

Konrad DĄBAŁA
Jacek DUDZIŃSKI

NAPĘD BEZPOŚREDNI W POJAZDACH SAMOCHODOWYCH – – PRZEGLĄD KONSTRUKCJI

STRESZCZENIE *W artykule zaprezentowano rodzaje napędów bezpośrednich przeznaczonych do elektrycznych pojazdów samochodowych. Opisano przykładowe rozwiązania konstrukcyjne oferowane przez producentów tego typu napędów na świecie. Przedstawiono silniki magnetoelektryczne wykonane przez Instytut Elektrotechniki.*

Słowa kluczowe: *napęd elektryczny, napęd szybkoobrotowy, napęd wolnoobrotowy, pojazd elektryczny, zawieszenie*

1. WSTĘP

Napęd bezpośredni przy pomocy silników elektrycznych znany jest już od ponad 100 lat. Pionierem w dziedzinie był Ferdinand Porsche. W 1900 roku skonstruował on pojazd, który nazwano Samper Vivus. Samochód powstał przy współpracy z wytwórnią powozów i jednocześnie pierwszym w Austrii producentem pojazdów mechanicznych Ludwig Lohner & Co. Dwa silniki elektryczne

dr inż. Konrad DĄBAŁA
e-mail: k.dabala@iel.waw.pl

mgr inż. Jacek DUDZIŃSKI
e-mail: dudz@iel.waw.pl

Zakład Maszyn Elektrycznych, Instytut Elektrotechniki

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 260, 2012

umieszczone w piastach przednich kół napędzały samochód. Były wspomagane przez silnik spalinowy. Energia elektryczna była magazynowana w akumulatorach, które składały się z 44 ogniw o napięciu 80 V. Innowacje w konstrukcji umożliwiły usunięcie pewnych elementów, np. wału napędowego. Obecnie baterie ładowane są z zewnętrznego źródła, jednak wtedy generatorem energii elektrycznej był sprzęgnięty z prądnicą silnik spalinowy.

W pojazdach samochodowych na wiele lat napęd elektryczny został wyparty przez napęd spalinowy m.in. z powodu braku wydajnych źródeł energii. W 1. połowie XIX wieku aby dany pojazd elektryczny mógł konkurować z takim samym o napędzie spalinowym, w samochodzie elektrycznym konieczne było użycie akumulatorów ołowionych, które zwiększały czterokrotnie jego masę. Jednak z biegiem lat opracowywano nowe typy akumulatorów o coraz większej sprawności.

Od lat 90-tych ubiegłego wieku przemysł motoryzacyjny ukierunkowany jest na ekologię. Od tego czasu nastąpił gwałtowny wzrost zainteresowania napędami alternatywnymi i hybrydowymi. Ze względu na powstanie nowych typów akumulatorów do napędu pojazdów zaczęto stosować silniki elektryczne. Obecne typy akumulatorów mogą magazynować coraz więcej energii elektrycznej oraz posiadają mniejszą masę w porównaniu do stosowanych przed kilkunastoma laty. Dla nowoczesnych źródeł energii istotne są takie właściwości, jak możliwość szybkiego ładowania oraz głębokiego rozładowania przy zachowaniu trwałości oraz pojemności.

Czołowi producenci samochodów oferują już pojazdy hybrydowe i elektryczne. W hybrydach silnik elektryczny jest używany jako źródło wspomagające główny silnik pojazdu, którym najczęściej jest silnik spalinowy. W pojazdach elektrycznych w miejscu jednostki spalinowej może być umieszczony jeden lub dwa silniki elektryczne.

Współczesne napędy elektryczne dzięki zastosowaniom energoelektroniki – do budowy przekształtnikowych układów zasilania, oraz mikroelektroniki opartej na wykorzystaniu mikroprocesorów – pozwalają stosować w powszechnej praktyce bardziej złożone algorytmy sterowania zapewniające bardzo dobre właściwości dynamiczne tych napędów.

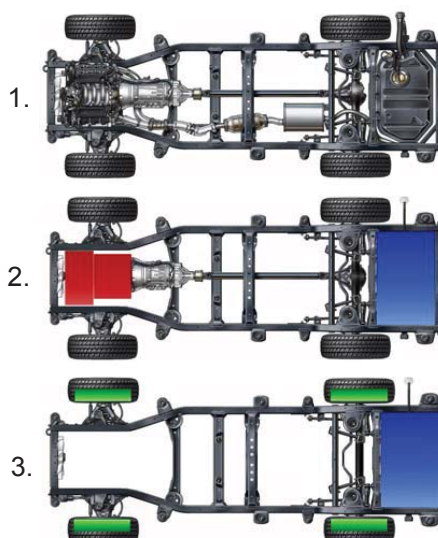
2. RODZAJE NAPĘDÓW ELEKTRYCZNYCH

Napędy elektryczne można podzielić na dwie główne klasy:

- napędy centralne;
- napędy bezpośrednio w piastach kół.

Napęd centralny może być dostępny w wersji elektrycznej lub w wersji hybrydowej elektryczno-spalinowej. Silnik elektryczny centralny posiadają pojazdy firmy np. Mitsubishi. Napęd hybrydowy dostępny jest w większości modeli innych producentów samochodów, np. BMW, Toyoty czy Hondy.

Jest wiele firm zajmujących się badaniami napędów bezpośrednich, jednak do tej pory takiego napędu nie można zamówić w samochodzie produkowanym seryjnie. Główną siłą napędową do badania napędów bezpośrednich jest to, iż więcej jest przestrzeni pod maską samochodu. W dotychczas produkowanych pojazdach układ napędowy nie dość, że zajmuje sporo miejsca, to dużo waży i na dodatek powoduje duże ograniczenia w konstrukcji pojazdu. Przekazywanie napędu na koła za pomocą półosi również stanowi duże ograniczenia. Wady te sprawiły, że na świecie coraz częściej myśli się o napędach tzw. bezpośrednich, polegających na umieszczeniu silników napędowych w kołach pojazdu. Przeważnie jest to napęd na dwa koła tylne, rzadziej na cztery. Bardziej zaawansowane technologicznie napędy łączą w sobie oprócz elektrycznego silnika napędowego także hamulec i elektryczne zawieszenie.



Rys. 1. Szyk pojazdu wyposażonego w napęd: 1 – klasyczny spalinowy, 2 – centralny hybrydowy oraz 3 – bezpośredni w piastach kół (źródło: [5])

Umieszczenie silnika w kole ma wiele zalet [5], w tym:

- napęd na koła (4 koła) bez potrzeby transmisji, półosi napędowych, mechanizmów różnicowych lub innych złożonych elementów mechanicznych;
- wolność dla projektowania wewnątrz przez stylistów;
- możliwość montażu dodatkowych modułów akumulatorów, zwiększających zasięg i moc pojazdów porównaniu do poprzednich pojazdów elektrycznych;
- bardziej efektywne hamowanie regeneracyjne.

Na rysunku 1 przedstawiono wielkość przestrzeni użytkowej pojazdu w zależności od zastosowanego napędu.

3. NAPĘD BEZPOŚREDNI

W obecnych czasach są prowadzone badania napędu bezpośredniego z napędem elektrycznym w piastach kół w pojazdach osobowych jedynie przez kilka firm na świecie. W niektórych przypadkach oferowane są nawet gotowe rozwiązania do konwersji w pojazdach z napędem spalinowym na elektryczny. Większość instytutów badawczych wywodzi się jednak z koncernów samochodowych lub od producentów ogumienia. W produkcji seryjnej nie ma jeszcze takiego pojazdu. W zależności od typu zastosowanego silnika badane są dwa rodzaje napędów bezpośrednich: szybkoobrotowy i niskoobrotowy.

3.1. Napęd szybkoobrotowy i niskoobrotowy

Porównując obydwa rozwiązania dla napędów bezpośrednich w piastach (szybkoobrotowy napęd z przekładnią oraz niskoobrotowy bezpośredni), określić można następujące własności:

Napęd szybkoobrotowy:

- duża prędkość i niski moment obrotowy silnika elektrycznego o małej masie;
- wymagane jest sprzęgło i przekładnia, a to powoduje dodatkowe straty i większą masę;
- konieczność chłodzenia;
- jest to skomplikowana konstrukcja mechaniczna.

Napęd niskoobrotowy:

- niska prędkość i wysoki moment obrotowy silnika oznacza dużą masę silnika;
- wymuszone chłodzenie;
- mniej skomplikowana konstrukcja niż w pierwszym przypadku;
- może być zintegrowany w piastach kół jako napęd bezpośredni.

Dla obydwu typów silników temperatura jest czynnikiem krytycznym ze względu na działanie hamulca mechanicznego.

3.2. Przykładowe konstrukcje napędów oraz czołowi producenci

Napęd szybkoobrotowy składa się z silnika oraz przekładni mechanicznej. W celu poprawnej współpracy z silnikiem napędowym wymagane jest

określenie przekładni. Najbardziej odpowiednia jest przekładnia planetarna z powodu jej niskiej masy ($0,2 \div 1$ kg/kW) oraz małego przełożenia ($3 \div 35$).

W tego typu napędach stosuje się chłodzenie wodne, przy przyjęciu następujących założeń:

- temperatura płynu chłodzącego 65°C ;
- współczynnik konwekcji pomiędzy silnikiem elektrycznym a płynem chłodzącym 6000 W/m²K.



Rys. 2. Silniki szybkoobrotowe umieszczone w japońskim samochodzie badawczym **Ellica** (źródło: [5])

Badania napędów bezpośrednich z szybkobieżnymi przekładniami prowadzi kilka firm. Przykładowo są to: firma Michelin (np. pojazd Toyota „FineX” posiadający 4 silniki w kołach o mocy 20 kW każdy), czy samochód badawczy „Ellica” z Keio University z Japonii (rys. 2) (8 silników o mocy 60 kW każdy) [5].

Przykładowo, silnik Toyoty nie jest usytuowany na osi obrotu koła, ale ponad nią. Prędkość obrotowa silnika przekracza 10000 min⁻¹, a przekładnia planetarna redukuje prędkość w stosunku 8,5. Uzyskuje się dość duży moment obrotowy. Takie rozwiązanie napędu powoduje, iż jest więcej miejsca w najbliższym otoczeniu silnika. Umożliwia to montaż m.in. wzmocnionego zawieszenia.

Napęd niskoobrotowy polega na bezpośrednim umieszczeniu silnika napędowego w tarczy koła. W porównaniu do silnika szybkoobrotowego, silnik wolnoobrotowy posiada wartość momentu znamionowego o rząd wielkości większą. Silnik taki pracuje w konwencji konstrukcji odwróconej. Twornik jest nieruchomy, a na wirniku umieszczone są magnesy. Wirnik stanowi tarczę koła. Twornik przyjmuje kształt toroidalny, a to pozwala na zagospodarowanie wolnej przestrzeni wewnętrznej, np. na umieszczenie tam układu hamulcowego bądź elementów zawieszenia.

W napędach bezpośrednich niskoobrotowych również konieczne jest chłodzenie. Jest to wymuszony obieg. Czynnikiem chłodzącym może być powietrze lub ciecz. Wymagane są następujące dane:

- temperatura czynnika chłodzącego 35°C ;

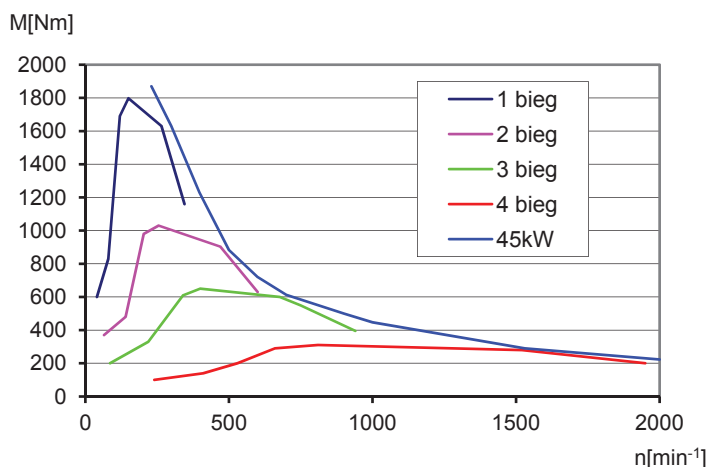
- współczynnik konwekcji pomiędzy silnikiem elektrycznym a czynnikiem chłodzącym $190 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Oprócz zalet i wad wcześniej przedstawionych, ciekawe wydaje się porównanie napędu bezpośredniego i napędu spalinowego o porównywalnych parametrach mechanicznych. W celu zobrazowania zależności mechanicznych, w Instytucie Napędów Elektrycznych (EAA) na Uniwersytecie Federalnym Ochrony w Monachium wykonano pomiary porównawcze charakterystyk momentu obrotowego dla napędu bezpośredniego niskoobrotowego oraz napędu klasycznego z napędem spalinowym.

Porównano charakterystykę momentu samochodu średniej wielkości z zamontowanym napędem elektrycznym o mocy 45 kW (silniki umieszczone w czterech kołach) i całkowitym momencie obrotowym 1800 Nm. Parametry te są wystarczające do porównania charakterystyk momentu przy niskich prędkościach. Napęd pojazdu spalinowego posiadał następujące parametry:

- maksymalny moment obrotowy silnika spalinowego 300 Nm;
- przekładnia pierwszego biegu: 12,74;
- sprawność skrzyni biegów: 95%;
- napęd na dwa koła.

Na rysunku 3 przedstawiono odpowiednie charakterystyki porównawcze.



Rys. 3. Porównanie charakterystyk momentu w zależności od prędkości obrotowej dla samochodu średniej wielkości z napędem spalinowym oraz z napędem elektrycznym bezpośrednim niskoobrotowym z silnikami umieszczonymi w czterech kołach (źródło: [5])

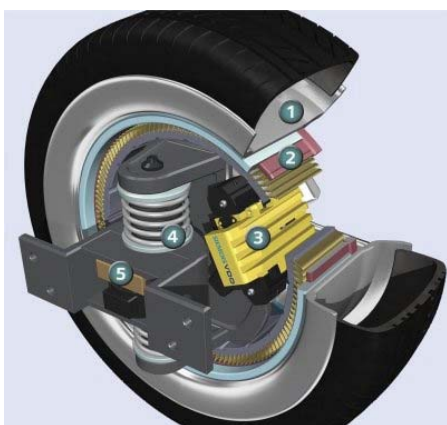
Prace badawcze nad napędami niskoobrotowymi prowadzą np. firmy: Bridgestone, Honda, Siemens VDO, Michelin, Mitsubishi, Protean Electric.

Napęd w pojeździe prototypowym Hondy pod nazwą FCX Concept stanowią trzy energooszczędne silniki napędzające cztery koła. Jest to napęd hybrydowy. Z przodu umieszczony jest silnik spalinowy o mocy 80 kW napędzający koła przednie oraz dwa silniki elektryczne w tylnych kołach o mocy 25 kW każdy [7]. Silniki te napędzane są energią z ogniw paliwowych. Pojazd posiada przestronne wnętrze i kabinę dla pasażerów. Wyznacza nowy etap w ewolucji technologii ogniw paliwowych. Rysunek 4 przedstawia silnik napędowy tylnych kół pojazdu.



Rys. 4. Układ napędowy bezpośredni skonstruowany przez firmę Honda (źródło: [7])

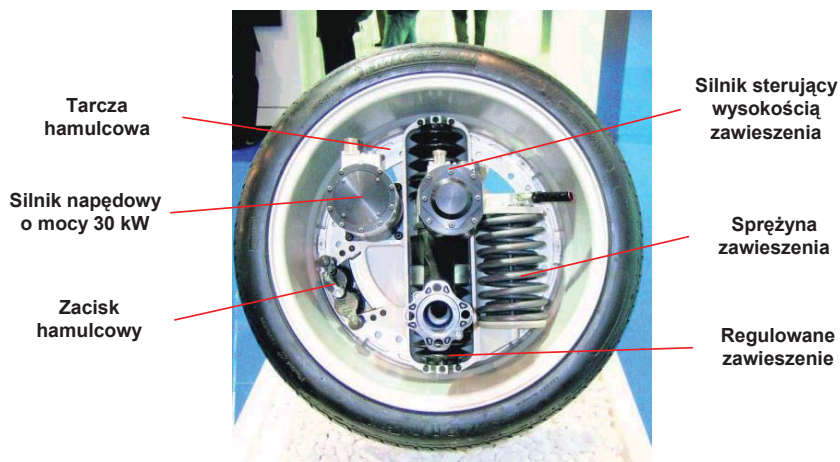
Siemens prowadzi badania nad napędem bezpośrednim wyposażonym w twornik w postaci toroidalnej. Daje to możliwość umieszczenia w wewnętrznej przestrzeni dodatkowych elementów, takich jak aktywne zwieszenie czy elektryczny hamulec klinowy. Na rysunku 5 przedstawiono system VDO pod nazwą eCorner do napędu bezpośredniego firmy Siemens. Koncepcja ta stanowi podstawę do bezprzewodowej obsługi urządzeń samochodu podczas jazdy, jaka będzie stopniowo wprowadzana w ciąg najbliższych kilkunastu lat. To jedna z pierwszych konstrukcji posiadająca prototypowe moduły sterujące ECM.



Rys. 5. System VDO firmy Siemens: 1 – tarcza koła, 2 – twornik silnika, 3 – hamulec elektryczny klinowy, 4 – aktywne zawieszenie, 5 – elektroniczny sterownik (źródło: [8])

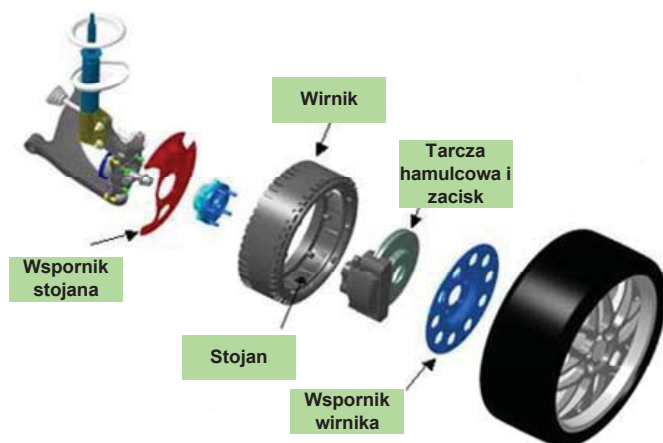
Na rysunku 6 przedstawiono napęd bezpośredni skonstruowany w firmie Michelin. Twornik silnika również posiada konstrukcję toroidalną. W kole oprócz silnika i elektrycznego układu hamulcowego mieści się zawieszenie ze zmiennym prześwitem o zakresie regulacji 17 cm. Dzięki temu nadwozie pojazdu wyposażonego w taki napęd może pochylać się na zakrętach. Zaletą takiego rozwiązania jest możliwość znacznie szybszej i bezpieczniejszej jazdy. Dodatkowo komputer kontroluje prace elektrycznej przekładni kierowniczej i może stabilizować tor

jazdy. Zawieszenie wspomagane jest elektrycznym systemem, który reaguje na nierówności na drodze w 3/1000 sekundy, co znacząco poprawia także bezpieczeństwo jazdy.



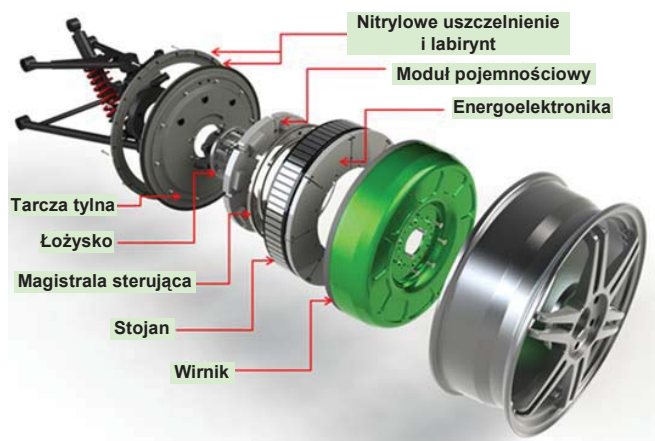
Rys. 6. Układ napędowy firmy Michelin (źródło: [9])

Twornik silnika, jaki oferuje firma Mitsubischi, również ma kształt toroidalnym. Podobnie, jak w wyżej wymienionych prototypach, konstrukcja toroidalna umożliwi umieszczenie mechanizmu układu hamulcowego i innych elementów w części środkowej silnika. Eliminuje to trudności związane z układem kierowniczym, umożliwiając montaż silników także w kołach przednich. System IMIEV zamieszczono na rysunku 7.



Rys. 7. System MIEV firmy Mitsubishi Motors Corporation (źródło: [5, 6])

W firmie Protean Electric (firma amerykańska; posiada swoje filie w Wielkiej Brytanii oraz w Niemczech) opracowano technologię, polegającą na wykorzystaniu napędu bezpośredniego w lekkich pojazdach użytkowych już produkowanych, w celu zapewnienia dodatkowego napędu elektrycznego lub przejścia w stan pracy hybrydowej (praca równoległa). Dwa silniki w kołach firmy Protean mogą zapewnić poruszanie się pojazdu w cyklu miejskim, zapewniając zerową emisję spalin przy wyłączeniu silnika benzynowego. Silniki tego typu posiadają mikromoduły elektroniczne falownika z wbudowanym oprogramowaniem sterowania. Rysunek 8 przedstawia napęd oferowany przez firmę Protean Electric.



Rys. 8. Napęd bezpośredni firmy Protean Electric (źródło: [5])

4. SILNIKI PRZEZNACZONE DO NAPĘDU BEZPOŚREDNIEGO WYKONANE W INSTYTUCIE ELEKTROTECHNIKI

W chwili obecnej prowadzone są prace studialne i tworzone są prototypy silników elektrycznych przeznaczonych do napędu samochodów elektrycznych. Dotyczy to przede wszystkim „silników w kole” magnetoelektrycznych, tj. z magnesami trwałymi. Powstają różnego typu konstrukcje takich silników, nie tylko poza granicami naszego kraju. Również warszawski Instytutu Elektrotechniki prowadzi prace nad napędem bezpośrednim.

W roku 2009 w Zakładzie Maszyn Elektrycznych IEL wykonano program obliczeń oraz model silnika magnetoelektrycznego wzbudzanego magnesami trwałymi z komutatorem elektronicznym [4]. Do obliczeń projektowych silnika

użyto autorskiego oprogramowania opracowanego w Zakładzie Maszyn Elektrycznych pod nazwą *Design of the DC brushless Motors with permanent Magnets*. Oprogramowanie to zostało stworzone w oparciu o opracowaną metodę obliczeń bezszczotkowych silników prądu stałego o magnesach trwałych. Metoda obliczeń projektowych dotyczy silników o strukturze walcowej z łupinowymi magnesami w wirniku oraz z dwuwarstwowym uzwojeniem trójfazowym, skojarzonym w gwiazdę, umieszczonym w żłobkach twornika. Jako magnesy trwałe zastosowano trójskładnikowy materiał żelazo-neodym-bor o dużej gęstości energii magnetycznej. Zakres mocy znamionowej silników projektowanych za pomocą tej metody nie przekracza ok. 20 kW, choć nie stanowi istotnego ograniczenia. Prędkość obrotowa maksymalna nie przekracza ok. 5000 obr/min i jest ograniczona ze względu na częstotliwość strumienia w stojanie. Oprogramowanie umożliwia optymalizację wymiarów silnika. Jako kryterium optymalizacji przy projektowaniu silników przyjmuje się minimalizację kosztu materiałów czynnych użytych podczas wytworzenia danego silnika.

Algorytm obliczeniowy silników rozbudowano tak, aby można było wariantowo zaprojektować silnik o założonej strukturze, tj. o:

- nieruchomym zewnętrznym tworniku w stojanie oraz magnesami trwałymi w wewnętrznym wirniku;
- nieruchomym wewnętrznym tworniku oraz magnesami trwałymi w zewnętrznym wirniku.

Podstawowe cechy silników:

- rodzaj symetrii – walcowa;
- wzajemne położenie głównych elementów: stojan wewnętrzny, wirnik zewnętrzny;
- stopień ochrony: IP44 lub IP55;
- położenie osi wału: poziome;
- połączenie z urządzeniem napędzanym: napęd trakcyjny – koło jezdne pojazdu mocowane do zewnętrznego wirnika;
- posadowienie; mocowanie do konstrukcji pojazdu;
- połączenie ze źródłem napięcia: poprzez trzy przewody dwuwarstwowego uzwojenia trójfazowego skojarzonego w gwiazdę, wyprowadzone w wydrążonym wale stojana i doprowadzone do wyjścia zasilacza półprzewodnikowego;
- sposób sterowania: poprzez specjalny impulsator z trzema transpatorami odbiciowymi umieszczonymi na tarczy nieruchomej względem stojana i odpowiednio ustawionej względem żłobków z początkowymi zezwojami pasm.

W Zakładzie Maszyn Elektrycznych IEL powstały trzy typy takich silników o strukturze z nieruchomym wewnętrznym twornikiem oraz magnesami trwałymi

umieszczonymi w zewnętrznym wirniku. Jeden z wykonanych silników posiada budowę tarczową [3]. Są to silniki wolnoobrotowe. Wymagają stałego napięcia zasilania o wartości $U = 96\text{ V}$. Ich parametry znamionowe zestawiono w tabeli 1.

TABELA 1

Zestawienie parametrów znamionowych silników magnetoelektrycznych wolnoobrotowych wzbudzanych magnesami trwałymi wykonanych w Instytucie Elektrotechniki

Typ silnika	Moment znamionowy	Prędkość znamionowa	Budowa o strumieniu
	Nm	min^{-1}	
ETMmt-35/12	35	320	osiowym
ETMm-60/12	60	320	promieniowym
ETMm-180/12	180	107	promieniowym

Rysunki 9 i 10 przedstawiają przykładowe wersje silników zaprojektowanych oraz wykonanych w Zakładzie Maszyn Elektrycznych Instytutu Elektrotechniki [2], a rysunki 11 i 12 silnik ETMm-60/12 zamontowany w kole pojazdu [1].



Rys. 9. Widok silnika ETMm-60/12 (bez wewnętrznej tarczy łożyskowej)



Rys. 10. Silnik typu ETMm-180/12 (widok od strony mocowania koła pojazdu)



Rys. 11. Widok silnika ETMm-60/12 zamontowanego w kole (widok od strony zewnętrznej)



Rys. 12. Widok silnika ETMm-60/12 zamontowanego w kole (widok od strony wewnętrznej)

Obecnie w Zakładzie Maszyn Elektrycznych IEL prowadzone są prace nad konstrukcją silnika wysokoobrotowego o momencie znamionowym 300 Nm oraz znamionowej prędkości obrotowej 1000 min^{-1} . Silnik przystosowany będzie do zamontowania w kole pojazdu o średnicy 17". Wyposażony będzie m.in. w chłodzenie wewnętrzne oraz hamulec elektryczny.

5. PODSUMOWANIE

Konstruowaniem i badaniami napędów bezpośrednich zajmuje się wiele firm na świecie. Jednak nie ma jeszcze seryjnie produkowanego pojazdu, który byłby dostępny w sprzedaży. Główną przesłanką do prowadzenia badań jest to, iż napęd taki zapewnia więcej dostępnej przestrzeni pod maską samochodu. A to daje możliwość umieszczenia tam akumulatorów lub docelowo zbiorników z wodorem. Dodatkowa przestrzeń to możliwość przeprojektowania nadwozia pojazdu.

Mimo że silniki umieszczone w kołach oferują szereg zalet, napotykają na trudności w zakresie wielkości, wagi i kosztów. Ich kształt sprawia, że niemożliwe jest wykorzystanie fabrycznych zawiesznień bez ich modyfikacji. Montaż silników w czterech kołach wymaga wiele zmian w konstrukcji podwozia, nie wspominając o konieczności zapewnienia niezawodności i trwałości.

Jest wiele problemów, które należy rozwiązać, np. to, że podczas ewentualnej awarii silnika istnieje możliwość zablokowania kół (koła). Elementy wewnętrzne w kole narażone są na przeciążenia osiągające przyśpieszenia do 20 g. Problemem jest też duże narażenie elementów silnika na zabrudzenia (kurz i błoto). Poważnym czynnikiem mającym wpływ na poprawną pracę silników nisko- i wysokoobrotowych jest temperatura, która wydziela się podczas hamowania. Układ hamulcowy najczęściej umieszczony jest w pobliżu silnika.

Konstrukcja toroidalna twornika umożliwia umieszczenie mechanizmu układu hamulcowego i innych elementów konstrukcyjnych pojazdu w części środkowej silnika. Eliminuje to trudności związane z układem kierowniczym, umożliwiając montaż silników także w kołach przednich, co w związku z obecnością elementów układu kierowniczego było dotąd niemożliwe. Stworzyło to możliwość konstrukcji układu napędowego na cztery koła.

W obecnej chwili główną wadą samochodów elektrycznych jest niewielki ich zasięg. Samochody niezależnie, czy posiadają napęd elektryczny, hybrydowy czy ogniwa paliwowe, muszą posiadać zmagazynowaną ilość energii, aby do zaakceptowania był ich zasięg. Wynika to z faktu, iż gęstość energii baterii lub zbiorników wodoru jest znacznie niższa niż w przypadku konwencjonalnych zbiorników paliwa. Zamontowanie silnika elektrycznego w piastach kół stwarza

dotatkowe miejsce pod maską, gdzie mogą być umieszczone dodatkowe magazyny energii.

LITERATURA

1. Dąbała K., Dudziński J.: Konceptyjny pojazd elektryczny z napędem bezpośrednim – opracowanie i wykonanie konstrukcji mechanicznej. Dok. IEL 21/2010.
2. Dąbała K., Dudziński J., Rudeński A., Zagrajek M.: Projekt i wykonanie modeli silników w kołach do pojazdu do 1 T. Praca wykonana w ramach projektu rozwojowego pt. Opracowanie pojazdu z napędem elektrycznym, osobowo-towarowego o masie całkowitej do 1 tony. Dok. IEL 2011.
3. Dąbała K., Dudziński J., Rudeński A., Zagrajek M.: Projekt i wykonanie prototypów silników magnetoelektrycznych tarczowych. Dok. IEL 22/2011.
4. Rudeński A.: Rozwinięcie metody i programu obliczeń silników magnetoelektrycznych o komutacji elektronicznej oraz zaprojektowanie i wykonanie prototypu silnika z zewnętrznym wirnikiem. Dok. IEL 24/2009.
5. Gerling D., Dajaku G., Lange B.: Electric Traction for Automobiles Comparison of Differt Wheel Hub Drives. Proteanelectric, <http://www.proteanelectric.com/wp-content/uploads/2011/12/protean-Services2.pdf>, 10.09.2012.
6. Medyj M.: Przyszłość według Mitschubishi, <http://www.motoforum.pl/Magazyn/200604/-/miev.html>, 18.09.2012.
7. Greencar. Could In-Wheel Motors be the Next Big Hing? <http://www.greencar.com/articles/could-wheel-motors-next-big-thing.php>, 19.09.2012.
8. Hankon M., Gizmag.: Siemens VDO visualies the electric wheel hub motor. <http://www.gizmag.com/go/5996/>, 07.09.2012.
9. Evans P.: Michelin Active Wheel System to hit roads in 2010. <http://www.gizmag.com>, December 2009, 07.09.2012.

Rękopis dostarczono dnia 28.09.2012 r.

DIRECT DRIVE MOTOR VEHICLES – – REVIEW OF CONSTRUCTIONS

Konrad DĄBAŁA, Jacek DUDZIŃSKI

ABSTRACT *The paper presents the types of direct drives for electric vehicles. Some examples of construction of this type of drives offered by the producers in the world are described. The permanent magnet motors made in the Electrotechnical Institute is presented.*

Keywords: *electric drive, high-speed drive, low-speed drive, electric vehicle, suspension*



Dr inż. Konrad DĄBAŁA ukończył Wydział Elektryczny Politechniki Warszawskiej i w roku 1982 rozpoczął pracę w Zakładzie Maszyn Elektrycznych Instytutu Elektrotechniki w Warszawie, gdzie uzyskał stopień doktora nauk technicznych. Zajmuje się przede wszystkim problematyką strat i sprawności w silnikach indukcyjnych klatkowych. Jest autorem lub współautorem ponad 40 publikacji naukowych krajowych i zagranicznych z dziedziny maszyn elektrycznych a także wykonawcą i kierownikiem projektów badawczych, rozwojowych i celowych.

Mgr inż. Jacek DUDZIŃSKI ukończył studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej w roku 1981. W tym samym roku rozpoczął pracę w Instytucie Elektrotechniki w Międzyzlesiu. Jest współautorem i autorem kilku patentów.

W swojej pracy zawodowej zajmował się m.in.: pomiarami parametrów elektrycznych i mechanicznych maszyn elektrycznych, pomiarami tensometrycznymi, konstrukcją przetworników mechanicznych, pomiarami hałasu i drgań maszyn elektrycznych, metodami przetwarzania i utylizacji sprzętu elektrycznego i elektronicznego, pracami dotyczącymi energii odnawialnej. Jest współautorem prac dotyczących konstrukcji pojazdów elektrycznych oraz silników elektrycznych przeznaczonych do napędu bezpośredniego.

