

УДК 681.5, 62-523.2

ФУНКЦІОНАЛЬНО-СТІЙКЕ КЕРУВАННЯ СТРУМОМ РОБОЧОЇ КАМЕРИ ГЕНЕРАТОРА ПЛАЗМИ

Д.т.н. С.М. Фірсов, А.О. Бояркін, Ю.В. Білоконська, М.В. Бреславець, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»

У статті розглядається метод забезпечення функціонально-стійкого керування струмом робочої камери генератора плазми з метою стабілізації процесу вакуумного напилення карбиду вольфраму для забезпечення високої твердості, корозійної та зносостійкості покриття різних елементів систем керування, що використовуються в літако- та ракетобудуванні.

В статье рассматривается метод обеспечения функционально-устойчивого управления током рабочей камеры генератора плазмы с целью стабилизации процесса вакуумного напыления карбида вольфрама для обеспечения высокой твердости, коррозионной и износостойкости покрытия различных элементов систем управления, используемых в самолето- и ракетостроении.

The article considers the ensuring method of the current functional stable control of the generator working chamber plasma process to stabilize vacuum deposition of tungsten carbide for high hardness, corrosion and wear resistance of coatings of various elements of control systems used in aircraft and rocket construction.

Controlled deposition on the workpiece is provided by adjusting the controlled load of the elements of the working chamber: screens, anode and cathode.

Ключові слова: функціональна стійкість, генератор плазми, карбід вольфрам, стабілізація струму, секційний катодний вузол, внутрішній опір.

Вступ

Зміцнення зовнішнього покриття має важливе значення для захисту компонентів літаків, промислових та споживчих товарів від зносу, ударів та корозії. Кращою альтернативою вважається хромоване покриття з карбиду вольфраму.

Метод нанесення покриття з використанням електро-магнітно прискореної плазми [1] є доцільним з точки зору технології напилення. Однак, окрім цього, необхідно забезпечити процес стабілізації та регулювання струму, що протікає в технологічному відділенні (робочій камері).

Система магнетронного розпилення має низку переваг [2], які задовольняють таким показникам якості перехідного процесу, як: керованість, швидкодія, спостережуваність. Завдяки цьому є можливість використовувати цей тип керування для розв'язання поставленої задачі.

В статті розглядається метод функціональної стійкості для забезпечення стабілізації технології формування покриття шляхом розпилення великої кількості катодів, котрі виготовлені з необхідного матеріалу. В основу методу покладено контрольоване

регулювання електричних параметрів процесу, що також дозволяє змінювати компонентний склад покриття при його формуванні.

Структура камери генератора плазми

Технологічне відділення плазмового генератора симетричне. Полюси та екрани мають коаксіальне розташування.

Особливістю технологічної установки є те, що створення осесиметричного магнітного поля забезпечується поєднанням елементів вакуумної камери з елементами магнітної системи. Магнітопроводами магнітної системи є торцеві фланці. Забезпечення необхідної конфігурації магнітного поля досягається за рахунок співвісного розташування полюсних наконечників та торцевих фланців.

Вакуумна камера – це металевий циліндр водоохолоджуваний, який з'єднаний з вакуумною системою, що має в своєму складі високовакуумний масляний дифузійний та механічний масляний форвакуумний насоси.

На осі системи розташовані аноди і торцеві екрани. Катоди-мішені встановлені в зоні з максимальною концентрацією іонів. Катоди-мішені, в разі формування багатокомпонентних покриттів, виготовляються з окремих компонентів, які формують покриття. На кожену групу катодів-мішеней подається потенціал, який регулюється індивідуально. Підкладка, на яку осідає розпилений з катодів-мішеней матеріал, встановлюється в зоні між катодом-мішенями і віссю системи. В режимі очищення до підкладки прикладається нульовий потенціал, а в режимі напилення високий позитивний потенціал (близький до потенціалу анода).

Особливістю даного генератора плазми є створення такої конфігурації магнітного поля в технологічному відсіку, яка приводить до появи замкнутого холлівського електричного струму і відсутності «наскрізного» електронного струму на аноді. В результаті електрони здійснюють рух за циклоїдами, в той час як іони рухаються за траєкторіями, близькими до прямих. Це здійснюється підбором відповідних значень тиску плазмоутворюючого газу і величини магнітної індукції в розрядному проміжку розпилювальної системи. В результаті появи холлівського електронного струму, істотно збільшується частота зіткнень електронів з атомами плазмоутворюючого газу, що призводить до значного підвищення щільності іонів в плазмі.

Для забезпечення роботи розпилювальної системи використані торцеві екрани і бічний екран. Під час іонної чистки підкладок, вони виконують роль конденсатора твердих продуктів розпилення оброблюваної поверхні.

На кожен групу катодів мішеней подаються потенціали, які регулюються незалежно один від одного. Підкладка (деталь), на яку наноситься матеріал мішені, встановлюється в зоні протікання хімічних процесів плазми, катоду та аноду.

Метод забезпечення функціональної стійкості

Емпіричний фізичний закон (1) взаємозв'язку напруги, значення струму та опору (закон Ома) дає можливість виявити функціональні залежності об'єкта керування

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}, \tag{1}$$

де ε – електрорушійна сила джерела напруги;
 I – значення струму електричного контуру;
 R – опір всіх зовнішніх елементів електричного контуру;
 r – внутрішній опір джерела живлення.

Оскільки для живлення технологічної установки генератора плазми використовується джерело напруги, то маємо:

$$R \gg r. \tag{2}$$

Відповідно до (2) запишемо формулу (1) таким чином:

$$I = \frac{\varepsilon}{R}. \tag{3}$$

Напруга на всій ділянці живлення залишається незмінною при нестабільності внутрішніх електричних процесів:

$$U = U_{con} + U_{discon} + U_{\cdot} = const, \tag{4}$$

де U – напруга джерела живлення;
 U_{con} – значення падіння напруги на аналогових елементах;
 U_{discon} – значення падіння напруги на дискретних елементах;
 U_{\cdot} – змінна напруга нестационарної області системи.

Стабільність технологічного процесу нанесення хромованого покриття в рамках використання систем магнетронного розпилення з використанням секціонованих катодів-мішеней можливе при утриманні електричних процесів в заданій області вольт-амперної характеристики газового розряду.

Забезпечення стабільного стану процесу напилення також напряму пов'язане зі стабілізацією струму, який виступає рушійною та регулюючою силою для направленої руху електричних зарядів в плазмовому середовищі.

Це означає, що при змінній неконтрольованій напрузі з одного боку, та завданням стабілізації струму газового розряду з іншого, єдиним керуючим параметром системи виступає опір:

$$U = f(U_{\cdot}) = f(R_{add}). \tag{5}$$

Вводиться додатковий зовнішній опір – кероване навантаження (рис. 1), що забезпечує адаптацію системи до змінних умов фізичних процесів. Це, в свою чергу, забезпечує функціонально стійке керування параметрами напилення [3].

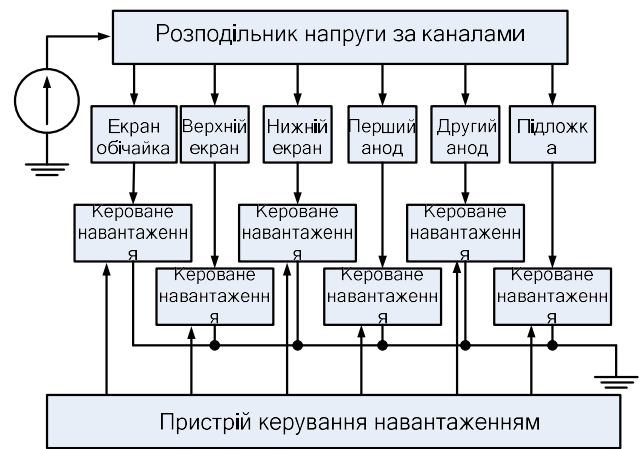


Рис. 1. Узагальнена структура керування режимами напилення

Динамічні параметри такого навантаження забезпечуються шляхом введення відповідних змінних навантажень, опір яких змінюється з кроком 1 Ом до 1024 Ом або 2048 Ом, залежно від їх застосування та керуючої напруги на вході. Крім того, для кожного каналу вводяться датчики напруги та струму, сигнали з яких надходять на аналогові входи програмованого логічного контролера (ПЛК) та використовуються для формування сигналу керування.

Величина керованого навантаження обирається з урахуванням тієї напруги та струмів, які реалізуються при роботі генератора плазми, з урахуванням вольт-амперних характеристик основного розряду.

Складові системи керування

Задача забезпечення функціональної стійкості включає в себе побудову комплексної розподіленої системи керування. Вона повинна забезпечувати прийом та обробку інформації, одержуваної від датчиків технологічних параметрів у вигляді аналогових, дискретних та цифрових сигналів, автономних підсистем автоматичного керування, а також формування масивів поточної інформації для подальшого використання (аналізу вихідних параметрів та синтезу керуючого впливу).

Завдання функції системи первинної обробки інформації (СПОІ) реалізуються на нижньому (програмований логічний контролер) й верхньому (операторська станція) рівнях керування [4].

Всі завдання функції СПОІ реалізуються компонентами базового програмного забезпечення (ПЗ). Ці компоненти включають налаштування при створенні системи керування та корекцію на етапі експлуатації системи. Алгоритм роботи програми показано на рис. 2.

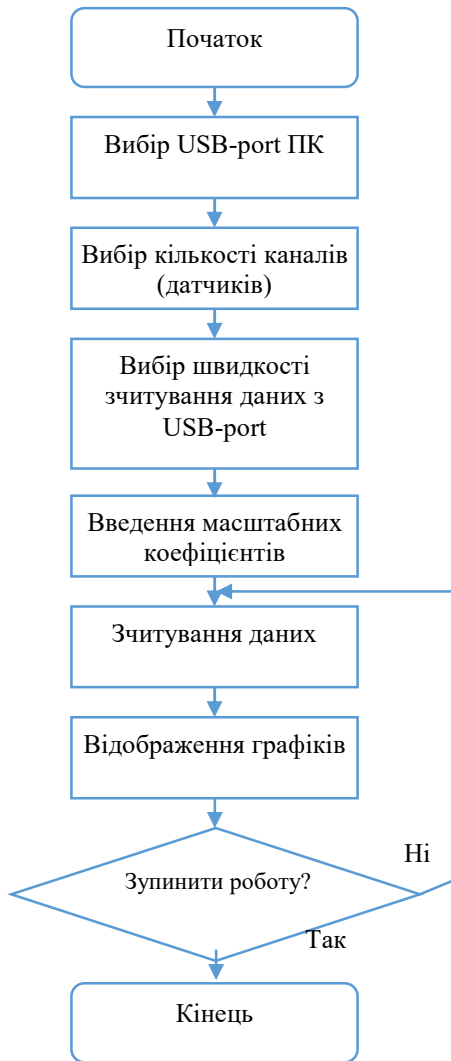


Рис. 2. Загальний алгоритм роботи програмного забезпечення

Програма виконує такі дії:

- підключення до порту ПЛК K202;
- налаштування швидкості зчитування даних з USB-port ПК;
- отримання даних з ПЛК K202 через USB-port ПК;
- перетворення отриманих значень з урахуванням масштабних коефіцієнтів;
- відображення змін на кожному з каналів (датчиків) у вигляді динамічної характеристики;
- збереження даних в окремий файл результатів експерименту (рис.3).

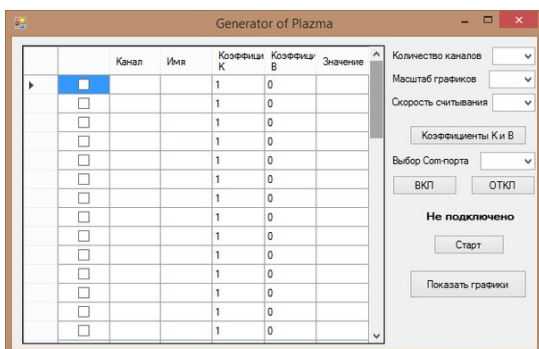


Рис. 3. Зовнішній вигляд головної форми розробленої програми

Універсальним технічним засобом для забезпечення керування, налаштування параметрів, та автоматизації системи технологічного нанесення покриття та можливості використання розгалуженої локальної мережі комунікацій обрано контролер K202 (рис.4).

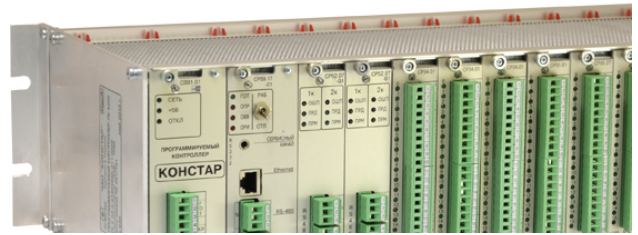


Рис. 4. Програмований логічний контролер K202

ПЛК підключається до персонального комп'ютера (ПК) як зовнішній периферійний пристрій. Передача даних з програмованого логічного контролера K202 на ПК здійснюється через послідовний USB-port.

На рисунку 5-6 показані вольт-амперні характеристики анода й катода-мішені камери плазмового генератора, отримані за допомогою програмно-апаратного комплексу в процесі регулювання керованого навантаження.

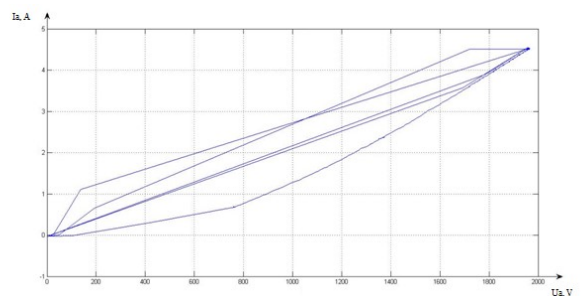


Рис. 5. Вольт-амперна характеристика анода

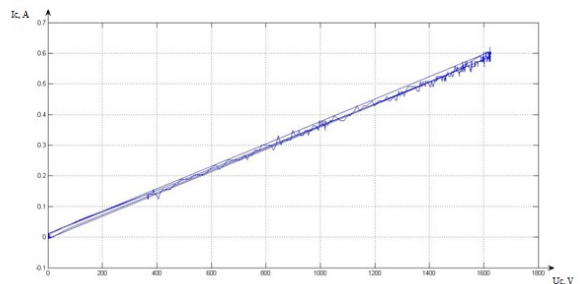


Рис. 6. Вольт-амперна характеристика катода-мішені

Ці залежності дозволяють виявити відхилення вихідних параметрів нестационарної плазми, проаналізувати стан неконтрольованості плазмового середовища, при якому керований розподіл матеріалу катода-мішені неможливий.

Висновок

У даній роботі запропоновано рішення для регулювання внутрішніх фізичних процесів газу аргону робочої камери генератора плазми шляхом введення керованого навантаження до процесу напilenня на основі аналізу нестабільної ВАХ анода й катода-мішені. Таке додаткове навантаження забезпечує стабільний

режим работы ионно-плазмового метода нанесения технологичного покрытия та динамічну керуваність роботи плазмового генератора.

При регулюванні керуванням навантаженням необхідно захистити систему від переходу в некерований режим. Для цієї мети система вводить обмеження за часом для збільшення значення напруги та струму.

Функціонально-стійке керування є розподільним, з відповідно підібраними елементами регулювання та синтезованим програмним забезпеченням.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Hirokazu Tahar, Naozumi Yoshimura, Yoji Koshiro *Spraying Using Electromagnetically Accelerated Plasma // Designing of Interfacial Structures in Advanced Materials and their Joints.* 2007. Vol. 127. P. 319–324. doi:10.4028/www.scientific.net/SSP.127.319

2. Баранов О.О., Горбенко С.С. Плазмово-іонні методи зміни експлуатаційних властивостей поверхневих шарів оброблених деталей // Вестник ХНАДУ, вып. 82, 2018. С. 62–67.

3. Функціональна стійкість системи керування генератором плазми з секціонованими катодними вузлами в режимі іонно-плазмового нанесення багатоконпонентних наноструктурованих матеріалів / Фірсов С.М., Кочук С.Б., Бреславець М.В., Слюсар Д.В. // Open Access Peer-reviewed Journal Science Review. 2(9), February 2018, Vol.1, SCIENTIFIC EDITION. P. 38–42. ISSN: 2544-9346, 2544-9443

4. Firsov, S.N. Formation of Fault-Tolerant Flywheel Engine Units in Satellite Stabilization and Attitude Control Systems [Text] // Journal of Computer and Systems Sciences International. – 2014. Vol. 53, №4. P. 601 – 609.

УДК 621.396.67

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА С НЕЛИНЕЙНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

К.т.н. Д.С. Гавва¹, к.т.н. Д.В. Грецьких¹, к.т.н. А.В. Гомозов², А.Д. Преснякова¹

1. Харьковский национальный университет радиоэлектроники

2. Сертификационный центр ракетно-космической техники Харьковского представительства генерального заказчика – Государственного космического агентства Украины, г. Харьков

В статье представлен обзор электродинамических устройств с нелинейными характеристиками, которые построены по принципу объединения электродинамической структуры с радиоэлементами и/или материалами с нелинейными характеристиками.

У статті наведено огляд електродинамічних пристроїв з нелінійними характеристиками, які побудовані за принципом об'єднання електродинамічної структури з радіоелементами і/або матеріалами з нелінійними характеристиками.

The article presents a review of electrodynamic devices with nonlinear characteristics, which are built on the principle of combining the electrodynamic structure with radio elements and / or materials with nonlinear characteristics.

Ключевые слова: электродинамические устройства, нелинейные элементы, нелинейный поверхностный импеданс, высокотемпературные сверхпроводники

Введение

Одним из перспективных направлений развития электродинамики является изучение электродинамических устройств (ЭДУ) с нелинейными характеристиками (НХ), широкое внедрение которых в практику, позволяет решать ряд важных актуальных задач радиоэлектроники. Изучение ЭДУ с НХ – задача достаточно трудная. Связано это со сложностью математического аппарата, используемого при анализе нелинейных устройств, а также с тем, что нелинейные эффекты, в таких устройствах, зависят от большого числа факторов и в каждом конкретном случае они проявляются по-разному. Поэтому возникает

необходимость систематизации большого многообразия нелинейных ЭДУ с целью выявления в них новых особенностей, возможных закономерностей в работе и характеристиках для дальнейшего построения универсальных математических моделей, позволяющих проводить анализ возникающих в устройствах нелинейных эффектов еще на этапе компьютерного моделирования.

В работе [1], носящей обзорный характер, авторами была построена одна из возможных классификационных диаграмм ЭДУ с НХ, а также рассмотрены некоторые типы таких устройств: реконфигурируемые антенны и метаматериалы, устройства функциональной электроники и частотно-избирательные материалы.

Настоящая работа является продолжением обзора [1] конструкций, характеристик, особенностей построения и функционирования ЭДУ выполненных с применением нелинейных элементов (НЭ) или материалов, обладающих нелинейными свойствами поверхностного импеданса (НПИ).

ЭДУ с оптическим или электронно-лучевым управлением

В [1] приводились примеры некоторых ЭДУ (реконфигурируемые антенны, метаматериалы и т.д.), конфигурация которых изменялись при помощи оптических управляющих сигналов. На основе применения подобных технологий можно выделить целый класс ЭДУ с оптическим/электронно-лучевым управлением или ЭДУ с пространственным возбуждением. Наиболее перспективными среди них можно считать антенны, поскольку простое изменение пространственного распределения интенсивности