

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ПИТОМОГО ОПОРУ РОБОЧОЇ РІДИНИ В ЕЛЕКТРОРОЗРЯДНИХ УСТАНОВКАХ

Діордійчук В.В., Вінниченко Д.В.

*Інститут автоматики і електротехніки Національного університета кораблебудування імені адмірала Макарова, Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України
Богуславський Л.З., Назарова Н.С.*

*Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України
redlineone@rambler.ru, vdvvvs@inbox.ru*

Established the relation of control accuracy by electric pulse transformation of energy from specific resistance of working liquid. On the basis of that designed the device of an automatic control of specific resistance of a liquid with a capability of integration in a system of automatic control of the electrodischarge installations.

Ефективність електрогідроімпульсного процесу перетворення енергії в установках з іскровим розрядом залежить від багатьох вхідних факторів (напруга на батареї конденсаторів, параметри розрядного контуру, величина розрядного проміжку, питомий електричний опір рідини), які є координатами багатомірного вектора входу [1]. Раніше питомий електричний опір рідини розглядався як параметр, що повільно змінюється, і в математичну модель автоматичного керування режимом розряду входив як коефіцієнт, заданий початковими умовами. Це знижує ефективність системи керування у процесі обробки залежно від тривалості процесу обробки. Тому виникла задача автоматичного контролю питомого опору робочої рідини і розробки відповідного пристрою для інтеграції його в інформаційну систему автоматичного керування режимом електрогідроімпульсного процесу перетворення енергії в установках з іскровим розрядом.

Для досягнення поставленої мети необхідно побудувати і дослідити математичну модель залежності точності керування від питомого опору робочої рідини, сформулювати вимоги до пристрою автоматизованого контролю для роботи в умовах значних електродинамічних навантажень, розробити схемотехнічні рішення інтеграції пристрою в інформаційну систему автоматичного керування режимом електрогідроімпульсного процесу перетворення енергії в установках з іскровим розрядом.

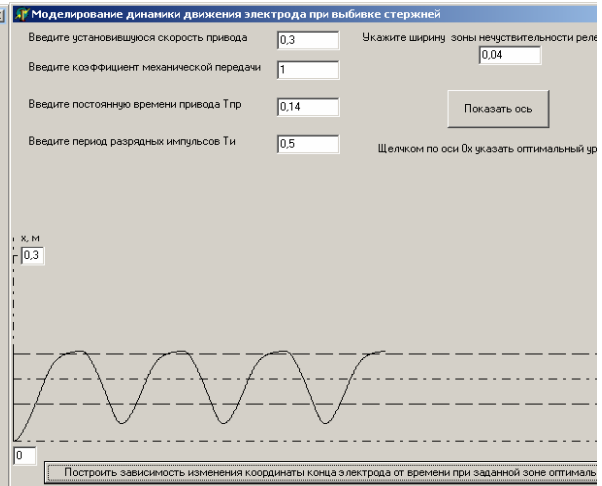
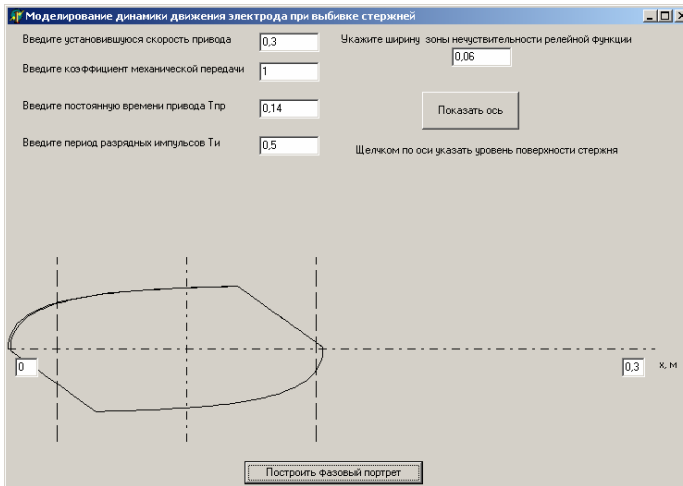
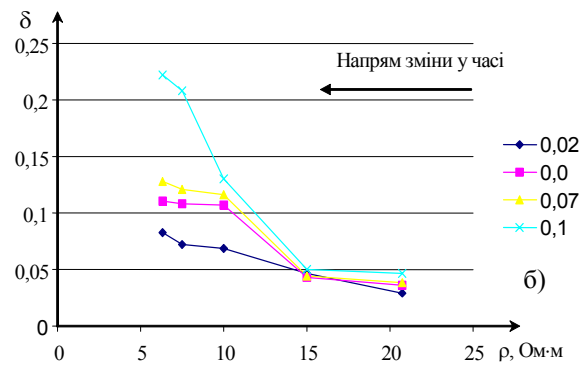
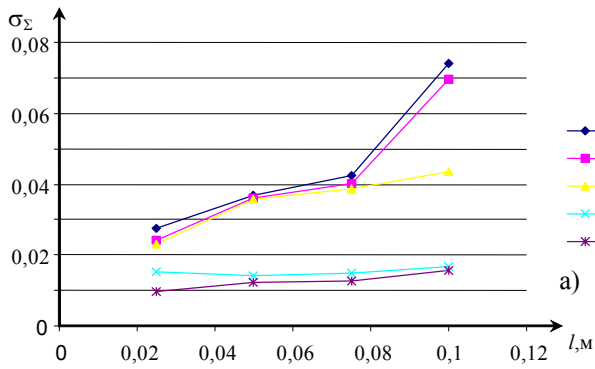
Аналіз проблеми. Причиною зниження ефективності керування є та обставина, що питомий опір рідини в процесі роботи електроімпульсної установки зменшується в результаті забруднення рідини формуючою сумішшю та продуктами розряду. Основою побудови математичної моделі залежності точності керування від питомого опору робочої рідини є результати факторного експерименту [1]. За результатами експерименту побудовано емпіричні залежності середньоквадратичного відхилення основної інформаційної координати Σ електрогідроімпульсного процесу перетворення енергії в установках з іскровим розрядом від міжелектродного проміжку l для різних значень питомого опору ρ (рис.1 а). Вибір у якості інформаційної координати Σ зумовлено її найбільшою інформативністю, що визначається кількістю інформації за виразом [2]

$$q_{\Sigma} = \log \frac{M_{\Sigma}}{\sigma_{\Sigma} \sqrt{2\pi e}}$$

При зміні σ_{Σ} , змінюється точність визначення інформаційної координати, що потрібно враховувати в системі, і що технічно реалізується вибором достовірного інтервалу δ для задання зони нечутливості трипозиційного релейного регулятора. При невірному заданні інтервала нечутливості знижується точність системи автоматичного керування і енергоефективність установки. Залежність інтервалу нечутливості регулятора наведено на рис.1 б для різних значень оптимального міжелектродного проміжку l . Наприклад при заниженні величини інтервалу δ буде мати місце перерегулювання, як показано на рис.1 в,г, де наведено результати моделювання поведінки системи у залежності від параметру δ . на рисунку (1,в - показаний фазовий портрет руху електроду, 1,г - перехідний процес).

Точність оцінки стану системи за максимальною амплітудою розрядного струму суттєво зменшується за рахунок збільшення дисперсії даної величини при зменшенні питомого опору рідини, і як наслідок, низька точність і надійність регулювання та, навіть, неможливість регулювання при певному граничному значенні питомого опору рідини.

Введення в систему нової операції з коригування заданого допустимого відхилення вихідної величини забезпечить автоматичну зміну ширини інтервалу релейної функції регулювання в залежності від питомого опору рідини, що дозволить розширити зону керованості об'єкта, підвищить точність системи регулювання при технологічно допустимих змінах питомого опору рідини, підняти рівень надійності автоматичного регулювання в значно більшому діапазоні змін питомого опору рідини в процесі роботи, і за рахунок цього збільшити продуктивність та енергоефективність електроімпульсних установок і заощадити використання електроенергії [3].



в)

г)

Рисунок 1

При цьому автоматичне регулювання здійснюють за відхиленням вихідної величини, яку визначають як суму частки від ділення наруги у момент замикання розрядного проміжку на амплітудне значення розрядного струму та амплітудного значення розрядного струму взяті з певним ваговим коефіцієнтом, з урахуванням допустимого відхилення, завдяки чому вводять корекцію відхилення вихідної величини а залежності від питомого опору рідини в якій відбувається імпульсний електророзряд.

Введення корекції заданого допустимого відхилення вихідної величини, а залежності від питомого опору рідини, в якій відбувається імпульсний електророзряд, дозволяє розширити зону керованості об'єкта та підвищити точність оцінки реального стану об'єкта керування, в тому числі реальної довжини міжелектродного проміжку, що є каналом керуючого впливу. При зменшенні питомого опору рідини, за рахунок забруднення формуючою сумішшю в процесі роботи електрогідроімпульсної установки, відбувається збільшення дисперсії вихідної величини, тобто зменшення інформативності, і при певному значенні питомого опору середньоквадратичне відхилення вихідної координати виходить за межі, заданого допустимого відхилення, при перевищенні якого регулятор видає сигнал на зміну довжини міжелектродного проміжку В такому випадку сигнал на зміну довжини буде хибним, оскільки відхилення вихідної величини перевищило задане допустиме значення відхилення, не за рахунок зміни довжини міжелектродного проміжку, а за рахунок збільшення дисперсії в результаті зменшення питомого опору рідини. При такому співвідношенні заданого в регуляторі відхилення вихідної величини та її середньоквадратичного відхилення обумовлено зміною питомого опору рідини, об'єкт стає некерованим, тому для забезпечення керованості в даному випадку введено корекцію заданого допустимого відхилення регульованої величини в залежності від поточного значення питомого опору. Якщо з метою уникнення вище вказаної ситуації встановлювати завищене значення допустимого відхилення при початковому значенні питомого опору, відбудеться зменшення точності та ефективності регулювання, так як регулюючий блок не буде реагувати на суттєве відхилення вихідної величини, яка є інформаційною координатою, і установка буде працювати в неоптимальному режимі, що приведе до погіршення якості обробки, збільшенню терміна обробки та підвищення енергозатрат. При недопустимому зменшенні питомого опору рідини, коли не забезпечуються умови формування розряду, система регулювання після перевірки критерію зупинки, в якому враховано критичне значення питомого опору, видає сигнал на зупинку для часткового або повного оновлення рідини в робочому об'ємі.

Таким чином введення корекції заданого допустимого відхилення вихідної величини в залежності від поточного питомого опору робочої рідини забезпечує автоматичну зміну точності регулювання, що дозволяє розширити зону керованості об'єкта, підвищити точність системи регулювання, яку побудовано цим способом, при технологічно допустимих змінах питомого опору рідини, та підняти рівень надійності автоматичного регулю-

вання в значно більшому діапазоні змін питомого опору рідини в процесі роботи, і за рахунок цього збільшити продуктивність та енергоефективність електроімпульсних установок і заощадити використання електроенергії.

Як початкові умови для поточної технології задаються оптимальна величина вихідної координати $\Sigma_{\text{зад}}$, її допустиме відхилення σ , ваговий коефіцієнт k , критерій зупинки системи, початкове значення лічильника розрядів n і додатково граничне значення питомого опору $\rho_{\text{гр}}$.

При включенні установки починається процес заряду ємнісного накопичувача і його розряду у рідині. Значення лічильника розрядів n збільшується на одиницю і стає рівним $n=n+1$. Під час розряду вимірюють значення наруги у момент замикання розрядного проміжку $U_{\text{пр}}[n]$, амплітудне значення розрядного струму $i_{\text{м}}[n]$, та додатково вимірюють поточне значення питомого опору рідини ρ . Засобами мікропроцесора поточне значення питомого опору рідини ρ порівнюється з її заданим для данної технології граничним значенням $\rho_{\text{гр}}$ і при $\rho < \rho_{\text{гр}}$ розраховується значення корекції $\Delta\rho = F(\rho)$ та відкориговане значення заданого допустимого відхилення $\sigma = \sigma + \Delta\sigma$. Потім розраховується поточне значення інформаційної координати $\Sigma[n] = (U_{\text{пр}}[n]/i_{\text{м}}[n] + k i_{\text{м}}[n])/2$, в якій частка від ділення напруги, вимірюваної у момент замикання розрядного проміжку, на амплітудне значення розрядного струму ($U_{\text{пр}}[n]/i_{\text{м}}[n]$) додається до амплітудного значення розрядного струму з визначеним ваговим коефіцієнтом $k i_{\text{м}}[n]$. Розраховане поточне значення інформаційної координати $\Sigma[n] = (U_{\text{пр}}[n]/i_{\text{м}}[n] + k i_{\text{м}}[n])/2$ порівнюється ($\Sigma_{\text{зад}} \pm \sigma$), яка визначається заданим оптимальним значенням вихідної координати з урахуванням відкоригованого допустимого відхилення $\sigma = \sigma + \Delta\sigma$. В залежності від результату порівняння генерується керуючий вплив, що включає відповідний режим роботи виконавчого механізму. Потім аналізується критерій зупинки і залежно від результату програма або вимикається або циклічно повторюється.

Для формулювання вимог до пристрою автоматизованого контролю призначеного для роботи в умовах значних електродинамічних навантажень проаналізовано характеристики електричного імпульсного перетворення енергії [4]. За результатами аналізу встановлено, що частина пристрою, яка занурюється, повинна витримувати гідродинамічні імпульсні навантаження з тиском до 10^4 атмосфер, не змінюючи своїх характеристик. Електронна частина пристрою, при роботі електрогідроімпульсної установки буде піддаватись дії електромагнітних полів значної інтенсивності до 10 кА/м, зумовлених розрядними струмами, тому необхідне екранування пристрою та захист даних, що передаються до системи керування.

Для того щоб розробити схемотехнічні рішення інтеграції пристрою в інформаційну систему автоматичного керування режимом електрогідроімпульсного процесу перетворення енергії в установках з іскровим розрядом було проаналізовано ступені заводо захищеності, швидкості передачі даних та формату даних стандартних уніфікованих інтерфейсів, якими можна обладнати пристрій. З найбільш поширених та тих, що технологічно використовуються з переліку уніфікованих інтерфейсів, згідно поставленим умовам, обрано послідовні інтерфейси RS-232 або RS-485 на базі яких будуються вимірювальні мережі.

Вимірювальна чарунка запропонована раніше [5] є модифікацією чотирьохелектродної вимірювальної чарунки, принцип дії якої базується на ефекті переносу, і має аналоговий вихід. Чарунка має циліндричну форму з концентрично розташованими електродами. Електроди виконані у формі імітованих циліндрів, що складаються з ряду мідних дротів. Недоліками конструкції є значне викривлення рівномірності електричного поля всередині чарунки, що обумовлено циліндричною формою вимірювальних електродів, які являють собою ряд мідних дротів у вигляді циліндра. Це знижує точність виміру. Матеріал, що використаний для виготовлення електродів - мідь, яка є хімічно активним елементом. Недоліком відомого вимірювача питомого опору є аналоговий вихід, що не дозволяє інтегрувати його в інформаційну систему автоматичного керування режимом розряду електрогідроімпульсних установок.

Грунтуючись на вищесказаному, очевидно стає постановка задачі технічної реалізації підсистеми вимірювання та стеження за зміною питомого опору робочої рідини, що стане частиною загальної системи керування режимом розряду в установках з іскровим розрядом. Підсистема повинна виконувати функції вимірювання та аналізу поточного питомого опору рідини, первинну обробку отриманих даних, передачу даних до основної системи на подальшу обробку, забезпечення необхідної точності та діапазону вимірювання.

Оскільки вимірювання питомого опору є основною задачею, то в архітектуру підсистеми повинен входити елемент чутливий до зміни питомого опору рідини елемент. Фактично підсистема повинна складатися з датчика (вимірювальної чарунки) та електронно-обчислювального блоку обладнаного універсальними інтерфейсами. Один із головних факторів, що безпосередньо визначатиме точність вимірювання є конструкція вимірювальної чарунки. Основними конструкціями чарунок, що використовуються в контактній кондуктометрії є двох- та чотирьохелектродна чарунка. Двоелектродна чарунка складається за двох паралельно розташованих металевих пластин-електродів занурених у рідину, опір якої необхідно виміряти. За допомогою електродів виконується підведення струму до рідини та зняття падіння напруги, яка прямо пропорційна опору чарунки. В свою чергу опір чарунки прямо пропорційний питомому опору рідини, з коефіцієнтом пропорційності, що дорівнює сталій вимірювальної чарунки. Використання двоелектродної чарунки припускає підведення до рідини струму змінної полярності та частотою близько 3 кГц. У випадку постійного струму на поверхні електродів матимуть місце процеси електролізу, поляризації води та накопичення об'ємного заряду в зоні біля електродів. Всі ці фактори призводять до суттєвого зменшення точності вимірів та отримання хибних результатів вимірювання. В чотирьохелектродній чарунці функції підведення струму та зняття падіння напруги на рідині розділені між двома парами електродів. Перша пара зовнішніх струмових електродів підводить постійний струм до рідини, інша

пара електродів, розташована в між струмовими електродами, знімає різницю потенціалів. Такий тип чарунки допускає використання для живлення постійного струму, оскільки вимірювальні електроди не піддаються дії струму, але електроди повинні бути виготовлені із хімічно стійких матеріалів (платина, вуглецеві електроди), що значно підвищує ціну чарунки. Тому було вирішено використовувати двоелектродну чарунку, яка живиться однополярним імпульсним струмом з довжиною імпульсу не більше 100 мкс та частотою слідування близько 1 Гц. Це дозволяє мінімізувати активність протікання електрохімічних процесів на електродах, зменшити накопичення об'ємного заряду в при електродних зонах, а отже підвищити точність вимірювання до необхідного рівня. Корпус чарунки перворвано отворами для вільного доступу робочої рідини в активну зону вимірювання.

Конструкція джерела імпульсного струму включає в собі можливість керування роботою безпосередньо з електронно-обчислювального блоку, завдяки чому етапи вимірювання та паузи співпадають в часі з роботою та паузою джерела живлення. Необхідність паузи у вимірюванні пов'язана з сильною імпульсною електромагнітною завадою, що виникає під час розряду та впливає на результат вимірювання, тому під час розряду підсистема вимикає джерело живлення та призупиняє вимір питомого опору. Виміри поновлюються після закінчення розряду.

В результаті досліджень було розроблено схемотехнічне рішення автоматизованої системи вимірювання питомого опору робочої рідини в електророзрядних установках. Функціональна блок-схема та зовнішній вигляд якої наведено на рис.2, 3.

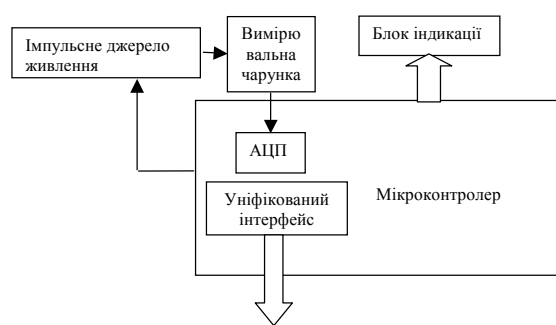


Рисунок 2



Рисунок 3

Висновки.

На основі побудованої математичної моделі встановлено залежність точності керування від питомого опору робочої рідини, сформульовано вимоги до пристрою автоматизованого контролю для роботи в умовах значних електродинамічних навантажень, розроблено схемотехнічні рішення інтеграції пристрою в інформаційну систему автоматичного керування режимом електрогідроімпульсного процесу перетворення енергії в установках з іскровим розрядом. Це дозволило підвищити точність підтримки заданих технологічних режимів, за рахунок чого збільшено енергоефективність електророзрядних установок.

ЛІТЕРАТУРА

1. Назарова Н.С. Анализ статистической эффективности координат выходного вектора объекта управления // Збірник наукових праць Українського державного морського технічного університету. – 2001. - №1(373). - С.130-137.
2. Шеннон Работы по теории информации. - М., ИЛ, 1983. - 360 с.
3. Декл. пат. на кор.мод. 17153 Україна, МПК(2006) G05B 13/02. Спосіб автоматичного регулювання електроімпульсних установок /С.С.Козирев, Н.С.Назарова (Україна). - № u 2006 02947; Заявлено 20.03.2006; Опубл. 15.09.2006, Бюл. №9.
4. Кривицкий Е.В. Переходные процессы при высоковольтном разряде в воде / Е.В. Кривицкий, В.В. Шамко - Киев: Наукова думка, 1979. - 208 с.
5. Овчинникова Л.Е. Устройство контроля электропроводности жидкости //Электрические устройства и аппаратура электрогидроимпульсных установок. - Киев: Наукова Думк, 1982. - С.89-92.

Рекомендовано д.т.н. Рогозіним Г.Г.