

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ FUZZY РЕГУЛЯТОРА В ШВИДКОДІЮЧОМУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІ МЕХАНІЗМУ ПОДАЧІ ЕЛЕКТРОДНОГО ДРОТУ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЗВАРЮВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

В. О. Лебедєв¹, О. М. Халімовський²

¹ІЕЗ імені Є. О. Патона НАН України

²Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Анотація. Наведено результати моделювання перехідних процесів режимів роботи двоконтурної системи підпорядкованого керування швидкістю подачі електродного дроту при дуговому зварюванні з використанням Fuzzy регулятора в контурі швидкості. Система керування забезпечує дозоване імпульсне переміщення дроту з середньою швидкістю подачі в діапазоні від 100 до 700 м/год при частоті повторення імпульсів 100 Гц.

Ключові слова: зварювання, імпульсна подача дроту, система автоматичного керування, вентильний електропривод, Fuzzy регулятор.

Вступ

Для електродугового зварювання дія зміни параметрів (струм зварювання, напруга дуги, швидкість зварювання і швидкість подачі присадного дроту), характерних для більшості методів дугового зварювання, на показники формування швів або показники якості зварних з'єднань є обмеженою. Це обумовлено як характеристиками зварного обладнання, що використовується, так і негативними проявами граничних значень параметрів або їх поєднанням на якість зварювального процесу. Удосконалення процесів механізованого та автоматичного дугового зварювання плавким електродом – актуальна задача, яка вирішується технологічними і технічними способами [1, 2]. Основні напрямки розробок нових технологічних рішень для отримання сприятливої структури наплавленого металу, яка здатна підвищити експлуатаційні властивості деталі, спрямовані на мінімізацію проплавлення основного металу і змішування електродного металу з металом оброблюваної деталі.

1. Мета та задачі дослідження

Для покращення технологічного процесу зварювання, якості зварних швів та зменшення втрат електродного матеріалу в зварюванні використовують різні методи. Серед різних способів фізичних впливів на зварювальний процес в останній час широко застосовуються зовнішні імпульсні магнітні поля та дозована подача електродного дроту. Як відомо, при збільшенні частоти імпульсної подачі зварювального дроту під-

вищується якість зварних з'єднань. Наявність такої тенденції робить доцільним проведення досліджень з метою розробки системи автоматичного керування, яка дозволить забезпечити імпульсну подачу дроту з частотою до 100 Гц. Досягнення мети досліджень передбачає вирішення задач вибору структури та методу синтезу системи, аналізу її роботи шляхом використання методів математичного моделювання.

2. Аналіз методів і способів удосконалення процесу дугового зварювання

Технологічні підходи направлені в основному на регулювання термічного циклу зварювання. Аналіз публікацій наукових досліджень, пов'язаний з оцінкою дії зовнішніх магнітних полів показує обмеженість впливу їх дії при зварюванні. Комплекс технічних рішень в системі з дозованою подачею електродного дроту забезпечує досягнення нових технологічних можливостей механізованого зварювання. Підходи, засновані на використанні впливу зовнішніх імпульсних фізичних і технологічних дій на параметри зварювального процесу, знайшли застосування при зварюванні неплавким електродом (ЗНЕ) з присадним дротом [3]. Використання імпульсної подачі присадного дроту (ППД) при механізованому ЗНЕ створює сприятливі умови для кристалізації зварного з'єднання за рахунок утворення пульсуючого характеру зміни температури нагріву і охолодження зварного шва під впливом відносно холодного природного матеріалу присадного дроту.

Одним із методів покращення зварних характеристик є зварювання з імпульсною

подачею електродного дроту. В процесі такого виду подачі для здійснення керованого крапельного переносу електродного металу використовується зворотно-поступальний рух електродного дроту з частотою 10-60 Гц. В порівнянні зі звичайним (безперервним) способом подачі зварювання з використанням імпульсної подачі електродного дроту має ряд значних переваг. Важливою особливістю зварювання плавким електродом (ЗПЕ) є те, що тиск дуги на поверхні зварювальної ванни має перемінні значення з частотою подачі електродного дроту, що в свою чергу сприяє покращенню міцності зварного з'єднання. Аналіз методів і способів удосконалення процесу дугового зварювання плавким електродом в вуглекислому газі [4] і ЗПЕ в середовищі аргону показує, що надання імпульсного характеру руху присадному дроту дозволяє комплексно вирішувати задачі поліпшення якості зварних з'єднань. При дуговому ЗПЕ у вуглекислому газі з високою частотою відливу краплі від торця електроду можливо досягати дрібно-крапельного переносу електродного металу, що дає можливість зменшити розбрикування ванни, а це в свою чергу призводить до зниження витрат електродного матеріалу. Таким чином, застосування імпульсної подачі дроту дає можливість підвищувати якість як металу шва, так і зони, що прилягає до шва, розширює технологічні можливості зварювання і дозволяє отримувати економію зварювального дроту, а також зменшити трудові затрати при подальшій обробці зварних конструкцій. Літературні дані більше відображають конструкцію пристроїв імпульсної подачі дроту, ніж технологічні результати використання цього способу.

Для реалізації імпульсної подачі дроту в зону зварювання, як при зварюванні плавким елек-

тродом, так і при зварюванні неплавким електродом використовують одностипні механізми. В механізмах подачі в якості приводних можуть використовуватись двигуни різних типів. Переобладнання стандартного приводу подачі дроту пов'язане з додатковими витратами, а інколи і неможливе через труднощі розміщення імпульсних пристроїв у складі конструкції зварювального апарату. Тому є більш доцільним використовувати в електроприводі зварювальних апаратів для імпульсної подачі дроту спосіб переривчастого живлення двигуна за рахунок комутації IGBT ключів. Такий спосіб керування приводом забезпечує простоту схемної реалізації переривчастого живлення та стабільну величину вибігу дроту у ванну зварювання.

При зварюванні з імпульсною подачею зварювального дроту велике значення має відстань між дротом і зварювальною ванною в момент його гальмування. Відпрацювання цієї відстані при реалізації алгоритму управління процесом зварювання залежить від часу й тривалості включення імпульсів подачі дроту і формує вид і стабільність перенесення металу. У зв'язку з цим задача дослідження динамічних і енергетичних властивостей приводу в режимах імпульсної дозованої подачі електродного дроту є актуальною.

В даний час розроблені досить досконалі системи подачі електродного дроту на основі крокових [5] і вентильних [6, 7] комп'ютеризованих електроприводів. Як показали експериментальні дослідження, за сукупністю електромеханічних властивостей вентильні електроприводи мають кращі показники, ніж крокові. Загальний вигляд вентильного двигуна з захватноподаючою системою представлено на рисунку 1.

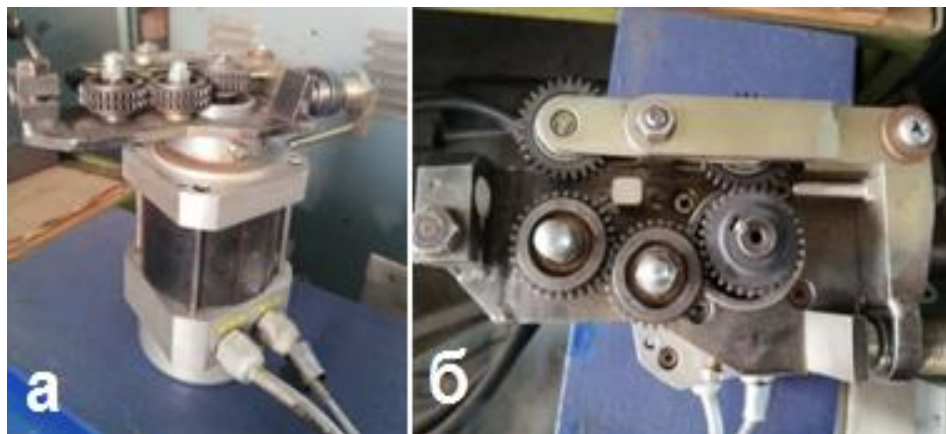


Рис. 1. Вентильний двигун з захватноподаючою системою - а, захватноподаюча система – б

Вентильний електродвигун може забезпечити момент на валу достатній для установки на ньому роликів без проміжного редуктора, що,

крім усього іншого, дає можливість в 1,5...2,0 рази знизити масогабаритні характеристики механізму подачі в цілому. Конструкція напівавто-

мату з вентильним електродвигуном є досить компактною за рахунок відносно невеликих за розмірами габаритів двигуна і блоку керування.

Управління вентильним електроприводом реалізується по заздалегідь складеним алгоритмам. Сигнали керування рухом двигуна формуються безпосередньо з блоку управління, який можна вбудовувати у будь-який конструктивний вузол механізованого устаткування.

Процес з дозованою подачею електродного дроту дає можливість досягнення нових технологічних можливостей механізованого зварювання. Тому дослідження режимів роботи вентильного електроприводу механізмів імпульсної подачі

зварювального дроту є актуальним для подальшого вдосконалення технології зварювання.

3. Вибір структури САК

Враховуючи електромеханічні властивості електродвигунів в якості приводу механізму імпульсної подачі дроту при розробці системи керування обрано безредукторний вентильний двигун постійного струму (ВДПС). Для забезпечення обмеження величини струму в перехідних режимах роботи САК в структурі подальших досліджень було обрано двоконтурну САК [7]. Структурна схема САК представлена на рисунку 2.

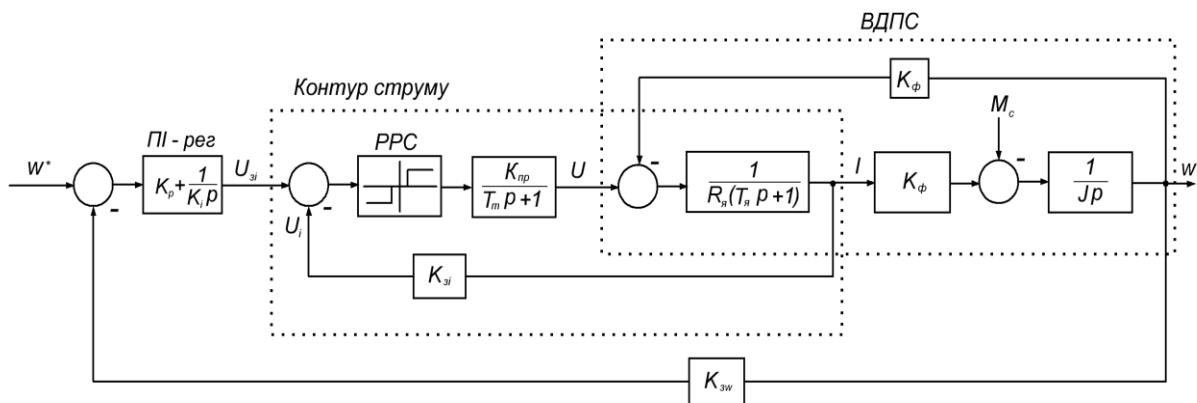


Рис. 2. Структурна схема моделі двоконтурної САК з вентильним двигуном постійного струму

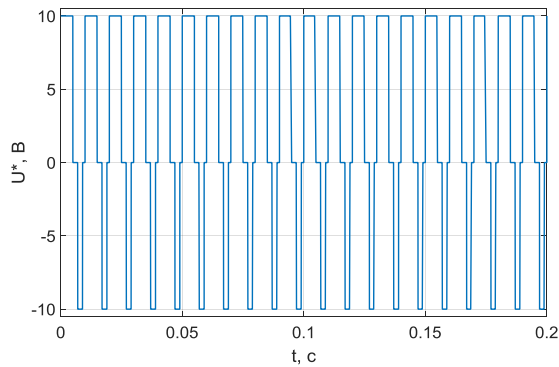
Система рівнянь, що описує перехідні процеси в системі має наступний вигляд:

$$\begin{cases} M - M_c = J \cdot p w; \\ I = \frac{(U - E)}{R_{\text{я}} \cdot (T_{\text{я}} \cdot p + 1)}; \\ U = \frac{(U_{\text{зи}} - U_i \cdot K_{\text{зи}}) \cdot K_{\text{PC}} \cdot K_{\text{PP}}}{T_m \cdot p + 1}; \\ M = I \cdot K_{\text{Ф}}; \\ U_{\text{зи}} = (w^* - w \cdot K_{\text{зв}}) \cdot W_{\text{рег}}(p); \\ E = K_{\text{Ф}} \cdot w, \end{cases}$$

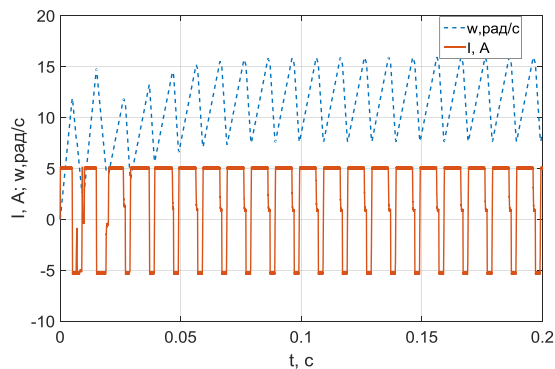
де: w^* , w – задана та швидкість обертання двигуна; $U_{\text{зи}}$ – напруга завдання контуру струму, В; U_i – напруга, що відповідає зворотньому зв'язку по струму, В; $K_{\text{PC}} = \pm 1$, – полярність значення коефіцієнту регулятора струму залежить від величини зони нечутливості (± 0.5 В) та полярності сигналу на його вході; $K_{\text{PP}} = 24$, – коефіцієнт передачі перетворювача; U – вихідна напруга перетворювача, В; E – електрорушійна сила електродвигуна, В; I – струм двигуна, А; $K_{\text{зи}} = 2$, – коефіцієнт зворотного зв'язку за струму; $K_{\text{зв}} = 0.25$ – коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю; $K_{\text{Ф}} = 0.99$ В·с, – конструктивний коефіцієнт електродвигуна; $T_m = 0.0001$ с, – постійна часу

перетворювача; $R_{\text{я}} = 1$ Ом, – активний опір електродвигуна в нагрітому стані; $T_{\text{я}} = 0.0005$ с – постійна часу фази електродвигуна; $J = 0.0021$ кг·м² – сумарний момент інерції, приведений до валу двигуна; M – електромагнітний момент електродвигуна; $M_c = 2.5$ Н·м, – статичний момент на валу електродвигуна; p – оператор Лапласа. У внутрішньому контурі струму системи підпорядкованого регулювання швидкості подачі дроту використовується релейний регулятор (PPC). Обмеження сигналу завдання струму $U_{\text{зи}}$ дозволяє тримати максимальне значення струму двигуна на рівні, що не призводить до його перевантаження та забезпечує бажане значення рушійного моменту. Стандартне налаштування контуру швидкості на симетричний оптимум довели можливість експериментально отримати дозовану подачу електродного дроту з частотою імпульсної подачі у 60 Гц. При цьому підвищується якість зварних з'єднань. Наявність такої тенденції робить актуальним пошук технічних рішень, що направлені на підвищення частоти відпрацювання послідовності імпульсів подачі дроту вище 60 Гц для потрібного діапазону його переміщення з середньою швидкістю подачі до 700 м/год. Результати математичного моделю-

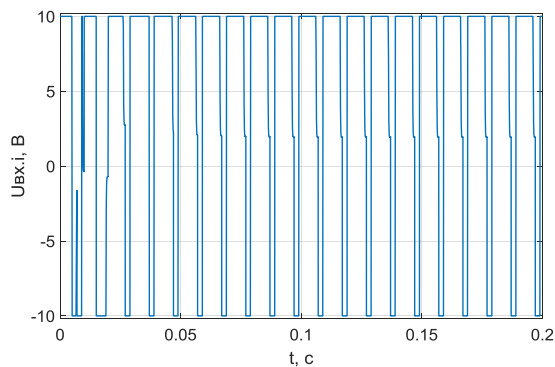
вання перехідних процесів САК з ПІ регулятором у контурі швидкості представлені на рисунку 3.



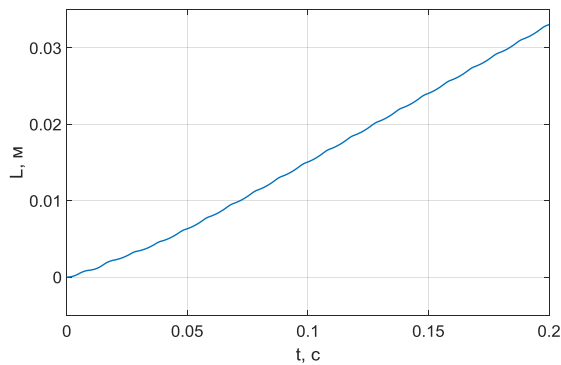
а) – сигнал завдання на вході САК



б) – струм та швидкість обертання двигуна



в) – сигнал завдання контуру струму



г) – лінійне переміщення дроту

Рис. 3. Результати моделювання перехідних процесів САК з ПІ регулятором у контурі швидкості

Моделювання системи виконувалось для двополярного сигналу завдання швидкості зі шпаруватістю імпульсів рівною 2 (позитивної полярності) від початку формування імпульсу та шпаруватістю імпульсів рівною 5 (протилежної полярності) для частоти послідовності прямокутних імпульсів 100 Гц (рис. 3, а). Пауза між сигналами різної полярності складала 0.0005 секунди. Аналіз результатів моделювання системи зі стандартно налаштованим на симетричний оптимум контуром швидкості показав обмежені можливості його використання для підвищення частоти подачі дроту вище 60 Гц. Визначення шляхом моделювання параметрів пропорційно-інтегрального (ПІ) регулятора, що відрізняються від стандартно налаштованих, дозволило підняти частоту відпрацювання імпульсів завдання швидкості до 100 Гц. Формування однополярного сигналу завдання зі шпаруватістю імпульсів рівною 2, порівняно з двополярним сигналом завдання (рис. 3, а), призводить до збільшення середньої швидкості подачі дроту.

Результати моделювання перехідних процесів САК однополярного сигналу зі шпаруватістю імпульсів рівною 2 представлені на рисунку 4.

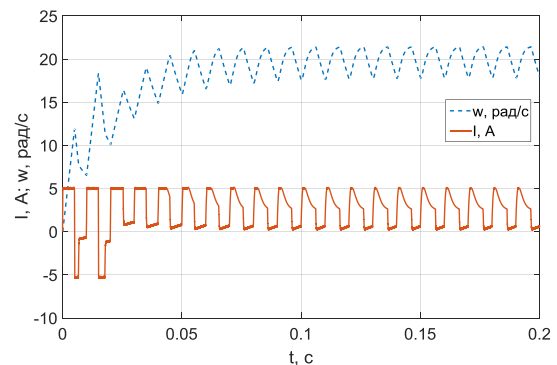


Рис. 4. Результати моделювання перехідних процесів САК однополярного сигналу зі шпаруватістю сигналів рівною 2

При формуванні однополярного сигналу завдання зі шпаруватістю імпульсів рівною 1.42, дозованої подачі електродного дроту не відбувається. Швидкість подачі стає усталеною. Враховуючи велику кількість технологічних параметрів, які впливають на якість процесу зварювання та визначають необхідний режим дозованої подачі дроту, альтернативними методами синтезу ПІ регулятора контуру швидкості можуть бути методи синтезу побудовані на застосуванні нечіткої логіки (НЛ).

4. Розробка математичної моделі системи інтелектуального керування режимом дозованої подачі електродного дроту

Регулювання на базі лінійної теорії не завжди дає задовільний результат. Для використан-

ня більш складних методів керування часто не вистачає інформації про хід технологічного процесу зварювання. Останнім часом інтелектуальне керування стає все більш розповсюдженим засобом для багатьох технічних та промислових застосувань. Застосування методів синтезу [8] теорії НЛ потребує порівняно з традиційними методами синтезу лише мінімальний набір закономірностей. Крім того, реалізовані розробки показують, що оптимізація за допомогою викорис-

тання алгоритмів Fuzzy логіки здійснюється простіше, порівняно з традиційною технікою регулювання. Остання потребує великих об'ємів проектних робіт.

Для реалізації алгоритмів Fuzzy логіки в САК синтез Fuzzy пропорційно-інтегрального (ФПІ) регулятора виконано на основі дискретного ПІ регулятора.

Структурна схема ФПІ регулятора зображена на рисунку 5.

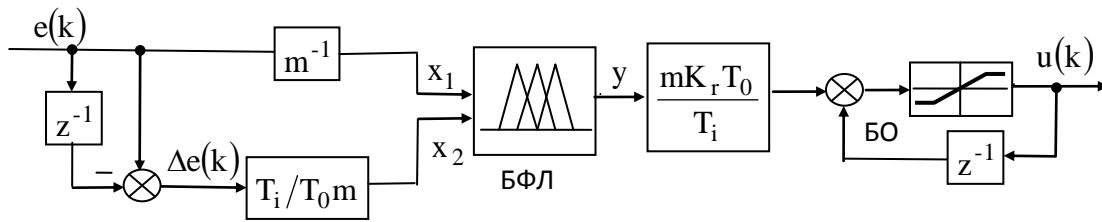


Рис. 5. Структурна схема ФПІ регулятора

На вхід блоку фазі-логіки (БФЛ) подаються змінні x_1 та x_2 , які є пропорційними помилці $e(k)$ (вхідному сигналу ПІ регулятора) та похідній від помилки $\Delta e(k)$ відповідно. З метою спрощення проектування нормування вхідних та вихідної змінної БФЛ в інтервалі $[-1, 1]$ забезпечується за рахунок вибору відповідного значення коефіцієнта нормування m . У цій схемі: z – це аргумент z -перетворення, а БО – блок обмеження сигналу керування; $k=0, 1, 2, \dots$ – номер періоду кванту-

вання; $\Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$; K_r – коефіцієнт передачі; T_i – стала інтегрування; T_0 – такт квантування системи. При цьому БО застосовано таким чином, що унеможливується насичування ПІ регулятора (реалізується обмеження виходу регулятора з антинасиченням інтегратора). На рисунку 6 представлена симетрична функція належності нечіткої змінної, що складається з семи лінгвістичних термів, де:

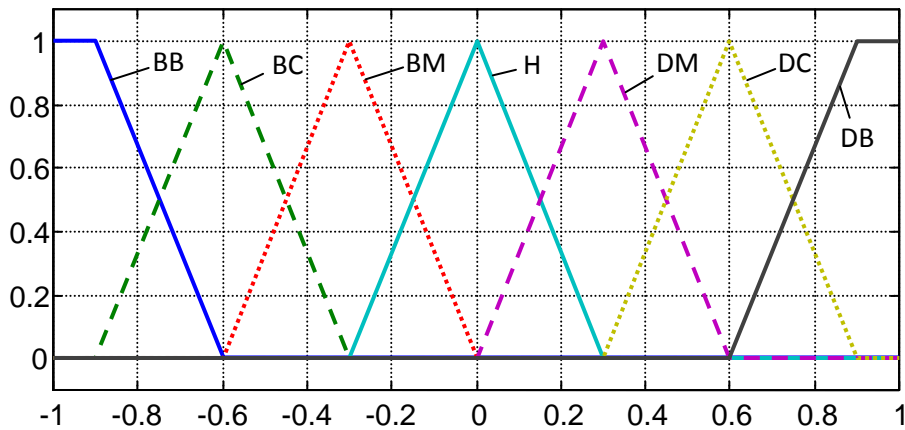


Рис. 6. Симетрична функція належності нечіткої змінної

В (від'ємне велике); **BC** (від'ємне середнє); **BM** (від'ємне мале); **H** (нуль); **DM** (додатне мале); **DC** (додатне середнє); **DB** (додатне велике). Терми **BB** і **DB** мають форму трапеції. Інші терми форму трикутника.

База правил, яка використовувалась при побудові БФЛ для ФПІ регулятора відображена в таблиці 1.

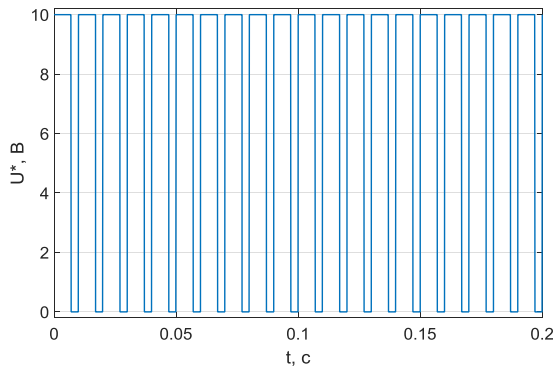
Таблиця 1

		База правил						
		Значення $x_1(k)$						
		BB	BC	BM	H	DM	DC	DB
Значення $x_2(k)$	DB	H	DM	DC	DB	DB	DB	DB
	DC	BM	H	DM	DC	DB	DB	DB
	DM	BC	BM	H	DM	DC	DB	DB

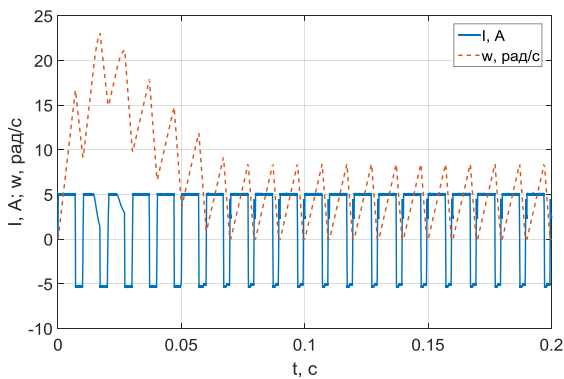
Продовження таблиці 1
База правил

		Значення $x_1(k)$						
		BB	BC	BM	H	DM	DC	DB
Значення $x_2(k)$	H	BB	BC	BM	H	DM	DC	DB
	BM	BB	BB	BC	BM	H	DM	DC
	BC	BB	BB	BB	BC	BM	H	DM
	BB	BB	BB	BB	BB	BC	BM	H

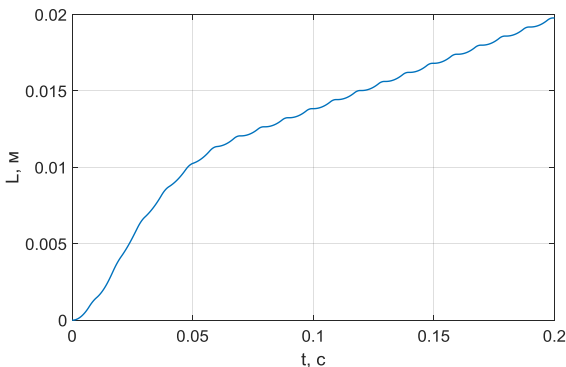
Результати моделювання перехідних процесів САК з ФПІ регулятором у контурі швидкості представлені на рисунку 7.



а) – сигнал завдання на вході САК



б) – струм та швидкість обертання двигуна



в) – лінійне переміщення дроту

Рис. 7. Результати моделювання перехідних процесів САК з ФПІ регулятором у контурі швидкості

Для прийнятих налаштувань сигнал завдання U^* формувався генератором прямокутних ім-

пульсов при шпаруватості сигналів рівним 1.42. Переміщення L електродного дроту при зміні швидкості руху від 0 до 8.35 рад/с за один крок подачі при номінальному навантаженні двигуна $M_H=2.5 \text{ Н}\cdot\text{м}$ склало 0.62 мм.

Для шпаруватості сигналів рівним 2 і зміні навантаження двигуна від 0 до 2.5 $\text{Н}\cdot\text{м}$ швидкість руху двигуна на кожному кроці подачі дроту досягала 12 рад/с. Тривалість паузи після зупинки руху дроту на кожному кроці подачі коливалась в діапазоні від 0.0009 с до 0.00275 с. Крок подачі дроту при навантаженні двигуна рівному 2.5 $\text{Н}\cdot\text{м}$ склав 0.53 мм. При відсутності моменту навантаження на двигуні, пауза після зупинки дроту не відбувалась. Робастність Fuzzy регуляторів проявлялась також при зміні приведенного моменту інерції двигуна.

Висновки

При розробці математичної моделі САК швидкістю подачі електродного дроту в якості приводу механізму імпульсної подачі дроту було обрано безредукторний вентильний двигун постійного струму. У контурі струму розробленої двоконтурної системи автоматичного керування використовувався релейний регулятор. Дослідження математичної моделі системи при налаштуванні контуру швидкості з ФПІ регулятором показало стійку роботу системи в більш широкому діапазоні зміни шпаруватості імпульсів у сигналі завдання, ніж із аналоговим ПІ регулятором. Результати математичного моделювання САК підтвердили можливість забезпечення дозованого імпульсного переміщення дроту з середньою швидкістю подачі в діапазоні від 100 до 700 м/год при частоті повторення імпульсів 100 Гц. Отримані результати визначають актуальність подальших досліджень режимів роботи вентильного електроприводу механізмів імпульсної подачі зварювального дроту для досягнення нових технологічних можливостей механізованого зварювання.

Список використаної літератури

1. Лебедев, В. А. Совершенствование механизированной дуговой сварки и наплавки нержавеющей сталей с импульсной подачей электродной проволоки [Текст] / В. А. Лебедев, И. В. Лендел // ISSN 1993-8322. ВІСНИК Донбаської державної машинобудівної академії. № 2 (38), 2016. с.156–159.
2. Goecke, S. F. Low Energy Arc Joining Process for Materials Sensitive to Heat [Text] // EWM hightec welding GmbH, 2005.
3. Красношарпа, В. В. Энергетические характеристики привода импульсной подачи присадочной проволоки [Текст] / В. В. Красношарпа,

В. Д. Кузнецов, В. И. Матяш // Автоматическая сварка. – 1993. – №12. – С. 49–50.

4. Солодский, С. А. Автоматизированная система управления процессом сварки в CO₂ с импульсной подачей проволоки и модуляцией сварочного тока [Текст] / С. А. Солодский, О. Г. Брунов, А. А. Зеленковский // Сварочное производство. – 2010. – № 12. – С. 26–30.

5. Lebedev, V. A. Automatic submerged-arc welding with pulsed electrode wire feed using a stepping motor. [Text] / V. A. Lebedev, S. V. Dragan, K. K. Trunin. // Welding International - 2017. – Vol. 31. – No 2. – Pp. 145–150. DOI: 10.1080/09507116.2016.1223917.

6. OTC Daihen Inc. Advanced Welding and Robotic Systems. DP-400/DP-500/DM-350/DM-500 Digital Controlled DC Inverter Arc Welding Machines CAT. NO. A446C. 2013.

7. Лебедев, В. А. Быстродействующий вентильный электропривод для оборудования механизированной дуговой сварки [Текст] / В. А. Лебедев, М. В. Гулый // Мехатроника. Автоматизация, Управление. – 2014. – № 6. – С.47–51.

8. Гостев, В. И. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления. [Текст] – К.: «Радиоаматор», 2018.–972 с.

References

1. Lebedev, V. A., Lendel, I. V (2016) Improvement of mechanized arc welding and surfacing of stainless steels with pulsed electrode wire [Sovershenstvovanie mekhanizirovanoi dugovoj svarki i naplavki nerzhavjushchich stalej s impul'snoj podachej elektrodnoj provoloki] ISSN

1993-8322. VISNYK Donbas'koyi derzhavnoyi mashinobudivnoyi akademiji. № 2 (38), Pp.156–159.

2. Goecke, S. F. (2005) Low Energy Arc Joining Process for Materials Sensitive to Heat // EWM hightec welding GmbH.

3. Krasnoshapka, V. V., Kusnezov, V. D. , Matjash, V. I. (1993) Energy characteristics of the drive pulsed filler wire [Energeticheskie harakteristiki privoda podachi impul'snoj podachi prisadochnoj provoloki] Automatic welding. № 12. P. 49–50.

4. Solodskij, S. A., Brunov, O.G., Selenkovskij, A. A (2010) Automated CO₂ process control system with pulsed wire feeding and modulation of welding current [Avtomatisirovannaja sistema upravlenija processom svarki v CO₂ s impul'snoj podachej provoloki i modulaziej svarochnogo toka]. Svarochnoe proizvodstvo. № 12. Pp. 26–30.

5. Lebedev, V. A, Dragan, S. V., Trunin, K. K. (2017) Automatic submerged-arc welding with pulsed electrode wire feed using a stepping motor. Welding International Vol. 31. No 2. Pp. 145–150. DOI: 10.1080/09507116.2016.1223917.

6. OTC Daihen Inc. Advanced Welding and Robotic Systems. DP-400/DP-500/DM-350/DM-500 Digital Controlled DC Inverter Arc Welding Machines CAT. NO. A446C. 2013.

7. Lebedev, V. A., Guly, M. V. (2014) High-speed valve drive for equipment for mechanized arc welding [Bystrodeystvuyushchij ventil'nyj ehlektroprivod dlya oborudovaniya mekhanizirovanoi dugovoj svarki] Mechatronics. Automation, Management. № 6. Pp.47–51.

8. Gostev, V. I. (2018) Fuzzy controls in automatic control systems [Nechotkie reguljatory v sistemah avtomaticheskogo upravlenija]. K. «Radioamator», 972 s.

EFFICIENCY EVALUATION FOR FUZZY REGULATOR USE IN A SPEED ELECTRIC DRIVE FOR FEEDING MECHANISM OF ELECTRODE WIRES IN AUTOMATED WELDING EQUIPMENT

V. O. Lebedev¹, O. M. Khalimovsky²

¹E.O. Paton Electric Welding Institute of National Academy of Sciences of Ukraine

²National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Abstract. Research of the operation modes for the electric drive (actuator) of the mechanisms of impulse feeding of the welding wire to ensure its movement with a given feeding stage is a relevant for further improvement of the welding technology. As is known, the quality of welded joints increases with increasing the impulse frequency of the welding wire. The presence of such a trend makes it advisable to conduct the research in order to determine the possibility of extending the range of regulation for the frequency of metered supply of welding wire. By the combination of electromechanical properties in the conditions of a possible change in the workload range of the motor, the use of brushless DC electric drive in impulse feeding mechanisms is mostly promising. This requirement caused the use of the model of the brushless DC electric motor in the development of a mathematical model of the automatic control system for the speed of the wire feeding. In the current circuit of the developed two-circuit automatic control system, a relay controller was used.

The research of the mathematical model of the system in order to the speed circuit configuration with a Fuzzy proportional-integral regulator has shown the stable operation of the system in a wider range of variation of the duty cycle of the impulses within the given signal than with the analog proportional-integral regulator. By processing of a given unipolar signal, which was formed by a generator of rectangular impulses with the frequency of 100 Hz and impulse duty cycle equal to 0,5 (the ratio of the total period of the signal to the impulse width, i.e. impulse active time, is 2 correspondently), the control system with the Fuzzy regulator provided the movement of the wire with a stop and pause at each step of the feeding. The motor load moment in the experiments varied from zero to nominal. Under similar experimental conditions, the use of the analog regulator did not provide a stop for the wire movement for each given impulse. Additionally, the average speed of its movement on the feeding step has increased in several times. The obtained results of the mathematical modelling of the system determined the relevance of further research on the operation modes of the valve electric drive (valve electric actuator) for impulse feeding of the welding wire to achieve new technological possibilities of mechanized welding.

Keywords: *Welding, Impulse Wire Feeding, Automatic Control System, Brushless DC drive, Fuzzy Regulator.*

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ FUZZY РЕГУЛЯТОРА В БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ МЕХАНИЗМА ПОДАЧИ ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОВОЛОКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СВАРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В.А. Лебедев¹, А. М. Халимовский²

¹*ІЭС імені Е. О. Патона НАН України*

²*Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"*

Аннотация. *Приведены результаты моделирования переходных процессов режимов работы двухконтурной системы подчиненного управления скоростью подачи электродной проволоки при дуговой сварке с использованием FUZZY регулятора в контуре скорости. Система управления обеспечивает дозированное импульсное перемещение проволоки со средней скоростью подачи в диапазоне от 100 до 700 м/час при частоте повторения импульсов 100 Гц.*

Ключевые слова: *сварка, импульсная подача проволоки, система автоматического управления, вентильный электропривод, Fuzzy регулятор.*

Отримано 26.03.2019



Лебедев Володимир Олександрович, доктор технічних наук, професор, головний конструктор «Дослідного конструкторсько-технологічного бюро Інституту електросварювання ім. Є.О. Патона НАН України», 03150, м. Київ, Україна, вул. Боженко, 15, корпус 7, E-mail: vaplato@ukr.net, тел. +38-044-200-45-46

Lebedev Volodymyr, Dr. of Science, Professor, Chief Designer, Sf «Experimental Design-Technological Office of the E.O. Paton Electric Welding Institute of National Academy of Sciences of Ukraine», 15 Bozhenko Str., Bld. 7, 03150, Kiev, Ukraine, E-mail: vaplato@ukr.net, tel. +38-044-200-45-46

ORCID ID: 0000-0002-0006-3576



Халімовський Олексій Модестович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», просп. Перемоги 37, корпус 20, м. Київ, Україна, E-mail: o.khalimovskyy@ukr.net, тел. +38-044-204-83-56

Khalimovskiy Oleksiy, PhD, Associate Professor, Department of Automation of electromechanical systems and the electrical drive, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», 03056, Kyiv, Peremogi Avenue 37, Building 20. E-mail: o.khalimovskyy@ukr.net, , tel. +38-044-204-83-56

ORCID ID: 0000-0003-3672-8530