

Barbara Kulesz, Marcin Fice, Rafał Setlak
Politechnika Śląska, Gliwice

OGRANICZANIE ZUŻYCIA PALIWA W MODUŁOWYM HYBRYDOWYM UKŁADZIE NAPEŁDOWYM SAMOCHODU

REDUCTION OF FUEL CONSUMPTION IN MODULAR HYBRID ELECTRIC VEHICLE DRIVE

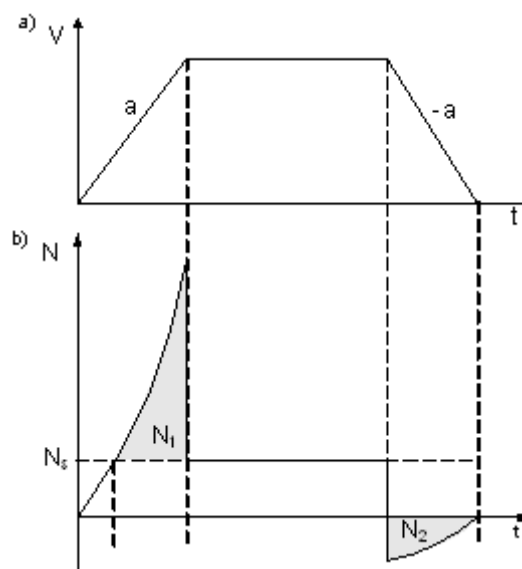
Abstract: The paper describes initial stages of designing Modul Hybrid drive system. This type of drive uses traditional electric unit consisting of battery, starter and alternator. This system, appropriately adapted, for instance by increasing its overall rated power and supplementing it with novel energy control procedures, may operate in a manner similar to hybrid car drives. A supercapacitor will be introduced as a new component, its role is to operate as energy accumulator for IC engine start-ups. Automobile Stop & Go System in Modul Hybrid Drive makes it possible to switch off IC engine automatically when vehicle stops (e.g. at red light or in traffic hold-ups) and then to switch it on quickly again. This action makes it possible to decrease fuel consumption and carbon dioxide emission, particularly in towns. Results of supercapacitor performance during IC engine start-ups are presented in this paper. Energy consumption at start-up has been calculated together with start-up time. Magnetti Marelli-Denso E80E car starter used in Fiat Palio has been used in tests, this starter is rated at 12 V 1,0 kW. Several tens of IC engines start-ups were conducted, with starter supplied from traditional standard lead-acid battery (Centra Futura 055 290, C20 = 55Ah); next, similar tests were run using supercapacitor (MAXWELL BPAK 15V 58F.).

1. Wstęp

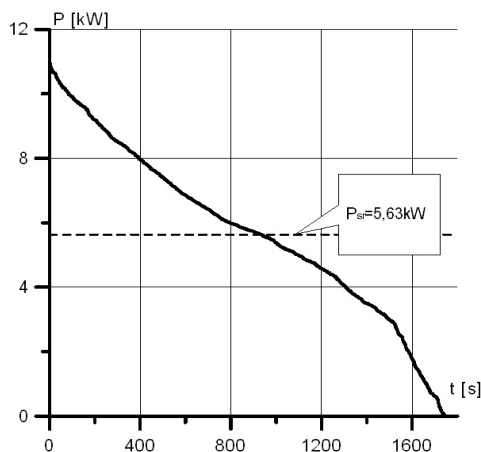
Pomimo obserwowanego rozwoju silników spalinowych i ich systemów sterowania to nadal wspólną negatywną cechą pojazdów z silnikami zarówno ZI (zapłon iskrowy), jak i ZS (zapłon samoczynny), ze względu na ekologię, jest bezproduktywne zużycie paliw podczas postoju pojazdu.

Kolejną wadą jest projektowanie silników spalinowych ZI i ZS ze względu na moc maksymalną, która w rzeczywistych warunkach jazdy jest wymagana jedynie sporadycznie (rys. 1).

Autorzy, wykorzystując pojazd elektryczny przeprowadzili szereg badań w cyklu miejskim. Wykorzystanie do badań napędu EV pozwoliło w prosty sposób zmierzyć zapotrzebowanie na moc podczas jazdy. Na rys. 2 przedstawiono przebieg tzw. mocy uporządkowanej zarejestrowanej podczas pomiarów. Jest to czas poboru określonej wartości mocy podczas jazdy. Średnia moc cyklu wyniosła ok. 5,5 kW, a moc maksymalna 14,4 kW.



Rys. 1. Cykl jazdy pojazdu: a) przebieg prędkości, b) zapotrzebowanie na moc. N_s – moc średnia potrzebna do utrzymania stałej prędkości, N_1 – moc potrzebna do przyspieszenia pojazdu do zadanej prędkości, N_2 – moc tracona w postaci ciepła podczas hamowania



Rys. 2. Przebieg mocy uporządkowanej pobieranej przez silnik podczas jazdy samochodem o napędzie elektrycznym

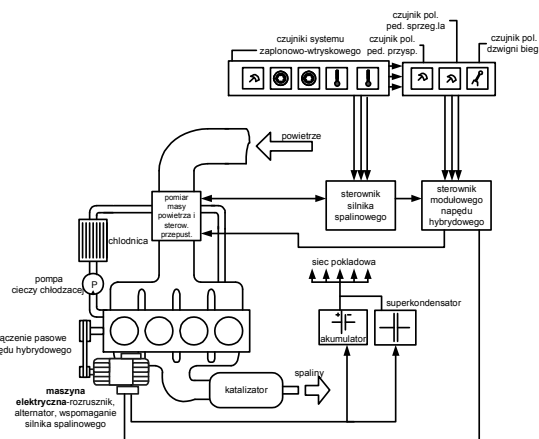
Opisanej wyżej wady nie posiadają pojazdy o napędach hybrydowych lecz ich udział w rynku europejskim jest wciąż marginalny, co jest podyktowane wysokim kosztem zakupu oraz brakiem zachęt finansowych czy podatkowych od strony rządów państw (szczególnie w Polsce).

2. Cel i motywacja badań

Celem projektu jest opracowanie modułowego hybrydowego układu napędowego samochodu, który będzie pozwalał na redukcję emisji CO_2 (zużycia paliwa) i będzie miał zastosowanie w pojazdach z silnikami zasilanymi benzyną, olejem napędowym, czy paliwami gazowymi (LPG, CNG).

Według wiedzy autorów na rynku nie są oferowane modułowe hybrydowe układy napędowe dla samochodów osobowych i lekkich ciężarowych. Modułowy układ napędowy składający się z nowoczesnego silnika elektrycznego, przekładni mechanicznej (np. pasowej-wielorowkowej lub z pasem zębionym), superkondensatorów i nowatorskiego algorytmu zarządzania energią umożliwi prostą zabudowę napędu na użytkowanym silniku spalinowym samochodu, a montaż takiego układu ograniczy się do prostych prac związanych ze zmianą koła pasowego wału korbowego, czy mocowaniem silnika elektrycznego do korpusu silnika spalinowego.

Modułowy system napędowy może pracować podobnie do napędów hybrydowych samochodów. Ideę budowy modułowego układu napędowego samochodu zaprezentowano na rys. 3.



Rys. 3. Schemat poglądowy modułowego napędu hybrydowego. Alternator oraz rozrusznik zastąpione będą maszyną elektryczną o większej mocy

Autorom znane są układy Stop&Go oferowanych na rynku samochodów. W ich konstrukcji wykorzystano typowe podzespoły, to jest alternator samochodowy, który dzięki dodaniu układu energoelektronicznego i odpowiedniemu sterowaniu może pracować jako silnik elektryczny. Zdaniem autorów takie rozwiązanie posiada dwie zasadnicze wady, mianowicie samochodowa prądnicą synchroniczną (alternator) posiada małą moc (np. niewystarczającą do wspomaganie silnika spalinowego podczas przyspieszania czy ruszania z miejsca) oraz bardzo małą sprawność rzędu jedynie 50-60% (co wynika ze specyficznej budowy zębionego wirnika alternatora). Zastosowanie w modułowym układzie napędowym maszyny elektrycznej o małych gabarytach i dużych mocach wynikać będzie z wykorzystania magnesów ziem rzadkich, co pozwoli na osiągnięcie sprawności do 94% (najwyższej spośród wszystkich maszyn elektrycznych).

Maszyna elektryczna będzie spełniała zarówno funkcję alternatora, rozrusznika i silnika wspomagającego (w określonych warunkach) silnik spalinowy, np. przy przyspieszaniu. Podczas postoju silnik spalinowy będzie wyłączany co ograniczy hałas i zużycie paliwa. Zasilanie silnika pracującego jako rozrusznik realizowane będzie układem energoelektronicznym z superkondensatorów (trwałość ok. 1000 razy większa niż akumulatorów kwasowo-ołowiowych).

Porównanie wybranych parametrów elektrycznych (sygnały zmierzone w Laboratorium Elektrotechniki i Elektroniki Samochodowej Zakładu Inżynierii Elektrycznej w Transporcie Politechniki Śląskiej) podczas rozruchu silnika

spalinowego przy wykorzystaniu tradycyjnego rozrusznika zasilanego z akumulatora lub superkondensatora pokazano w Tabeli 1. Badany był silnik samochodu o symbolu 178 B5.000, rozrusznik Magnetti Marelli-Denso E80E 12 V 1,0 kW z sterowaniem elektromagnetycznym, akumulator kwasowo-ołowiowy Centra Futura 055 290, C20=55Ah, superkondensator MAXWELL BPAK 15V 58F.

Tab. 1. Porównanie charakterystycznych wartości z serii badań rozruchowych silnika spalinowego za pomocą superkondensatora i akumulatora

	Superkondensator	Akumulator
Czas rozruchu [s]	0,54	0,55
Prąd maksymalny [A]	315	375
Napięcie przy prądzie zwarciovym [V]	9,1	9,6
Moc całkowita rozruchowa [W]	989	1509
Energia rozruchu [Ws]	534	830

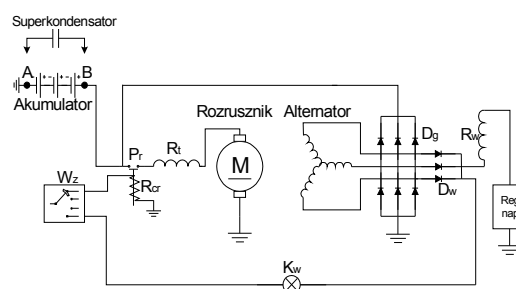


Rys. 4. Porównanie wymiarów tradycyjnego akumulatora i superkondensatora o pojemności 58F, napięciu 15V i masie 0,3kg i (samochód Honda Civic, akumulator o pojemności poniżej 50Ah)

3. Działanie modułowego hybrydowego układu napędowego

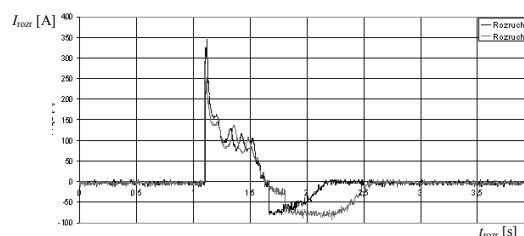
Maszyna elektryczna z magnesami trwałymi (planowana moc maksymalna rzędu 8-12kW), będzie pracowała w modułowym układzie napędowym zarówno jako alternator, jak i rozrusznik. Dzięki temu będzie realizowała automatycznie i wielokrotnie rozruch silnika spali-

nowego (np. podczas postoju na światłach, w korku, itp.) co przełoży się na zmniejszenie zużycia paliwa i emisji CO₂ w ruchu miejskim. Energia wymagana do rozruchu będzie w tym systemie pobierana z superkondensatora, a nie jak w układach tradycyjnych (nawet w pojazdach hybrydowych) z akumulatora, co pozwoli na wydłużenie żywotności ogniwa Pb-PbO₂. Na rysunku 5 pokazano uproszczony schemat układu rozruchowego badanego silnika spalinowego.

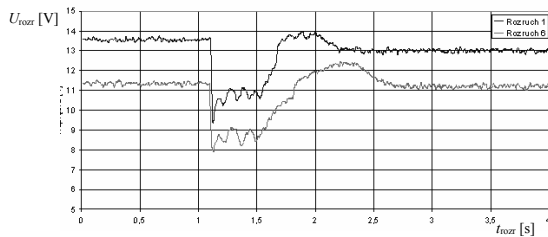


Rys. 5. Uproszczony schemat obwodu ładowania i rozruchu badanego samochodu, Wz- wyłącznik zapłonu, Pr- wyłącznik elektromagnetyczny rozrusznika, Dg- diody obwodu głównego, Dw- diody obwodu wzbudzenia, Rcr- cewka wyłącznika elektromagnetycznego, Rt- uzwojenie wzbudzenia rozrusznika, Rw- uzwojenie wzbudzenia alternatora

Podczas pomiarów procesu rozruchu silnika spalinowego z wykorzystaniem superkondensatora włączonego w miejsce akumulatora kwasowo-ołowiowego, superkondensator był krótkotrwale ładowany przez alternator (podobnie jak w przypadku akumulatora). Do zakończenia serii badań superkondensator nie był wyjmowany z pojazdu i doładowywany z obcego źródła. Na rysunku 6 porównano przebiegi prądu rozruchowego podczas pierwszego i szóstego rozruchu, a na rysunku 7 odpowiadające im przebiegi napięcia.

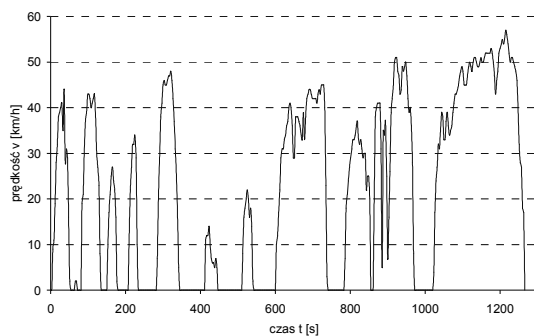


Rys. 6. Przebieg prądu akumulatora podczas pierwszego i szóstego rozruchu z wykorzystaniem superkondensatora Maxwell

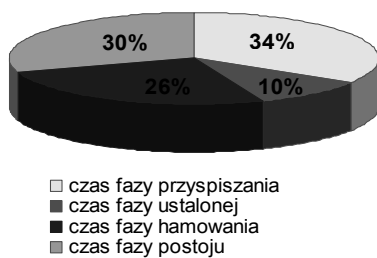


Rys. 7. Przebieg napięcia superkondensatora Maxwell podczas pierwszego i szóstego rozruchu silnika spalinowego

Podczas jazdy w mieście często występują fazy pracy silnika spalinowego, gdy pracuje on z bardzo małą sprawnością i niepotrzebnie zużywa paliwo i emituje CO₂. Na rys. 8 pokazano przykładowy przebieg prędkości pojazdu osobowego poruszającego się na trasie Gliwice-Zabrze. Czas jazdy wyniósł średnio 21 minut, a długość trasy 8,2km. Dla tej próby pokazano także na rys. 9 średni procentowy udział fazy przyspieszania, jazdy ustalonej, hamowania i postoju.



Rys. 8. Wykres prędkości samochodu podczas badań w ruchu miejskim



Rys. 9. Procentowy udział fazy przyspieszania, ustalonej, hamowania i postoju podczas realizacji przykładowej trasy miejskiej

System będzie realizował następujące funkcje:

- automatyczne wyłączenie silnika spalinowego (np. podczas postoju na światłach, w korku, itp.), a następnie wielokrotne i automatyczne (silnik zasilany z superkondensatorów pracujący w trybie rozrusznika)

uruchamianie silnika napędowego samochodu. Podobną zasadę pracy wykorzystują niektóre napędy hybrydowe samochodów,

- odzysk i uzupełnianie energii w akumulatorze i superkondensatorach. Maszyna elektryczna pracująca jako alternator będzie sterowana w taki sposób, aby szybko uzupełnić energię w zasobnikach energii czy odzysk pewnej części energii podczas hamowania samochodu. Możliwy będzie także tryb pracy maszyny elektrycznej bez wzbudzenia, np. dla zmniejszenia obciążenia silnika spalinowego (energia elektryczna niezbędna dla zasilania oświetlenia, urządzeń pokładowych, ECU silnika spalinowego, układu wtryskowego, zapłonowego, pompy paliwa będzie pobierana z zasobników energii),
- gromadzenie energii w podwójnym zasobniku (akumulator VRLA oraz bateria superkondensatorów). Zadaniem superkondensatorów będzie dostarczanie maszynie elektrycznej energii rozruchu podczas częstych rozruchów samochodu w jeździe miejskiej,

4. Podsumowanie

Modułowy hybrydowy układ napędowy samochodu będzie się różnił od znanych napędów hybrydowych czy systemów Stop&Go tym, że będzie wykorzystywał zaprojektowany silnik elektryczny z magnesami trwałymi (pracujący jako rozrusznik i alternator) o większej niż znane systemy mocy. Silnik elektryczny będzie połączony z wałem korbowym silnika spalinowego za pomocą przekładni pasowej. Dla celów projektu, ze względu na koszty przewiduje się jedynie zaadoptowanie gotowych części samochodowych, to jest kół pasowych i pasów wielorowkowych czy pasków zębatych, podwójnego zasobnika energii o bardzo wysokiej gęstości mocy (superkondensator i akumulator VRLA). Zasilaniem silnika oraz instalacji samochodowej (podczas pracy generatorowej) będzie zarządzał sterownik energoelektroniczny i układ nadzoru mocy.

Modułowy hybrydowy układ napędowy będzie miał tę przewagę nad znanymi systemami napędów hybrydowych czy systemów Stop&Go, że dzięki zastosowaniu stosunkowo tanich i masowo produkowanych podzespołów będzie dużo tańszy niż pojazd. W stosunku do układów Stop&Go będzie wykazywał dużą większą sprawność około 94% (maszyna z magnesami

trwałymi) zamiast 50-60% (alternator z wirnikiem kłowym) oraz kilkukrotnie większą moc niż oferowane na rynku Systemy Stop&Go. Duża moc silnika z magnesami trwałymi pozwoli na realizację odzysku energii hamowania, ruszanie pojazdem w trybie czysto elektrycznym i chwilowe wspomaganie silnika spalinowego - co jest nowością w tego typu rozwiązaniach.

Modułowy hybrydowy układ napędowy będzie mógł realizować podobne strategie, co znane napędy hybrydowe (wyłączenie silnika spalinowego na postoju, odzysk energii hamowania, wspomaganie hamowania silnikiem spalinowym) oraz wnosił nową jakość dzięki zastosowaniu jeszcze bardziej zaawansowanych strategii oszczędzania energii przy zapewnieniu dużej sprawności konwersji energii.

Literatura

- [1]. Baczewski K., Kałdoński T.: Paliwa do silników o zapłonie iskrowym. WKŁ 2005,
- [2]. Górski W.: Współczesne silnikowe paliwa alternatywne. Świat Paliw 2004,
- [3]. Merkisz J.: Ekologiczne problemy silników spalinowych. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej 1999,
- [4]. Venturi M.: Power distribution in HEV equipped with ICE of fuel cell. Rozprawa doktorska, Warszawa 2005,
- [5]. Decyzja Rady 2002/358/WE (Dz.U.L 130 z 15.05.2002) z dnia 25 IV 2002 dotycząca zatwierdzenia przez Wspólnotę Europejską Protokołu z Kioto do Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie Zmian Klimatu i wspólnej realizacji wynikających z niego zobowiązań
- [6]. Decyzja 1230/2003 (Dz.U.L 176 z 15.07.2003) Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 26 VI 2003 przyjmującą wieloletni program działania w dziedzinie energii : „Inteligentna Energia-Europa”
- [7]. Decyzja nr 1513/2002/WE (Dz.U.L 232 z 29.08.2002) Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 27 VI 2002 dotycząca szóstego programu ramowego Wspólnoty Europejskiej w dziedzinie badań, rozwoju technologicznego i demonstracji, przyczyniającego się utworzenia Europejskiej przestrzeni Badawczej i innowacji
- [8]. Komunikat Komisji do Rady i Parlamentu Europejskiego z dnia 7.02.2007 zawierający wyniki przeglądu wspólnotowej strategii na rzecz zmniejszenia emisji CO₂ pochodzących z samochodów osobowych i lekkich pojazdów dostawczych,
- [9]. Nowa Strategia Zrównoważonego Rozwoju UE, Rada Unii Europejskiej z 8.6.2006, Rezolucja Parlamentu Europejskiego w sprawie „zwycięstwa w walce ze zmianami klimatycznymi” (2005/2049),

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009-2011 jako projekt badawczy