

*Dr Hab. Inż. Ryszard Vogt (Prof. Nzw. PW)
Politechnika Warszawska
Dr Inż. Robert Głębocki
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów*

STRUKTURA I DYNAMIKA UKŁADU STABILIZACJI KIERUNKOWEJ POJAZDÓW Z RÓŻNICOWYM NAPIĘDEM KÓŁ

W referacie omówiono wyniki badań nad sterowaniem wózkiem inwalidzkim. Wózek posiada różnicowy elektryczny napęd kół.

STRUCTURE AND DYNAMIC OF COURSE CONTROL SYSTEM OF VEHICLES WITH DIFFERENTIAL GEAR

In refer we described researches results over wheeling chair control system. System has electric motors with differential gear.

1. WPROWADZENIE

Pojęcie sterowania wiąże się z określonym i świadomym wymuszeniem powodującym przejście stanu dynamicznego obiektu z jednego do drugiego zakresu. Każde działanie, które wnosi żadaną celową zmianę do procesu fizycznego nazywa się sterowaniem. Regulacja jest to takie oddziaływanie na obiekt, które w warunkach zakłóceń sprowadza zawsze wartość wielkości regulowanej do wartości żądanej. W praktyce często jest spotykany problem nadążania, w którym szukamy sterowania takiego, by trajektoria stanu lub trajektoria wyjścia układu możliwie dokładnie odtwarzała przebieg danej funkcji czasu. Jeżeli funkcja za którą odpowiednia trajektoria układu ma nadążać jest równa zero, a czas sterowania jest nieskończony, to wtedy mówimy o problemie stabilizacji. Problem stabilizacji może mieć wiele rozwiązań. Realizację poszczególnych rozwiązań można otrzymać stosując otwartą lub zamkniętą strukturę sterowania. Ze względu na zastosowanie praktyczne ważne jest poszukiwanie zależności określających sprzężenie zwrotne. Zastosowanie sprzężenia zwrotnego w rzeczywistym systemie sterowania jest w zasadzie jedynym sposobem likwidacji na bieżąco różnego rodzaju zakłóceń, odchyłek wynikających z niedokładnej oceny parametrów modelu, z błędnej oceny warunków początkowych lub ze zbyt upraszczających założeń poczynionych przy tworzeniu modelu. W naszych rozważaniach skupiamy się nad sterowaniem kierunkiem ruchu pojazdów poprzez różnicowy napęd kół.

2. STEROWANIE RÓŻNICOWE PRZY NIEZALEŻNYCH NAPĘDACH KÓŁ

Sterowanie takie wykorzystywane jest w robotach mobilnych. Znalazło również zastosowanie we współczesnych wózkach inwalidzkich. Właśnie taki wózek był przedmiotem przeprowadzonych badań.

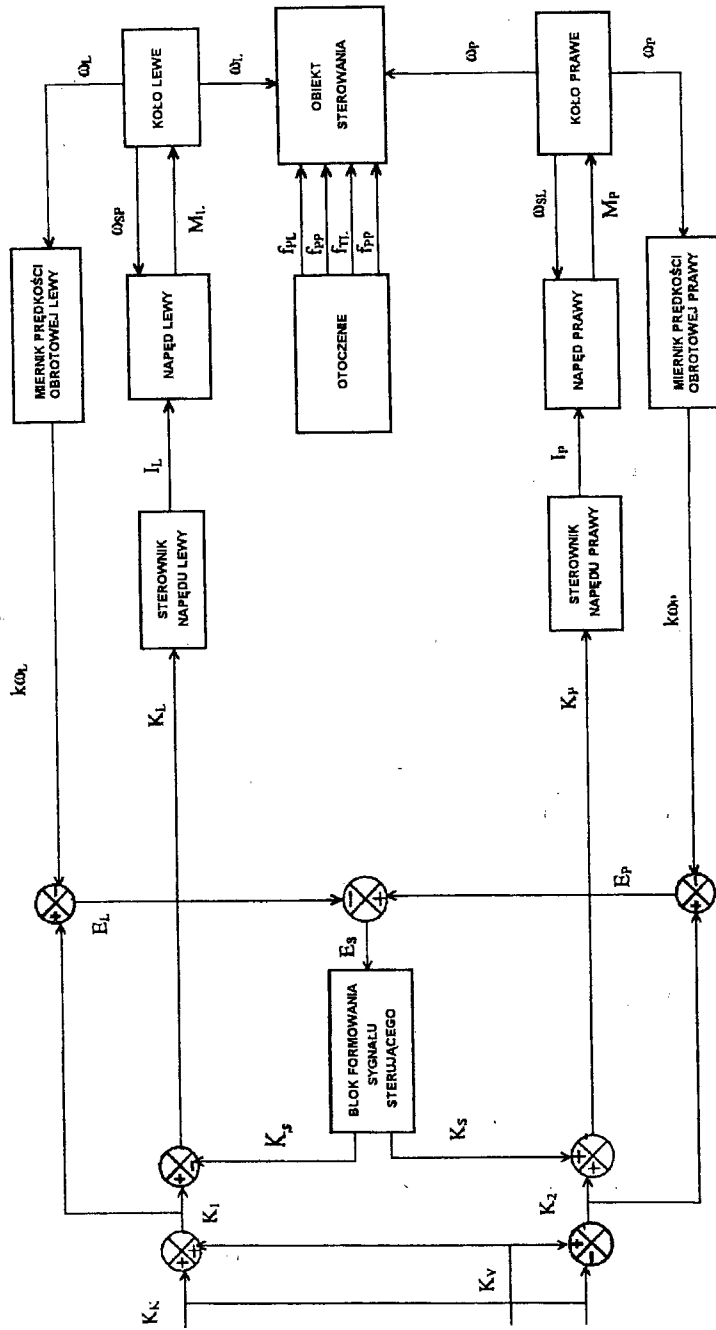
W wózku inwalidzkim stosuje się różnicowy napęd elektryczny kół. Wykorzystuje się w nim ze względu na właściwości dwa silniki elektryczne. Są one gabarytowo mniejsze, ciszej pracują, są prostsze w sterowaniu, zasilane są z akumulatorów, a więc posiadają lepszy dostęp do energii. Ważną zaletą jest też to, że są czyste ekologicznie. W opisywanym układzie pracują niezależnie od siebie, każdy z nich napędza osobne koło. Specyfika wózka wymaga innego sterowania kierunkiem niż w samochodach (klasyczny układ kierowniczy). Zmiana kierunku ruchu nie odbywa się w wyniku skrętu kół przednich, ale poprzez zaistnienie różnicy momentów napędzających wytwarzanych przez dwa silniki. Powoduje to powstanie momentu i obrót wózka wokół osi pionowej. Regulacja siły napędowej może odbywać się skokowo lub płynnie. Należy zwrócić uwagę na uzyskanie sygnałów, które sterują tak napędem, aby wymusić oczekiwany ruch (tzw. Sygnały decyzyjne). Należy również zastosować urządzenia, które są dostosowane do stopnia inwalidztwa obsługującego pojazd i przetwarzają dane sygnały na rzeczywiste ruchy obiektu. W badaniach wykorzystano sterowanie za pomocą joysticka oraz urządzenia decyzyjnego, które umożliwia jazdę w przód, tył, prawo, lewo lub zatrzymanie się.

3. SPOSÓB REALIZACJI STEROWANIA RUCHEM POJAZDU PRZEZ SYSTEM AUTOMATYCZNEGO STEROWANIA

Obecnie coraz większą rolę odgrywają systemy umożliwiające automatyczną regulację kierunku ruchu pojazdu. Dzięki nim można zadać wymagany kierunek jazdy, który jest podtrzymywany automatycznie z określoną dokładnością poprzez regulację parametrów układu napędowego lub włączenia układu hamowania. Sterowanie automatyczne pozwala na integrowania w całości procesów i maszyn działających samoczynnie.

Dla szerszego zobrazowania pojęcia sterowania kierunkiem ruchu pojazdu warto przytoczyć jeszcze podział ze względu na sposób realizacji sterowania ruchem pojazdu. Systemy takie możemy podzielić na:

- ⇒ Systemy scentralizowane – sposób jazdy jest przekazywany z ośrodka dyspozytorskiego do pojazdu, z pojazdu przekazywane są dane o parametrach jazdy;
- ⇒ Systemy zdecentralizowane – do pojazdu przekazywane są sygnały o rozpoczęciu danej fazy jazdy, a sposób wykonania jest obliczany w układzie sterującym;
- ⇒ Systemy indukcyjne – program jazdy, czyli prędkość zadana w funkcji drogi, wynika z geometrii ułożenia kabla lub rozstawienia czujników torowych;
- ⇒ Systemy autonomiczne – pracują one wykorzystując ustalony wcześniej i zapisany w pamięci maszyny cyfrowej, program jazdy lub wykorzystując prowadzone w czasie jazdy obliczenia.



Rysunek 1 Schemat blokowy systemu sterowania ruchem pojazdu.

4. UKŁAD STEROWANIA RUCHEM POJAZDU

Celem procesu sterowania zaprojektowanego układu jest stabilizacja kierunkowa pojazdu z napędem różnicowym kół. Proces ma odznaczać się odpowiednią dokładnością i jakością sterowania. Na rysunku 1 został przedstawiony schemat blokowy systemu sterowania kierunkiem ruchu pojazdu. Układ składa się z dwóch kanałów (lewego i prawego) powiązanych ze sobą odpowiednimi zależnościami wyrażonych w równaniach opisujących ruch pojazdu. Kierujący pojazdem wprowadza do układu sygnały wejściowe K_v (sygnał sterowania prędkością pojazdu) i K_k (sygnał sterowania kierunkiem ruchu pojazdu). W bloku formowania sygnału sterującego (regulator PI) wykonywany jest algorytm regulacji, który wyznacza sygnał K_s (sygnał wyjściowy Bloku Formowania Sygnału Sterującego) na podstawie wejściowego sygnału E_s . Sygnał E_s jest różnicą uchybów kanału prawego E_p i lewego E_l . Wyznaczonych na podstawie na podstawie sygnałów wejściowych K_v i K_k , sygnałów sterowania kanałem lewym i prawym K_1 i K_2 , sygnałów sterowania kanałem lewym i prawym po korekcji K_l i K_p oraz sygnałów z mierników prędkości obrotowej prawego i lewego koła pojazdu k_p i k_l . Blok Formowania Sygnału Sterującego zapewnia stabilność kierunkową układu.

Uformowane sygnały sterujące K_l i K_p podawane są na sterowniki napędów, których zadaniem jest sterowanie natężeniem prądów płynących przez uzwojenia tworników silnika prawego i lewego I_p i I_l . Wartości natężenia prądów I_p i I_l zależne są od sił elektromotorycznych wytwarzanych w obwodach tworników. Silniki oddziałują momentami napędowymi M_l i M_p na nasz obiekt sterowania. Na obiekt sterowania oddziałuje również otoczenie wyrażane u nas poprzez zmianę oporu toczenia się wszystkich kół pojazdu zależnych od współczynników oporu toczenia: przedniego prawego koła f_{pp} , przedniego lewego koła f_{pl} , tylnego prawego koła f_{tl} i tylnego lewego koła f_{ll} .

Blok Formowania Sygnału Sterującego

Blok ten stanowi regulator sygnału E_s , który przetwarza sygnał uchybu na sygnał sterujący K_s . Sygnał uchybu E_s otrzymywany jest z sumatora sygnałów uchybu kanału prawego E_p i lewego E_l według zależności:

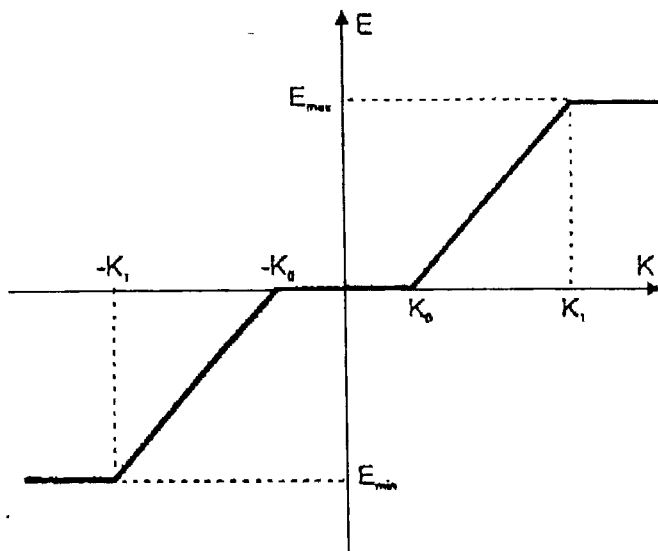
$$E_s = (E_p - E_l)$$

BFSS wykorzystuje regulator PI (proporcjonalno -- całkujący). Zapewnia on zerową wartość uchybu w stanie ustalonym i małe wartości uchybu w zakresie zmian o małych częstotliwościach oraz nie daje ujemnego przesunięcia fazowego i nie pogarsza stabilności układu w zakresie dużych częstotliwości.

Sterownik Napędu

Ruch pojazdu jest realizowany poprzez nadanie kołom odpowiedniej prędkości, za pomocą przyłożenia do ich osi odpowiednich momentów napędowych od silników elektrycznych. Momenty napędowe przekazywane są przez przekładnię, która zwiększa moment zmniejszając prędkość obrotową. Aby wykonać skręt należy zmienić prędkość obrotową kół a tym samym momenty napędowe. Momenty napędowe silników są regulowane przez sterownik napędu elektrycznego,

regulujący przepływ prądu w silnikach. Rysunek 2 przedstawia charakterystykę sterownika. Współczynnik K_0 (szerokość strefy nieczułości) pozwala na dobranie żądanej czułości układu regulacji, a K_1 (stopień nachylenia charakterystyki) szybkość reakcji układu.



Rysunek 2 Charakterystyka sterownika napędu.

| | |
|---|---------------------------|
| E_{max} | dla $K > K_1$ |
| $E_{max} \cdot (K - K_0) / (K_1 - K_0)$ | dla $K_0 \leq K \leq K_1$ |
| $E = 0$ | dla $-K < K < K_0$ |
| $E_{max} (K + K_0) / (K_1 - K_0)$ | dla $-K \leq K \leq -K_0$ |
| E_{min} | dla $K < -K_1$ |

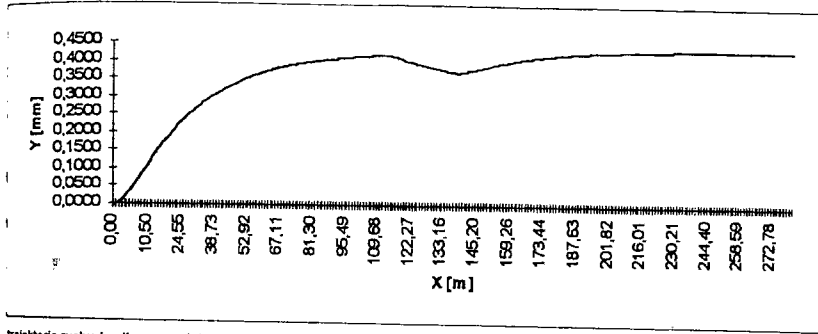
Blok napędu

Jako napęd badanego wózka inwalidzkiego zastosowano silnik szeregowy prądu stałego. Silnik taki odznacza się naturalną właściwością samoregulacji, zapewniającą stabilną pracę układu napędowego.

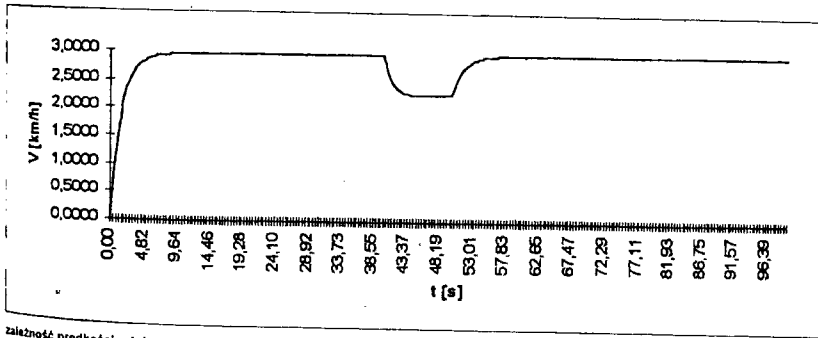
5. BADANIA PROCESU STEROWANIA KIERUNKIEM RUCHU

W niniejszej pracy skoncentrowaliśmy się na opisie badań stabilności kierunkowej w ruchu prostoliniowym. Sygnały wejściowe miały wówczas następującą postać: sygnał sterujący kierunkiem $K_k=0$ zaś sygnał sterujący prędkością $K_v \neq 0$. Wbrew działającym zakłóceniom wózek powinien poruszać się ruchem prostoliniowym. Taki ruch prostoliniowy mogą zakłócić różne właściwości podłoża po którym się wózek porusza gdyż powstaje wtedy różnica oporów toczenia się kół. Badania stabilizacji kierunkowej zostały przeprowadzone dla następujących warunków:

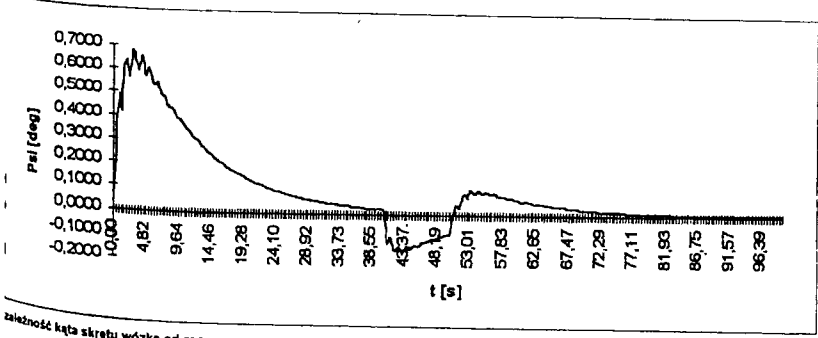
- Dla zadanego sygnału prędkości $K_v=3\text{km/h}$ i $K_v=8\text{km/h}$.
- Zakłóceń podanych w postaci różnych oporów toczenia się kół wprowadzanych skokowo.
- Ponownych zakłóceń wprowadzanych do układu w postaci większych oporów toczenia się kół od początkowych wprowadzonych skokowo w zadanym czasie.



trajektoria ruchu środka masy wózka



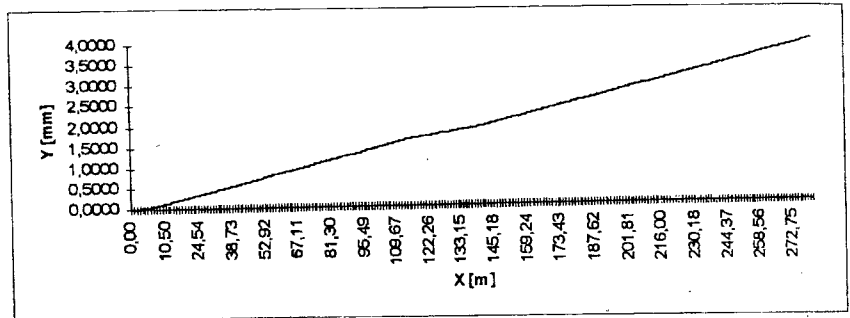
zależność prędkości wózka od czasu



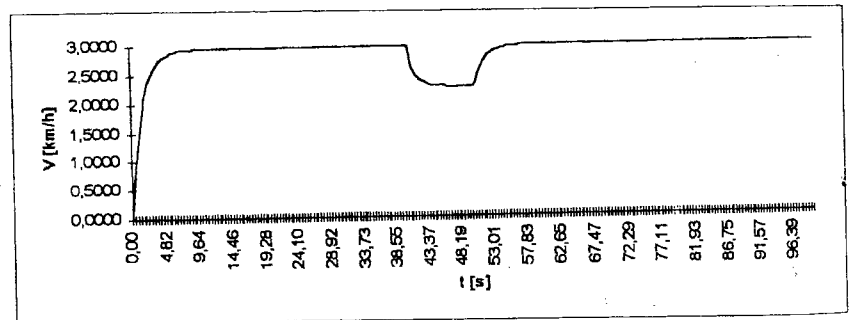
zależność kąta skrętu wózka od czasu

Wykres 1 Wyniki badań przy $K_v=3$, $K_k=0$, $T_i=0.1$, $k=0$, czas zakłócenia od 40 do 50 sekundy.

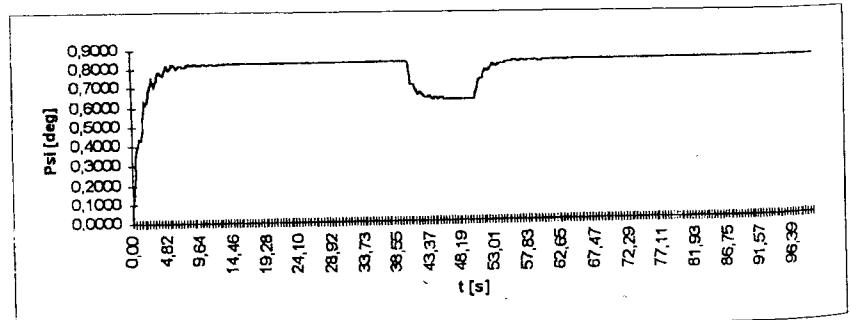
Przeprowadzone badania pozwoliły na określenie wpływu wartości parametrów regulatora na skuteczność stabilizacji kierunkowej przy zadanej strukturze sterowania. Wykresy przedstawiają trajektorię ruchu środka masy wózka oraz odpowiadające jej zmiany prędkości ruchu V.



trajektorja ruchu środka masy wózka



zależność prędkości wózka od czasu



zależność kąta skrętu wózka od czasu

Wykres 2 Wyniki badań przy $K_v=3$, $K_k=0$, $T_i=0$, $k=0.1$ czas zakłócenia od 40 do 50 sekundy.

6. PODSUMOWANIE

Po przeprowadzeniu badań widzimy, że układ przy przyjętej strukturze sterowania i wbrew działającym zakłóceniom osiąga stabilizację kierunkową.

Najkorzystniejszy wpływ na stabilizację kierunkową ma element całkujący. Przy T_i mieszczącym się w granicach od 0.1 do 0.55 proces sterowania kierunkiem jest stabilny.

Po zakłóceniu które jest spowodowane różnymi oporami toczenia się kół pojazd wypada z zadanego kursu, po zadziałaniu sprzężenia skrośnego ponownie do niego powraca. Patrz wykres 1 W czasie od 45 do 50 sekundy zostaje wprowadzone ponowne zakłócenie. Wózek po ponownym zboczeniu z zadanego kursu znów do niego powraca. Odchylenie od toru jest niewielkie i mieści się w granicach do 42mm.

Przy $T_i > 0,55$ pogarsza się stabilność w odniesieniu do kursu i toru ruchu. Jako optymalną możemy przyjąć wartość współczynnika $T_i = 0,25$. Przy sprzężeniu skrośnym, gdy $T_i = 0$, $K > 0$ tor ruchu pojazdu zmienia swój kierunek względem początkowego. Odchylenie do toru jazdy dąży do nieskończoności, przy t dążącym do nieskończoności. Kurs stabilizuje się wokół wartości różnej od wartości początkowej. Jak widzimy element proporcjonalny sam nie daje zadowalającej stabilności procesowi.