



**KATEDRA AUTOMATYKI,
BIOMECHANIKII MECHATRONIKI**



Laboratorium
Mikroautomatyki

TEMAT:

Sterowanie silnikami krokowymi

Aktualizacja: 25.01.2022

Opracował: mgr Maksymilian Bednarek

wersja: 1.0

Wstęp

Silniki krokowe, w odróżnieniu od silników innych silników elektrycznych wykonujących ruch obrotowy, są silnikami bezszczotkowymi. Nie ma w nich elementów mechaniczno-elektrycznych współpracujących z komutatorem w celu wymuszenia przepływu prądu w odpowiednich częściach uzwojenia wirnika.

W silniku krokowym wirnik nie obraca się ruchem ciągłym, ale wykonuje ruch obrotowy za każdym razem o ściśle określony kąt na jeden krok. Ilość kroków na jeden obrót zależy jest od rodzaju silnika (ilości cewek) oraz sterownika.

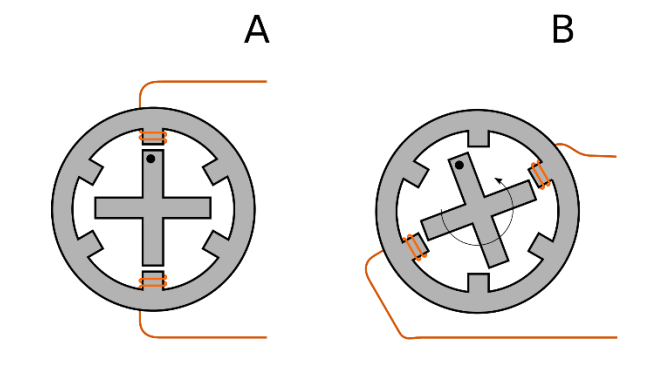
Silniki krokowe umożliwiają pracę z częstotliwością taktowania do 40 000 kroków na sekundę. Przy tak dużej prędkości taktowania kroków, ze względu na wirującą masę nie można zatrzymać wirnika w przerwach między skokami bez obawy zgubienia jakiegoś kroku.

Z uwagi na precyzję pozycjonowania, wysoki moment obrotowy przy niskich prędkościach używany jest w aplikacjach nadzorujących precyzję ruchu w drukarkach, frezarkach, układach robotycznych itp.

Wyróżniamy kilka rodzajów silników krokowych:

1) Silnik o zmiennej reluktancji VR (variable reluctance)

Wirnik wykonany jest z miękkiej stali i na swoim obwodzie posiada charakterystyczne zęby. Przepływ prądu stałego przez wybrane uzwojenie powoduje, że zęby wirnika ustawiają się naprzeciwko zasilanego uzwojenia, tak, aby zmniejszyć do minimum opór dla strumienia magnetycznego (reluktancji). Praca silnika polega na cyklicznym załączaniu odpowiednich uzwojeń stojana które wytwarzając pole magnetyczne wymusza takie ustawienia wirnika, aby ten zapewnił jak najmniejszą reluktancję dla strumienia stojana. Najmniejsza wartość kąta o jaki obróci się wirnik przy sterowaniu całym krokiem jest równa różnicy kątów rozstawienia zębów wirnika a rozstawem biegunów stojana.

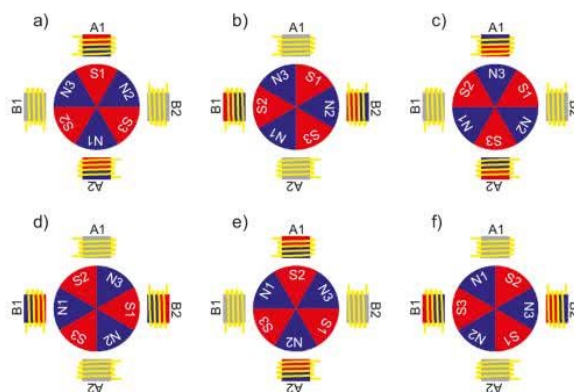


rys. 1 Schemat silnika VR

źródło: https://pl.wikipedia.org/wiki/Silnik_krokowy#/media/Plik:Stepper_motor.svg

2) Silnik z magnesem stałym PM (permanent magnet)

U podstaw działania silnika leży wzajemne oddziaływanie na siebie biegunów magnetycznych. Wirnik tego silnika ma kształt walca naprzemiennie namagnesowanego biegunami N i S. Stojan silnika posiada cewki pełniące rolę elektromagnesów. Aby wprowadzić wirnik w ruch obrotowy elektromagnesy stojana muszą wytwarzać pole magnetyczne o zmieniającym się kierunku. Wówczas na nabiegunnikach pojawiać się będą na przemian bieguny N i S. Wymaga to nie tylko odpowiedniej sekwencji załączania cewek, ale również zmian kierunków prądu które przez nią przepływają.

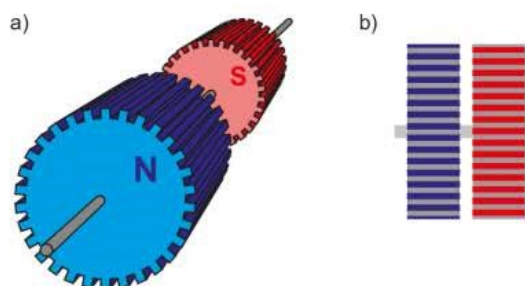


rys. 2 Schemat silnika PM

źródło: <https://ep.com.pl/rynek/wybor-konstruktor/13468-silniki-krokowe-i-serwonapedy>

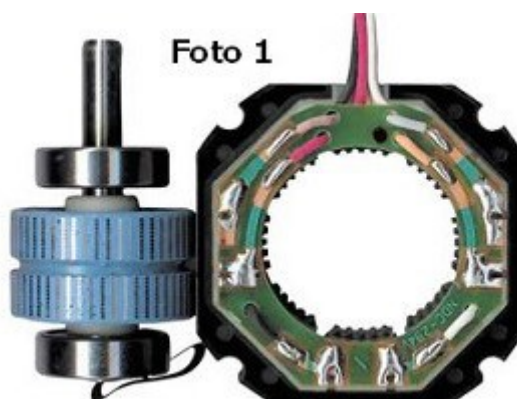
3) Silnik hybrydowy HB

Wirnik silnika hybrydowego podzielony jest na dwie osiowo (a nie promieniowo jak w przypadku silnika PM) namagnesowane części (bieguny magnesów są ustawione równoległe do osi wirnika). Boczne powierzchnie obu magnesów posiadają dużą liczbę zębów, przy czym zęby obu części są przesunięte względem siebie tak, że zęby części o polaryzacji N leżą naprzeciwko zębów o polaryzacji S.



rys. 3 Schemat namagnesowania wirnika w silniku HB

źródło: <https://ep.com.pl/rynek/wybor-konstruktor/13468-silniki-krokowe-i-serwonapedy>



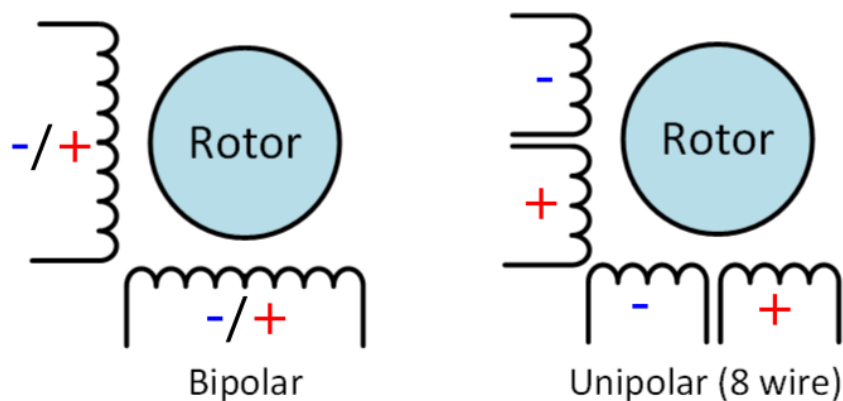
rys. 4 Zdjęcie rozmontowanego silnika HB

źródło: <https://tromil.pl/silniki-krokowe>

Połączenie cewek

Silniki krokowe wymagają do swojego działania sterowników które dostarczają energię do pasm uzwojeń silnika. Silnik krokowy może posiadać dowolną ilość cewek. Jednakże są one połączone w grupy nazywane "fazami". Wszystkie cewki w fazie są zasilane razem.

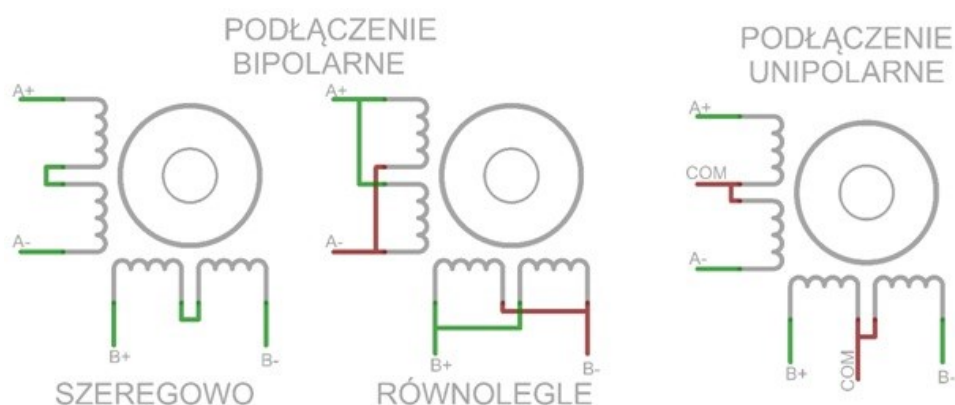
Sterownik unipolarny (silnik unipolarny) zawsze zasila fazy w ten sam sposób. Jeden "wspólny" przewód będzie zawsze z ładunkiem ujemnym. Drugi, będzie z ładunkiem pozytywnym. Sterowniki te mogą być wdrażane za pomocą prostych obwodów tranzystorowych. Jego wadą jest to, że posiada on mniej momentów obrotowych, ponieważ tylko połowa cewek może być zasilana jednocześnie.



rys. 5 Schemat połączenia cewek w silniku bipolarnym i unipolarnym

Sterownik bipolarny (silnik bipolarny) korzysta z układu mostka H, aby móc odwrócić przepływ prądu używając faz. Zasilając je naprzemienną polaryzacją, wszystkie cewki zaczną pracować, jednocześnie włączając silnik.

Silnikami z 4 wyprowadzeniami możemy sterować tylko bipolarnie, natomiast o tym jak sterować silnikiem z 6 lub 8 wyprowadzeniami możemy już zdecydować sami (rysi. 6). Silnik krokowy możemy podłączyć szeregowo, gdzie musimy go zasilic wyższym napięciem, ale przy tym będzie pobierał mniejszy prąd, co się przełoży na spadek mocy przy większych prędkościach. Możemy również jego podłączyć równolegle i zasilac jego niższym napięciem, ale za to wyższym prądem. Co da nam mniejsze spadki mocy przy wyższych prędkościach. Przy niskich prędkościach zarówno przy podłączeniu szeregowym jak i równoległym silnik będzie miał ten sam moment.

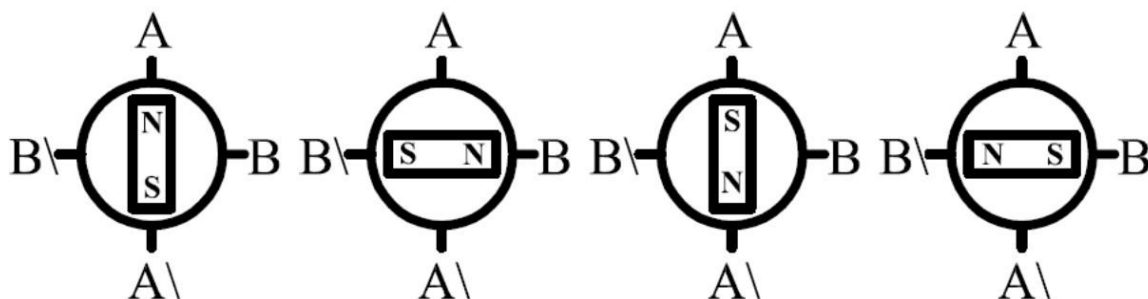


rys. 6 Schemat łączenia wyprowadzeń cewek

Podział sterowania uwzględniający rodzaj kroku wykonywanego przez silnik

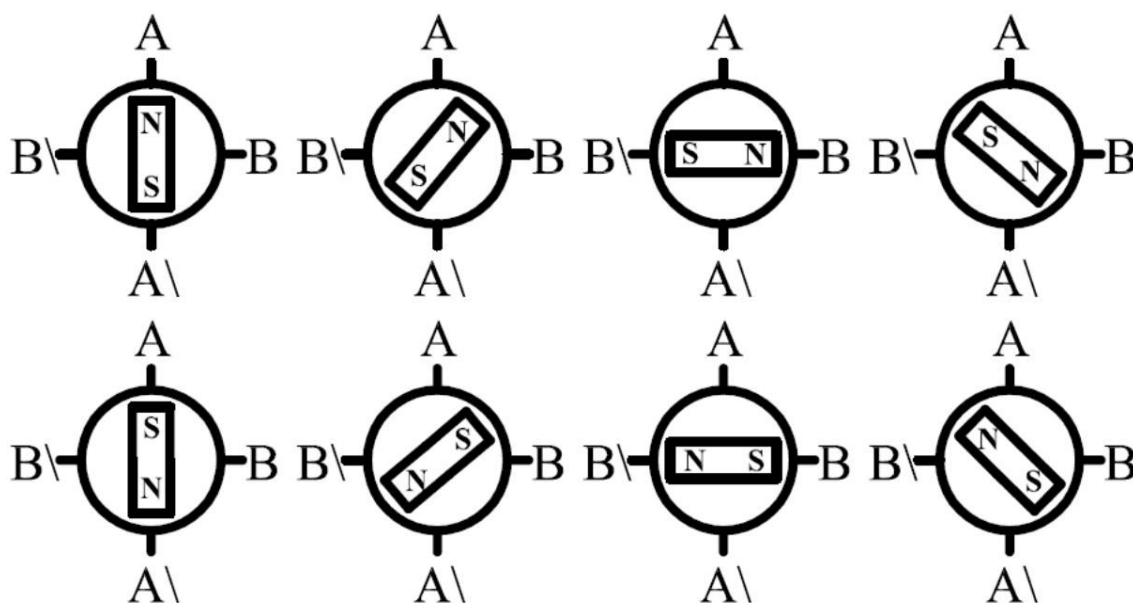
Sterowanie mikrokrokami polega na przełączaniu uzwojeń w taki sposób, aby ich pola elektromagnetyczne częściowo się znosiły lub wzmacniały. Powoduje to wyznaczenie równowagi dla wirnika w pośredniej pozycji pomiędzy skrajnymi sąsiednimi położeniami, w których pola te działają z pełną siłą.

Zastosowanie mikrokroku zwiększa liczbę kroków silnika na jeden obrót, co wpływa na zwiększenie rozdzielczości pozycjonowania oraz poprawienie jakości pracy (przez zmniejszenie wpływu rezonansów silnika), natomiast może zmniejszać maksymalną prędkość.



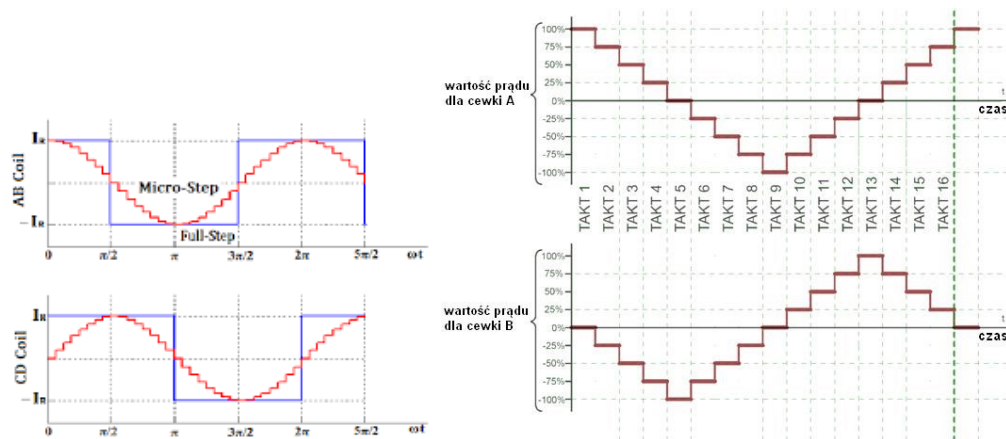
rys. 7 Schemat pracy w trybie pełnokrokowym

źródło: <https://www.ebmia.pl/wiedza/porady/budowa-i-sterowanie-maszyn-cnc/silnik-krokowy-budowa-dzialanie-zastosowanie/>



rys. 8 Schemat pracy w trybie półkrokowym

źródło: <https://www.ebmia.pl/wiedza/porady/budowa-i-sterowanie-maszyn-cnc/silnik-krokowy-budowa-dzialanie-zastosowanie/>



rys. 9 Schemat podziału prądu sterującego na mikrokroki

źródło: Variable Rate Based Microstepping of Stepper Motor Using MATLAB GUI, D.Gaan, M.Kumar, C.Majumder, IEEE Xplore, 2017(lewy obrazek), <http://silniki-krokowe.com.pl/wp-content/uploads/2017/01/16.jpg> (prawy obrazek)

Obliczanie prędkości silnika w zależności od sterowania

Znając jaką ilość kroków na obrót ma konkretny silnik oraz częstotliwość impulsów podawaną na sterownik możemy w bardzo prosty sposób obliczyć ilość obrotów na minutę czy sekundę.

$$d = \frac{a}{b \cdot \frac{1}{c}}$$

Gdzie:

a – częstotliwość impulsów sterujących (np. 2000 Hz),

b – ilość kroków na obrót silnika (najczęściej $200 \frac{\text{kroków}}{\text{obrót}}$),

c – wielkość kroku (np. $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{8}$),

d – ilość obrotów na sekundę.

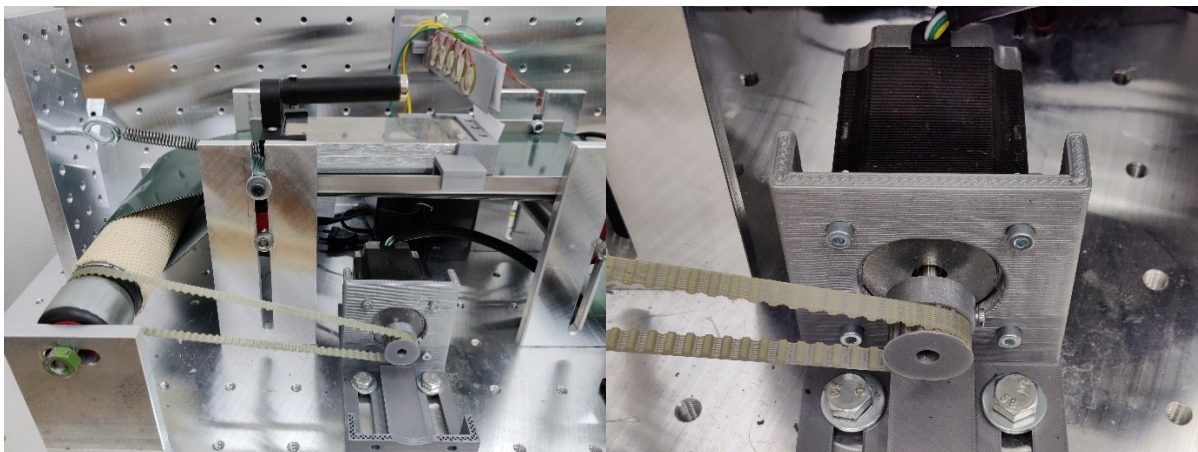
Laboratorium

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się ze sposobami sterowania silnikiem krokowym.

Przedstawione zostaną 2 sposoby sterowania silnikiem krokowym poprzez:

- generator
- kartę pomiarową NI oraz program Labview



rys. 10 Zdjęcie stanowiska laboratoryjnego oraz zbliżenie na silnik.

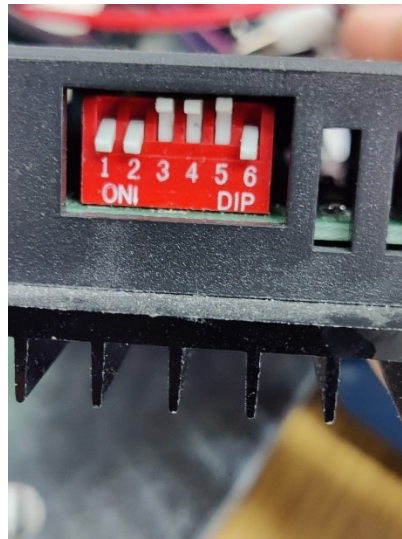
W ćwiczeniu wykorzystamy stanowisko do badania dynamiki masy na taśmie pokazane na rys. 9. będziemy posługiwać się silnikiem krokowym bipolarnym oraz sterownikiem TB6600. Aby sterować prędkością oraz kierunkiem obrotów silnika należy wysłać odpowiednie sygnały na sterownik. Jak możemy zobaczyć na rys. 10 wejścia i wyjścia sterownika są podzielone na dwie części: „Signal” oraz „High Voltage”. W części „High Voltage” podłączamy zasilanie silników oraz wyjście zasilające uzwojenia silnika. W części „Signal” znajdują się wejścia sterujące. Możemy wykorzystać generator, kartę pomiarową NI, arduino bądź inne urządzenia do wysyłania odpowiednich sygnałów logicznych do sterowania silnikiem. Aby ustawić kierunek obrotu silnika należy na zaciski DIR podłączyć stałe napięcie wysokie (obrót w lewo) lub niskie (obrót w prawo). Chcąc wprawić wirnik silnika w ruch należy impulsowo załączać oraz wyłączać napięcie na zaciskach PUL. Doskonale do tego nada się sygnał prostokątny wysyłany np. przez generator.



rys. 11 Zdjęcie sterownika silnika krokowego TB6600

Zmiana ustawień kroku

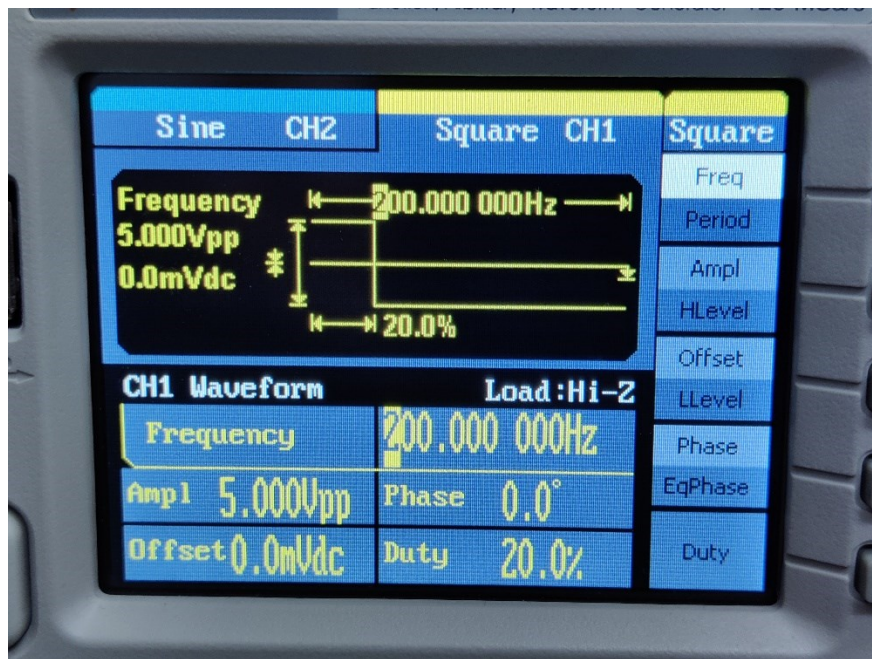
Możemy zmienić wielkość kroku, jeśli chcemy np. zwiększyć precyzję pozycjonowania. Odbywa się to poprzez ustawienie odpowiednich przełączników ukazanych na rys. 12 oraz odczytaniu legendy z wierzchniej warstwy sterownika (rys. 11). Przełącznik ustawiony w pozycji dolnej jest włączony (ON). Zgodnie z legendą na rys. 12 ustawione jest sterowanie pełnokrokowe.



Rys.12 Zdjęcie przełączników do ustawiania sterowania krokowego oraz natężenia prądu

Sterowanie poprzez generator

Generator sygnału SDG1025 jest urządzeniem wytwarzającym sygnał napięciowy o zadanym kształcie. Posłuży nam do wysyłania na sterownik impulsów sterujących silnikiem. Szczegółowe informacje na temat generatora można znaleźć w dołączonej instrukcji.



rys. 13 Zdjęcie ekranu generatora podczas wysyłania sygnału

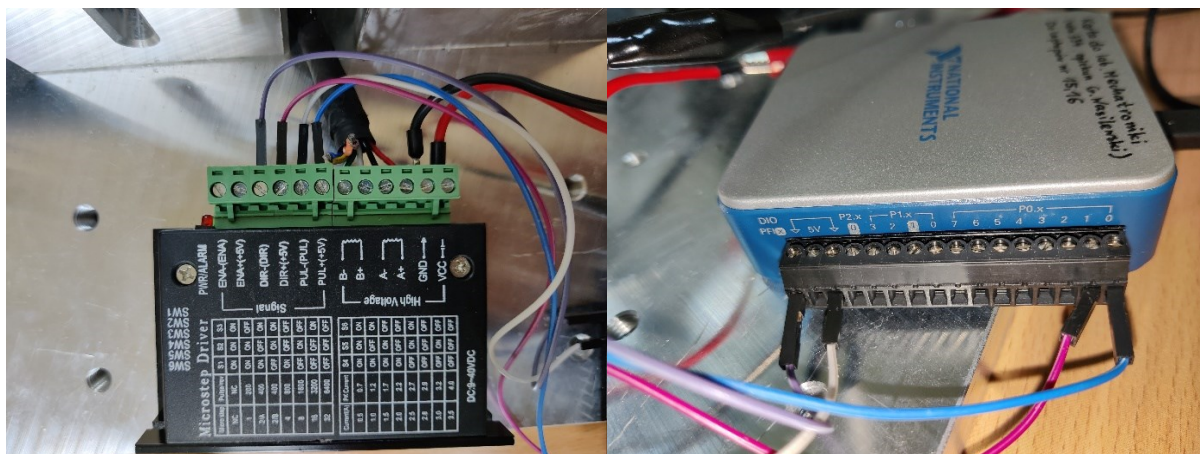
W celu sterowania silnikiem krokowym należy użyć przynajmniej jeden kanał generatora podłączając go do wejść sterownika PUL. Drugi możemy wykorzystać, jeśli chcemy kontrolować kierunek obrotu silnika podłączając go do wejść DIR natomiast procedura ta nie jest niezbędna do prawidłowego działania układu. Rys. 13 pokazuje ustawienie parametrów wysyłanego z generatora sygnału prostokątnego. Częstotliwość wysyłanego sygnału wpływa na prędkość silnika.

Użycie generatora, jest niewątpliwie najszybszym sposobem na uruchomienie silnika krokowego, natomiast chcąc zmienić prędkość lub kierunek musimy ręcznie zmienić wysyłany sygnał na ekranie generatora. Kolejne metody co prawda wymagają stworzenia programu, ale pozwalają na jakąkolwiek automatyzację ruchu silnika.

Sterowanie poprzez kartę NI oraz oprogramowanie Labview

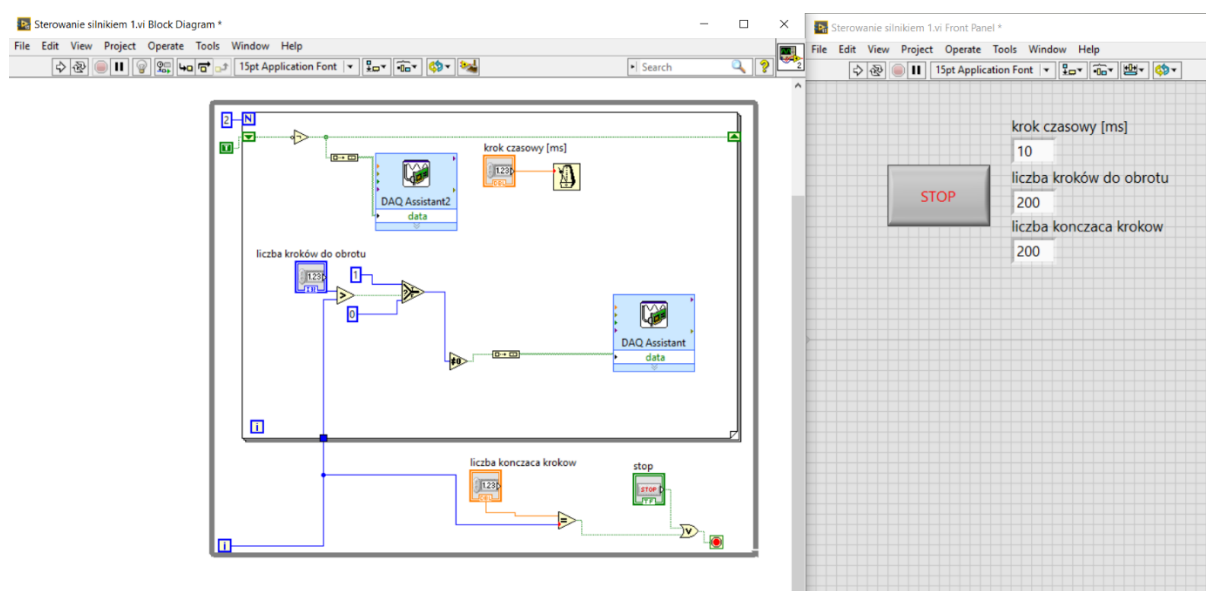
Użycie generatora pozwalało nam na wysłanie sygnału o bardzo wysokiej częstotliwości (rzędu 25MHz), natomiast sterowanie z użyciem Labview spowoduje, że będziemy mogli zmieniać sygnały z maksymalną prędkością co 1 ms. Zazwyczaj silników krokowych i tak nie używa się ze względu na ich prędkość, ale na precyzję pozycjonowania oraz wysoki moment obrotowy przy małych prędkościach. Nie jest to więc problem w przypadku większości zastosowań.

Na początku musimy połączyć wyjścia odpowiednich kanałów karty pomiarowej NI ze sterownikiem (patrz rys. 14).



rys. 14 Zdjęcie ukazujące podłączenie pomiędzy sterownikiem a kartą pomiarową

Do zaprojektowania programu kontrolującego obroty silnika posłuży nam Labview. Poniżej przedstawiony jest schemat blokowy bardzo prostego programu do wysyłania impulsów na sterownik. Zmieniając trzy parametry możemy kontrolować kierunek obrotu (ilość kroków do obrotu), prędkość silnika (krok czasowy), oraz finalną ilość impulsów (liczba kończąca kroków). Program opiera się na dwóch pętlach. Zewnętrzna pętla – while, sprawdza, czy została wykonana żądana liczba impulsów. Wewnętrzna – for, wykonuje się 2 razy na każdą iterację nadrzędnej pętli. Dzieje się tak dlatego że chcemy w jednym przejściu pętli włączyć i wyłączyć sygnał wysyłany na zacisk PUL. Symuluje to sygnał prostokątny, działający podobnie do sygnału wysyłanego z generatora. Ustawiając odpowiedni krok czasowy możemy modyfikować częstotliwość zmiany tego sygnału. Należy zauważyć, że ta funkcja wykonuje się w wewnętrznej pętli, także jeśli chcemy ustawić częstotliwość wymuszania, żądany krok czasowy musimy podzielić przez 2. Przy każdej iteracji pętli sprawdzamy, czy została wykonana odpowiednia ilość kroków niezbędna do zmiany kierunku obrotu. Jeśli nie została jeszcze wykonana żądana ilość kroków, zostaje wysyłany stan np. wysoki (w zależności od tego w którą stronę ma się zacząć obracać najpierw), a jeśli została wykonana, stan zmienia się na przeciwny.



rys. 15 Schemat blokowy (po lewej) oraz interfejs użytkownika (po prawej) programu do sterowania obrotami silnika.

Bibliografia

Mechatronika Podręcznik, REA, Kaufmann, Paetzold, Baumann, Schmid, Zippel, 2002
ISBN: 978-83-7141-425-1

Variable Rate Based Microstepping of Stepper Motor Using MATLAB GUI, D.Gaan, M.Kumar,
C.Majumder, IEEE Xplore, 2017

<https://amgautomatyka.pl/>

https://pl.wikipedia.org/wiki/Silnik_krokowy

<https://wobit.com.pl/>

<https://tromil.pl/silniki-krokowe/>

<https://botland.com.pl/content/220-wszystko-o-silnikach-krokowych>

https://www.youtube.com/watch?v=fVY-QF_NmGc&ab_channel=ElektroROBBIT

<https://www.ebmia.pl/wiedza/porady/budowa-i-sterowanie-maszyn-cnc/silnik-krokowy-budowa-dzialanie-zastosowanie/>