

Gabriel Kost, Andrzej Nierychlok ¹⁾

WIRTUALNY UKŁAD STERUJĄCY POJAZDEM KOŁOWYM O NAPĘDZIE HYBRYDOWYM

Streszczenie: W pracy przedstawiono algorytm sterowania hybrydowym napędem pojazdu kołowego wyposażonego w silniki spalinowy i elektryczny. Wirtualny układ sterujący takim pojazdem, zbudowany został z użyciem programu MatLAB/Simulink, co umożliwiło analizę pracy poszczególnych jednostek napędowych jako osobnych maszyn napędzających pojazd kołowy. W algorytmie sterowania uwzględniono także możliwość współpracy poszczególnych jednostek napędowych, czyli synergię mocy i momentu napędowego. Zaprezentowano również strukturę układu sterowania oraz komunikację pomiędzy poszczególnymi jednostkami napędowymi i urządzeniami pośredniczącymi.

Słowa kluczowe: napęd hybrydowy, układ sterujący, pojazd kołowy, symulacja.

WSTĘP

Względy ochrony środowiska oraz kryzys paliwowy z 1973 roku, przyczyniły się do poszukiwań nowych rozwiązań w dziedzinie jednostek napędowych pojazdów kołowych. Silnik spalinowy typu ZS o bezpośrednim wtrysku paliwa z turbo doładowaniem dysponuje sprawnością w granicach 0,40÷0,45 (silnik ZI nie przekracza 0,40), przy czym największą sprawność wykazuje w bardzo wąskim zakresie prędkości obrotowej, z kolei pojazdy napędzane silnikiem elektrycznym charakteryzują się zerową emisją substancji toksycznych (Zero-Emissions Vehicle, ZEV) oraz większą sprawnością układu napędowego, gdyż sprawność jednostki elektrycznej w najlepszych konstrukcjach wynosi 0,5 [1, 2, 5].

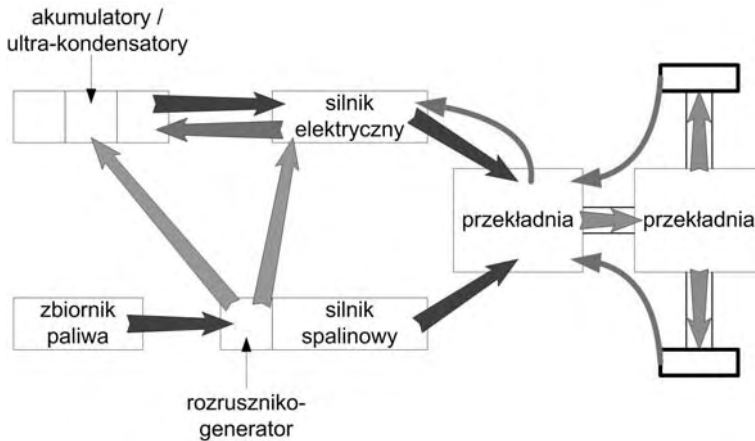
Pojazdy wyposażone w napęd elektryczny zaliczane są do pojazdów ekologicznych. Jednakże taki układ napędowy jest kłopotliwy w eksploatacji z uwagi na mały zasięg pojazdu i problemy związane z magazynowaniem energii elektrycznej. Sposobem na wyeliminowanie tych wad może być pojazd z napędem hybrydowym spalinowo-elektrycznym. Prowadzone w wielu ośrodkach prace badawcze i rozwojowe koncentrują się na zapewnieniu rozwoju tych napędów. W szczególności są ukierunkowane na [1, 2, 3, 4]:

- udoskonalanie napędu spalinowego poprzez eliminację hałasu i oszczędność zużycia paliwa a także na stosowaniu paliw alternatywnych,
- zastąpienie silnika spalinowego silnikiem elektrycznym, i opracowaniu efektywnych baterii elektrycznych poprzez technologię pozyskiwania i magazynowania energii elektrycznej w pojeździe kołowym.

¹ Politechnika Śląska, Instytut Automatykacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania.

POJAZD HYBRYDOWY

Możemy wyróżnić następujące rozwiązania konstrukcyjne połączeń silników w układzie hybrydowym: szeregowo, równoległe, szeregowo-równoległe. W zależności od przeznaczenia, stosowanie jednego z rozwiązań połączeń jednostek napędowych umożliwia optymalną pracę całego układu napędowego. W niniejszej pracy przyjęto układ równoległy [1, 2, 5]. Na rys. 1 strzałki pogrubione przedstawiają przepływ energii od źródła energii pierwotnej do kół pojazdu. Jako źródło energii pierwotnej występuje tutaj paliwo (benzyna bezołowiowa), którym zasilany jest silnik spalinowy. Silnik spalinowy stosowany w hybrydzie równoległej może napędzać generator elektryczny lub pojazd kołowy.

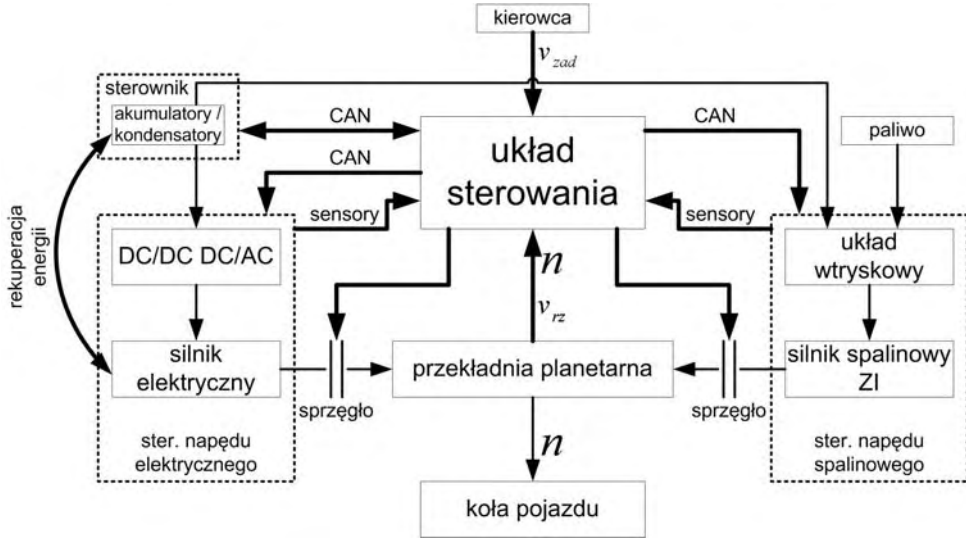


Rys. 1. Układ hybrydy o strukturze równoległej

Możliwe jest także równoczesne napędzanie generatora i pojazdu kołowego, jednakże układ taki wymaga stosowania sumatora mechanicznego – przekładni obiegowej. Napędzając generator, silnik spalinowy powinien pracować przy najmniejszym jednostkowym zużyciu paliwa (przy największej sprawności). Wytworzona energia kierowana jest do napędu silnika elektrycznego, a jej nadmiar do akumulatorów i super-kondensatorów [3, 4, 5].

Strzałki cienkie obrazują możliwość rekuperacji energii kinetycznej pojazdu (rys. 1). Silnik elektryczny w takim przypadku staje się generatorem elektrycznym. Wytworzona z rekuperacji energia powinna być magazynowana w super-kondensatorach, gdyż wartości prądów pochodzących z rekuperacji są zbyt duże dla obecnie stosowanych baterii elektrochemicznych [3, 4, 5].

Przedstawiony schemat blokowy układu sterowania (rys. 2) odpowiada założeniu koncepcji hybrydy równoległej. Zaprezentowany układ napędu hybrydowego składa się z silnika elektrycznego synchronicznego, silnika spalinowego z zapłonem iskrowym, przekładni planetarnej oraz źródła energii elektrycznej.

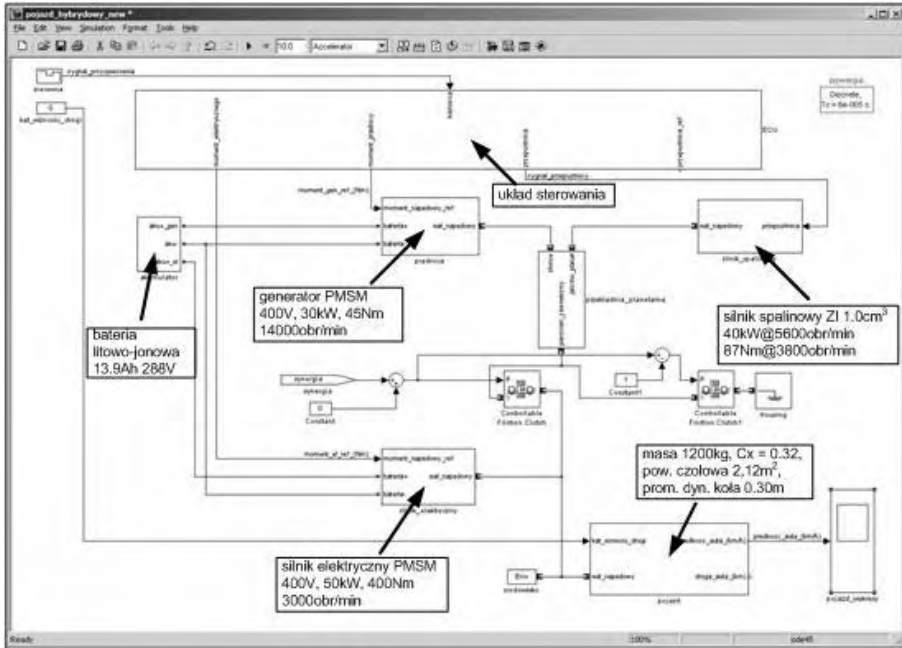


Rys. 2. Schemat blokowy układu sterowania napędem hybrydowym [2]

Układ sterowania kontroluje pracę całego układu napędowego, zbierając informację od sensorów oraz sterowników poszczególnych układów wykonawczych stosowanych w hybrydowym układzie napędowym. Nadrzędnym ogniwem w procesie sterowania jest kierowca, który regulując wychyleniem pedału przyspieszenia lub hamowania podaje zamiar (sygnał) zwiększenia lub zmniejszenia prędkości pojazdu [2, 3, 4].

WYNIKI BADAŃ

Dla powyższych założeń zbudowano model i przeprowadzono symulację hybrydowego pojazdu kołowego o strukturze równoległej w oparciu o oprogramowanie MatLAB/Simulink. Silnik spalinowy to jednostka o zapłonie iskrowym i pojemności 996cm^3 , rozwijająca moc maksymalną wynoszącą 40kW przy obrotach 6000min^{-1} . Prędkość obrotową silnika spalinowego reguluje układ sterowania, w zależności od przyjętych założeń. Generatorem jest silnik synchroniczny trójfazowy o maksymalnej mocy wynoszącej 30kW , zasilany napięciem 400V . Maksymalna prędkość obrotowa generatora wynosi 14000min^{-1} . Silnikiem napędzającym pojazd jest jednostka synchroniczna trójfazowa o mocy 50kW zasilana napięciem 400V z przemiennika częstotliwości (układu DC/DC DC/AC). Bateria elektrochemiczna to konstrukcja litowo-jonowa o pojemności $13,9\text{Ah}$ i napięciu 288V . Układ energetyczny wyposażony został w konwerter DC/DC zamieniający napięcie stałe o wartości 288V na napięcie stałe o wartości 400V . Na rys. 3 przedstawiono model hybrydowego pojazdu kołowego w oprogramowaniu MatLAB/Simulink.



Rys. 3. Model pojazdu hybrydowego w MatLAB/Simulink

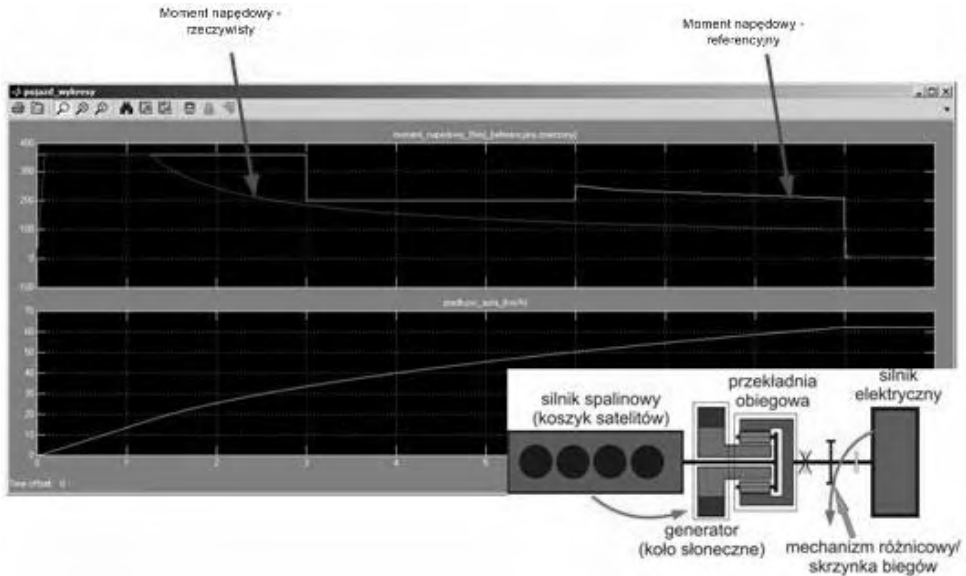
W modelu dokonano kilku uproszczeń:

- nie uwzględniono regulatora biegu jałowego dla silnika spalinowego, za regulację biegu jałowego służy moduł „Initial Condition”, w którym ustawiono granicę dolnych obrotów na 900 min^{-1} ,
- kąt nachylenia drogi równy jest zero,
- model pojazdu kołowego odpowiada samochodowi Opel Corsa B 1.0.

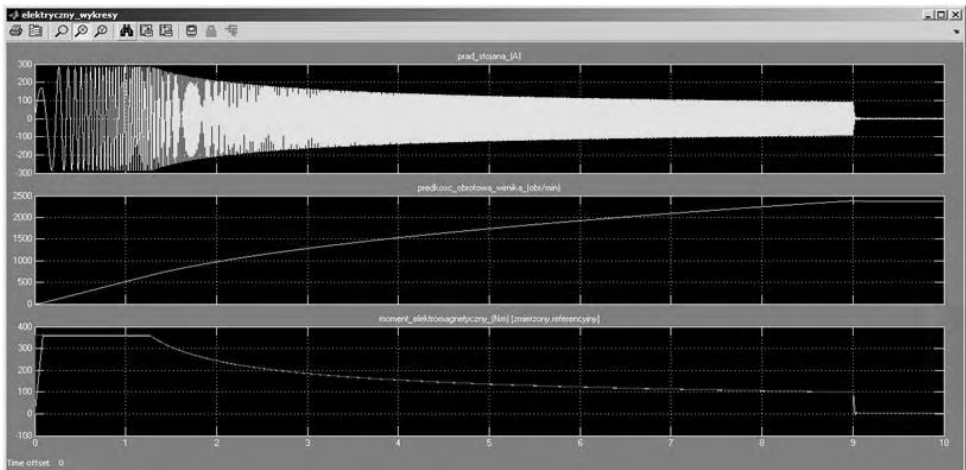
Przedstawione wykresy (rys. 4) momentu napędowego i prędkości pojazdu oraz wartości prądu pobieranego przez silnik, prędkości obrotowej oraz momentu elektromagnetycznego (rys. 5) odpowiadają pracy silnika elektrycznego napędzającego pojazd kołowy. Praca taka preferowana jest, gdy pojazd porusza się z małą prędkością (głównie w aglomeracjach miejskich). Umożliwia to wykorzystanie wysokiego momentu napędowego pochodzącego od silnika elektrycznego do rozpędzenia pojazdu, oraz pracy silnika spalinowego w przedziale prędkości optymalnej (związanej z największą sprawnością oraz najmniejszymi produkowanymi przez silnik zanieczyszczeniami) do napędu generatora. Wytworzone przez silnik spalinowy moment i moc przeznaczone są głównie do napędzania generatora, a w ekstremalnych sytuacjach mogą być wykorzystane do napędu pojazdu kołowego.

Najbardziej ekonomiczna praca hybrydy równoległej (najmniejsze jednostkowe zużycie paliwa) występuje wówczas, gdy dobierze się odpowiedni generator do silnika spalinowego. Silnik spalinowy w takim przypadku powinien pracować

przy możliwie największej sprawności, a prędkość obrotową na wyjściu z silnika spalinowego powinno się powiązać z maksymalną sprawnością generatora. Najprostszym rozwiązaniem jest zastosowanie przekładni mechanicznej (przekładni obiegowej) do redukcji prędkości obrotowej wychodzącej z silnika spalinowego – co zastosowano w badanym modelu.



Rys. 4. Wartości prędkości pojazdu i momentu napędowego w chwili pracy na jednostce elektrycznej



Rys. 5. Wartości prądu stojana, prędkości obrotowej wimka oraz momentu elektromagnetycznego silnika elektrycznego

WNIOSKI

Wyniki badań symulacyjnych przedstawiają koncepcję równoległego napędu hybrydowego spalinowo-elektrycznego. Zastosowany silnik spalinowy o mocy 40kW wystarcza do napędu generatora oraz pojazdu kołowego. W chwili obecnej w modelu, nie uwzględniono rekuperacji energii kinetycznej pojazdu oraz kąta nachylenia jezdni, który równy jest zeru.

Kolejnym etapem badań jest wprowadzenie do modelu ultra-kondensatorów oraz ultra-rezystora.

PIŚMIENNICTWO

1. Larminie J., Lowry J.: Electric vehicle technology explained. John Wiley & Sons, England 2003.
2. Kost G., Nierychłok A.: Napęd hybrydowy. Koncepcja sterowania, Przegląd Mechaniczny marzec 2011, s.30-36.
3. Kost G., Nierychłok A.: Modeling and selection of the work of a powertrain hybrid wheeled vehicle. Journal of Machine Engineering 2011, s.162-170.
4. Kost G., Nierychłok A.: Modeling hybrid powertrain operation of a wheeled vehicle including dual power source. Journal of Machine Engineering 2011, s.152-161.
5. Michałowski K., Ocioszyński J.: Pojazdy samochodowe o napędzie elektrycznym i hybrydowym. WKiŁ, Warszawa 1989.

VIRTUAL CONTROL SYSTEM OF A HYBRID WHEELED VEHICLE

Summary

This paper presents a hybrid control algorithm of a wheeled vehicle equipped with an internal combustion engine and electric motor. Virtual vehicle control system that was built in the software MATLAB/Simulink, enabling analysis of individual work units in the form of separate machine drivers wheeled vehicle. The control algorithm also takes into account the possibility of interaction between the drive units, a synergy of power and torque. The paper describes the structure of the control system and communication between drive units and intermediate units.

Keywords: hybrid powertrain, control system, wheeled vehicle, simulation.

Praca była współfinansowana ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Projektu „Aktywizacja społeczności akademickiej jako element realizacji Regionalnej Strategii Innowacji” POKL.08.02.01-24-019/08”.