужності P_2 шумового сигналу від середнього значення випадкової напруги $\overline{U}_s(p)$, що генерується напівпровідниковим елементом

З рис. 3 видно, що екстремум цільової функції явно виражений, тобто мета дослідження досягнута, але вершина екстремуму має плоску вершину, що дозволяє визначити певний діапазон середнього значення випадкової напруги $\Delta \overline{U}(p)_{opt}$, в межах якої вдається досягнути оптимальної максимальної вихідної потужності шумового сигналу P_{2max} .

Висновки

В роботі продемонстровано використання методів лінійного і стохастичного програмування для оцінки необхідних параметрів шумового генератора за критерієм максимуму вихідної потужності шумового сигналу на опорі навантаження. Проведена стохастична оптимізація показала зв'язок вихідної випадкової величини від початкових умов, накладених на напівпровідниковий елемент, та дозволила отримати фіксовані оптимальні значення параметрів опору навантаження за заданим критерієм оптимізації. Якщо накласти додаткову умову заданої точності на вирішення цієї задачі, то можна суттєво підвищити якість контролю параметрів шумового напівпровідникового елементу. Подальші дослідження можна спрямувати на визначення розподілу випадкового шумового сигналу на виході пристрою протидії витоку інформації через канал побічних електромагнітних випромінювань і наведень, тобто на виході підсилювача потужності генератора-постановника радіозавод, до якого під'єднана антена.

Список використаної літератури

1. Chaitin G.J. Information, Randomness and Incompleteness // World Scientific, 2nd edition. – Vol. 8, 1990. – 324 p. – ISBN 978-981-02-0171-5.
2. Микитин І.Р. Засоби та методика дослідження шумових сигналів // Вимірювальна техніка та метрологія. – № 68, 2008. – С.14-20. – ISSN 0368-6418.
3. Ruszczyński A., Shapiro A. Stochastic Programming. Handbooks in Operations Research and Management Science // Elsevier Science, 1st edition. – Vol. 10, 2003. – 700 p.
4. Цегелик Г.Г. Лінійне програмування. – Львів: Світ. – 1995. – 215 с. – ISBN 5-7773-0217-3.

5. Наконечний А.Й., Мозола Д.М. Оцінка температури об'єктів на основі їх шумових характеристик з вейвлет-перетворенням сигналів // Автоматика, вимірювання та керування. – Т. 1. – № 1, 2013. – С.19-23. – ISSN 0321-0499.

6. Сергієнко С.П., Крижановський В.Г., Чернов Д.В., Загоруйко Л.В. Ефективність режиму роботи радіозакладних пристроїв для потайного знімання інформації у полі шумових завод // Радіотехніка. - Вип. 205, 2021. – С. 169-174.

Автори статті

Шуклін Герман Вікторович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри Систем інформаційного та кібернетичного захисту, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Пепа Юрій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри Систем інформаційного та кібернетичного захисту, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Коліда Володимир Петрович – магістр, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Науменко Антон Володимирович – аспірант, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Authors of the article

Shuklin Herman Viktorovych – Candidate of Science (technic), assistant professor, head of Department of Information and cyber security, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Peпа Yurii Volodymyrovych – Candidate of Science (technic), assistant professor, professor of Department of Information and cyber security, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Kolida Volodymyr Petrovych – master, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Naumenko Anton Volodymyrovych – postgraduate of Science, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Дата надходження в редакцію: 21.01.2022 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Г.І. Гайдур