

Энергоатомиздат, 1985. – С. 200. 3. Журавлев В. Г., Арион В. Д. Применение принципа сокращения схемы для наиболее выгодного размещения источников реактивной мощности // Промышленная энергетика. – 1976. – № 4. – С. 36–39. 4. Сингл М., Титли А. Системы: декомпозиция, оптимизация и управление / Пер. с англ. А.В. Запорожца. – М.: Машиностроение, 1986. – С. 496. 5. Ковалев И.Н. Выбор компенсирующих устройств при проектировании электрических сетей. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – С. 200. 6. Демов О. Д. Планування електроспоживання промислових підприємств та управління ним. – В.: УНІВЕРСУМ, 2001. – С. 104.

УДК 621.791.75

А.М. Жерносков, В.М. Сидорець

Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ З ДРІБНОКРАПЕЛЬНИМ ПЕРЕНОСОМ МЕТАЛУ

© Жерносков А.М., Сидорець В.М., 2009

На основі математичної моделі системи “джерело живлення – дуга з плавким електродом” та визначеної системи диференціальних рівнянь керованих величин процесу знайдено передавальні функції систем та побудовані структурні схеми, що відображають взаємні зв’язки між елементами.

The transfer functions and flowcharts that represent the interconnection among the parts have been developed on base of the mathematical model of “power source – consumable electrode arc” system and its differential equations.

Розробка нових технологічних електротехнічних пристроїв, установок та їхнє широке застосування в різних галузях промисловості вимагає чіткого розуміння перебігу фізичних явищ і їх взаємодії з процесами управління, регулювання та автоматизації. Зварювання металу охоплює значну кількість фізичних процесів. В останні роки розвивається зварювання плавким електродним дротом у сумішах захисних газів, особливо імпульсно-дугове зварювання, з застосуванням новітніх джерел живлення дуги, що містять зворотні зв’язки [1]. Оскільки процес зварювання має багато параметрів регулювання, то математичне моделювання таких систем є достатньо актуальним та перспективним.

При дуговому зварюванні об’єктами математичного моделювання, як правило, є зварювальна ванна та процеси плавлення і переносу металу електрода [2–4]. Так в роботі [2] автори аналізують застосування математичних моделей та розглядають тривимірну нестационарну теплову модель зварювання в активних газах. Ця модель може використовуватись для різних процесів дугового зварювання, наприклад, багатопрохідного зварювання та зварювання кутових швів з поперечними коливаннями пальника. За допомогою цієї моделі можливо прогнозування профілю шва. Деякі дослідники [3] розглядають підходи до зниження зовнішніх збурень по швидкості плавлення електрода під час роботизованого дугового зварювання на основі принципу інваріантності та синтезу структури компенсаційного контуру. Вивчаються також фізико-математичні моделі каплепереносу металу електродного дроту при дуговому зварюванні з короткими замиканнями дугового проміжку [4]. Однак розробляючи сучасне електрозварювальне устаткування, необхідно знати взаємодію між собою таких об’єктів, як джерело живлення, процеси в дузі, механізми подачі зварювального дроту, система керування. Крім того, при застосуванні зворотних зв’язків, необхідно визначення стійкості систем.

Мета роботи – дослідження взаємодії між параметрами процесу дугового зварювання плавким електродом з дрібнокрапельним переносом металу.

Диференціальні рівняння, які описують систему “джерело живлення – дуга з плавким електродом” мають вигляд [5]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dl}{dt} &= \frac{SU_A i + r(l_w - l)i^2}{gS^2 q} - v \\ \frac{di}{dt} &= \frac{1}{L} \left(U_{xx} - R_s i - r \frac{l_w - l}{S} i - El \right) \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

де l – довжина дуги; t – час; S – площа поперечного перерізу електродного дроту; U_A – прианодний спад напруги з урахуванням потенціалу виходу; i – зварювальний струм; ρ та γ – питомий електричний опір та густина металу електрода; $q = c(T_{melt} - T_0) + \lambda$ – параметр, що визначає теплофізичні властивості металу електродного дроту; c , λ , T_{melt} – питома теплоємність, питома теплота плавлення та температура плавлення металу електрода; T_0 – температура нагрівання металу електрода; L – індуктивність джерела живлення та кабелів; U_{xx} – напруга джерела живлення за винятком суми приелектродних спадів напруги; R_s – активний опір джерела живлення та кабелів; E – напруженість електричного поля в стовпі дуги.

Ці рівняння були одержані за допущень, що етапи нагрівання вильоту електрода і його плавлення достатньо відособлені один від одного так, що кінцеві умови нагрівання є початковими умовами для плавлення; довжина зони плавлення мала порівняно з довжиною вильоту електродного дроту, а також дрібнокрапельного переносу металу, що відбувається при імпульсно-дуговому зварюванні.

Для того, щоб застосувати модель (1) під час розв’язань задач автоматичного керування, розіб’ємо змінні, що входять у ці рівняння, на основні змінні, змінні керування і змінні збурень. Тоді, зробивши перетворення Лапласа, запишемо перше рівняння для приростів довжини дуги, а друге для приростів струму:

$$dl = W_{il}(p) \cdot di + W_{vl}(p) \cdot dv + W_{l_w l}(p) \cdot dl_w; \quad (2)$$

$$di = W_{li}(p) \cdot dl + W_{U_{xx} i}(p) \cdot dU_{xx} + W_{l_w i}(p) \cdot dl_w. \quad (3)$$

У наведених формулах передавальні функції ланок мають вигляд

$$W(p) = \frac{k}{tp + 1}; \quad (4)$$

передавальних функцій аперіодичних ланок першого порядку, а коефіцієнти підсилення k та постійні часу τ наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Передавальні функції ланок

Передавальна функція	Вхід	Вихід	Коефіцієнт підсилення k	Постійна часу τ
$W_{il}(p) = \frac{dl}{di}$	струм дуги	довжина дуги	$k_{il} = \frac{SU_A + 2rI_0(l_w - l_0)}{rI_0^2}$	$t_{il} = \frac{gS^2 q}{rI_0^2}$
$W_{vl}(p) = \frac{dl}{dv}$	швидкість подачі дроту	довжина дуги	$k_{vl} = -\frac{gS^2 q}{rI_0^2}$	$t_{vl} = \frac{gS^2 q}{rI_0^2}$
$W_{l_w l}(p) = \frac{dl}{dl_w}$	відстань між мундштуком і виробом	довжина дуги	$k_{l_w l} = 1$	$t_{l_w l} = \frac{gS^2 q}{rI_0^2}$
$W_{li}(p) = \frac{di}{dl}$	довжина дуги	струм дуги	$k_{li} = -\frac{SE - rI_0}{R_s S + r(l_w - l_0)}$	$t_{li} = \frac{SL}{R_s S + r(l_w - l_0)}$
$W_{U_{xx} i}(p) = \frac{di}{dU_{xx}}$	напруга холостого ходу	струм дуги	$k_{U_{xx} i} = \frac{S}{R_s S + r(l_w - l_0)}$	$t_{U_{xx} i} = \frac{SL}{R_s S + r(l_w - l_0)}$
$W_{l_w i}(p) = \frac{di}{dl_w}$	відстань між мундштуком і виробом	струм дуги	$k_{l_w i} = -\frac{rI_0}{R_s S + r(l_w - l_0)}$	$t_{l_w i} = \frac{SL}{R_s S + r(l_w - l_0)}$

За допомогою отриманих передавальних функцій була побудована структурна схема “джерело живлення – зварювальна дуга з плавким електродом” (див. рис. 1).

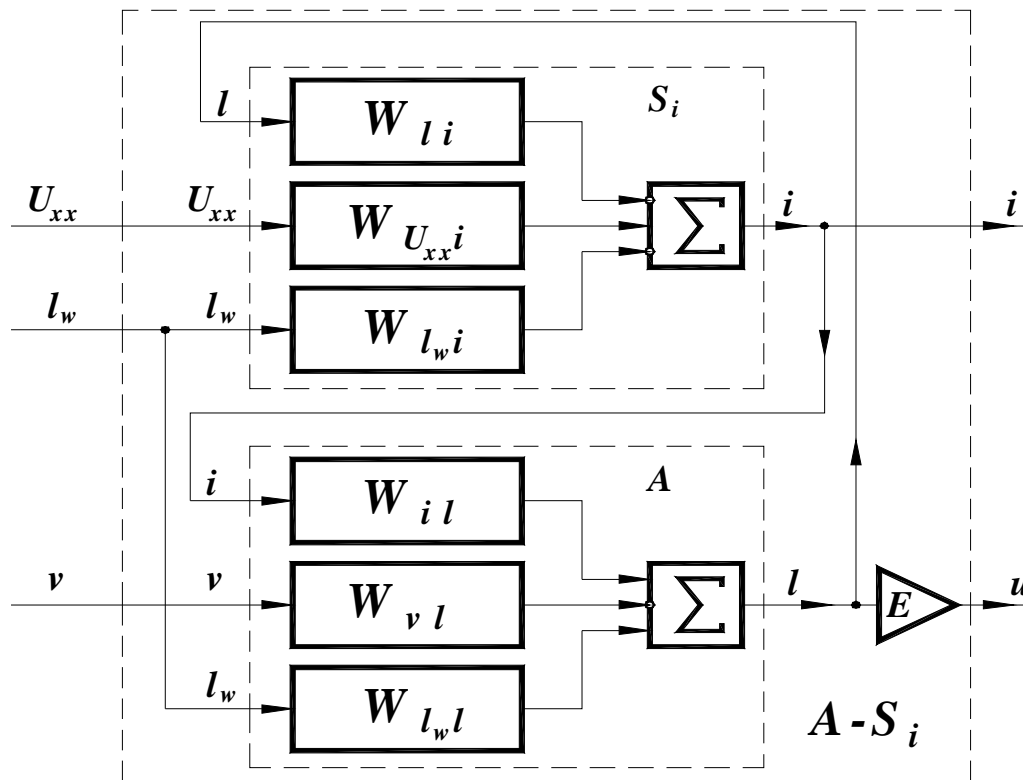


Рис. 1. Структурна схема “джерело живлення – зварювальна дуга з плавким електродом”

Для процесів дугового зварювання плавким електродом важливою є стабілізація зварювального струму та напруги на дузі (довжини дуги), які визначають параметри швів та механічні властивості зварних з’єднань. Фізичні процеси, що відбуваються в об’єкті з декількома керованими параметрами, зв’язані між собою. Тому особливістю систем автоматичного управління з декількома керованими величинами та зворотними зв’язками є їх взаємний вплив контурів (каналів) управління.

Дослідимо імпульсно-дугове зварювання, устаткування для якого і взаємодія між ним показані на рис. 2.

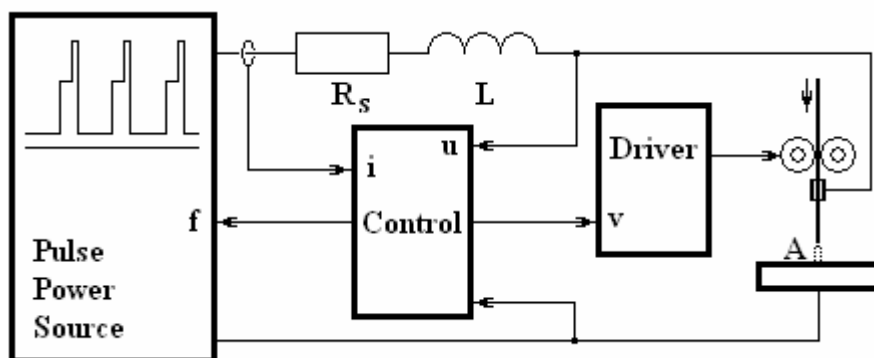


Рис. 2. Устаткування для імпульсно-дугового зварювання

Розроблена структурна схема “джерело живлення – зварювальна дуга з плавким електродом” входить складовою частиною в загальну структуру, що бере до уваги всі інші складові: імпульсне джерело живлення, привід подачі електродного дроту та зворотні зв’язки (див. рис. 3).

Висновки. 1. Математичне моделювання є необхідним елементом досліджень під час розроблення нового устаткування для прогресивних дугових процесів зварювання.
2. Розроблена авторами математична модель дозволяє одержати передавальні функції та матричні передавальні функції для вивчення стійкості систем, які містять зворотні зв'язки.

1. Дилтай У. Сварка и соединение – ключевые технологии третьего тысячелетия // Автоматическая сварка. – 2008. – № 11. – С. 101–107. 2. Математическая модель процесса сварки МАГ / Т. Оджи, Ф. Миясака, Т. Ямамото, И. Тсуджи // Автоматическая сварка. – 2006. – № 3. – С. 14–18. 3. Цыбулькин Г.А. Стабилизация скорости плавления электрода при роботизированной дуговой сварке // Автоматическая сварка. – 2008. – № 12. – С. 13–16. 4. Гецкин О.Б., Ерофеев В.А., Полосков С.И. Моделирование процесса переноса электродного металла при сварке с короткими замыканиями // Автоматическая сварка. – 2009. – № 2. – С. 16–21. 5. Сидорец В.Н., Жерносеков А.М. Численное моделирование системы источник питания – дуга с плавящимся электродом // Автоматическая сварка. – 2004. – № 12. – С. 10–16. 6. Жерносеков А.М. Влияние колебания напряжения сети на процесс импульсно-дуговой сварки // Автоматическая сварка. – 2008. – № 2. – С. 48–49.

УДК 621.313

І.П. Заболотний, Д.О. Мішляков, Л.М. Шаповалов
ДВНЗ “Донецький національний технічний університет”

АНАЛІЗ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ В ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВІ WEB-ТЕХНОЛОГІЙ

© Заболотний І.П., Мішляков Д.О., Шаповалов Л.М., 2009

Подано дослідження використання web-технології для створення підсистеми аналізу аварійних ситуацій в електроенергетичних системах (ЕЕС) за даними цифрових реєстраторів та пристроїв телемеханіки. Підсистема аналізу є фрагментом системи підтримки процесу прийняття рішень персоналом ЕЕС.

There are research of the use web-technology is given for creation subsystem of analysis emergencies situations in the electroenergy systems (ES) from data of digital recorders. A subsystem of analysis is the fragment of the system of support decision-making process by the personnel of ES.

Постановка проблеми. Одним з напрямів удосконалення систем керування ЕЕС є побудова систем підтримки прийняття рішень персоналом електроенергетичних об'єктів, якісно новий рівень яких залежить від розв'язання задачі аналізу аварійних ситуацій.

У системах керування електроенергетичними об'єктами можна виділити два напрями в автоматизації аналізу аварійних ситуацій:

- під'єднання цифрових реєстраторів до загальної системи збору інформації, що реалізується на підставі Scada-систем з подальшим веденням журналів аварійних ситуацій;
- створення програмно-апаратних комплексів реєстрації і аналізу аварійних ситуацій на основі обчислювальних мереж.

Необхідність поєднання даних від різних реєстраторів, інших пристроїв, в яких є інформаційні блоки для фіксації аварій, обробки значних обсягів інформації і її синхронізації істотно ускладнює задачу аналізу аварійної ситуації, що призводить до спрощень в існуючих методах аналізу. Варто відзначити, що інформація про особливості перебігу аварії, реакції на збурення пристроїв керування, захисту та про стан електроенергетичного об'єкта необхідна персоналу різних служб і різного рівня керування.