
Streszczenie

W rozprawie zatytułowanej „Generator liniowy oscylujący jako urządzenie rozszerzające zasięg pojazdu elektrycznego” autor rozważa różne aspekty dotyczące elektrycznego generatora liniowego, jego zastosowania w urządzeniu rozszerzającym zasięg samochodu elektrycznego z silnikiem spalinowym z tłokiem swobodnym oraz wyniki pracy samochodu elektrycznego o rozszerzonym zasięgu jazdy. Nacisk położony jest na aspekty sprawności energetycznej generatora liniowego z magnesami trwałymi jako komponentu, sprawności energetycznej urządzenia rozszerzającego zasięg jako zespołu oraz sprawności energetycznej samochodu elektrycznego o rozszerzonym zasięgu jazdy jako środka transportu.

W rozdziale pierwszym autor motywuje swoje zainteresowanie badaniami generatorów liniowych o oscylującym ruchu roboczym oraz silników spalinowych o tłoku swobodnym, poprzez nakreślenie istniejących problemów z urządzeniami rozszerzającymi zasięg oraz potencjalnych korzyści wynikających z użycia generatora liniowego z magnesami trwałymi. Postawiona została hipoteza mówiąca, że odpowiednio sterowany generator liniowy, w ramach urządzenia rozszerzającego zasięg, może zapewnić rozszerzenie zasięgu jazdy i jednocześnie ograniczyć zużycie energii samochodu elektrycznego o rozszerzonym zasięgu jazdy.

W rozdziale drugim przeprowadzona została ogólna analiza samochodu elektrycznego o rozszerzonym zasięgu jazdy oraz przedstawiono modele komponentów pojazdu. Po pierwsze autor omawia środki i urządzenia dające możliwość rozszerzenia zasięgu jazdy samochodu elektrycznego. Po wtóre przedstawiona zostaje bazowa struktura samochodu elektrycznego o rozszerzonym zasięgu jazdy. Następna, obszerna sekcja pracy jest skupiona na urządzeniu rozszerzającym zasięg samochodu elektrycznego. Autor przedstawia tło historyczne zastosowania silników spalinowych z tłokiem swobodnym oraz najnowsze kierunki w rozwoju urządzeń rozszerzających zasięg z silnikiem spalinowym o tłoku swobodnym i generatorem liniowym, przeprowadza przegląd ich konstrukcji i wybiera konstrukcję będącą przedmiotem przeprowadzonej pracy. Następnie przedstawiony został model matematyczny

Streszczenie

silnika spalinowego o tłoku swobodnym. W drugiej części tej sekcji przeprowadzony zostaje przegląd konstrukcji generatorów liniowych i wybrana zostaje docelowa konstrukcja generatora. Na koniec opisany zostaje model matematyczny generatora liniowego z magnesami trwałymi. W kolejnych sekcjach autor przedstawia modele matematyczne innych kluczowych komponentów układu napędowego, takich jak bateria, trakcyjny silnik elektryczny, przekształtnik energoelektroniczny oraz układ przeniesienia napędu z siłami oporów ruchu pojazdu.

Rozdział trzeci koncentruje się na konstrukcji stanowiska do badań generatora liniowego wykonanego przez autora. Przeprowadzony zostaje szczegółowy opis komponentów stanowiska badawczego. Kolejna sekcja przedstawia model matematyczny stanowiska badawczego z generatorem liniowym. Model matematyczny stanowiska jest sformułowany z wykorzystaniem równań Lagrange'a. Model ten jest bazą dla symulacji stanowiska badawczego, która była niezbędna do przeprowadzenia badań generatora liniowego opisanych w kolejnych rozdziałach.

Rozdział czwarty skupiony jest na zweryfikowaniu modelu symulacyjnego generatora liniowego z wykorzystaniem testów stanowiskowych. Przedstawiono model symulacyjny zespołu urządzenia rozszerzającego zasięg z silnikiem spalinowym o tłoku swobodnym i generatorem liniowym oraz zaprezentowano strukturę modelu. Bazuje on na modelach matematycznych opisanych w rozdziale drugim. Kluczowe zadanie polegało na pokazaniu jak obliczone wartości parametrów i przebiegi parametrów pracy modelu generatora mają się do parametrów rzeczywistego generatora. Mając model symulacyjny laboratoryjnego generatora liniowego, który zawarty został w symulacji stanowiska badawczego, przedstawiono różnice i podobieństwa w wartościach parametrów i w przebiegach parametrów pomiędzy wynikami symulacji stanowiska a wynikami pomiarów na rzeczywistym stanowisku laboratoryjnym. Po odpowiednim zweryfikowaniu modelu symulacyjnego generatora liniowego, model ten mógł być zaimplementowany do modelu symulacyjnego samochodu elektrycznego o rozszerzonym zasięgu jazdy, w celu symulacji użycia generatora liniowego w układzie napędowym pojazdu.

Tematem rozdziału piątego są testy generatora liniowego i urządzenia rozszerzającego zasięg pojazdu elektrycznego. Najpierw przedstawiono zbiory wyników testów stanowiskowych generatora liniowego. Nacisk położono na sterowanie wartościami napięcia i prądu wyjściowego generatora liniowego z magnesami trwałymi podczas ładowania baterii litowo-jonowej. Następnie przedstawiono uzyskane zbiory wyników symulacji pracy urządzenia rozszerzającego zasięg w formie wybranych przebiegów jego parametrów.

Streszczenie

Ta część zawiera opis procesu startu urządzenia rozszerzającego zasięg realizowanego poprzez pracę generatora liniowego w trybie silnika elektrycznego oraz sterowania startem, opis parametrów ruchu oscylacyjnego suwadła urządzenia i stabilności wartości tych parametrów oraz opis sterowania ruchem oscylującym poprzez zmianę napięcia i prądu generatora. Na koniec przeprowadzono porównanie wyników symulacji sprawności pomiędzy urządzeniem rozszerzającym zasięg z silnikiem o tłoku swobodnym połączonym z generatorem liniowym a powszechnie stosowanym urządzeniem z rzędowym silnikiem spalinowym połączonym z generatorem wyposażonym w wirnik. Porównano sprawności generatora liniowego z magnesami trwałymi i generatora z wirnikiem z magnesami trwałymi. Porównano także sprawność silnika spalinowego z tłokiem swobodnym i rzędowego silnika spalinowego. Zaproponowana metoda sterowania generatorem liniowym zapewnia możliwość pracy urządzenia rozszerzającego zasięg z wyższą sprawnością niż powszechnie stosowane urządzenie.

Rozdział szósty jest poświęcony symulacjom samochodu elektrycznego o rozszerzonym zasięgu jazdy. Po krótkim opisie symulowanego pojazdu przedyskutowane zostają tryby pracy urządzenia rozszerzającego zasięg i strategię jego sterowania wraz z przedstawieniem ograniczeń. Nacisk jest położony na sterowanie okresami pracy urządzenia rozszerzającego zasięg w czasie cyklu jazdy w sposób, który ograniczy pobór prądu baterii i w konsekwencji ograniczy straty w układzie napędowym. Zaproponowano nową strategię sterowania, która daje priorytet docelowej wartości zasięgu jazdy i reguluje wartość graniczną prądu baterii tak, że zapewnia pracę urządzenia rozszerzającego zasięg w okresach dużego obciążenia prądowego baterii, przy czym czyni to bez względu na cykl jazdy w jakim porusza się pojazd. Następnie przedstawiono wyniki dla elektrycznego trybu jazdy, które potwierdzają niskie zużycie energii w porównaniu do istniejących samochodów elektrycznych. Symulacje przeprowadzono zarówno w światowym zharmonizowanym cyklu jazdy dla lekkich pojazdów oraz w nowym europejskim cyklu jazdy. Pojazd spełnia zwiększone wymagania cyklu zharmonizowanego głównie dzięki zastosowaniu przekładni bezstopniowej w układzie przeniesienia napędu. W kolejnej części przedstawiono wyniki symulacji w trybie rozszerzania zasięgu jazdy. Strategię sterowania urządzeniem rozszerzającym zasięg sprawdzono pod kątem zużycia energii i zasięgu jazdy. Strategia docelowej wartości zasięgu jazdy została sformalizowana i wiąże ze sobą chwilową wartość stopnia naładowania baterii oraz chwilową graniczną wartość prądu obciążenia baterii w celu wyzwalania procesu startu urządzenia rozszerzającego zasięg. Zaproponowana strategia, która ogranicza prąd obciążenia baterii litowo-jonowej, okazała się być lepszą niż strategia ograniczająca moc obciążenia baterii

Streszczenie

oraz strategia z permanentnie włączonym urządzeniem, co potwierdzone jest niższymi wartościami zużycia paliwa. Autor nie znalazł żadnego przekonującego przypadku, w którym zaproponowana strategia docelowego zasięgu jazdy z ograniczeniem prądu baterii sprawowałaby się gorzej niż inne zbadane strategie. Wyniki symulacji pojazdu w trybie rozszerzania zasięgu jazdy porównano do wyników w trybie elektrycznym, trybie rozszerzania zasięgu z urządzeniem wyposażonym w rzędowy silnik spalinowy oraz do rezultatów osiągniętych przez pojazd z napędem hybrydowym. Następnie pojazd wyposażony w urządzenie rozszerzające zasięg jazdy z silnikiem spalinowym o tłoku swobodnym i generatorem liniowym porównano do współcześnie istniejących pojazdów o rozszerzonym zasięgu jazdy i pojazdu hybrydowego typu plug-in. Porównania dokonano dla tych samych zasięgów jazdy. Porównano zużycie paliwa, zużycie energii elektrycznej i łączne zużycie energii, a także koszt użytkowania i emisję CO₂. Porównania wypadły korzystnie dla pojazdu o rozszerzonym zasięgu jazdy z silnikiem spalinowym o tłoku swobodnym i generatorem liniowym. Na końcu określono wyniki pojazdu w innych, ogólnych aspektach, takich jak przyspieszenie pojazdu, i zaznaczono korzystny wpływ urządzenia rozszerzającego zasięg oraz przekładni bezstopniowej na przyspieszenie, maksymalne wartości stałej prędkości jazdy i wartości zasięgu jazdy przy stałych prędkościach. Wspomniano także o możliwości naładowania baterii bez dostępu do sieci elektrycznej.

Ostatni rozdział podsumowuje rozprawę i zawiera wniosek, że główny cel pracy został osiągnięty poprzez realizację celów szczegółowych. Faktycznie możliwe jest rozszerzenie zasięgu jazdy samochodu elektrycznego poprzez zastosowanie urządzenia rozszerzającego zasięg z silnikiem spalinowym o tłoku swobodnym i generatorem liniowym oraz możliwym jest ograniczenie zużycia energii poprzez sterowanie zespołem urządzenia rozszerzającego zasięg ograniczające prąd obciążenia baterii. W badanych aspektach opisany w pracy samochód elektryczny o rozszerzonym zasięgu jazdy ma lepsze osiągi niż współczesne samochody elektryczne o rozszerzonym zasięgu jazdy i samochody hybrydowe typu plug-in. Ponadto koszt zaprezentowanego rozwiązania urządzenia rozszerzającego zasięg samochodu elektrycznego jest znacząco niższy niż dodatkowy koszt związany ze zwiększeniem wielkości baterii samochodu elektrycznego, dla którego chcemy uzyskać ten sam zasięg jazdy.