

## ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ УСТАНОВКИ БЕЗТИГЕЛЬНОГО ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО ЗОННОГО ПЕРЕПЛАВУ

М.М. Юрченко<sup>1</sup>, докт.техн.наук, В.М. Спірін<sup>1</sup>, докт.техн.наук, В.І. Сенько<sup>2</sup>, докт.техн.наук

<sup>1</sup>– Інститут електродинаміки НАН України,  
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна,  
e-mail: [yuon@ied.org.ua](mailto:yuon@ied.org.ua)

<sup>2</sup>– Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна.

*Розглянуто особливості побудови системи електроживлення технологічної установки безтигельного електронно-променевого зонного переплаву. Показано, що для підтримання стабільної температури зони розплаву необхідно забезпечити стабільність потужності, яка розсіюється на зразку. Доведено, що при певних співвідношеннях реактивних параметрів трансформатора високовольтного блоку (ВБ) та частоти напруги відбувається стабілізація вихідної потужності трансформатора ВБ. Бібл. 5, рис. 3.*

**Ключові слова:** технологічна установка, реактивні параметри, високовольтний блок.

За останні десятиріччя орієнтація технологічних експериментів в космосі дещо змістилася в бік вивчення можливостей та пошуків шляхів виробництва матеріалів з набагато кращими та принципово новими властивостями.

Теоретичні та експериментальні дослідження, проведені в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона спільно з Інститутом електродинаміки НАН України в наземних умовах, були спрямовані на з'ясування можливостей одержання досконалих матеріалів в умовах мікрогравітації методом безтигельної зонної плавки електронним пучком у вигляді диску і показали хороші перспективи застосування цього процесу.

Метод безтигельної електронно-променевої зонної плавки (БЕПЗП) дозволяє найбільш повно використовувати головні відмінні риси космосу – мікрогравітацію і космічний вакуум [5].

Крім зазначених рис даного методу існує ще ряд інших відмінностей:

- висока термічна ефективність (ККД процесу може перевищувати 80 %), у зв'язку з чим споживана на борту потужність невелика;
- обробка матеріалів може здійснюватися у широкому діапазоні температур (250...3000 °С) і охоплювати широке коло матеріалів і сполук;
- метод дозволяє керувати променем при його безпосередній дії на зразок.

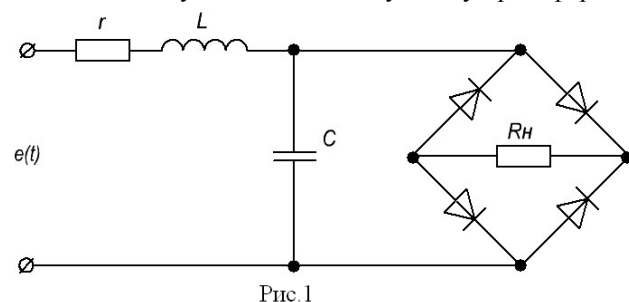
У зв'язку з цим для проведення технологічних експериментів по здійсненню безконтактної електронно-променевої плавки надчистих напівпровідникових матеріалів виникла необхідність у створенні технологічного електрообладнання, основною частиною якого є система електроживлення (СЕЖ). Ця система складається з двох окремих конструктивних блоків – інверторного (ІБ) та високовольтного (ВБ) [4].

Особливістю цієї СЕЖ, на відміну від раніше створених, тривалість роботи яких складала кілька сотень секунд, є безперервна надійна робота в умовах космосу протягом 8 годин при забезпеченні високої точності (1 %) температури плавлення.

Застосування секціонованої структури силової частини СЕЖ [4] дозволило знизити реактивні опори вторинної обмотки трансформатора. В цій роботі розглядається реалізація науково-технічної проблеми, що пов'язана з підтриманням високої стабільності температури розплаву зразку.

При дослідженні вихідної характеристики СЕЖ було встановлено, що крім опору навантаження великий вплив на неї мають реактивні параметри ВБ.

Аналізуючи еквівалентну схему трансформатора ВБ з секціонованою вторинною обмоткою [3], після



спрощень одержимо еквівалентну схему (рис. 1), де  $L$ ,  $C$ ,  $R_H$  – це сумарні індуктивності первинної обмотки та приведені до первинної обмотки вторинної обмотки, ємність вторинної обмотки та опір навантаження;  $r$  – активний опір первинної обмотки;  $e(t)$  – прямокутна напруга високої частоти ( $\omega_1$ ).

На цій схемі LC-контур (при  $\omega_1 LC = 1$ ) можна розглядати як Г-подібний індуктивно-ємнісний перетворювач (ІСП), який працює на випрямляч [2]. Діюче значення вихідного струму ІСП можна визначити по

наступній формулі [1]:

$$I_H = \left[ \sum_{k=1}^{\infty} [U_{\text{нк}} \cdot |Y_{21}(\omega_k)|]^2 \right]^{0,5}, \quad (1)$$

де  $Y_{21}(\omega_k)$  – частотнозалежна функція передачі ІСП;  $U_{\text{нк}} = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{4E}{(2k-1)\pi}$  – діюче значення гармонік напруги живлення.

Для даної схеми ІСП з урахуванням активного опору первинної обмотки трансформатора було визначено формулу квадрата модуля гармонік функції  $Y_{21}(\omega_k)$

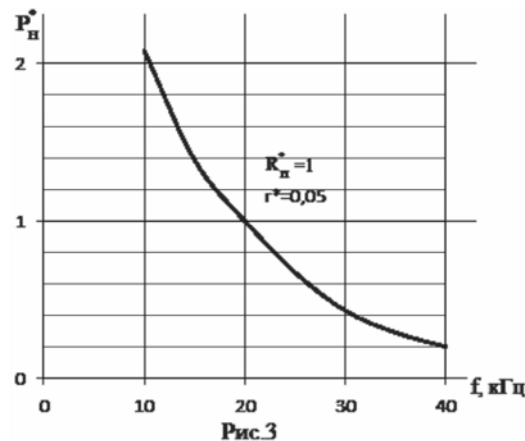
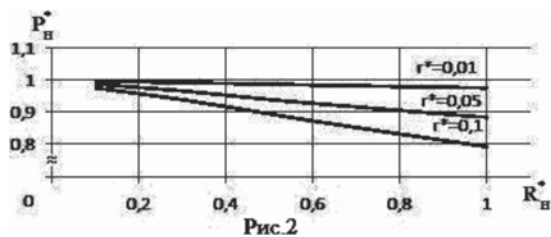
$$|Y_{21}(\omega_k)|^2 = \left[ R_H \left[ 1 - (2k-1)^2 \omega_1^2 LC \right] + r \right]^2 + (2k-1)^2 \omega_1^2 (L + R_H rC)^2 \quad (2)$$

і згідно з формулою (1) – діюче значення гармонік вихідного струму ІСП

$$I_H = \frac{4E}{\pi} \sqrt{\sum_{k=1}^3 \frac{(2k-1)^{-2}}{\left[ R_H \left[ 1 - (2k-1)^2 \omega_1^2 LC \right] + r \right]^2 + (2k-1)^2 \omega_1^2 (L + R_H rC)^2}}. \quad (3)$$

Для розрахунків такої схеми ІСП достатньо обмежитися першими трьома гармоніками ( $k=1,2,3$ ) [1]. Аналізуючи формулу (3), можна зробити висновок, що струм та потужність  $P_H = I_H^2 R_H$  у навантаженні залежать від величин реактивних параметрів трансформатора, частоти напруги живлення, активного опору первинної обмотки та навантаження. Для підтримання стабільної температури у зоні розплаву необхідно забезпечити стабільність потужності у навантаженні, опір якого  $R_H^*$  змінюється від 0,1 до 1. Враховуючи реальні параметри ( $L=10$  мкГн,  $C=6,366$  мкФ,  $r^*=0,01; 0,05; 0,1$ ,  $R_{\text{нн}} = 1$  Ом,  $f_1=20$  кГц) високовольтного трансформатора (з коефіцієнтом трансформації  $k_{\text{тр}} = 400$ ), було розраховано по формулі (3) при  $E = 27$  В залежність  $P_H^* = f(R_H^*)$ , де  $P_H^* = I_H^2 R_H^* / I_{\text{нкз}}^2 R_H^*$ ,  $R_H^* = R_H / R_{\text{нн}}$ ,  $R_{\text{нн}}$  – значення опору в номінальному режимі,  $r^* = r/R_{\text{нн}}$ ,  $I_{\text{нкз}}$  – струм у режимі короткого замикання.

На рис. 2 показані ці залежності при різних значеннях  $r^*$ , звідки видно, що ІСП виконує свою функцію стабілізації, але характеристика має астатизм, який потрібно ліквідувати. Для цього було введено зворотній зв'язок по вихідному струму ІСП і за рахунок зміни частоти інвертора отримано стабільну потужність у навантаженні. На рис. 3 наведено залежність потужності навантаження від змінної частоти інвертора при  $R_H^* = 1$ ,



$r^* = 0,05$ , яка свідчить, що частотним регулюванням можливо забезпечити стабільність потужності у навантаженні. В нашому випадку при  $r^* = 0,05$ ,  $R_H^*$  для підвищення потужності потрібно знизити частоту до  $\sim 18$  кГц.

Таким чином, розглянута вище властивість високовольтних трансформаторів ВВ може сприяти покращенню стабілізації потужності, а отже, поліпшенню основної експлуатаційної характеристики електронно-променевої установки зонного переплаву металів.

1. Милья А.Н., Волков И.В. Системы неизменного тока на основе индуктивно-емкостных преобразователей. К.: Наукова думка, 1974. – 216 с.

2. Милья А.Н., Кубышин Б.Е., Волков И.В. Индуктивно-емкостные преобразователи. – К.: Наукова думка, 1964. – 304 с.

3. Юрченко Н.Н., Пазеев Г.Ф. Высоковольтные трансформаторно-выпрямительные блоки электронно-лучевых технологических установок // Техн. электродинамика. Спец. выпуск. – 1998. – Т.2. – С. 10–13.

4. Юрченко Н.Н., Юрченко О.Н. Системы электропита-

ния бортовых технологических установок, работающих в космосе. – Киев: Институт электродинамики НАН Украины, 2001. – 143 с.

5. Патент на винахід № 833148. Установка для электронно-променевої зонної плавки матеріалу в космосі в умовах мікрогравітації і космічного вакууму / Б.С.Патон, Ю.А.Аснис, М.М.Юрченко, П.М.Шевченко та інші. Оpubл. – 2008. – Бюл. № 11.

УДК 621.314.1

## ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ БЕЗТИГЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ЗОННОГО ПЕРЕПЛАВА

Н.Н. Юрченко<sup>1</sup>, докт.техн.наук, В.М. Спирин<sup>1</sup>, докт.техн.наук, В.И. Сенько<sup>2</sup>, докт.техн.наук

<sup>1</sup>–Институт электродинамики НАН Украины,

пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина,

e-mail: [yuon@ied.org.ua](mailto:yuon@ied.org.ua)

<sup>2</sup>–Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,

пр. Победы, 37, Киев, 03056, Украина.

*Рассмотрены особенности построения системы электропитания технологической установки безтигельного электронно-лучевого зонного переплава. Показано, что для поддержания стабильной температуры зоны расплава необходимо обеспечить стабильную мощность, которая рассеивается на образце. Доказано, что при определенных соотношениях реактивных параметров трансформатора высоковольтного блока (ВБ) и частоты переключения происходит стабилизация выходной мощности трансформатора ВБ. Библ. 5, рис. 3.*

**Ключевые слова:** технологическая установка, реактивные параметры, высоковольтный блок.

## PARTICULARITIES OF TECHNOLOGICAL SET-UP'S SUPPLY SYSTEM FOR NON-CRUCIBLE ELECTRON-BEAM ZONE MELTING

M.M.Yurchenko<sup>1</sup>, V.M.Spirin<sup>1</sup>, V.I.Senko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>–Institute of Electrodynamics of National Academy of Sciences of Ukraine,

pr. Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine,

e-mail: [yuon@ied.org.ua](mailto:yuon@ied.org.ua)

<sup>2</sup>–National Technical University of Ukraine “Kyiv Politechnichny Institute”,

pr. Peremohy, 37, Kyiv, 03056, Ukraine.

*It is considered particularities of technological set-up's supply system for non-crucible electron-beam zone melting. It is showed that for keeping the stable temperature of melting zone it is necessary to provide the stable power being dissipated in the sample. It is proved that under the specific correlation between high voltage stage transformer's reactive parameters and the clock frequency it is being reached stabilization of high voltage transformer's output power. References 5, figure 3.*

**Keywords:** technological set-up, reactive parameters, high voltage unit.

1. Miliakh A.N., Volkov I.V. Systems based on the constant current inductively capacitive transducers. – Kyiv: Naukova dumka, 1974. – 216 p. (Rus)

2. Miliakh A.N., Kubyshev B.E., Volkov I.V. Inductive-capacitance converters. – Kyiv: Naukova dumka, 1964. – 304 p. (Rus)

3. Yurchenko N.N., Pazeev G.F. High voltage transformer-rectifying units of electron-beam technological set-ups // Tekhnichna elektrodynamika. Spetsialnyi vypusk. – 1998. – Vol .2. – Pp. 10–13. (Rus)

4. Yurchenko N.N., Yurchenko O.N. Supply systems of on-board technological set-ups working in space. – Kiev: Institut Elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy, 2001. – 143 p. (Rus)

5. Patent № 833148. The set-up for electron-beam zone melting in space under micro-gravitation and cosmic vacuum / B.Ye.Paton, Yu.A.Asnis, M.M.Yurchenko, P.M.Shevchenko et al. – 2008. – Bull. № 11. (Ukr)

Надійшла 30.01.2014