

K. V. Bogdanov, A. N. Lovchikov

## FEATURES OF SYNTHESIS OF PARALLEL BOOST CONVERTERS WITH PULSE-WIDTH MODULATION

This article describes the main features of boost and inverting PWM converters based on the so-called "Parallel" scheme affecting the efficiency of existing methods of synthesis of data converters, as well as suggests ways to improve the efficiency of the obtained secondary sources of supply, based on this scheme.

Keywords: Pulse-width converters, secondary power supplies, CAD, EDA.

© Богданов К. В., Ловчиков А. Н., 2010

УДК 621.791.72

В. Я. Браверман, В. С. Белозерцев

## ЧАСТОТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ФОКУСИРОВКИ ЭЛЕКТРОННОГО ЛУЧА И ГЛУБИНЫ ПРОПЛАВЛЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКЕ\*

Рассмотрена возможность получения детерминированного спектра выходного сигнала датчика проникающего рентгеновского излучения для управления уровнем фокусировки и глубиной проплавления при электронно-лучевой сварке.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка; рентгеновское излучение; глубина проплавления; уровень фокусировки электронного луча.

Метод [1; 2] основан на использовании экстремальной зависимости глубины проплавления, а, следовательно, и интенсивности проникающего рентгеновского излучения  $J_x$  от уровня  $b$  фокусировки луча относительно свариваемых поверхностей при электронно-лучевой сварке (ЭЛС) коническими пучками (рис. 1).

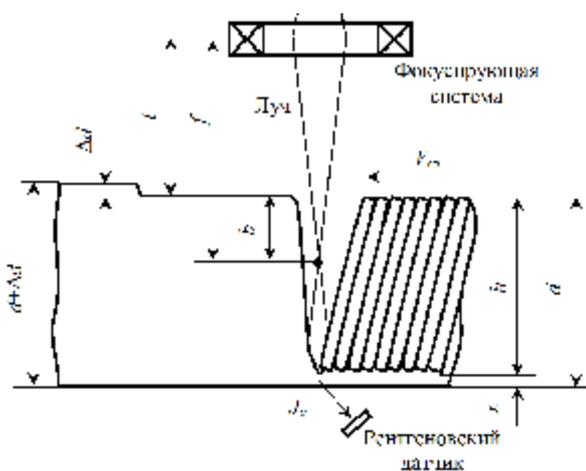


Рис. 1. К определению зависимости глубины проплавления от уровня фокусировки луча

При наличии периодических составляющих в некоторых параметрах проникающего рентгеновского излуче-

ния, например в параметре  $x$  – величине непроплава (а, следовательно, и в глубине проплавления), выходной сигнал датчика рентгеновского излучения представляет собой «почти» периодический процесс [3], составляющие которого находятся в определенном соответствии с уровнем фокусировки электронного луча.

Анализ экспериментальных данных свидетельствует о том, что зависимость глубины проплавления  $h$  от уровня фокусировки луча можно аппроксимировать функцией вида [4]:

$$h = h_{\max} e^{-0,005[(\Delta b)^2 + 0,003(\Delta b)^3]}, \quad (1)$$

где  $\Delta b$  – изменение уровня фокусировки относительно положения фокуса луча, соответствующего максимальной глубине проплавления. Результаты одного из экспериментов по определению зависимости глубины проплавления от уровня фокусировки электронного луча представлены на рис. 2.

Появление  $\Delta b$  (изменение уровня фокусировки  $b$ ), а, следовательно, и уменьшение глубины проплавления может быть вызвано изменением фокусного расстояния  $f$  на величину  $\Delta f$  из-за нестабильности ускоряющего напряжения  $U_{\text{уск}}$ , тока фокусирующей системы  $I_{\text{ф}}$ ; изменением расстояния  $l$  от поверхности свариваемых деталей до фокусирующей системы на величину  $\Delta l$  из-за неточности установки деталей или «биения» механизма перемещения свариваемых деталей; изменением толщины свариваемых деталей  $d$  на величину  $\Delta d$ , связанным с не-

\* Работа выполнена при финансовой поддержке АБЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (код проекта 2957).

точностью заготовок или со сваркой стыков с переменным сечением. Таким образом,

$$\Delta b = \Delta f + \Delta l + \Delta d. \quad (2)$$

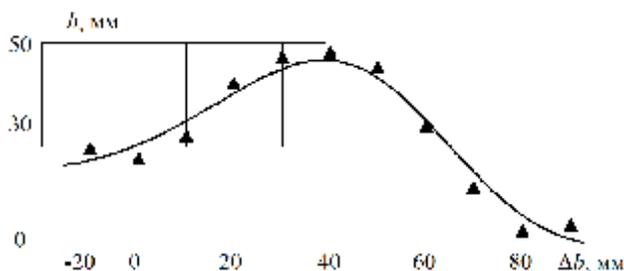


Рис. 2. Зависимость глубины проплавления от уровня фокусировки конического электронного пучка (материал X18H10T;  $P = 50$  кВт;  $\alpha_n = 0,05$  рад;  $\alpha_n$  – угол сходимости электронного пучка)

С учетом (1), (2) глубина проплавления определится формулой

$$h = h_{\max} e^{-0,005[(\Delta f + \Delta l + \Delta d)^2 + 0,003(\Delta f + \Delta l + \Delta d)^3]}. \quad (3)$$

Принимая во внимание зависимость фокусного расстояния  $f$  от нескольких переменных, приращение  $\Delta f$  этой функции можно определить, используя выражение ее полного дифференциала:

$$\Delta f = \frac{\partial f}{\partial I_f} \Delta I_f + \frac{\partial f}{\partial U} \Delta U + \frac{\partial f}{\partial l} \Delta l,$$

где  $\partial f / \partial I_f, \dots, \partial f / \partial l$  – частные производные по соответствующим параметрам;  $\Delta I_f, \dots, \Delta l$  – приращения параметров.

Для упрощения дальнейших рассуждений и не изменяя сущности метода, можно допустить, что  $\Delta U = \Delta l = 0$ , тогда

$$\Delta f = \frac{\partial f}{\partial I_f} \Delta I_f.$$

Для многих фокусирующих систем справедлива формула [5]:

$$f = \frac{48UR}{(I_f W)^2},$$

где  $U$  – ускоряющее напряжение;  $R$  – средний радиус катушки фокусирующей системы;  $I_f$  – ток фокусирующей системы;  $W$  – число витков катушки фокусирующей системы.

Отсюда, с учетом допущений

$$\Delta f = -\frac{96UR}{I_f^3 W^2} \Delta I_f.$$

Коэффициент перед  $\Delta I_f$  может быть вычислен для данной электронно-лучевой пушки (ЭЛП). Так, например, для ЭЛП КЭП 2М при ускоряющем напряжении 30 кВ и  $f = 250$  мм

$$\Delta f \approx 8 \Delta I_f. \quad (4)$$

Подставляя (4) в (3) и принимая  $\Delta d = 0$ , получим

$$h = h_{\max} e^{-0,005(8\Delta I_f)^2 - 0,003(8\Delta I_f)^3}. \quad (5)$$

График зависимости (5) представлен на рис. 3.

Экстремальная зависимость глубины проплавления от изменения тока фокусирующей системы относительно значения тока, соответствующего максимальной глубине проплавления, обуславливает экстремальную зави-

симость интенсивности проникающего рентгеновского излучения от уровня фокусировки электронного луча, и, следовательно, от глубины проплавления (рис. 4). График построен для случая ЭЛС сплава АМГ-6 при  $d = 15$  мм,  $f = 250$  мм, ускоряющем напряжении 30 кВ ( $m = 0,147$  мм<sup>-1</sup>),  $h_{\max} = 14$  мм. Расчеты произведены в соответствии с выражением (5) и формулами, представленными в [1]:

$$J_x / J_0 = e^{-\mu \left\{ 15 - 14 e^{-0,005(8\Delta I_f)^2 - 0,003(8\Delta I_f)^3} \right\}}. \quad (6)$$

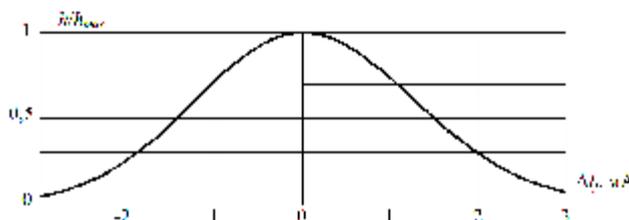


Рис. 3. Зависимость глубины проплавления от изменения тока фокусирующей системы относительно тока, соответствующего максимальной глубине проплавления

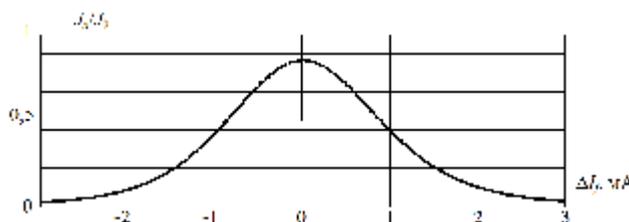


Рис. 4. Зависимость интенсивности проникающего рентгеновского излучения от изменения тока фокусирующей системы относительно тока, соответствующего максимальной глубине проплавления

Таким образом, что максимальной глубине проплавления (когда нет расфокусировки относительно положения фокуса, соответствующего максимальной глубине проплавления, т. е. когда  $\Delta I_f = 0$ ) соответствует максимальный уровень интенсивности проникающего рентгеновского излучения.

Если в ток фокусирующей системы ввести периодическую составляющую, то интенсивность  $J_x$  проникающего рентгеновского излучения при неизменной  $J_0$  ( $J_0$  зависит от ускоряющего напряжения, тока луча, атомного номера свариваемого материала) станет зависимой от времени и в спектре проникающего рентгеновского излучения появятся составляющие с частотами, кратными частоте модуляции, и амплитудами и фазами, зависящими от уровня и направления смещения фокуса луча относительно положения, соответствующего максимальной глубине проплавления. Аналитически это можно представить следующим образом. Ток расфокусировки относительно тока, соответствующего максимальной глубине проплавления, может быть выражен, как

$$\Delta I_f = \Delta I_{f0} + \Delta I_{fm} \sin \beta, \quad (7)$$

где  $\Delta I_{f0}$  – постоянная составляющая (управляющее или возмущающее воздействие);  $\Delta I_{fm}$  – амплитуда модулирующего сигнала;  $\beta = \omega_2 t$ ;  $\omega_2 = 2\pi/T$  – круговая частота;  $T$  – период.

Подставляя в (6) значение  $\Delta I_f$  из (7) и учитывая (5), получим

$$J/J_0 = e^{-\mu \left\{ d - h_{\max} \cdot e^{-0,005 \cdot [8^2 (\Delta I_{f0} + \Delta I_{fm} \sin \beta)^2 - 0,003 \cdot 8^3 (\Delta I_{f0} + \Delta I_{fm} \sin \beta)^3]} \right\}} \quad (8)$$

Выражение (8) можно представить рядом Фурье в тригонометрической форме:

$$J/J_0 = 0,5a_0 + a_1 \cos \beta + \dots + a_k \cos k\beta + b_1 \sin \beta + \dots + b_k \sin k\beta,$$

где  $a_k, b_k (k = 0, 1, 2, \dots)$  – коэффициенты Фурье, определяющие амплитуды соответствующих спектральных составляющих интенсивности проникающего рентгеновского излучения:

$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{J}{J_0} \cos k\beta d\beta; \quad b_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{J}{J_0} \sin k\beta d\beta.$$

Анализ зависимостей коэффициентов Фурье от  $\Delta I_{f0}$  показал, что в спектре интенсивности проникающего рентгеновского излучения присутствуют составляющие с частотами, кратными двойной частоте ( $2\omega$ ) модуляции тока фокуса (четные гармоники) и амплитудой, максимальной при отсутствии расфокусировки ( $\Delta I_{f0}$ ), и составляющие с частотой, кратной частоте ( $\omega$ ) модуляции тока фокуса (нечетные гармоники) и с нулевым значением амплитуды при отсутствии расфокусировки луча ( $\Delta I_{f0}$ ).

Первые составляющие (рис. 5, слева) рассчитаны по формуле

$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} e^{-\mu \left\{ d - h_{\max} \cdot e^{-0,005 \cdot [8^2 (\Delta I_{f0} + \Delta I_{fm} \sin \beta)^2 - 0,003 \cdot 8^3 (\Delta I_{f0} + \Delta I_{fm} \sin \beta)^3]} \right\}} \cos k\beta d\beta.$$

Вторые составляющие (рис. 5, справа) получены из выражения

$$b_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} e^{-\mu \left\{ d - h_{\max} \cdot e^{-0,005 \cdot [8^2 (\Delta I_{f0} + \Delta I_{fm} \sin \beta)^2 - 0,003 \cdot 8^3 (\Delta I_{f0} + \Delta I_{fm} \sin \beta)^3]} \right\}} \sin k\beta d\beta.$$

Расчеты по приведенным формулам подтвердили наличие в спектре проникающего рентгеновского излучения составляющих, несущих информацию о положении фокуса луча и тем самым о глубине проплавления. Так, амплитуды  $a_k$  составляющих, кратных двойной частоте

модуляции тока фокуса, максимальны при отсутствии расфокусировки луча ( $\Delta I_{f0} = 0$ ) относительно положения, соответствующего максимальной глубине проплавления, и, следовательно, максимум их свидетельствует о максимальной глубине проплавления. Амплитуды  $b_k$  составляющих с нечетными частотами ( $\omega, 3\omega, 5\omega$  и т. д.) в некотором диапазоне изменения тока фокуса пропорциональны величине расфокусировки относительно положения, соответствующего максимальной глубине проплавления. Нулевое значение этих составляющих свидетельствует о максимальной глубине проплавления.

Рассмотрим график зависимости амплитуды  $a_2$  спектральной составляющей интенсивности проникающего рентгеновского излучения с частотой  $2\omega$  от амплитуды  $\Delta I_{fm}$  модулирующего сигнала при уровне фокусировки электронного луча, соответствующего максимальной глубине проплавления ( $\Delta I_{f0} = 0$ ) (рис. 6). График показывает, что по амплитуде  $a_2$  можно судить о чувствительности метода измерения и выбирать амплитуду модулирующего сигнала, при котором обеспечивается максимальная чувствительность. Отсюда также видно, что рабочую точку (амплитуду модуляции тока фокуса) следует выбирать на правой (более пологой) ветви характеристики  $a_2 = f(\Delta I_{fm})$ .

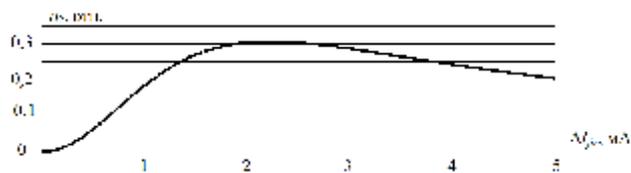


Рис. 6. Зависимость амплитуды  $a_2$  – составляющей интенсивности проникающего рентгеновского излучения с частотой  $2\omega$  – от амплитуды моделирующего сигнала  $\Delta I_{fm}$  при  $\Delta I_{f0} = 0$

Таким образом, при модуляции тока фокусирующей системы в спектре проникающего рентгеновского излучения возникают составляющие, несущие информацию о глубине проплавления. Осуществляя, например, час-

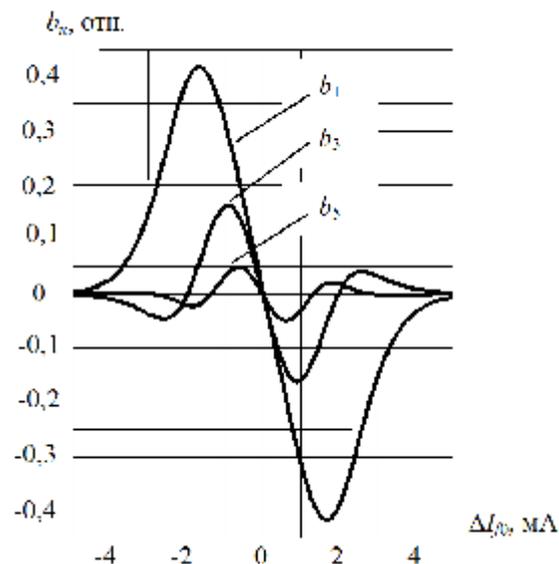
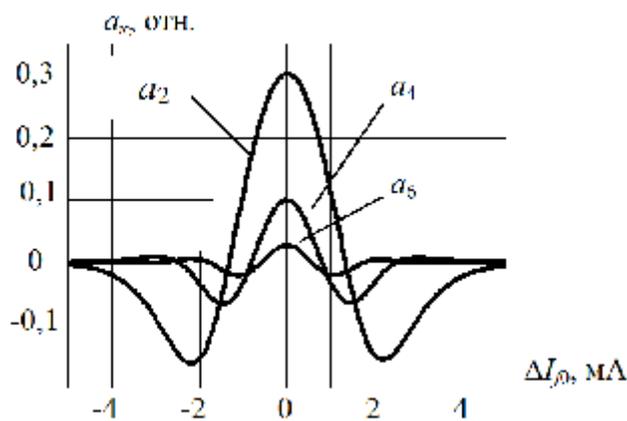


Рис. 5. Зависимости амплитуд спектральных составляющих интенсивности проникающего рентгеновского излучения от степени расфокусировки луча относительно значения фокуса, соответствующего максимальной глубине проплавления

тотную селекцию сигнала рентгеновского датчика, можно реализовать управление глубиной проплавления при ЭЛС.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. При наличии периодических составляющих в некоторых параметрах проникающего рентгеновского излучения выходной сигнал датчика рентгеновского излучения представляет собой «почти» периодический процесс, составляющие которого находятся в определенном соответствии с уровнем фокусировки электронного луча и глубиной проплавления.

2. Осуществляя частотную селекцию сигнала датчика проникающего рентгеновского излучения, можно осуществлять управление уровнем фокусировки электронного луча и глубиной проплавления.

#### Библиографические ссылки

1. Устройство управления фокусировкой и глубиной проплавления по собственному рентгеновскому излучению при ЭЛС с модуляцией уровня фокусировки / В. Я. Браверман, С. Г. Баякин, В. В. Башенко, В. Ф. Шабанов // Сварочное производство. 1997. № 1. С. 16–19.
2. Пат. РФ № 2113954. Способ электронно-лучевой сварки / В. Я. Браверман, С. Г. Баякин, В. В. Башенко, В. Ф. Шабанов. 1998. Бюл. № 12.
3. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов : пер. с англ. М. : Мир, 1971.
4. Hablani M. H. A correlation of welding variables // Proc. Forth Symp. Electron Beam Technol., Boston, March 1962 / ed. R. Bakish. Boston, 1962.
5. Башенко В. В. Электронно-лучевые установки. Л. : Машиностроение, 1975.

V. Ya. Braverman, V. S. Belozertsev

### FREQUENCY-DOMAIN METHOD OF ESTIMATION OF ELECTRON BEAM FOCUSING LEVEL AND MELTING DEPTH DURING ELECTRON-BEAM WELDING

*The article considers possibility of obtaining of determinate spectrum of output signal of penetrating X-ray radiation sensor to control focusing level and melting depth during electron-beam welding.*

*Keywords: electron beam welding, x-ray radiation, melting depth, electron beam focusing level.*

© Браверман В. Я., Белозерцев В. С., 2010

УДК 519.854.33

С. Е. Головенкин, Т. К. Гулакова, Р. И. Кузьмич, И. С. Масич, В. А. Шулман

### МОДЕЛЬ ЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСЛОЖНЕНИЙ ИНФАРКТА МИОКАРДА\*

*Исследуется метод классификации данных, основанный на поиске и использовании логических правил. Решающее правило классификации базируется на модели, получаемой в результате решения ряда задач комбинаторной оптимизации. Строится модель классификации для прогнозирования осложнений инфаркта миокарда.*

*Ключевые слова: инфаркт миокарда, классификация, комбинаторная оптимизация, логические алгоритмы, прогнозирование.*

Большое количество задач распознавания, привлекающих внимание исследователей как в медицине, так и во множестве других областей, может быть сформулировано следующим образом. Имеется выборка данных, которая состоит из двух непересекающихся множеств  $\Omega^+$  и  $\Omega^-$   $n$ -мерных векторов. Каждый вектор соответствует некоторому пациенту, векторы множества  $\Omega^+$  соответствуют пациентам, находящимся в некотором медицинском состоянии (например, болен или имеет осложнение заболевания), а векторы  $\Omega^-$  не соответствуют этому состоянию. Компоненты векторов (называемые признаками,

переменными, характеристиками или атрибутами) представляют собой результаты определенных измерений, тестов или просто показывают присутствие или отсутствие определенных симптомов. Эти компоненты могут быть численными, номинальными или бинарными.

Задача состоит в том, чтобы на основании имеющейся выборки данных (классифицированных ранее наблюдений) извлечь информацию о состоянии «нового» пациента, наблюдение которого не содержится в выборке. Главная цель решения таких задач – на основе анализа данных и вычислительных систем диагностики и прогно-

\* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ (код проекта МК-463.2010.9).