

**Zakład Napędów Wieloźródłowych  
Instytut Maszyn Roboczych Ciężkich PW  
Laboratorium Napędów Elektrycznych**

## **Układ napędowy z wolnoobrotowym silnikiem PM**

**Grupa..... D / Z / W  
Zespół .....  
Rok akademicki.....**

Data wykonania ćwiczenia.....  
Data oddania sprawozdania.....

<b>Imię i nazwisko</b>	<b>ocena:</b>
1. ....	.....
2. ....	.....
3. ....	.....
4. ....	.....
5. ....	.....
6. ....	.....
7. ....	.....
8. ....	.....
9. ....	.....
10.....	.....
11.....	.....
12.....	.....

Warszawa 2010 r.

# Badanie bezszczotkowego, wolnoobrotowego silnika prądu stałego z magnesami stałymi

## 1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest:

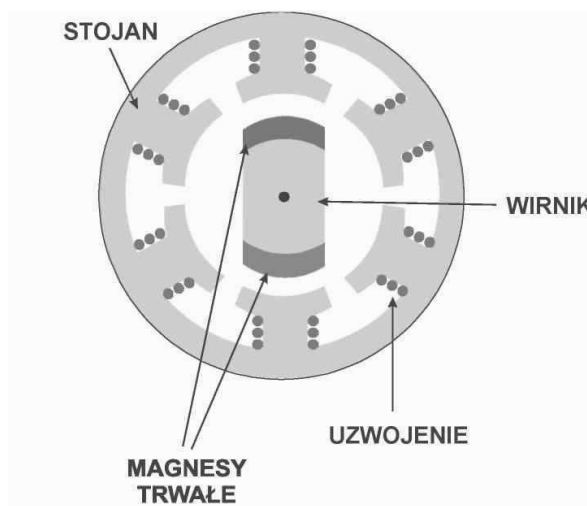
- zapoznanie z budową i zasadą działania bezszczotkowego, wolnoobrotowego silnika prądu stałego z magnesami stałymi;
- określenie zalet i wad zastosowania w/w silnika w napędach określonych typów pojazdów, w szczególności z możliwością zastosowania silnika do napędu bezpośredniego (zabudowa silnika w kole);
- przeprowadzenie pomiarów wielkości mechanicznych i elektrycznych podczas realizacji cyklu jazdy z przyspieszaniem, jazdą ustaloną i hamowaniem odzyskowym oraz wyznaczenie przebiegów mocy i sprawności układu napędowego z tym silnikiem.

Zespół powinien dysponować pamięcią USB w celu skopiowania z komputera pomiarowego wyników przeprowadzonego testu. Pamięć powinna być wolna od wirusów.

## 2. Wprowadzenie teoretyczne

Jednym z rodzajów silników elektrycznych są bezszczotkowe silniki prądu stałego z magnesami stałymi. Stosowane są one głównie w urządzeniach i pojazdach średniej i małej mocy, zasilanych prądem stałym (np. baterie elektrochemiczne).

Silnik bezszczotkowy z magnesami stałymi podobny jest pod względem budowy do silnika prądu stałego, z tą różnicą, że magnesy trwałe umieszczone są na wirniku, przez co silnik nie ma mechanicznego komutatora (funkcję komutatora przejmuje sterownik silnika). W rozwiązaniu standardowym uzwojenia stojana umieszczone są w żłobkach, a stojan wykonany jest z pakietu blach elektromagnetycznych walcowanych na zimno oddzielanych ze sobą izolatorem (celem zniwelowania prądów wirowych). Na wirnik naklejone są magnesy stałe.



Rys. 1. Schemat budowy silnika bezszczotkowego z magnesami stałymi

Występuje wiele rodzajów magnesów trwałych, różniących się składem i właściwościami. Magnesy ferrytowe są uzyskiwane w drodze prasowania proszków i spiekania związków tlenków żelaza i tlenków metali - głównie baru Ba lub strontu Sr. Są one obecnie najczęściej stosowanym

materiałem w produkcji magnesów trwałych. W latach siedemdziesiątych XX w. wprowadzono do produkcji magnesy zawierające metale z grupy ziem rzadkich. Pierwszym materiałem na takie magnesy był związek samaru i kobaltu  $\text{SmCo}_5$ . Po 1984 roku wprowadzono materiały zawierające metale: neodym, żelazo i bor (Nd, Fe, B). Obecnie do produkcji maszyn elektrycznych z magnesami trwałymi stosuje się materiały oparte o związki  $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$  i  $\text{NdFeB}$  umożliwiające konstruowanie maszyn o małych wymiarach i bardzo dużej gęstości mocy (kW/kg).

Rozróżnia się dwa typy maszyn bezszczotkowych, w zależności od kształtu siły elektromotorycznej:

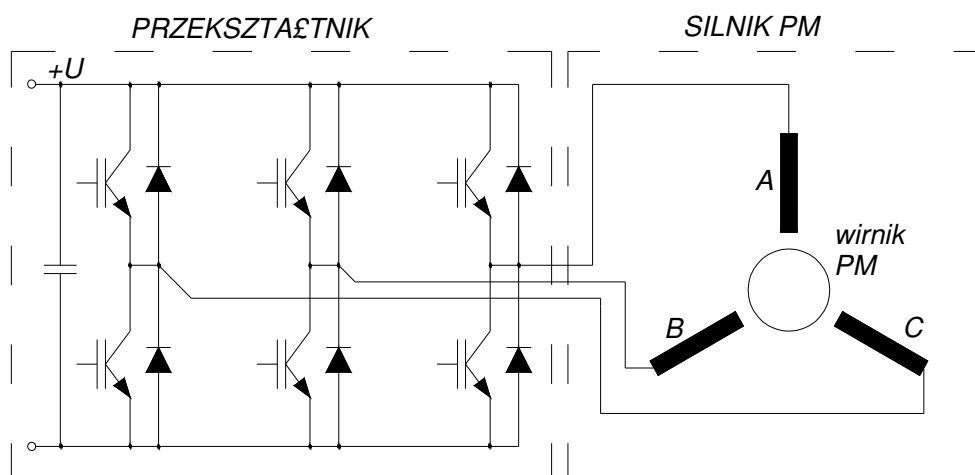
- sinusoidalne silniki synchroniczne z magnesami trwałymi (PMSM) dla przebiegu sinusoidalnego siły elektromotorycznej EMF,
- bezszczotkowe silniki prądu stałego (BLDC) dla trapezoidalnego przebiegu siły elektromotorycznej EMF.

Dla wyżej wymienionych typów maszyn bezszczotkowych istnieją różne strategie zasilania. Budowa obu typów silników jest zbliżona do siebie, jednakże prosty sposób komutacji prądu w układzie zasilania maszyny BLDC powoduje, że przekształtnik energoelektroniczny może być traktowany jako komutator – stąd nazwa bezszczotkowy silnik prądu stałego. Nazwa taka jest związana z właściwościami takiego układu:

- komutator mechaniczny zastąpiony jest przez komutator elektroniczny,
- prądy zasilające układ przekształtnik – silnik jest prądem stałym,
- napięcie zasilające układ przekształtnik – silnik jest napięciem stałym,
- prędkość kątowna silnika jest proporcjonalna do wartości napięcia zasilającego,
- czujniki położenia wału i odpowiedni układ sterujący komutacją prądu, powodują samosynchronizację układu,
- kąt między wektorem strumienia wzbudzenia, a wektorem prądu jest w przybliżeniu stały.

Tak więc bezszczotkowy silnik prądu stałego składa się z dwóch części:

- energoelektronicznego przekształtnika z modulacją szerokości impulsów. Średnie napięcie zasilające silnik ustalone jest szerokością impulsów;
- silnika synchronicznego o magnesach trwałych i trapezowym przebiegu siły elektromotorycznej.



Rys. 2. Silnik bezszczotkowy prądu stałego o magnesach trwałych – BLDC

Przebiegi sił elektromotorycznych w poszczególnych fazach mają przebieg trapezowy (rys. 3). Prądy w kolejnych fazach włączane są w sektorach gdzie siła elektromotoryczna  $E = \text{const}$ . Prąd wpływa do jednej fazy przez  $120^\circ \text{ el}$  a wypływa przez kolejne  $60^\circ \text{ el}$  przez dwie pozostałe fazy. Napięcie przewodowe (międzyfazowe) włączane jest kolejno co  $60^\circ \text{ el}$  pomiędzy dwie fazy silnika w celu wymuszenia odpowiedniego prądu. Średnia wartość napięcia między fazami regulowana jest metodą modulacji szerokości impulsu. Częstotliwość impulsów jest stała i tak duża, że przebieg prądu jest ciągły, a jego średnia wartość wynosi  $I$  – tyle ile prąd baterii zasilającej. Przy stałej prędkości obrotowej i stałym obciążeniu wartość średnią napięcia zasilającego można określić jako:

$$U_{f1,f2} = \frac{d\psi}{dt} + 2R_f i_f = E_{f1,f2} + 2R_f i_f \quad (1)$$

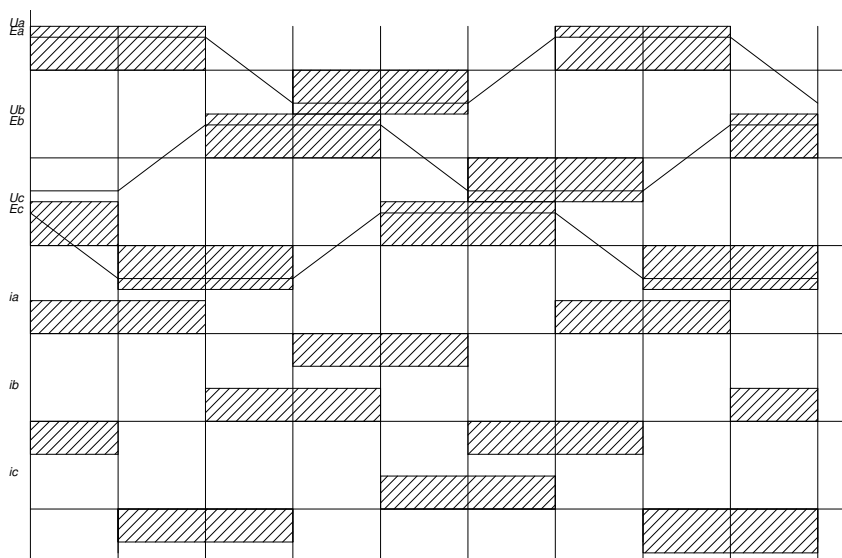
gdzie:

$R_f$  – rezystancja fazy silnika;

$E_{f1,f2}$  – siła elektromotoryczna między fazami;

$U_{f1,f2}$  – napięcie przewodowe, wartość średnia w czasie impulsu;

$i_f$  – prąd fazowy.



Rys. 3. Przebiegi napięć fazowych, prądów i SEM w silniku BLDC

Wartość i kierunek prądu fazowego zależna jest od różnicy napięcia przewodowego i siły elektromotorycznej:

$$i_f = \frac{U_{f1,f2} - E_{f1,f2}}{2R_f} \quad (2)$$

Czyli przy  $U_{f1,f2} \geq E_{f1,f2}$  mamy pracę silnikową, a  $U_{f1,f2} \leq E_{f1,f2}$  pracę generatorową – hamowanie odzyskowe.

Moment elektromagnetyczny silnika BLDC określa ogólna zależność:

$$M = c\phi i \quad (3)$$

A siłę elektromotoryczną SEM zależność:

$$SEM = c\phi\omega \quad (4)$$

gdzie:

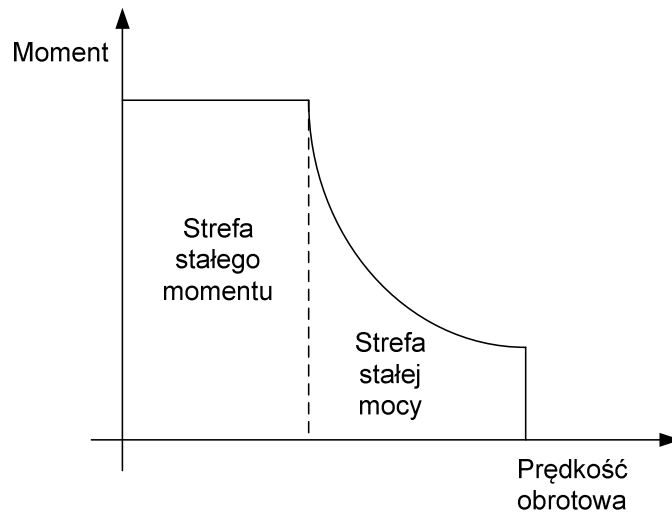
$c$  – stała konstrukcyjna maszyny,

$\Phi$  – magnetyczny strumień wypadkowy, który w przypadku silnika z magnesami stałymi jest z pewnym przybliżeniem równy strumieniowi magnesów stałych;

$I$  – prąd silnika,

$\omega$  - prędkość obrotowa wału silnika.

Z powyższych równań wynika proporcjonalność momentu do prądu i proporcjonalność prędkości do siły elektromotorycznej SEM silnika.



Rys. 4. Charakterystyka mechaniczna silnika z magnesami stałymi

Układy silników synchronicznych PMSM z magnesami trwałymi i sinusoidalnym kształtem SEM sterowane są w sposób analogiczny do zwykłych maszyn indukcyjnych AC z falowników prądu lub napięcia.

Zastosowanie magnesów stałych pozwala wyeliminować uzwojenia wzbudzenia, co sprawia, że silnik staje się lżejszy, mniejszy gabarytowo oraz bardziej sprawny (brak konieczności doprowadzania energii do wytworzenia strumienia magnetycznego).

Reasumując, głównymi zaletami tego rodzaju silników są:

- prostota budowy;
- bezawaryjność;
- brak komutatora mechanicznego, który w tradycyjnych silnikach prądu stałego jest elementem kłopotliwym w eksploatacji,
- brak szczotek (brak mechanicznego ścierania szczotek i problemu pylenia);
- doskonałe parametry dynamiczne wynikające z małej indukcyjności uzwojeń fazowych oraz małej bezwładności wirnika (brak uzwojeń miedzianych),
- proporcjonalna zależność momentu elektromagnetycznego do prądu;
- korzystny stosunek wytwarzanej mocy i momentu obrotowego do masy i wymiarów silnika;
- stosunkowo wysoka sprawność (brak strat energii na wytworzenie strumienia wzbudzenia);
- korzystny przebieg charakterystyki silnika – wysoki moment w zakresie niskich prędkości;

Do wad tego typu silników należą:

- wysoki koszt magnesów trwałych;
- wrażliwość magnesów stałych na przeciążenie termiczne (w temp. ok. 180°C nieodwracalnie tracą właściwości magnetyczne);
- kruchość magnesów;
- mocowanie magnesów jedynie poprzez klejenie;
- klejone magnesy do wirnika narażone są na duże siły odśrodkowe odrywające,
- wpływ oddziaływania pola stojana na zjawisko koercji (odmagnesowania) co przy przekroczeniu dopuszczalnych prądów silnika może doprowadzić do zniszczenia magnesów,
- tętnienie wartości momentu obrotowego;
- niższa sprawność silników wolnoobrotowych w porównaniu z szybkoobrotowymi.

Silniki te mogą być szybkoobrotowe lub wolnoobrotowe, poprzez wykonanie ich z odpowiednią liczbą par biegunów, zgodnie z zależnością na prędkość obrotową silnika:

$$\omega = \frac{60f}{p} \quad (5)$$

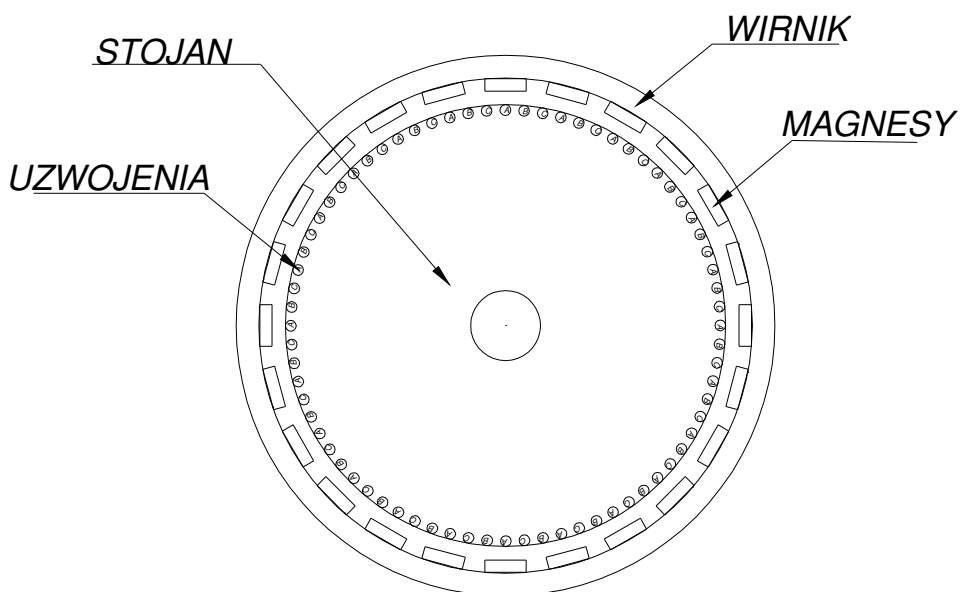
Gdzie:

f- częstotliwość napięcia zasilającego, generowanego przez sterownik silnika;

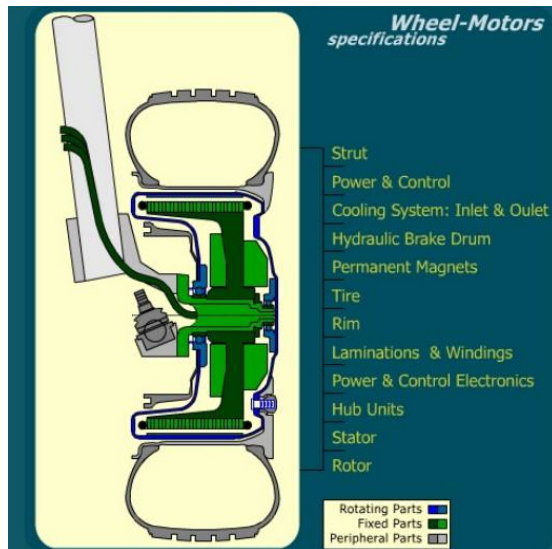
p- liczba par biegunów.

Wykonanie silnika z dużą liczbą par biegunów skutkuje uzyskaniem silnika wolnoobrotowego, ale o dużym momencie. Wolnoobrotowe silniki z magnesami stałymi mogą być montowane bezpośrednio w piastach kół pojazdów: rowerów, skuterów, samochodów osobowych, autobusów, pojazdów stosowanych w górnictwie, itd.

Dla silników przeznaczonych do zabudowy w koło stosuje się konstrukcje z wirnikiem zewnętrznym (rys. 5). Nieruchomy stojan stanowi jednocześnie oś koła, a obracający się na zewnątrz wirnik jest elementem koła napędowego.



Rys. 5. Budowa 12- polowego silnika PM z wirnikiem zewnętrznym.



Rys. 6. Przekrój przez silnika PM z wirnikiem zewnętrznym, zabudowanym w kole.



Rys. 7. Przykładowe aplikacje silników wolnoobrotowych zabudowanych w kole: skutera, samochodu, niskopodłogowej maszyny roboczej .

Napęd bezpośredni koła pozwala wyeliminować mechaniczne elementy przeniesienia napędu takie jak: przeguby, wały, półosie czy mechanizm różnicowy. Pozwala to uzyskać dodatkową przestrzeń pomiędzy kołami, którą można wykorzystać np. na obniżenie nadwozia (autobusy niskopodłogowe) lub zwiększenie ładowności (kopalniane wozy odstawcze). Z drugiej strony wyeliminowany mechanizm różnicowy musi być zastąpiony sterownikiem elektronicznym, który będzie sterował osobno prędkością każdego z silników w zależności od prędkości pojazdu i kąta skrętu (elektroniczny dyferencjał).

Silnik umieszczony w kole zwiększa masę nieresorowaną, co poprzez większy wpływ drgań wpływa niekorzystnie na komfort jazdy i przyspiesza zużycie elementów zawieszenia – sworzni, sprężyn, amortyzatorów itp. Istnieje tu również ryzyko odklejenia magnesów pod wpływem drgań. Wymienione problemy dotyczą przede wszystkim pojazdów osobowych poruszających się z dużymi prędkościami i wyposażonymi w stosunkowo małe koła (w porównaniu do nierówności

jezdni). Czynnikiem ten jest mniej znaczący np. w przypadku autobusów poruszających się z mniejszymi prędkościami i wyposażonymi w znacznie większe koła, mniej wrażliwe na nierówności nawierzchni jezdni lub w przypadku maszyn roboczych czy samojezdnych robotów, gdzie rozdzielanie napędu niezależnie na każde koło daje znakomite możliwości manewrowania tego typu pojazdów (łącznie z możliwością wykonania obrotu w miejscu) nawet w bardzo trudnym terenie (brak poślizgów typowych dla dyferencjału mechanicznego).

Umieszczenie silnika w kole znacznie pogarsza warunki jego chłodzenia. Opona wypełniona powietrzem, otaczająca silnik, jest świetnym izolatorem termicznym, podczas gdy zależałoby nam na zjawisku przeciwnym – szybkim odprowadzaniu ciepła wytwarzanego we wnętrzu silnika. Dodatkowo silnik umieszczony w kole jest narażony na zalanie wodą oraz działanie kurzu, błota, śniegu i innych zanieczyszczeń. Musi on więc być wyjątkowo dobrze uszczelniony co znacznie podnosi poziom komplikacji technicznych jego wykonania i ceny. Odprowadzanie ciepła jest zagadnieniem niezwykle ważnym ze względu na ryzyko nieodwracalnego uszkodzenia magnesów (trwałego rozmagnesowania) wskutek przekroczenia granicznej dla danego materiału temperatury Curie. Temperatura Curie jest to temperatura powyżej której ferromagnetyk gwałtownie traci swoje właściwości magnetyczne i staje się paramagnetykiem, zjawisko to wynika ze zmiany fazy ciała stałego. Nazwa pochodzi od nazwiska francuskiego fizyka Piotra Curie. Jedynym skutecznym sposobem chłodzenia w przypadku silników średniej mocy jest chłodzenie cieczą.

Chłodzenie cieczą pozwala za to w pełni wykorzystywać możliwość hamowania odzyskowego, gdyż omawiany silnik, tak jak każdy inny rodzaj silnika elektrycznego, odpowiednio sterowany, może pracować generatorowo, tj. zamieniać energię mechaniczną na elektryczną.

Stosując hamowanie odzyskowe, ze względu na rezystancję uzwojeń silnika, nie można wyhamować do prędkości „0” – w końcowej fazie hamowania silnik zaczyna pracować wybiegiem – do całkowitego jego zatrzymania niezbędne jest zastosowanie hamulca ciernego, który jednocześnie pełni funkcję awaryjnego systemu hamowania wymaganego przez odpowiednie przepisy dot. pojazdów dopuszczonych do ruchu.

Głównymi zaletami pojazdów, wyposażonych w napęd bezpośredni zabudowany w kole są:

- uzyskanie dodatkowej przestrzeni pomiędzy kołami;
- większe możliwości wykonywania ruchów manewrowych;
- niewrażliwość dyferencjału elektronicznego na utratę przyczepności poszczególnych kół;
- możliwość hamowania odzyskowego (cecha wszystkich maszyn elektrycznych).

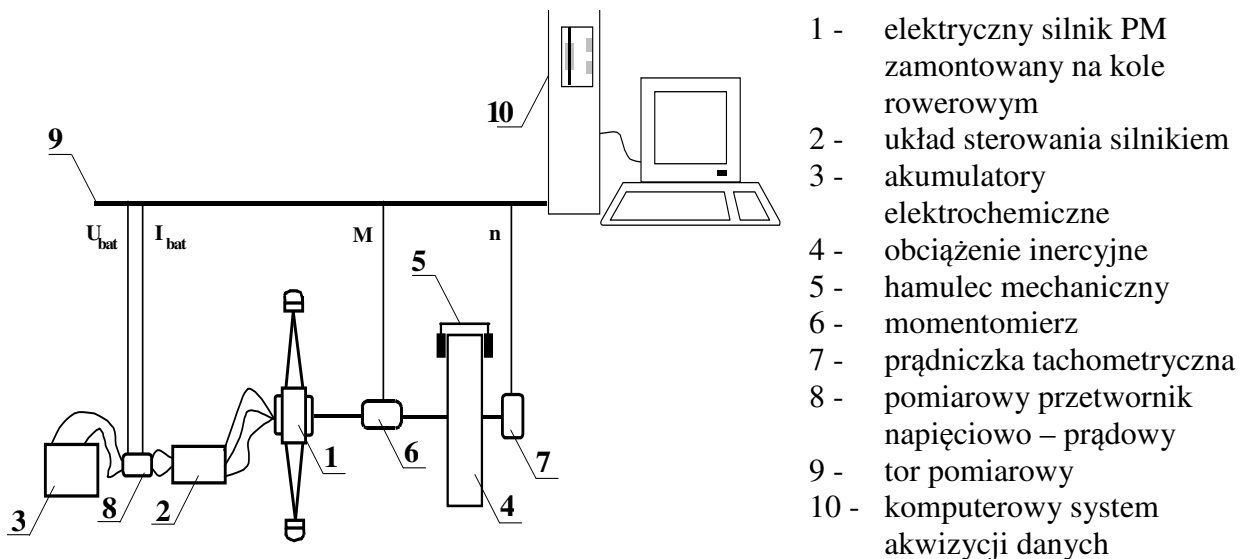
Głównymi wadami pojazdów, wyposażonych w napęd bezpośredni zabudowany w kole są:

- zwiększenie masy nieresorowanej ze wszystkimi tego konsekwencjami;
- konieczność precyzyjnego uszczelnienia silnika i zabezpieczenia go przed działaniem warunków zewnętrznych;
- konieczność chłodzenia silnika w tym chłodzenia cieczą;
- brak możliwości wyhamowania do prędkości „0” (cecha wszystkich maszyn elektrycznych).

### 3. Opis stanowiska pomiarowego, wykonanie pomiarów i obliczeń, dyskusja otrzymanych wyników:

Stanowisko laboratoryjne składa się z silnika z magnesami stałymi, zabudowanego w kole, obciążonego inercyjnie metalowym bezwładnikiem. Na wale łączącym koło z bezwładnikiem umieszczony jest momentomierz oraz prądniczka tachometryczna mierząca prędkość obrotową.





Rys. 8. Ideowy schemat stanowiska do badania wolnoobrotowego silnika PM



Rys. 9. Koło z silnikiem wbudowanym w piastę, obciążone inercyjnie.

Silnik elektryczny jest zasilany poprzez sterownik silnika z baterii elektrochemicznych. Prąd i napięcie baterii jest mierzone przy pomocy przetworników pomiarowych typu LEM.



Rys. 10. Szafka ze sterownikiem silnika i bateriami zasilającymi

Na tablicy szafki sterowniczej umieszczono (poza elementami sterowania pracą silnika) cztery wyjścia analogowe:

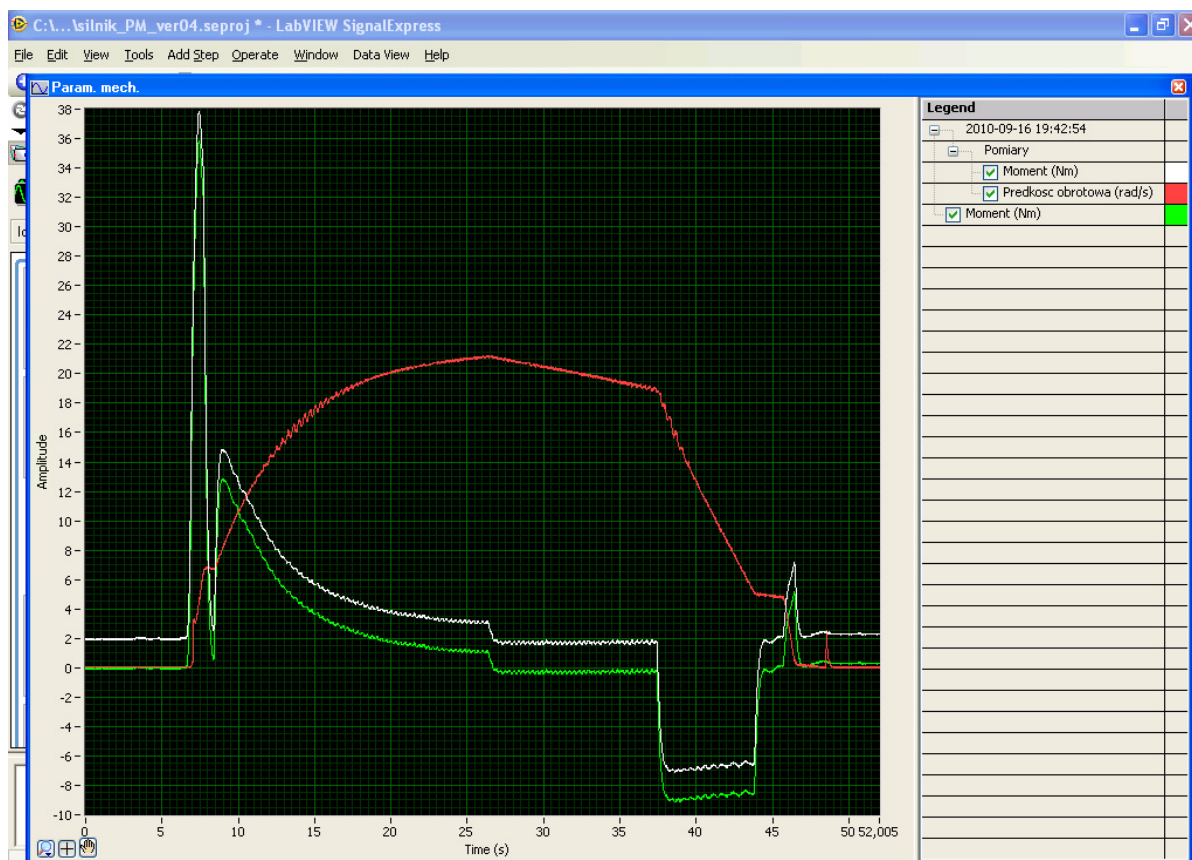
- moment silnika,
- prędkość obrotowa silnika,
- prąd baterii,
- napięcie baterii.

Wyjścia te połączone są z interfejsem systemu akwizycji danych pomiarowych. System akwizycji danych pomiarowych pozwala na zarejestrowanie w/w wielkości fizycznych podczas realizacji przez układ napędowy zadanego cyklu jazdy. Mając zarejestrowane dane pomiarowe należy przystąpić do ich obróbki (filtracja, zerowanie) i wykonania obliczeń. Po ewentualnym odfiltrowaniu z przebiegów szumów, należy wykonać zerowanie przebiegu momentu – do wszystkich zarejestrowanych wartości momentu należy dodać stałą (offset) o takiej wartości, aby początkowa, środkowa (faza jazdy ustalonej) i końcowa wartość momentu wynosiła „0”. Analogicznie należy wykonać zerowanie dla przebiegu prądu.

Poniżej (rys. 11) zaprezentowano przykładowe przebiegi momentu (przed i po zerowaniu) oraz prędkości obrotowej. Impuls momentu na początku cyklu jazdy wywołany jest zewnętrznym rozruchem, a impuls na końcu – hamulcem ciernym działającym w końcowej fazie hamowania.

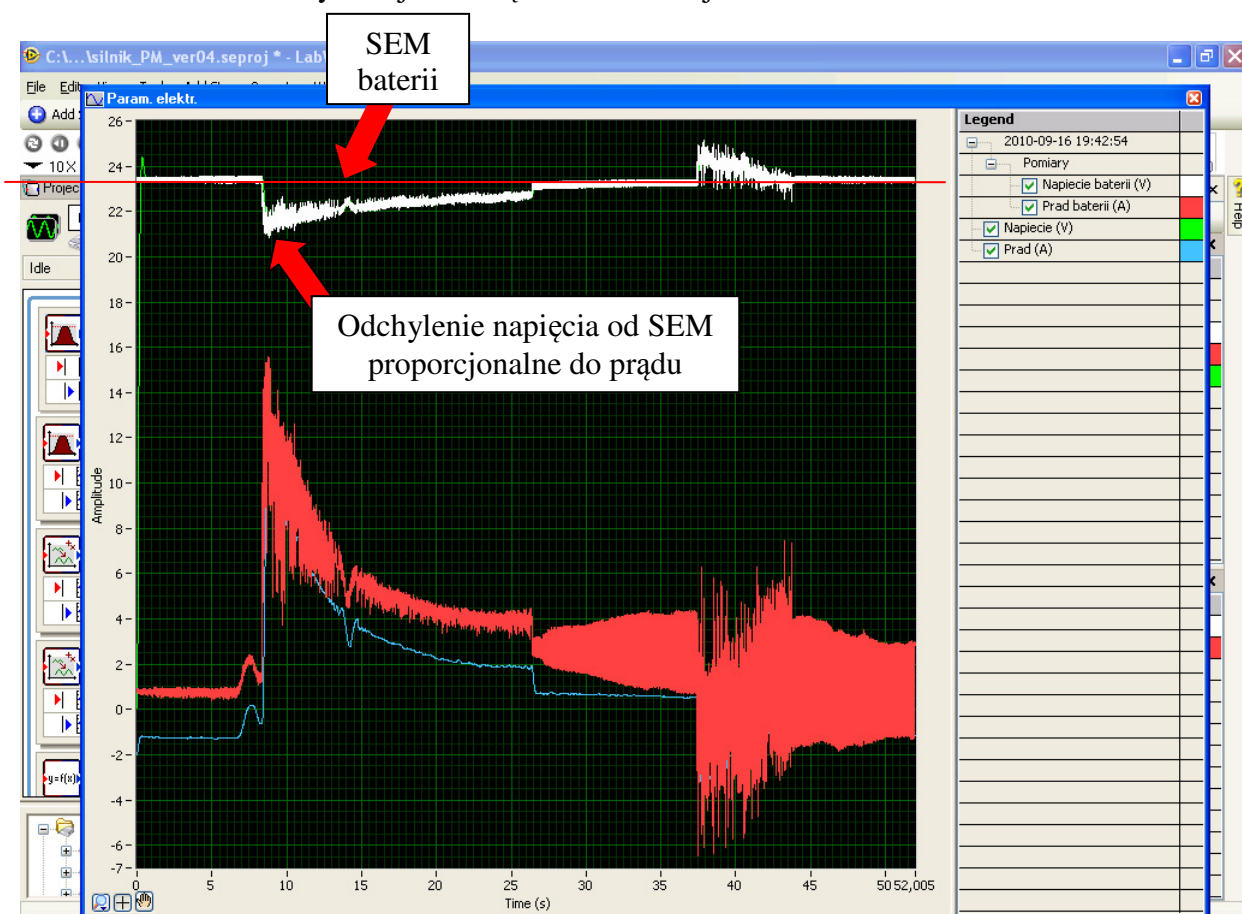
Zagadnienia do samodzielnego opracowania:

- Korzystając z drugiego prawa Newtona wyjaśnić związek pomiędzy kształtem przebiegów momentu i prędkości obrotowej.
- W jaki sposób korzystając z metody graficznej można z przebiegu prędkości obrotowej uzyskać przebieg przyspieszenia kątownego?
- Jaka jest różnica między momentem bezwładności masowym, momentem bezwładności geometrycznym przekroju i momentem pary sił?
- Dlaczego podczas przyspieszania w przedstawionym przykładowym teście prędkość obrotowa narasta krzywoliniowo, a w fazie jazdy ustalonej i hamowania maleje prostoliniowo?
- Dlaczego w fazie jazdy ustalonej prędkość łagodnie opada?



Rys. 11. Przykładowe przebiegi momentu (przed i po zerowaniu) oraz prędkości obrotowej.

Poniżej (rys. 12) zaprezentowano przykładowe przebiegi wielkości elektrycznych – prądu (przed filtracją, zerowaniem i po) i napięcia baterii elektrochemicznej. Dodatkowo wartości prądu oznaczają obciążanie baterii i jej rozładowywanie, a wartości ujemne – zmianę kierunku przepływu prądu i ładowanie baterii w fazie hamowania odzyskowego. Zgodnie z zależnością (3) przebiegi prądu i momentu są bardzo do siebie podobne. Odpowiedzią na zmiany obciążenia prądowego baterii elektrochemicznej jest jej napięcie. Napięcie baterii elektrochemicznej jest powiązane z jej siłą elektromotoryczną i prądem poprzez prawo Ohma. W przybliżeniu, siła elektromotoryczna SEM jest równa napięciu na zaciskach baterii w stanie jałowym (bez obciążenia prądowego) i zależy od stanu naładowania baterii. W krótkim czasie trwania testu stan naładowania baterii zmienił się bardzo nieznacznie, więc można przyjąć założenie, że siła elektromotoryczna SEM w czasie testu jest stała i równa napięciu baterii przed i po zakończeniu cyklu jazdy. Wszelkie odchylenia napięcia od wartości SEM są proporcjonalne do wartości prądu. Współczynnikiem proporcjonalności jest wartość rezystancji wewnętrznej baterii, która również zależy od poziomu naładowania baterii. Tak jak w przypadku siły elektromotorycznej można przyjąć założenie upraszczające, że w krótkim czasie trwania testu rezystancja wewnętrzna również jest stała.



Rys. 12. Przykładowe przebiegi wielkości elektrycznych – prądu (przed filtracją, zerowaniem i po) i napięcia baterii elektrochemicznej.

Następnie należy wykonać mnożenie wyzerowanego momentu i prędkości obrotowej (przy zachowaniu jednostek układu SI) aby otrzymać przebieg mocy mechanicznej.

$$N_m = M \cdot \omega$$

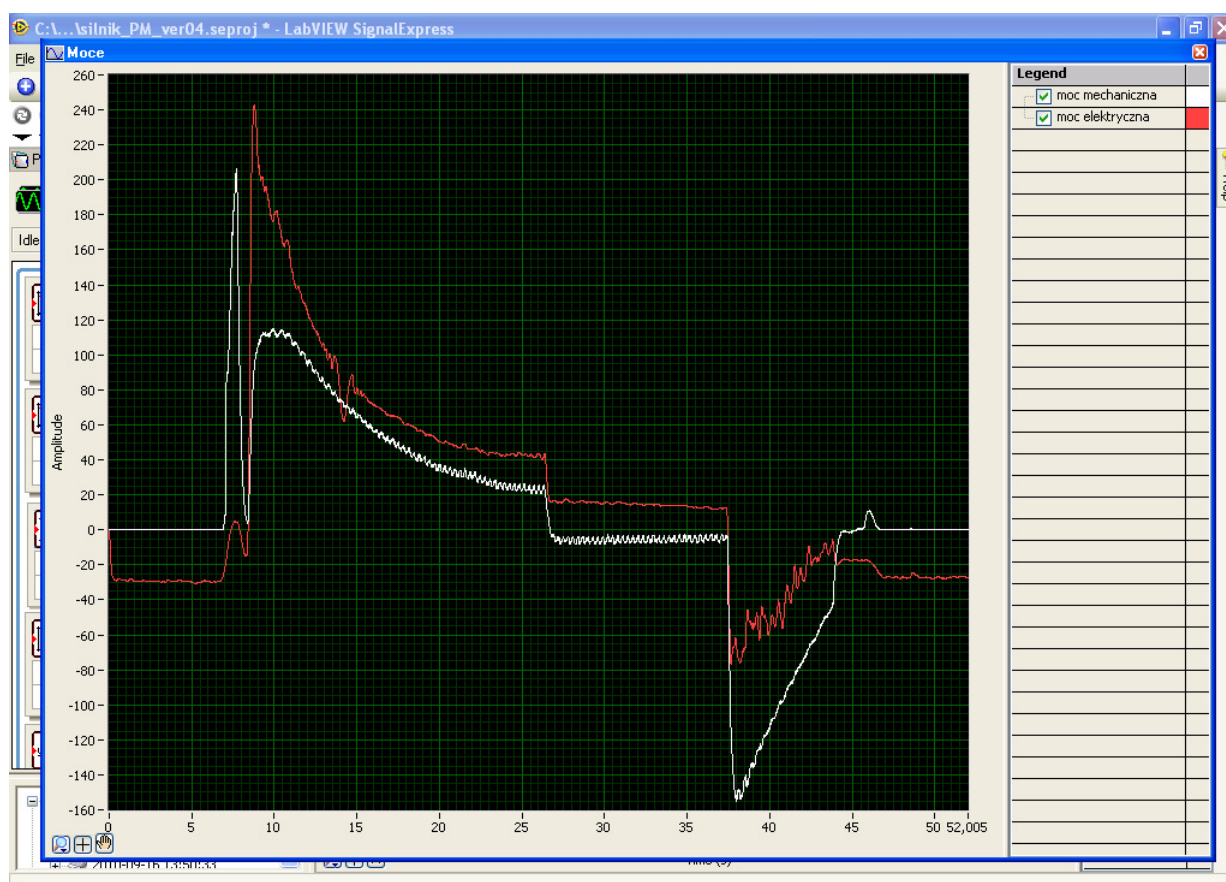
W ten sam sposób należy wykonać mnożenie napięcia i wyzerowanego prądu baterii celem otrzymania mocy elektrycznej.

$$N_e = u \cdot i$$

Przykładowe przebiegi mocy mechanicznej i elektrycznej, obliczone na podstawie przedstawionych powyżej przebiegów wielkości mechanicznych i elektrycznych zaprezentowano na poniższym rysunku (rys. 13). W fazach przyspieszania i jazdy ustalonej wyższą wartość przyjmuje moc elektryczna jako moc wejściowa. Moc elektryczna po odjęciu strat, przekształcona zostaje na moc mechaniczną. I odwrotnie w fazie hamowania – moc mechaniczna po odjęciu strat przekształcona zostaje w moc elektryczną, służącą do doładowania baterii.

Zagadnienia do samodzielnego opracowania:

- Jaką zależnością matematyczną (w postaci całkowej lub różniczkowej) powiązane są ze sobą moc i energia?
- Definicja mocy.
- Graficzna interpretacja energii na przebiegach mocy w czasie.



Rys. 13. Przykładowe przebiegi mocy mechanicznej i elektrycznej,

Mając przebiegi mocy mechanicznej i elektrycznej należy wyznaczyć przebieg sprawności. Sprawność w fazie rozpędzania i jazdy ustalonej określona jest jako:

$$\eta = \frac{N_m}{N_e}$$

W fazie hamowania jako:

$$\eta = \frac{N_e}{N_m}$$

Zagadnienia do samodzielnego opracowania:

- Czym różni się całkowita sprawność w cyklu od sprawności chwilowej?

#### 4. Forma i zawartość sprawozdania:

Sprawozdanie z ćwiczenia powinno zawierać:

- stronę tytułową;
- krótki opis ćwiczenia;
- opracowane graficznie przebiegi wielkości: prędkości obrotowej, momentu, napięcia i prądu baterii, zarejestrowanych podczas ćwiczenia laboratoryjnego, odfiltrowane i wyzerowane;
- przebiegi mocy mechanicznej i elektrycznej, obliczone na podstawie danych zarejestrowanych podczas ćwiczenia;
- przebieg chwilowej sprawności układu, obliczony na podstawie uzyskanych przebiegów mocy mechanicznej i elektrycznej;
- odpowiedzi na zagadnienia do samodzielnego opracowania zamieszczone w instrukcji;
- wnioski.

Opracował:

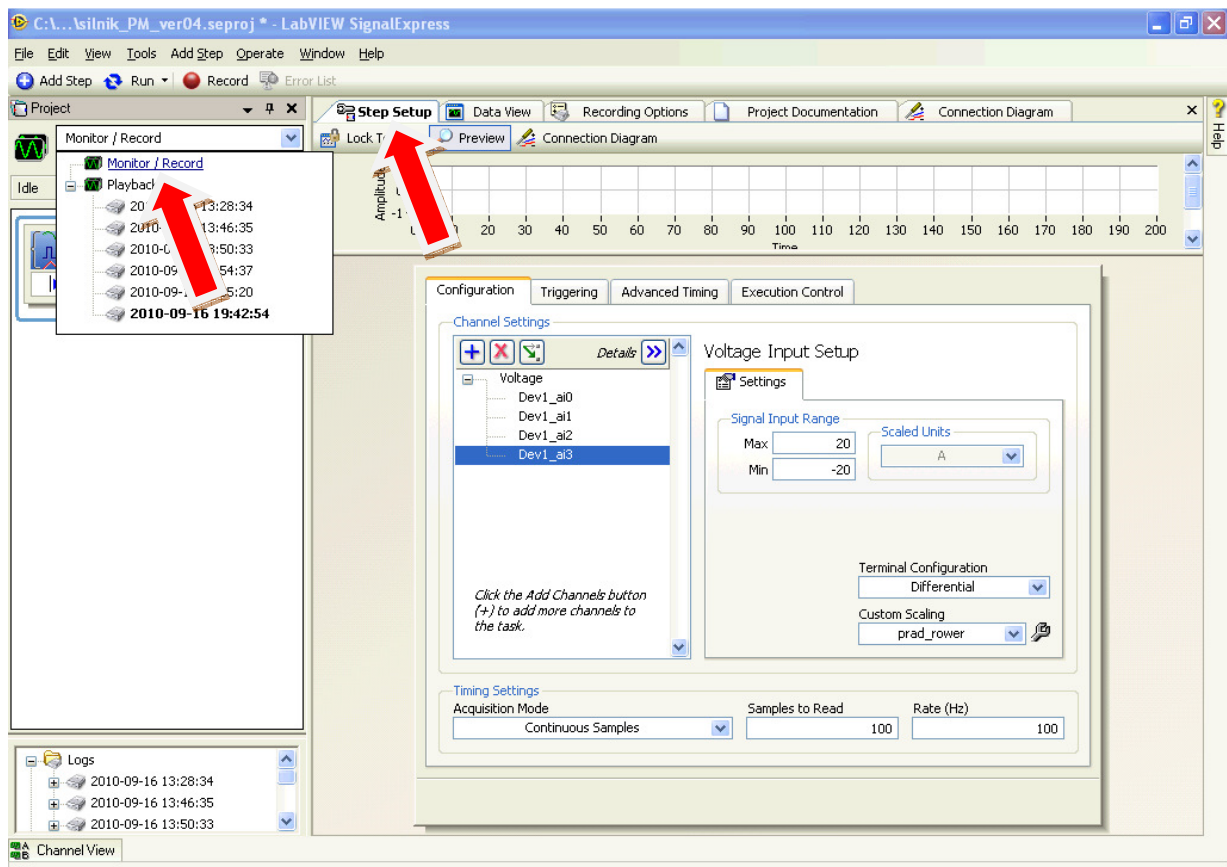
dr inż. Piotr Piórkowski

## Instrukcja wykonania pomiarów przy pomocy oprogramowania LabVIEW SignalExpress 2009 i kart pomiarowej NI USB 6008

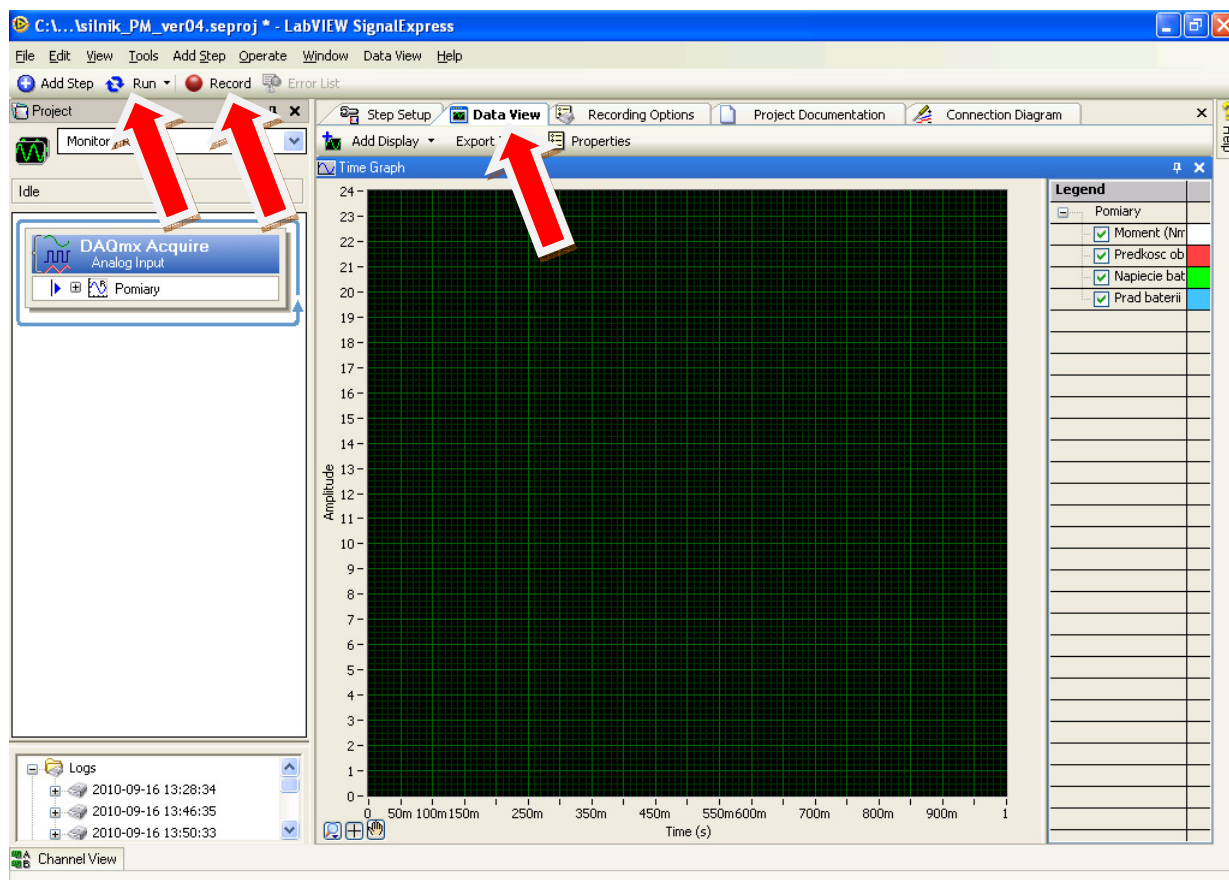
1. Podłączyć kartę pomiarową do komputera i wyjść analogowych stanowiska laboratoryjnego:

Kanał 0 – moment  
Kanał 1 – prędkość  
Kanał 2 – napięcie  
Kanał 3 – prąd

2. Uruchomić oprogramowanie LabVIEW SignalExpress 2009 i otworzyć plik konfiguracyjny testu.
3. Z okienka „Project” wybrać opcję „Monitor/Record”, a następnie w głównym oknie programu wybrać zakładkę „Step Setup”. W tej zakładce widoczne są nastawy sprzętowe próby tj. zdefiniowane są używane kanały karty pomiarowej, różnicowy rodzaj konfiguracji kanałów, tabele skalowań poszczególnych kanałów, zakresy pomiarowe, częstotliwość próbkowania i liczba próbek na blok bufora pamięci. Zaleca się niewprowadzanie zmian w zapisanej konfiguracji.

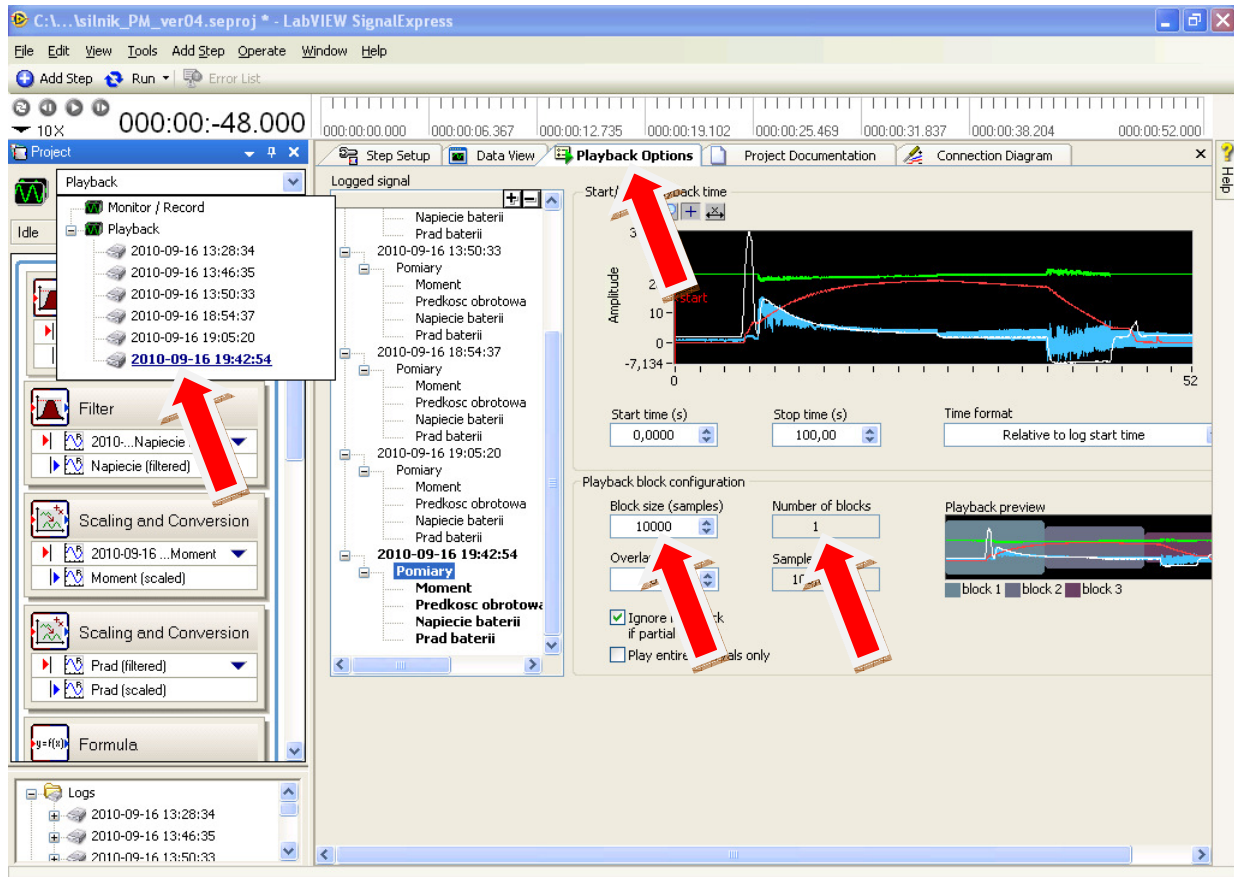


5. W oknie głównym wybrać zakładkę „Data View”, a następnie z graficznego menu narzędziowego zaznaczyć i nacisnąć przycisk „Run”. Spowoduje to wyświetlanie mierzonych sygnałów w jednosekundowych blokach.



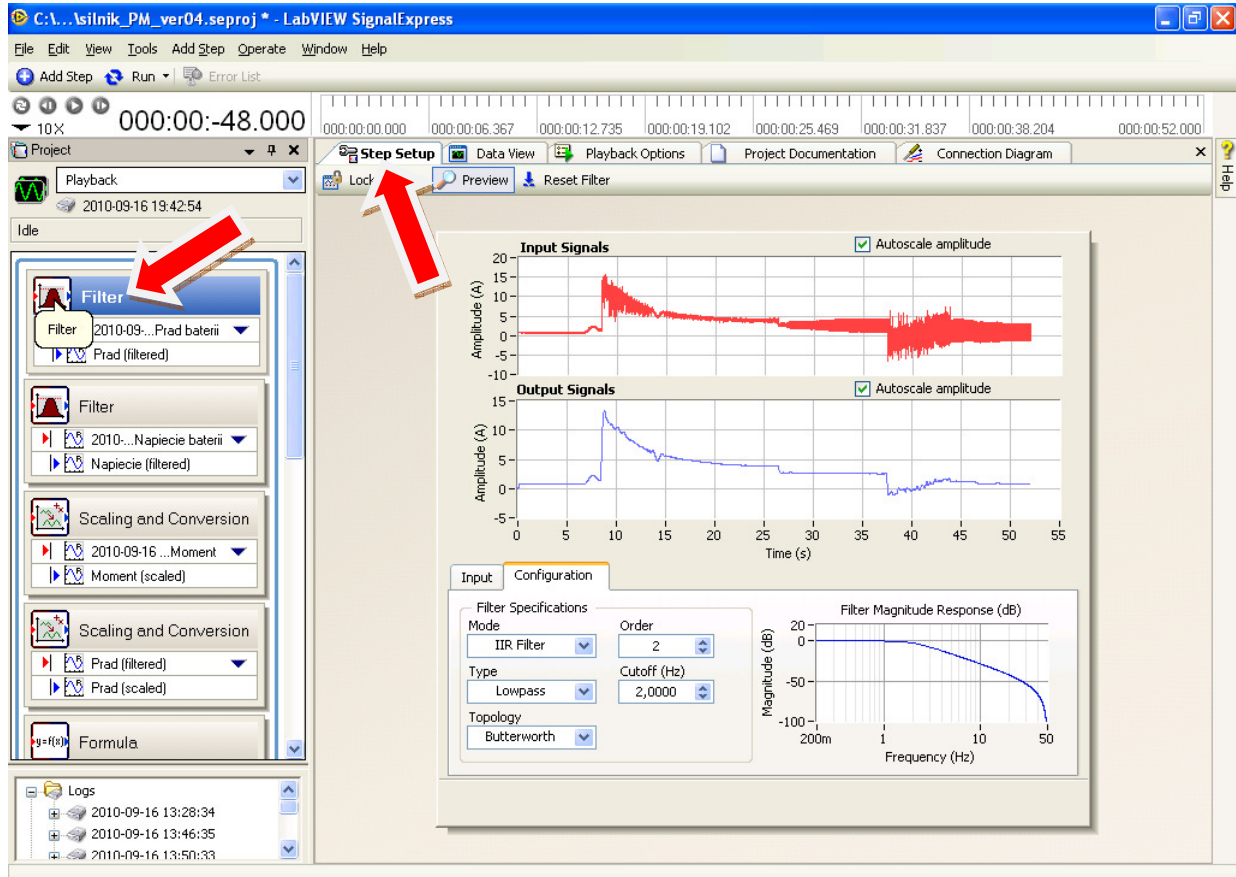
6. Z graficznego menu narzędziowego zaznaczyć i nacisnąć przycisk „Record”. Spowoduje to uruchomienie zapisu na dysk mierzonych sygnałów.
7. Uruchomić silnik i zrealizować na stanowisku laboratoryjnym zamierzony cykl jazdy.
8. Po zatrzymaniu silnika z graficznego menu narzędziowego zaznaczyć i nacisnąć przycisk „Record”. Spowoduje to zatrzymanie zapisu na dysk mierzonych sygnałów.

9. Z okienka „Project” wybrać opcję „Playback”, wybrać log z ostatnio zapisanymi danymi, a następnie w głównym oknie programu wybrać zakładkę „Playback Options”. W tej zakładce należy ustawić wartość w polu „Block size” na wartość ok. 10000, tak aby w polu „Numer of blocks” uzyskać wartość „1” – w jednym bloku muszą się znaleźć wszystkie próbki. W takim przypadku na ekranach wszystkie zapisane dane będą widoczne w całości.

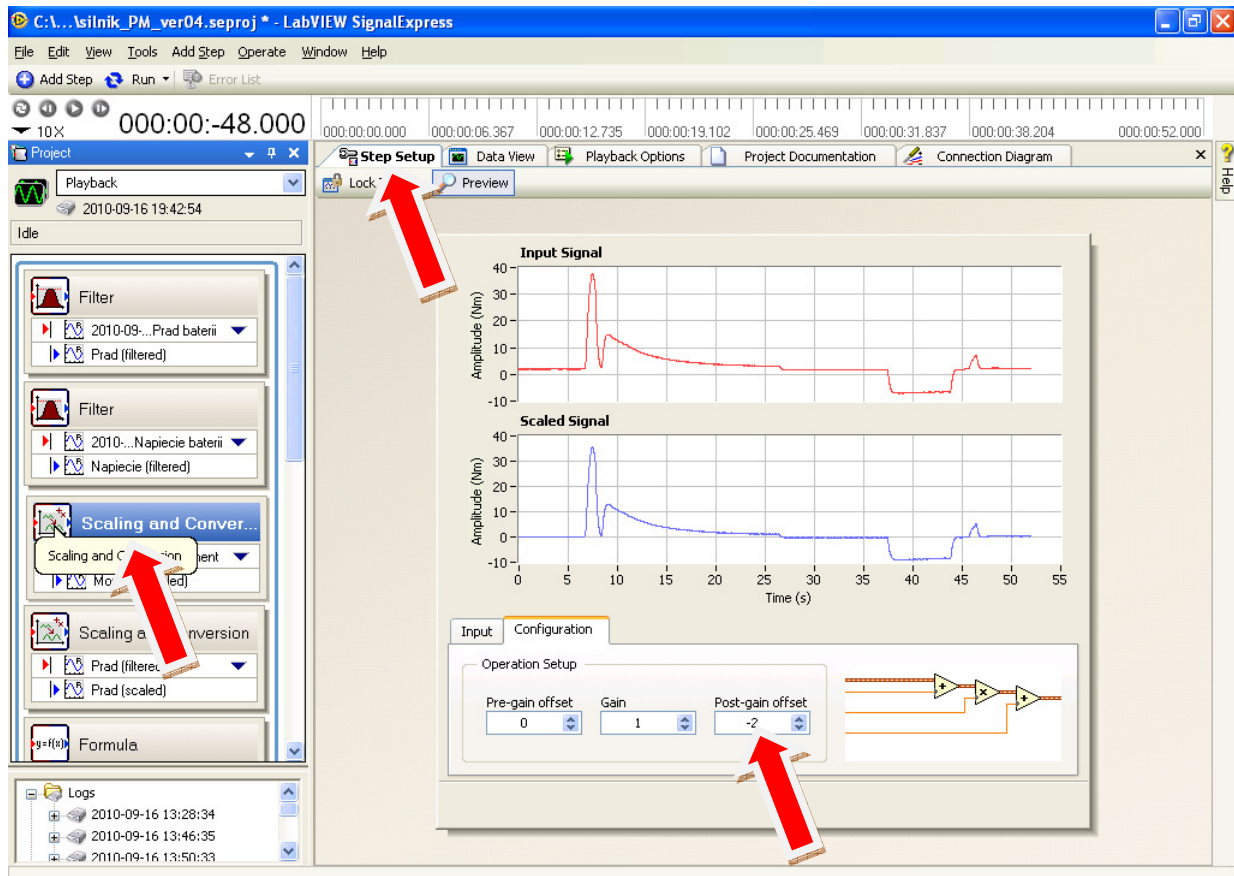




10. Z lewego panelu wybrać pierwszy blok „Filter” i w oknie głównym wybrać zakładkę „Step Setup”. Blok ten służy do odfiltrowania zakłóceń z sygnału prądu. Można tu zmieniać rodzaj i parametry filtra i na bieżąco mieć pogląd na sygnał przed i po filtrowaniu. Tak samo postępujemy z drugim blokiem typu „Filter” filtrującym z zakłóceń sygnał napięcia baterii.



11. Z lewego panelu wybrać blok „Scaling and Conversion” i w oknie głównym wybrać zakładkę „Step Setup”. Blok ten służy do wyzerowania przebiegu momentu. Zmieniając wartość w polu „Post-gain offset” i mając podgląd na przebieg sygnału przed i po zerowaniu należy doprowadzić do całkowitego wyzerowania przebiegu momentu, tj. po zerowaniu moment przed rozpoczęciem cyklu jazdy, w fazie jazdy ustalonej i po zrealizowaniu cyklu jazdy powinien mieć wartość „0” lub jak najbardziej bliską „0”. Tę samą czynność zerowania przeprowadzić dla przebiegu prądu.



12. W oknie głównym wybrać zakładkę „Data View”. Widoczne są trzy okna. W pierwszym widoczne są parametry mechaniczne – moment i prędkość obrotowa. W drugim oknie widoczne są przebiegi wielkości elektrycznych – prądu i napięcia baterii. W trzecim oknie widoczne są dwa przebiegi mocy elektrycznej i mechanicznej będące wynikiem wymnożenia odpowiednich przebiegów, przefiltrowanych i wyzerowanych. Po podwójnym kliknięciu na paski poszczególnych okien można je powiększyć w celu szczegółowego omówienia uzyskanych wyników.

