

Stanowisko
PME1R

Planarny Manipulator z Elastycznością w złączu o jednym stopniu Rotacyjnym

Dokumentacja techniczna

KSIS-PP
Poznań 2015

I. OPIS OGÓLNY. KONFIGURACJA I UŻYTKOWANIE

Elementy składowe systemu szybkiego prototypowania PME1R:

Zasadniczymi elementami stanowiska są:

- 1) serwonapęd synchroniczny o magnesach trwałych z komutacją sinusoidalną połączony z przekładnią redukcyjną i ramieniem manipulacyjnym wyposażonym w podatność umieszczoną za przekładnią,
- 2) sterownik CPME1R zawierający procesor sygnałowy TMS320C28335 oraz sterownik podrzędny ze wzmacniaczem mocy typu Maxon DES 50/5,
- 3) czujnik pozycji ogniwa,
- 4) karta I/O (wejścia-wyjścia): PCI-DAS 1602/12,
- 5) komputer PC ze środowiskiem graficznym VisSim i nakładką RealTimePRO.

Opis budowy i zasada działania stanowiska.

Stanowisko PME1R jest fizycznym modelem pojedynczego ogniwa manipulatora z podatnością w złączu i służy do celów dydaktycznych oraz badawczych głównie związanych z modelowaniem eksperymentalnym (identyfikacją) oraz testowaniem algorytmów sterowania w środowisku szybkiego prototypowania. Widok ogólny stanowiska ilustruje RYS. 1. Zasadniczym elementem stanowiska jest podatny manipulator połączony z napędem za pomocą sprężyn i przekładni redukcyjnej. Sztywność sprężyn jest ustalona. Na stanowisku zastosowano serwonapęd w postaci silnika synchronicznego o magnesach trwałych z elektroniczną komutacją sinusoidalną połączony z podrzędnym sterownikiem firmy Maxon DES 50/5, który może pracować w trybie wymuszenia prędkościowego bądź prądowego. Zarówno sterownik podrzędny ze wzmacniaczem mocy jak i dodatkowe układy kondycjonowania i konwersji sygnałów oraz konfiguracji systemu zabudowano w skrzynce sterownika CPME1R na stanowisku PME1R.

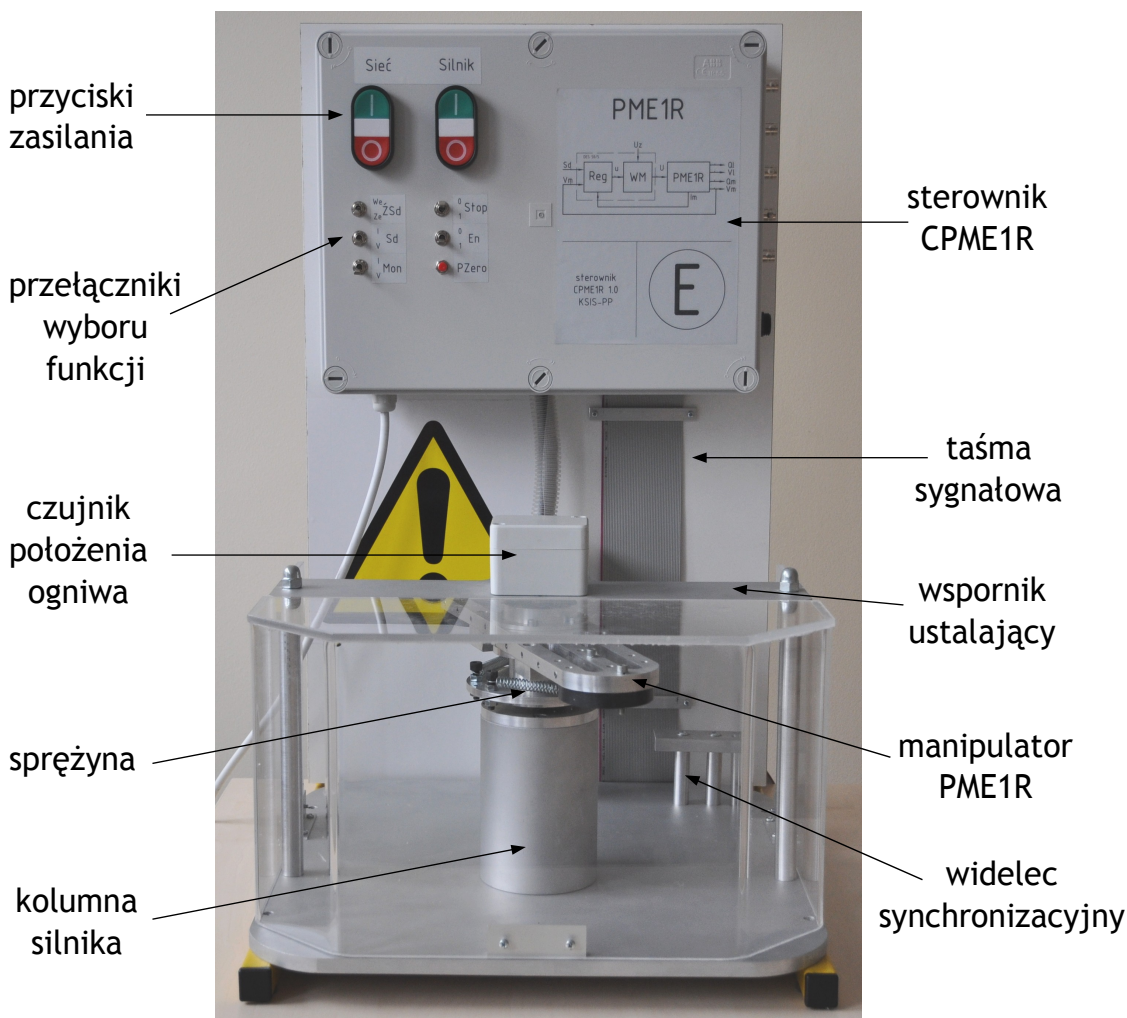
Z punktu widzenia użytkownika, system PME1R posiada jedno dostępne wejście sterujące oznaczone symbolem S_d . W zależności od wyboru trybu pracy układu, wejście sterujące S_d ma charakter zadanej prędkości silnika (wymuszenie prędkościowe: $S_d := S_{dV}$) lub zadanego prądu silnika lub inaczej momentu napędowego (wymuszenie prądowe/momentowe: $S_d := S_{dM}$). Wybór trybu wymuszenia wynika z pozycji przełącznika S_d na panelu przednim sterownika CPME1R (patrz opis w TABELI 2). W celu realizacji stosownego

wymuszenia (prędkościowego lub prądowego) silnik napędowy objęto podrzędną pętlą regulacji prędkości lub prądu z regulatorem typu PI zrealizowaną dzięki zastosowaniu sterownika Maxon DES-50/5.

System posiada cztery sygnały wyjściowe. Są to:

- pozycja Q_m i prędkość V_m silnika oraz
- pozycja Q_l i prędkość V_l ogniwa.

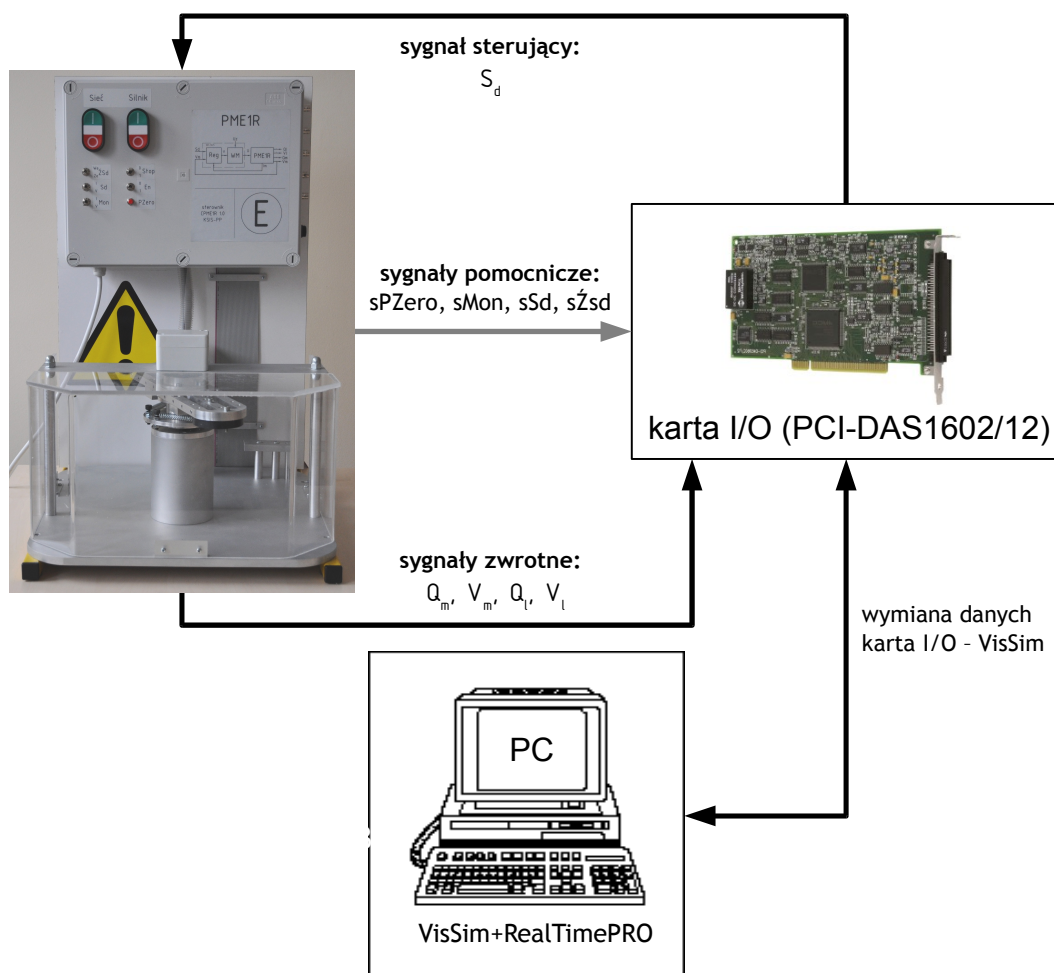
Fizyczny pomiar pozycji odbywa się niezależnie po stronie silnika (pomiar pozycji kątowej wału silnika z wykorzystaniem optycznego czujnika obrotowo-impulsowego) jak i po stronie ogniwa (pomiar pozycji kątowej ogniwa względem układu ustalonego za pomocą czujnika obrotowo-impulsowego mocowanego do wspornika ustalającego połączonego z podstawą manipulatora). Na podstawie pomiarów pozycji numerycznie estymowane są prędkości silnika i ogniwa. Do celów estymacji wykorzystywany jest procesor sygnałowy umieszczony w skrzynce sterownika CPME1R.



RYS 1. Widok ogólny stanowiska PME1R z opisem zasadniczych elementów

Podstawowy sposób wykorzystania stanowiska wynika z jego użycia w systemie szybkiego prototypowania, w którym obsługa sygnałowa urządzenia jest możliwa z poziomu zewnętrznego komputera PC wyposażonego w oprogramowanie VisSim z nakładką RealTimePRO. Wymiana sygnałów pomiędzy stanowiskiem

a komputerem zewnętrznym jest możliwa dzięki analogowej reprezentacji wszystkich sygnałów (zarówno sygnału wejściowego jak i sygnałów wyjściowych) i dzięki obecności karty I/O w komputerze zewnętrznym. Kondycjonowanie i konwersja sygnałów wejściowych i wyjściowych jest realizowana za pomocą pokładowego procesora sygnałowego umieszczonego w skrzynce sterownika CPME1R. Komputer ze wspomnianym wyżej oprogramowaniem i kartą I/O spełnia rolę szeroko rozumianego nadrzędnego układu sterowania, który może współpracować ze stanowiskiem w czasie (quasi) rzeczywistym. Projektowanie nadrzędnego układu sterowania wynika z potraktowania systemu PME1R jako obiektu dynamicznego o wejściu sterującym S_d i czterech zmiennych stanu: Q_m , V_m , Q_l , V_l (patrz TABELA 1). Maksymalna częstotliwość próbkowania w nadrzędnym układzie sterowania wynika z ograniczeń charakterystycznych dla oprogramowania komputera PC i wynosi około 100 Hz. Schemat funkcjonalny systemu szybkiego prototypowania PME1R przedstawiający schemat połączeń i przepływu sygnałów przedstawia RYS. 2.



RYS 2. Schemat funkcjonalny systemu szybkiego prototypowania PME1R (nazwy sygnałów wg TABELI 2)

TABELA 1 przedstawia symbole i cechy sygnałów wejściowych i wyjściowych stanowiska PME1R. Sygnały te są widziane po stronie komputera PC w środowisku VisSim poprzez odwołanie się do odpowiednich numerów kanałów karty I/O (zgodnie z opisem w ostatniej kolumnie TABELI 1). Prawidłowe odwołanie do poszczególnych sygnałów podano w ramach przykładowych schematów implementacyjnych środowiska VisSim w plikach *PME1RtestV.vsm* oraz *PME1RtestI.vsm* (dostępnych na płycie CD dołączonej do dokumentacji).

TABELA 1. Zestawienie sygnałów wejściowych i wyjściowych stanowiska PME1R

Symbol	Typ sygnału (wg ustawień karty I/O)*	Kierunek (względem stanowiska)	Opis	Kanał karty I/O
S_d	Analogowy $\pm 10V$	IN (wejście)	sygnał sterujący (interpretacja zależna od trybu wymuszenia)	D/A OUT0
Q_m	Analogowy $\pm 10V$	OUT (wyjście)	pozycja silnika (jako 51 razy pozycja Q_g za przekładnią)	CH3_HI
V_m	Analogowy $\pm 10V$	OUT (wyjście)	prędkość silnika (jako 51 razy prędkość V_g za przekładnią)	CH2_HI
Q_l	Analogowy $\pm 10V$	OUT (wyjście)	pozycja ogniwa	CH1_HI
V_l	Analogowy $\pm 10V$	OUT (wyjście)	prędkość ogniwa	CH0_HI

TABELA 2 zawiera opis funkcji przelączników dostępnych dla użytkownika na płycie czołowej sterownika CPME1R. Źródło sygnału $\acute{Z}Sd$ umożliwia przetestowanie ruchu manipulatora przy wyborze $\acute{Z}Sd=We$, natomiast wybór $\acute{Z}Sd=Ze$ jest standardowy dla pracy w systemie szybkiego prototypowania w środowisku VisSim. Wybór $Sd=I$ skutkuje wyborem wymuszenia prądowego (momentowego), gdzie sterownik podrzędny DES pełni rolę podrzędnego regulatora prądu/momentu napędowego silnika. Wybór $Sd=V$ wymusza tryb prędkościowy, gdzie sterownik podrzędny DES pełni rolę podrzędnego regulatora prędkości silnika. Przelącznik Mon wymusza interpretację sygnału monitora (wyznaczanego przez moduł sterownika DES), który jest wyłącznie dodatkowym/pomocniczym sygnałem udostępnionym do odczytu.

TABELA 2. Opis funkcji przelączników na płycie czołowej sterownika CPME1R

Symbol	Opis
$\acute{Z}Sd$	Przelącznik zmiany źródła sygnału zadanego: We = wewnętrzne, Ze = zewnętrzne
Sd	Przelącznik zmiany interpretacji sygnału zadanego: I = prąd silnika, V = prędkość silnika
Mon	Przelącznik zmiany sygnału monitora: I = prąd silnika, V = prędkość silnika
Stop	Przelącznik uruchomienia(0)/zatrzymania(1) napędu manipulatora
En	Przelącznik logicznego zablokowania(0)/odblokowania(1) napędu manipulatora
PZero	Przycisk zerowania położenia ogniwa (przyciśnięcie zeruje położenie ogniwa)

W TABELI 3 zestawiono pięć sygnałów pomiarowo dostępnych na złączach BNC na bocznej płycie sterownika CPME1R. Są to sygnały analogowe, które wyprowadzono w celu ich potencjalnej wizualizacji na

zewnętrznym oscyloskopie. Dodatkowo w TABELI 3 podano wyjaśnienie funkcji dwóch gniazd służących do programowania urządzeń zawartych w skrzynce sterownika CPME1R.

TABELA 3. Opis sygnałów dostępnych w gniazdach na płycie bocznej sterownika CPME1R

Symbol	Opis
Vl	Sygnał prędkości ogniwa (sygnał analogowy a zakresie [-10V,+10V])
Ql	Sygnał położenia ogniwa (sygnał analogowy a zakresie [-10V,+10V])
Vm	Sygnał prędkości silnika (sygnał analogowy a zakresie [-10V,+10V])
Qm	Sygnał położenia silnika (sygnał analogowy a zakresie [-10V,+10V])
Sd	Sygnał sterujący (sygnał analogowy a zakresie [-10V,+10V])
Prg	Gniazdo USB do programowania procesora DSP
DES	Gniazdo szeregowego łącza UART do programowania sterownika Maxon DES 50/5

Należy pamiętać, że wartości sygnałów analogowych (wejściowych i wyjściowych) są wyrażone w Voltach. Zatem w celu ich interpretacji fizycznej należy przeliczać wartości sygnałów do jednostek fizycznych charakterystycznych dla wielkości, które reprezentują. W przypadku stanowiska PME1R przeliczanie sygnałów można wykonać na podstawie następujących zależności (patrz - schematy w plikach *PME1RtestV.vsm* oraz *PME1RtestI.vsm* dostępnych na płycie CD dołączonej do dokumentacji):

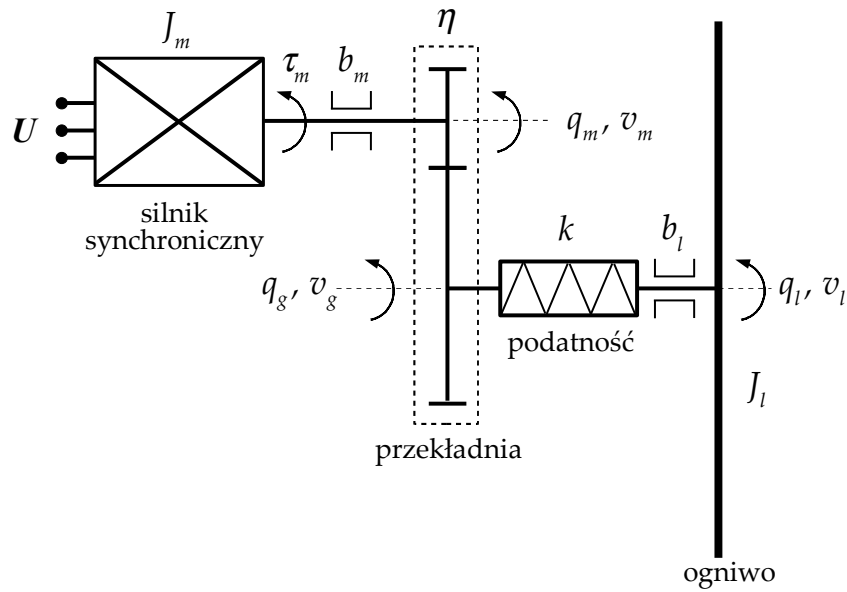
- $S_{dv} [V] = w_0 * S_{dv} [obr/s]$, gdzie $w_0 = (10V)/(8870/60 obr/s)$
- $S_{dM} [V] = w_1 * S_{dM} [A]$, gdzie $w_1 = (10V)/(15A)$
- $V_m [obr/s] = w_2 * V_g [V]$, gdzie $w_2 = (51*3 obr/s)/(10 V)$
- $Q_m [obr] = w_3 * Q_g [V]$, gdzie $w_3 = (51*2 obr)/(10 V)$
- $V_l [obr/s] = w_4 * V_l [V]$, gdzie $w_4 = (3 obr/s)/(10 V)$
- $Q_l [obr] = w_5 * Q_l [V]$, gdzie $w_5 = (2 obr)/(10 V)$

gdzie wartość 51 wynika z odwrotności współczynnika przełożenia przekładni redukcyjnej $\eta=1/51$.

II. UWAGI NA TEMAT MODELU MANIPULATORA I STRUKTURY UKŁADU STEROWANIA

Uwagi na temat modelowania manipulatora.

Strukturę modelu manipulatora podatnego można wyprowadzić na podstawie schematu mechanicznego przedstawionego na RYS. 3, gdzie indeksem m oznaczono wielkości związane z silnikiem, indeksem g wielkości związane z przekładnią, natomiast indeksem l wielkości związane z ogniwem.



RYS 3. Schemat mechaniczny manipulatora z podatnością w złączu napędzanego silnikiem z przekładnią

Na podstawie rysunku, i zakładając że masa ogniwa jest równomiernie rozłożona wokół osi obrotu oraz pomijając nieliniowe efekty tarcia, równania bilansu momentów sił po stronie silnika i po stronie ogniwa przyjmują postać:

$$\begin{aligned} J_m \ddot{q}_m + b_m \dot{q}_m + k \eta (\eta q_m - q_l) &= \tau_m \\ J_l \ddot{q}_l + b_l \dot{q}_l - k \eta (\eta q_m - q_l) &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie τ_m jest momentem napędowym silnika (proporcjonalnym do prądu silnika), q_m i q_l stanowią, odpowiednio, pozycję kątową silnika i ogniwa, $\eta < 1$ jest współczynnikiem przełożenia przekładni, k jest stałą sztywności sprężyny, J_m i J_l są wypadkowymi momentami bezwładności, odpowiednio, wokół osi obrotu silnika i osi obrotu ogniwa, natomiast b_m i b_l reprezentują współczynniki tłumienia wiskotycznego w podporach wałów silnika i ogniwa.

Jeżeli przyjmiemy, że sygnałem regulowanym jest pozycja ogniwa q_l , a sygnałem sterującym jest moment siły τ_m (co jest uzasadnione, gdy napęd objęto podrzędną pętlą regulacji prądu z odpowiednio efektywnym regulatorem prądu), to na podstawie równań (1) można w prosty sposób wyprowadzić transmitancję

$$G_M(s) = \frac{Q_l(s)}{\tau_m(s)} = \frac{\frac{k \eta}{J_l J_m}}{s^4 + \frac{b_l J_m + b_m J_l}{k \eta} s^3 + \frac{k J_m + b_m b_l + k J_l \eta^2}{k \eta} s^2 + \frac{k b_m + k b_l \eta^2}{k \eta} s} \quad (2)$$

reprezentującą astatyczny system dynamiczny czwartego rzędu.

Jeżeli przyjmiemy, że sygnałem regulowanym jest pozycja ogniwa q_l , a sygnałem sterującym jest prędkość silnika $v_m = dq_m/dt$ (co jest uzasadnione, gdy napęd objęto podrzędną pętlą regulacji prędkości z

odpowiednio efektywnym regulatorem prędkości), to na podstawie równań (1) można w prosty sposób wyprowadzić transmitancję

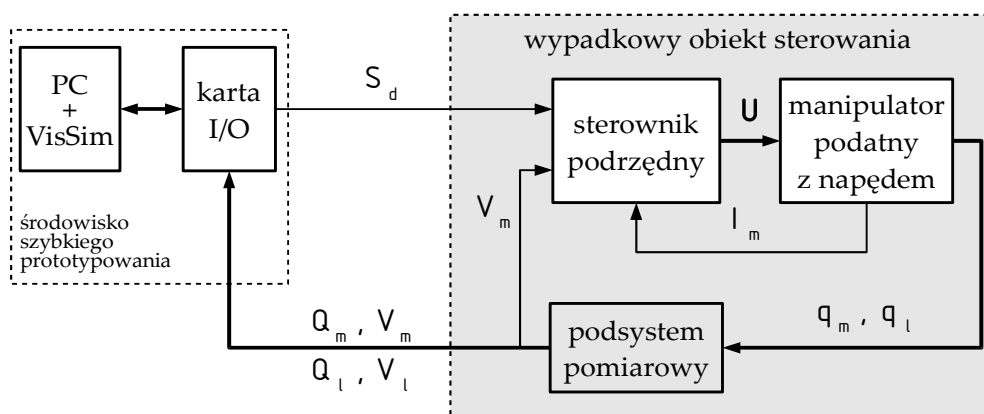
$$G_V(s) = \frac{Q_l(s)}{V_m(s)} = \frac{k \eta / J_l}{s[s^2 + (b_l / J_l)s + k / J_l]} \quad (3)$$

reprezentującą tym razem astatyczny system dynamiczny trzeciego rzędu.

Transmitancja (2) jest użyteczna do opisu struktury obiektu sterowania PME1R przy wyborze wymuszenia prądowego/momentowego (tj, gdy $S_d := \tau_m$), natomiast stosowanie transmitancji (3) jest uzasadnione przy wyborze wymuszenia prędkościowego (tj, gdy $S_d := V_m$). Wybór charakteru wymuszenia zależy od stanu przetłacznika S_d (patrz TABELA 2).

Uwagi na temat struktury układu sterowania.

Z punktu widzenia automatyki, struktura układu sterowania na stanowisku PME1R wynika ze schematu blokowego przedstawionego na RYS. 4. Zgodnie ze schematem, można wyróżnić podrzędny obwód regulacji z obiektem w postaci manipulatora podatnego oraz ze sterownikiem podrzędnym (zrealizowanym w sterowniku CPME1R) pracującym (w zależności od stanu przetłacznika S_d - patrz TABELA 2) w trybie regulacji prędkości silnika lub w trybie regulacji prądu silnika. Dla użytkownika systemu szybkiego prototypowania w środowisku VisSim, wypadkowym obiektem sterowania jest zatem dynamika zamkniętego podrzędnego układu regulacji, którego wejściem sterującym jest sygnał zadany S_d (jego interpretacja zależy od stanu przetłacznika S_d na płycie czołowej sterownika CPME1R), a dostępnymi sygnałami wyjściowymi są położenia Q_m , Q_l oraz prędkości V_m , V_l , odpowiednio, silnika oraz ogniwa.



RYS 4. Schemat blokowy układu sterowania widziany przez użytkownika systemu szybkiego prototypowania PME1R w środowisku VisSim

Zaniedbując dynamikę podsystemu pomiarowego (jest ona nieznacząca w stosunku do reszty składowych modów dynamiki obwodu podrzędnego), dynamika wypadkowego obiektu sterowania w torze S_d-Q_i może być aproksymowana w liniowym zakresie pracy jedną z transmitancji opisanych wzorem (2) lub (3) w zależności od wyboru trybu wymuszenia.

III. WYBRANE DANE TECHNICZNE STANOWISKA

TABELA 4. Przyporządkowanie sygnałów do kanałów karty wejścia-wyjścia na stanowisku PME1R

Symbol sygnału	Opis	Kanał karty I/O	Zakres wartości	Komentarz
Vl	prędkość ogniwa	CH0_HI (pin 2)	[-10,+10] V	współczynnik: 10/3 [V/(obr/s)]
Ql	położenie ogniwa	CH1_HI (pin 4)	[-10,+10] V	współczynnik: 10/2 [V/obr]
Vg	prędkość kołnierza za przekładnią	CH2_HI (pin 6)	[-10,+10] V	współczynnik: 10/3 [V/(obr/s)]
Qg	położenie kołnierza za przekładnią	CH3_HI (pin 8)	[-10,+10] V	współczynnik: 10/2 [V/obr]
rA	rezerwa	CH4_HI (pin 10)	[-10,+10] V	---
rB	rezerwa	CH5_HI (pin 12)	[-10,+10] V	---
rC	rezerwa	CH6_HI (pin 14)	[-10,+10] V	---
Mon	monitor	CH7_HI (pin 16)	[-10,+10] V	---
Sd	sygnał sterujący	D/A OUT0 (pin 36)	[-10,+10] V	---
rD	rezerwa	D/A OUT1 (pin 38)	[-10,+10] V	---
GND	masa	(pin 2)	0 V	---
sPZero	stan przycisku PZero	FIRSTPORTB Bit 0 (pin 59)	sygnał binarny TTL	0 - brak akcji 1 - zerowanie pozycji
sMon	stan przetłącznika Mon	FIRSTPORTB Bit 2 (pin 61)	sygnał binarny TTL	0 - bieżąca prędkość silnika 1 - bieżący prąd silnika
sSd	stan przetłącznika Sd	FIRSTPORTB Bit 4 (pin 63)	sygnał binarny TTL	0 - wymuszenie prądowe 1 - wymuszenie prędkościowe
sŻSd	stan przetłącznika ŻSd	FIRSTPORTB Bit 6 (pin 65)	sygnał binarny TTL	0 - wymuszenie wewnętrzne 1 - wymuszenie zewnętrzne

TABELA 5. Opis wybranych parametrów i symboli podzespołów zastosowanych na stanowisku PME1R

Nazwa	Wartość	Jednostka
przełożenie przekładni η	1/51	[-]
rozdzielczość enkodera silnika	1000 * 4 (kwadratura)	[imp/obr]
rozdzielczość enkodera ogniwa	2000 * 4 (kwadratura)	[imp/obr]
napięcie zasilania wzmacniacza mocy	24	[V]
numery identyfikacyjne silnika, przekładni i enkodera silnika	EC-max 30 nr 272768 GP 32C nr 166939 MR typ ML nr 225780	---
typ enkodera ogniwa	MHK 40 12/2000/5/BZ/N	---

Do niniejszego dokumentu dołączono także:

1. schematy obwodów elektrycznych stanowiska PME1R
2. kartę katalogową sterownika DES 50/5
3. instrukcję do karty PCI-DAS 1602/12 (plik *.pdf)
4. przykładowe schematy blokowe środowiska VisSim (pliki *.vsm).

Aktualizacja:
5.11.2015

opracowanie:
Maciej Michatek