
WYBRANE PROBLEMY INŻYNIERSKIE

NUMER 2

INSTYTUT AUTOMATYZACJI PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH
I ZINTEGROWANYCH SYSTEMÓW WYTWARZANIA

Wacław BANAS^{*}, Gabriel KOST, Andrzej NIERYCHLOK

Instytut Automatykacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów
Wytwarzania, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska, Gliwice

^{*}waclaw.banas@polsl.pl

ALGORYTM STEROWANIA ADAPTACYJNEGO HYBRYDOWEGO POJAZU KOŁOWEGO

Streszczenie: W pracy przedstawiono algorytm adaptacyjnego systemu sterowania pojazdu kołowego o napędzie hybrydowym. Algorytm adaptacyjnego sterowania pozwala na dobór parametrów regulacyjnych pochodzących od różnych wartości sygnałów zewnętrznych. Stosowanie algorytmu adaptacyjnego poprawia pracę układu napędowego, w szczególności hybrydowego układu napędowego, w którym wykorzystuje się zjawisko synergii energii jednostek napędowych. Sterowanie adaptacyjne umożliwia lepszy przepływ energii w systemie zarządzania energią pojazdu hybrydowego.

1. Wstęp

Sterowanie pojazdu kołowego z napędem hybrydowym jest niezwykle trudne w realizacji praktycznej. Z tego powodu wiele aspektów związanych z ruchem pojazdu (zadania zewnętrzne i wewnętrzne) należy uwzględnić w algorytmie sterowania.

Algorytm sterowania jest to opis (model matematyczny) urządzenia sterującego, czyli tzw. realizatora algorytmu sterowania. Obiekty sterowania dzieli się na dwie grupy [1,2,3]:

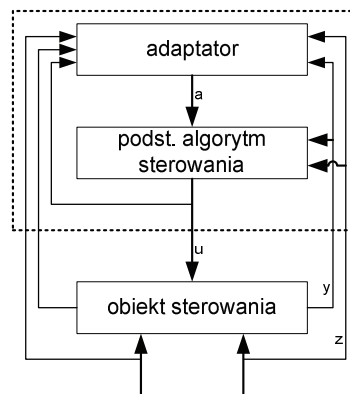
- pierwsza grupa zawiera obiekty sterowania z nieznanymi parametrami i z opisem niepewności, którą rozpatruje się za pomocą rozkładu prawdopodobieństwa lub rozkładu pewności - są to opisy informacji apriorycznej o nieznanym parametrze. Taka informacja znana jest już na etapie projektowania układu sterowania,
- druga grupa stanowi obiekty, w których informacja o nieznanym parametrze zdobywana jest w trakcie procesu sterowania. Informację tę wykorzystuje się do bieżących modyfikacji parametrów sterujących (decyzji sterujących). Zdobywanie informacji ma charakter bezpośredni, czyli polega na bezpośredniej obserwacji nieznanego parametru – na pomiarze tego parametru w obecności losowych zakłóceń. Zdobywanie informacji przebiega w sposób pośredni, jeżeli przeprowadza się obserwację rezultatów sterowania. Proces taki realizuje się w zamkniętym systemie sterowania. Projektowanie takiego systemu sterowania musi uwzględniać właściwe wykorzystanie obserwacji skutków wcześniejszych sterowań, które pomogą w wyznaczeniu następnych decyzji sterujących. Zadanie to realizowane może być także poprzez zaprojektowanie systemu zamkniętego, w taki sposób, aby sterowany proces był zbieżny do wartości zadanych.

Sterowanie odporne (system odporny) związane jest ze sterowaniem adaptacyjnym, gdyż w sterowaniu adaptacyjnym zakłada się, że podstawowy algorytm sterowania już istnieje, a dodatkowe informacje wykorzystywane są do stopniowego polepszania algorytmu podstawowego. Sterowanie adaptacyjne zalicza się do koncepcji parametrycznej, tzn. poprawianie algorytmu polega na zmianie wybranych parametrów ze zbioru możliwych wartości algorytmu podstawowego (systemu odpornego). Poprawę parametrów wprowadza się po to, aby algorytm podstawowy dostosował się do sterowanego obiektu. Stąd właśnie nazwa „sterowanie adaptacyjne” [1,2,3].

Adaptacja potrzebna jest wtedy, gdy z powodu niepewności zaprojektowanego algorytmu podstawowego, należałoby go polepszyć w taki sposób aby działał on optymalnie. Algorytm taki musi spełniać określone warunki dla konkretnego obiektu i zakłóceń działających na ten obiekt. W algorytmie należy także uwzględnić przypadek, gdy obiekt ciągle zmienia się, a przyjęte dane w procesie projektowania nie uwzględniają pewnych informacji lub po czasie przestają być aktualne.

Algorytm sterowania w systemie adaptacyjnym składa się z dwóch podstawowych części (rys. 1) [2,3]:

- algorytmu podstawowego,
- algorytmu adaptacji, tzn. algorytmu poprawiającego algorytm podstawowy.



Rys.1. Idea algorytmu regulacji adaptacyjnej [2]
Fig.1. The idea of adaptive control algorithm [2]

Z takiego punktu widzenia w systemie sterującym wyróżnia się dwa poziomy [2,3]:

- poziom niższy, na którym działa podstawowe urządzenie sterujące. Układ bezpośrednio przyjmuje dane z obiektu a i wyznacza decyzje sterujące u (z – sygnał zakłócający, y – sprzężenie zwrotne od obiektu sterowania),
- poziom wyższy, na którym działa układ adaptacyjny.

2. Model pojazdu kołowego

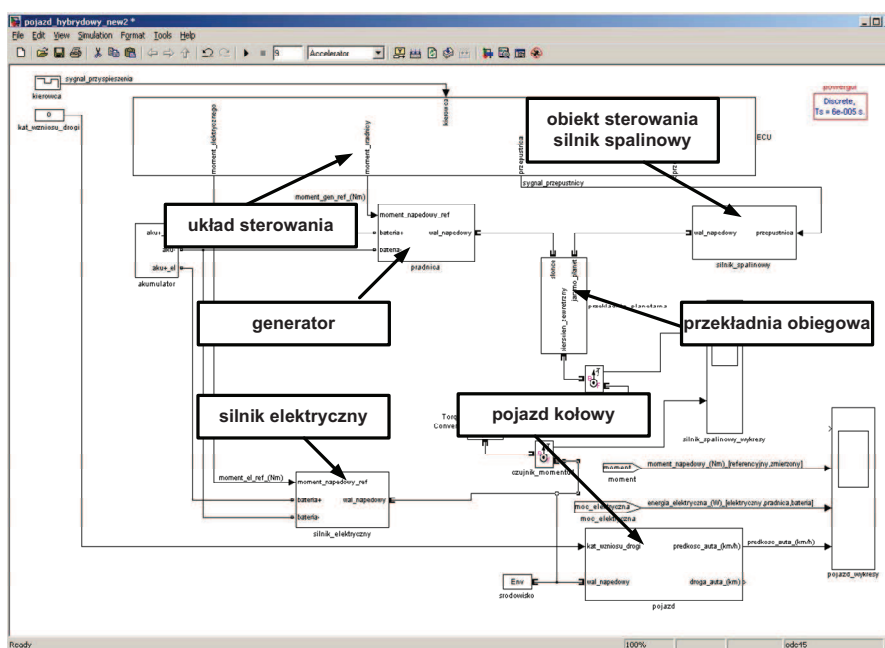
W przyjętym algorytmie sterowania uwzględniono założenie adaptacji sterowania silnikiem spalinowym pojazdu kołowego o napędzie hybrydowym. Zbudowany został model pojazdu kołowego w oprogramowaniu MATLAB/Simulink, w którym algorytm adaptacyjny steruje pracą silnika spalinowego poprzez odpowiednie otwieranie lub przemykanie

przepustnicy. Model symulacyjnego pojazdu kołowego z napędem hybrydowym zbudowano, przyjmując, że rzeczywisty pojazd porusza się głównie w aglomeracjach miejskich. Przyjęto, że silnik spalinowy to jednostka o pojemności 1.0L rozwijająca moc maksymalną 40kW oraz że silnik elektryczny to maszyna elektryczna typu PMSM (permanent magnet synchronous motor) o mocy 50kW, natomiast generator elektryczny to także konstrukcja zbudowana na bazie PMSM o mocy 30kW [4,5].

Zgodnie z założeniem algorytmu sterowania adaptacyjnego sterowanie silnikiem spalinowym podzielono na dwie części sterowania: *poziom adaptacji* oraz *poziom podstawowy – regulacji*, w którym w pracy wyróżniono trzy procedury regulacji:

- etap pracy silnika spalinowego napędzającego tylko i wyłącznie generator elektryczny,
- etap pracy silnika spalinowego wspomagającego silnik elektryczny (zapotrzebowanie na moc i moment),
- etap pracy silnika spalinowego napędzającego pojazd kołowy.

Na rys. 2. przedstawiono model badanego pojazdu hybrydowego w oprogramowaniu Simulink, w którym wyróżniono podstawowe elementy układu napędowego oraz układ sterujący. Silnik spalinowy połączony został z generatorem i silnikiem elektrycznym poprzez przekładnię obiegową. Połączenie takie odpowiada koncepcji połączenia równoległego napędu hybrydowego. W takim przypadku silnik spalinowy napędzać może zarówno pojazd kołowy jak i generator elektryczny.

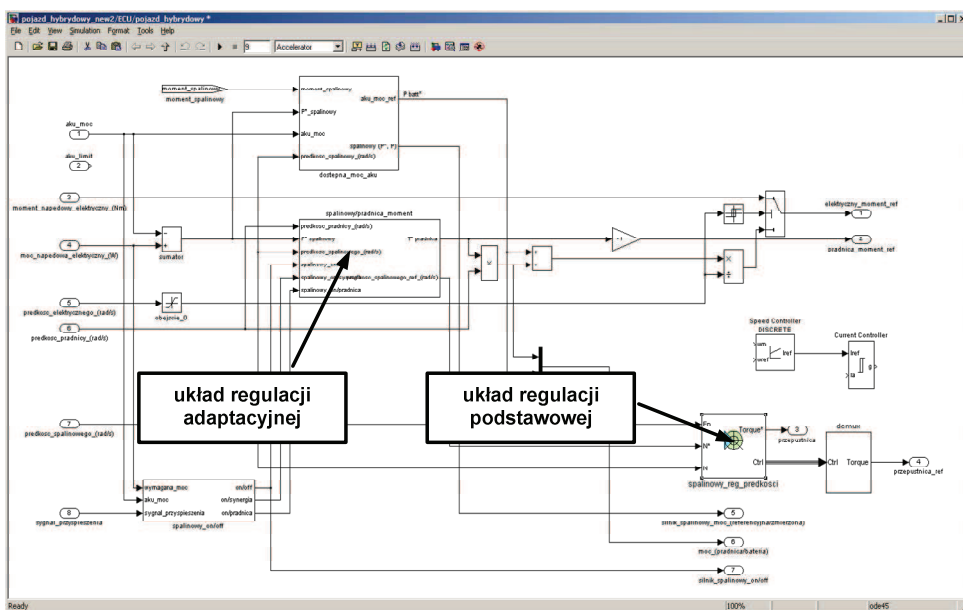


Rys.2. Model pojazdu kołowego w oprogramowaniu Simulink
Fig.2. The model of a wheeled vehicle in the Simulink

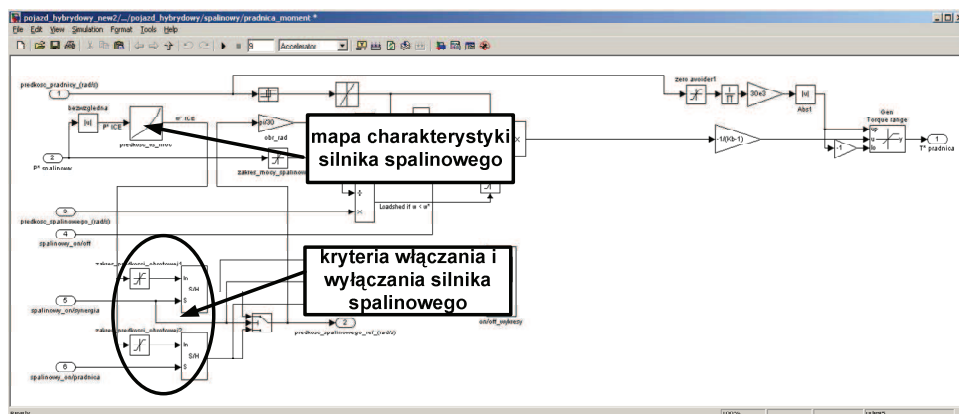
Na rys. 3 przedstawiono układ sterowania z zaimplementowanym układem regulacji adaptacyjnej oraz układem regulacji podstawowej. Regulacji silnika spalinowego dokonuje się poprzez odpowiednie otwieranie elektronicznie sterowanej przepustnicy, przy czym pomiar prędkości obrotowej silnika spalinowego w pętli sprzężenia zwrotnego jest dla układu sterowania sygnałem utrzymującym zadaną prędkość obrotową. Układ regulacji adaptacyjnej

nadzoruje pracę silnika spalinowego w zależności od zapotrzebowania na moc i moment napędowy. Zapotrzebowanie na moc i moment napędowy może być różne od obecnie przyjętych warunków zewnętrznych (warunki drogowe takie jak: kąt wzniosu drogi, opory ruchu pochodzące od sił aerodynamicznych, itp.) i wewnętrznych (przepływ energii pomiędzy układami i jednostkami napędowymi).

Rys. 4 przedstawia układ regulacji adaptacyjnej, w której zamieszczono mapę charakterystyki silnika spalinowego (z której można odczytać najmniejsze jednostkowe zużycie paliwa przy określonej prędkości obrotowej oraz ciśnieniu użytecznym). Adaptacja polega więc na takim doborze prędkości obrotowej, przy której osiąga się najmniejsze zużycie paliwa. Adaptator uwzględnia pracę silnika spalinowego tylko w przypadku napędu generatora elektrycznego.

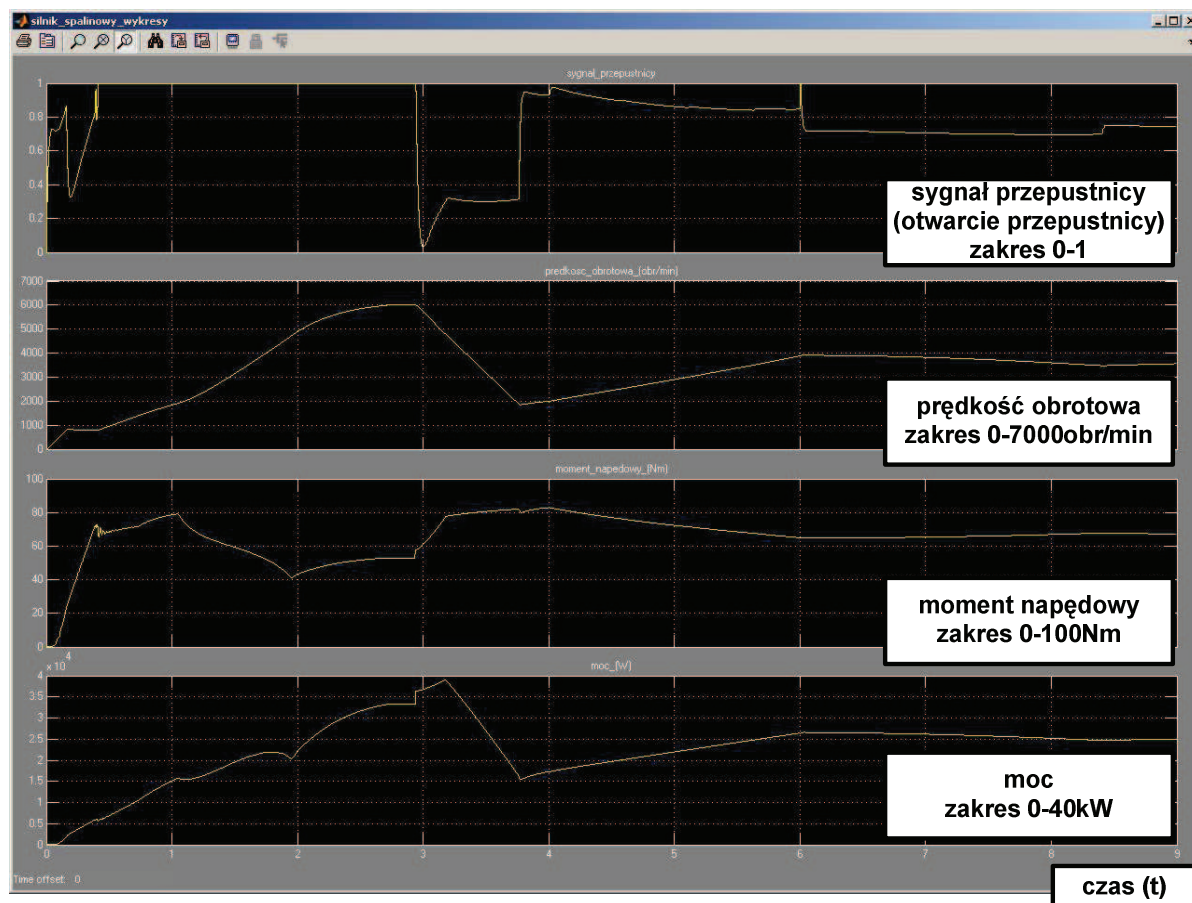


Rys.3. Układ sterowania pojazdem kołowym o napędzie hybrydowym
Fig.3. Control system of hybrid wheeled vehicle



Rys.4. Układ regulacji adaptacyjnej
Fig.4. Adaptive control system

Wykres trzeci i czwarty (rys. 5) przedstawia moment napędowy oraz moc silnika spalinowego. Podczas synergii momentu napędowego i mocy w trakcie przyspieszania pojazdu kołowego wymagany jest jak największy moment napędowy. W tym celu układ sterowania silnikiem spalinowym reguluje prędkość obrotową silnika spalinowego (po czasie 3s), dla którego uzyskuje się największy moment napędowy. Po 6s układ napędowy pojazdu hybrydowego wymaga większej mocy (wzrost oporu ruchu), dlatego układ sterowania zwiększa otwarcie przepustnicy i tym samym prędkość obrotową, bezpośrednio związaną ze zwiększeniem mocy silnika spalinowego.



Rys.5. Wyniki symulacji

Fig.5. Simulation results

3. Podsumowanie

Przedstawione w pracy wyniki badań pozwalają stwierdzić, że regulacja adaptacyjna w pojazdach kołowych o napędzie hybrydowym jest niezwykle przydatna i korzystnie wpływa na pracę układu napędowego, gdyż pozwala na dokładniejszą regulację silnika spalinowego. Silnik spalinowy w hybrydowym układzie napędowym sterowany jest tylko i wyłącznie na drodze elektronicznej. Kierowca nie ma bezpośredniej możliwości sterowania prędkością obrotową i momentem silnika spalinowego, przejmuje to układ sterowania, gdzie odpowiednio dobrany algorytm sterowania w znacznym stopniu pozwala na optymalizację

pracy jednostki spalinowej. Wykorzystując adaptator w regulacji silnikiem spalinowym, można ograniczyć zużycie paliwa i tym samym zredukować emisję substancji toksycznych.

Literatura

1. Kaczorek T.: Teoria sterowania i systemów. Warszawa: PWN, 1999.
2. Bubnicki Z.: Teoria i algorytmy sterowania. Warszawa: PWN, 2005.
3. Niederliński A., Mościński J., Ogonowski Z.: Regulacja adaptacyjna. Warszawa PWN 1995.
4. Kost G., Nierychłok A.: Napęd hybrydowy. Koncepcja sterowania. „Przegląd Mechaniczny”, marzec 2011.
5. Kost G., Nierychłok A.: Zastosowanie magistrali CAN w pojeździe kołowym z napędem hybrydowym. „Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe”, w druku.

ADAPTIVE CONTROL ALGORITHM FOR HYBRID VEHICLE

Summary: The paper presents an algorithm of adaptive control system for a hybrid wheeled vehicle. Adaptive control algorithm allows for the selection of control parameters from different values of external signals/task. Application of the adaptive algorithm improves the functioning of the propulsion system, in particular the hybrid one that uses the phenomenon of synergy power of drive units. Adaptive control provides a better energy flow in the power management system in a hybrid vehicle.