

Шляхи та засоби вдосконалення установок електродугового зварювання

Розглянуто шляхи і засоби вдосконалення установок дугового зварювання та їх функціонування за рахунок моделювання процесів, використання мікропроцесорів і т.п.

Рассмотрены пути и средства совершенствования установок дуговой сварки и их функционирования за счет моделирования процессов, использования микропроцессоров и т.п.

Дугове зварювання металів — це яскравий приклад широкого застосування електроенергії для технологічних цілей. В той же час це така галузь, де як ніде актуальна проблематика енерго- та матеріалозбереження. Тому цілком природною є спрямованість на застосування або вдосконалення пристроїв перетворювальної техніки (які, як правило, складають основу джерела струму дуги, і супутніх компонентів установок) з метою формування бажаних для технологічного процесу зварювання масогабаритних показників, технологічності виготовлення, вартості тощо.

Разом із тим на цей час достатнього розвитку та поширення досягли засоби моделювання і керування, пов'язані із використанням персональних комп'ютерів [1,4]. Тому природною є спрямованість на застосування досягнень у цій області для вдосконалення зварювальних установок вже на нових рівнях та якості реалізації. В першу чергу необхідно мати на увазі сучасні програмні пакети візуального імітаційного моделювання та автоматизованого проектування електротехнічних та електронних систем. Є досить великий вибір систем моделювання, проте на етапі розробки принципів функціонування системи раціонально застосовувати програмний пакет MATLAB із пакетом візуального моделювання Simulink та розділом силових електроніки SimPowerSystems.

Крім того з цим пов'язано і широке застосування електронних систем управління із використанням мікроконтролерів та логічних схем, що можуть перепрограмовуватися. При цьому, перевага, як правило, надається таким компонентам, які б могли забезпечувати внутрішньосистемне програмування, тобто для них власне програмування та корекцію програми роботи мікроконтролера можливо було б виконувати в уже повністю зібраному блоці. Мікроконтролери зараз ввійшли в цінову категорію звичайних цифрових логічних мікросхем, але при незрівнянно більших функціональних можливостях, адже вони фактично є мікрокомп'ютерами із власними процесором, оперативною, по-

стійною та програмною пам'яттю, а також вбудованими в конфігурацію типовими елементами звичайних схем — аналого-цифровими перетворювачами, компараторами, таймерами і т.п. Завдяки такій широті охоплення типових операцій, характерних також і для традиційної схемотехніки систем управління, та доповнення їх гнучкими можливостями програмних вузлів використання мікроконтролерів дозволяє суттєво поліпшити функціональність електротехнологічних установок. Причому, часто це реалізується без суттєвого апаратного ускладнення силових частини установки. Звичайно, що при цьому значна частина зусиль на етапі розробки перекладається на реалізацію та відладку її відповідних програм, проте це сторицею окупається на етапі серійного виробництва, особливо, коли необхідно дещо підкоригувати алгоритм роботи або вихідні параметри чи характеристики під наявні для використання вузли та деталі. Разом із тим, необхідно відзначити, що повноцінне використання такої сучасної елементної бази неможливо без найширшого професійного застосування персональних комп'ютерів та відповідного програмного забезпечення.

Досить великі можливості, які надаються при повному використанні ресурсів мікропроцесорів, закладаються в їх структурі, тобто досить складній схемотехніці, а це часто викликає суб'єктивну недовіру до їхньої надійності. Проте, із практики застосування нами уже давно зроблено висновки, що в плані електричної надійності такого роду компоненти залишають далеко позаду компоненти звичайної цифрової логіки. При цьому, траплялося, що внаслідок помилок монтажу, струмового перевантаження, подачі підвищеної напруги тощо виходили з ладу вихідні порти мікроконтролера, але внутрішня структура залишалася неушкодженою і цілком функціональною. Проте є, і в найближчому майбутньому залишаться питання якості доступного програмного забезпечення, яке на даний час не дозволяє в повній мірі використати можливості і ресурси мікроконтролерів.

Але все ж таки розробка програм і в середовищі безкоштовних програмних продуктів, наприклад, при застосуванні продукції "Atmel" — AVR-Studio, та візуального емулятора мікроконтролера Visual Mikro Lab (VMLAB) дає досить пристойні результати.

Наочним прикладом ефективного застосування моделювання процесів є дослідження форми та характеру поведінки вольтамперних характеристик (ВАХ) джерела струму установок електродугового зварювання, оскільки вони фактично визначають технологічний режим роботи. Одержання ВАХ реальної установки настільки трудомістке, що це на сучасному етапі розвитку машинного моделювання уже нічим не виправдано. Методологія моделювання та дослідження поведінки такого роду систем уже висвітлювалася [2,7—9]. Розглядалося, яким чином одержати вольтамперні характеристики джерела струму при їх максимальній наповненості та за рахунок якої комбінації зворотних зв'язків системи витримати режим стабілізації струму, тобто одержати так звані "штикові" характеристики. Як силовий регулюючий вузол було використано випрямляч, виконаний по схемі Ларіонова, робота якого задавалася шестипульсним блоком керування (Synchronized 6-Pulse Generator), на вході (α_{deg}) якого задавалося значення управляючого параметра — кута управління α в електричних градусах. Одержання ВАХ полягає у одночасному застосуванні файлу моделі та так званого управляючого m -файлу, який задає значення навантаження, запускає процес моделювання, зчитує його результат, змінює величину навантаження і повторює знову ту ж процедуру. А по закінченню циклу моделювання по одержаних даних він буде власне ВАХ в заданих координатах. Таким чином застосування командного вікна MATLAB, пристосованого до математичних задач, в комбінації із пакетом візуального моделювання Simulink дає суттєву перевагу в порівнянні з іншими програмними пакетами, що сповідують більш закриту структуру свого функціонування. На основі цих досліджень були спроектовані системи управління для універсальних зварювальних випрямлячів ВДУ-250 та ВДУ-350, що знаходяться у виробництві на НВП "Плазма", м. Ростов-на-Дону.

Досить очевидно, що одночасно врахувати вплив на ВАХ нелінійності регулювальної характеристики випрямляча, що пов'язана із фазовим регулюванням синусоїдальної напруги, статичності системи регулювання, змінності параметрів передаточної функції випрямляча по управлінню і т.п. аналітичними методами практично неможливо. Тому, на основі тієї ж розробленої методології була вирішена задача корекції поведінки ВАХ на краях діапазону струму дуги [5,9], де вплив згаданих параметрів найбільш суттєвий, та показано способи формування спеціальних форм ВАХ для технологій із крапельно-дуговим характером зварювання.

Після установок з режимом ручного зварювання (ММА) друге місце по поширенню і застосуванню займають пристрої дугового зварювання в середовищі інертних (MIG) або активних (MAG) газів. Через більш складне їх функціонування в них не тільки оправдано використання нової елементної бази, в тому числі і мікропрограмних компонентів, а і необхідно, оскільки вони можуть забезпечити вищий рівень якості праці.

Процес зварювання, з точки зору функціонування установки, має три характерні стадії: початкова стадія — ініціалізація (запалювання чи збудження) зварювальної дуги, друга стадія — стаціонарний (усталений) процес горіння дуги і кінцева — закінчення процесу зварювання. На кожному із цих етапів зварювальна установка повинна забезпечувати і відповідні умови праці, і можливості одержання необхідних технологічних параметрів якості з'єднання при ефективному використанні матеріалу електроду та електроенергії.

Наприклад, на першому етапі — запалювання дуги — необхідно забезпечити попередню подачу через електромагнітний клапан захисного газу (так звана "продувка"), включення джерела струму дуги, а також плавне наростання швидкості подачі електроду в зону шва аж до виходу на стаціонарний режим. Якщо основу джерела струму складає знижувальний трансформатор, що працює на частоті струму мережі живлення і вторинна обмотка якого навантажена на випрямляч, то існує два варіанти включення джерела струму. Один з них — це введення у склад випрямляча тиристорів і при цьому комутація відбувається за рахунок подачі напруги на їх управляючі електроди. Така реалізація має дві суттєві вади — це порівняно висока кошторисна вартість відносно потужних тиристорів та значна кількість теплоти, що виділяється на них. По іншому варіанту використовують звичайний магнітний пускач, контакти якого комутують первинну обмотку трансформатора, струм якої в декілька разів менший за струм дуги, проте при цьому завжди буде наявним характерний сплеск струму намагнічування трансформатора (5...7-кратний у порівнянні із номінальним) в момент його включення. Разом з тим, відмова від електромагнітного комутатора і використання замість нього пари зустрічно-паралельно включених тиристорів, або одного триака може бути ефективно не тільки в технічному, а й у ціновому плані. Адже підключення до мережі однофазного трансформатора при нульовому залишковому магнітному потоці його осердя в амплітуді синусоїдальної напруги живлення завжди буде проходити без перехідного режиму. Тобто необхідна синхронізація моменту комутації трансформатора джерела струму дуги із серединою півперіоду напруги. В такому випадку для установок, в яких зварювання проводиться із застосуванням CO_2 та електродів 0,5... 2,0 мм (пристроїв найбільш масового поширення і використання), вже можливе використання як силових комутаційних при-

строїв триаків і тиристорів відповідно на 40 А, 50 А (ВТА40, ВТW67 — "STMicroelectronics") дешевої вартісної групи. Цей наочний приклад перегляду традиційних принципів комутації в силових вузлах знаходить практичне і вигідне з економічної точки зору застосування, адже всі автономні установки напівавтоматичного зварювання серії ПДГУ-125... ПДГУ-150 (НВП "Плазма") виконуються саме із таким комутатором.

Іншим найбільш складним і відповідальним вузлом є механізм подачі електроду. Переважно — це електропривод постійного струму (напруга — 12...36 В), як правило, із черв'ячним редуктором потужністю 20...120 Вт, що повинен забезпечувати регульовану швидкість подачі електроду 0...16 м/хв та динамічне гальмування. Установка належної швидкості подачі досягається регулюванням напруги живлення двигуна електроприводу, наприклад, за допомогою MOSFET — транзистора із широтно-імпульсним регулюванням (ШІР). При цьому необхідна також і організація пускового режиму роботи приводу, її призначення — не допускати екстремальних кидків пускового струму, що дає можливість вибору транзисторів меншого класу по номінальному значенню їх струму. Крім того, плавне наростання швидкості подачі електроду в момент ініціалізації робочого режиму також сприяє швидшому і надійнішому запаленню дуги [3,6].

Для стаціонарного режиму дуги орієнтація на стабілізацію швидкості подачі електроду не завжди є виправданою. Адже при крапельно-дуговому переносі матеріалу електроду в зону шва процес зварювання проходить частими короткими замиканнями дугового проміжку. Відповідно для цих моментів є характерним і збільшення величини струму. При цьому за рахунок інтенсифікації виділення тепла буде відбуватися руйнування перемички між краплею та власне електродом і відновлення дугового проміжку. Незмінна швидкість подачі сприяє утворенню достатньо великих крапель металу, для яких буде більшим і час руйнування перемички. Це буде сприяти наростанню струму і подальшому вибухоподібному виносу металу за межі шва. Проте, зменшення швидкості подачі під час замикання дугового проміжку сприятиме відриву краплі і технологічності процесу в цілому. Найпростіше це реалізується за рахунок живлення електродвигуна подачі електроду безпосередньо від силової вторинної обмотки трансформатора джерела струму дуги. Але оскільки її напруга при холостому ході, в залежності від вибору необхідного при зварюванні струму, може суттєво відрізнитися, то, знову ж таки, необхідно задіяти відповідні елементи компенсації. При цьому раціональним є використання аналого-цифрового перетворювача (АЦП) мікроконтролера та його інших штатних апаратних ресурсів (таймерів) для подальшого ШІР напруги живлення двигуна подачі. Для відносно дешевих установок живлення електромагнітного клапана відсічки (подачі) захисного газу також організовується від вто-

ринної обмотки трансформатора. При цьому окрім компенсації зміни напруги на обмотці шляхом ШІР також можливо провести вибір номінальної напруги обмотки клапана.

Коли в такого роду установках реалізується можливість режиму ручного дугового зварювання (ММА), то на контролер можна додатково покласти забезпечення захисту силової частини установки при тривалому короткому замиканні (КЗ) кола електроду. При цьому можливе регулювання часу селекції короткого замикання, при перевищенні якого установка буде відключена від мережі живлення, часової паузи до моменту наступного включення і т.п. Також безпроблемним є забезпечення належною сигналізацією появи аварійних (КЗ, перегрів обмоток) та відповідних робочих режимів при мінімальній кількості елементів індикації.

Галузь діяльності, пов'язана із зварюванням, досить широка і різноманітна. Знаходять застосування різного роду обмежувачі холостого ходу зварювальних установок, стабілізатори горіння дуги, осцилятори, призначення яких — безконтактне запалення дуги, і т. п., тому є обширне поле для переосмислення процесу проектування як в плані схемотехніки так і реалізації конструкції окремих вузлів та блоків. Проте і згаданого переліку задач досить, щоб впевнитися у раціональності застосування мікроконтролерів, адже у вартісному відношенні ціна найбільш поширеного восьмирозрядного контролера АТМega48, що є прийнятним за своїми ресурсами у більшості випадків, не перевищує 5,0 грн., а його ресурсів, в більшості випадків, достатньо.

Звичайно, конструктивне виконання управлінської частини зварювальних установок — окреме питання. Проте, як правило, перевага повинна надаватися застосуванню малогабаритних компонентів із выводами планарного типу (SMD), установка яких виконується способом поверхневого монтажу. Якщо відношення кількостей SMD-компонентів до числа компонентів із звичайними штирьовими выводами складає (4...5):1, то вигода буде суттєва. При цьому розміри блоку будуть невеликі, а це дає можливість мінімізації впливу різного роду завад як подовжного типу (ємнісного походження), так і поперечного (індуктивного походження). Установка SMD-компонентів піддається автоматизації монтажу, при цьому виключається людський фактор, чим мінімізується можливість помилок, проте найбільш переконливим є його в 4—5 разів менша вартість. В підсумку, суттєво зменшуються витрати праці на подальші перевірку на працездатність та пошук помилок монтажу.

Таким чином, можна констатувати, що застосування комп'ютерних технологій дає суттєву віддачу: не тільки поліпшується якість кінцевого продукту, а й зменшується проміжок часу між задумом і реалізацією при тому, що кількість задіяного персоналу суттєво менша. Як перші, так і серійні зразки згаданих установок неодноразово демонструва-

лися на різних виставках, в тому числі і на відомій регулярній світовій виставці зварювального обладнання у м.Ессен, ФРН, а про їхню ефективність свідчить і наростаюча потреба в нашій роботі в цьому напрямку.

1. Липківський К.О., Халіков В.А., Можаровський А.Г. Сучасні апаратні та програмні засоби і продукти в практиці моделювання та автоматизованого проєктування систем перетворення напруги. // Праці Інституту електродинаміки НАНУ. — 2002. — № 3(3). — С. 32—38.

2. Липківський К.О., Халіков В.А., Можаровський А.Г. Фазове регулювання напруги ключами із природною комутацією та її дослідження в системі MATLAB. // Техн. електродинаміка. Тем. вип. "Проблеми сучасної електротехніки". — 2002. — Ч. 2. — С. 72—79.

3. Морозкин И.С. Управление зажиганием сварочной дуги при механизированных видах сварки. — Ростов-на-Дону, Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2003. — 174 с.

4. Халіков В.А. Ефективні установки дугового зварювання та їх розробка за допомогою сучасних програмних пакетів. //

Праці Інституту електродинаміки НАНУ. — 2005. — № 2(11). — С. 39—40.

5. Халіков В.А. Ефективне формування та корекція вольтамперних характеристик установок дугового зварювання // Праці Інституту електродинаміки НАНУ. — 2006. — № 2.(14). — С. 172—173.

6. Халіков В.А. Ефективне управління установками дугового зварювання. // Праці Інституту електродинаміки НАНУ. — № 1(16). — 2007. — Ч.2. — С. 48—49.

7. Халіков В.А., Липковський К.А., Паханьян В.М., Шатан А.Ф. Исследование энергоэффективности источников сварочной дуги современными программными пакетами моделирования // Техн. електродинаміка. — 2004. — №3. — С. 17—22.

8. Халіков В.А., Можаровський А.Г. Методологія застосування програмного пакета MATLAB при моделюванні та дослідженні електромагнітних процесів у трансформаторно-ключових виконавчих структурах. Навчальний посібник. — Київ: ІЕД НАНУ, 2001. — 45 с.

9. Халіков В.А., Паханьян В.М., Шатан О.Ф. Імітаційне моделювання та корекція вольтамперних характеристик джерел струму зварювальної дуги // Техн. електродинаміка. — 2006. — №3. — С. 18—25.

Надійшла 31.07.2008