

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. Кафедри

_____ Довбиш А.С.

_____ 2020 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему: «Система керування плазморізальною установкою»

Керівник проекту:
к. ф.-м. наук, доцент

Кулінченко Г.В.

Дипломник:
студент групи СУ.м-91

Ланчинський В.Г.

Зміст

<u>ВСТУП</u>	3
<u>Мета роботи</u>	4
1. Формулювання завдань керування процесом плазмової різки.	5
2. Фактори, що визначають процес плазмової різки	7
3. Моделювання електроприводу установки плазмової різки	11
4. Моделювання режимів електричної дуги	23
5. Результати моделювання установки плазмової різки	27
7. Побудова апаратних засобів блоку живлення плазмової дуги	35
6. Побудова апаратно програмних засобів установки плазмової різки	36
ВИСНОВОК	41
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	

Вступ

Ефективність машинобудівних технологічних процесів ґрунтується подальшому вдосконаленні прогресивних технологій, до яких відноситься плазмова різка металів (ПРМ). Головним показником ефективності ПРМ є швидкість різання, яка обмежується необхідністю дотримання показників якості процесу різання. Людський фактор, збурення умов та режимів ПРМ, які не дозволяють поліпшувати параметри процесу плазмового різання, обумовлюють необхідність застосування засобів автоматизації керування цим процесом. Найкращі показники процесу ПРМ досягаються з допомогою установок, які мають системи контурного копіювання, системи стеження та керування технологічними параметрами процесу різання, пристроями для стабілізації робочої дистанції плазмотрона [1].

Широке використання ПРМ в різних процесах промислового виробництва стимулює підвищення ефективності цих процесів, ставить нові завдання щодо поліпшення якості виконуваних операцій різання. Параметри якості, до яких відносяться: нерівність і кутовий допуск, ширина різку, оплавлення країв вершин, залежать не тільки від точності позиціонування плазмотрона, а й від характеристик плазмової дуги, що генерується джерелом живлення (ДЖ).

Вирішення на завдання підвищення продуктивності різки залежить від можливостей підвищення швидкості різання, яка до цього часу в значній мірі визначається потужністю ДЖ. Відповідно до рівня розвитку ДЖ, підвищується їх потужність, що дає змогу підвищити і швидкість різання. Втім, при досягненні певного рівня потужності ДЖ, підвищення швидкості різання обмежується фізичними властивостями матеріалу, що обробляється. На даному етапі розвитку ПРМ це протиріччя вирішується за рахунок оптимізації параметрів процесу.

В результаті моніторингу процесу різання, завданням якого є корегування параметрів процесу ПРМ в залежності від швидкості переміщення плазмотрону, можна отримати потрібну продуктивність та якість різання складних конфігурацій незалежно від швидкості різання.

Саме керування потужністю ДЖ в процесі ПРМ відповідно швидкості переміщення плазмотрону дає змогу отримати необхідну якість процесу ПРМ.

Метою роботи є отримання необхідних даних для розробки системи керування процесом ПРМ, що дозволить підвищити якість процесу за рахунок оптимізації режимів роботи обладнання.

Аналіз придатності апаратно-програмних засобів для реалізації системи керування процесом ПРМ.

Для досягнення поставленої мети повинні бути вирішені наступні завдання

1. Розробити математичну модель електроприводу установки плазмової різки
2. Оцінити адекватність моделі електричної дуги
3. Сформулювати засади побудови системи керування установки плазмової різки.
4. Провести випробування апаратно-програмних засобів, установки плазмової різки

Актуальність досліджень полягає в оцінці можливостей підвищення якості та продуктивності ПРМ при реалізації пов'язаного керування процесами переміщення плазмотрону та процесу стабілізації параметрів електричної дуги. Зважаючи на різну динаміку згаданих процесів, складність загальної задачі керування обумовлюється пошуком ефективних апаратно-програмних засобів, здатних конкурувати з якісним обладнанням для ПРМ, що постачається за кордоном.

Впровадження результатів здійснюється при розробці та виготовленні установки ПРМ на кафедрі комп'ютерних наук секції КСУ.

Методи досліджень базуються на імітаційному моделюванні процесів 3-х координатного позиціонування електроприводу установки плазмової різки та системи керування параметрами плазмової дуги. В роботі використані методи теорії автоматичного керування електричними апаратами, методи теорії електроприводу, електричного та магнітного поля, теорії математичного моделювання в програмному середовищі Matlab 7.1 Simulink.

1. Формулювання завдань керування процесом плазмової різки

Плазмові установки відрізняються по типу конструкції, схемами керування та методами подавання матеріалу. Проте типовими елементами, що водять до складу установки, є:

- плазмотрон із системою подавання газу(повітря);
- поворотна поверхня робочого столу для встановлення заготовки;
- механізм переміщення різача та система кріплень;
- давач висоти різача над поверхнею заготовки;
- системи число-програмного керування (ЧПУ).

Функціональна схема процесу ПРМ зображена на рис. 1.

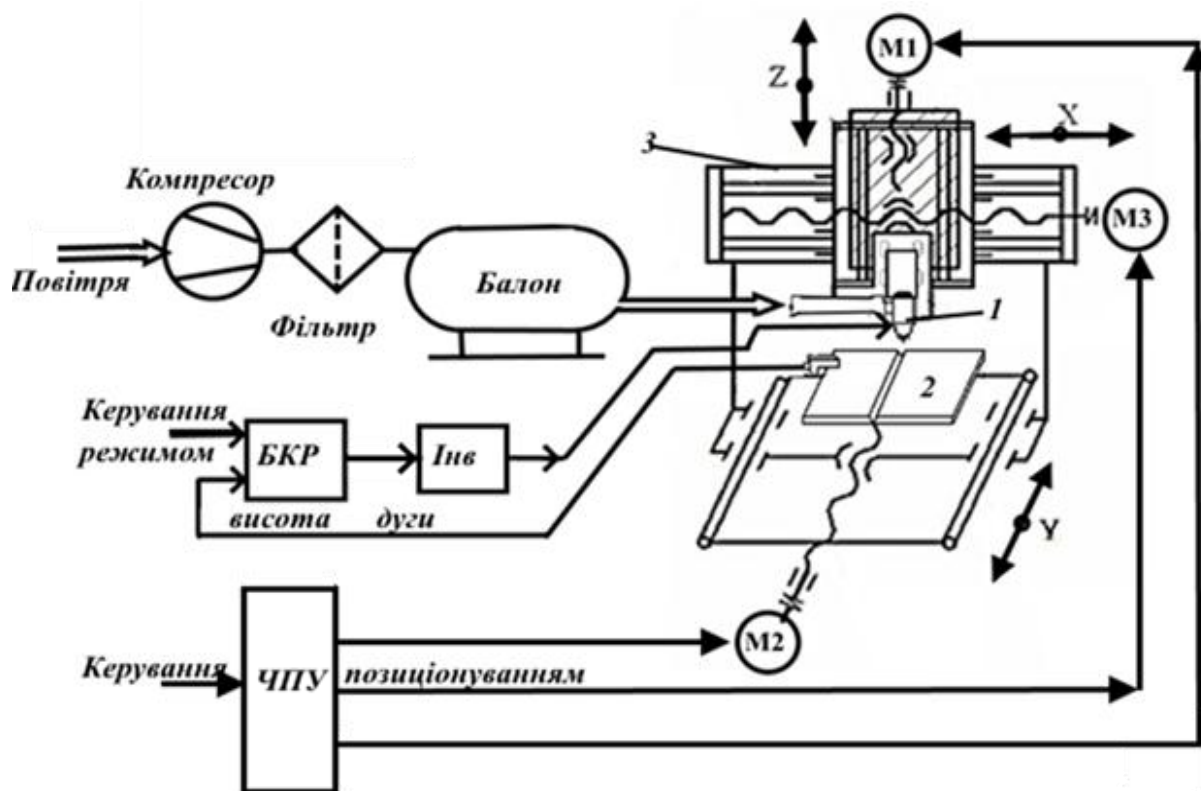


Рис. 1. Функціональна схема процесу ПРМ

1– плазмотрон; 2– заготовка; 3– механізм переміщення різача; **БКР**– блок керування режимом; **Інв**–інвертор живлення дуги.

Технологічний процес плазмової різки складається з наступних операцій:

врізання, різання прямолінійних та криволінійних ділянок заданого контуру, завершення різку.

В проведених дослідженнях констатується [2], що геометрія розрядної камери та параметри режиму роботи ріжучого плазмотрону суттєво впливають на газодинамічні і електричні параметри ріжучої дуги. Відповідно, ці параметри визначають основні технічні характеристики установки, від яких залежить ефективність процесу різки: швидкість різання, глибина прорізання, ширина порожнини різі і якість поверхні різі.

Головним параметром, що визначає продуктивність ПРМ, є швидкість різання. Рівняння для розрахункової оцінки швидкості ПРМ засноване на обліку складових енергетичного балансу[3]. Якщо напруга U і сила струму I плазмової дуги має утворити в металі щільністю γ - порожнину різі шириною h , товщиною s , то швидкість різання v визначається виразом:

$$v = \frac{0,24IU\eta - q_T}{\gamma hs\Delta Q} \quad (1)$$

де η —ефективний ККД дуги; ΔQ — приріст теплової енергії в метал;

q_T — інтенсивність теплопередачі в метал.

Проте, практичне використання виразу (1) для побудови системи керування процесом ПРМ складає певні проблеми, оскільки параметри рівняння змінюються не тільки від сортаменту металу, але й в часі. Додаткові складнощі процесу різання виникають при забезпеченні проплавлення металу певної товщини з урахуванням втрат q_T від теплопередачі в металі. При цьому потужність дуги повинна бути більше критичної величини теплових втрат, оскільки нехтування умов проплавки в певний момент часу може привести до припинення наскрізного прорізання металу.

Особливі складнощі побудови апаратно-програмних засобів керування процесом ПРМ витікають із нерівноцінного впливу складових потужності ріжучої дуги (сила струму I і напруга U) на швидкість різання v . Саме остання обставина стимулює продовження експериментальних досліджень щодо ідентифікації параметрів об'єкту керування, зокрема параметрів дуги [4, 5].

Для розробки програмного забезпечення системи керування процесом ПРМ необхідні подальші дослідження, які пов'язані з моделюванням цих процесів [6].

Результати моделювання дають змогу підвищити якість керування процесом ПРМ в результаті вдосконалення програмного забезпечення системи на основі уточнення опису процесу різання.

2. Фактори, що визначають процес плазмової різки

Основними факторами, що визначають якість процесу плазмової різки є:
відстань між соплом і матеріалом, що розрізається;
сила струму плазмової дуги;
швидкість різання.

Як зазначалося, останній фактор безпосередньо залежить від струму плазмової дуги та відстані до площини різку.

Слід зазначити, що на якість процесу плазмової різки суттєво впливає склад плазмоутворюючого газу, але в цій роботі вплив параметрів газового потоку не досліджується, оскільки вважається, що завдання керування газовим потоком покладено на інший контур керування. Таким чином діє припущення, що параметри плазмоутворюючого потоку постійні та застабілізовані.

Складність керування апаратами плазмової різки пов'язана із суперечливими вимогами до параметрів, що визначають якість процесу. Так, з одного боку, якість різку залежить від стабільності відстані між соплом і заготовкою. Тому є природним прагнення до зменшення цієї відстані. Проте, з іншого боку, зменшення згаданої відстані сприяє згорянню сопла та електроду, зменшуючи ресурс і надійність обладнання. Включення до складу установки різання стабілізатора відстані дозволяє підвищити точність та якість деталей, що розрізаються, але відсутність програмно скоординованих рухів електроприводу по інших координатах, не дозволяє отримати очікувану точність та якість [7].

Звертаючи увагу на взаємозалежність швидкості різання і якості різку, найважливішим фактором процесу слід визначити дотримання швидкості різання не тільки на прямих розрізах, але і на вигинах, отворах і кутах. У згаданих місцях електропривод установки повинен забезпечити необхідні *прискорення та сповільнення* різачка.

Зміна швидкості переміщення різачка дає змогу рухатись по потрібній траєкторії,

мінімізуючи величину відхилення від неї. Діапазон зміни швидкості, відповідно і точність різання, залежать від динамічних характеристик механізму переміщення різачка (рис. 1, поз. 3), який із засобами електроприводу являє собою мехатронний модуль. Динамічні параметри модуля, зокрема сталі часу, визначаються його моментом інерції. Прагнення поліпшень динаміки модуля за рахунок зменшення моменту інерції модуля обмежується втратами жорсткості конструкції установки (рис. 2). Додатковими факторами, що впливають на можливості покращення параметрів плазмового різання, є міцність модуля 3 та циліндричних напрямних 6, а також їх стійкість до теплового навантаження.

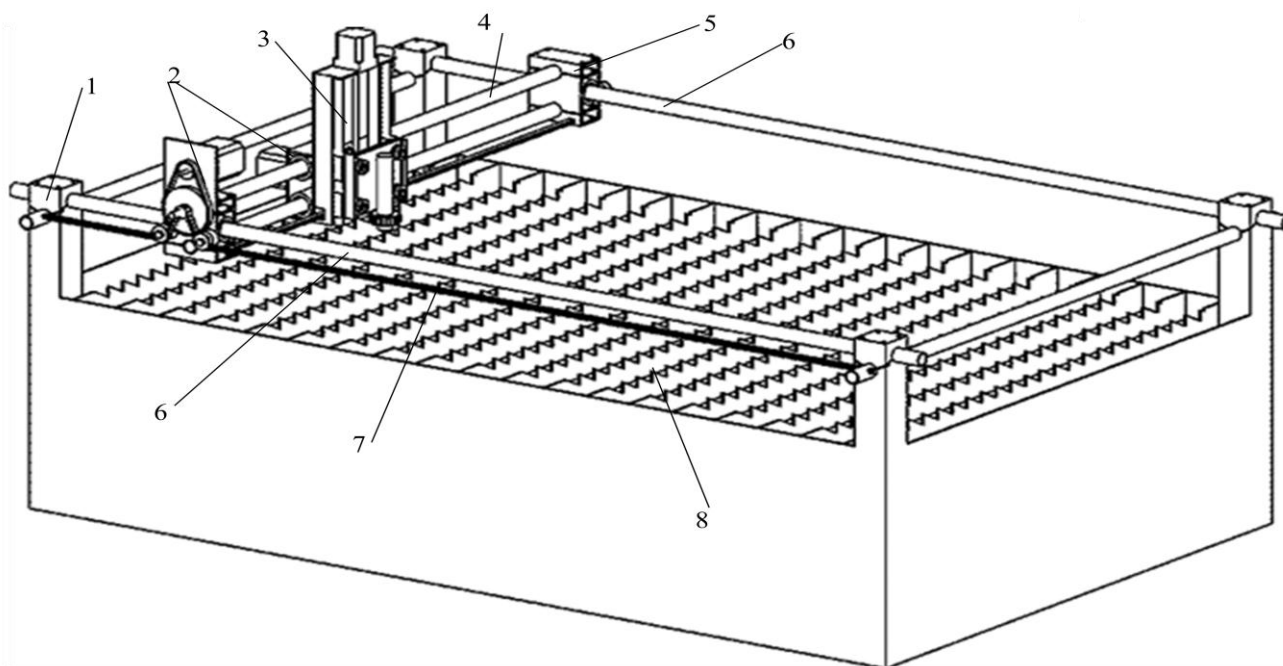


Рис. 2. Конструкція повітряно-плазмової установки

1– портал; 2– приводні електродвигуни; 3–модуль переміщення різачка; 4– супорт різачка; 5– каретка переміщення координати Y; 6–циліндричні напрямні; 7–зубчастий ремінь; 8– стіл для заготовок

Як видно із рисунку, установка будується на базі порталу 1, по циліндричних напрямних 6 якого переміщуються ходові каретки 5. Супорт 4 із закріпленням на ньому плазмотроном позиціонується відповідно до руху ходових кареток. Жорстка конструкція порталу зменшує перекося при переміщенні різачка. Завдяки використанню двохвісьової конструкції координати Y, дві каретки переміщення забезпечують синхронне переміщення супорту. На супорті встановлено механізм переміщення різачка координати Z.

Розробка сучасних електроприводів, що забезпечують адаптацію прискорень переміщення різачка відповідно до необхідної траєкторії, передбачає врахування вимог по статичній і динамічній точності позиціонування.

Алгоритм керування позиціонуванням зводиться до формування необхідної тахограми руху по кожній координаті переміщення. Цим алгоритмом передбачається забезпечення мінімуму часу розгону та гальмування різачка.

Для виконання сформульованих вимог слід застосовувати високо динамічні електричні машини, які у змозі забезпечити мінімальний час перехідних процесів при перемиканні напрямків переміщення мехатронного блоку. Тому, згідно з тенденціями розвитку динамічних електричних машин, розробники електроприводу відмовляються від узгоджуваних редукторів, які характерні для більшості сервоприводів, малонадійних виконавчих двигунів постійного струму. Тоді в безредукторних електроприводах широко використовуються безконтактні двигуни постійного струму (БДПС), моментні двигуни з постійними магнітами (МДПМ) та крокові двигуни (КД).

КД гарантують найбільшу точність переміщення, але їх оперативність відпрацювання траєкторії та досяжна потужність не переважає над іншими двигунами; приводи на базі синхронних двигунів постійного струму, встановлюються лише на потужних агрегатах плазмової різки.

Приводи на базі звичайних асинхронних двигунів використовуються при невеликих робочих навантаженнях.

Незаперечні переваги крокових двигунів:

високий крутний момент на низьких обертах;

фіксований кут повороту ротора з гарантованою точністю;

прийнятна повторюваність позиціонування;

довгий термін експлуатації;

не потребує обслуговування, простота в установці і використанні.

Структурна схема одного каналу керування приводом на базі КД показана на рисунку 3.

Блок керування, що формує керуючі сигнали драйверу КД, реалізується на апаратно-програмних мікропроцесорних засобах. Його живлення здійснюється від типового джерела живлення.

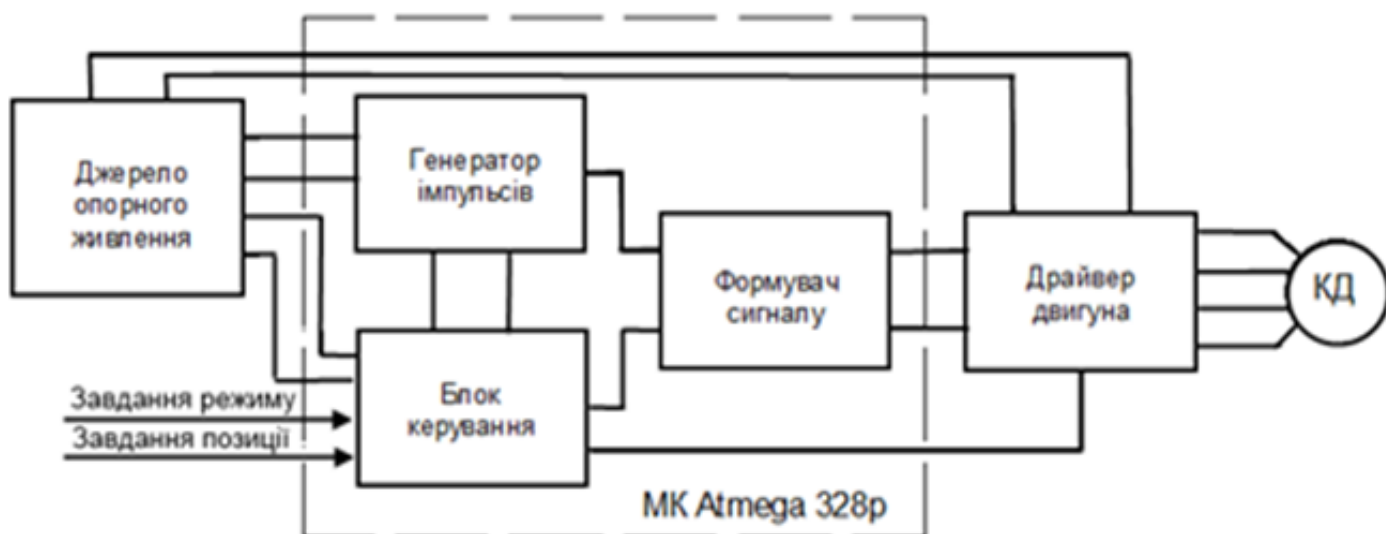


Рис. 3 – Структурна схема керування КД

Для керування використовується комп'ютер з попередньо встановленими ліцензійними програмами Mach3 і ArtCAM, який створено у вигляді комплексного пакету CAD/CAM програмного забезпечення для проектування виробів та їх обробки на станках з ЧПУ [8].

Mach3 – багатофункціональна програма, що керує установкою. ArtCAM – програма підготовки креслення деталі для різки на установці. Креслення виконується в CAD-програмі (AvtoCAD, Компас, CorelDraw або іншій) і зберігається в форматі dxf. Файл dxf відкривається програмою ArtCAM, яка генерує G-код. Цей код є «керуючою програмою» (КП) різки. КП задаються контури різку, швидкість різку, товщина матеріалу та розкрій листа. ArtCAM відображує траєкторії різання, прискорені переїзди, шари і т. і. На виході отримують КП в файлі із розширенням tab. КП відкривається програмою керування станком Mach3. В цій програмі задаються останні налаштування (товщина листа, нульова точка, і т. і.) та запускається різка

3. Моделювання електроприводу установки плазмової різки

3.1 Алгоритм керування електроприводом на базі КД

Закон руху для плазмотрону задається відповідно до G-коду, сгенерованого програмним середовищем ArtCAM. Головним завданням керування переміщеннями плазмотрону є точність та повторюваність позиціонування механічного перетворювача переміщень. Оскільки точність позиціонування модуля в значній мірі залежать від його конструктивного виконання, тому на перший план досліджень виходять завдання збільшення швидкодії різання, яка залежить від способів формування керуючих впливів системи керування електроприводом модуля.

Можливості генерації необхідних тахограм руху по кожній координаті переміщення (розгін, рівномірне переміщення, гальмування) визначаються доцільністю ускладнення та здороження системи керування модулем відносно типу застосованого електроприводу.

Для формування вимог до апаратно-програмної складової частини привода, що забезпечує переміщення різача, оцінимо параметри схеми керування переміщенням модуля.

Особливостями керування механічного перетворювача переміщень є необхідність узгодження перемикання напрямків переміщення по горизонталі та вертикалі без особливої втрати швидкості сканування. При цьому алгоритм позиційного керування передбачає зведення до мінімально можливого відхилення

$$X_i, l - X_i, l_p \leq \alpha \text{ по кожній координаті рухомості,}$$

де X_i, l_p , - програмне завдання на переміщення по координаті.

При цьому в момент досягнення програмного значення з якої-небудь координати руху відповідна швидкість дорівнює нулю, а точність позиціонування - (помилка позиціонування) залежить від реалізованої в системі мінімальної дискретності переміщення h_x, h_y, h_z і роздільної здатності позиції переміщення.

Рух плазмотрона по кожній координаті рухомості відбувається незалежно або одночасним із стартом, що визначається апаратними та програмними засобами реалізації алгоритму. Слід зазначити, що лінійне переміщення плазмотрону здійснюється в результаті перетворення обертального руху КД із використанням

зубчастого ременя.

Враховуючи, що на роторному валу КД встановлено зубчата шестерня з радіусом R і кутовою відстанню між двома зубами $\Delta\varphi$ градусів, то кут повороту ротора КД при дії одного імпульсу дорівнює $\Delta\varphi$ градусів.

Відповідно дія одного імпульсу на КД із встановленою на його роторі зубчатою шестернею перетворить шаг кут повороту ротора на лінійне переміщення по координаті H :

$$H = \Delta\varphi R,$$

де: $\Delta\varphi$ – кут повороту ротора КД в результаті дії одного імпульсу;

Оскільки крокування в КД здійснюється в дискретні моменти часу, то задача керування представляється співвідношенням:

$$\varphi_{i+1} = \varphi_i + n_i(\Delta\varphi)$$

де: φ_i – поточне кутове положення ротора КД на t_i -ому моменті часу;

n_i – кількість керуючих імпульсів, що видаються на обмотки КД за проміжок часу $(t_{i+1} - t_i)$;

φ_{i+1} – кутове положення ротора КД на t_{i+1} момент часу.

Алгоритм керування для лінійних координат X_{i+1} , Y_{i+1} , Z_{i+1} , через поточні координати X_i , Y_i , Z_i , має вигляд

$$\begin{aligned} X_{i+1} &= X_i + n_{ix} * h_x \\ Y_{i+1} &= Y_i + n_{iy} * h_y \\ Z_{i+1} &= Z_i + n_{iz} * h_z \end{aligned} \quad (2)$$

де

n_{ix} , n_{iy} , n_{iz} – кількість керуючих імпульсів для КД по вісях X , Y , Z за інтервал часу; h_x , h_y , h_z – значення лінійного кроку по вісях X , Y , Z відповідно до дії одного імпульсу.

Таким чином, відповідно до попередньо сформованої просторової траєкторії плазмотрону, завдання керування КД полягає у знаходженні кількості керуючих імпульсів n_{ix} , n_{iy} , n_{iz} із співвідношення (2), які видаються на координатні КД на протязі вибраного проміжку часу.

Необхідна швидкість руху плазмотрону досягається в результаті збільшення або зменшення проміжку часу при прорахованій кількості імпульсів, що керують

переміщенням на цьому інтервалі часу.

Для розрахунку типового процесу руху з трапецієдальною тахограмою руху розглянемо графік руху, зображений на рис. 4.

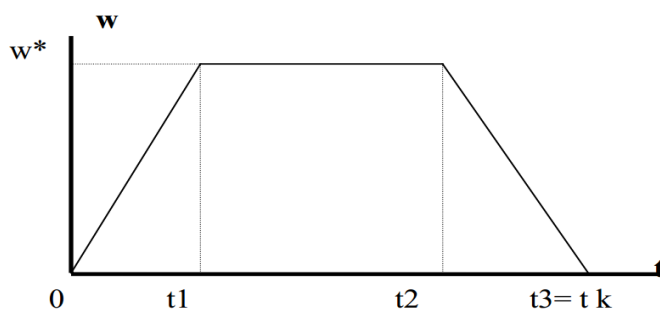


Рис. 4 – Типова тахограма руху

Він складається із трьох фаз руху:

розгону з прискоренням e_1 ;

$$\omega(t) = e_1 \times t, \quad \text{при } 0 \leq t \leq t_1,$$

руху з постійною швидкістю ω^* ;

$$\omega(t) = \omega^*, \quad t_1 < t < t_2$$

гальмування з прискоренням e_2 ,

$$\omega(t) = \omega - e_2 \times (t - t_2), \quad \text{при } t_2 \leq t \leq t_k,$$

де t_k - час відпрацювання кадру.

Повний приріст переміщення за час відпрацювання переміщення:

$$\Delta l = \int_0^{t_1} e_1 \cdot t dt + \int_{t_1}^{t_2} \omega dt + \int_{t_2}^{t_k} (\omega - e_2(t - t_2)) dt \quad (3)$$

$$= e_1 \times t_1^2 / 2 + \omega \times (t_k - t_1) - e_2 \times (t_k - t_2)^2 / 2.$$

З іншої сторони, із графіка швидкості можна отримати:

$$\Delta l = \omega^2 / (2 e_1) + \omega(t_2 - t_1) + \omega^2 / (2 e_2).$$

Звідси можна визначити необхідний час руху з постійною швидкістю:

$$t_2 - t_1 = \Delta l / \omega - \omega(1/e_1 + 1/e_2) / 2. \quad (4)$$

В процесі програмування необхідно знати інтервали часу t_1 , t_2 , t_k .

Якщо при заданих Δl , ω , e_1 , e_2 із (1) виходить що : $(t_2 - t_1) > 0$,

то $t_1 = \omega / e_1$ - час руху із постійним прискоренням,

$$t_2 = t_1 + \Delta l / \omega - \omega / 2 \times (1/e_1 + 1/e_2) = \Delta l / \omega + \omega / 2 \times (1/e_1 - 1/e_2) - \text{час руху із пос-}$$

тійним прискоренням і постійною швидкістю,

$$t_3 = t_k = t_2 + \omega / e_2 = \Delta l / \omega + \omega / 2 \times (1 / e_1 + 1 / e_2). \text{ час руху із гальмуванням}$$

Якщо при заданих Δl , ω , e_1 , e_2 із (1) виходить що : $(t_2 - t_1) < 0$, то

$$t_1 = t_2 = (2 \times \Delta l \times e_2) / ((e_1 \times (e_1 + e_2)))$$

$$tk = (2 \Delta l \times e_1) / ((e_2 / (e_1 + e_2))) + (2 \times \Delta l \times e_2) / ((e_1 \times (e_1 + e_2))).$$

В цьому випадку фаза руху з постійною швидкістю відсутня, тому що максимальна швидкість, яка досягається в процесі руху менше ω^* :

$$\omega = \sqrt{\frac{2\Delta l e_1 e_2}{e_1 e_2}} \quad (5)$$

Для обертання КД з постійною швидкістю імпульси повинні генеруватися зі встановленою частотою, як показано на рис. 5.

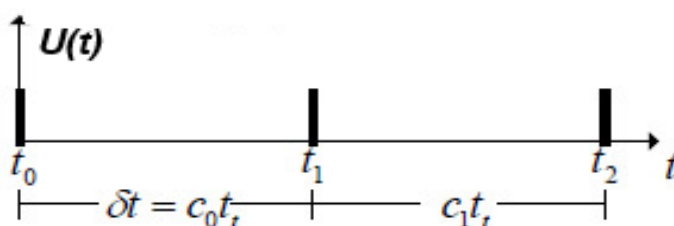


Рис. 5 – Послідовність імпульсів крокового двигуна

Якщо імпульси надходять із частотою f_t , то період їх знаходження, що програмується:

$$\delta t = c t_r = \frac{c}{f_t}$$

Відповідно, кроковий кут двигуна α , положення θ і швидкість ω задаються рівняннями

$$\alpha = 2\pi / \text{spr} \text{ [rad]}$$

$$\Theta = n\alpha \text{ [rad]}$$

$$\omega = \alpha / \delta t \text{ [rad/sec]}$$

де spr – число кроків на один оберт, n – число кроків, а $1 \text{ rad/sec} = 9,55 \text{ об/хв}$

Для м'якого старту і зупинки двигуна необхідний контроль прискорення і уповільнення. На рисунку 6 показано взаємозв'язок між прискоренням, швидкістю та положенням. Використання постійного прискорення/затримки дає лінійний профіль швидкості.

Часова затримка δt між імпульсами КД визначає швидкість його обертання.

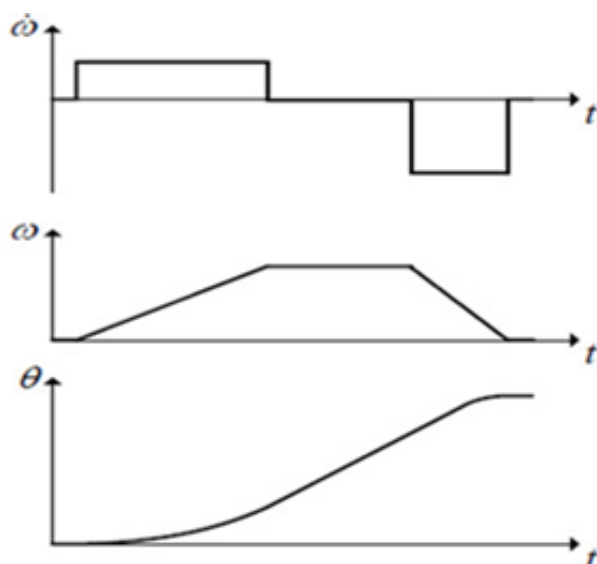


Рисунок 6– Прискорення ($\dot{\omega}$), швидкість (ω) і положення (θ)

Ця затримка розраховується з огляду на найбільшу відповідність часу надходження імпульсів, що задають швидкість КД з часовими інтервалами заданого закону зміни швидкості. Рух КД визначається кількістю дискретних кроків, а темп зростання швидкості залежить від часової затримки між цими кроками і задається частотою таймера. (Рисунок 7)

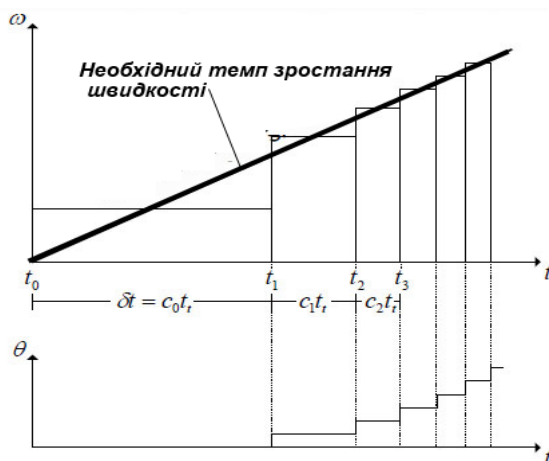


Рисунок 7–Залежність «Профіль швидкості - імпульси КД / швидкість»

Перша затримка лічильника c_0 , а також наступні затримки c_n визначаються рівняннями [9]

$$c_0 = \frac{1}{t_r} \sqrt{\frac{2\alpha}{\dot{\omega}}} \quad c_n = c_0 (\sqrt{n+1} - \sqrt{n})$$

Обчислювальна потужність мікроконтролера обмежена, а розрахунок двох квадратних коренів - трудомісткий процес.

Тому розглядається апроксимація з меншою обчислювальною складністю.

Значення лічильника в момент часу n для інтервалу часу між кроками розраховується з використанням апроксимації рядами Тейлора за формулою:

$$c_n = c_{n-1} - \frac{2c_{n-1}}{4n+1} \quad (6)$$

Це обчислення здійснюється набагато швидше, ніж обчислення двох квадратних коренів, але при $n = 1$ вносить помилку величиною 0,44. Для компенсації цієї помилки здійснюється множення c_0 на 0,676.

Таким чином прискорення задається значеннями c_0 і n . Якщо потрібно змінити прискорення (або затримку), то необхідно виконати розрахунок нового значення n . Час t_n і n як функції від прискорення КД, швидкість і кроковий кут задаються рівняннями

$$t_n = \frac{\omega_n}{\dot{\omega}} \quad n = \frac{\dot{\omega} t_n^2}{2\alpha}$$

Об'єднання цих рівнянь дає співвідношення

$$n\omega = \frac{\omega^2}{2\alpha}$$

З нього видно, що число кроків, необхідне для досягнення заданої швидкості, обернено пропорційно прискоренню: $n_1\dot{\omega}_1 = n_2\dot{\omega}_2$. Це означає, що зміна прискорення від $\dot{\omega}_1$ до $\dot{\omega}_2$ здійснюється зміною n , що і показано на рисунку 8.

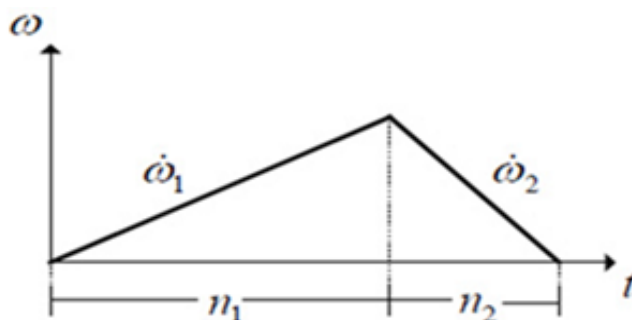


Рисунок 8 – Зміна швидкості вверх / вниз

Якщо переміщатись за заданим числом кроків для досягнення нульової швидкості, прискорення потрібно почати на відповідному кроці. Наступне рівняння використовується для знаходження n_1 :

$$n_1 = (n_2 + n_1) / (\dot{\omega}_1 + \dot{\omega}_2) \quad (7)$$

Для синтезу алгоритмів керування рухом плазмотрону по потрібній траєкторії, скористаємось результатами моделювання електропривода на базі КД в динамічних режимах роботи.

3.2 Модель електропривода на базі КД в динамічних режимах роботи.

Структурна схема керування КД (рис. 3) у спрощеному вигляді має вигляд, приведений на рисунку 9. Підставою до такого спрощення дає незалежність рухів установки плазмової різки по трьом координатам.



Рисунок 9 – Структурна схема електроприводу модуля позиціонування

Електропривод (ЕП) складається з системи керування (СК), Інвертора напруги і крокового двигуна (КД). Робота електроприводу здійснюється внаслідок надходження сигналів, які відповідно до заданого положення видаються програмою керування СК. Остання формує поточне завдання на керування інвертором (напруга g). Інвертор здійснює комутацію транзисторів, забезпечуючи почергове живлення фаз, аж до досягнення необхідного положення різка.

Для опису динамічних режимів роботи КД складаються рівняння електричної рівноваги для напруг контурів струму, рівняння моментів, що діють на ротор, а також рівняння електромеханічного перетворення енергії (основне рівняння руху ЕП) для даного типу електричної машини.

Схема заміщення обмотки КД являє собою послідовне з'єднання індуктивності та резистора. Крім того, при обертанні ротора в обмотці виникає ЕРС [10]. Отже, еквівалентна схема заміщення КД має вигляд, як показано на рисунку 10.

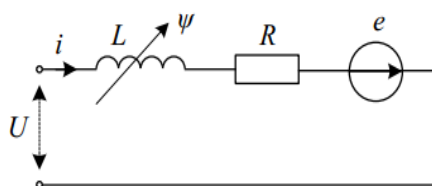


Рисунок 10 – Еквівалентна схема заміщення обмотки КД

Відповідно до схеми заміщення (рисунок 10), виходячи із законів Кірхгофа, можна записати рівняння електричної рівноваги напруг і ЕРС обмоток статора КД:

$$\begin{aligned} u_1 &= R_s \cdot i_1 + L_1 \cdot \frac{di_1}{dt} + W \cdot \frac{di_2}{dt} + \frac{d\psi_{M1}}{dt}; \\ u_2 &= R_s \cdot i_2 + L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} + W \cdot \frac{di_1}{dt} + \frac{d\psi_{M2}}{dt}; \end{aligned} \quad (8)$$

де: u_1, u_2 - напруги, прикладені до обмоток фаз; i_1, i_2 - струми фаз, що протікають по обмоткам статора; R_s - активний опір обмотки статора;

$\psi_{M1} = \psi_M \cdot (\sin p\Theta)$, $\psi_{M2} = \psi_M \cdot (\sin p(\Theta - \lambda))$ – потокозчеплення фаз;

ψ_M - максимальне значення потокозчеплення; λ - кут кроку полюсів p ; Θ - кут положення ротора.

$L_1 = L_0 + L \cos 2p\Theta$ – індуктивність 1 фази;

$L_2 = L_0 + L \cos 2p(\Theta - \lambda)$ – індуктивність 2 фази;

Для випадку електричної машини, що обертається, залежність механічної енергії від електромеханічного моменту при зміні положення ротора записується [10]:

$$W = M \cdot \Delta\Theta = M \cos 2p(\Theta - \lambda)$$

де: M - електромеханічний момент двигуна, що формується фазою; W – механічна енергія, що формується фазою на інтервалі кута повороту $\Delta\Theta$ ротора Θ - кут положення ротора в радіанах.

Електромагнітний момент, створюваний обмотками фаз статора:

$$M_E = -\psi_M \cdot i_1 \sin p\Theta - \psi_2 \cdot i_2 \sin(\Theta - \lambda) \quad (9)$$

Рівняння руху електроприводу з урахуванням діючих моментів

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{p}{J_\Sigma} (M_E - M_C) \quad (10)$$

де $J_\Sigma = J_p + J_n$ – сумарний момент інерції електроприводу, приведений до валу ротора; p - число пар полюсів; $\omega = d\Theta/dt$ – частота обертання; $M_C = M_n + M_m + M_p$ – сумарний момент опору двигуна; M_n – момент опору навантаження; $M_m = D \cdot d\Theta/dt$ – момент опору в'язкого тертя (де D - коефіцієнт в'язкого тертя); M_p – момент тертя ковзання в підшипниках.

Приймаючи до уваги наведені співвідношення, в стандартній бібліотеці SimPower Systems пакета MatLab Simulink будується модель електроприводу уста-

новки плазмової різки з керуючим інвертором напруги, що дозволить досліджувати динамічні та стаціонарні режими роботи електроприводу.

Загальний вигляд імітаційної моделі крокового електроприводу однієї координати установки плазмової різки представлений на рисунку 11.

Шаг моделювання визначає точність і час моделювання. Компромісним значенням прийняте значення $T_s=10^{-6}$ s.

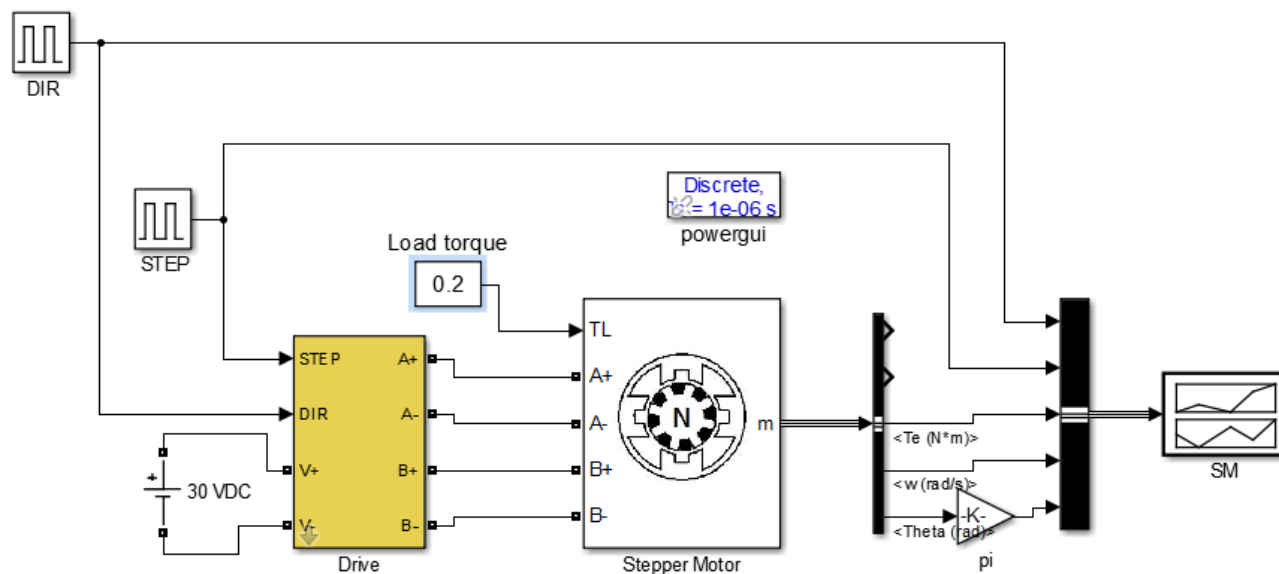


Рисунок 11 – Імітаційна модель одного каналу електропривода

Відповідно до наведених рівнянь, що описують модель КД, його імітаційна модель в середовищі SimPower Systems складається із 2 частин – електричної та механічної (рис. 12):

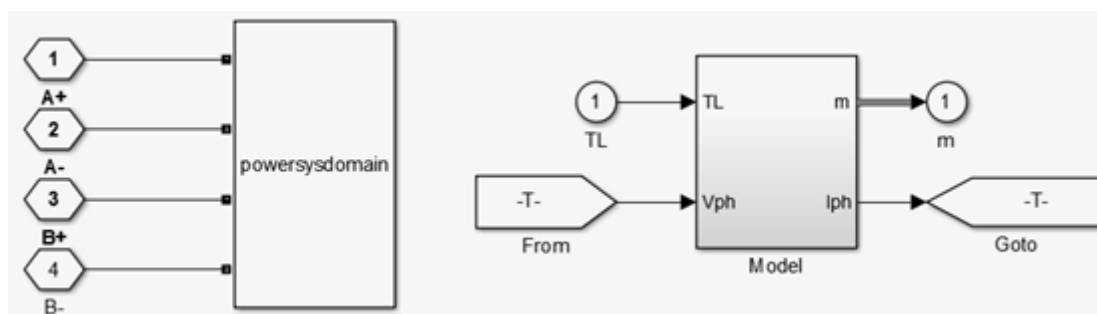


Рисунок 12 – Складові частини моделі КД

Враховуючи, що основним завданням досліджень є моделювання динамічних режимів, то на даному етапі докладно не розглядаються елементи моделі, що будуються на класичних рівняннях, які враховані в схемі моделі. Зрозуміло, при підключенні усіх вхідних параметрів, як показано на рисунку 11,

а саме напруги живлення, навантаження, в блоці розраховується вихідна змінна m .

В блоці враховано формування протитягів - ЕРС в залежності від поточного становища ротора. Завдяки сформованим фазним струмам КД розраховується поточний електромагнітний момент, що дає змогу з урахуванням моменту навантаження ТЛ отримати значення частоти обертання валу ротора та його кутове положення.

Вихідна змінна m відображає вплив моменту інерції, коефіцієнту тертя і моменту навантаження ТЛ на параметри, що характеризують динаміку процесу: швидкість переміщення порталу та його положення.

Оскільки в бібліотеці SimPowerSystems пакета MatLab Simulink відсутні параметри КД, який задіяно в приводі установки, то скористайтесь можливостями вводу параметрів КД типу NT57STH76 через інтерфейс користувача (Рисунок 13)

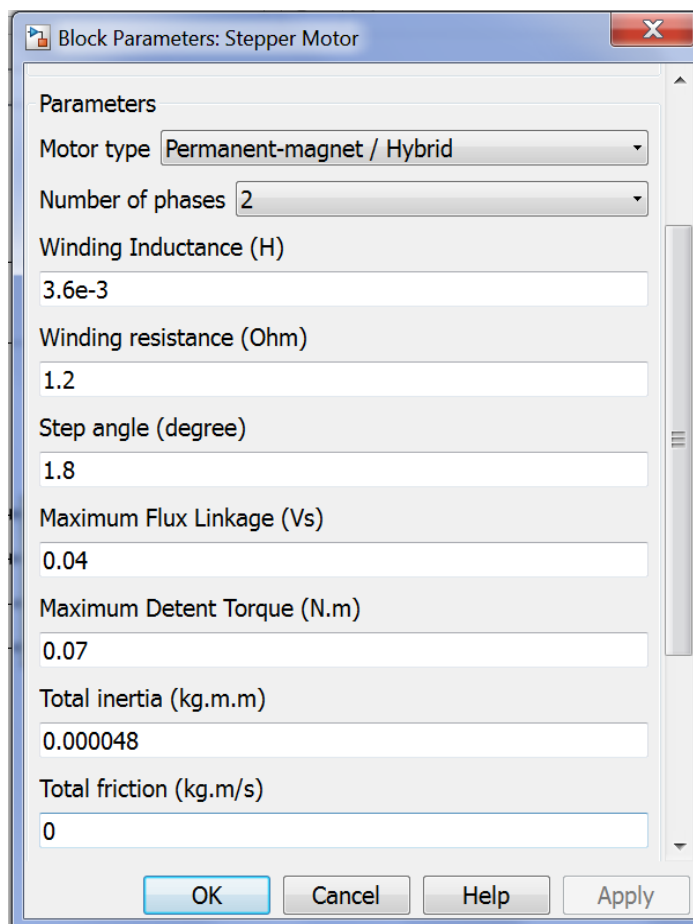


Рисунок 13 – Введення параметрів КД

Для введення параметрів КД типу **NT57STH76** [11], що використовується для здійснення руху по горизонтальній площині, скористайтесь довідковими характеристиками, що приведені в Табл. 1.

Табл. 1

Модель	Довж.	Ном. напр.	Струм на фазу	Опір фази	Індукт. фази	Крут. момент	Момент інерції	Кут крок	Утрим. момент	Вага
З одним валом	(L)mm	V	A	Ω	mH	kg.cm	g.cm* cm	град	kg.cm	Kg
NT57STH 76-2804A	76	3.2	2.8	1.13	3.6	18.9	480	1,8	0.68	1.0

Режими функціонування драйвера моделюються з допомогою схеми в середовищі MatLab Simulink, зображеній на рис. 14.

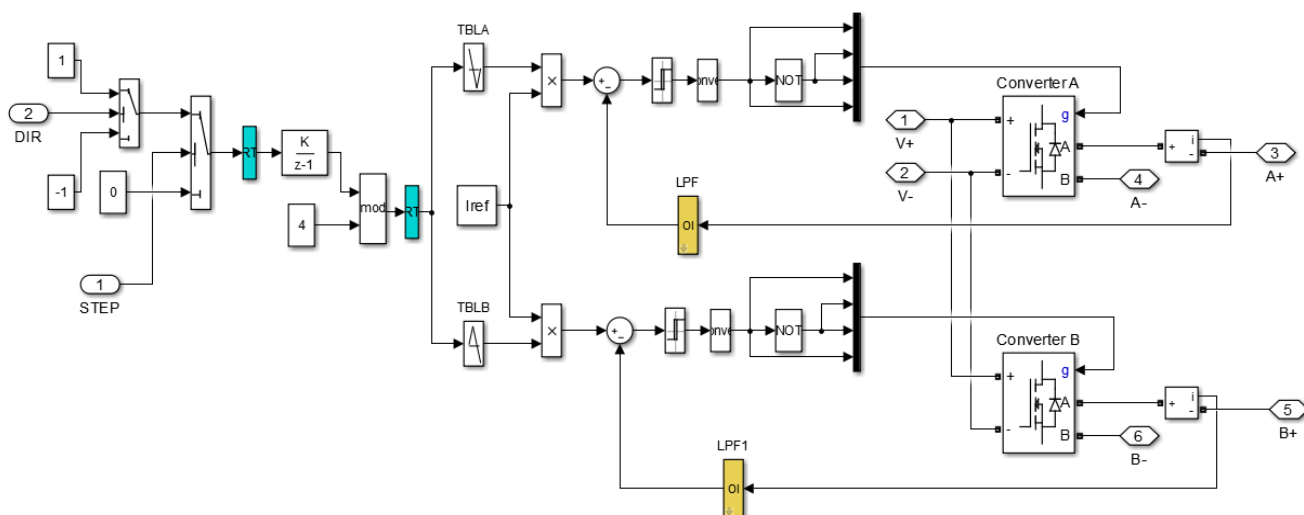


Рисунок 14 – Схема моделювання блоку Driver.

На підставі керуючих сигналів «Step» – Крок і «Dir» – Напрямок, що сформовані програмно з допомогою блоків генерування часових послідовностей, система логічного керування блоку Driver з заданою частотою і в потрібні моменти здійснює комутацію ключів інвертора. Інвертор формує керуючі імпульси для перемикання ключів, що підключаються безпосередньо до обмоток КД.

Приклад змін у часі моментів перемикання показано на рис. 15.

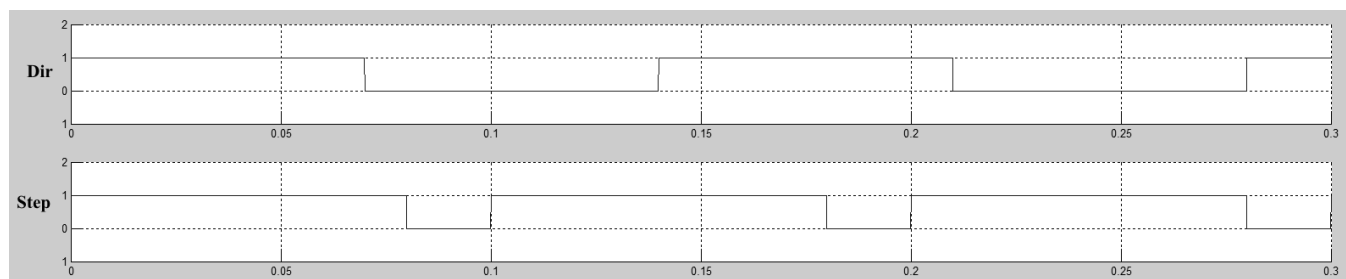


Рисунок 15 – Перемикання в часі напрямку руху та його тривалості.

Відповідно до інтервалу часу, що діє сигнал «Step», імпульси з заданою частотою перемикавання надходять до обмоток КД.

Частота перемикавання та струм обмотки, що насправді формуються програмно мікроконтролером, можна задати таблицею блока параметрів блоку Driver (рис.16), імітуючи різні режими функціонування.

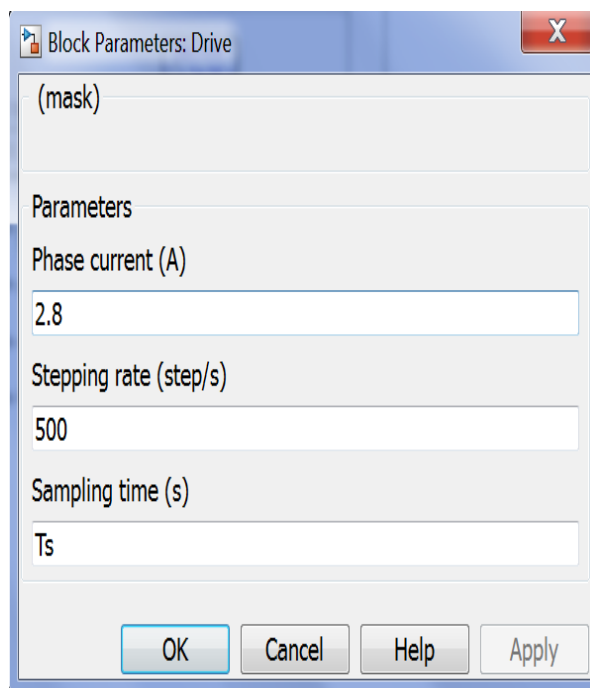


Рисунок 16 – Таблиця завдання частоти перемикань

4. Моделювання режимів електричної дуги

Характеризуючи процес ПРМ, можна виділити наступні його особливості:

- відмінність напруги для різних ділянок дуги від плазмотрона до виробу [12];
- відмінність фізичних процесів за трьома зонам простору різі;
- відмінність електричних режимів дуги в часі, включаючи підпал, стабілізацію і гасіння дуги.

При цьому розміри згаданих ділянок та зон випадковим чином змінюються в часі в результаті зміни параметрів процесу. До цих параметрів відноситься зміна товщини металу, що розрізається, витрати плазмоутворюючого повітря, швидкість переміщення плазмотрона.

Додаткові складнощі в ідентифікації керованого об'єкта пов'язані з нелінійним характером вольтамперної характеристики (ВАХ) плазмової дуги [13].

Зазначена специфіка обумовлює необхідність використання джерела живлення (ДЖ) плазмової дуги, характеристики якого варіюються в залежності від зміни режимів і навантаження. Поряд з вимогами забезпечення динамічних показників до ДЖ пред'являються вимоги по стійкості горіння дуги і можливості керування середнім значенням струму.

Розробка технічних вимог до ДЖ плазмової дуги базується на результатах досліджень параметрів дуги. Відомі в даний час математичні моделі плазмової дуги:

Cassie, Maug, Habedank, Kema, Schwarz (Avdonin) дозволяють вирішувати рівняння динамічної математичної моделі дуги [14] в середовищі Matlab. При цьому згадані моделі мають різну ступінь адекватності для різних джерел дуги, наприклад, модель Cassie підходить для моделювання дуг з великими струмами і малим опором дуги, модель Maug - навпаки. Інші моделі є модифікацією моделей Cassie або Maug і описують енергоємні процеси дугових печі і зварювальних установок, в яких дуга підключається до ДЖ змінного струму.

При описі процесів установки плазмового різання, дуга якої живиться від ДЖ постійного струму, використовується співвідношення Г. Айртона. Це співвідношення зв'язує напругу дуги U_{arc} , її довжину l і струм дуги I_{arc} , які змінюються в процесі різання [15]:

$$U_{arc} = U_{AK} + Bl + \frac{C + DI}{I_{arc}} \quad (11)$$

де U_{AK} – приелектродні падіння напруги плазмотрону;

B, C, D – коефіцієнти рівняння, що залежать від параметрів потоку плазмоутворюючого газу і конструктивних параметрів плазмотрона.

З формули видно, що нелінійна залежність між струмом і напругою дуги має вигляд гіперболи.

В силу довільних коливань довжини (напруги) дуги, процесу іонізації і витрати газу вимоги до ДЖ з напругою U_s щодо забезпечення стійкості дуги плазмового рі-

зання, що має вигляд:

$$\frac{dU_{arc}}{dI} - \frac{dU_s}{dI} \geq 0 \quad (12)$$

Із співвідношення видно, що джерело живлення повинно мати полого-падаючу рис17 (2) зовнішню характеристику. Але для виконання умови стабільного горіння дуги, виконання цієї умови недостатньо. Стабільність дуги напряму залежить від кута нахилу характеристики. Виходячи з попередніх досліджень було виявлено, що процес горіння плазми, під час розкрою металу, супроводжується коливаннями напруги, які викликані різними факторами.

По-перше коливання обумовлені процесами іонізації плазмового газу, які проходять нерівномірно і характеризуються родом плазмового газу. По-друге коливання напруги залежить від зміни довжини самої дуги, витрат плазмового газу, та інших факторів. Очевидно, що при пологих характеристиках, коливання напруги буде викликати коливання струму. Коливання струму плазмового різання вкрай не бажане, і може викликати порушення технологічних параметрів, а також швидке руйнування самого плазмотрону, що відповідно призведе до поломки апарату. Таким чином технологія плаз-

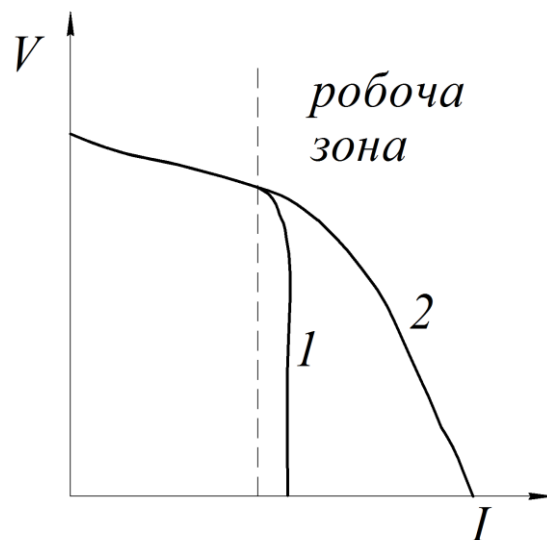


Рисунок 17 Зовнішня характеристика джерела живлення плазмової дуги (1) круто-падаюча характеристика, (2) полого-падаюча характеристика.

мового розкреду вимагає наявності круто падаючої характеристики рис17 (1) у блока живлення дуги.

Отже зовнішня характеристика ДЖ для ПРМ повинна бути крутопадаючою. Крім того, прагнення користувачів ПРМ до високих швидкостей різання призводить до необхідності забезпечення високих значень струму дуги при порівняно невеликому діапазоні його зміни.

Основною тенденцією створення сучасних ДЖ постійного струму є використання керованого проміжного перетворювача, що працює на частотах десятки кілогерц і підключається до навантаження через некерований випрямляч і фільтр (рис. 18). Це дозволяє істотно підвищити економічні та експлуатаційні показники ДЖ.

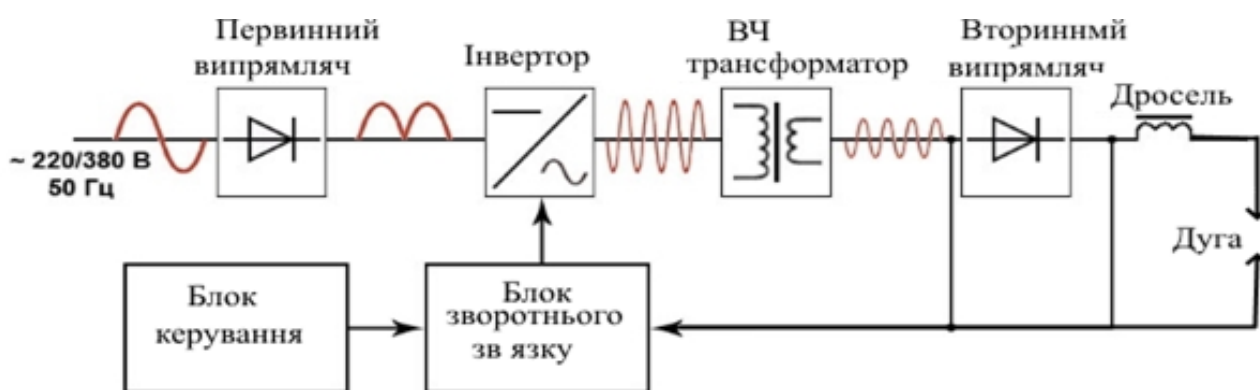


Рисунок 18 – Функціональна схема ДЖ постійного струму

Головне завдання формування необхідної зовнішньої характеристики ДЖ представляється як вибір способу регулювання і стабілізації струму навантаження - плазмової дуги. Зазвичай застосовується два способи регулювання: -по середньому значенню струму навантаження або по миттєвому значенню струму первинної обмотки [16]. При регулюванні середнього значення струму навантаження використовується зворотний зв'язок по напрузі на навантаженні, що дозволяє сформувати статичну характеристику практично будь-якого вигляду. Регулятор зі зворотним зв'язком за середнім струмом навантаження забезпечує більш високі характеристики по точності та має кращу заводостійкість у порівнянні з перетворювачем, в якому використовується зворотний зв'язок по миттєвому значенню струму первинної обмотки. Для оцінки можливостей побудови ефективного регулятора струму побудована схема, що наведена на рисунку 19.

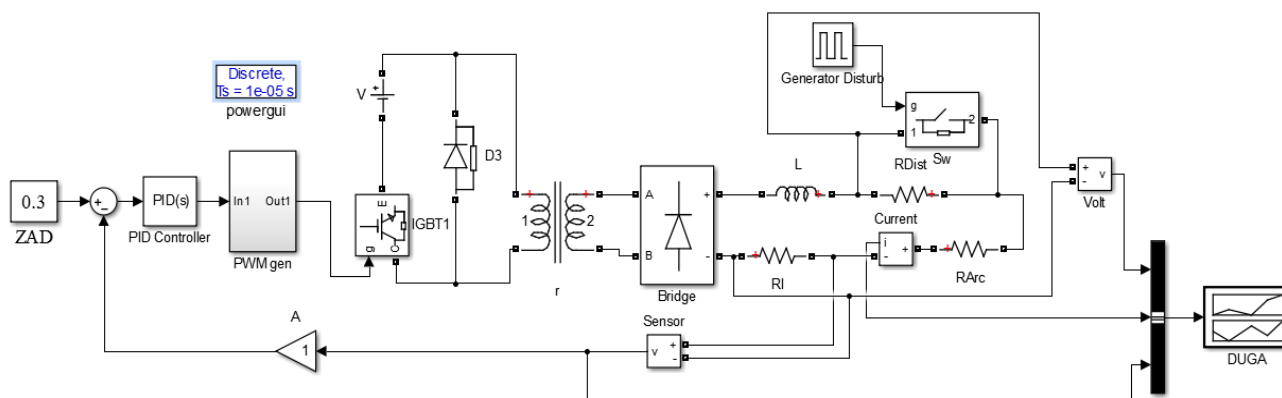


Рисунок 19 – Схема моделювання режимів плазмової дуги.

Схема містить тактний керований інвертор, давач струму дуги та симулятор збурень режиму стабілізації струму. Збурення режиму імітуються стрибкоподібними змінами опору дуги. Навантаження інвертора складається з мінімального опору дуги R_{arc} та опору дуги R_{dist} , що може змінюватись хаотично. Для стабілізації режиму передбачено ПІД регулятор, параметри якого налаштовуються відповідно до результатів ідентифікації параметрів об'єкту керування. Для стабілізації режиму дуги використовується зворотній зв'язок по струму, середні значення якого отримується в результаті обробки сигналу від давача струму. У разі потреби можна змінити частоту генератора широтно-імпульсного сигналу (ШІМ) та скважність імпульсів. Саме керування скважністю дозволяє змінювати режими плазмової дуги.

5. Результати моделювання установки плазмової різки

5.1 Режими функціонування плазмової дуги

Досліджуючи процес керування плазмовою дугою, розглянемо сигнали (рис. 19), що характеризують зміни струму та напруги дуги, в залежності від керуючої напруги. Відповідно до вибраної схеми керування, регулювання здійснюється за рахунок зміни тривалості імпульсу ШІМ (PWM). Частота генератора ШІМ може змінюватись за умовами експерименту. В умовах експерименту по оцінці ефективності керування в якості заданого значення струму дуги використовується детермінована керуюча напруга, яка має вигляд синусоїди. Ця напруга подається на вхід ШІМ генератора. При цьому дослідженні зворотній зв'язок в схемі, зображеній на рис. 19, розмикається.

Процес зміни струму дуги відповідно до зміни керуючого впливу на ШІМ генератор приведені на рисунку 20.

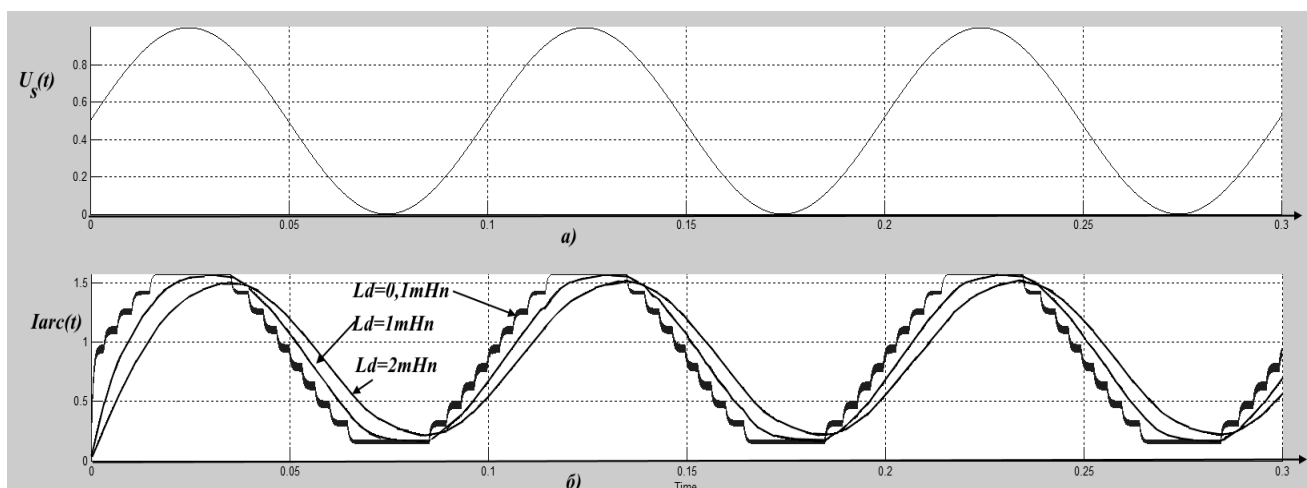


Рисунок 20 – Осцилограми керуючого впливу $U_s(t)$ (а)

– Осцилограми зміни струму дуги (б) для різних значень індуктивності дроселя

Із рисунків видно, що розмір пульсацій струму та напруги можна регулювати підбором значення індуктивності згладжуючого дроселя. Проте збільшення згаданої індуктивності призводить до погіршення динамічних властивостей керованої дуги, оскільки збільшується фазова (часова) затримка між керуючим впливом на реакцією струму дуги. Тому величина індуктивності вибирається компромісно, відповідно до прийнятних значень пульсацій струму та часової затримки. Оскільки

на даний момент точно визначити вплив параметрів інвертора на стійкість дуги та її динамічні параметри досить складно, то дані для проектування інвертора отримуються експериментально при налаштуванні параметрів стенду.

В наступному кроці моделювання досліджувались впливи збурень процесу на параметри плазмової дуги. Для цього в моделі (рис. 19) через певні проміжки часу шляхом комутації додаткового опору імітуються раптові зміни опору дуги.

Результати зміни напруги та струму наведено на рисунку 21. На рис. 21а показані імітація зміни опору дуги, наприклад, внаслідок зміни відстані між електродами.

На рис. 21б зображені зміни струму дуги при різних значеннях індуктивності дроселя інвертора.

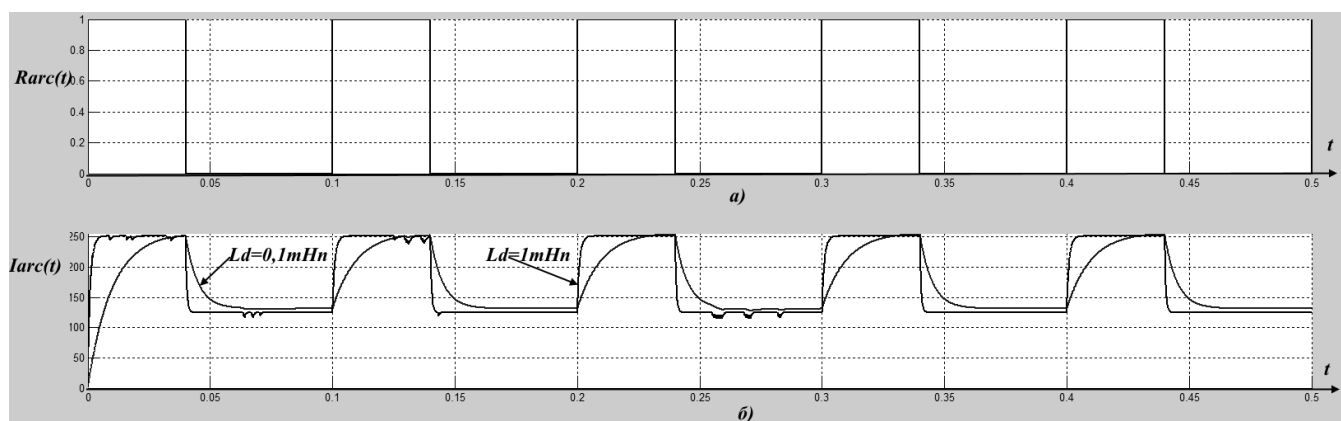


Рисунок 21 – Осцилограми опору дуги (а) та зміни струму дуги(б) для різних значень індуктивності дроселя

При включенні зворотного зв'язку по струму дуги та налаштуванні параметрів ПІД регулятора, який передбачено в схемі моделювання (рис. 19), значення струму дуги стабілізується. На рисунку 22 зображені осцилограми змін опору, напруги та струму дуги в схемі моделі в умовах дії збурень, при відключеному та включеному регуляторі. Дія ПІД-регулятора дозволяє забезпечити не тільки стійкість режиму утримання значення струму модельної дуги, але й мінімізувати стрибки напруги дуги, що виникають внаслідок індуктивного навантаження інвертора в момент зміни опору дуги (рис. 22б).

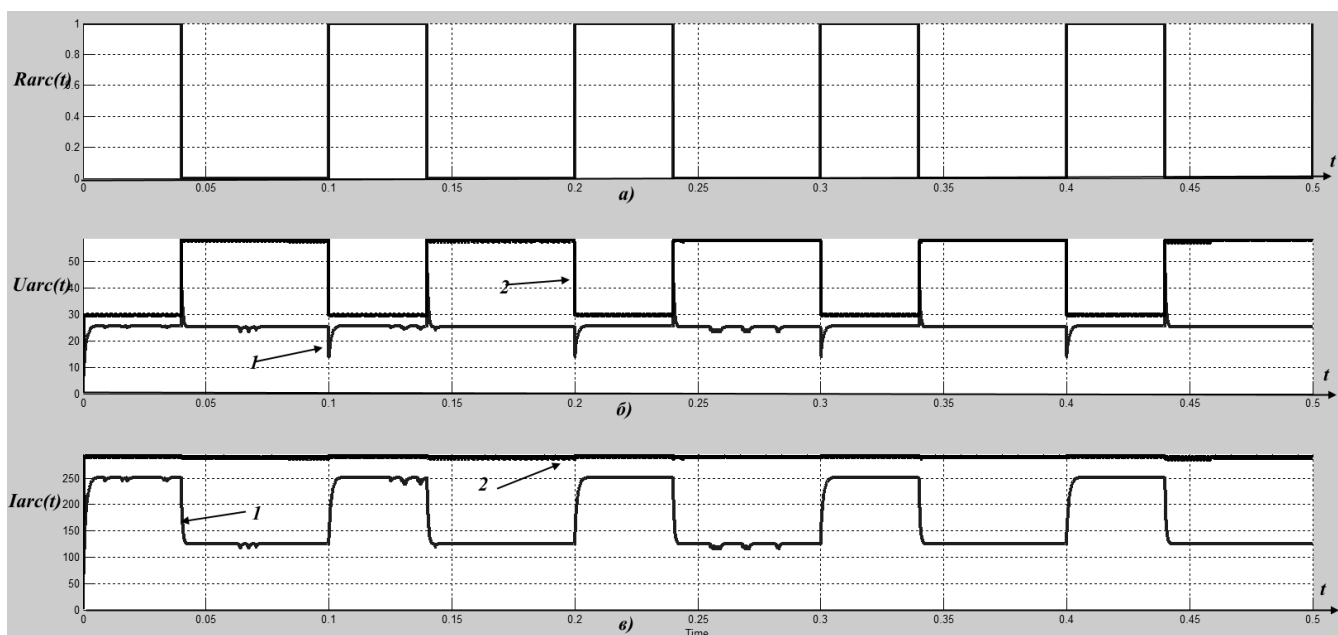


Рисунок 22 – Осцилограми опору дуги (а), напруги дуги(б) та струму дуги (в),
1– ПІД регулятор відключений; 2– ПІД регулятор включений

Для розробки вимог до ДЖ установки ПРМ здійснюється оцінка зовнішньої характеристики ДЖ. Цю характеристику схеми моделі (рис. 19) отримаємо в результаті зміни значення опору навантаження, зокрема опору дуги в діапазоні значень від 0.1 до 1 Ом в режимі стабілізації струму.

Осцилограми напруги та струму дуги, приведені на рисунку 22, ілюструють зміни напруги дуги (рис. 23а) при стабільному значенні струму (рис. 23б). Отримувані характеристики дозволяють побудувати зовнішню характеристику ДЖ, оцінювати її крутизну, а також оцінити ефективність стабілізації струму.

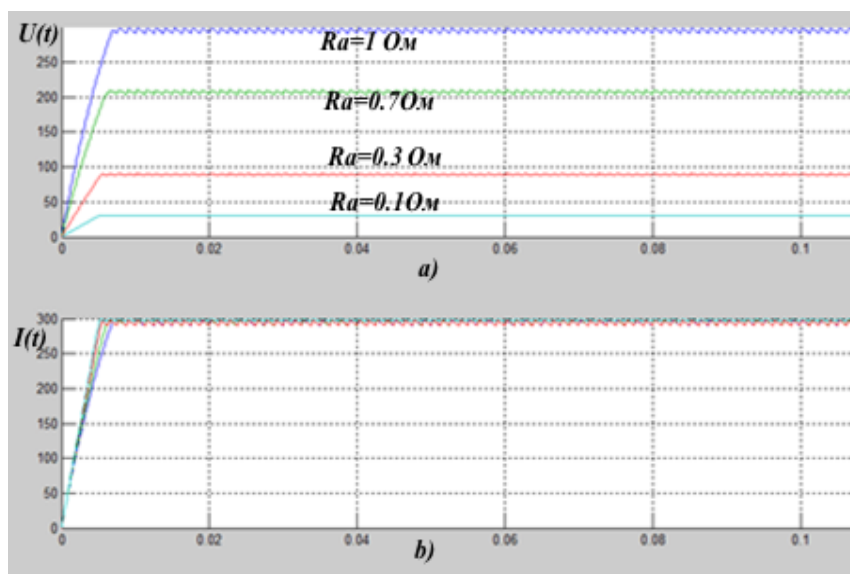


Рисунок 23 – Осцилограма напруги та струму дуги для різних навантажень

Моделювання режимів, які визначаються значенням опору навантаження показують, що з підвищенням цього опору, пов'язаного із збільшенням відстані між електродами, пульсації напруги дуги також підвищуються (рис. 23).

Розроблена модель може використовуватись для дослідження факторів, що визначають рівень пульсацій дуги, які впливають на стійкість дуги. Такими факторами є конструктивно-технологічні параметри дроселя інвертора, режими комутації ключових транзисторів на різних несучих частотах ШІМ.

З метою оцінки адекватності розробленої моделі побудовано експериментальний макет регулятора дуги з використанням мікропроцесорних засобів. Схема, що реалізує фізичну модель ПІД-регулятора зображена на рисунку 24.

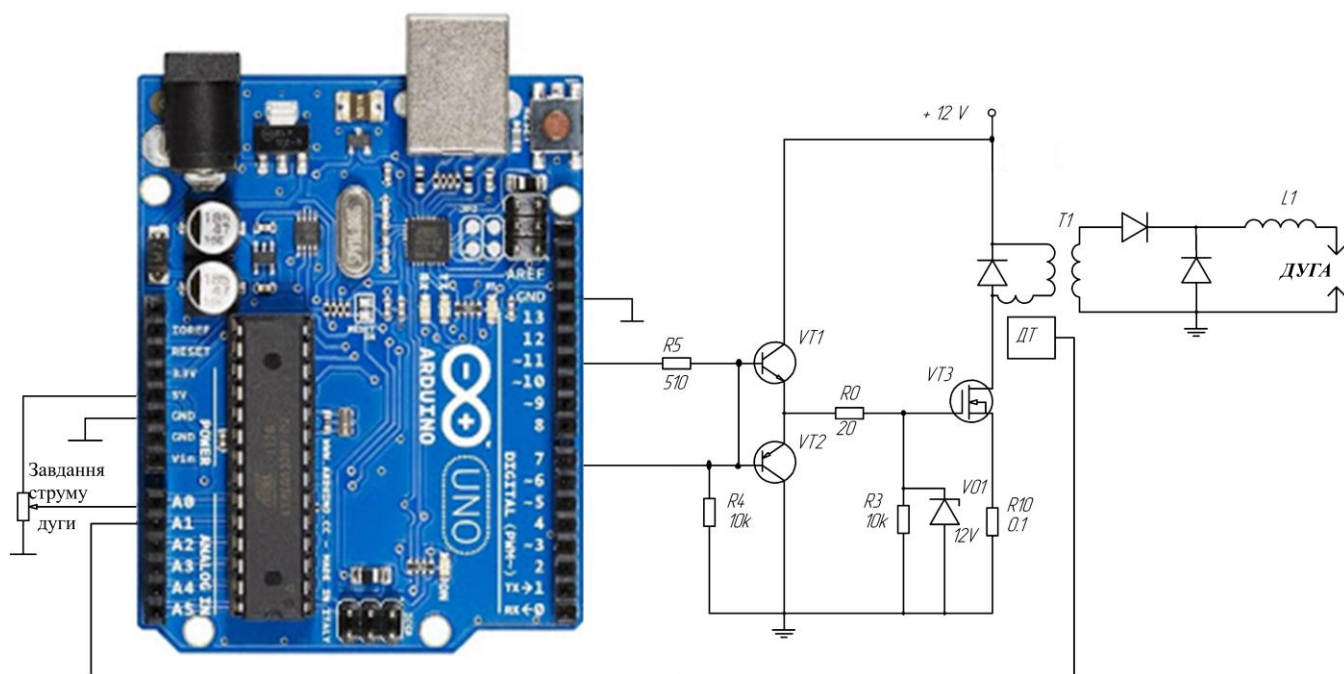


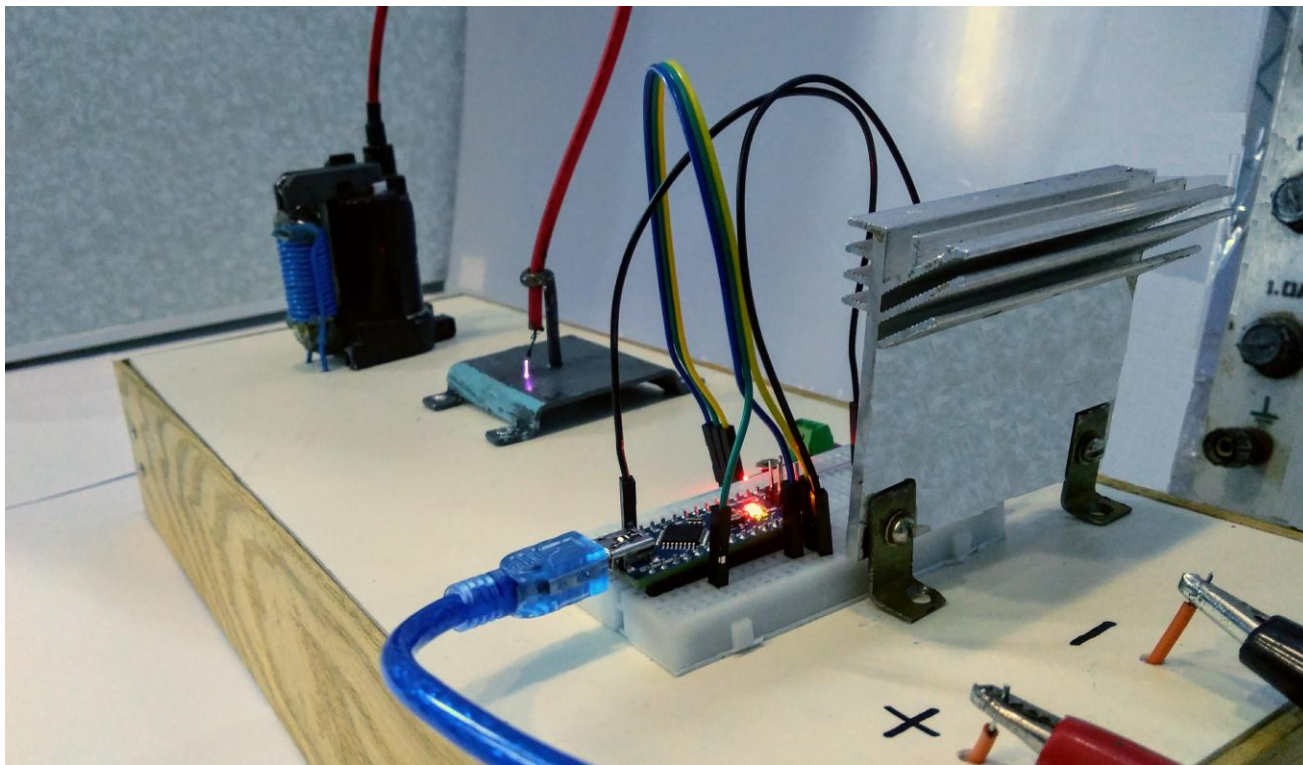
Рисунок 24 – Схема експериментального стенду для оцінки параметрів дуги.

В якості мікропроцесорного регулятора використовується платформа Arduino на основі мікроконтролера ATmega328. [17]. До складу пристрою Uno входить:

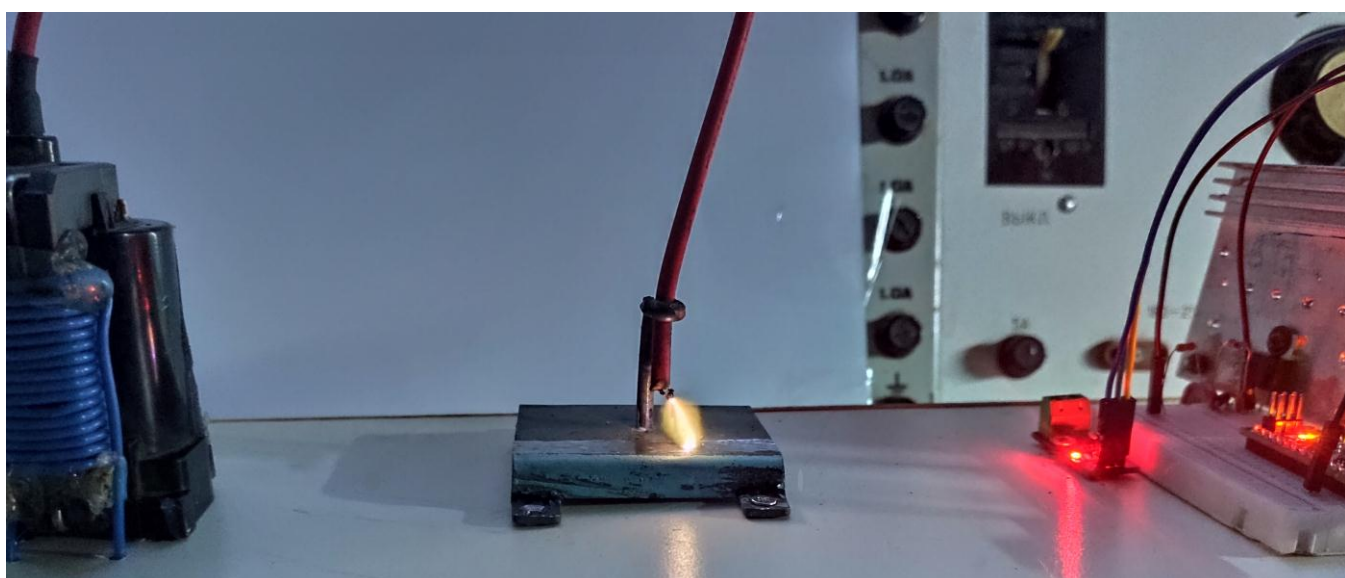
14 цифрових входів / виходів (з них 6 можуть використовуватися в якості ШІМ-виходів); 6 аналогових входів; кварцовий резонатор на 16 МГц; роз'єм USB; роз'єм живлення; роз'єм для внутрисхемного програмування (ICSP) і кнопка скидання.

В залежності від струму дуги, що вимірюється давачем струму ASC-712 [18], генератор ШІМ сигналу, вмонтований в мікропроцесор Arduino, видає керуючий

сигнал для інвертора. Цей інвертор через трансформатор, як і в схемі моделювання, зв'язаний з електродами дуги. На рисунку 25 показано зовнішній вигляд експериментального стенду (а) та дуга (б), що генерується на електродах пристрою.



а)



б)

Рисунок 25 – Зовнішній вигляд експериментального стенду

а) – апаратна частина;

б) – плазмова дуга

На рисунку 26 а) показана осцилограма, що відображує струм дуги в умовах дії збурень та завад в процесі генерації плазмової дуги, а на рисунку 25 б) відображено результат стабілізації струму дуги завдяки дії мікропроцесорного регулятора режиму дуги.

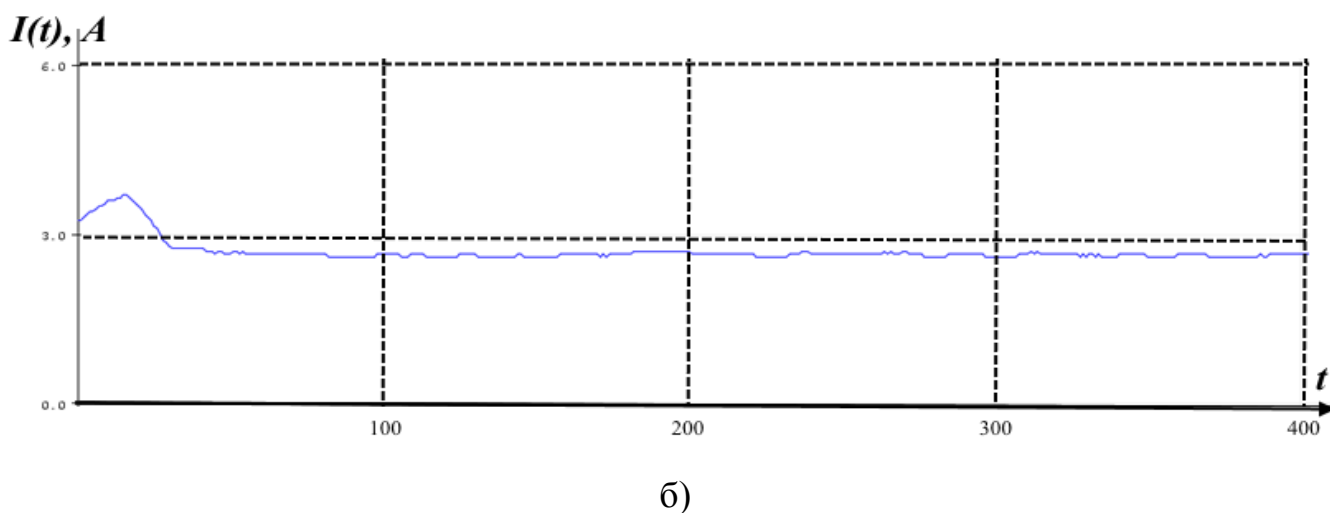
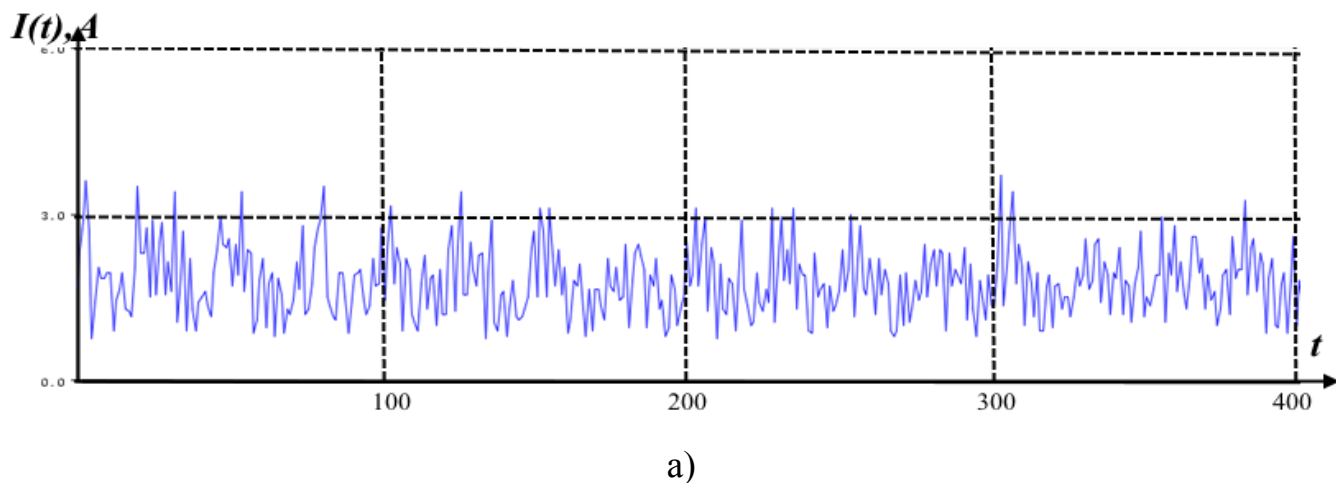


Рисунок 26 – Осцилограми струму дуги

з відключеним(а) та включеним(б) стабілізатором струму

Побудова апаратних засобів установки плазмового різання

Експериментальний макет регулятора

5.2 Режими позиціонування електроприводу на базі КД

Завдання моделювання позиціонування електроприводу [19] зв'язані з оптимізацією його системи керування по критеріям динаміки перехідних процесів в різні моменти зміни режимів процесу різання.

Дослідження моделі електроприводу на базі КД [20] здійснюється з метою знаходження оптимальних режимів відпрацювання заданої траєкторії модулю переміщення порталу. Після введення параметрів КД типу NT57STH76 (Табл. 1), отримуємо осцилограми зміни параметрів моменту, що розвиває КД, швидкості обертання валу та його кута повороту. Саме кут повороту валу визначає відстань, на яку переміщується різак з допомогою шестерні та зубчастого ремня.

На рисунку 26 а, б, в показано характер зміни вихідних параметрів електроприводу при зміні частоти перемикаць обмоток, що відповідають закону перемикання, зображеному на рис.16.

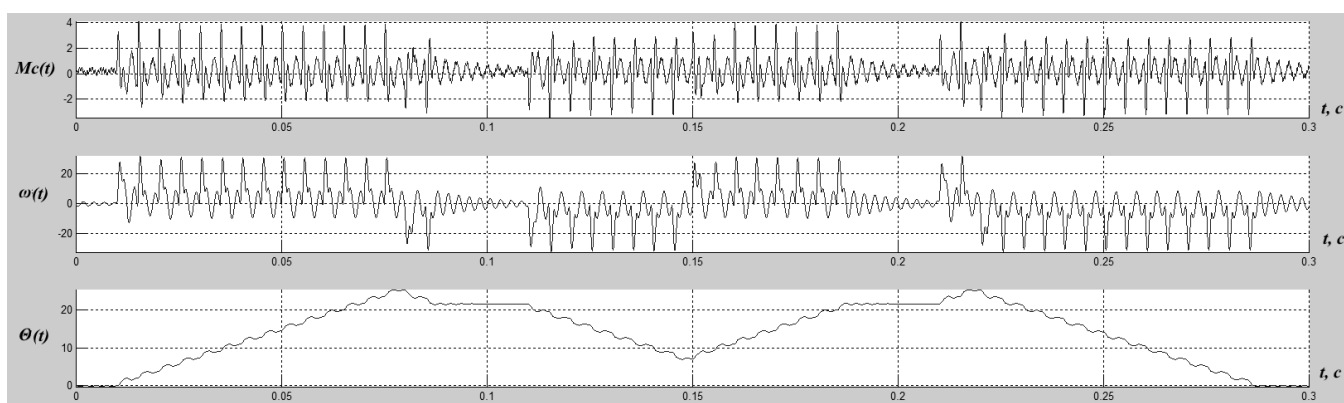


Рисунок 26 а – Осцилограми параметрів при частоті перемикаць 200 кр/с

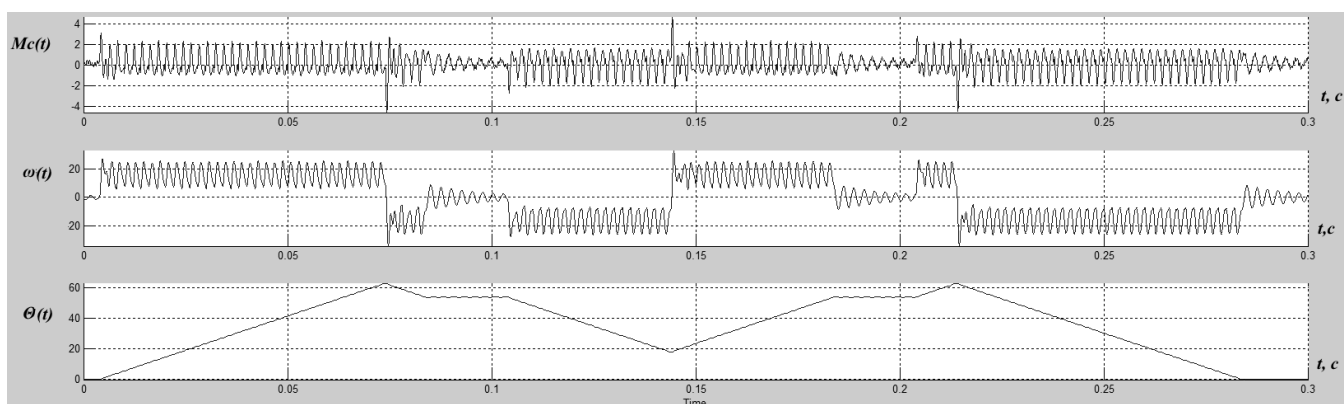


Рисунок 26 б – Осцилограми параметрів при частоті перемикаць 500 кр/с

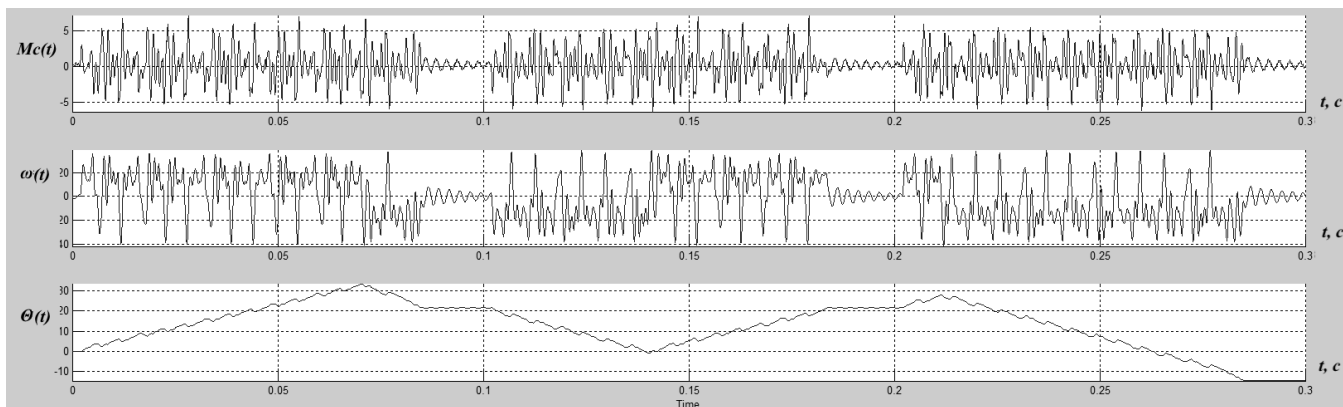


Рисунок 26 в – Осцилограми параметрів при частоті перемикань 1000 кр/с

Для моделювання в параметрах драйвера задано струм фази обмотки КД дорівнює **2,8А**. Із рисунків видно, що на низьких частотах (200 кр/с і менше) та на високих частотах (600 кр/с і вище) спостерігаються стрибки в переміщенні валу, відповідно змінюються значення кута повороту, який відпрацьовується електроприводом при певній частоті комутації.

Порівняльні графіки зміни кута повороту при зміні частоти перемикань показано на рис. 27.

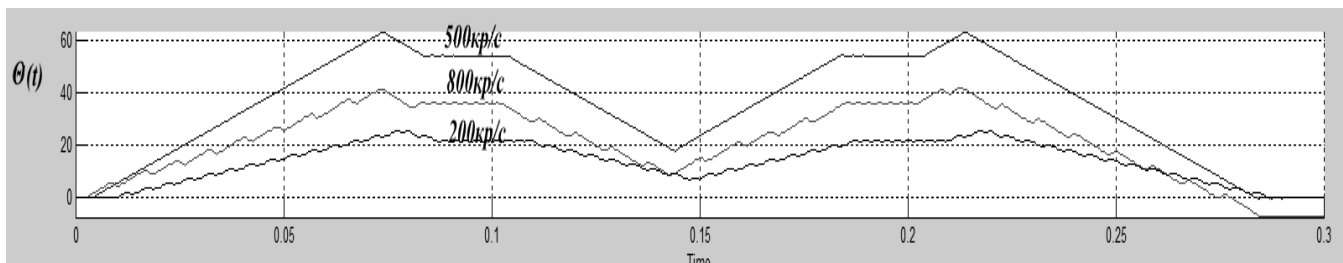


Рисунок 27 – Вплив частоти перемикань на динаміку відпрацювання кута повороту

Розглядаючи значення моменту КД в різних режимах його роботи, зазвичай припускають, що час досягнення струмами обмоток сталих значень багато менше, ніж час відпрацювання кроку ШД, тому в межах кроку струми можна вважати постійними. Однак при високих частотах комутації струми в обмотках можуть не досягати сталих значень, внаслідок чого електромагнітний момент M_E КД зменшується. Щоб забезпечити працездатність електромеханічних систем, частоту перемикань КД вибирають таким чином, щоб забезпечити момент, що перевищує момент навантаження M_c у всіх режимах роботи системи.

6. Побудова апаратних засобів блоку живлення плазмової дуги

В розділі 5.1 ми провели дослідження режимів роботи дуги, використовуючи математичну модель в середовищі Matlab. Також перевірили результати досліджень на адекватність, за допомогою експериментального стенда, що був розроблений та побудований на базі «проблемної лабораторії системотехнічних досліджень КСУ». Даний стенд працює за принципом, високовольтної вихідної напруги (3 кВ), це дало змогу отримати малопотужну дугу, яка дала можливість перевірити ефективність роботи регулятора. Таким чином, був отриманий працездатний алгоритм роботи, блоку керування силового інвертора.

Для того, аби побудувати реальний блок живлення плазми, застосуємо принцип низьковольтної вихідної напруги (25-40 В). Цей метод відповідає стандартній теорії зварювання, та різки і дасть можливість отримати потужну плазмову дугу з виділенням великої кількості тепла, якого буде достатньо для швидкого розрізання сталі. Для розрізання сталі плазмою, технологія вимагає підтримку струму дуги від 40 до 120 А, в залежності від товщини металу. Тому для забезпечення такого струму необхідно цілий каскад потужних IGBT транзисторів. Згенеруємо схему силової частини інвертора рис 28. В схему були включені оптичні розв'язки для захисту мікропроцесорного блоку керування інвертором.

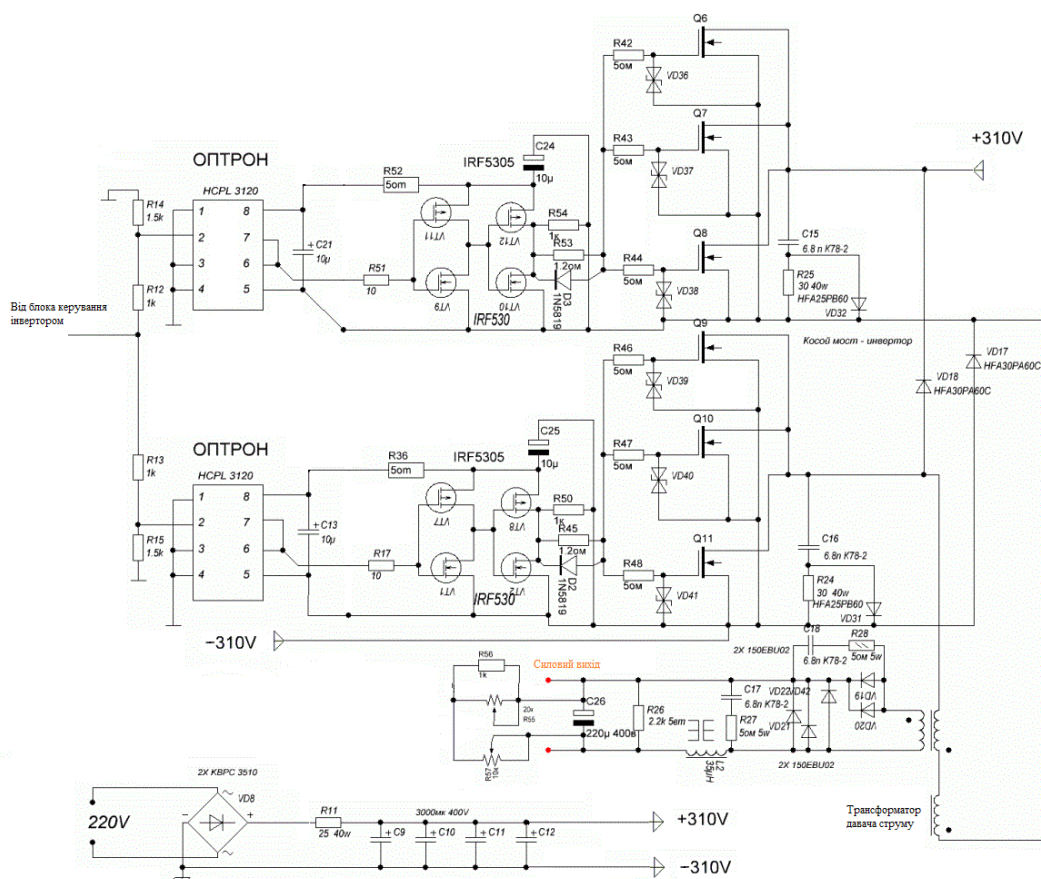


Рисунок 28 Електрична схема силової частини інвертора

7. Побудова апаратно програмних засобів установки плазмової різки

У забезпечення заходів по підвищенню ефективності функціонування обладнання ПРМ розроблено апаратно-програмний комплекс керування процесом. До складу комплексу входить персональний комп'ютер (ПК) із базовим програмним забезпеченням ArtSoft Mach3. Це забезпечення дозволяє реалізувати функції установки з допомогою сенсорного екрану (Touch screen). Контроль за функціонуванням обладнання здійснюється на базі повноекранного інтерфейсу через вікно відеоспостереження.

Периферійні пристрої через плату інтерфейсу mach3 підключаються до паралельного порту IEEE 1284. Блок керування режимами (БКР) реалізовано на базі ПЛК ОВЕН, до якого підключені датчі та блок живлення дуги (Інв).

Керування траєкторії переміщення різачка здійснюється відповідно до імпортованих файлів DXF, BMP, JPG и HPGL з допомогою електроприводу, побудованого на крокових двигунах типу Nema 23 із вмонтованим енкодером.

Відповідно до сформованих принципів розбудови електропривода модуля переміщення різачка (рис. 9), розроблена схема, зображена на рис. 27.

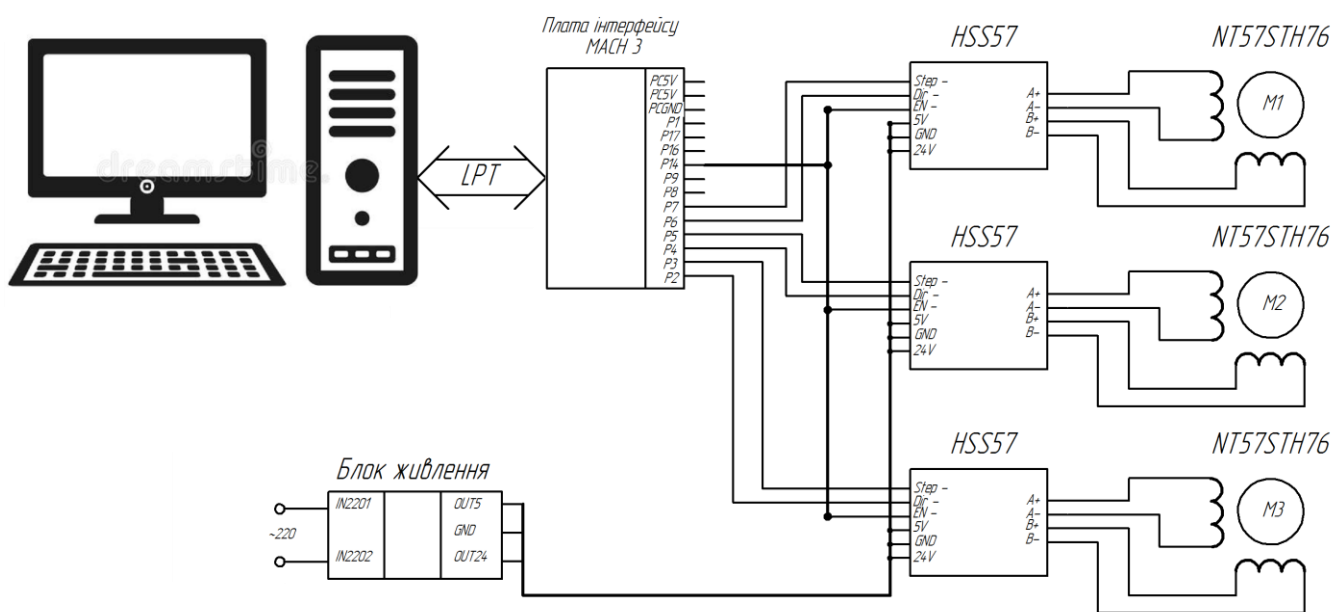


Рис. 29 – Схема електроприводу модулю переміщення різачка

Зовнішній вигляд приводу модуля переміщення різачка показано на рис. 30.

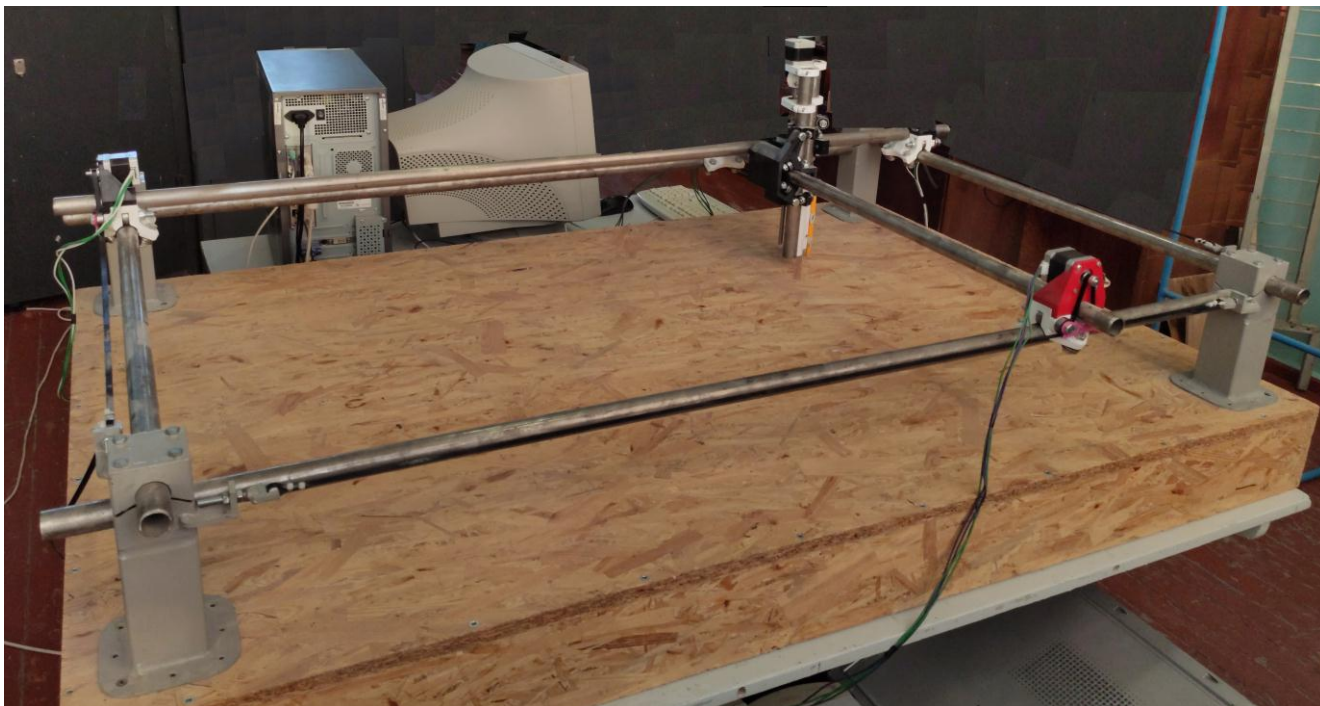


Рис. 30 – Зовнішній вигляд приводу позиціонування

Формування фазних струмів КД здійснюється з допомогою драйверів, які завдяки наявності енкодера положення валу КД дозволяють запобігти пропусканню кроків переміщення.

Характеристики модуля [21]

Піковий струм: 6.0А; Логічний вхідний струм: 7~20Ма; Частота: 0~200КHz ;

Кількість ліній енкодера: 1000

Вага: 560г.

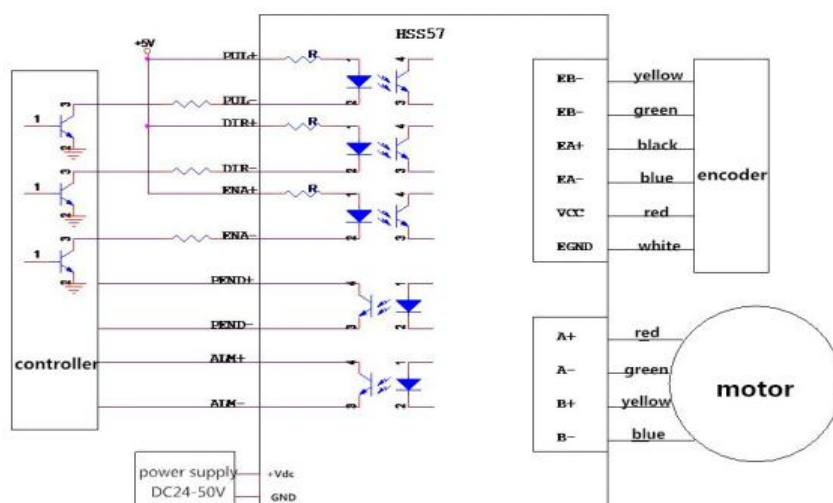


Рис. 31– Схема підключення Драйвера HSS57

Переміщення порталу різачка, здійснюється згідно сигналів, що надходять по LPT інтерфейсу із програмного блоку, в якому розміщені програмний додаток ArtSoft Mach3, в драйвери КД.

Приймаючи до уваги необхідність забезпечення точності позиціонування та динаміки переміщення платформи із різачком, досліджувався вплив різних параметрів системи керування на динамічні показники електроприводу модуля переміщення різачка. Звертаючись до залежності характеру зміни кута повороту від частоти комутації, встановлено, що при заданих параметрах КД існує певна частота комутації струмів в обмотки КД, при якій досягається найбільший момент обертання, що може забезпечити вибраний КД.

Для зняття динамічних характеристик приводу модуля переміщення різачка задається відстань переміщення платформи S та момент навантаження M . (Рис. 32)

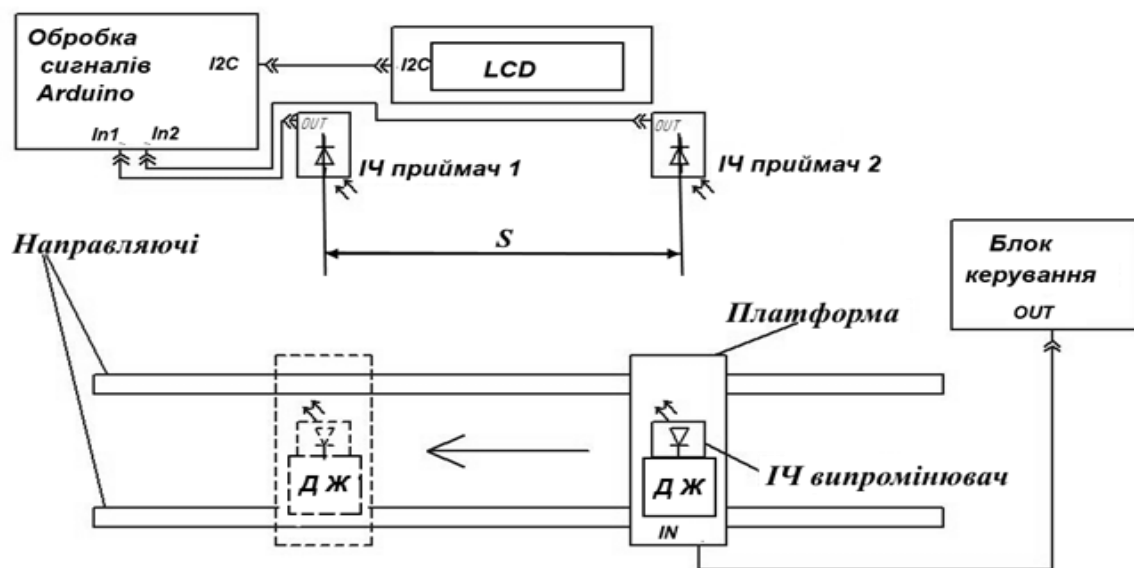


Рис. 32 – Схема вимірювань проміжків часу при переміщенні платформи.

ДЖ – джерело живлення; LCD – індикація часового відрізка.

Експериментальне визначення частоти перемикачів, при якій досягалась найбільша швидкість переміщення платформи, відповідала значенню 500Гц, в той час для розробленої моделі модуля це значення складало 550Гц (рис.27), а паспортна характеристика (рис.33) вказує на можливість стабільної роботи 750Гц.

Не виключено, що ці розходження пов'язані якістю виготовлення конструктивних елементів модуля переміщення різачка (люфтів та неврахуванням тертям).

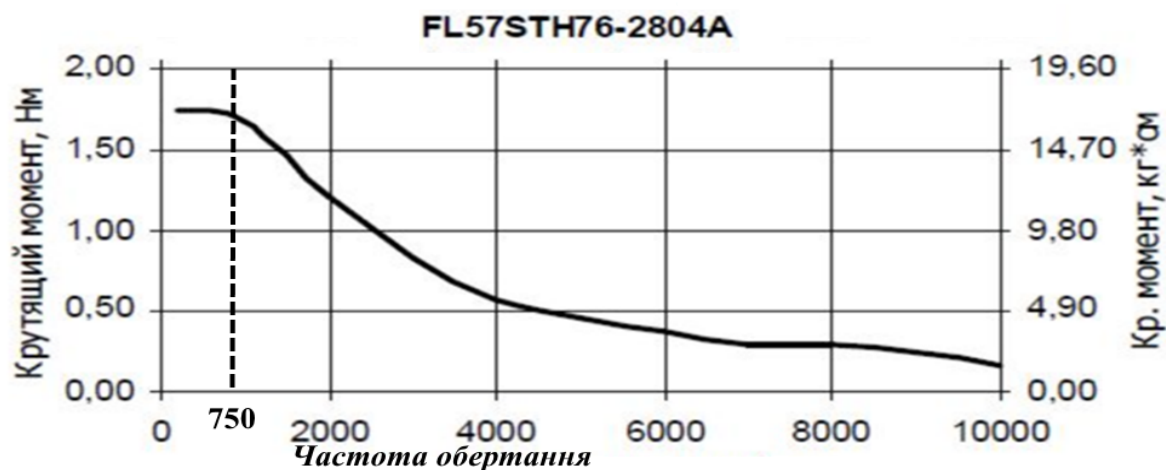


Рис. 33 — Моментна характеристика КД FL57STH76-2804A

Дослідження точності позиціонування проводилось шляхом порівняння нанесеного на підкладку креслення деталі та фактичних траєкторій, отриманих в результаті переміщення модуля з маркером (Рисунок 34).

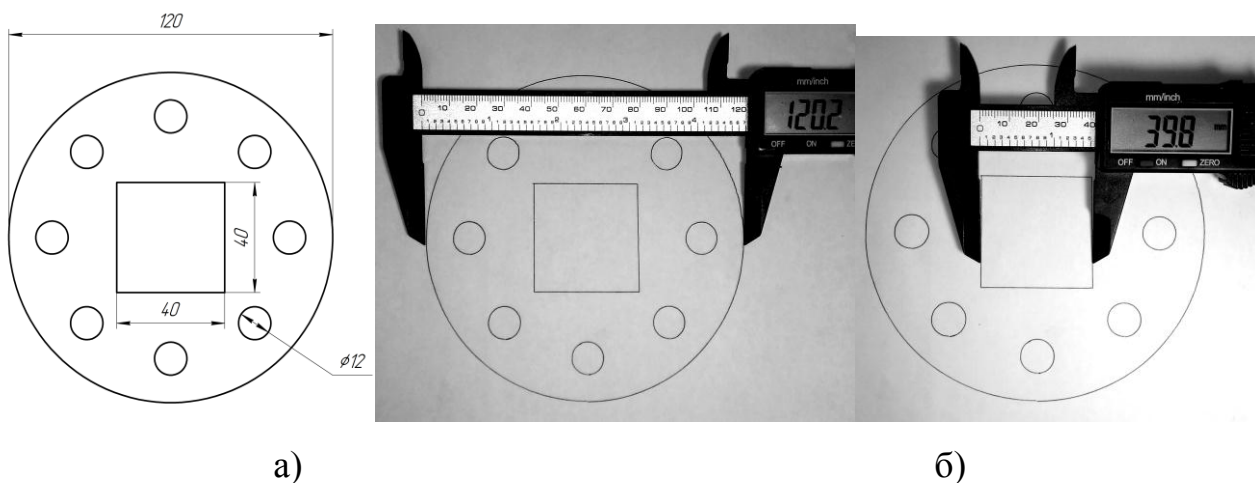


Рисунок 34 – Задані *а)*, та фактичні *б)* траєкторії переміщення різачка

Результати випробувань показали, що на різних швидкостях переміщення модуля з маркером та різних значеннях маси навантаження модуля похибка позиціонування мала значення від 2 до 5%.

Слід зазначити, що не дивлячись на значну швидкість переміщення платформи, яка свідчить про достатній запас по крутному моменту КД, при певних значеннях навантажень, тобто момента опору, об'єкт втрачає динамічні параметри. Це обумовлює пошук компромісів між удосконаленням конструкції модуля та параметрами системи керування. Можливість таких компромісів визначається властивостями режимів утримання плазмової дуги, які на даний час ще недосліджені.

Аналіз недоліків конструкції.

В ході експериментальних досліджень було виявлено, що установка втрачає точність при змінах напрямку руху по осях. Після аналізу проблеми було виявлено, причину викривлення траєкторій. За допомогою дослідів з'ясовано, що позиціонування положення вала крокового двигуна реалізовано на високому рівні і чітко відповідає заданим координатам. Точність втрачається при зміні напрямку через люфти у гвинтових передачах та направляючих. Є декілька варіантів вирішення проблеми. Перше, це зменшення люфтів за рахунок заміни старих передач, та направляючих на більш якісні. Але по-перше така заміна економічно не вигідна, по-друге будь-які направляючі мають люфт, який збільшується в процесі експлуатації. Друге, це застосування лінійних енкодерів зворотнього зв'язку. Лінійні енкодери дають змогу безпосередньо зчитувати

координату різачка, при чому всі люфти при цьому не впливають на якість позиціонування. Це дає можливість зменшити вимоги до механічних передач, цим самим здешевити



Рисунок 35 Зовнішній вигляд лінійчатих енкодерів

конструкцію. Тому, для вдосконалення конструкції більш раціонально, було б обрати другий варіант.

Висновки.

1. Розроблена модель електромеханічного перетворювача для модуля переміщення різачка на базі крокового двигуна в пакеті імітаційного моделювання MATLAB/Simulink.

2. В результаті дослідження моделі модуля переміщення отримані динамічні характеристики, що дає змогу налаштування параметрів блоку керування електроприводом модуля переміщення.

3. Аналіз експериментальних даних підтверджує адекватність розробленої моделі електроприводу модуля переміщення різачка дуги

4. Показана можливість використання моделі «ДЖ– плазмова дуга» при розробці ПД регулятора параметрів плазмової дуги, що визначає режими комутації ШІМ генератора.

5. Дані, що отримані в результаті досліджень режимів функціонування плазмової дуги дозволяють не тільки підвищити рівень стійкості дуги, але оптимізувати енергозберігаючі параметри джерела живлення та режими комутації інвертора дуги.

Основні наукові результати роботи.

Отримані результати побудови системи електроприводу модуля переміщення різачка дозволили реалізувати апаратно-програмні засоби, які забезпечують точність позиціонування модуля переміщення різачка.

Ці результати можуть бути використані при проектуванні систем керування паралельною роботою декількох крокових двигунів в різних галузях промисловості.

Дослідження засобів керування електричними дуговими апаратами дають змогу оптимізувати режими утримання плазмової дуги та вдосконалити режими комутації, що забезпечують енергозбереження процесу плазмової різки

Список літератури

1. Васильев А.Н. Сравнительные исследования воздушно-плазменной и кислородно-плазменной резки/А.Н. Васильев, В.В. Внук, В.И. Зиновьев, Т.В. Котыкина // Известия МГТУ «МАМИ». – 2014. – № 2(20), т. 2. – С.13–17.
2. Жумалиев Ж. М. Разработка технологии плазменной резки металлов на базе установки АПР-404./ Ж. М. Жумалиев, М. К. Сопоев, Т. М. Осмонов // Известия КГТУ им. И.Раззакова. – 2018. – №46. – С.40 –49.
3. Васильев К.В. Плазменно- дуговая резка.–Москва.– Машиностроение.– 1974–111с.
4. Павлов Н. В. Оптимизация режимов плазменной резки конструкционных материалов/Н. В. Павлов, Ю. А. Безменов // Инновационные технологии в машиностроении: сборник трудов IX Международной научно-практической конференции. –2018. – Юрга.– Томск : Изд-во ТПУ. — С. 36-38.
5. Сумец А. В. Основные направления повышения эффективности плазменной резки. –2016. – Научный вестник ДГМА. – № 3 (21Е). – С.33 –37.
- 6. Кулінченко Г.В., Ланчинський В. Г. Завдання керування процесом плазмової різки VII Міжнародна науково-практична інтернет-конференція 6-7 червня 2019 року м. Дніпро [http:// www.wayscience.com](http://www.wayscience.com)**
7. Доброскок В.Л., Гаращенко Я.Н., Воронков В.И., Калиберла М.А. Модернизация установки для плазменного раскроя листовых заготовок мод. «ХАРЬКОВ-П». ISSN 2078-7499 –2014. – Сучасні технології в машинобудуванні. – вип. 9. – С.33 –48
8. Глебов И.Т. Учимся работать на фрезерном станке с ЧПУ. – 2015. – Екатеринбург. –УГЛТУ. –115 с.
9. Жарин А.Л., Тявловский А.К., Гусев О.К., Воробей Р.И., Свистун А.И. Однопроцессорная система управления трехкоординатным перемещением на основе шаговиз двигателей . –Известия ТулГУ. Технические науки. – 2012. – Вып. 12. Ч. 1. – С.56 –66
10. Morar A. Stepper Motor Model for Dynamic Simulation // IEEE Transc. Automatic Control.- 2003.- Vol. 44. №2.-PP. 117-122

11. Шаговые двигатели Nema 23 [Электронный ресурс]: Справочник шаговых двигателей ГОСТ 7396.1-89 от 10.08.2012 // Режим доступа [http:// shagovik.ru/stepper%20motors/stepper%20motor/](http://shagovik.ru/stepper%20motors/stepper%20motor/)

12. Головченко В.С., Доброленский В.П., Мисюрин И.П. Тепловая резка металлов в судостроении. – Ленинград: Судостроение, 1975. – 272 с.

13. Кулинченко Г.В., Ланчинский В. Г. , Зборщик А.П Стабилизация поля электрической дуги при плазменной резке. XVIII Міжнародна науково - технічна конференція «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів». - Кременчук.-2019.-С. 17-19.

14. Сидоренко В.Н., Пентегов И. В. Детерминированный хаос в нелинейных цепях с электрической дугой. –Киев: Международная ассоциация «Сварка», 2013. – 272 с.

15. Сварка в машиностроении / Под ред. Акулова А.И. – Москва. – Машиностроение. – 1978. – 462 с.

16. Петров С. Методы регулирования и стабилизации тока нагрузки сварочных инверторов. // Силовая Электроника. №4.–2008. –С.67–73

17. <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Uno>

18. <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/168326/ALLEGRO/ACS712/>

19. Кухарчук В.В., Усов В.В. Математичні моделі крокового двигуна як об'єкта контролю //Вісник КДПУ. –2006.–Вип.3(39) част.1. – С.106-109

20. Денисов В.А., Жуков А.В. Математическое моделирование работы шагового двигателя в составе мехатронного модуля компенсации износа режущего инструмента// Известия Самарского научного центра Российской академии наук. –2012. – т. 14. –№6. –С.54–58

21. Mach3 CNC Controller Установка і конфігурування [Электронный ресурс]. 2008. – Режим доступа до ресурсу: <http://stanokplazma.ru/text/mach.pdf>.

22. <http://cncdrive.com/datasheets/HSS57.pdf>

23. Базове налаштування MACH3 [Электронный ресурс] - 2013.– Режим доступа до ресурсу: <http://wiki.purelogic.ru/index.php?title=%D0%91%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%>

B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BD%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE
%D 0%B9%D0%BA%D0%B0_MACH3