



KATEDRA AUTOMATYKI, BIOMECHANIKI I MECHATRONIKI



Laboratorium Automatyki

Zawartość:
OPRACOWANIE TEORETYCZNE
INSTRUKCJA ĆWICZENIOWA

Laboratorium Mechatroniki

TEMAT:

Pokaz systemu mechatronicznego.

ZAKRES:

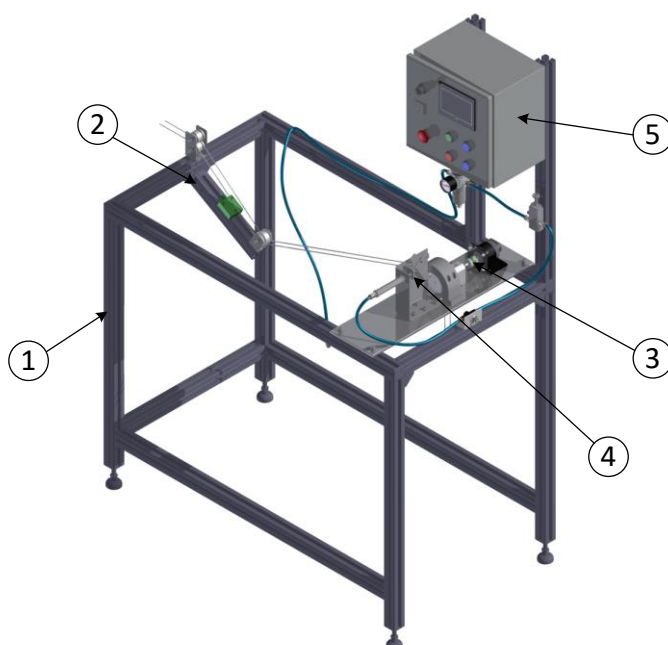
Zapoznanie się z praktyczną realizacją systemu mechatronicznego, na podstawie automatu do konfekcjonowania cięgien kulkowych oraz obserwacja pracy silnika krokowego przy różnych strategiach sterowania.

Przygotował: mgr inż. Adam Wijata
Aktualizacja: 12.12.2016
wersja: 1.0

1. Wprowadzenie

Automat do konfekcjonowania cięgien kulkowych, który będzie przedstawiony podczas ćwiczenia jako przykład urządzenia mechatronicznego, został zbudowany w ramach pracy magisterskiej na kierunku Mechatronika na Wydziale Mechanicznym przez mgr. inż. Radostawa Kępińskiego. Praca dyplomowo zatytułowana jest „Zaprojektować i zbudować stanowisko laboratoryjne, oparte o koncepcję automatu do konfekcjonowania cięgien kulkowych” i została obroniona w 2012 roku. Promotorem pracy był dr hab. inż. Donat Lewandowski, prof. nadzw. Pł.

Cięgna kulkowe są powszechnie wykorzystywane do napędzania rolet oraz żaluzji. Są one produkowane na wtryskarce. Omawiany automat został zaprojektowany w taki sposób, aby odbierać cięgna ze wtryskarki a następnie ciąć je na segmenty określonej długości. Poglądowy model stanowiska zaprezentowany jest na Rys. 1.



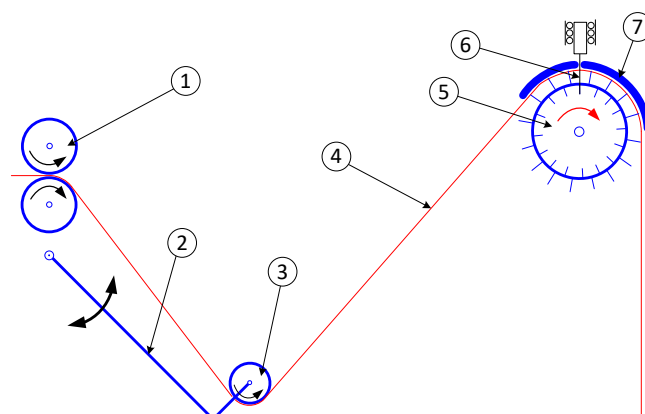
Rys. 1 Kompletny model stanowiska (1 – rama nośna, 2 – układ napinający, 3 – układ napędowy, 4 – układ tnący, 5 – szafa sterownicza)

2. Budowa i zasada działania stanowiska

2.1. Układ mechaniczny

Cięgno z wtryskarki podawane jest do urządzenia poprzez dwie obrotowe rolki prowadzące, których zadaniem jest utrzymać je w jednej płaszczyźnie. Znajdująca się obrotowym ramieniu napinacza rolka ma natomiast za zadanie zlikwidować luz w układzie podającym cięgno. Główną częścią układu jest koło napędowe. Składa się ono z umieszczonych naprzemiennie po obwodzie płytek i rowków. Odstępy pomiędzy nimi są równe podziałce cięgna (4 mm). Metalowe płytki na obwodzie koła pozwalają na zabieranie kolejnych kuleczek, a ruch cięgna w pozostałych kierunkach jest ograniczony przez obudowę koła napędowego, w której wyżłobiono rowki prowadzące cięgno. Koło jest obracane silnikiem krokowym. Rowki w kole napędowym są miej-

scem wykonywania cięcia – porusza się w nich nóż. Jest on zamocowany w prowadnicy tocznej i napędzany siłownikiem pneumatycznym. Schemat kinematyczny urządzenia przedstawia Rys. 2.



Rys. 2 Schemat kinematyczny urządzenia (1 – rolki prowadzące, 2 – ramię napinacza, 3 – rolka napinająca, 4 – cięgno, 5 – koło napędowe, 6 – nóż, 7 – prowadnica cięgna)

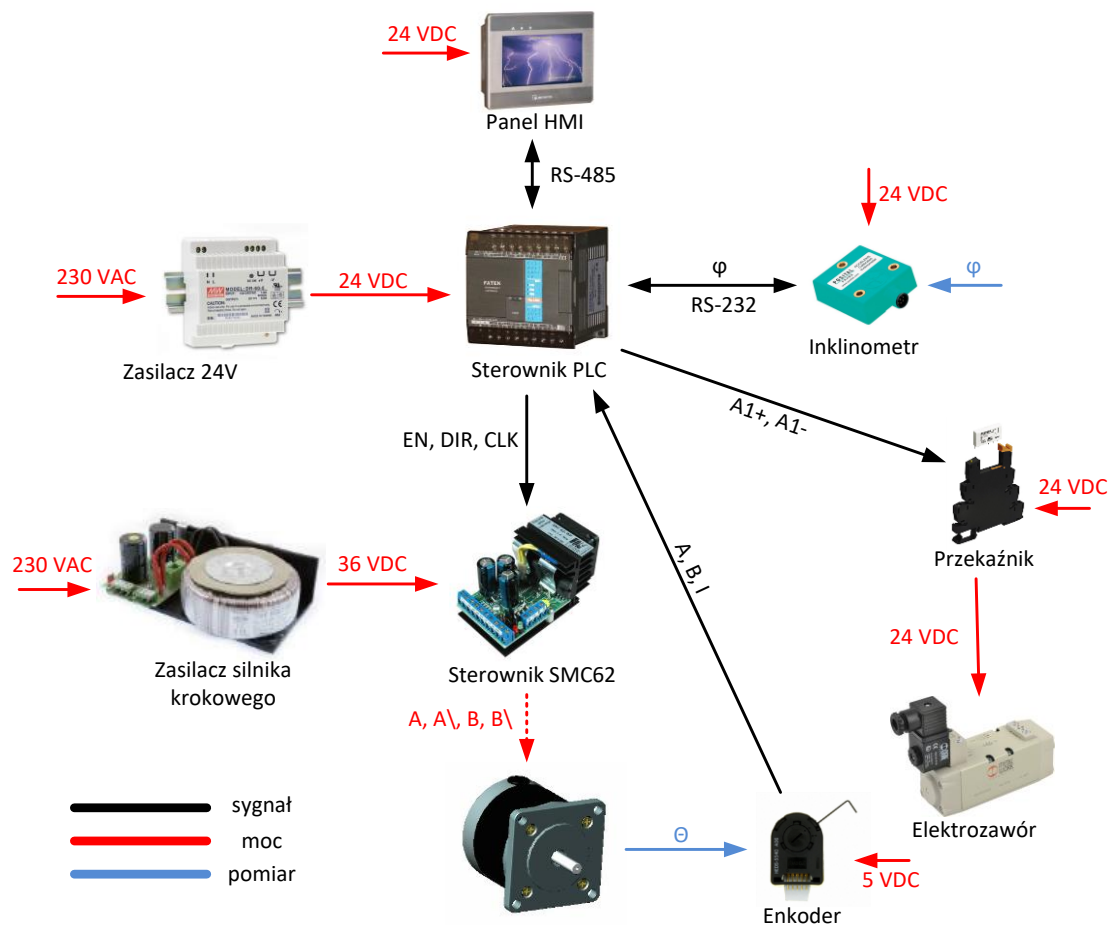
2.2. Układ sterowania

System sterowania składa się z kilku współpracujących urządzeń:

- a) silnika krokowego,
- b) sterownika silnika,
- c) sterownika PLC,
- d) panelu operatorskiego,
- e) enkodera inkrementalnego,
- f) inklinometru pojemnościowego.

Jego głównym zadaniem jest regulacja prędkości taktowania silnika krokowego w zależności od położenia kąowego rolki napinającej cięgno. Dzięki zastosowaniu regulacji PID, układ sterowania dąży do zachowania stałego położenia rolki (operator ma możliwość podania wymaganego kąta). Wychylenie rolki oraz położenie wału napędowego jest na bieżąco mierzone i służy jako sprzężenie zwrotne dla układu sterowania.

Uproszczony schemat przedstawiający elementy układu sterowania i ich wzajemne połączenia został przedstawiony na Rys. 3.



Rys. 3 Schemat układu sterowania

Urządzenie jest zasilane z sieci energetycznej napięciem 230[V]. System posiada dwa zasilacze: zasilacz stabilizowany 24[V] dla układów logiki i czujników oraz zasilacz niestabilizowany 36[V] do silnika krokowego. Dwustronną komunikację pomiędzy sterownikiem a operatorem zapewnia panel operatorski z ekranem dotykowym podłączony przez interfejs RS-485.

Za podawanie napięć na uzwojenia silnika odpowiada sterownik SMC62. Sterowanie silnikiem odbywa się poprzez szybkie wyjścia impulsowe sterownika PLC. Obsługiwane są sygnały: zezwolenie na ruch (**EN**), kierunek obrotów (**DIR**) oraz sygnał taktujący (**CLK**). Informacja zwrotna na temat położenia kąowego wału silnika jest przekazywana przez trzykanałowy optyczny enkoder inkrementalny, którego impulsy są zliczane przez sprzętowe liczniki PLC.

Prędkość obrotowa silnika jest wyliczana na podstawie informacji zwrotnej z inklinometru pojemnościowego, który przekazuje do PLC wartość kąta wychylenia rolki w postaci cyfrowej poprzez interfejs RS-232. Możliwa jest zmiana nastaw czujnika poprzez wysłanie do niego odpowiednich komend.

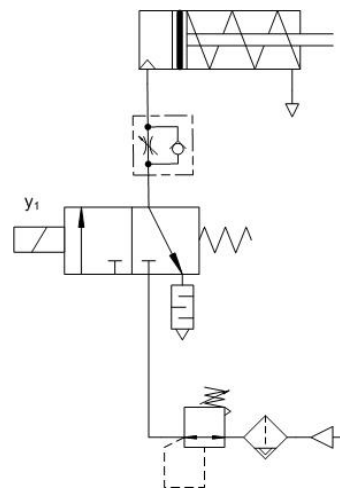
Ostatnim elementem jest przekaźnik prądu stałego, który po otrzymaniu sygnału od sterownika PLC podaje napięcie stałe 24[V] na cewkę elektrozaworu pneumatycznego, co powoduje przepływ sprężonego powietrza do siłownika napędzającego nóż.

2.3. Układ wykonawczy

2.3.1. Układ pneumatyczny

Na stanowisku znajduje się prosty układ pneumatyczny umożliwiający sterowanie i zasilanie jednego siłownika pneumatycznego. Rys. 4 przedstawia jego schemat. W skład układu wchodzi następujące elementy:

- zawór redukcyjny z filtrem i manometrem,
- zawór rozdzielający 3/2 sterowany elektro-pneumatycznie,
- cewka zaworu,
- tłumik,
- zawór dławiąco – zwrotny,
- siłownik pneumatyczny jednostronnego działania $\Phi 16$ mm,
- wąż poliuretanowy do pneumatyki,
- szybkozłączka z gwintem $1/4''$.

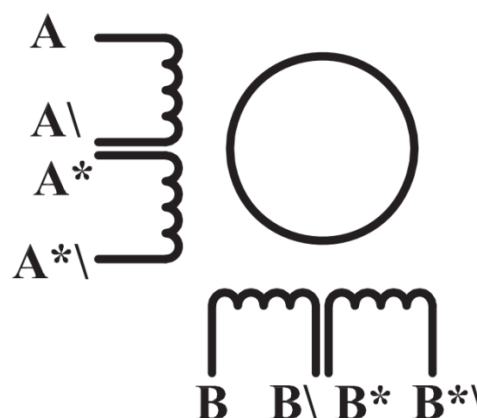


Rys. 4 Schemat układu pneumatycznego

2.3.2. Silnik krokowy

Do obrotu koła napędowego wykorzystany jest silnik krokowy o oznaczeniu 57BYG081D. Jest to silnik dwufazowy, uniwersalny (tzn. mogący pracować zarówno jako uni- jak i bipolarny w zależności od sposobu połączenia uzwojeń. W omawianym stanowisku zastosowano wariant bipolarny.

Zgodnie z opisem z Rys. 5 połączono wyprowadzenia **A** i **A*** oraz **B** i **B*** ze sobą tworząc układ szeregowy oraz przyjęto nowe oznaczenia powstałych w ten sposób wyprowadzeń: **A** (czerwony), **A** (brązowy), **B** (niebieski), **B** (fioletowy).



Rys. 5 Schemat uzwojeń silnika krokowego

Wybrane dane katalogowe:

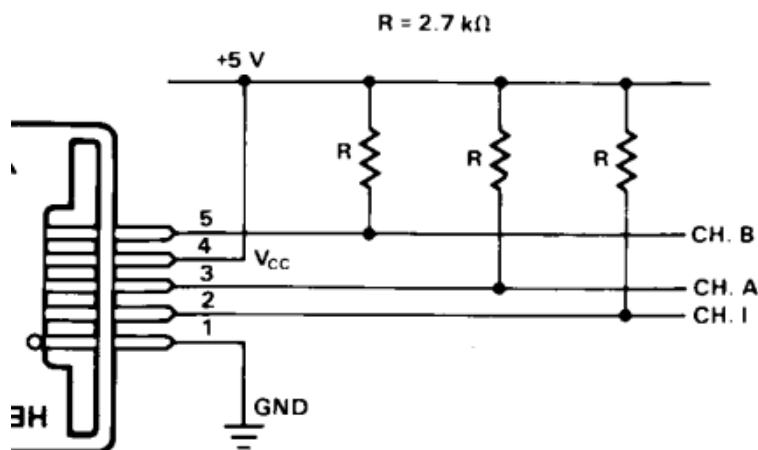
- krok - $1,8[^\circ]$,
- napięcie znamionowe - 5 [V],
- prąd znamionowy - 1 [A],
- moment trzymający - 0,55 [Nm],
- bezwładność wirnika - 115 [gcm²].

2.4. Sensory

2.4.1. Enkoder

Czujnikiem informującym sterownik o aktualnej pozycji silnika krokowego (realizującym położeniowe sprzężenie zwrotne) jest enkoder HEDS 5540 H06 zamocowany na tylnej osi silnika. Jest to enkoder trójfazowy, inkrementalny, tj. dający impulsy dwóch faz (**A**

i **B**) z niewielkim przesunięciem pozwalającym określić kierunek obrotów oraz dodatkową fazę (**I**) dającą jeden impuls na obrót w określonym położeniu kątowym. Urządzenie to jest zasilane napięciem 5[V] i ma rozdzielczość wynoszącą 400[imp./obr.], co jest wielkością dwa razy większą od liczby kroków na obrót silnika krokowego. Schemat wyprowadzeń enkodera widoczny jest na Rys. 6.

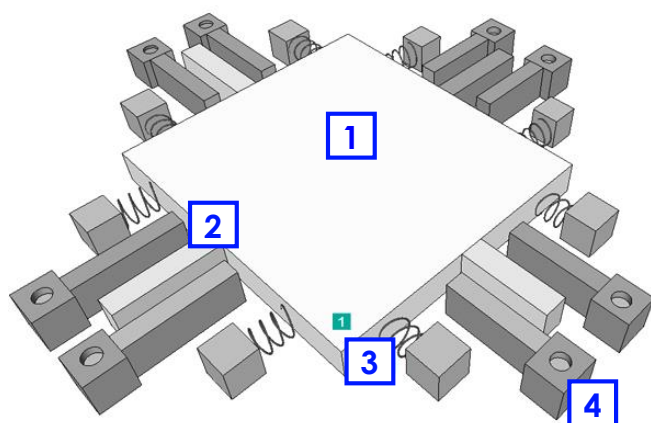


Rys. 6 Schemat wyprowadzeń enkodera

Enkoder generuje impulsy o amplitudzie 5[V], a zastosowany sterownik PLC za stan wysoki uznaje napięcie 24[V], różnica ta spowodowała konieczność zastosowania układu wzmacniającego, który wykonano w oparciu o tranzystory NPN.

2.4.2. Inklinometr

Jako czujnik wychylenia rolki zastosowano inklinometr POSITAL ACS-080-2. Jest to przetwornik pojemnościowy, który w zależności od kąta nachylenia do podłoża zmienia napięcie elektryczne na wyjściu. Dodatkowo posiada wbudowany przetwornik analogowo-cyfrowy pozwalający komunikować się ze sterownikiem PLC poprzez port szeregowy.



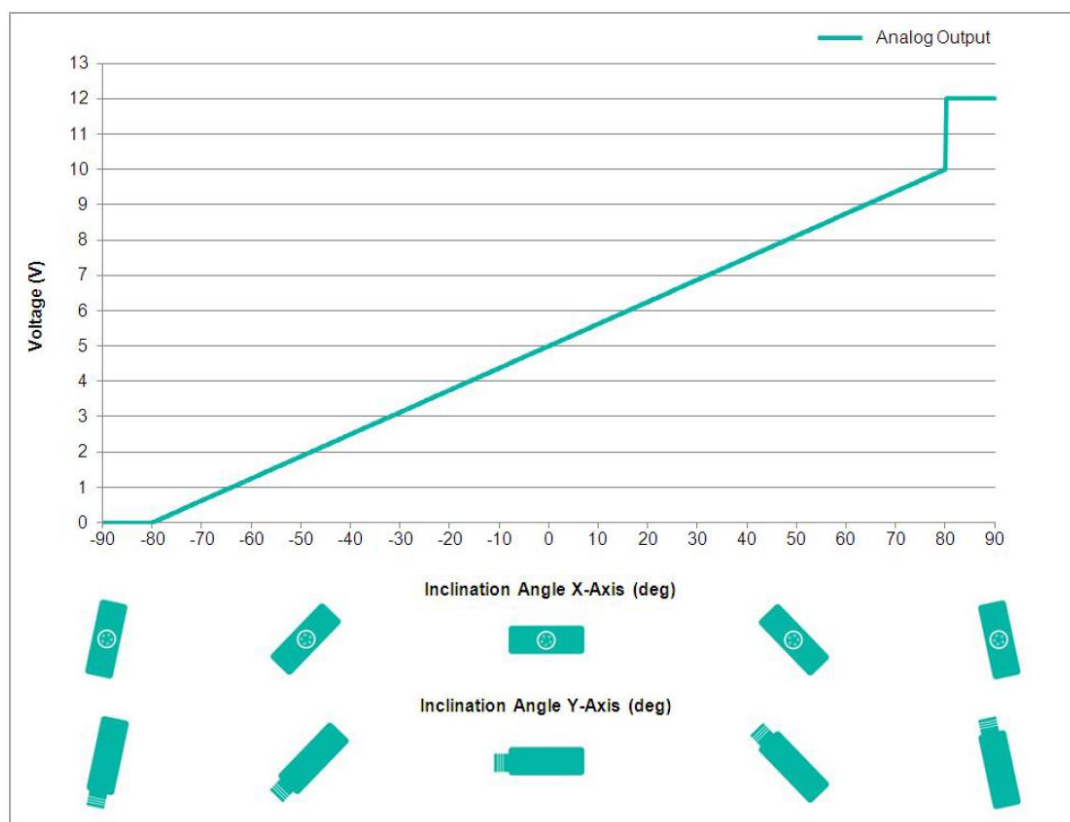
Rys. 7 MEMS inklinometru (1 – ciężarek, 2 – elektrody, 3 – sprężyny, 4 – nieruchome elektrody)

Inklinometr jest wykonany w technologii MEMS (od ang. *micro-electro-mechanical system*). Układ MEMS zamocowany wewnątrz inklinometru pokazano na Rys. 7. Pomiar przechylenia wykonywany jest na podstawie zmiany pojemności pomiędzy elektrodami nieruchomymi powstałej na skutek przemieszczania się elektrod skojarzonych

Wybrane dane katalogowe czujnika:

- a) Liczba osi – 2;
- b) zakres pomiarowy - $\pm 80^\circ$,
- c) rozdzielczość - $0,01^\circ$,
- d) dokładność pomiaru - $0,1^\circ$,
- e) interfejsy - analogowy 0,5 – 4,5 [V],
cyfrowy RS-232.

z ciężarkiem. Zmiana pojemności jest następnie przeliczana na odpowiadającą wartość wychylenia. Zależność napięcia wyjściowego inklinometru w zależności od kąta pochylenia przedstawia Rys. 8.



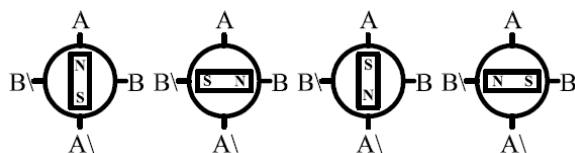
Rys. 8 Charakterystyka napięcia wyjściowego inklinometru od jego wychylenia.

3. Sterowanie silnika krokowego

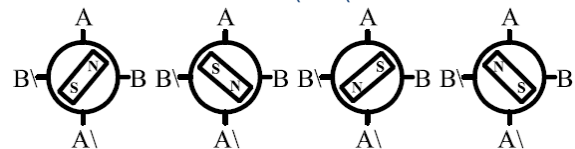
Podstawą działania silników krokowych jest oddziaływanie magnetyczne. Ruch realizowany jest poprzez odpychanie i przyciąganie biegunów magnetycznych wytwarzanych elektrycznie w uzwojeniu stojana z biegunami magnesów stałych zamontowanych na wirniku (dotyczy to silników o konstrukcji hybrydowej, takich jak ten zastosowany na stanowisku). Według polskiej normy PN-87/E-01006 „silnik krokowy jest to silnik przekształcający ciąg sterujących impulsów elektrycznych na ciąg przesunięć kątowych lub liniowych”. To co będzie się działo na skutek pojawienia się kolejnych impulsów sterujących, zależy od rodzaju sterowania. Wyróżnić można przynajmniej cztery rodzaje sterowania silników krokowych:

- a) falowe,
- b) pełnokrokowe,
- c) półkrokowe,
- d) mikrokrokowe.

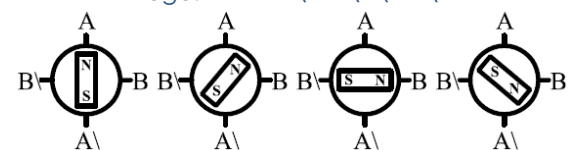
Przy sterowaniu falowym, jednocześnie włączona jest tylko jedna faza. Kolejność załączania faz, w odpowiedzi na kolejne impulsy sterujące jest następująca: **A – B – A\ – B**. Silniki sterowane falowo nazywane są unipolarnymi. Rys. 9 obrazuje sterowanie falowe.



Rys. 9 Sterowanie falowe pracą silnika krokowego - a - B - A\ - B\



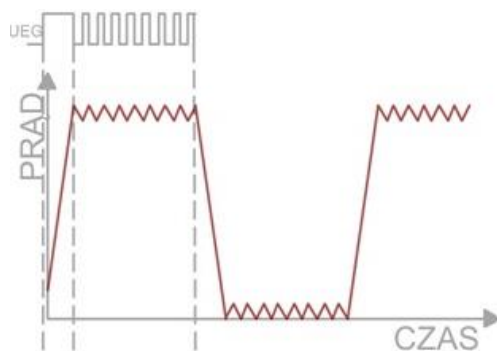
Rys. 10 Sterowanie pełnokrokowe pracą silnika krokowego: AB - BA\ - A\B\ - B\A



Rys. 11 Sterowanie półkrokowe pracą silnika krokowego: AB - B - A\B - A\ - A\B\ - B\ - AB\ - A

Do tej pory fazy były jedynie włączone lub wyłączone, inaczej jest przy sterowaniu mikrokrokowym. Dla tej strategii potrzebny jest układ sterowania umożliwiający zasilanie faz silnika prądem o różnej wartości. Dzięki temu tworzone są położenia równowagi pomiędzy pełnymi krokami – tzw. mikrokroki. Dzięki temu uzyskuje się przede wszystkim większą rozdzielczość, a co za tym idzie bardziej płynną i cichobieżną pracę.

Dodatkowo energia wzbudzająca przypadająca na wykonanie jednego mikrokroku spada wraz z długością kroku. Energia potrzebna na wykonanie 1/8 kroku jest 50 razy mniejsza w porównaniu do pełnego kroku.

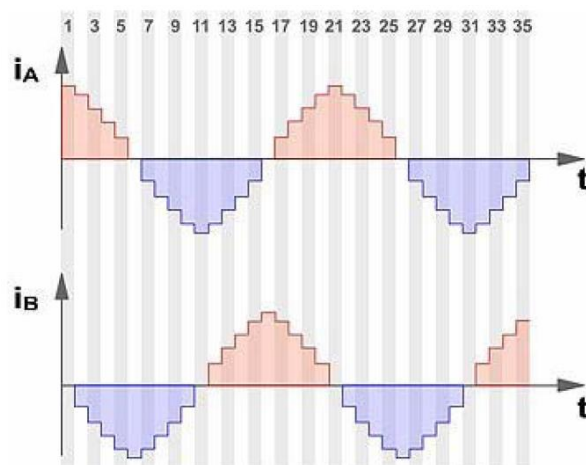


Rys. 13 Chopper technique, tzw. praca siekana

Sterując silnik z wykorzystaniem strategii pełnokrokowej, uzyskuje się taką samą wielkość kroku, ale jednocześnie pracują dwie fazy, dzięki czemu uzyskuje się dwa razy większy moment. Kolejność pracy: **AB - BA\ - A\B\ - B\A** pokazano na Rys. 10.

Sterowanie półkrokowe zapewnia dwa razy mniejszy krok, ale jest bardziej złożone od poprzednich dwóch przypadków. Kolejność pracy opisuje się następująco: **AB - B - A\B - A\ - A\B\ - B\ - AB\ - A**.

Należy zauważyć, że po tej samej liczbie impulsów sterujących, przemieszczenie kątowe silnika jest dwa razy mniejsze, zgodnie z Rys. 11



Rys. 12 Sterowanie mikrokroki (1/5 kroku): wyidealizowane czasowe przebiegi prądu w fazach silnika

Sterownik silnika krokowego zainstalowany na stanowisku laboratoryjnym pozwala na sterowanie pełnokrokowe, półkrokowe oraz z podziałką na 1/4 i 1/8 kroku. Dodatkowo sterownik ten wykorzystuje tzw. *chopper technique*. Polega to na zasilaniu uzwojeń silnika impulsami napięcia o większej amplitudzie niż napięcie znamionowe (36[V] zamiast 5[V] w naszym przypadku), w taki sposób aby prąd w uzwojeniu oscylował wokół wartości znamionowej. Dzięki temu zabiegowi prąd w uzwojeniu narasta szybciej i otrzymujemy silnik o lepszej dynamice. Przebieg napięcia i prądu dla tego typu zasilania pokazuje Rys. 13.

4. Przebieg ćwiczenia

1. Zapoznanie się z automatem do konfekcjonowania ciągów kulkowych i identyfikacja poszczególnych elementów i układów urządzenia mechatronicznego.

W sprawozdaniu znajdują się schematy poszczególnych układów stanowiska: mechanicznego, pneumatycznego i sterowania. Należy podpisać wyszczególnione elementy każdego ze schematów. Przy czym, każdy element powinien zostać odnaleziony na stanowisku.

2. Obserwacja pracy silnika krokowego przy różnych strategiach sterowania.

a) Pomiar prądu w uzwojeniach silnika krokowego – na stanowisku znajduje się układ umożliwiający pomiar prądów oraz napięcia w uzwojeniach silnika krokowego. Sygnał pozwalający na pomiar prądów wyprowadzony jest na wyjścia układu opisane **I_A** oraz **I_B**. Wyjścia te należy podłączyć do oscyloskopu. Pomiar przeprowadzamy dla trzech strategii sterowania: pełnokrokowej i mikrokrokowej 1/4 oraz 1/8 kroku. Strategie sterowania należy zmienić fizycznie na sterowniku silnika krokowego (zmiana ułożenia zworek) oraz programowo na panelu operatorskim (zmiana podziałki kroku oraz liczby impulsów na obrót). Przebiegi zaobserwowane na oscyloskopie należy przerysować do sprawozdania.

b) Pomiar napięcia sterującego - Sygnał pozwalający na pomiar napięcia wyprowadzony jest na wyjścia układu pomiarowego opisane **U_A** oraz **U_B**. Wyjścia te należy podłączyć do oscyloskopu. Na oscyloskopie należy zaobserwować przebieg napięcia sterującego silnikiem poprzez tzw. *chopper technique*.

3. Zdjęcie charakterystyki napięcia inklinometru w zależności od jego wychylenia

Należy zadać ręcznie wychylenie ramienia napinającego i odczytać jego wartość wykorzystując interfejs cyfrowy urządzenia. Odpytywanie czujnika odbywa się z poziomu panelu operatorskiego. Aby odczytać charakterystykę napięciową inklinometru należy korzystać z jego wyprowadzeń analogowych. Wychylenie zadawane jest ręcznie i odczytywane jest przy pomocy goniometru przymocowanego do ramienia. Pomiaru napięcia należy dokonać z wykorzystaniem multimetru.

4. Dyskusja

Przykładowe tematy:

- a) Czy przedstawiony automat jest urządzeniem mechatronicznym? (Dlaczego tak? / Dlaczego nie?)
- b) Jakie są wady i zalety mikrokrokowego sterowania silników krokowych?
- c) Dlaczego przy sterowaniu silników krokowych stosuje się tzw. *chopper technique*? Jaki jest to rodzaj regulacji?

5. Literatura

1. Kępiński Radosław, „Zaprojektować i zbudować stanowisko laboratoryjne, oparte o koncepcję automatu do konfekcjonowania ciągów kulkowych”. Praca magisterska, ŁÓDŹ 2012.
2. Karta katalogowa silnika 57BYG081D. [Online] WOBit PPH. http://www.silniki.pl/download/57byg_032011.pdf Zacytowano dnia: 08.12.2016 r.
3. Instrukcja obsługi sterownika SMC 62. [Online] PPH WOBit. http://www.silniki.pl/download/smc62_instr.pdf Zacytowano dnia: 08.12.2016 r.
4. Karta katalogowa enkodera HEDS-5540 H06. [Online] http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheets2/29/298746_1.pdf Zacytowano dnia: 08.12.2016 r.
5. Specyfikacja inklinometru ACS-080-2 [Online] <https://www.posital.com/pl/produkty/inklinometry/tiltix-product-finder/ACS-080-2-SV20-HE2-PM/110247108/detail.php> Zacytowano dnia: 08.12.2016 r.
6. Posital MEMS inclinometer [Online] <https://www.posital.com/en/products/inclinometers/mems/MEMS-Technology.php> Zacytowano dnia: 08.12.2016 r.
7. WoBit - Teoria napędów krokowych [Online] <http://www.silniki.pl/download/podstawowe%20informacje.pdf.old> Zacytowano dnia: 08.12.2016 r.
8. New Japan Radio Co. Ltd. Microstepping [Online] http://www.njr.com/semi-con/PDF/application_notes/Microstepping_APP_E.pdf Zacytowano dnia: 08.12.2016 r.
9. Instytut Techniki Uniwersytetu Pedagogicznego. Podstawy Sterowania silnikami krokowymi [Online] <http://www.heilig.up.krakow.pl/mikrokontrolery/Pomoc/Sterowanie%20silnikami%20krokowymi.pdf> Zacytowano dnia: 08.12.2016 r.
10. Silniki-krokowe.com.pl - Sterowanie silnikami krokowymi [Online] <http://silniki-krokowe.com.pl/informacje-techniczne/sterowanie-silnikami-krokowymi/> Zacytowano dnia: 08.12.2016 r.