

Piotr Tarkowski¹⁾, Ewa Siemionek¹⁾

UKŁADY NAPĘDOWE POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH

Streszczenie. Elektroniczne układy sterowania stosowane w napędach elektrycznych zamieniają polecenia kierowcy: kierunek jazdy, przyspieszenie, położenie dźwigni hamowania, na odpowiednie sygnały wejściowe półprzewodnikowego sterownika mocy. Jednocześnie kontrolowane są przy tym parametry dopuszczalne takie jak maksymalna wartość natężenia prądu, napięcia oraz prędkości obrotowej silnika. W artykule przeprowadzono analizę impulsowego sterowania w układach napędowych pojazdów elektrycznych. Scharakteryzowano zakresy pracy silnikowej i generatorowej dla napędu z obcowzbudną maszyną prądu stałego.

Słowa kluczowe: pojazd elektryczny, układy napędowe, sterowanie impulsowe.

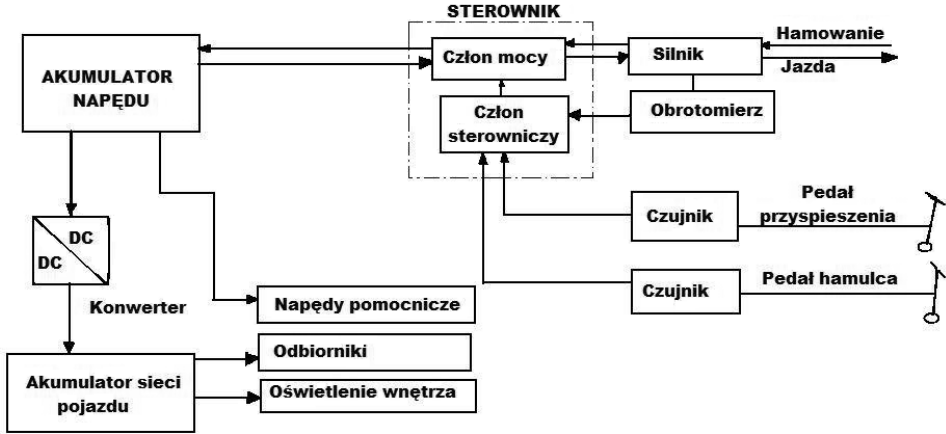
WPROWADZENIE

Układy napędowe elektryczne nadają się szczególnie do pojazdów używanych w ruchu miejskim. Bezstopniowe sterowanie prędkości jazdy oraz momentu obrotowego w całym zakresie warunków ruchu pojazdu jest dokonywane bez przełączania, za pomocą powodującej małe straty regulacji napięcia i natężenia prądu, co pozwala na osiągnięcie dużych przyspieszeń.

Elektryczne układy napędowe wykazują bardzo niski poziom hałasu i nie wydzielają spalin, dzięki czemu są nieszkodliwe dla otoczenia. Podczas pracy hamowania możliwe jest odzyskiwanie energii i ponowne doprowadzanie jej do akumulatora. Bezstopniowe sterowanie prędkości oraz odzyskiwanie energii podczas hamowania aż do zatrzymania silnika osiągnane jest za pomocą bezstykowych, a przez to w dużej mierze nie wymagających zabiegów konserwacyjnych, elementów półprzewodnikowych. Tego rodzaju układy posiadają „sterowanie impulsowe” lub „regulator prądu stałego”. W wyposażeniu elektrycznym obejmuje także urządzenia kontrolne i zabezpieczające. W przypadku zakłóceń wewnętrznych bądź zewnętrznych urządzenia te mogą wyłączyć zasilanie energią w ciągu kilku milisekund [9, 12].

Schemat blokowy napędu elektrycznego pojazdu przedstawia rysunek 1.

¹⁾ Katedra Pojazdów Samochodowych, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska.



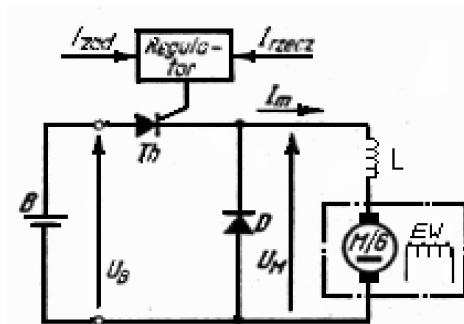
Rys. 1. Schemat blokowy napędu pojazdu elektrycznego

UKŁADY IMPULSOWEGO STEROWANIA NAPĘDÓW ELEKTRYCZNYCH

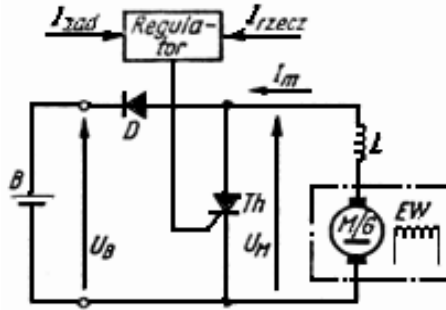
Podstawowe układy połączeń impulsowego sterowania silnika bocznikowego przedstawia rysunek 2 oraz rysunek 3. Układy te stanowią oprócz akumulatora B przełącznik tyrystorowy Th , silnik prądu stałego M/G , dławik pomocniczy L w obwodzie twornika (indukcyjność dodatkowa), bocznikowe uzwojenie wzbudzenia EW oraz dioda D .

Podczas jazdy wskutek okresowego załączania i wyłączenia tyrystora Th , w silniku powstaje ciąg impulsów napięciowych o różnej szerokości zależnej od czasu załączania tyrystora. Zmiany częstotliwości impulsów oraz czasu ich trwania (szerokości) umożliwiają ciągłe sterowanie wartości średniej napięcia od zera do wartości napięcia na akumulatorze.

W czasie hamowania (rys. 3) tyrystor Th zostaje włączony podczas pracy silnika, w wyniku przeciwdziałającego napięcia silnika popłynie prąd w kierunku odwrotnym niż



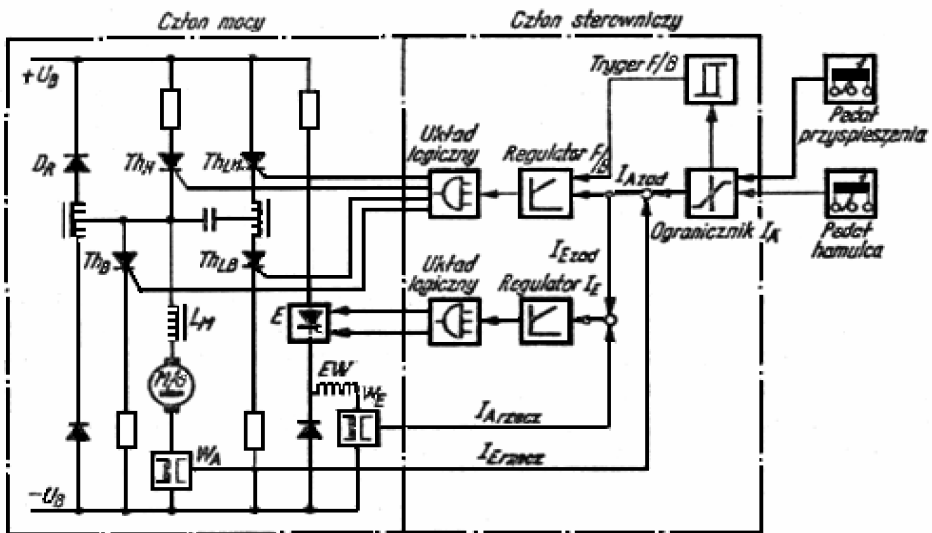
Rys. 2. Układ połączeń sterowania impulsowego podczas jazdy



Rys. 3. Układ połączeń sterowania impulsowego podczas hamowania

podczas jazdy, wskutek czego silnik zacznie pracować jako prądnicą i rozwijać moment hamowania. W indukcyjności dodatkowej L zostaje przy tym okresowo zmagazynowana energia. Po wyłączeniu tyrystora obwód indukcyjny zostaje przerwany. Wskutek tego wzrasta napięcie w cewce L i prąd może płynąć przez diodę D do akumulatora.

Na rysunku 4 przedstawiono uproszczony schemat członu mocy sterownika wraz ze schematem blokowym członu sterowniczego. Poza akumulatorem (napięcie U_B) i silnikiem trakcyjnym M/G z uzwojeniem wzbudzającym EW , najważniejszymi elementami członu mocy są: człon nastawczy prądu twornika, składający się z tyrystora głównego Th_H , tyrystora pomocniczego hamowania Th_B , tyrystorów wygaszających Th_{LH} i Th_{LB} , dławik dodatkowy L_M w obwodzie twornika, do wygładzania pulsacji prądu, oraz pokazany jedynie w zarysie zasadniczym regulator pola elektromagnetycznego E . Jest on zbudowany jako mostek tyrystorowy, w którego środkowym



Rys. 4. Schemat członu mocy układu sterowania elektrycznego układu napędowego

odgałęzieniu znajduje się uzwojenie wzbudzenia EW . W ten sposób staje się możliwa szybka i bezstykowa zmiana biegunowości w przypadku zmiany kierunku jazdy. Istotnymi elementami członu sterowniczego są: regulator „jazda – hamowanie” (F/B) i znajdujący się pod nim regulator w obwodzie wzbudzenia. Dlatego położenie dźwigni przyspieszenia (jazdy) jak i dźwigni hamowania ustala wymagany prąd twornika poprzez czujniki indukcyjne. Układ ogranicznika oraz układ wyboru kolejności (pierwszeństwa) – utrzymują wartość zadaną na regulatorze prądu twornika [7, 8]. Układem jazdy i hamowania steruje regulator jazda – hamowanie, a także układ logiczny tyrystora. Nastawnik twornika może w sposób ciągły wpływać na prąd silnika poprzez tyrystory Th_H oraz Th_B podczas pracy silnikowej, jak i podczas pracy generatorowej.

W przypadku napędu pojazdów z obcowzbudną maszyną prądu stałego można rozróżnić cztery podstawowe zakresy dla pracy silnikowej i generatorowej:

Praca silnikowa

1. Jazda w zakresie nastawczym twornika.
2. Jazda w zakresie nastawczym uzwojenia wzbudzenia.

Praca generatorowa

3. Hamowanie w zakresie nastawczym uzwojenia wzbudzenia.
4. Hamowanie w zakresie nastawczym twornika.

Jazda w zakresie nastawczym twornika

W zakresie od postoju do jednej trzeciej prędkości maksymalnej sterowanie impulsowe następuje w obwodzie prądowym twornika. W zależności od położenia dźwigni przyspieszenia ustalony jest prąd jazdy dla regulatora prądu twornika. Zostaje on porównany z prądem rzeczywistym przekładnika prądowego WA . Do regulatora prądu twornika jest dołączony dodatkowy regulator dwu-położeniowy o określonej histerezie. Wskutek odpowiedniego nastawienia regulatora oraz w wyniku działania indukcyjności dodatkowej utrzymywana jest mała pulsacja prądu, w wyniku czego zmniejsza się pulsacja momentów na wale napędowym.

Jazda w zakresie nastawczym uzwojenia wzbudzenia

Od chwili osiągnięcia znamionowej prędkości obrotowej maszyny (jedna trzecia maksymalnej prędkości obrotowej) – tyrystor Th_H pozostaje stale włączony. Poprzez regulator IE pole magnetyczne zostaje osłabione tak, że prąd twornika pozostanie stały aż do maksymalnej prędkości obrotowej. Silnik pracuje wówczas w zakresie nastawczym uzwojenia wzbudzenia. Od tej chwili natężenie prądu silnika oraz prędkość obrotowa zmieniają się na skutek zmian prądu wzbudzenia.

Hamowanie w zakresie nastawczym uzwojenia wzbudzenia

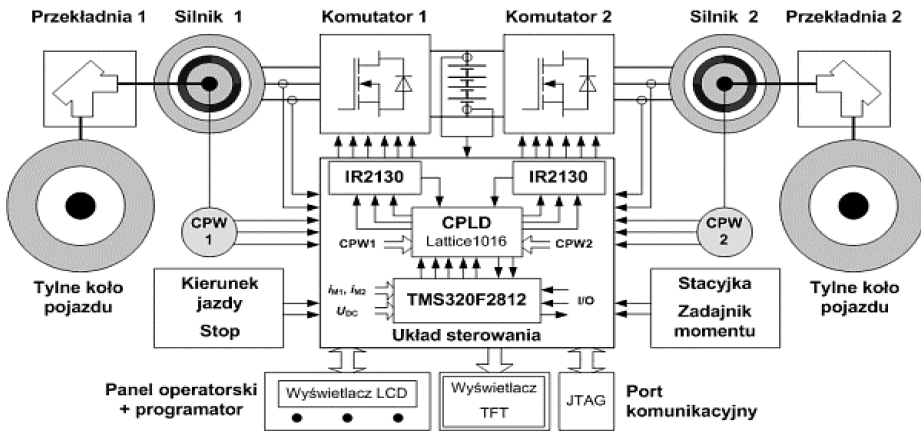
W zakresie nastawczym uzwojenia wzbudzenia można bez przełączania elementów mechanicznych przejść na pracę użyteczną hamowania. Należy zwiększyć natężenie prądu w obwodzie wzbudzenia. Napięcie na zaciskach silnika będzie wówczas większe

niż napięcie akumulatora, dlatego też przez diodę DR prąd stały popłynie bezpośrednio z prądnicy do akumulatora. Ten rodzaj hamowania użytecznego jest możliwy w przypadku zmniejszenia obrotów aż do znamionowej prędkości obrotowej silnika.

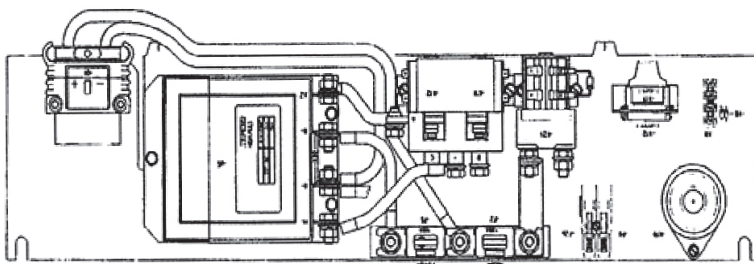
Hamowanie w zakresie nastawczym twornika

Jeżeli prąd hamowania zmniejszy się w chwili osiągnięcia znamionowej prędkości obrotowej poniżej nastawionej wartości wymaganej, włącza się tyrystor Th_B i prądnica zostaje przez dławik LM zwarta. Wartość prądu prądnicy zwiększa się i doprowadza energię do znajdujących się w obwodzie elementów indukcyjnych. Jeśli prąd zwarcio- wy osiągnie nastawiony prąd hamowania, tyrystor Th_B zostaje wyłączony po włączeniu się tyrystora Th_{LB} . Wskutek wyłączenia indukcyjności w obwodzie prądowym wzrasta napięcie na dławiku LM , dioda DR staje się przewodząca i zmagazynowana energia płynie do akumulatora. Dzięki temu możliwe jest utrzymanie hamowania uży- tecznego aż do zatrzymania silnika [4, 6].

Przykładowe rozwiązania układów sterowania dla samochodów z napędem elek- trycznym przedstawiają rysunki 5, 6, 7, 8.



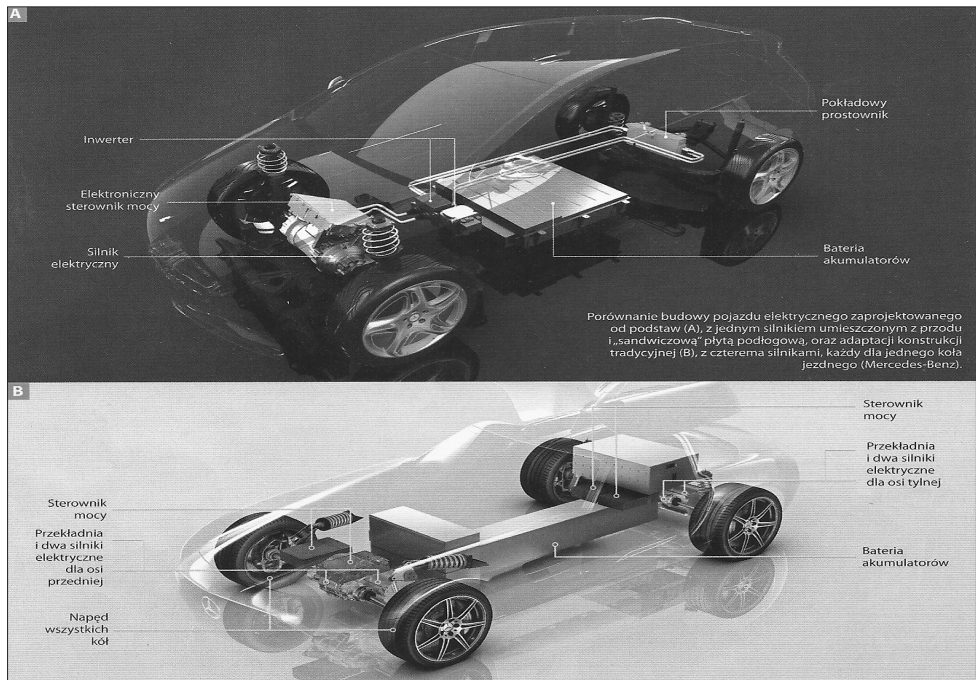
Rys. 5. Schemat blokowy układu napędowego samochodu elektrycznego



Rys. 6. Elementy układu sterowania silnika



Rys. 7. Rozmieszczenie elementów sterowania silnikiem



Rys. 8. Rozmieszczenie elementów układu napędowego współczesnego samochodu elektrycznego [5]

PODSUMOWANIE

Samochody z napędem elektrycznym zyskują wielu zwolenników, szczególnie w kręgach ekologów oceniających możliwe do wykorzystania źródła energii pod kątem ich wpływu na środowisko. Należy zwrócić uwagę, że przy obecnym systemie pobierania energii elektrycznej, łączna emisja CO₂ podczas eksploatacji samochodu osobowego odniesiona do przejechanej drogi wynosi przeciętnie 180 g/km i jest wyraźnie niższa niż w przypadku benzyn (230 g/km), a także olejów napędowych (210 g/km). Energia elektryczna pozwala ponadto na znaczne zredukowanie takich składników szkodliwych jak węglowodory, tlenek węgla i tlenki azotu w porównaniu z innymi paliwami jak gaz naturalny sprężony (CNG), mieszaniny propan-butan (LPG) oraz metanol [2, 15].

Do głównych zalet zastosowania elektrycznych układów napędowych należy:

- wysoka sprawność przetwarzania energii wynosząca około 70–90%, w porównaniu z napędami spalinowymi dla których wynosi 15–30%,
- większy moment obrotowy niż dla napędów spalinowych,
- niska emisja hałasu,
- brak szkodliwych toksyn zawartych w spalinach pojazdów spalinowych,
- zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych [1].

Głównymi wadami pojazdów wykorzystujących napęd elektryczny są:

- ograniczony zasięg i długi czas ładowania baterii akumulatorów,
- duża masa i wysoka cena baterii akumulatorów,
- ograniczona żywotność akumulatorów,
- emisja zakłóceń elektromagnetycznych,
- wrażliwość na warunki atmosferyczne.

PIŚMIENNICTWO

1. Dyszy J.: Elektryczne już są. *Auto Technika Motoryzacyjna*, 11, 2009: 24–25.
2. Jakubiec M.: *Energooszczędność i kompatybilność w napędach elektrycznych*. Branżowy Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Maszyn Elektrycznych, Katowice 2005.
3. Karwowski K., Szelaż A.: *Modern electric traction: vehicles*. Gdansk University of Technology, Faculty of Electrical and Control Engineering, Gdańsk 2009.
4. Leitman S., Brant B.: *Build your own electric vehicle*. McGraw-Hill, New York 2009.
5. Łęgiewicz J.: *Z prądem czasu*. 11, 2009: 12–17.
6. Merkisz J., Pielecha I.: *Alternatywne napędy pojazdów*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2006.
7. Ocioszyński J., Michałowski K.: *Pojazdy samochodowe o napędzie elektrycznym i hybrydowym*. WKŁ 1989.
8. Ocioszyński J., Świątek T.: *Pojazdy samochodowe z napędem elektrycznym*. *Auto-Technika Motoryzacyjna* 12, 1988: 8–10.

9. Rudnicki T.: Pojazdy z silnikami elektrycznymi. Zeszyty Problemowe – Maszyny elektryczne nr 80, 2008.
10. Sawicki J. Samochód elektryczny – utopia czy szansa. Auto-Technika Motoryzacyjna 5, 1992: 35–39.
11. Sawicki J., Stegman T.: Nowe generacje samochodów elektrycznych. Auto-Technika Motoryzacyjna 5, 1991: 24–29.
12. Sawicki J. Napęd elektryczny – o krok bliżej celu. Auto-Technika Motoryzacyjna 1, 1993: 12–14.
13. Sawicki J.: Samochody elektryczne: małe średnie i największe. Auto-Technika Motoryzacyjna 9, 1993: 33–35.
14. Sawicki J.: Co będzie po ropie naftowej? Auto-Technika Motoryzacyjna 7, 1990: 8–12.
15. Szumanowski A. Czas energii. WKŁ 1988.

ELECTRIC VEHICLE DRIVES

Summary

The control electronics in electric drives converts the commands of the driver: direction, accelerator, brake pedal position, into the corresponding control commands input to the power semiconductors, while at the same time observing specified limits: current, voltage, motor speed. The paper presents the analysis of control electronics in electric vehicle drives. The motor and generator operation in DC drives are described.

Keywords: electric vehicle, electric vehicle drives, control electronics.