

## Budowa i działanie hybrydowego układu napędowego

Coraz więcej pojazdów ma napęd hybrydowy. Jego upowszechnienie wiąże się z tym, że zapewnia on (w porównaniu z silnikami spalinowymi) znaczną redukcję ilości emitowanych składników toksycznych spalin oraz zmniejszenie zużycia paliwa (a więc także - emisji CO<sub>2</sub>).

Hybrydowy układ napędowy to ścisła współpraca dwóch źródeł napędu: silnika spalinowego o zapłonie iskrowym lub samoczynnym oraz silnika elektrycznego.

Podstawowym źródłem napędu jest silnik spalinowy, wspomagany w ruchu drogowym przez silnik elektryczny, a w niektórych sytuacjach całkowicie przez niego zastępowany.

Zależnie od mocy i napięcia elektrycznego źródła napędu wyróżniamy trzy rodzaje hybrydowych układów napędowych:

**mikrohybrydowy** - o mocy elektrycznej kilku kilowatów,

**częściowo lub średniohybrydowy** - o mocy elektrycznej kilkunastu kilowatów,

**w pełni hybrydowy** - o mocy elektrycznej kilkudziesięciu i więcej kilowatów.

Funkcje poszczególnych napędów dostosowane są do rodzaju źródła elektrycznego.

W napędach mikrohybrydowych silnik spalinowy wyposażony jest w rozrusznik elektryczny o mocy kilku kilowatów, umożliwiający ponowne uruchomienie samochodu po jego zatrzymaniu i wyłączeniu silnika (funkcja START – STOP). Napięcie wszystkich zespołów takiego układu napędowego nie przekracza 12-36 V. Nazwy samochodów tego typu często nie informują, że są to pojazdy mikrohybrydowe (np. Blue Motion, Blue Efficiency, Blue Drive i in.).

Bardziej zaawansowane technicznie są napędy średniohybrydowe. Zazwyczaj mają one zainstalowany dodatkowy zespół IMG (ang. *Integrated Motor Generator*) - silnik elektryczny (generator) o mocy kilkudziesięciu kilowatów. Może on funkcjonować jako elektryczny silnik synchroniczny prądu zmiennego (rozsusznik) lub generator (a także hamulec silnika spalinowego) i jest umieszczony między silnikiem a skrzynią biegów.

W fazie pracy silnikowej zespół IMG wspomaga pracę silnika spalinowego (np. podczas przyspieszania): czerpie energię z akumulatora. Przekształcanie prądu stałego o wysokim napięciu (200-400 V) w prąd zmienny, zasilający silnik, zapewnia przemiennik napięcia (falownik). Kiedy silnik spalinowy nie pracuje, zespół IMG pełni funkcję rozrusznika elektrycznego.

W określonych warunkach, gdy silnik spalinowy nie musi być wspomagany, elektroniczny układ sterujący przełącza zespół IMG w tryb pracy generatora, wytwarzającego energię elektryczną podczas jazdy i hamowania. Energia kinetyczna hamowanego pojazdu zostaje wykorzystana do napędzania generatora - jest to tzw. hamowanie regeneracyjne. W czasie zwykłego hamowania energia kinetyczna pojazdu zamienia się w ciepło (tarcie), które zostaje utracone. Podczas rekuperacji (odzysku energii kinetycznej hamowania) zespół IMG działa z jednej strony jak hamulec silnika - zmniejsza prędkość samochodu, a z drugiej jak generator - wytwarza energię elektryczną gromadzoną w akumulatorze.

W systemach średniohybrydowych napięcie wynosi 42 V i więcej. W samochodach z takim napędem często nie ma standardowego alternatora, a ładowanie akumulatora 12 V odbywa się z generatora IMG. Jeśli w pojeździe nie ma akumulatora 12 V, napięcie do instalacji pokładowej jest pobierane z akumulatora wysokiego napięcia i konwertera.

Napęd w pełni hybrydowy zapewnia realizację wszystkich wymienionych wcześniej funkcji: start-stopu, hamowania regeneracyjnego i wspomaganie pracy silnika spalinowego, pozwala także na uruchomienie samochodu za pomocą samego silnika elektrycznego (o mocy od 20 do 80 kW i więcej) oraz umożliwia jego ruch do prędkości ok. 30 - 15 km/h. Zasilanie napędowego silnika elektrycznego odbywa się wtedy z wysokonapięciowego akumulatora (np. litowo-jonowego lub nikłowo-metalowo-wodorkowego), umieszczonego z tyłu samochodu. Napięcie w instalacji wysokonapięciowej samochodu z pełnym napędem hybrydowym może przekraczać nawet 500 V (!).

Aby zapewnić realizację wszystkich funkcji, napędy hybrydowe wyposażono w wysokonapięciowe akumulatory, zespoły silnika i generatora elektrycznego, przemienniki napięcia (falowniki) itp.

Szczególne wymagania dotyczą akumulatorów wysokonapięciowych. Aby zapewnić ich maksymalną trwałość, temperatura pracy akumulatorów nie może przekroczyć 40°C i nie może spaść poniżej -5°C (optymalna temperatura 15-30°C), a różnica temperatur między poszczególnymi ogniwami nie powinna być większa niż 5-10°C. Standardowym rozwiązaniem chłodzenia akumulatorów jest obecnie podłączanie układu stabilizacji temperatury pracy akumulatorów do układu chłodzenia silnika (w najnowszych rozwiązaniach wspomaganego przez układ klimatyzacji), które wypiera stosowane wcześniej układy chłodzenia powietrznego.

Wszystkie przewody łączące elementy składowe wysokonapięciowej instalacji napędu hybrydowego mają podwójną izolację i są zabezpieczone przed zmianą polaryzacji napięcia. Te przewody są zakończone specjalnymi złączami, wykluczającymi omyłkowe podłączenie ich do innego układu elektrycznego.

Zależnie od konfiguracji (tj. liczby, rodzaju i umiejscowienia elementów składowych przekazujących napęd) wyróżniamy trzy podstawowe rodzaje pełnego napędu hybrydowego:

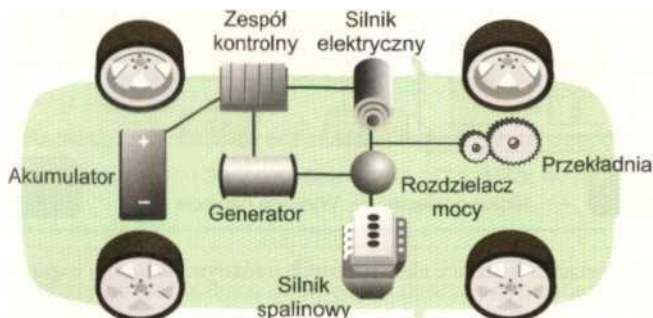
**szeregowy,**  
**równoległy,**  
**szeregowo-równoległy.**

W **napędzie szeregowym** koła samochodu napędzane są przez dwie maszyny elektryczne, a nie - przez silnik spalinowy. Pierwsza z nich (napędzana silnikiem spalinowym) pełni funkcję generatora wytwarzającego energię elektryczną, magazynowaną w akumulatorach i zasilającą elektryczny silnik napędowy za pomocą przemiennika napięcia. Druga (silnik), mechanicznie połączona z kołami samochodu, zapewnia jego napęd.

W **napędzie równoległym** koła samochodu napędzane są przez mechaniczny układ napędowy z dwóch równoległych źródeł napędu: silnika spalinowego i układu elektrycznego. Oba układy połączone są dzięki odpowiedniej konstrukcji silnika elektrycznego, umieszczonego w układzie napędowym między silnikiem spalinowym a sprzęgłem i skrzynią biegów. W takim rozwiązaniu napęd na koła może być zapewniany tylko przez silnik spalinowy lub tylko przez silnik elektryczny (zasilany z wysokonapięciowych akumulatorów samochodu za pośrednictwem przemiennika napięcia) albo przez oba źródła napędu.

**Napęd szeregowo-równoległy** stanowi kombinację napędu szeregowego i równoległego. Wykorzystuje ich zalety, jednocześnie minimalizując wady. Tego rodzaju rozwiązanie różni się od napędu szeregowego tym, że generator energii (pierwsza maszyna elektryczna) jest tu mechanicznie połączony z silnikiem elektrycznym (druga maszyna elektryczna) za

pomocą sprzęgła (w napędzie szeregowym jest tylko połączenie elektryczne). Gdy sprzęgło łączy generator energii z silnikiem elektrycznym, napęd kół jest zapewniany przez silnik spalinowy, wspomagany przez silnik elektryczny (połączenie równoległe). Po rozłączeniu sprzęgła układ pracuje jak szeregowy hybrydowy układ napędowy.



Schemat przykładowego pełnego hybrydowego układu napędowego z napędem szeregowo-równoległym

Do napędu szeregowo-równoległego należy również rozwiązanie, w którym napęd jednej osi pojazdu realizowany jest za pomocą silnika spalinowego, a drugiej - za pomocą silnika elektrycznego, dołączanego przy mniejszych prędkościach ruchu pojazdu.

Hybrydowe układy napędowe zabezpieczone są przed podaniem wysokiego napięcia na karosierię samochodu. Jedno z tych zabezpieczeń to **przełączniki bezpieczeństwa**, które w razie wypadku samochodu lub uszkodzenia zespołu napędowego odłączają wysokie napięcie. Aktywacja bezpieczników następuje w chwili wykrycia zagrożenia przez system autodiagnostyki (np. przez sterownik poduszek gazowych). Wszystkie przewody i elementy układu wysokonapięciowego są odłączone od instalacji 12 V, więc instalacja wysokonapięciowa pojazdu nie ma połączenia z masą (karoserią) samochodu.

Stosowanie hybrydowego układu napędowego w samochodzie wymaga odpowiedniej konstrukcji innych zespołów, działających tylko podczas pracy silnika elektrycznego (brak napędu z silnika spalinowego). Dotyczy to m.in.: pompy płynu chłodzącego, wspomaganie układu kierowniczego, podciśnieniowego wspomaganie układu hamulcowego, sprzężarki układu klimatyzacji, wysokociśnieniowej pompy oleju, zapewniającej pracę automatycznej skrzyni biegów. Wszystkie te zespoły muszą być przystosowane do zasilania energią elektryczną o wysokim napięciu.

Innym rodzajem pojazdów hybrydowych są **pojazdy PHEV** (ang. *Plug-in HEV*), wyposażone lub doposażone w dodatkowe akumulatory, umożliwiające przebycie dłuższego dystansu z utyciem silnika elektrycznego. Ładowanie akumulatorów używanych w tych pojazdach może odbywać się na zasadzie rekuperacji energii oraz - ze względu na zwiększony ładunek (pojemność) akumulatorów - z gniazda standardowej sieci elektrycznej podczas postoju pojazdu (np. w domu lub na parkingu).

Do pojazdów hybrydowych należą też pojazdy **E-REV** lub **EREV** (ang. *Extended Range Electric Vehicle*). Są to pojazdy z napędem szeregowym. Silnik spalinowy zapewnia im 30-40% mocy napędowej i jest uruchamiany po rozładowaniu akumulatorów lub wykorzystywany do ciągłego doładowania akumulatorów wysokiego napięcia.