

Skrzynie biegów z równoległym przepływem mocy podstawą napędu hybrydowego

Zbigniew Pawelski

W klasycznym układzie napędowym można wpływać na zminimalizowanie zużycia paliwa, a także na zmniejszenie szkodliwości spalin, przez dobór przełożeń oraz zmianę położenia punktu przecięcia krzywych mocy silnika i mocy oporów ruchu. Tak dobrany układ napędowy należy uznać za poprawny do eksploatacji pojazdu na drodze o względnie stabilnym natężeniu ruchu, jak np. autostrada. Podczas jazdy w zagęszczonym ruchu drogowym, a szczególnie w ruchu miejskim, układy te okazują się rozwiązaniami niewłaściwymi, zarówno z ekonomicznego, jak i ekologicznego punktu widzenia, gdyż nie daje się w tej strukturze zapewnić pracy silnika w obszarze wysokich sprawności przy silnie zmiennych parametrach ruchu (moc, moment i obroty koła napędowego). Zjawisko niezgodności występuje zawsze, niezależnie od dysponowanej liczby przełożeń w skrzyni biegów. Wniosek ten dotyczy również innych pojazdów charakteryzujących się dużą dynamiką ruchu.

Specyfika ruchu pojazdu w mieście z dużym udziałem biegów niskich powoduje, że w klasycznym układzie napędowym silnik spalinowy pracuje w bardzo zmiennych warunkach ze sprawnością przeciętną do 7–10%, tj. czterokrotnie niższą od maksymalnej. Z tego powodu rośnie zużycie paliwa i zwiększa się emisja toksycznych składników spalin. Jest możliwe zaoszczędzenie 15–20% energii przez odzyskanie energii kinetycznej pojazdu traconej dotychczas podczas hamowania i zgromadzeniu jej w akumulatorach. Dodatkowo, stosując układ napędowy wymuszający pracę silnika spalinowego w warunkach ustalonych, pomimo zmieniającego się obciążenia na kołach, można oszczędności zwiększyć do 20–30%. Dla ruchu w mieście skrzynia biegów powinna posiadać możliwość realizacji ciągłej zmiany przełożenia tak, by przy stałej lub prawie stałej prędkości kątowej wału silnika zapewnić w szerokim zakresie ciągłą zmianę prędkości pojazdu bez przerywania przepływu mocy. Mogą więc tu być brane pod uwagę wyłącznie rozwiązania niekonwencjonalne. W tabeli 1 [5] pokazano krótki przegląd takich przekładni.

W napędzie hybrydowym przy rekuperacji energii kinetycznej pojazdu podczas hamowania w skrzyni biegów powinien wystąpić przepływ energii od kół pojazdu do akumulatora, z tą samą sprawnością, jak przy rozpędzaniu. Zatem w przekładni bezstopniowej muszą być użyte podzespoły odwracalne, tj. mogące pracować zarówno jako pompa i silnik w przekładni hydrostatycznej, jak też jako prądnica i silnik w przekładni elektrycznej. Uwzględniając jednocześnie podstawowy wskaźnik napędu, jakim jest maksymalna moc jednostkowa, konstrukcja

Streszczenie: Na przykładzie napędów hybrydowych firm Toyota, Allison oraz własnych przedstawiono zalety przekładni bezstopniowej z równoległym połączeniem przekładni elektrycznej (hydrostatycznej) z mechaniczną. Rozwiązanie takie charakteryzuje się dużą sprawnością przeniesienia mocy, zarówno od silnika do kół, jak i w drugą stronę – od kół do akumulatora energii – oraz wymusza wąski zakres zmian prędkości kątowej silnika i momentu obrotowego, co umożliwia jego pracę w najbardziej korzystnym zakresie. Zalety tej przekładni są korzystne w pojazdach charakteryzujących się dużą dynamiką ruchu, gdyż pozwalają zmniejszyć zużycie paliwa o 20–30% oraz znacząco zmniejszyć ilość spalin, tj. o 40–60% w zależności od składnika spalin.

Słowa kluczowe: równoległy przepływ mocy, napęd hybrydowy.

🇬🇧 TRANSMISSIONS WITH THE PARALLEL POWER FLOW – THE BASIC HYBRID

Abstract: Basis on the Toyota, Allison and owns hybrid drives, it was shown the advantages of a continuously variable transmission with a parallel connection of electricity (hydrostatic) transmission with a mechanical. This solution is characterized by high efficiency power transfer, both from the engine to the wheels, as well as the other side of the wheels for energy storage and force the narrow scope of the changes in angular velocity and torque of the engine, thus enabling it to work in a most preferred range. The advantages of this gear is beneficial in vehicles, characterized by high dynamics of movement, as they allow to reduce fuel consumption by 20–30% and significantly reduce the amount of exhaust gas, around 40–60% depending on the exhaust component.

oczekiwanej skrzyni biegów to złożony układ z równoległym przepływem energii. W układzie takim znacząca część mocy z małymi stratami przekazywana jest drogą mechaniczną, która również rozszerza zakres przełożeń z przekładni bezstopniowej. Współczynnik sprawności całkowitej zależy od rozdziału strumienia mocy; im większa część mocy przekazywana jest drogą mechaniczną, tym bardziej sprawność całkowita zbliża się do sprawności w tej części. Wał wejściowy w takiej skrzyni może pracować ze stałą prędkością obrotową przy wszystkich wartościach przełożeń chwilowych.

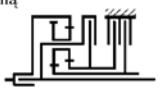
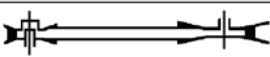
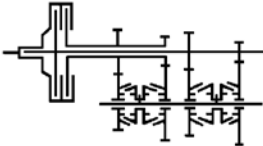

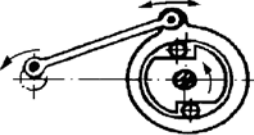



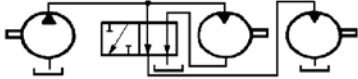


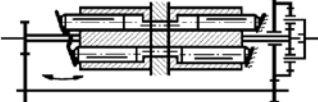
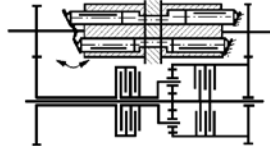
o stopniowej zmianie przełożenia	o ciągłej zmianie przełożenia
mechaniczne	
z przekładnią planetarną 	cierna pasowa 
dwusprzęgłowe 	cierna rolkowa 
	pulsacyjne 
elektryczne	
	
hydrauliczne	
	hydrokinetyczne sprzęgło  przekładnia 
kółka elementów o stałym przełożeniu hydraulicznym 	hydrostatyczne 
układy złożone	
"konwencjonalne" szeregowo-automatyczne 	pojedynczy układ równoległy 
	wielozakresowy układ równoległy 

Tabela 1. Schematy przekładni niekonwencjonalnych stosowanych w pojazdach

Jeżeli część mechaniczna posiada możliwość zmiany przełożenia, to otrzymuje się przekładnię wielozakresową, w której przekładnia bezstopniowa przy pełnym wykorzystaniu zakresu przełożeń pracuje w obszarach wysokiej sprawności. Moc pozorna maszyn hydrostatycznych bądź elektrycznych jest wtedy bliska rzeczywistej mocy przenoszonej gałęzią z bezstopniową regulacją przełożenia. Przekładnie takie mogą zapewnić wyraźny wzrost własności dynamicznych pojazdu, połączony z oszczędnością paliwa. Z tego powodu ich zastosowanie powinno się zwiększać, szczególnie w pojazdach terenowych, miejskich, dla górnictwa, tj. wszędzie tam, gdzie występuje duża dynamika ruchu.

Przykładem skrzyż z równoległym przepływem mocy są rozwiązania napędu hybrydowego w samochodzie osobowym Toyota-Prius oraz autobusie miejskim Solaris.

W zależności od stopnia naciśnięcia „pedału gazu” pojazd może ruszać, wykorzystując napęd tylko z silnika elektrycznego – tj. przy łagodnym przyspieszaniu i podczas jednostajnej jazdy – bądź z obydwu silników: elektrycznego i spalinowego przy większych obciążeniach, rys. 1 [4]. Silnik spalinowy załączany jest również w przypadku dużego stopnia rozładowania akumulatora. O wielkości mocy przekazywanej w sposób elektryczny decyduje sterownik (5), który monitorując poziom naładowania akumulatora (6), dokonuje podziału mocy tak, aby osiągnąć maksymalną sprawność całkowitą napędu w danych warunkach obciążenia.

Podczas hamowania silnik spalinowy zostaje wyłączony, sterownik (5) przełącza maszynę elektryczną (4) w tryb pracy prądniczej, dzięki czemu możliwy jest odzysk energii kinetycznej pojazdu i magazynowanie jej w akumulatorze (6).

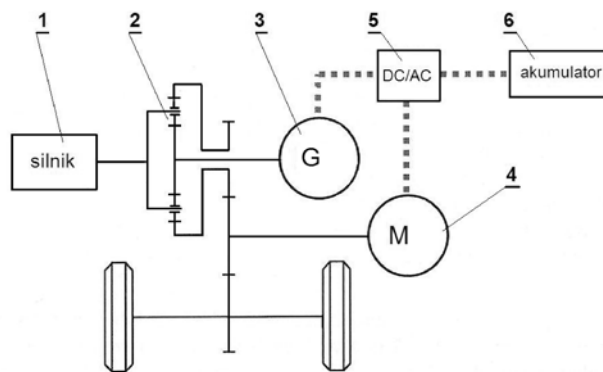
Prędkości obrotowe maszyn elektrycznych oraz silnika napędowego wynikają z kinematyki przekładni planetarnej oraz sposobu przyłączenia zespołów układu napędowego. Ich przebieg przedstawiają odpowiednie linie na rys. 2.

Jako maszyny elektryczne zastosowano wysoko sprawne bezszczotkowe maszyny synchroniczne z magnesami stałymi o mocy 50 kW, przy zasilaniu napięciem 500 V i maksymalnym momencie obrotowym 400 Nm, który jest praktycznie stały w zakresie prędkości 0–1540 obr/min. Łączna moc z obydwu źródeł dochodzi do 85 kW przy prędkościach powyżej 85 km/h.

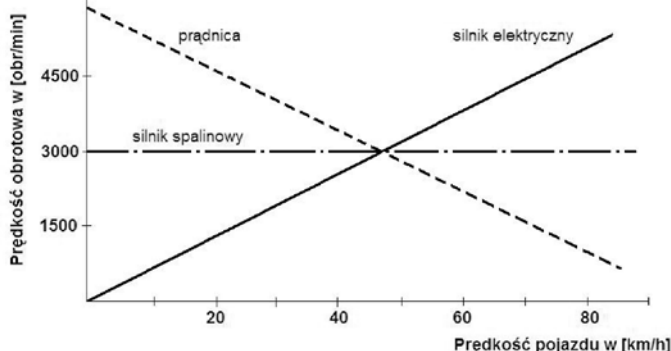
Benzynowy 16-zaworowy silnik spalinowy o pojemności 1,5 dcm³ osiąga maksymalną moc 57 kW przy prędkości obrotowej 5000 obr/min oraz maksymalny moment obrotowy 115 Nm przy prędkości 4200 obr/min.

Prius – według producenta [7, 8] – zużywa w cyklu Euro 5,1 dcm³/100 km benzyny bezołowiowej i wydalą 120 g/km CO₂, czyli około 40% mniej niż podobnej klasy samochód konwencjonalny z silnikiem benzynowym i przekładnią automatyczną. Osiągami Prius dorównuje pojazdom z napędem klasycznym. Prędkość maksymalna wynosi 160 km/h, zaś od 0 do 100 km/h hybrydowa Toyota przyspiesza w 13,4 sekundy.

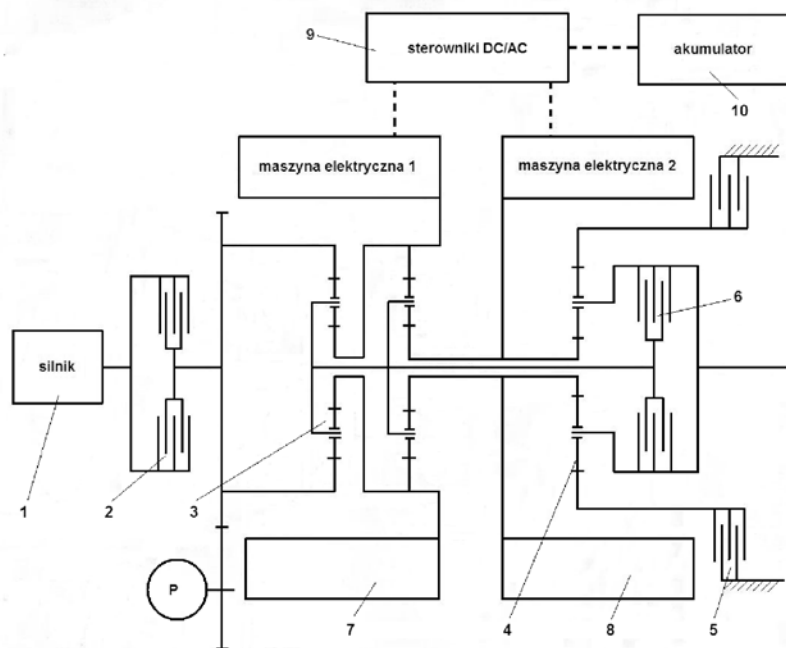
W dwuzakresowej przekładni EV Drive firmy GM Allison, rys. 3 [1], można wyróżnić dwustopniową przekładnię planetarną (3) połączoną przez sprzęgło (2) z silnikiem napędowym (1), przekładnię planetarną (4) z dwoma sprzęgłami (5) i (6), zmieniającymi zakresy przełożeń, oraz dwie maszyny elektryczne (7), (8) pracujące przemiennie jako silnik i jako prądnica. Istotą tej koncepcji jest przeniesienie funkcji elastyczności silnika, w układzie konwencjonalnym napędu, na skrzynię biegów z równoległym przepływem mocy, dzięki czemu silnik może pracować ze stałą prędkością obrotową, niezależnie od prędkości pojazdu. Parametry konstrukcyjne przekładni planetarnych dobrano tak, że w każdym zakresie przełożeń istnieje prędkość pojazdu, przy której przekładnie planetarne zachowują się, jakby były zblokowane, tj. wszystkie ich elementy obracają się z tą samą prędkością. Są to punkty pracy z największą sprawnością, a odpowiadające im prędkości w przypadku autobusu to 40 [km/h] – punkt A i 100 [km/h] – punkt B, rys. 4 [1]. Prędkości obrotowe maszyn elektrycznych oraz silnika napę-



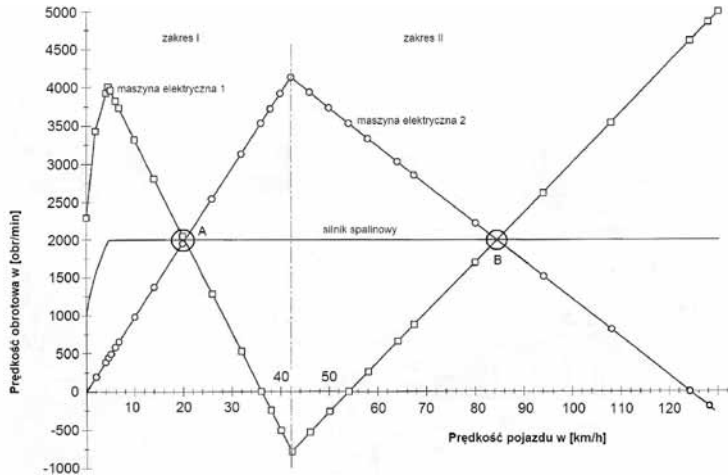
Rys. 1. Schemat napędu hybrydowego Toyota-Prius: 1 – silnik spalinowy; 2 – przekładnia planetarna; 3 – maszyna elektryczna (prądnica–rozsusznik); 4 – maszyna elektryczna (silnik–prądnica); 5 – sterownik DC/AC; 6 – akumulator



Rys. 2. Przebiegi prędkości obrotowych podstawowych zespołów napędu hybrydowego Toyota Prius



Rys. 3. Schemat napędu hybrydowego EV Drive firmy Allison: 1 – silnik spalinowy; 2 – sprzęgło; 3 – dwustopniowa przekładnia planetarna; 4 – przekładnia planetarna; 5 – sprzęgło I zakresu; 6 – sprzęgło II zakresu; 7, 8 – maszyny elektryczne; 9 – przetwornice napięcia; 10 – akumulatory NiMH



Rys. 4. Przebiegi prędkości obrotowych podstawowych zespołów napędu hybrydowego EV Drive firmy Allison

dowego wynikają z kinematyki obydwu przekładni planetarnych w funkcji prędkości pojazdu, jak przedstawiają to odpowiednie linie na rys. 4.

W pierwszym zakresie przełożeń sprzęgło (5) jest załączone, (6) rozłączone, a przekładnia planetarna (4) pracuje jako zwalniana. Maszyna elektryczna (8) działa jak silnik i napędza koło słoneczne przekładni (4) oraz koło słoneczne drugiego stopnia przekładni (3). Maszyna elektryczna (7) działa początkowo jak prądnica, a pod koniec zakresu jak silnik, co wynika z uwzględnienia strat energii w przekładni z równoległym przepływem mocy przy przechodzeniu przez punkt mocy zerowej. Jazdę do tyłu realizuje się przez wymuszenie przeciwnych obrotów maszyny (8).

W zakresie drugim załączone sprzęgło (6) przenosi napęd z dwustopniowej przekładni planetarnej (3) bezpośrednio na wał wyjściowy skrzyni biegów. Sprzęgło (5) pozostaje wtedy rozłączone, a maszyna elektryczna (7) działa jak silnik na przekładnię (3). Maszyna elektryczna (8) pracuje jak prądnica.

Maszyny elektryczne wytwarzają i używają prądu zmiennego, a akumulatory prądu stałego. Podwójny moduł przetwornicy napięcia dokonuje zamiany prądu stałego w zmienny lub zmiennego w stały, w zależności od potrzeby, ułatwiając jej przekazywanie, magazynowanie i wykorzystywanie. Moduł pracuje w zakresie 430–900 [V] i jest sterowany z wykorzystaniem komunikacji CAN.

System magazynowania energii oparty jest o akumulatory niklo-matalo-

wo-wodorowe NiMH, które posiadają jedną z najwyższych gęstości energii (360 [MJ/m³]). Magazynowana energia wytwarzana jest podczas normalnej pracy maszyn elektrycznych oraz podczas hamowania pojazdu. System magazynowania energii, o napięciu nominalnym 600 [V], chłodzony jest powietrzem.

Przeprowadzone w USA badania eksploatacyjne autobusów hybrydowych z silnikiem wysokoprężnym Cummins o mocy 209 [kW], wyposażonym w napęd EV Drive z dwiema maszynami elektrycznymi o mocy 75 [kW], wykazały, że w porównaniu z napędem klasycznym średnie zużycie paliwa w cyklach miejskich Manhattan, OCTA, CBD zmniejszyło się o 51%, emisja NO_x obniżyła się o 28%, CO o 29%, H_nC_m o 43%, CO₂ o 36%, a cząstek stałych nawet o 66% [3].

Polski producent Solaris, jako pierwszy w Europie, na początku 2007 r. wprowadził ten napęd do seryjnej produkcji autobusów miejskich. W przypadku autobusu hybrydowego Solaris stwierdzono mniejsze zużycie paliwa o 20–25%, obniżenie emisji NO_x o 39%, CO o 10%, CO₂ o 23%, H_nC_m o 14%, cząstek stałych o 6% [2].

Analizując możliwe struktury układów równoległych, można zaproponować ich klasyfikację jak na rys. 5 [5, 9], gdzie dla każdej z grup istnieją podstawowe zależności parametrów pracy przekładni bezstopniowej (elektrycznej, hydrostatycznej). Wynikają stąd trzy rodzaje układów:

- z połączeniem na wejściu przekładni bezstopniowej z przekładnią me-

	Schemat strukturalny	Charakterystyka obciążeniowa P.B.	Parametry pracy P.B.	
Połączenie na wejściu			$0 < i_2 = \frac{B}{D} < i_1 = \infty$	$\frac{N_z}{N} = 1 - \frac{i_2}{i}$ $\frac{\omega_\alpha}{\omega_1} = k_\alpha (i - i_2)$ $\frac{M_\alpha}{M_1} = \frac{1}{k_\alpha} (1 - \frac{i_2}{i})$ $\frac{M_\beta}{M_1} = \frac{1}{k_\beta} \frac{1}{i}$
Połączenie na wyjściu			$0 = i_2 < i_1 = \frac{A}{C} < \infty$	$\frac{N_z}{N} = 1 - \frac{i}{i_1}$ $\frac{\omega_\alpha}{\omega_1} = k_\alpha (1 - \frac{i}{i_1})$ $\frac{M_\alpha}{M_1} = \frac{1}{k_\alpha}$ $\frac{M_\beta}{M_1} = \frac{1}{k_\beta} \frac{i}{i_1}$
Połączenie wewnętrzne			$0 < i_2 = \frac{B}{D} < i_1 = \frac{A}{C} < \infty$	$\frac{N_z}{N} = \frac{(i_\alpha - i)(i - i_\beta)}{i(i_1 - i_2)}$ $\frac{\omega_\alpha}{\omega_1} = k_\alpha \frac{i_1 - i}{i_1 - i_2}$ $\frac{M_\alpha}{M_1} = \frac{1}{k_\alpha} \frac{i - i_2}{i}$ $\frac{M_\beta}{M_1} = \frac{1}{k_\beta} \frac{i_1 - i}{i_2}$

Rys. 5. Rodzaje połączeń przekładni bezstopniowej w układzie napędowym z równoległym przepływem mocy

- chaniczną przez przekładnię o stałym przełożeniu;
- z połączeniem na wyjściu przekładni bezstopniowej z przekładnią mechaniczną przez przekładnię o stałym przełożeniu;
- z połączeniem wewnętrznym przez przekładnię planetarne.

Układ z połączeniem na wejściu cechują następujące własności: hiperbola mocy N_z przekształca się tu w równoboczną, prędkość ω_α przybiera wartość stałą, proporcjonalną do prędkości kątowej wału wejściowego (silnika spalinowego), asymptota krzywej momentu M_β leży na osi odciętych. W tym przypadku można wykorzystać tylko jeden punkt mocy zerowej i_2 , jednak korzystny zakres pracy leży powyżej tego punktu, tj. przy większych przełożeniach; przy przełożeniach mniejszych występuje w układzie zjawisko mocy krążącej.

W układzie z połączeniem na wyjściu hiperbola obrazująca przebieg mocy N_z ulega zwyrodnieniu, tj. w porównaniu z połączeniem wewnętrznym przekształca się w swoją asymptotę. Tak samo przekształca się krzywa momentu M_α . Korzystną cechą stanowi ograniczona wartość mocy N_z przy dowolnie małych przełożeniach układu ($i \rightarrow 0$). Sposób ten jako jedyny z trzech możliwych pozwala na realizację napędu od $i_2 = 0$, co

odpowiada prędkości pojazdu $V = 0$. Na przełożeniach jazdy do tyłu pojawia się wprowadzić moc krążącą, lecz w pobliżu $i_2 = 0$ przybiera niewielkie wartości.

W układzie z połączeniem wewnętrznym nie zachodzi proporcjonalność między żadnymi z czterech występujących prędkości kątowych. Wynika stąd, że ani element α , ani też element β przekładni bezstopniowej nie może być związany z wejściem 1 czy wyjściem 2 układu za pośrednictwem przekładni stałej bądź bezpośrednio. Z obu stron muszą znajdować się mechanizmy o więcej niż jednym stopniu swobody. Wykres mocy N_z jest hiperbolą, której jedna z asymptot stanowi oś rzędnych, a drugą – prosta ukośna. Pomiedzy punktami i_1 oraz i_2 bezwzględna wartość mocy N_z osiąga maksimum.

Parametry głównego układu i_1, i_2 wyznaczają nie tylko przebieg mocy N_z w całym zakresie regulacji przełożenia, lecz również przebieg prędkości i momentów na wejściu (α) i wyjściu (β) przekładni bezstopniowej. Tym samym możliwy jest dobór struktury przekładni z równoległym przepływem mocy tak, aby obciążenia podzespołów przekładni bezstopniowej nie przekraczały obciążeń dopuszczalnych i były utrzymane w założonych granicach.

Przedstawiona metoda umożliwia bezpośrednio analizę układu równoległego



Rys. 6. Autobus z napędem hybrydowym

z jednym źródłem napędu, o określonych wartościach momentu obrotowego M_1 i prędkości kątowej ω_1 na wejściu do przekładni. Ograniczeniem jest wtedy moc źródła napędu. W przypadku hybrydowych układów napędowych, o co najmniej dwóch źródłach energii (pierwotne – silnik i wtórne – akumulator energii), konieczne jest przyjęcie innego założenia, np. dla przekładni hydrostatycznej jako przekładni bezstopniowej ograniczenia wynikają z dopuszczalnych parametrów pracy, tj.: $M_\alpha, M_\beta, \omega_\alpha, \omega_\beta, p$. Ograniczenia te pozwalają określić osiągalne wartości momentu obrotowego i prędkości kątowej na wyjściu z hybrydowego układu równoległego, a tym samym możliwą do osiągnięcia dynamikę pojazdu. Zaproponowana metoda pozwala przewidywać i usystematyzować własności różnych rozwiązań napędów hybrydowych.

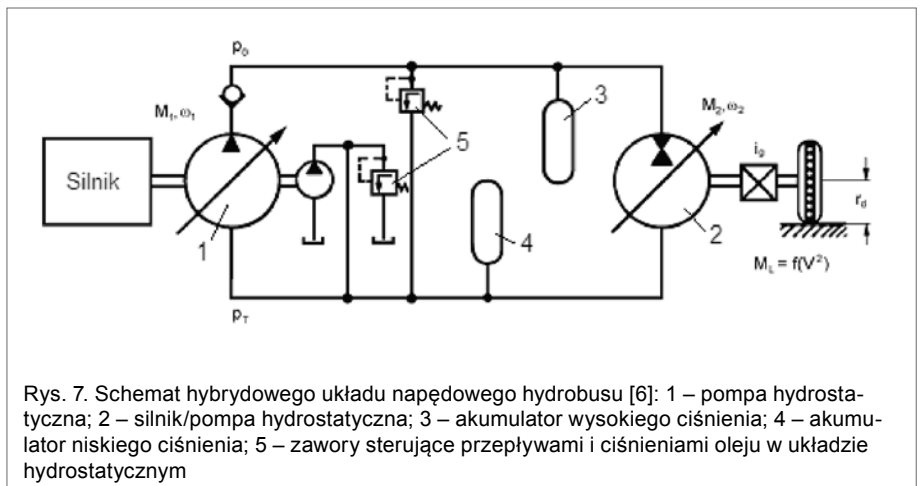
Przedstawione powyżej rozwiązania to:

- w przypadku Toyota – układ z połączeniem na wyjściu;
- w przypadku Allison – układ z połączeniem na wyjściu w I zakresie i układ z połączeniem wewnętrznym w zakresie II.

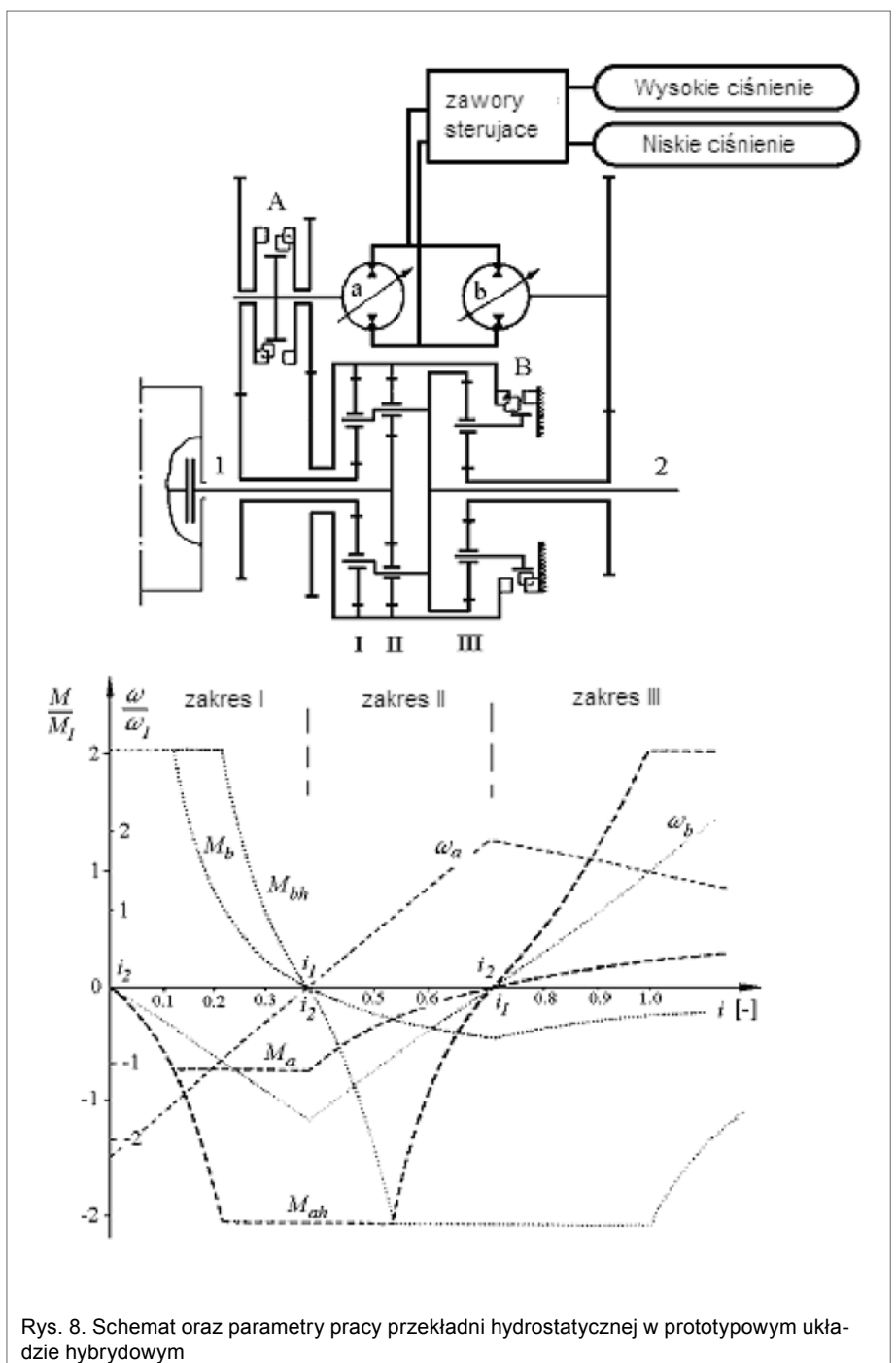
Od połowy lat 80. ub.w. są realizowane badania prototypów napędu hybrydowego dla autobusu miejskiego w Instytucie Pojazdów Politechniki Łódzkiej (obecnie Katedra Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn). Z uwagi na charakter pojazdu, wielkość przenoszanej mocy i dostępność podzespołów, zdecydowano się wtedy na wybór bezstopniowych przekładni hydrostatycznych. Przyjęto dwie koncepcje sterowania prędkością pojazdu: przez zmianę objętości jednostkowej silnika hydrostatycznego pobierającego energię z akumulatorów ciśnienia w napędzie szeregowym oraz z sekwencyjnym sterowaniem przełożeniem przekładni hydrostatycznej w złożonej przekładni hydro-mechanicznej, z równoległym przepływem mocy. Wykonano dwa prototypowe rozwiązania, rys. 6, 7 i 8.

Prototyp szeregowego rozwiązania hybrydowego zabudowano w autobusie Ikarus 266, wykorzystując podzespoły hydrauliczne firmy Rexroth. Pompę zamontowano na wale silnika spalinowego ZS, silnik hydrostatyczny na wałku atakującym mostu napędowego, który w czasie hamowania pojazdu stawał się pompą ładującą ciśnienie do zespołu akumulatorów hydropneumatycznych. Pompa i akumulatory ciśnienia miały za zadanie utrzymać ciśnienie robocze w zakresie 25–33 MPa. Sterując silnikiem hydrostatycznym przez zmianę jego objętości jednostkowej, uzyskuje się dostosowanie momentu wyjściowego do obciążenia pojazdu. Jednostka ta, pracując jako silnik, pobiera wynikający z objętości jednostkowej strumień o określonym natężeniu przepływu, a pracując jako pompa (w procesie hamowania), taki sam strumień wytwarza. Mikroprocesorowy układ sterujący nadzoruje pracę zespołu zaworów elektrohydraulicznych, a te z kolei przepływy oleju w układzie hydrostatycznym.

Rozwiązanie to pozwala zmniejszyć zużycie paliwa o ok. 8–12%. Oszczędność wynika przede wszystkim z rekuperacji energii hamowania, gdyż średnia sprawność silnika hydrostatycznego jest niska i niweluje oszczędności w zużyciu paliwa, wynikające z pracy silni-



Rys. 7. Schemat hybrydowego układu napędowego hydrobusu [6]: 1 – pompa hydrostatyczna; 2 – silnik/pompa hydrostatyczna; 3 – akumulator wysokiego ciśnienia; 4 – akumulator niskiego ciśnienia; 5 – zawory sterujące przepływami i ciśnieniami oleju w układzie hydrostatycznym



Rys. 8. Schemat oraz parametry pracy przekładni hydrostatycznej w prototypowym układzie hybrydowym

ka spalinowego w obszarze z maksymalną sprawnością przy stałej prędkości kątowej. Dobór silnika hydrostatycznego wynika, w tym rozwiązaniu, z kryterium dynamiki pojazdu, a stąd wymagana moc napędu.

Obecnie w Instytucie Pojazdów są prowadzone prace nad zastosowaniem przekładni elektrycznej, według powyższej koncepcji napędu szeregowego, dla małego miejskiego samochodu elektrycznego. Doświadczenia uzyskane wcześniej z organizacji mikroprocesorowego układu sterowania w autobusie będą przeniesione niemal wprost.

W Instytucie Pojazdów zbudowano stanowisko, na którym sprawdzono działanie przekładni z równoległym przepływem mocy, po czym wykonano prototyp dla autobusu miejskiego, rys. 8. Wyniki z badań zamieszczono w [5, 6]. Przyszłościowym rozwiązaniem jest zastąpienie przekładni hydrostatycznej – elektryczną oraz akumulatorów energii hydropneumatycznych – elektrochemicznymi połączonymi z kondensatorami.

Nasze doświadczenia mogą posłużyć do budowy podobnych energooszczęd-

nych przekładni dla innych zastosowań, m.in. do napędu maszyn w górnictwie.

Literatura

- [1] Two-Mode, Compound-Split Elektromechanical Vehicular Transmission. US Patent nr. 5931757.
- [2] MICHALAK D., ŚLASKI G.: *Miejski autobus hybrydowy – aspekt techniczny, ekologiczny i ekonomiczny*. Konferencja Szkoleniowa firmy ABRYŚ, Poznań, listopad 2008.
- [3] <http://www.allisontransmission.com/servlet>
- [4] AWERS C., HSU J., MARLINO L. I INNI: *Evaluation of 2004 Toyota Prius Hybrid Electric Drive System Interim Report*. Oak Ridge National Laboratory Report Nr. ORLL/TM-2004/247; <http://www.osti.gov/bridge>
- [5] PAWELSKI Z.: *Napęd hybrydowy dla autobusu miejskiego*. Monografie Politechniki Łódzkiej, Łódź 1996 (możliwość kopiowania ze strony internetowej autora).
- [6] PAWELSKI Z.: *Modelowanie i obliczanie napędu hydrobusu*. Monografie Poli-

techniki Łódzkiej, Łódź 2000 (możliwość kopiowania ze strony internetowej autora).

- [7] MERKISZ J.: *Kierunki rozwoju spaliniowych zespołów napędowych*. Mechanics and Mechanical Engineering, Łódź, Vol. 9, nr 1, 2005, s. 91–108.
- [8] ZIELIŃSKI A.: *Rozwój konstrukcji samochodów osobowych z hybrydowymi układami napędowymi*. Wyd. Salve, 2006.
- [9] KOWALSKI S.: *Multirange hydromechanical transmissions*. Zeszyty Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej, 1/1993.

Zbigniew Pawelski – Politechnika Łódzka, Katedra Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn

artykuł recenzowany