

Robert Tyrtańia, Tomasz Meinicke, Kacper Kudzia
Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o., Bielsko-Biała

PROJEKT POJAZDU ELEKTRYCZNEGO Z AUTOMATYCZNĄ SKRZYNIĄ BIEGÓW ZBUDOWANEGO Z WYKORZYSTANIEM SPALINOWEJ WERSJI POJAZDU SEGMENTU A (FIAT 500)

DESIGN PROJECT OF AN ELECTRIC CAR WITH AUTOMATIC TRANSMISSION BUILT ON THE BASE OF COMBUSTION ENGINE CAR FROM THE SEGMENT A (FIAT 500)

Streszczenie: W artykule przedstawiono problematykę transformacji pojazdu segmentu A, napędzanego silnikiem spalinowym z automatyczną skrzynią biegów, na wersję napędzaną wyłącznie silnikiem elektrycznym. Zaprezentowano ideę rozmieszczenia komponentów napędu elektrycznego, doboru parametrów silnika oraz baterii głównej i integracji systemów elektroniczno-elektrycznych pojazdu, zapewniającą uzyskanie jego parametrów użytkowych i trakcyjnych odpowiadających wersji spalinowej, z zachowaniem możliwości normalnego użytkowania pojazdu na drogach publicznych.

Abstract: The paper presents an issue of transformation of the segment A car powered by combustion engine with automatic transmission into version powered by electric motor only.

The authors have presented a concept of layout of electric powertrain components, selection of parameters of the electric motor and the main battery, as well as integration of electric-electronic systems of the car to assure operational and traction parameters of the car corresponding to the version with combustion engine, and enabling operation of the transformed car on public roads.

Słowa kluczowe: *pojazdy elektryczne, napęd elektryczny, integracja sieci CAN*

Keywords: *electric vehicle, electric drive, CAN network integration*

1. Wstęp

W ostatnich latach na transport samochodowy zostały nałożone liczne obostrzenia związane z redukcją emisji szkodliwych substancji do atmosfery. Stąd standardem wśród nowo homologowanych pojazdów jest norma emisji spalin EURO 6, która wymusza na producentach samochodów stosowanie skomplikowanych urządzeń redukujących emisję szkodliwych gazów. Dodatkowo niektóre z europejskich miast wprowadziły płatny wjazd do centrów miast bądź całkowity zakaz wjazdu dla samochodów nie spełniających określonych norm emisji spalin.

Takie zaostżenia wymagań nie dotyczą jednak pojazdów elektrycznych, które same w sobie nie wydzielają żadnych szkodliwych zanieczyszczeń do atmosfery. Dzięki temu otrzymały możliwość bezpłatnego wjazdu do stref o obniżonej emisji spalin oraz dodatkowe przywileje jak np. możliwość poruszania się po bus pasach, bezpłatne miejsca parkingowe itp. Coraz większa popularność pojazdów elektrycznych wynika również z proekologicznego podejścia wielu krajów Europy, dzięki czemu można

za darmo naładować baterie oraz otrzymać ulgi podatkowe przy zakupie pojazdu elektrycznego. Czołowi producenci samochodów już od kilku lat oferują pojazdy zbudowane od podstaw z myślą o zastosowaniu napędu elektrycznego. Samochody te w zdecydowanej większości są pojazdami dopracowanymi pod względem zabudowy i ekonomicznego wykorzystania napędu elektrycznego. Cechują się one jednak wysoką ceną zakupu, która nie zachęca do kupna potencjalnych klientów. Pewnym rozwiązaniem pośrednim, kompromisowym w zakresie ceny i parametrów trakcyjnych zachowującym jednak wszelkie cechy i przywileje pojazdu elektrycznego są pojazdy budowane na bazie seryjnego pojazdu z napędem spalinowym. Taka transformacja pojazdu spalinowego na napęd elektryczny, dla osiągnięcia zamierzonego celu wymaga:

- właściwego doboru wielkości i pojemności baterii trakcyjnej,
- właściwego doboru silnika elektrycznego,
- odpowiedniego rozmieszczenia poszczególnych elementów systemu napędowego,
- integracji systemu sterowania napędem elektrycznym z systemem elektryczno-elektronicznym pojazdu.

Właśnie takie rozwiązanie pojazdu elektrycznego z opisem sposobu zabudowy kluczowych komponentów i integracji systemów elektryczno-elektronicznych przedstawia niniejszy artykuł.

2. Opis konstrukcji samochodu 500E

2.1. Dane techniczne pojazdu po konwersji



Rys. 1. Widok ogólny opisywanego pojazdu

Podstawowe dane pojazdu:

- trójfazowy synchroniczny silnik elektryczny o magnesach trwałych,
- moment maksymalny 120 Nm,
- moc maksymalna 45 kW,
- prędkość maksymalna pojazdu >120 km/h,
- akumulator trakcyjny Litowo-Jonowy o pojemności 14 kWh z chłodzeniem i ogrzewaniem,
- przekładnia zautomatyzowana o 5 przełożeniach,
- elektryczne ogrzewanie wnętrza,
- elektryczna sprężarka klimatyzacji.

2.2. Założenia projektu

Założeniem projektu, było stworzenie atrakcyjnego cenowo samochodu elektrycznego na bazie pojazdu z silnikiem spalinowym, który po przeróbce będzie funkcjonalnością, jak najbardziej zbliżony do pojazdu bazowego. Projekt przewidywał zbudowanie pojazdu, w którym zostanie wykorzystana możliwie największa ilość podzespołów z wersji spalinowej. Istotną kwestią była również pełna integracja nowo zamontowanych elementów z istniejącymi urzą-

dzeniami pokładowymi. Wymagania wobec projektu:

- masa własna oraz rozkład mas pojazdu maksymalnie zbliżone do pojazdu w wersji spalinowej,
- zasięg pojazdu powyżej 100 km w teście NEDC,
- właściwości trakcyjne i użytkowe maksymalnie zbliżone do pojazdu spalinowego.

2.3. Rozmieszczenie elementów napędu elektrycznego w pojeździe

Rozmieszczenie elementów napędu elektrycznego jest ściśle związane z wolną przestrzenią w pojeździe uzyskaną po demontażu podzespołów, związanych ze spalinowym napędem pojazdu.

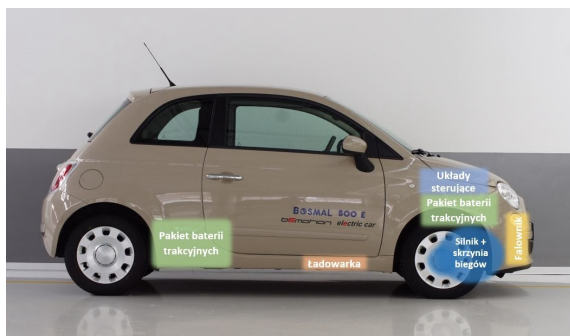
Z samochodu spalinowego wymontowano następujące podzespoły:

- silnik spalinowy wraz z osprzętem,
- układ wydechowy,
- układ dolotowy,
- zbiornik paliwa,
- sterownik silnika,
- układ zasilania paliwem,
- układ chłodzenia silnika.

Po demontażu tych elementów z pojazdu, powstała wolna przestrzeń w komorze silnika oraz w miejscu zbiornika paliwa i układu wydechowego. Z korpusem zautomatyzowanej skrzyni biegów został połączony silnik elektryczny. Największym i jednocześnie najcięższym elementem pojazdu elektrycznego są baterie trakcyjne, których prawidłowe rozmieszczenie ma decydujący wpływ na poprawny rozkład masy w pojeździe oraz zachowanie jego walorów użytkowych. Dlatego zdecydowano się na podzielenie pakietu baterii trakcyjnej na dwie części. Jedna z nich zamontowana została w miejscu zbiornika paliwa, a druga pod pokrywą silnika samochodu. Pod pokrywą silnika ze względu na pozostałą dużą przestrzeń i wystarczający zapas obciążenia przedniej osi zamontowane zostały dodatkowo:

- falownik,
 - układy elektryczne i centralki sterujące,
 - akumulator 12 V,
 - układ chłodzenia podzespołów elektrycznych.
- W centralnej części podwozia, w miejscu, gdzie znajdowała się rura układu wydechowego, zamontowana została ładowarka baterii trakcyjnych oraz główne przewody wysokonapięcio-

we. Gniazdo ładowania zostało zamontowane pod klapką wlewu paliwa.



Rys. 2. Rozmieszczenie komponentów napędu elektrycznego - widok z boku

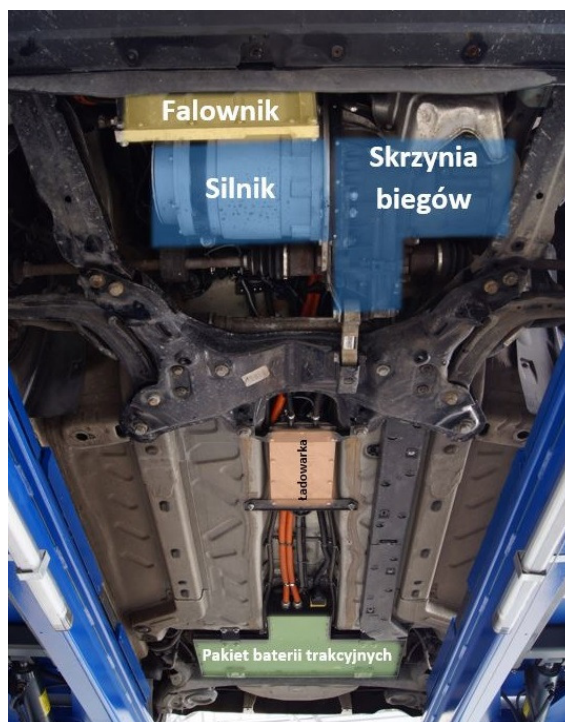


Rys. 3. Rozmieszczenie komponentów napędu elektrycznego - widok z przodu

3. Opis poszczególnych elementów elektrycznego układu napędowego oraz podstawowe kryteria doboru

3.1. Silnik elektryczny

W pojeździe został zastosowany silnik PMSM (synchroniczny o magnesach trwałych) [1] [2] chłodzony płaszczem wodnym. Moc nominalna silnika to 41 kW (maksymalna 65 kW), przy prądzie znamionowym 182 A (maksymalny 282 A) i napięciu 150 V. Znamionowy moment obrotowy silnika to 119 Nm (maksymalny 180 Nm). Maksymalna prędkość obrotowa silnika to 6000 obr/min. Takie parametry gwarantują swobodę w kształtowaniu charakterystyki mocy i momentu silnika potrzebnej do sprawnego napędzania pojazdu.



Rys. 4. Rozmieszczenie komponentów napędu elektrycznego - widok podwozia

3.2. Falownik

Do sterowania silnikiem, zastosowany został falownik o szczytowej mocy wyjściowej 100 kW, a ciąglej 60 kW. Zakres napięć pracy to 128-400 VDC. Maksymalny prąd wyjściowy to 360 A (RMS), a ciąglej to 200 A (RMS). Sterownik posiada również funkcję odzysku energii. Kontrola nad urządzeniem sprawowana jest za pośrednictwem sieci CAN.

3.3. Bateria trakcyjna

Omawiany pojazd został wyposażony w baterię trakcyjną o pojemności 53 Ah, złożoną z dwóch zestawów 72 ogniw pracujących pod napięciem 3,7 V o pojemności 53 Ah każde. Maksymalny prąd ładowania to 53 A, a rozładowania 159 A. Chłodzenie i ogrzewanie baterii realizowane jest z wykorzystaniem ogniw Peltiera. Łączna energia magazynowana w baterii trakcyjnej pojazdu to 14,12 kWh przy napięciu znamionowym 266,4 VDC. Pojemność baterii została ustalona po uwzględnieniu masy, kosztów zestawu oraz przestrzeni dostępnej do zabudowy i stanowi najlepszy kompromis pod względem ww. parametrów.

3.4. Ładowarka

W pojeździe zastosowana została ładowarka baterii trakcyjnych o mocy wyjściowej 3 kW. Napięcie wejściowe ładowarki to 230 VAC,

a maksymalny prąd wejściowy to 14 A, co pozwala na ładowanie pojazdu z większości dostępnych przyłączy elektrycznych w domach jednorodzinnych. Parametry ładowarki zapewniają czas ładowania baterii poniżej 8 godzin. Ze względu na umiejscowienie urządzenia pod podwoziem samochodu został wybrany model o najwyższym dostępnym stopniu ochrony IP67. Dodatkowo, aby zapewnić poprawną pracę ładowarki, urządzenie wyposażone jest w chłodzenie cieczą.

3.5. Centraliki sterujące

Dodatkowo w pojeździe zamontowane zostały centraliki zarządzające pracą komponentów napędu elektrycznego oraz komunikujące się z modułami sterującymi pozostałymi podzespołami, m.in. centraliką sterującą skrzynią biegów oraz głównym modułem sterującym pojazdu (tzw „body computer”).

3.6. Pompka podciśnieniowa układu hamulcowego

W samochodzie 500 występuje podciśnieniowy układ wspomagania hamulców. Aby zapewnić jego poprawną pracę po usunięciu silnika spalinowego, należało zastosować elektryczną pompkę podciśnieniową układu hamulcowego. Pompka utrzymuje podciśnienie na poziomie 0,8-0,55 atm. Urządzenie charakteryzuje się stosunkowo cichą pracą oraz niskim poborem prądu 6-10 A.

3.7. Sprężarka klimatyzacji

Pojazd w wersji bazowej wyposażony był w sprężarkę klimatyzacji napędzaną przez silnik spalinowy pojazdu. Aby zapewnić funkcjonowanie układu klimatyzacji w pojeździe po konwersji, zastosowano sprężarkę z napędem silnikiem elektrycznym o mocy znamionowej 1200 W.

3.8. Ogrzewanie wnętrza

Dla zapewnienia komfortu podróżowania pojazdem w niskich temperaturach w pojeździe zastosowano elektryczny układ ogrzewania wnętrza. Jako element grzewczy wybrano przepływową grzałkę o mocy grzewczej 2x2 kW, która znajduje się w miejscu fabrycznej nagrzewnicy pojazdu.

3.9. Układ chłodzenia podzespołów napędu elektrycznego

Dla zapewnienia optymalnej pracy podzespołów napędu elektrycznego, konieczne było zbudowanie wymuszonego elektrycznie układu chłodzenia cieczą. W obwodzie chłodzenia znajdują się:

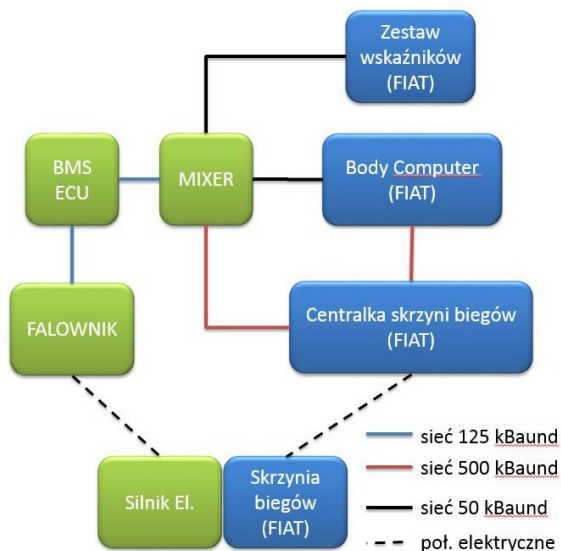
- silnik,
- falownik,
- ładowarka,
- bateria trakcyjna.

4. Integracja podzespołów

4.1. Integracja podzespołów z siecią CAN

Użyte podzespoły napędu elektrycznego komunikują się między sobą za pośrednictwem sieci CAN o prędkości transmisji 125 kB. Natomiast fabryczne centraliki za pośrednictwem sieci CAN o prędkości 500 kB oraz 50 kB. W celu osiągnięcia pełnej integracji podzespołów napędu elektrycznego z pozostałymi centralikami samochodu, niezbędne było stworzenie mostka łączącego ze sobą sieci CAN o różnej prędkości transmisji danych. Rolę mostka pełni urządzenie oznaczone na schemacie jako „MIXER”. Zaznaczone zostały nowo zamontowane komponenty, centralika „BMS/ECU” zarządzająca pracą podzespołów napędu elektrycznego, falownik kontrolujący pracę silnika oraz silnik elektryczny. Na schemacie zaznaczone zostały komponenty fabrycznie montowane w pojeździe m.in. „body computer” zarządzający pracą podzespołów pojazdu oraz centralika skrzyni biegów kontrolująca działanie przekładni zautomatyzowanej. Po usunięciu bazowej centraliki silnika, aby zapewnić poprawną pracę pozostałych podzespołów pojazdu, należało symulować część sygnałów generowanych przez fabryczną centralikę silnika. Informacje te trafiają poprzez „MIXER” do fabrycznej sieci CAN pojazdu.

Dodatkowo w bazowym rozwiązaniu zestaw wskaźników pojazdu połączony jest bezpośrednio z „body computerem”, jednak w celu umożliwienia wyświetlania na zestawie wskaźników dodatkowych informacji związanych z działaniem podzespołów napędu elektrycznego, należało przeprowadzić to połączenie poprzez „MIXER”. Urządzenie do standardowych danych płynących z „body computera” dodaje informacje o pracy nowo zamontowanych podzespołów.



Rys. 5. Schemat połączeń sieci CAN pojazdu po elektryfikacji

4.2 Sterowanie zautomatyzowaną skrzynią biegów

Fabrycznie w układzie napędowym pojazdu silnik spalinowy połączony jest z mechaniczną skrzynią zautomatyzowaną. Jediną ingerencją w układ napędowy, było zastąpienie silnika spalinowego elektrycznym. Skrzynia biegów i sprzęgło sterowane są za pośrednictwem siłowników hydraulicznych. Praca siłowników hydraulicznych kontrolowana jest elektrozaworami, poprzez centralkę sterującą skrzyni biegów. Cała logika działania skrzyni biegów znajduje się w jej sterowniku, który na podstawie otrzymywanych za pośrednictwem sieci CAN informacji dobiera odpowiedni bieg oraz charakterystykę działania sprzęgła. Aby możliwie jak najbardziej uprościć proces sterowania skrzynią biegów, zdecydowano się nie ingerować w fabryczne oprogramowanie sterownika przekładni. Takie rozwiązanie wymagało przesyłania wszystkich niezbędnych dla sterownika skrzyni biegów danych dotyczących pracy jednostki napędowej oraz informacji o oczekiwaniach kierowcy. Część sygnałów takich jak poziom wciśnięcia pedału gazu może być przesyłana bez modyfikacji, ze względu na podawanie realnej wartości sygnału. Ale, np. sygnał o prędkości obrotowej silnika musi być zmodyfikowany. Powodem modyfikacji jest standardowy algorytm zawarty w głównym module sterującym pojazdem „body computer”, który poniżej określonej prędkości obrotowej zakłada brak ładowania, co w konsekwencji powoduje dezaktywację elektrycznego wspomaganie kie-

rownicy oraz zapalenie kontrolki ładowania na zestawie wskaźników. Aby zapobiec takiej sytuacji w stanach postoju i zatrzymania pojazdu (w przypadku opisywanego rozwiązania silnik jest zatrzymany w stanie postoju i zatrzymania pojazdu) należy przesyłać na magistralę sieci CAN, pewną stałą wartość prędkości obrotowej, gdy rzeczywista prędkość silnika spada poniżej ustalonego progu. Modyfikacja sygnału prędkości obrotowej może być wykonywana tylko w momencie, gdy sprzęgło jest rozłączone bądź znajduje się w poślizgu. Ograniczenie wynika z dodatkowego pomiaru prędkości obrotowej w skrzyni biegów. Centralka skrzyni biegów w sytuacji, gdy sprzęgło jest zamknięte, oczekuje równej prędkości obrotowej silnika i wałka wejściowego skrzyni biegów. W przypadku rozbieżności sygnałów generuje błąd i przechodzi w awaryjny tryb pracy. Modyfikacja sygnałów realizowana jest podobnie jak w przypadku innych danych poprzez urządzenie „MIXER”. Zastosowany sposób sterowania skrzynią biegów zapewnia jej działanie na akceptowalnym przez użytkownika poziomie oraz gwarantuje bezawaryjność pracy.

5. Podsumowanie

Pojazd po zabudowie został poddany szczegółowej ocenie, w tym ocenie zasięgu wg testu NEDC, zgodnie z załącznikiem nr 9 regulaminu 101 [3]. Zmierzony zasięg to 102,467 km, wynik ten spełnia założenia projektu. W rzeczywistych warunkach ruchu drogowego, na podstawie prób drogowych (obciążenie pasażer + kierowca 150 kg)/temperatura otoczenia -1°C , zasięg pojazdu oszacowano na:

- 90 km w warunkach jazdy miejskiej,
- 80 km w warunkach jazdy pozamiejskiej (okresowo z prędkością 120km/h).

Wartości te, uwzględniając temperaturę otoczenia, oceniono na wystarczające w warunkach miejskiego użytkowania pojazdu. Po przebudowie łączna masa pojazdu wynosi 1088,4 kg, a jej rozkład jest następujący:

- przód 709,8 kg,
- tył 378,6 kg,

co mieści się w wartościach dopuszczalnych dla pojazdu w wersji spalinowej (z silnikiem diesla) gwarantując stabilność w ruchu w różnych warunkach drogowych. W trakcie prób drogowych sprawdzona została również poprawność pracy wszystkich podzespołów pojazdu, a obecnie trwa optymalizacja ustawień sterowników ze-

społu napędowego dla osiągnięcia maksymalnych zasięgów przy zachowaniu możliwie największej dynamiki i sprawności ruchu pojazdu.

Literatura

[1]. Radwański W, Będkowski B., Białas A., Rossa R.: „Koncepcja napędu elektrycznego E-Kit" dla miejskich samochodów osobowych”, *Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe*, Nr 4/2012 (97).

[2]. Białas A., Radwański W.: „Rozwiązanie koncepcyjne układu przeniesienia momentu obrotowego w miejskim samochodzie elektrycznym z napędem E-KIT”, *Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe*, Nr 2/2014 (102).

[3]. Regulamin nr 101 Europejskiej Komisji Gospodarczej Organizacji Narodów Zjednoczonych, Załącznik nr 9.

Autorzy

inż. Robert Tyrtania

mgr inż. Tomasz Meinicke

mgr inż. Kacper Kudzia

Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji
BOSMAL Sp. z o.o.

ul. Sarni stok 93, 43-300 Bielsko-Biała