

Pogonski motori i upravljački sustavi kod električnih vozila

Krznarić, Marko

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:517737>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-28**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository](#)



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**POGONSKI MOTORI I UPRAVLJAČKI SUSTAVI KOD
ELEKTRIČNIH VOZILA**

**DRIVE MOTORS AND CONTROL SYSTEMS FOR
ELECTRIC VEHICLES**

Mentor: Tomislav Kučinić, mag. ing. traff.

Student: Marko Krznarić
JMBAG: 0135257691

Zagreb, lipanj, 2024.

Zagreb, 20. ožujka 2024.

Zavod: **Zavod za cestovni promet**
Predmet: **Cestovna prijevozna sredstva**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 7474

Pristupnik: **Marko Krznarić (0135257691)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Pogonski motori i upravljački sustavi kod električnih vozila**

Opis zadatka:

U radu je potrebno prikazati dosadašnji razvoj električnih vozila i njihovih pogonskih jedinica. Objasniti trenutno primjenjive baterije u korelaciji s upravljačkim sustavom. Analizirati eksploatacijske čimbenike i potrebu za održavanjem električnih vozila.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

Tomislav Kučinić, mag. ing. traff.

SAŽETAK

Pogonski motori i upravljački uređaji ključni su dijelovi električnih vozila. Pogonski motori pretvaraju električnu energiju iz baterija u mehaničku energiju koja pokreće vozilo. Najčešće se koriste trofazni asinkroni motori ili motori s trajnim magnetima, koji su učinkoviti i omogućuju visoke performanse uz malu težinu. S druge strane, upravljački uređaji (ili kontroleri) reguliraju rad motora upravljajući naponom i strujom kako bi prilagodili brzinu i okretni moment prema zahtjevima vozača. Također upravljaju rekuperacijom energije, što omogućuje vraćanje energije u bateriju tijekom kočenja. Upravljački uređaji optimiziraju rad motora, poboljšavajući ukupnu učinkovitost i performanse vozila. Ova sinergija motora i upravljačkih uređaja omogućuje električnim vozilima visoku energetska učinkovitost, brzi odaziv na upute vozača i ugodnu vožnju.

Ključne riječi: pogonski motori, upravljački uređaji, električna vozila

SUMMARY

Drive motors and control devices are key components of electric vehicles. Drive motors convert electrical energy from batteries into mechanical energy that powers the vehicle. The most commonly used are three-phase asynchronous motors or motors with permanent magnets, which are efficient and provide high performance with low weight. On the other hand, control devices (or controllers) regulate the motor's operation by managing voltage and current to adjust speed and torque according to the driver's demands. They also manage energy recuperation, allowing energy to be returned to the battery during braking. Control devices optimize motor performance, enhancing the overall efficiency and performance of the vehicle. This synergy between motors and control devices enables electric vehicles to achieve high energy efficiency, quick response to driver commands, and a smooth driving experience.

Keywords: drive motors, control devices, electric vehicles

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. RAZVOJ ELEKTRIČNIH VOZILA.....	3
2.1. Povijesni razvoj električnih automobila.....	3
2.2. Pojam električnog automobila.....	7
2.3. Vrste i modeli električnih automobila.....	8
2.4. Performanse električnih vozila.....	21
3. POGON I SUSTAV ELEKTRIČNIH VOZILA.....	22
3.1 Pogon kod električnih vozila.....	22
3.2. Električni motor.....	22
4. BATERIJSKI SUSTAVI KOD ELEKTRIČNIH VOZILA.....	31
4.1. Tipovi baterija.....	31
4.2. Punjenje baterije.....	37
4.2.1. Infrastruktura.....	37
4.2.2. Punjači za punjenje.....	41
5. UPRAVLJAČKI SUSTAVI KOD ELEKTRIČNIH VOZILA.....	44
5.1. Kontrola snage.....	46
5.2. Senzori.....	47
5.3. Upravljanje baterijom.....	48
6. EKSPLOATACIJA I ODRŽAVANJE ELEKTRIČNIH VOZILA.....	49
6.1. Eksploatacija električnih vozila.....	49
6.2. Vrste održavanja za različite komponente električnih vozila.....	50
6.3. Izazovi u održavanju električnih vozila.....	50
6.4. Prednosti održavanja električnih vozila.....	51
7. ZAKLJUČAK.....	53
LITERATURA.....	55
POPIS SLIKA.....	56
POPIS TABLICA.....	58

1. UVOD

Napredak u pogonskim motorima i sustavima upravljanja ključni su u evoluciji električnih vozila. Visokoučinkoviti motori kao što su sinkroni motori s trajnim magnetima, indukcijski motori i istosmjerni motori bez četkica, zajedno sa sofisticiranim kontrolnim algoritmima kao što je kontrola orijentirana na polje i izravna kontrola momenta, značajno poboljšavaju performanse, učinkovitost i pouzdanost električnih vozila. Integracija pretvarača koji koriste napredne poluvodiče, sustave regenerativnog kočenja za povrat energije i mogućnost bežičnog ažuriranja softvera dodatno doprinose optimizaciji ovih sustava.

Kako se te tehnologije nastavljaju razvijati, one će igrati ključnu ulogu u tome da električna vozila budu učinkovitija, pouzdanija i privlačnija potrošačima. Ovaj je napredak neophodan za široku primjenu električnih vozila i postizanje značajnih smanjenja globalnih emisija ugljika, utirući put održivijoj budućnosti u prijevozu. Pogonski motori i sustavi upravljanja u električnim vozilima (EV) ključni su u oblikovanju performansi, učinkovitosti i cjelokupnog doživljaja vožnje ovih modernih čuda. Dok se svijet postupno kreće prema održivom prijevozu, razumijevanje zamršenosti ovih komponenti ključno je za razumijevanje načina na koji električna vozila funkcioniraju i tehnološkog napretka koji ih gura naprijed. Pogonski motori u električnim vozilima dolaze u različitim vrstama, a svaki ima svoje različite prednosti i izazove. Cilj ovog završnog rada je prikaz i pojašnjenje pogonskih motora i upravljačkih sustava kod električnih vozila. Svrha i vrste pogona i upravljačkog sustava kod električnih vozila su prikazani detaljno kroz rad potkrijepljeni opisima i slikama koje dodatno opisuju tematiku. Naslov završnog rada je: Pogonski motori i upravljački sustavi kod električnih vozila. Rad je podijeljen u 7 poglavlja:

1. Uvod
2. Razvoj električnih vozila
3. Pogon i sustav električnih vozila
4. Baterijski sustavi kod električnih vozila
5. Upravljački sustavi kod električnih vozila
6. Eksploatacija i održavanje električnih vozila
7. Zaključak

U drugom poglavlju rada opisani su ključni događaji i osobe koje su oblikovale povijesni razvoj električnih vozila. Uz opis razvoja električnih vozila, opisan je pojam električnog vozila, prikazane su vrste i modeli električnih vozila koje nalazimo na tržištu i opisane su performanse električnih vozila.

Treće poglavlje prikazuje pogone kod električnih vozila i opisuje način rada elektromotora.

U četvrtom poglavlju prikazane su baterije električnih vozila, opisane su prednosti i nedostaci svake vrste baterije, te koje su najzastupljenije. Uz to, u četvrtom poglavlju se detaljnije opisuje punjenje električnih vozila.

U petom poglavlju je opisan upravljački sustav kod električnih vozila. Također je opisan način upravljanja snagom i baterijom.

U šestom poglavlju je opisana eksploatacija električnih vozila, vrste održavanja te izazovi i prednosti održavanja električnih vozila.

2. RAZVOJ ELEKTRIČNIH VOZILA

2.1. Povijesni razvoj električnih automobila

Malo ljudi zna da je prvi električni automobil napravljen davne 1830-ih. To je zapravo bila kočija koju je dizajnirao škotski poduzetnik Robert Anderson. Prvi komercijalni električni automobili proizvedeni su 1897. godine, a prva serija tih automobila korištena je za taksi službe u New Yorku. Zanimljivo je primijetiti da je barijeru od 100 km / h prešao električni automobil. Automobil je izgledao poput rakete i postizao je brzinu od 105,88 km / h [1].

Na početku povijesti automobila postojala su dva glavna konkurentna pristupa vozilima s motorom: jedan s motorom s unutarnjim izgaranjem (ICE) i drugi s električnim pogonom.



Slika 1. Prikaz prvog električnog automobila

Izvor: [1].

Zaključno, BEV ne predstavlja nedavnu „visoku tehnologiju“, već razmjerno jednostavan tehnički koncept, koji je u međuvremenu dostupan kao serijski proizvod više od 110 godina [1].

Sukladno tome, iskusno osoblje može lako primijeniti e-pretvorbu, koja predstavlja pretvorbu novog ili rabljenog ICEV u električne automobile. Suprotno tome, moderna tehnologija litij-ionskih baterija, preduvjet za svakodnevnu praktičnost većine BEV-a, povezana je s najnovijim tehničkim poboljšanjima. Segmenti električnih automobila U 1990-ima električni su se automobili opet nudili kao serijski proizvodi u Kaliforniji zbog Zakona o nultim emisijama.

Nakon suspenzije Zakona o nultoj emisiji, kalifornijska vlada preferirala je automobile s djelomičnom nultom emisijom, što je ponukalo proizvođača automobila Toyota da razvije hibridno vozilo, kombinirajući električni motor i motor s unutrašnjim izgaranjem. Na ovaj se način drastično poboljšala energetska učinkovitost. Također, ideja o električnom automobilu proširila se svijetom paralelno s uspjehom Toyote Prius. Budući da potpuno hibridno vozilo može voziti električno, jednostavno mu trebaju utikač i veća baterija da bi se mogao puniti poput BEV-a. Na taj je način stvorena kategorija plug-in hibridnih vozila (PHEV).

U posljednjih 10 godina razvijeni su različiti koncepti pogonskog sklopa zasnovani na elektromotorima koji će uskoro ući u masovnu proizvodnju. Potpuno električni pogon i hibridni električni pogon moraju se razlikovati. Za razliku od hibridnog električnog pogona, u potpuno električnom automobilu električni je motor jedini pretvarač energije. Prema UN-ovoj definiciji iz 2003. godine, hibridni električni pogon sastoji se od najmanje dva različita pretvarača energije (npr. ICE i elektromotor) koji doprinose pogonskom sustavu i koriste dva različita skladišta energije (npr. gorivo i baterija) [1].

Uz to, gorivna ćelija može generirati električnu energiju u električnom automobilu. Ova tehnologija istražuje se desetljećima, a proizvodnja malih serija vozila s gorivnim ćelijama (FCV) već je započeta ili joj proizvođači obećavaju puštanje u promet u sljedećih nekoliko godina. FCV je električno vozilo s drugačijim skladištem energije u usporedbi s električnim vozilima na akumulator. Opremljen je međuspremnikom, koji je, međutim, mnogo manji u odnosu na BEV [2].

Sljedećih će godina električni automobili uglavnom biti male ili srednje veličine iz dva glavna razloga, prvo, težina ograničava opseg rada, što je faktor prikladnosti za svakodnevnu upotrebu.

Drugo, troškovi baterija uspostavljaju još jedan glavni regulatorni čimbenik: veći automobili trebaju veće i puno skuplje baterije. Suprotno tome, PHEV i FCV sve su korisniji u segmentu srednjih i velikih automobila jer je u bateriji potreban samo mali dio energije. Gustoća energije komprimiranog vodika bliska je fosilnim gorivima, vrlo za razliku od gustoće energije dostupnih baterija.

Prema Larminieu i Lowryju, glavne komponente BEV-a mogu se podijeliti na električnu bateriju, elektromotor, i regulator motora. Tehnička struktura BEV-a jednostavnija je u usporedbi s ICEV-om, jer nije potreban sustav za pokretanje, ispuh ili podmazivanje, uglavnom bez mjenjača, a ponekad nije potreban čak ni sustav za hlađenje.

Baterija se puni električnom energijom ili kad je električnu mrežu priključena putem uređaja za punjenje ili tijekom kočenja rekuperacijom. Punjač je ključna komponenta jer se njegova učinkovitost danas može razlikovati između 60% i 97%, trošeći 3% do 40% energije mreže kao toplinu. Upravljač motora opskrbljuje električni motor promjenljivom snagom ovisno o situaciji opterećenja. Elektromotor pretvara električnu energiju u mehaničku i, kada se koristi unutar pogonskog sklopa, u zakretni moment. U dosad proizvedenoj seriji BEV korišteni su

središnji motori. Međutim, mogući su i mogli bi biti i električni motori s glavčinom dostupno za masovnu proizvodnju [2].

Moderni, visoko učinkoviti električni motori temelje se na trajnim magnetskim materijalima od kojih su najjače legure koje sadrže neodimij i samarij od rijetkih zemaljskih elemenata (REE). Uobičajene legure su i magneti NdFeB i SmCo. To je izazvalo određenu zabrinutost jer su REE rijetki, a njihov izvoz kontrolira nekoliko zemalja, uglavnom Kina.

Postoji nekoliko vrsta elektromotora, koji se obično dijele na izmjeničnu (izmjeničnu) i istosmjernu (istosmjernu) vrstu. Postoje i izmjenični i istosmjerni električni motori izrađeni sa i bez trajnih magneta, prema individualnoj upotrebi. U električnim su automobilima vučni motori bez magneta sasvim uobičajeni jer su jeftiniji (Loehr C, osobna komunikacija). Podvrsta AC motora su indukcijski motori koji ne koriste REE. Tesla Roadster opremljen je asinkronim motorom bez REE, kao što će biti i budući model Tesla S i Toyota RAV4EV [2].

Početak 20. stoljeća poboljšao se koncept baterija, što je omogućilo širu uporabu električnih automobila, tako da je 1920-ih. zbog smanjene buke, vibracija i neugodnih mirisa u usporedbi s konvencionalnim vozilima činili su veći udio u ukupnom broju automobila u Sjedinjenim Državama. Tada su imali još jednu značajnu prednost, a to je cijena. Cijena nafte i naftnih derivata bila je prilično visoka, pa su električni automobili bili prava senzacija u automobilskoj industriji.

Kasnije, sa sve većim razvojem motora s unutarnjim izgaranjem, došlo je do pada u razvoju i prodaji električnih automobila, koji su utrku s benzinom izgubili 1913. godine, kada je Cadillac u benzinske motore umjesto radilice instalirao električno paljenje. Masovna proizvodnja benzinskih automobila smanjila im je cijenu, a do 1930. električni su automobili potpuno potisnuti s tržišta.



Slika 2. Prikaz električnog automobila u Londonu

Izvor: [3].

Razvoj električnih automobila seže daleko unatrag u povijest, a evo nekoliko ključnih događaja i inovacija koje su oblikovale povijesni razvoj električnih vozila [1]:

1. Rani eksperimenti (19. stoljeće):

- 1832.: Robert Anderson, škotski izumitelj, konstruirao je prvi električni automobil s baterijom.
- 1880-ih: U SAD-u, Thomas Edison i drugi istraživači razvijali su rane verzije električnih automobila.
- 1899.: Bela Lugosi, kasnije poznat kao filmski glumac, vozio je električni automobil u Mađarskoj.

2. Prvi boom električnih vozila (1900-1920):

- 1900-1910.: Električni automobili bili su popularni u SAD-u i Europi zbog svoje jednostavnosti upravljanja i čistog pogona.
- 1912.: Električni automobili činili su oko jedne trećine svih vozila u New Yorku.
- 1914.: Ford Model T postaje masovno proizvedeno automobilsko vozilo s unutarnjim izgaranjem, što je utjecalo na pad popularnosti električnih automobila.

3. Pad popularnosti (1920-1990):

- Nakon 1920-ih, unutarnje izgaranje postaje dominantan oblik pogona u automobilskoj industriji, što je dovelo do smanjenog interesa za električne automobile.

- 1970-ih i 1980-ih: Interes za električne automobile ponovno raste zbog brige o okolišu i potrebe za alternativnim pogonskim sustavima.
- 4. Revival električnih automobila (1990-e do danas):
 - 1990-e: Pojavljuju se moderni električni automobili poput GM EV1, Toyota RAV4 EV i Honda EV Plus.
 - 2008.: Tesla Motors predstavlja Model S, električni automobil s visokim performansama i dugim dosegom, što je potaknulo interes za električnim vozilima.
 - 2010-e do danas: Rapidan napredak u tehnologiji baterija, razvoj infrastrukture za punjenje i poticaji za električna vozila doprinijeli su rastućem broju električnih automobila na tržištu.

Danas svjedočimo sve većem broju električnih automobila na cestama diljem svijeta, a tehnološki napredak i ekološka osviještenost nastavljaju poticati inovacije u području električne mobilnosti.

2.2. Pojam električnog automobila

Električni automobil je svako vozilo koje koristi električnu energiju kao izvor energije za pogon. U usporedbi s konvencionalnim automobilima, njihove glavne razlike su [1]:

- koristi električni motor umjesto motora s unutarnjim izgaranjem,
- pohranjuje energiju u baterije, a ne u spremnike za gorivo,
- energiju dobivaju preko utikača i kabela, a ne iz goriva

Te razlike dovode do manjih gubitaka energije kod električnih automobila, odnosno većeg stupnja iskorištenosti, s boljim voznim svojstvima, a motori tih automobila ne stvaraju ispušne plinove tijekom uporabe, niti veću buku i vibracije.

Električni automobil je automobil koji se pokreće jednim ili više elektromotora, koristeći energiju pohranjenu u punjivim baterijama. U usporedbi s vozilima s motorom s unutarnjim izgaranjem (ICE), električni automobili su tiši, nemaju emisiju ispušnih plinova i sve su niže [3].

Električni automobil je vozilo koje koristi električnu energiju, pohranjenu u baterijama ili drugim električnim izvorima energije, za pokretanje elektromotora koji pokreće vozilo. Ovdje su neki ključni pojmovi i značajke električnih automobila:

Električni automobili su vozila koja se napajaju električnom energijom umjesto unutarnjim izgaranjem, poput benzina ili dizela. Oni koriste elektromotore kako bi se kretali, a električnu energiju pohranjuju u baterijama ili drugim sustavima za pohranu energije.

Značaj električnih automobila se ogledava kroz [2]:

- a) Ekološka održivost: Električni automobili smanjuju emisiju štetnih plinova i čestica u usporedbi s vozilima s unutarnjim izgaranjem, što ih čini ekološki prihvatljivijima.
- b) Smanjenje ovisnosti o fosilnim gorivima: Korištenjem električne energije kao pogonskog izvora, smanjuje se potreba za fosilnim gorivima, što može doprinijeti energetskej neovisnosti i smanjenju ovisnosti o uvozu goriva.
- c) Ekonomski faktori: Električni automobili mogu imati niže troškove održavanja i vožnje u odnosu na vozila s unutarnjim izgaranjem, posebno u zemljama s poticajnim programima za električnu mobilnost.
- d) Tehnološki napredak: Razvoj električnih automobila potiče inovacije u tehnologiji baterija, elektromotora, autonomne vožnje i pametnih sustava za upravljanje vozilima.
- e) Ublažavanje klimatskih promjena: Prijelaz na električne automobile može doprinijeti smanjenju emisija CO₂ i drugih stakleničkih plinova, što je važno za borbu protiv klimatskih promjena.

Uz navedene značajke, električni automobili imaju potencijal da postanu ključna komponenta održive mobilnosti u budućnosti, pridonoseći smanjenju onečišćenja zraka, zaštiti okoliša i promicanju energetske učinkovitosti u transportnom sektoru.

2.3. Vrste i modeli električnih automobila

Postoji nekoliko vrsta električnih vozila. Na slici 3, 4, 5 i 6 prikazani su neki uobičajeni tipovi.



Slika 3. Hibridno vozilo - Toyota Prius

Izvor: [4]



Slika 4. Plug-in hibridno vozilo - VW Golf GTE

Izvor: [5]



Slika 5. Čisto električno vozilo - Nissan Leaf

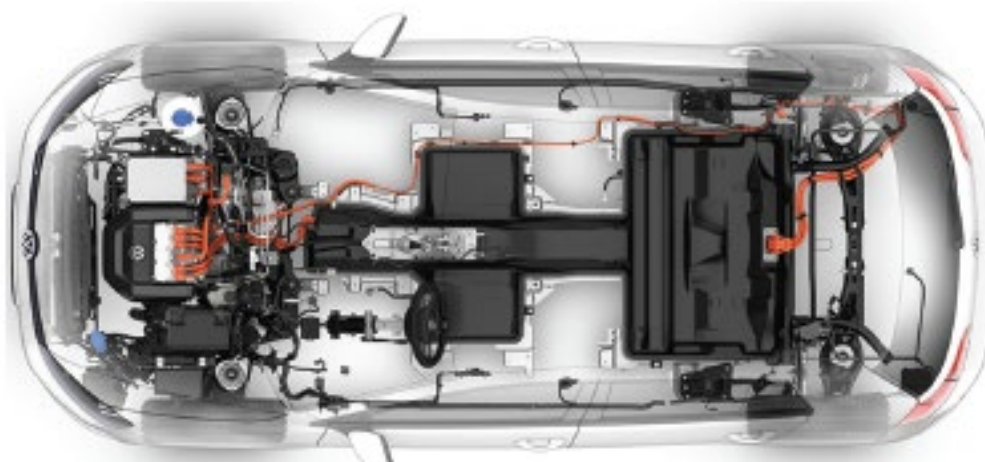
Izvor: [6]



Slika 6. Električni motocikl

Izvor: [7]

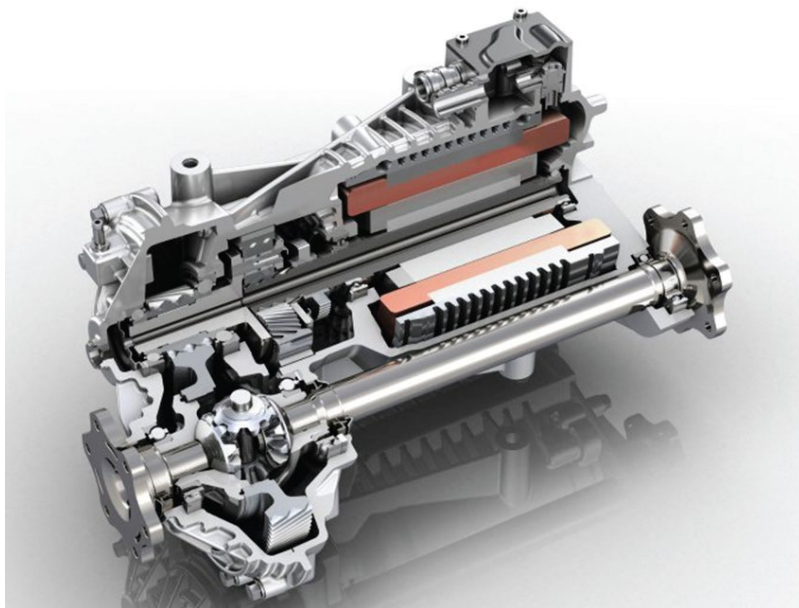
Klasično električno vozilo (pure-EV) koristi jedan motor koji pokreće prednje ili stražnje kotače. Većina EV-ova ovog tipa nema mjenjač s prienosnim omjerima jer motor osigurava odgovarajući okretni moment kroz cijeli raspon brzina vozila. Na slici 7 prikazan je VW Golf-e koji je konstruiran tako da ima električni motor s prednje strane, a baterija se nalazi na stražnjoj strani automobila zbog čega ima dobar omjer težine na prednjoj i stražnjoj osovini. [8]



Slika 7. Prikaz VW Golf-e s motorom naprijed i baterijom iza

Izvor: [8]

Slika 8 prikazuje presjek pogonskog motora i osnovni pogonski sklop koji se sastoji od seta zupčanika s fiksnim omjerom, diferencijala i pogonske osovine.



Slika 8. Presjek motora

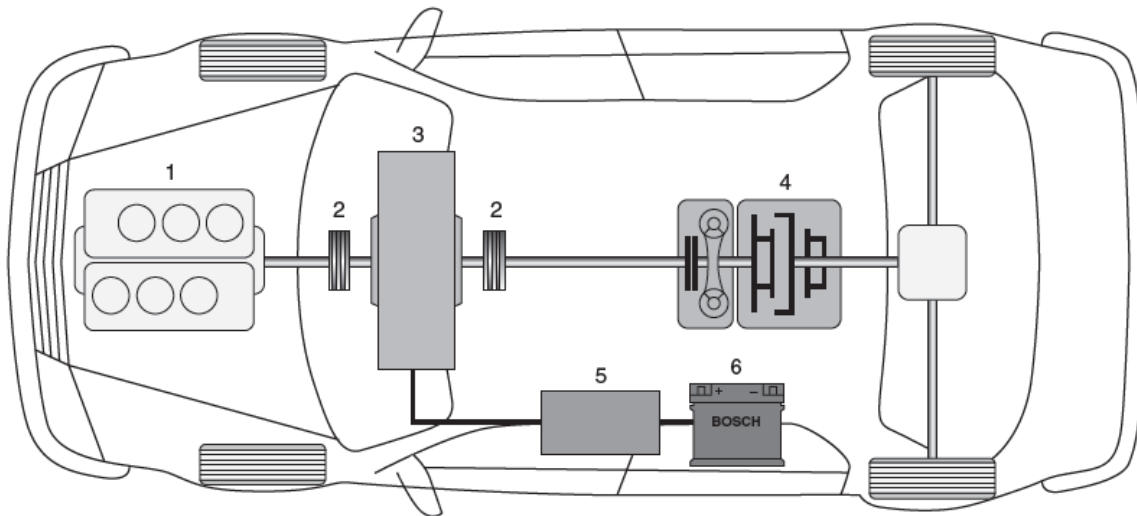
Izvor: [8]

Hibridna električna vozila koriste najmanje jedan električni pogonski motor i motor s unutarnjim izgaranjem (ICE). Postoji nekoliko načina na koje se to može kombinirati. Tri su glavna cilja kod hibridnih električnih vozila:

- Smanjenje potrošnje goriva
- Smanjenje štetnih plinova
- Povećanje okretnog momenta i snage [8]

Slika 9 prikazuje glavne elemente hibridnog električnog vozila.

- 1 – motor s unutarnjim izgaranjem
- 2 – kvačilo
- 3 – elektromotor
- 4 – transmisija
- 5 – pretvarač (inverter)
- 6 – baterija



Slika 9. Osnovni elementi hibridnog električnog vozila

Izvor: [8]

Kod svih vrsta električnih vozila, tijekom kočenja motor postaje generator, a energija iz kočnica se pretvara u električnu energiju i pohranjuje tu energiju u bateriju. To se zove regenerativno kočenje. [8]

Hibridi se mogu kvalificirati na sljedeći način:

- Blagi hibridi
- Jaki hibridi
- Plug-in hibridi

Blagi hibrid pruža pomoć pri ubrzavanju, osobito pri niskim brzinama, ali čista električna vožnja nije moguća. Motor s unutarnjim izgaranjem uvijek radi. Jaki hibrid dodatno proširuje sve navedene funkcije i omogućuje gašenje motora na kraćim udaljenostima kako bi se omogućila samo električna vožnja. Plug-in hibrid (prikazan je na slici 10) je jaki hibrid, ali s većom visokonaponskom baterijom koja se može puniti iz odgovarajućeg izvora električne energije. [8]



Slika 10. BMW Plug-in hibrid

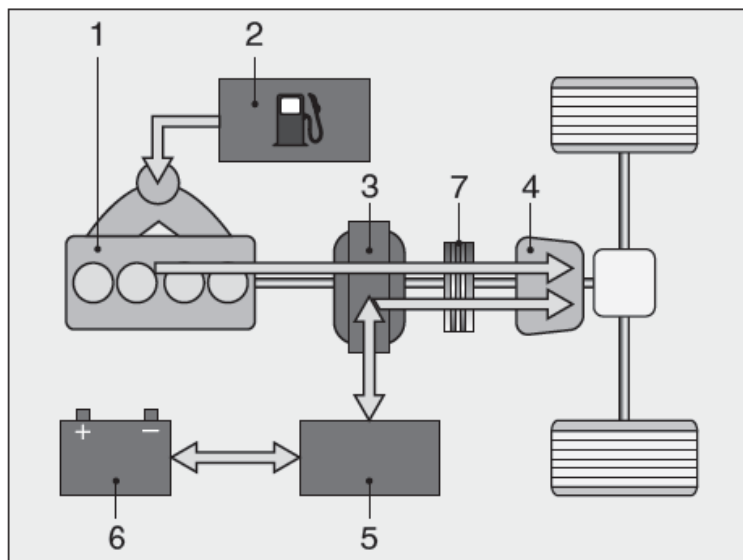
Izvor: [9]

Hibridni pogonski sustav može biti serijski, paralelni ili kombinirani sustav. U serijskom sustavu motor pokreće generator koji zatim napaja elektromotor, a elektromotor pokreće vozilo. U paralelnom sustavu, motor s unutarnjim izgaranjem i elektromotor se mogu koristiti zajedno za pogon vozila. Većina hibrida koji se trenutno koriste sadrži paralelni sustav. Kombinirani sustav ima svoje prednosti, ali je zato složeniji. [8]

Hibridni pogonski sustav podijelili smo u nekoliko kategorija:

- Paralelni hibrid s jednim kvačilom
- Paralelni hibrid s dva kvačila
- Paralelni hibrid s mjenjačem s dvostrukim kvačilom
- Paralelni hibrid s podijeljenom osovinom
- Serijski hibrid
- Serijsko-paralelni hibrid
- Hibrid s podjelom snage

Paralelni hibrid s jednim kvačilom prikazan je na slici 11. U ovom sustavu se motor s unutarnjim izgaranjem i elektromotor mogu koristiti neovisno jedan o drugom, ali tokovi snage teku paralelno i mogu se kombinirati kako bi se postigla ukupna pogonska snaga. Motor s unutarnjim izgaranjem radi cijelo vrijeme dok je vozilo u pokretu, pri istoj brzini kao i elektromotor glavna prednost ovog sustava je to što se može zadržati konvencionalni pogonski sklop. Čista električna vožnja nije moguća.

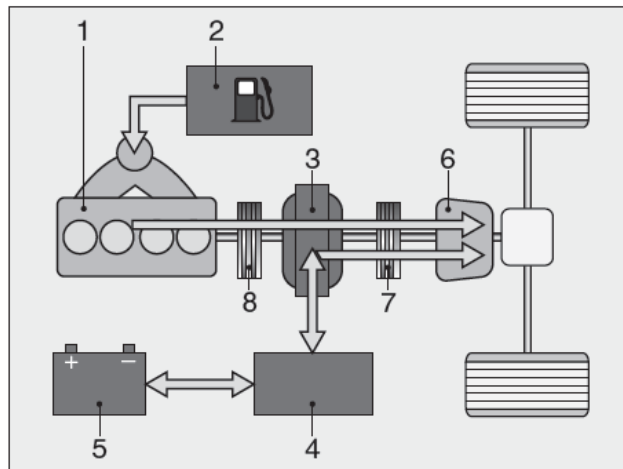


Slika 11. Paralelni hibrid s jednim kvačilom

Izvor: [8]

- 1 – motor s unutarnjim izgaranjem
- 2 – spremnik za gorivo
- 3 – elektromotor
- 4 – transmisija
- 5 – pretvarač
- 6 – baterija
- 7 – kvačilo

Paralelni hibrid s dva kvačila je jaki hibrid. Dodatno kvačilo omogućuje odvajanje od motora. To znači da je moguća vožnja samo na električni pogon. Elektronički sustavi kontrole koriste se za određivanje kada će se kvačila aktivirati, na primjer, motor s unutarnjim izgaranjem se može isključiti tijekom kočenja kako bi se povećala regeneracija. Također omogućuje vozilu prelazak u 'plutajući' način. Paralelni hibrid s dva kvačila prikazan je na slici 12.

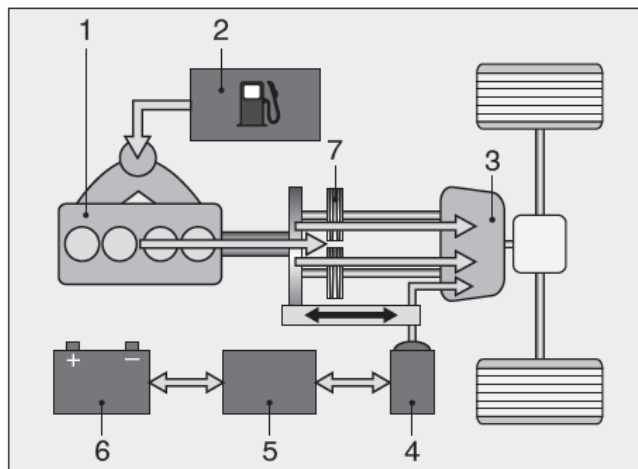


Slika 12. Paralelni hibrid s dva kvačila

Izvor: [8]

- 1 – motor s unutarnjim izgaranjem
- 2 – spremnik za gorivo
- 3 – elektromotor
- 4 – pretvarač
- 5 – baterija
- 6 – transmisija
- 7 – kvačilo
- 8 – drugo kvačilo

Dodavanje dodatnog kvačila povećava duljinu mjenjača, što može predstavljati problem, posebno kod automobila s prednjim pogonom. Međutim, ako se koristi mjenjač s dvostrukim kvačilom kako je prikazano na slici 13, taj se problem rješava. Motor je spojen na jedinicu mjenjača, umjesto na radilicu motora ili zamašnjak. Ovi mjenjači se također nazivaju DSG (direct shift gearbox) mjenjači. Čista električna vožnja moguća je otvaranjem odgovarajućeg kvačila u mjenjaču. [8]

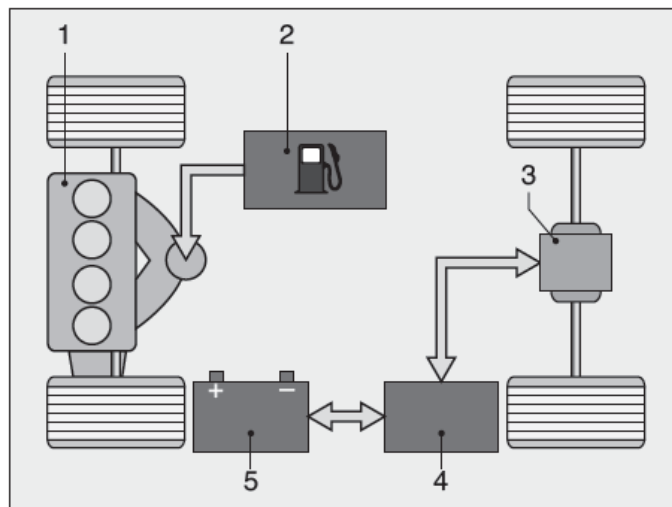


Slika 13. Paralelni hibrid s mjenjačem s dvostrukim kvačilom

Izvor: [8]

- 1 – motor s unutarnjim izgaranjem
- 2 – spremnik za gorivo
- 3 – transmisija
- 4 – elektromotor
- 5 – pretvarač
- 6 – baterija
- 7 – kvačila

Paralelni hibrid s podijeljenom osovinom također je paralelni pogon, iako su motor s unutarnjim izgaranjem i elektromotor potpuno odvojeni. Kao što je vidljivo iz naziva, svaki pokreće jednu osovinu. Za ovaj sustav potreban je poluautomatski mjenjač zajedno sa start/stop sustavom. Budući da se motor može potpuno odvojiti, ovaj je sustav pogodan za jake hibride. Paralelni hibrid s podijeljenom osovinom prikazan je na slici 14.

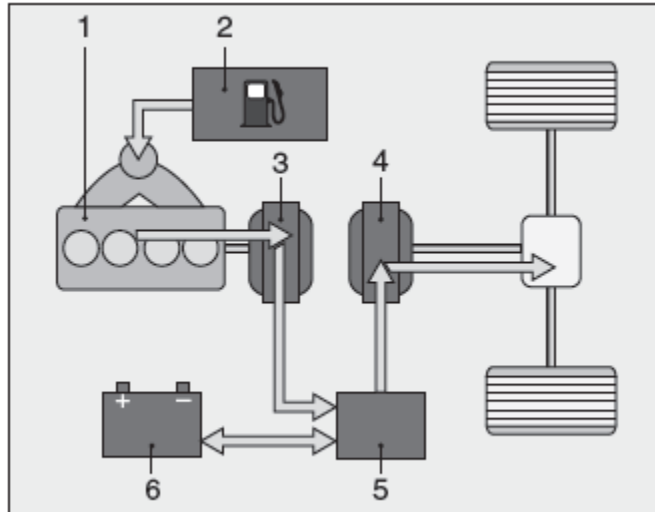


Slika 14. Paralelni hibrid s podijeljenom osovinom

Izvor: [8]

- 1 – motor s unutarnjim izgaranjem
- 2 – spremnik za gorivo
- 3 – elektromotor
- 4 – pretvarač
- 5 – baterija

Kod serijskog hibridnog sustava motor (ICE) pokreće generator (alternator) koji puni bateriju a baterija napaja elektromotor koji pokreće kotače. Konvencionalni mjenjač nije potreban što stvara dodatni prostor za veću bateriju. Motor može biti optimiziran da radi samo unutar određenog raspona okretaja. Glavni nedostatak je taj što se energija mora dvaput pretvoriti (mehanička u električnu, a zatim električna natrag u mehaničku), a ako se energija pohranjuje i u bateriji onda su potrebne tri pretvorbe. Rezultat je smanjenja učinkovitost. Serijski hibridni sustav prikazan je na slici 15.

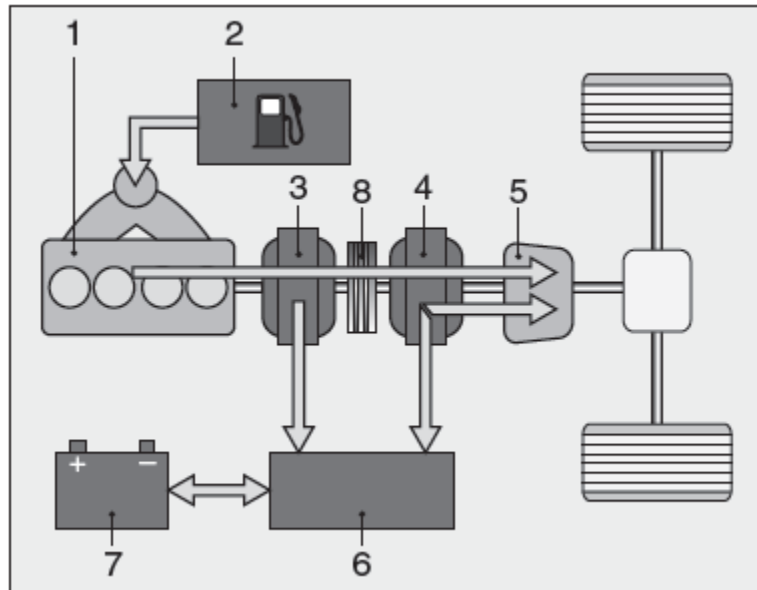


Slika 15. Serijski hibridni sustav

Izvor: [8]

- 1 – motor s unutarnjim izgaranjem
- 2 – spremnik za gorivo
- 3 – alternator/generator
- 4 – elektromotor
- 5 – pretvarač
- 6 – baterija

Serijsko-paralelni hibridni sustav je proširenje serijskog hibrida zbog dodatnog kvačila koje mehanički povezuje generator i motor. To uklanja dvostruku pretvorbu energije osim u određenim rasponima brzina. Međutim, prednost u pogledu zauzimanja prostora gubi se zbog mehaničke spojke. Potrebne su dvije električne jedinice u usporedbi s paralelnim hibridom. Ovaj sustav prikazan je na slici 16.

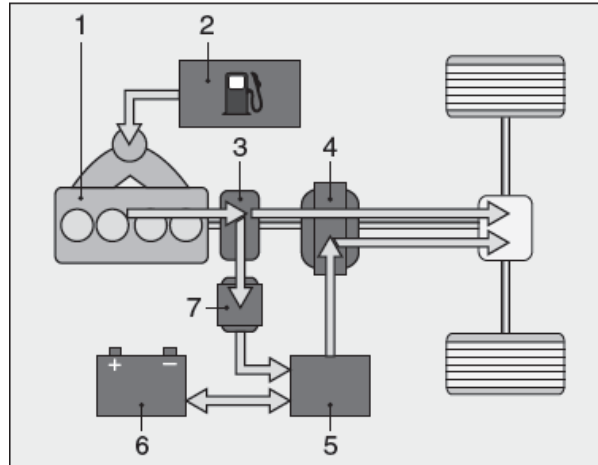


Slika 16. Serijsko paralelni sustav

Izvor: [8]

- 1 – motor s unutarnjim izgaranjem
- 2 – spremnik za gorivo
- 3 – alternator/generator
- 4 – elektromotor
- 5 – transmisija
- 6 – pretvarač
- 7 – baterija
- 8 – kvačilo

Hibridi s podjelom snage kombiniraju prednosti serijskih i paralelnih sustava, ali su mehanički složeniji. Dio snage motora (ICE) pretvara se u električnu energiju putem alternatora, a ostatak, zajedno s elektromotorom, pokreće kotače. Sustav koji je prikazan na slici 17, koristi planetarni zupčanik. Set zupčanika povezan je s motorom, alternatorom i elektromotorom. Brzina motora može se prilagoditi neovisno o brzini vozila. Ovaj sustav djeluje kao eCVT (electric constantly variable transmission). Kombinacija mehaničke i električne snage može se prenositi na kotače.



Slika 17. Hibrid s podjelom snage

Izvor: [8]

- 1 – motor s unutarnjim izgaranjem
- 2 – spremnik za gorivo
- 3 – planetarni zupčanik
- 4 – elektromotor
- 5 – pretvarač
- 6 – baterija
- 7 – generator [8]

2.4. Performanse električnih vozila

Vozne performanse vozila obično se procjenjuju vremenom ubrzanja, maksimalnom brzinom i prohodnošću. U dizajnu pogonskog sklopa EV, odgovarajuća ocjena snage motora i parametri prijenosa primarni su čimbenici kako bi se udovoljilo specifikacijama performansi.

Osnovne performanse vozila uključuju maksimalnu krstareću brzinu, pouzdanost i ubrzanje. Maksimalna brzina vozila može se lako pronaći na mjestu presjeka krivulje vučnog napora s krivuljom otpora (otpor kotrljanja plus aerodinamički otpor). Treba napomenuti da takva točka presjeka ne postoji u nekim izvedbama, koje obično koriste veći vučni motor ili veliki prijenosni omjer [1].

Učinak vozila opisan u prethodnom odjeljku diktira sposobnosti vozila s obzirom na brzinu, sposobnost kretanja i ubrzanje, pa tako diktira i snagu motora pogonskog sklopa. Međutim, u normalnim uvjetima vožnje te se maksimalne mogućnosti rijetko koriste. Tijekom većeg dijela vremena rada pogonski sklop radi s djelomičnim opterećenjem.

Stvarni vučni napor (snaga) i brzina vozila uvelike se razlikuju ovisno o radnim uvjetima, poput ubrzanja ili usporavanja, kretanja uzbrdo ili nizbrdo, itd. Te su varijacije povezane s prometnim okruženjem i vrstom vozila. Uvjeti gradskog prometa i prometa na autocesti uvelike se razlikuju, kao i različite misije vozila, poput univerzalnog osobnog automobila i vozila s redovitim rutama i rasporedom vožnje [3].

U prijevozu je jedinica energije obično kilovat-sat (kWh), a ne džul ili kilodžul (J ili kJ). Potrošnja energije po jedinici udaljenosti u kWh / km obično se koristi za procjenu potrošnje energije u vozilu.

Međutim, za ICE vozila uobičajena jedinica je fizička jedinica zapremine goriva po jedinici udaljenosti, kao što su litre na 100 km (l / 100 km). U SAD-u se obično koristi udaljenost po jedinici volumena goriva; to se izražava kao milje po galoni (mpg). S druge strane, za EV na baterije, prikladnija je izvorna jedinica potrošnje energije u kWh, izmjerena na stezaljkama akumulatora [10].

Kapacitet energije baterije obično se mjeri u kWh, a raspon vožnje po napunjenosti baterije može se lako izračunati. Slično vozilima ICE, l / 100 km (za tekuća goriva) ili kg / 100 km (za plinska goriva, kao što je vodik) ili mpg, ili milje po kilogramu prikladnija je mjerna jedinica za vozila koja koriste plinovita goriva [10].

Potrošnja energije je integracija izlazne snage na stezaljkama baterije. Za pogon, izlazna snaga baterije jednaka je otpornoj snazi i svim gubicima snage u mjenjaču i pogonu motora, uključujući gubitke snage u elektronici.

3. POGON I SUSTAV ELEKTRIČNIH VOZILA

3.1 Pogon kod električnih vozila

Pogon električnih automobila sve više postaje središnja tema u suvremenom prometnom sektoru, gdje nastaje kao odgovor na potrebu za održivijim i ekološkim oblicima prijevoza. Ovaj trend predstavlja ključnu promjenu u automobilskoj industriji i ima širok raspon utjecaja na društvo, gospodarstvo i okoliš.

Jedna od najvažnijih značajki električnih automobila su njihove čiste emisije. Električni automobili, za razliku od vozila s unutarnjim izgaranjem, ne proizvode štetne plinove poput CO₂, dušikovih oksida i čestica koje zagađuju zrak i doprinose klimatskim promjenama. Korištenjem električnih automobila mogu se značajno smanjiti emisije stakleničkih plinova, što je ključno u borbi protiv globalnog zatopljenja i poboljšanju kvalitete zraka u urbanim područjima [11].

Osim toga, električni automobili nude mogućnost diverzifikacije izvora energije za pogon vozila. Dok se većina automobila s unutarnjim izgaranjem oslanja na fosilna goriva, električni automobili mogu koristiti električnu energiju proizvedenu iz raznih izvora, uključujući obnovljive izvore kao što su solarna energija, energija vjetra i hidroelektrana [11].

Električni automobili također podržavaju inovacije u tehnološkom sektoru. Razvoj tehnologije baterija, autonomne vožnje i povezivosti vozila ključan je dio prijelaza na električnu mobilnost. Ova tehnološka dostignuća ne samo da poboljšavaju performanse i učinkovitost električnih vozila, već otvaraju i nove poslovne prilike u industrijama kao što su energetika, IT i proizvodnja [12].

Međutim, postoji nekoliko izazova s kojima se treba pozabaviti kako bi se maksimalno iskoristile prednosti električnih vozila. Infrastruktura punjenja, troškovi baterija, raspon autonomije i recikliranje baterijskih sustava neki su od ključnih izazova s kojima se suočava automobilska industrija. Rješavanje ovih izazova zahtijeva suradnju između vlada, industrije, akademske zajednice i civilnog društva.

3.2. Električni motor

Postoji nekoliko vrsta pogona motora, kao što su AC (izmjenični) ili DC (istosmjerni) motori. AC motor nudi mnoge prednosti, ali zahtijeva istosmjernu struju proizvedenu iz baterija koju treba pretvoriti pomoću pretvarača. Pogonski motori mogu se klasificirati kao AC ili DC, ali teško je opisati razlike između AC motora i DC motora bez četkica. Trofazni AC motor sa permanentnim magnetskim motorom je glavni izbor proizvođača danas. To je zbog njegove efikasnosti, veličine i jednostavnosti upravljanja kao i karakteristike momenta. Taj tip motora naziva se elektronički komutirani motor (electronically commuted motor – ECM). Na slici 18 prikazani su rotor i stator indukcijskog motora. [8]



Slika 18. Rotor i stator indukcijskog motora

Izvor: [13]

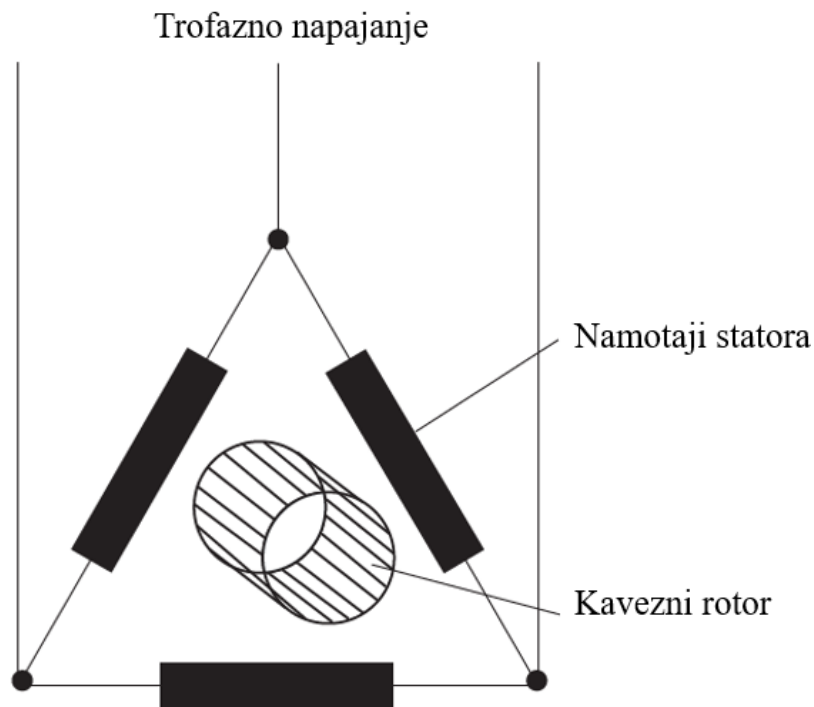
Općenito, svi AC motori rade na istom principu. Trofazni navoj je raspodijeljen oko lamiranog statora i stvara rotirajuće magnetsko polje koje rotor prati. Brzina ovog okretnog polja, a time i motora može se izračunati sljedećom formulom: [8]

$$n = 60 f/p \quad (1)$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- n – brzina okretnog magnetskog polja [o/min]
- f – frekvencija mreže [Hz]
- p – broj pari polova

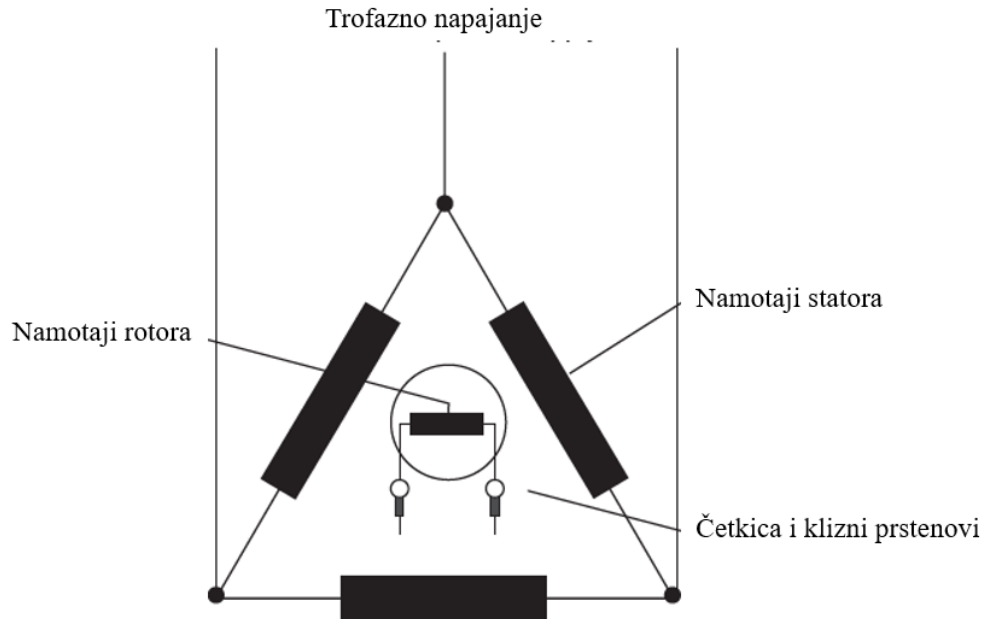
Opći naziv za ovaj tip motora je AC indukcijski motor. Asinkroni motor se naziva asinkroni jer brzina rotora nije potpuno usklađena (sinkronizirana) s brzinom rotirajućeg magnetskog polja u statoru. U ovom tipu motora, rotor uvijek zaostaje za rotirajućim magnetskim poljem statora, što stvara klizanje. Taj klizajući efekt je ključan za stvaranje elektromotorne sile (EMF) u rotoru, što pokreće motor. Asinkroni motor često se koristi s kaveznom rotorom koji je prikazan na slici 19. Stator je obično trofazni i može biti u obliku zvijezde ili trokuta. Rotirajuće magnetsko polje u statoru izaziva elektromagnetsko polje u rotoru koji, jer je to zatvoreni krug, uzrokuje protok struje. To stvara magnetizam, koji reagira na izvorno polje uzrokovano statorom, i stoga se rotor okreće. [8]



Slika 19. Shematski prikaz asinkronog motora s kaveznim rotorom

Izvor: [8]

Sinkroni motor je dobio ime jer rotira istom brzinom kao i rotirajuće magnetsko polje statora, što znači da nema klizanja između magnetskog polja i rotora odnosno brzina rotacije rotora je sinkronizirana s frekvencijom napajanja. Snaga se razvija kroz interakciju rotirajućeg magnetskog polja statora i stalnog magnetskog polja rotora s trajnim magnetima. Kada se na stator primijeni trofazna izmjenična struja, stvara se rotirajuće magnetsko polje koje pokreće rotor bez klizanja. Rotor se okreće sinkrono s poljem statora, prenoseći snagu na osovinu motora, čime se generira konstantan moment i visoka učinkovitost. Motor prikazan na slici 20, ima namotani rotor, poznat kao induktor. Namot je magnetiziran istosmjernim napajanjem preko dva klizna prstena. Magnetizam se zaključava na rotirajuće magnetsko polje i proizvodi konstantan okretni moment. Prednost mu je što čini idealan generator. Alternator normalnog vozila vrlo mu je sličan. [8]

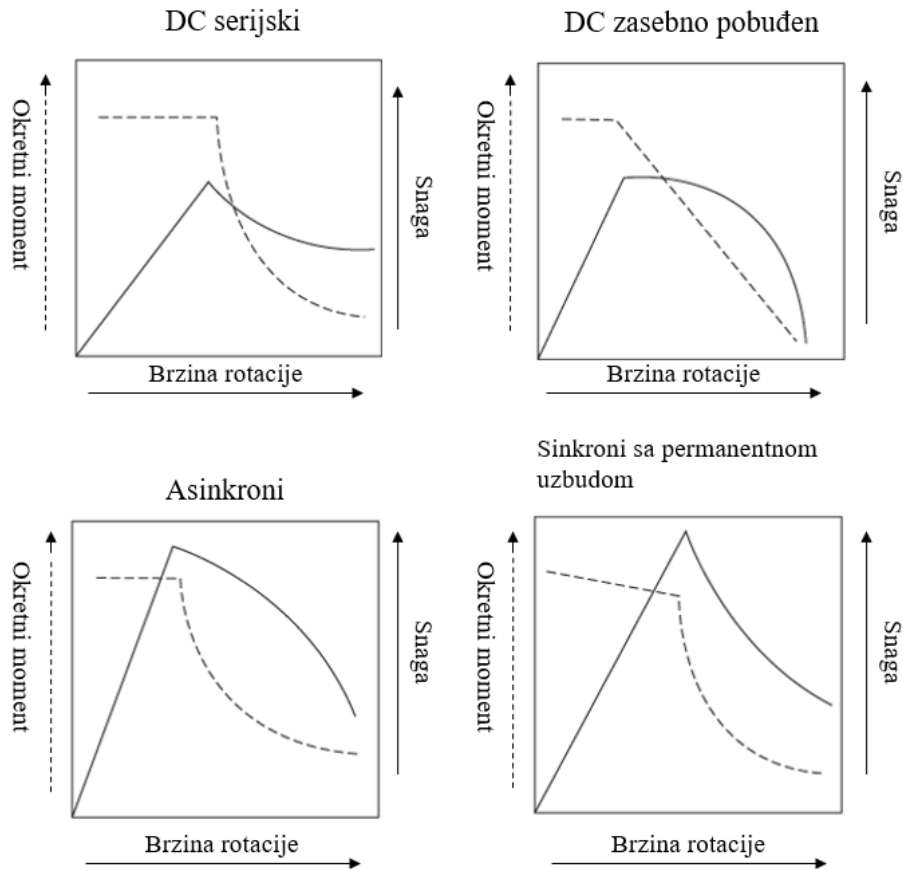


Slika 20. Shematski prikaz sinkronog motora

Izvor: [8]

DC motor sa serijskim namotajem koristi se već mnogo godina na električnim vozilima kao što su viličari. Njegov glavni nedostatak je što mora teći velika struja kroz četkice i komutator. Ovaj motor ima dobro poznata svojstva visokog momenta pri malim brzinama i idealan je kao pokretač motora. [8]

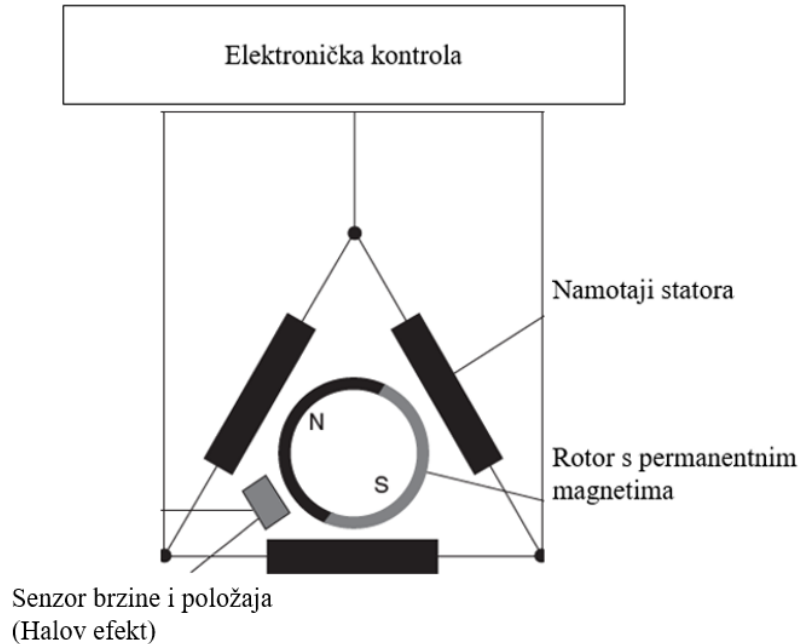
Zasebno pobuđeni paralelni DC motor je vrsta istosmjernog motora u kojem su namotaji rotora i namotaji statora povezani na zasebne izvore napajanja. Takav raspored omogućava neovisnu kontrolu magnetskog polja i struje rotora, što daje bolju kontrolu momenta i brzine motora. Ovakvi motori se koriste kod precizne regulacije brzine poput industrijskih pogona i transportnih sustava. Karakteristike momenta i snage četiri vrste pogonskim motora prikazane su u nastavku. Četiri grafikona prikazuju moment i snagu kao funkcije brzine vrtnje.



Slika 21. Prikaz momenta i snage različitih motora

Izvor: [8]

Elektronički komutirani motor (ECM) kombinira karakteristike AC i DC motora. Na slici 22 vidimo prikaz ovog sustava. Ima rotor s trajnim magnetima i koristi senzore kako bi dobio povratne informacije (Halov efekt). Brzinu motora određuje rotirajuće polje koje se stvara preko kontrolnog sustava. ECM često zahtijeva reduktor zbog svojih karakteristika okretnog momenta. [8]

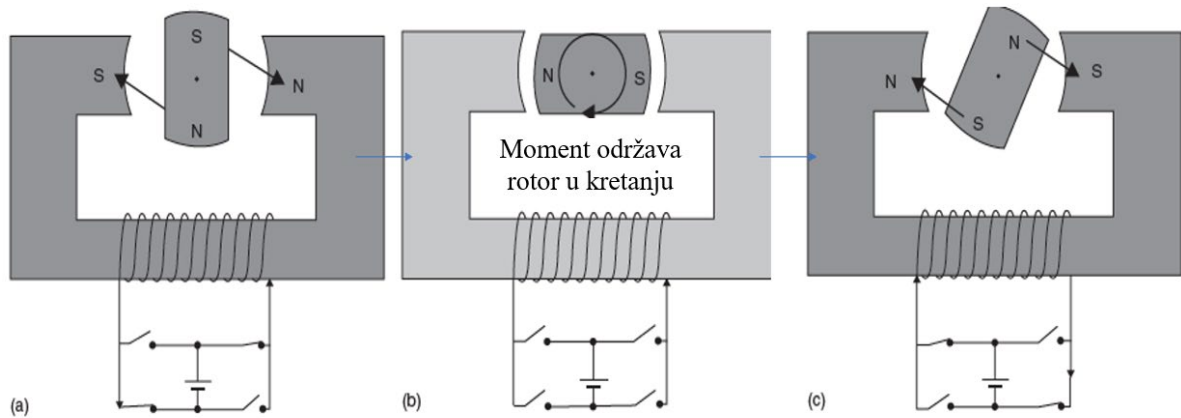


Slika 22. Shematski prikaz elektronički komutiranog motora

Izvor: [8]

Ovi motori se također nazivaju motori bez četkica (brushless DC motors – BLDC) i zapravo su AC motori jer struja kroz njih naizmjenično teče. Međutim, budući da je frekvencija napajanja nepromjenjiva, mora se dobivati iz DC izvora i njegove karakteristike brzine odnosno okretnog momenta slične su onima kod DC motora s četkicama. To je motor koji se koristi u većini električnih vozila danas.

Na slici 23 detaljnije je prikazan princip rada takvog motora. Rotor je permanentni magnet, a protok struje kroz namotaje statora određuje njegov polaritet. Ako se struja uključuje u pravilnom redoslijedu, rotor će se kretati dok se polaritet statora mijenja. Promjena vremena uključivanja može također uzrokovati promjenu smjera rotacije rotora. [8]

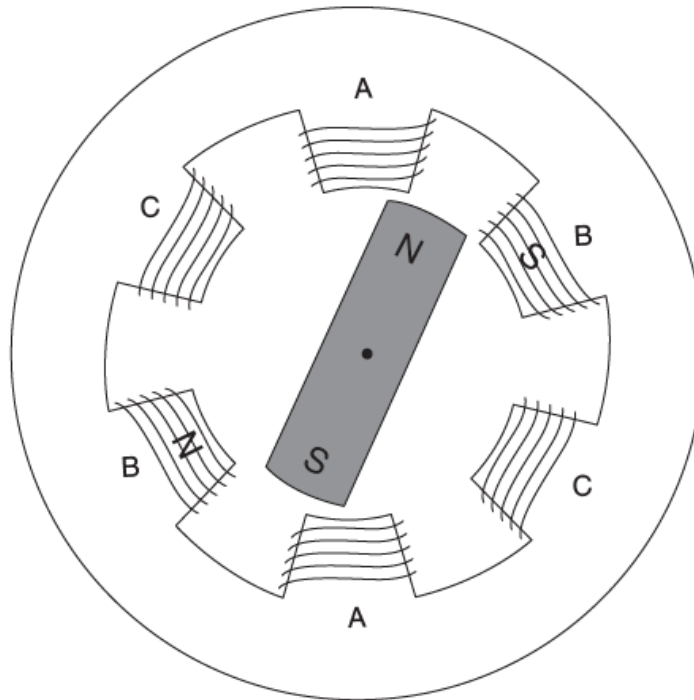


Slika 23. Princip rada DC motora bez četkica

Izvor: [8]

Promjena mora biti sinkronizirana sa pozicijom rotora. To se radi preko senzora, u mnogim slučajevima metodom Halovog efekta pomoću kojeg se određuje pozicija i brzina rotora.

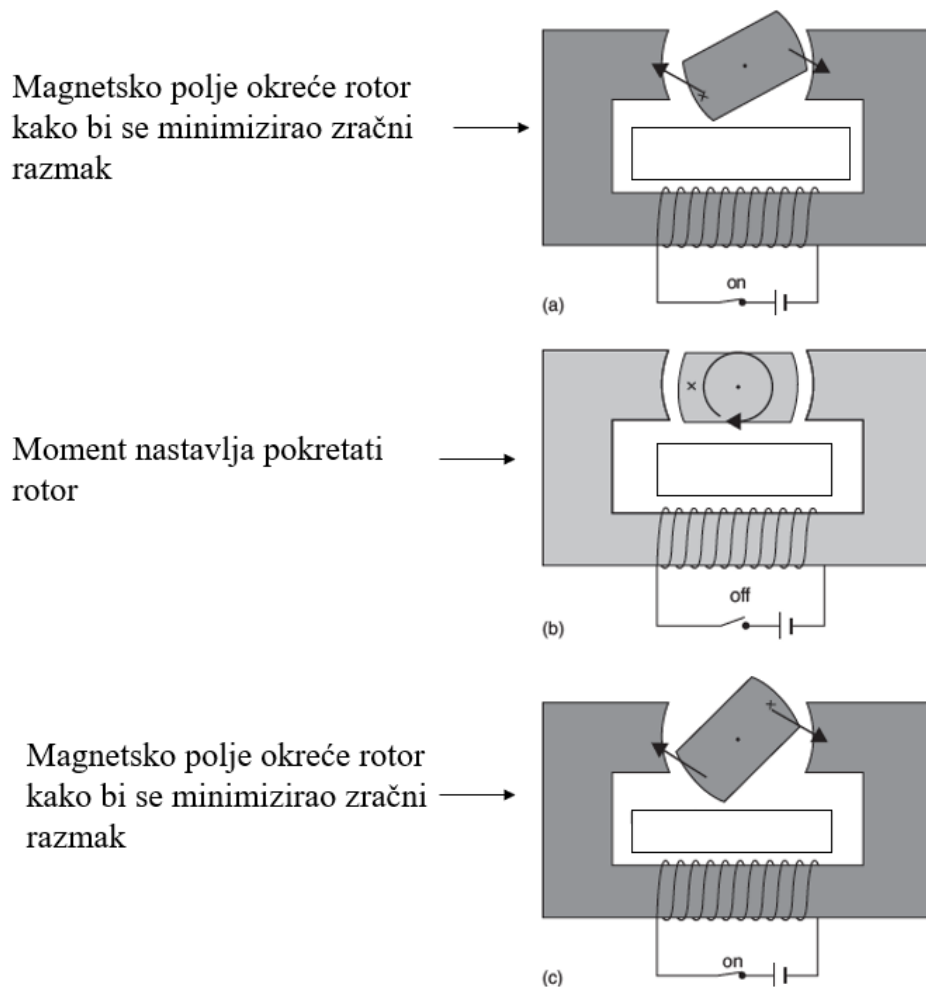
Ako se koriste tri zavojnice ili faze, kao što je prikazano na slici 24, moguće je postići finiju kontrolu, veću brzinu i okretni moment. Okretni moment se smanjuje s povećanjem brzine zbog povratne elektromotorne sile (back EMF). Maksimalna brzina je ograničena točkom gdje povratna elektromotorna sila postane jednaka naponu napajanja. [8]



Slika 24. Prikaz motora koji koristi tri zavojnice ili faze

Izvor: [8]

Motor s promjenjivom reluktancijom (switched reluctance motor – SRM) je sličan DC motoru bez četkica. Glavna je razlika ta što motor s promjenjivom reluktancijom ne koristi permanentne magnete. Rotor je izrađen od mekog željeza. Stator, koji okružuje rotor, ima namote kroz koje prolazi struja i stvara magnetsko polje. Na slici 25, prikazan je osnovni princip rada SRM motora. SRM motori ne rade baš najbolje kao generatori zbog nemagnetiziranog rotora. [8]



Slika 25. Osnovni princip rada SRM motora

Izvor: [8]

4. BATERIJSKI SUSTAVI KOD ELEKTRIČNIH VOZILA

Glavni faktor koji utječe na domet električnog vozila je zapravo koliko ste nježni na papučici gasa. Minimalno ubrzavanje i kočenje najviše utječu na domet kao i kod drugih vozila. Međutim, na domet također utječu hladno vrijeme te upotreba klima uređaja (grijanje ili hlađenje) i drugih sustava koji koriste energiju iz baterija kao što su svjetla. Kako bi se smanjila potrošnja proizvođači danas koriste LED svjetla. Sustavni upravljanja također mogu minimizirati energiju koju koriste drugi uređaji. Dodatna prednost je što EV vozilima nije potreban period zagrijavanja, kao što je to slučaj kod mnogih konvencionalnih vozila s unutarnjim izgaranjem. [8]

Proizvođači smatraju da je kraj životnog vijeka baterije kada kapacitet baterije padne na 80% njezinog početnog kapaciteta. To znači da, ako je nova baterija imala domet od 100 km, nakon 8 – 10 godina korištenja taj se domet može smanjiti na 80 km. Današnje baterije se dizajniraju tako da traju tijekom cijelog životnog vijeka automobila, osiguravajući da vozilo i dalje može funkcionirati unatoč smanjenju kapaciteta baterije.

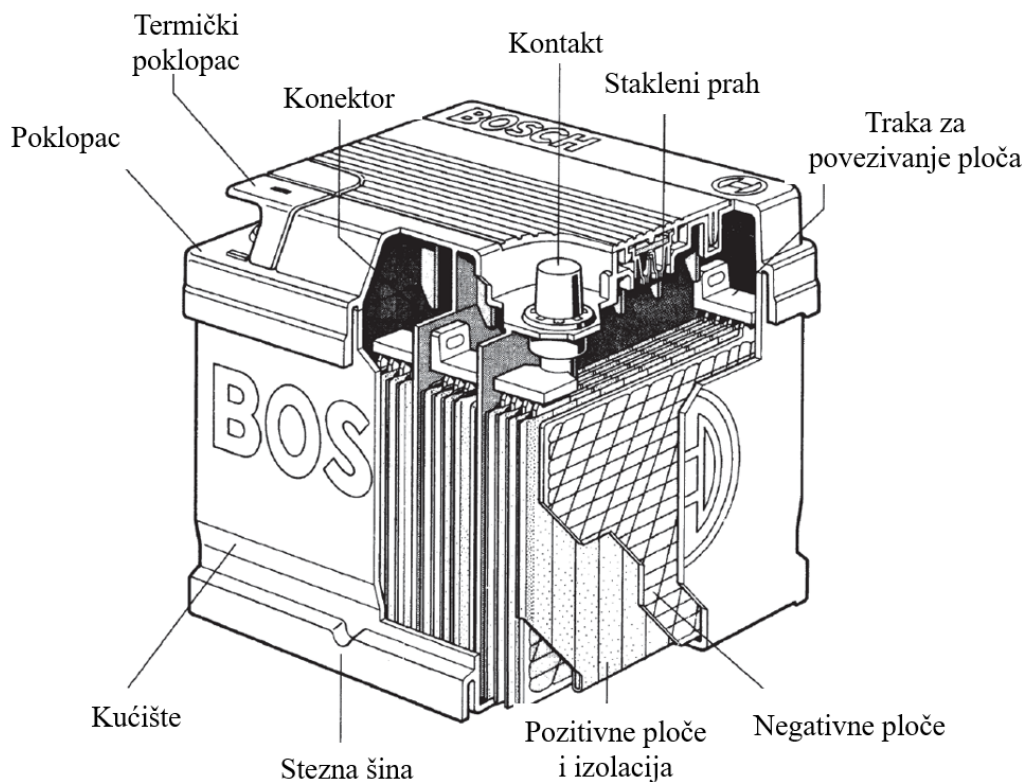
Glavni izvori litija za baterije električnih vozila su slana jezera i slane ravnice koje proizvode litijev klorid. Glavni proizvođači litija su Južna Amerika, Australija, Kanada i Kina. Očekuje se da će recikliranje postati jedan od glavnih izvora litija u budućnosti. Svjetske rezerve litija procjenjuju se na oko 30 milijuna tona. Za proizvodnju jedne kilovat-sat (kWh) baterijskog kapaciteta potrebno je oko 0,3 kg litija. Litij-ionske baterije smatraju se neopasnim i sadrže korisne elemente koji se mogu reciklirati. Litij-ionske baterije imaju manji utjecaj na okoliš u usporedbi s drugim baterijskim tehnologijama. Razlog tome je što su ćelije sastavljene od ekološki prihvatljivih materijala. Upotrebom sve više recikliranih materijala, ukupni utjecaj na okoliš će se dodatno smanjiti. [8]

4.1. Tipovi baterija

Čak i nakon otprilike 150 godina razvoja i istraživanja, olovno-kiselinske baterije i dalje su najbolji izbor za korištenje u niskonaponskim motornim vozilima. Gaston Planté bio je francuski fizičar koji je izumio olovno-kiselinsku bateriju 1859. godine. [8]

Osnovna konstrukcija 12 voltne olovno-kiselinske baterije sadrži šest ćelija koje su spojene u seriju. Svaka ćelija, koja proizvodi oko 2 V, smještena je u zasebnom prostoru unutar kućišta od polipropilena ili sličnog materijala.

Na slici 26, prikazani su glavni dijelovi olovno-kiselinske baterije.



Slika 26. Olovno-kiselinska baterija

Izvor: [8]

Zahtjevi za olovno-kiselinsku bateriju:

- Čistite koroziju s priključaka koristeći vruću vodu
- Priključke treba namazati naftom ili vazelinom, a ne običnom mašću
- Vrhovi baterije trebaju biti suhi i čisti
- Ako baterija nije zapečaćena, ćelije treba dopuniti destiliranom vodom do 3 mm iznad ploča

Na slici 27, prikazana je baterija kod modernih vozila



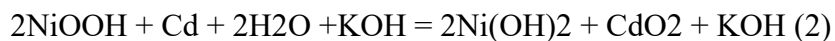
Slika 27. Baterija kod modernih vozila

Izvor: [8]

Glavni sastavni dijelovi nikel-kadmijeve (Ni-Cad ili NiCad) ćelije za upotrebu u vozilima su sljedeći:

- Pozitivna elektroda – niklov hidrat (NiOOH)
- Negativna elektroda – kadmij (Cd)
- Elektrolit – kalij hidroksid (KOH) i voda (H₂O).

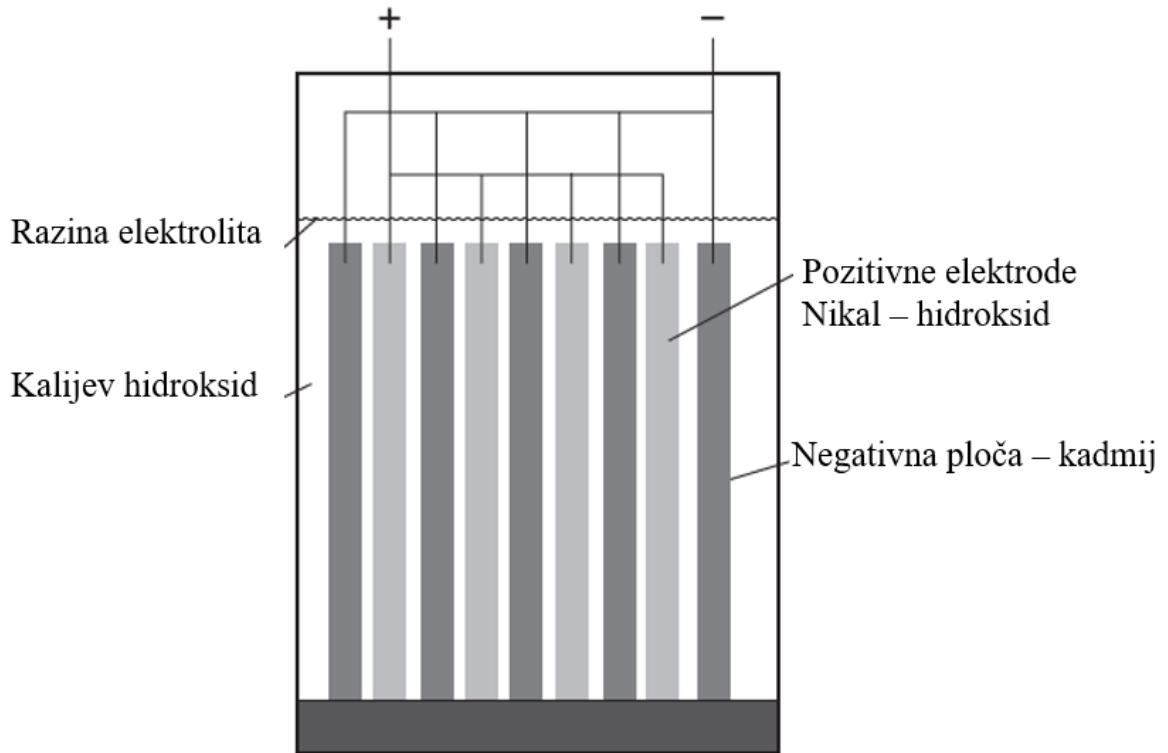
Proces punjenja uključuje kretanje kisika s negativne elektrode na pozitivnu elektrodu, a tijekom pražnjenja proces se odvija obrnuto. Kada je baterija potpuno napunjena, negativna elektroda postaje čisti kadmij, dok pozitivna ploča postaje nikel hidrat. što je prikazano sljedećom jednadžbom:



gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- NiOOH – Nikal(III)-hidroksid
- Cd – kadmij
- H₂O – voda iz elektrolita
- Ni(OH)₂ – nikel(II)-hidroksid
- CdO₂ – kadmijev oksid
- KOH – kalijev hidroksid

Molekula $2\text{H}_2\text{O}$ se oslobađa kao vodik (H) i kisik (O_2) jer se plinovi stalno stvaraju tijekom punjenja. Upravo korištenje vode od strane ćelija pokazuje da one rade, što se može uočiti iz jednadžbe. Elektrolit se ne mijenja tijekom reakcije, što znači da očitavanje relativne gustoće neće pokazivati stanje napunjenosti baterije. Pojednostavljeni prikaz NiCad baterijske ćelije prikazan je na slici 28. [8]



Slika 28. Pojednostavljeni prikaz NiCad baterijske ćelije

Izvor: [8]

Nikl-metal hidridne (Ni-MH ili NiMH) baterije koriste neka električna vozila i pokazale su se vrlo učinkovitima. Komponente NiMH baterija uključuju katodu od nikal-hidroksida, anodu od legura koje apsorbiraju vodik i elektrolit od kalijevog hidroksida (KOH). Posebno ih je razvio Toyota. Idealne su za masovnu proizvodnju povoljnih hibridnih vozila zbog niske cijene, visoke pouzdanosti i velike izdržljivosti. Treća generacija Toyotinih NiMH baterija prikazana je na slici 29. [8]



Slika 29. Treća generacija Toyotinig NiMH baterija

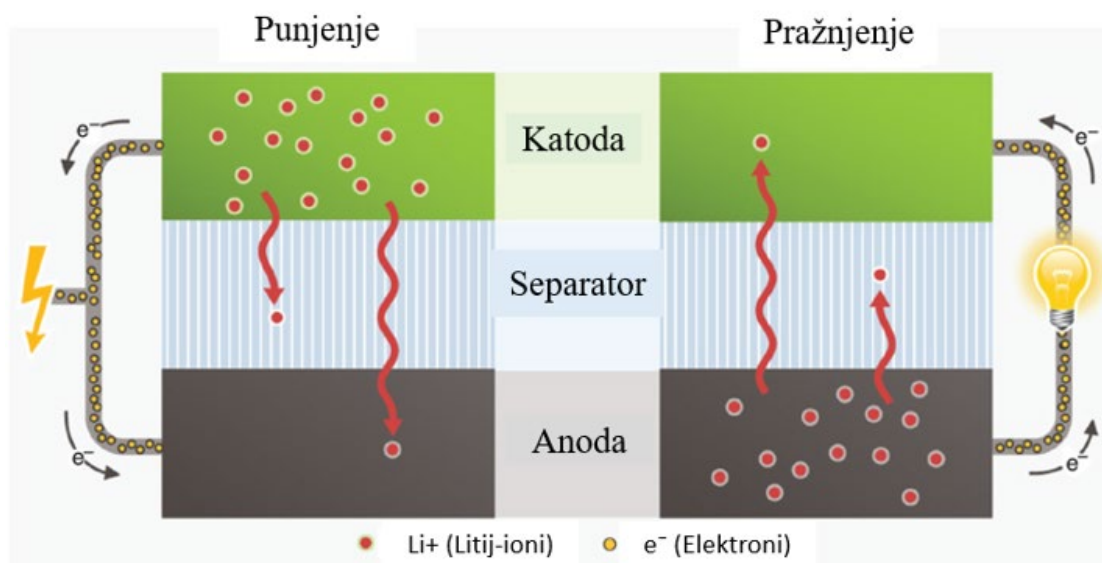
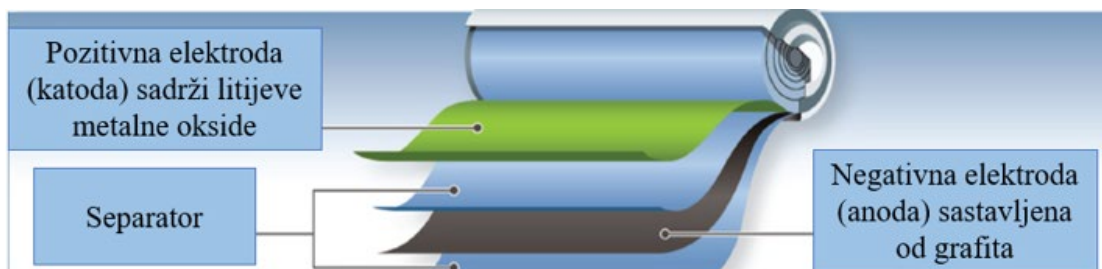
Izvor: [4]

Natrij-nikal kloridne baterije (Na-NiCl_2) (uključujući baterije s tekućim metalima) predstavljaju klasu baterija koje koriste rastopljene soli kao elektrolit i nude visoku energetske gustoći kao i visoku snagu gustoće. [8]

Natrij-sumporna (Na-S) baterija sastoji se od katode tekućeg natrija u koju je umetnut sakupljač struje. Glavni nedostatak ovog sustava je što radna temperatura mora biti između 300-350 °C. Temperatura baterije se održava tijekom korištenja zbog struje koja teče kroz otpor baterije. Svaka ćelija ove baterije je vrlo mala i koristi samo 15 g natrija. Male ćelije također imaju prednost jer se mogu raspodijeliti po automobilu. Kapacitet svake ćelije je oko 10 Ah (amper-sat). Izlazni napon svake ćelije je oko 2 V (volt). [8]

Tehnologija litij-ionskih baterija postaje dominantna baterijska tehnologija, ali još uvijek ima mnogo potencijala za napredak. Današnje baterije imaju energetske gustoću do 140 Wh/kg (vat-sati/kilogramu), a postoji potencijal da dosegnu i do 280 Wh/kg. Litij-ionska tehnologija trenutno se smatra najsigurnijom među dostupnim baterijskim tehnologijama.

Princip rada litij-ionske baterije prikazan je na slici 30. Negativni pol (anoda) i pozitivni pol (katoda) čine pojedinačne ćelije litij-ionske baterije zajedno s elektrolitom i separatorom. Anoda je grafitna struktura, dok je katoda slojeviti metalni oksid. Litij-ioni se talože između tih slojeva. Kada se baterija puni, litij-ioni se kreću od anode prema katodi i prihvaćaju elektrone. Kada se baterija prazni, litij-ioni otpuštaju elektrone prema anodi i vraćaju se na katodu. [8]



Slika 30. Princip rada Litij-ionske baterije

Izvor: [8]

Jedan od nedostataka ove vrste baterija je taj što se u hladnim uvjetima kretanje litij-iona usporava tijekom procesa punjenja. Zbog toga ioni teže doseći elektrone na površini anode, a ne unutar nje. Istraživanja su u tijeku, a jedno od mogućih rješenja moglo bi biti zagrijavanje baterije prije punjenja.

4.2. Punjenje baterije

4.2.1. Infrastruktura

Većina električnih automobila puni se kod kuće, ali se infrastruktura za punjenje na javnim cestama također razvija. Postoje različite organizacije i tvrtke, pa se kod nekih potrebno registrirati kako biste mogli koristiti njihove stanice za punjenje. Mnoge tvrtke sada također nude stanice za punjenje za svoje zaposlenike. Većina javnih stanica za punjenje je zaključana, što znači da prolaznici ne mogu iskopčati kabel. Mnoge aplikacije (kao što su PlugShare, ChargeMap i slične) omogućavaju korisnicima da pronađu najbliže javne punionice i prate dostupnost u realnom vremenu. Neke stanice mogu poslati tekstualnu poruku vlasniku automobila ako je vozilo neočekivano iskopčano. Električna vozila se mogu puniti i po kiši. Kada se kabel za punjenje priključi, veza s napajanjem se neće uspostaviti sve dok priključak nije potpuno postavljen. Na slici 31 prikazana je javna punionica tvrtke Tesla. [8]



Slika 31. Javna punionica tvrtke TESLA

Izvor: [14]

Preporučuje se da utičnice za punjenje kod kuće budu instalirani i odobreni od strane kvalificiranog električara. Za brzo punjenje bila bi potrebna posebna oprema i nadograđena električna mreža, što je rijetko moguće u kućnim uvjetima, gdje većina korisnika puni vozila preko noći. Na slici 32 prikazano je vozilo marke Toyota tijekom punjenja na kućnom punjaču.



Slika 32. Punjenje vozila na kućnom punjaču

Izvor: 15]

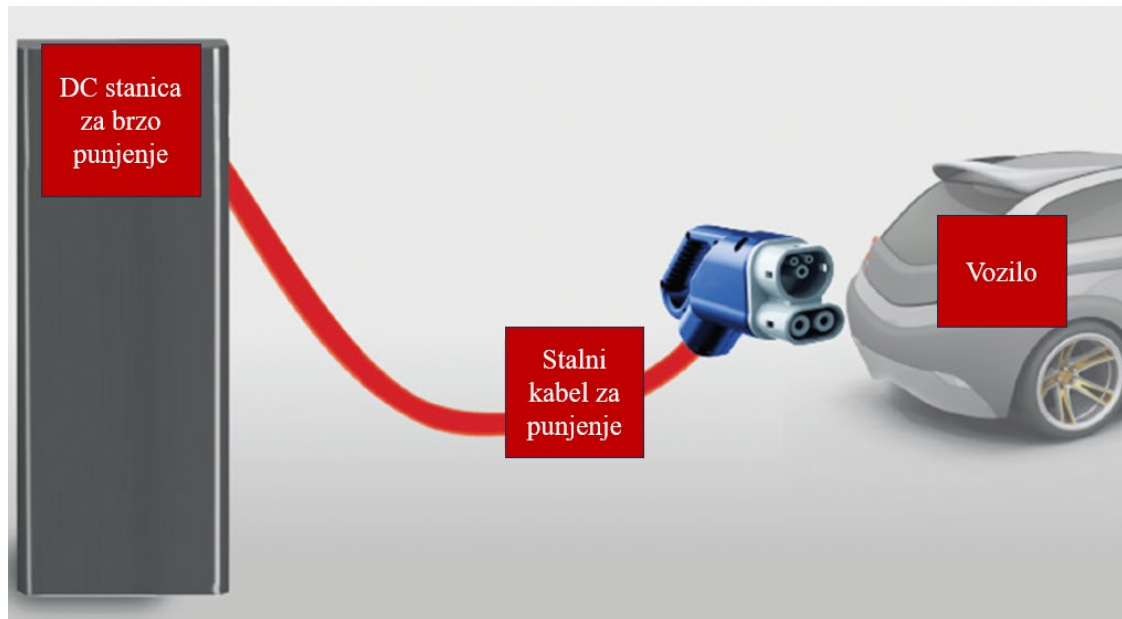
Vrijeme potrebno za punjenje električnog vozila ovisi o vrsti vozila, stanju napunjenosti baterije i vrsti punionice koja se koristi. Obično, potpuno punjenje čistih električnih automobila pomoću standardne punionice traje između 6 i 8 sati. Kada se koriste brze punionice čisti električni automobili mogu se napuniti za otprilike 30 minuta ili samo nadopuniti za 20 minuta ovisno o vrsti punionice i dostupnoj snazi. Plug-in hibridna vozila se obično napune za oko 2 sata jer njihove baterije imaju manji kapacitet od potpuno električnih vozila. [8]

AC punjenje (punjenje izmjeničnom strujom) postalo je standardna metoda punjenja električnih vozila. Ova metoda je dostupna za kućno punjenje i na javnim punionicama, uz relativno niska ulaganja. Trajanje punjenja ovisi o kapacitetu baterije, trenutnom stanju napunjenosti i jačini struje za punjenje. AC punjenje je fleksibilno i veoma praktično za svakodnevno punjenje kod kuće. U usporedbi s drugim metodama punjenja, investicijski troškovi AC punjenja su prihvatljivi.

Kod DC punjenja (punjenje istosmjernom strujom) razlikujemo dvije vrste punjenja:

- DC sporo punjenje: do 38 kW
- DC brzo punjenje: do 170 kW

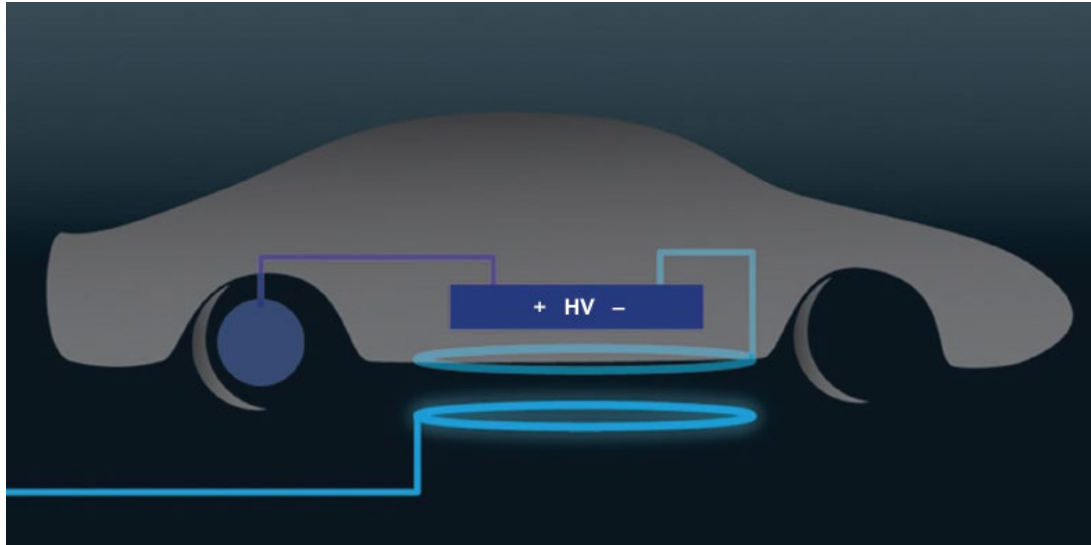
DC punjenje zahtijeva da punjač bude dio same punionice, zbog čega su DC punionice znatno skuplje u usporedbi s AC punionicama. Ova metoda zahtijeva skuplju infrastrukturu zbog veće snage. Vozila koja podržavaju DC punjenje također imaju dodatni priključak za standardno AC punjenje, kako bi se mogla puniti kod kuće. Slika 33 prikazuje DC punjenje s brzim punjačem. [8]



Slika 33. DC punjenje s brzim punjačem

Izvor: [8]

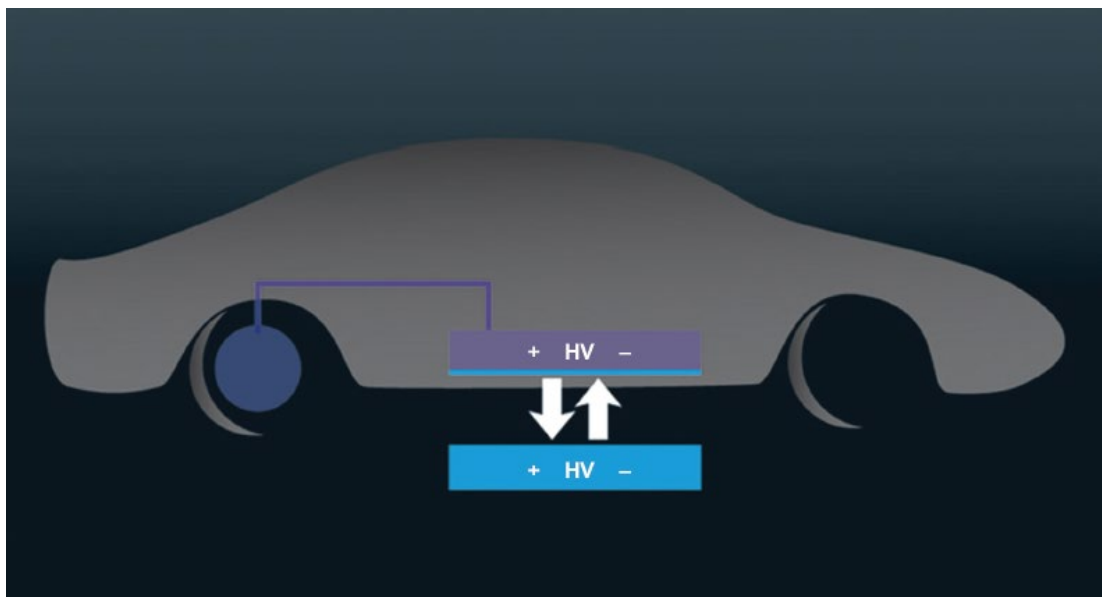
Također postoji metoda induktivnog punjenja, prikazana na slici 34. To je metoda koja se odvija fizičkog kontakta, pomoći induktivnih petlji gdje se energija prenosi između punjača i vozila putem elektromagnetskog polja. Ova metoda omogućava bežično punjenje, ali zbog svoje tehničke složenosti i visokih troškova nije još spremna za širu upotrebu. [8]



Slika 34. Induktivno punjenje

Izvor: [8]

Zamjena baterije podrazumijeva da se ispražnjena baterija vozila zamjeni potpuno napunjenom baterijom na posebnoj stanici za zamjenu. Ovim postupkom se značajno smanjuje vrijeme koje je potrebno za punjenje vozila. Međutim glavni nedostatak je to što bi svi automobili trebali imati iste baterije na istim pozicijama što je teško izvedivo tako da je ova metoda moguća jedino u zatvorenim flotama vozila. Metoda zamjene baterija prikazana je na slici 35.



Slika 35. Metoda zamjene baterija

Izvor: [8]

4.2.2. Punjači za punjenje

Prema međunarodnom standardu IEC 62196-2, postoje tri različita sustava priključaka i utičnica koji zadovoljavaju visoke sigurnosne zahtjeve za potrošače. Na sva tri sustava napon se uključuje tek kada su sve sigurnosne mjere poduzete kako bi se smanjio broj nesreća.

Tip 1, prikazan na slici 36, je jednofazni priključak koji je razvijen u Japanu i povezuje se isključivo na strani vozila. Maksimalna snaga punjenja iznosi 7,4 kW pri 230 V AC. Ovaj priključak se koristi u Japanu i Sjevernoj Americi. U Europi nije prikladan zbog trofazne mreže koja se ovdje koristi.



Slika 36. Tip 1 priključak

Izvor: [8]

Tip 2, prikazan na slici 37, je priključak koji se koristi u Europi. Proizveden je u Njemačkoj u kompaniji Mennekes. Prikladan je za jednofaznu izmjeničnu struju u kućanstvima, kao i za snažnije trofazne priključke. S tip 2 priključkom, na naponu od 230 V jednofazno ili 400 V trofazno, moguće je prenositi snagu punjenja u rasponu od 3,7 kW do 43,5 kW.



Slika 37. Tip 2 priključak

Izvor: [8]

Tip 3 priključak koji je razvijen u Italiji i prikladan je za napon od 230 V jednofazno ili 400 V trofazno, prikazan je na slici 38. Omogućuje snage punjenja od 3,7 kW do 43,5 kW. Međutim, za razliku od Tip 2 priključka, Tip 3 priključak koristi tri različite geometrije priključaka za različite razine snage. Taj nedostatak mu ograničava širu upotrebu u usporedbi s Tip 2 priključkom.

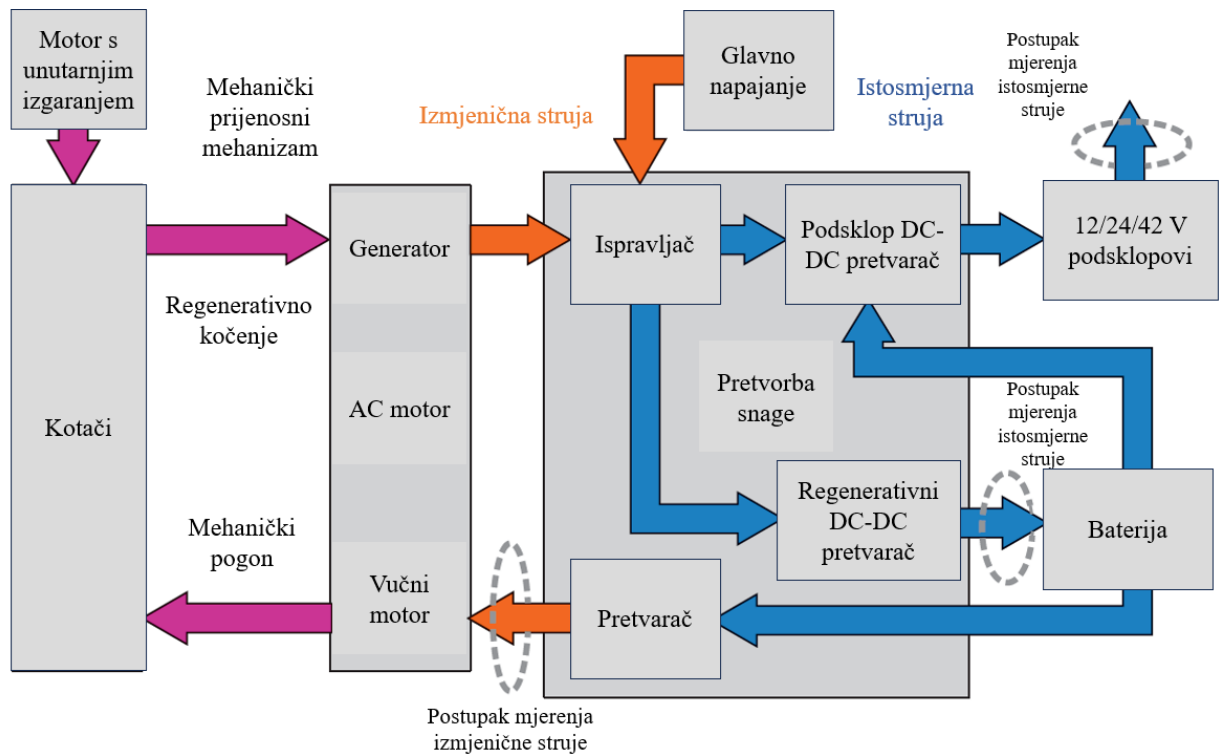


Slika 38. Tip 3 priključak

Izvor: [8]

5. UPRAVLJAČKI SUSTAVI KOD ELEKTRIČNIH VOZILA

Na slici broj 39 prikazan je generički blok dijagram plug-in hibridnog električnog vozila (PHEV). Uklonite blok AC mreže i vozilo postaje hibridno električno vozilo (HEV). Uklanjanjem motora s unutarnjim izgaranjem (ICE), vozilo postaje čisto električno vozilo (EV). [8]



Slika 39. Blok električnog vozila koji prikazuje glavne komponente

Izvor: [8]

Komponente upravljanja opisane su u tablici 1. To su mikroprocesorske upravljačke jedinice koje su programirane da reagiraju na ulazne podatke od senzora i vozača. [8]

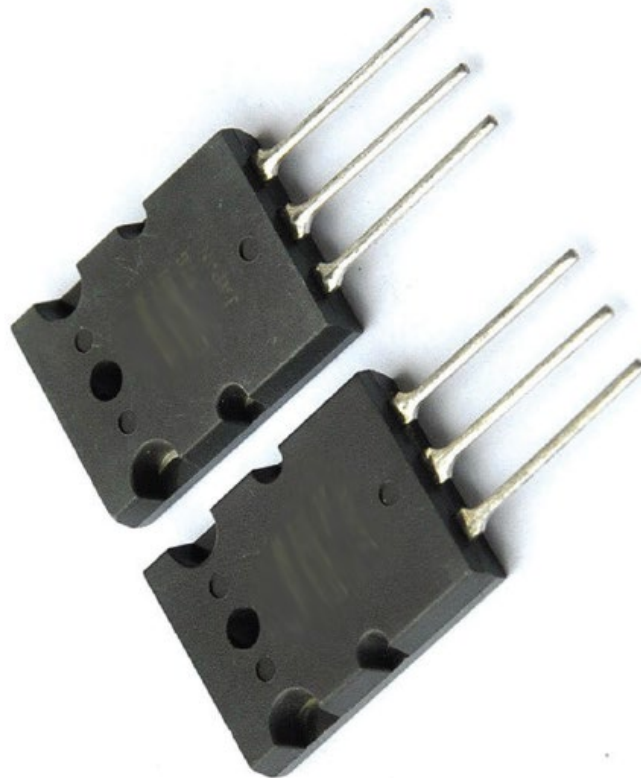
Tablica 1. Komponente upravljanja

Komponenta	Značenje
Motor/generator	Omogućuje pogon kotačima i generira električnu energiju kada vozilo usporava i koči
Pretvarač (inverter)	Uređaj za pretvaranje istosmjerne struje (DC) u izmjeničnu struju (AC)
Ispravljač (rectifier)	Uređaj za pretvaranje izmjenične struje (AC) u istosmjernu struju (DC) (inverter i ispravljač su obično ista komponenta)
Regenerativni DC-DC pretvarač	Pretvara izmjeničnu struju (AC) iz motora tijekom kočenja nakon što je ispravljena u istosmjernu struju (DC): Pretvorba je potrebna kako bi se osigurala ispravna razina napona za punjenje
DC-DC pretvarač: podsklop	Uređaj za pretvaranje visokog napona istosmjerne struje (DC) u niski napon DC za napajanje opće elektronike vozila
DC podsustavi	12 V (ili 24/42 V) sustavi vozila, kao što su svjetla i brisači - ovo može uključivati malu 12-V bateriju
Visokonaponska baterija	Obično litij-ionske ili niki-metal hibridne ćelije koje čine spremnike energije za pogon motora
Upravljanje baterijom	Sustav za praćenje i upravljanje punjenjem i pražnjenjem baterije radi zaštite baterije te povećanja učinkovitosti
Kontrola motora	Najvažniji upravljač, ovaj uređaj reagira na signale senzora i reakcije vozača kako bi kontrolirao motor tijekom vožnje, ubrzavanja, kočenja itd.
Motor s unutarnjim izgaranjem	Motor s unutarnjim izgaranjem koristi se samo u hibridnim električnim vozilima (HEV) i plug-in hibridnim električnim vozilima (PHEV) - on djeluje u hibridu s električnim motorom. U vozilu s produženim dosegom (REV), motor bi pokretao generator isključivo za punjenje visokonaponske baterije

Izvor: [8]

5.1. Kontrola snage

Kontrola motora/generatora – sustav za kontrolu motora/generatora prvenstveno upravlja radom motora kako bi osigurao pogon, a također omogućuje regeneraciju kada motor djeluje kao generator. Glavna mikroprocesorska upravljačka jedinica (MCU) kontrolira inverter putem predvozačkog sklopa (pre-driver circuit). Redoslijed i brzina prebacivanja invertera, označenog kao IGBT (izolirani bipolarni tranzistor s upravljanjem pomoću vrata) određuju moment i brzinu motora. IGBT (prikazan na slici 40) je poluvodički uređaj s tri priključka koji se prvenstveno koristi kao brzodjelujući, visoko učinkoviti elektronički prekidač. Koristi se za prebacivanje električne energije u mnogim modernim uređajima kao i u električnim vozilima. IGBT omogućuje učinkovitu kontrolu struje i snage. [8]

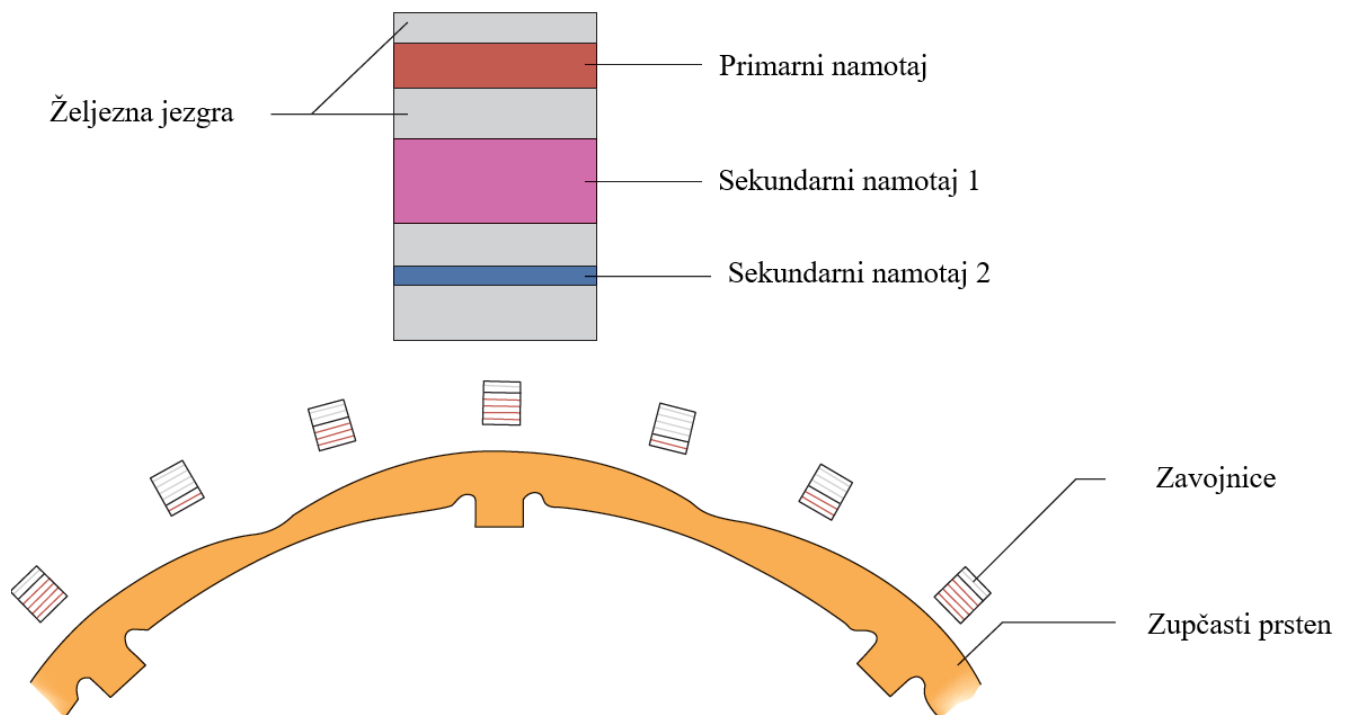


Slika 40. IGBT

Izvor: [8]

5.2. Senzori

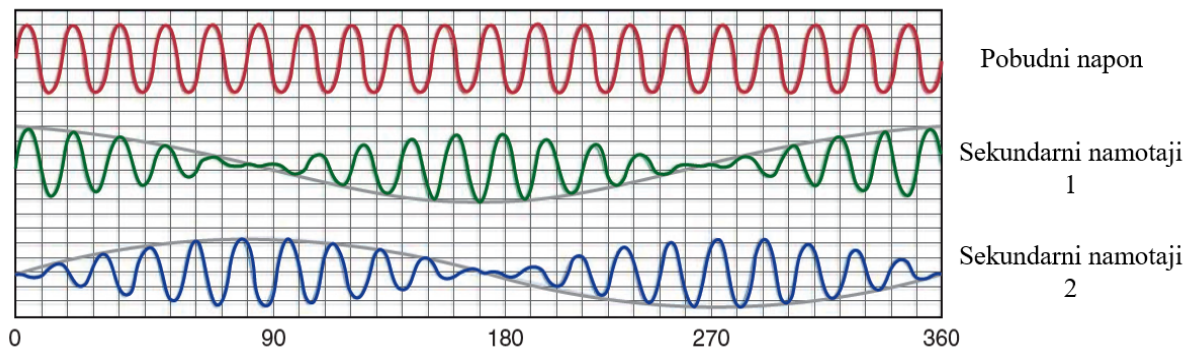
Kako bi se točno provelo prebacivanje motora/generatora, elektronički sustav za upravljanje mora znati stanje, točnu brzinu i položaj motora. Informacije o brzini i položaju dobivaju se putem jednog ili više senzora postavljenih na kućište u kombinaciji s zupčastim prstenom. Sustav prikazan na slici 41 koristi 30 zavojnica senzora i zupčasti prsten s osam krakova. Izlazni signal se mijenja kako se krak približava zavojnicama, a to prepoznaje upravljačka jedinica. Zavojnice su povezane serijski. Sastoje se od primarnog i dva sekundarna namotaja oko željezne jezgre. [8]



Slika 41. Senzor pozicije rotora

Izvor: [8]

Odvojeni namotaji proizvode različite signale, što je prikazano na slici 42. Kako se zupčasti prsten pomiče, uzrokuje pojačanje signala u svakom sekundarnom namotaju. Položaj rotora s toga se može odrediti s velikom točnošću amplituda signala. Frekvencija signala pokazuje brzinu rotacije.



Slika 42. Signali senzora

Izvor: [8]

5.3. Upravljanje baterijom

Punjač i DC-DC sustav za povećanje napona kontroliraju ulaz izmjenične struje (AC) iz kućnog napajanja te povećavaju napon, koristeći DC-DC pretvarač, na razinu koja je potrebna bateriji. MCU obavlja korekciju faktora snage i upravlja DC-DC krugom za povećanje napona. Sustav za upravljanje baterijom zadužen je za upravljanje preostalog napona i kontrolu punjenja baterije. Ravnoteža napona se kontrolira putem MCU monitora i integriranih krugova za nadzor litij-ionskih baterijskih ćelija. [8]

6. EKSPLOATACIJA I ODRŽAVANJE ELEKTRIČNIH VOZILA

6.1. Eksploatacija električnih vozila

Eksploatacija električnih vozila (EV) jedan je od najvažnijih koraka prema održivom razvoju i smanjenju onečišćenja okoliša [16]. Električna vozila koriste elektromotore umjesto motora s unutarnjim izgaranjem, što znači da tijekom vožnje ne ispuštaju štetne plinove. To je ključna prednost u borbi protiv klimatskih promjena i onečišćenja zraka u urbanim područjima.

Jedna od glavnih prednosti korištenja električnih vozila je smanjenje emisije ugljičnog dioksida (CO₂). Tradicionalna vozila koja koriste fosilna goriva, poput benzina i dizela, proizvode značajne količine CO₂, što pridonosi globalnom zatopljenju. S druge strane, električna vozila ne emitiraju CO₂ tijekom vožnje. Naravno, emisija CO₂ može nastati tijekom proizvodnje električne energije potrebne za punjenje EV-a, ali čak i uz ovaj faktor, ukupna emisija je često niža nego kod konvencionalnih vozila, posebno ako se koristi energija iz obnovljivih izvora [17].

Osim prednosti za okoliš, električna vozila nude i ekonomske prednosti. Troškovi održavanja za električna vozila obično su niži nego za vozila s unutarnjim izgaranjem jer imaju manje pokretnih dijelova koji se troše. Nema potrebe za zamjenom ulja, a kočioni sustavi dulje traju zahvaljujući regenerativnom kočenju koje koriste električna vozila. Također, cijena električne energije niža je od cijene benzina ili dizela, što dugoročno može dovesti do značajnih ušteda za vozače.

Jedan od ključnih izazova u eksploataciji električnih vozila je infrastruktura za punjenje. Iako se mreža punionica brzo širi, još uvijek je neravnomjerno raspoređena, što može biti problematično za vozače u manje razvijenim ili ruralnim područjima. Također, vrijeme punjenja EV-a je dulje u usporedbi s tradicionalnim punjenjem goriva, iako tehnologije brzog punjenja postaju sve naprednije i dostupnije.

Drugi važan aspekt je proizvodnja i recikliranje baterija. EV baterije sadrže litij, kobalt i druge rijetke materijale čije iskorištavanje može imati negativne ekološke i društvene posljedice. Zato je važno razviti učinkovite metode recikliranja baterija kako bi se smanjio negativan utjecaj na okoliš i osigurali resursi za buduću proizvodnju [18].

S tehnološkog aspekta električna vozila pokazala su iznimne performanse. Mnogi EV modeli mogu se pohvaliti bržim ubrzanjem i boljom učinkovitošću u usporedbi sa svojim konvencionalnim kolegama. Domet električnih vozila, koji je prije predstavljao značajan problem, značajno se povećao zahvaljujući napretku tehnologije baterija. Danas mnogi modeli mogu prijeći stotine kilometara s jednim punjenjem, što ih čini praktičnima za većinu svakodnevnih potreba vozača [19].

Važno je istaknuti ulogu vlada i regulatornih tijela u promicanju iskorištavanja električnih vozila. Mnoge države nude subvencije, porezne olakšice i druge poticaje za poticanje kupnje električnih vozila. Ove su mjere ključne za brži prijelaz na održiviji prometni sustav.

Rad električnih vozila donosi brojne prednosti, kako za okoliš tako i za gospodarstvo i društvo u cjelini. Iako postoje izazovi, kao što su infrastruktura za punjenje i proizvodnja baterija, kontinuirani tehnološki napredak i podrška politike mogu pomoći u prevladavanju tih prepreka. Električna vozila predstavljaju značajan korak prema održivijoj budućnosti i smanjenju ovisnosti o fosilnim gorivima.

6.2.Vrste održavanja za različite komponente električnih vozila

Održavanje baterije ključno je za dugovječnost i učinkovitost električnog vozila. Potrebno je redovito održavanje kako bi se osigurala optimalna učinkovitost. Vlasnicima električnih vozila savjetuje se da slijede raspored održavanja koji preporučuje proizvođač, koji obično uključuje provjeru razine tekućine u akumulatoru i provjeru pravilnog funkcioniranja rashladnog sustava. Osim toga, ključno je održavati bateriju čistom i bez nečistoća.

Održavanje guma ključno je za sva vozila, uključujući i električna vozila. Pravilno napumpane gume pridonose poboljšanoj učinkovitosti goriva i produljenom vijeku trajanja guma. Vlasnicima električnih vozila preporučuje se redovito provjeravati tlak u gumama barem jednom mjesečno i mijenjati gume svakih 5000 do 7000 milja [18].

Održavanje kočnica važno je za električna vozila zbog korištenja regenerativnog kočenja, koje pomaže u punjenju baterije tijekom usporavanja vozila. To rezultira manjim trošenjem i habanjem EV kočnica u usporedbi s tradicionalnim kočnicama. Usprkos tome, i dalje je bitno redovito provjeravati kočioni sustav kako bi se osigurala ispravna funkcionalnost.

Održavanje rashladnog sustava važno je za električna vozila, budući da ona ovise o održavanju optimalne temperature za svoje baterije i druge komponente. Osiguravanje ispravnog rada rashladnog sustava ključno je za sprječavanje oštećenja baterije i drugih vitalnih dijelova. Redovita provjera i održavanje rashladnog sustava pridonose njegovoj dugovječnosti i učinkovitosti.

Održavanje električnog sustava ključno je za električna vozila te je važno osigurati njegovu ispravnu funkcionalnost. Redovite provjere električnog sustava korisne su u prepoznavanju problema i sprječavanju potencijalnih problema. Osim toga, važno je održavati električne komponente čistima i zaštićenima od korozije.

6.3.Izazovi u održavanju električnih vozila

Najvažniji problem u održavanju novih energetske vozila i dalje je problem baterije. Električna vozila imaju jedinstvene komponente za čije održavanje su potrebne posebne vještine i obuka. Na primjer, visokonaponski akumulator zahtjeva specijaliziranu obuku za sigurno rukovanje. To znači da nemaju svi mehaničari potrebne vještine za održavanje električnih vozila, zbog čega je teško pronaći kvalificirane stručnjake za servisiranje ovih vozila.

Visokonaponska baterija također je kritična komponenta električnih vozila i jedan je od najskupljih dijelova za zamjenu. Iako su baterije dizajnirane da traju mnogo godina, na kraju će ih trebati zamijeniti, što može biti značajan trošak [17].

U isto vrijeme, električna vozila su tehnološki naprednija od tradicionalnih benzinskih vozila, što održavanje čini složenijim. Komponente visoke tehnologije, kao što je sustav upravljanja baterijom, zahtijevaju specijaliziranu dijagnostičku opremu za prepoznavanje problema. Ova složenost također može otežati vlasnicima da sami obavljaju osnovne zadatke održavanja, što dovodi do povećanog oslanjanja na mehaničare.

Štoviše, složenost tehnologije uključene u električna vozila također može predstavljati izazov za mehaničare i tehničare. Komponente visoke tehnologije, kao što je sustav upravljanja baterijom, zahtijevaju specijaliziranu dijagnostičku opremu za prepoznavanje problema. To tradicionalnim mehaničarima otežava dijagnosticiranje i popravak električnih vozila bez potrebne obuke i opreme [17].

Još jedno pitanje na koje ljudi trebaju obratiti pozornost je da budući da su električna vozila još uvijek relativno nova tehnologija, dostupnost dijelova može biti ograničena. To može otežati nabavu zamjenskih dijelova kada su potrebni, što dovodi do duljih vremena popravka i povećanih troškova [17].

6.4. Prednosti održavanja električnih vozila

Pravilno održavanje EV-a može poboljšati njegove performanse. Redoviti pregledi i zamjene guma, kočnica i akumulatora mogu osigurati da vozilo radi na najboljoj razini, a također može produljiti životni vijek vozila. Pravilno održavanje također može dovesti do uštede troškova [17]. Električna vozila zahtijevaju manje održavanja od tradicionalnih benzinskih vozila, ali redovito održavanje može dugoročno spriječiti skupe popravke.

Osim toga, dobro održavano električno vozilo može imati dulji životni vijek, smanjujući potrebu za čestim zamjenama vozila. Iz sigurnosne perspektive, pravilno održavanje ključno je za sigurnost vozača i putnika. Električna vozila imaju jedinstvene komponente koje zahtijevaju specijalizirano održavanje, poput visokonaponske baterije. Redovito održavanje može osigurati siguran rad ovih komponenti i spriječiti potencijalne opasnosti. U međuvremenu, električna vozila već su ekološki prihvatljiva, ali pravilno održavanje može dodatno smanjiti njihov utjecaj na okoliš.

Redovito održavanje može spriječiti curenje, smanjiti emisije i osigurati maksimalnu učinkovitost vozila. To može dovesti do smanjenja emisija stakleničkih plinova i pozitivnog utjecaja na okoliš. Kako sve više i više ljudi prelazi na električna vozila, važno je razumjeti važnost redovitog održavanja kako bi ta vozila funkcionirala u najboljem redu.

Održavanje novih energetskih vozila (EV) od iznimne je važnosti za njihovu dugovječnost, učinkovitost i sigurnost njihovih vlasnika. Iako električna vozila zahtijevaju manje održavanja u

usporedbi s tradicionalnim vozilima s motorom s unutarnjim izgaranjem, njihove jedinstvene komponente i napredna tehnologija predstavljaju nove izazove u praksi održavanja. Jedan od ključnih izazova u održavanju električnih vozila je visokonaponska baterija, koja zahtijeva posebne vještine i obuku za sigurno rukovanje [19].

Dostupnost kvalificiranih stručnjaka s potrebnim stručnim znanjem i dalje je ograničena, zbog čega je neophodno razviti specijalizirane programe osposobljavanja za rješavanje nedostataka u znanju i vještinama. Osim toga, povećanje dostupnosti dijelova za EV i poboljšanje tehnologije baterija može poboljšati učinkovitost popravka, smanjiti troškove i minimizirati troškove zamjene. Jednostavni vodiči za održavanje mogu osposobiti vlasnike električnih vozila da sami obavljaju osnovne zadatke održavanja. Inicijative kao što je Tuhu's Car Care Workshop Shop Service Standardization Evaluation System daje jasne smjernice i poboljšava standarde usluga, osiguravajući kvalitetne prakse održavanja [19].

Nadalje, razvoj i širenje infrastrukture za punjenje igraju ključnu ulogu u prevladavanju tjeskobe oko dometa za vlasnike električnih vozila. Trebalo bi uspostaviti stambene, poslovne, javne i brze punionice kako bi se vlasnicima električnih vozila pružile praktične i pristupačne mogućnosti punjenja. Pravilno održavanje ne samo da poboljšava performanse i dugovječnost električnih vozila, već također pridonosi uštedi troškova i koristi za okoliš.

Redovito održavanje osigurava optimalno funkcioniranje, smanjuje emisije i povećava sigurnost. Kako popularnost električnih vozila nastavlja rasti, bitno je prepoznati važnost specijaliziranih praksi održavanja i ulagati u obuku, infrastrukturu i tehnološki napredak kako bi se podržala održiva budućnost prijevoza.

7. ZAKLJUČAK

Pogonski motori i sustavi upravljanja u električnim vozilima (EV) ključni su u oblikovanju performansi, učinkovitosti i cjelokupnog doživljaja vožnje ovih modernih čuda. Dok se svijet postupno kreće prema održivom prijevozu, razumijevanje zamršenosti ovih komponenti ključno je za razumijevanje načina na koji električna vozila funkcioniraju i tehnološkog napretka koji ih gura naprijed.

Pogonski motori u električnim vozilima dolaze u različitim vrstama, a svaki ima svoje različite prednosti i izazove. Indukcijski motori (IM), na primjer, koriste elektromagnetsku indukciju za stvaranje gibanja. Ovi motori, sa statorom i rotorom, poznati su zbog svoje robusnosti, pouzdanosti i relativno niske cijene. Sinkroni motori s trajnim magnetima (PMSM) još su jedna prevladavajuća vrsta u električnim vozilima. Ovi motori koriste permanentne magnete ugrađene u rotor, koji su sinkronizirani s rotirajućim magnetskim poljem statora. Visoka učinkovitost i kompaktna veličina PMSM-a čine ih idealnima za električna vozila, pružajući izvrsne performanse pri različitim brzinama i opterećenjima. Bez obzira na to, oslanjanje na magnete rijetkih zemalja povećava troškove i izaziva zabrinutost oko održivosti opskrbe materijalom.

Istosmjerni motori bez četkica (BLDC) dijele sličnosti s PMSM-ovima, ali obično koriste elektroničku komutaciju umjesto mehaničkih četkica. Ovaj dizajn daje visoku učinkovitost, pouzdanost i male zahtjeve za održavanjem, uz izvrsnu kontrolu brzine. Međutim, složenost njihovih kontrolnih sustava može biti nedostatak.

Sklopno reluktantni motori (SRM) predstavljaju drugu opciju, koju karakterizira njihov jednostavan i robusan dizajn. Ovi motori rade prebacivanjem magnetskog polja statora kako bi se polovi rotora poravnali s polovima statora.

Srce pogonskog sustava EV-a je kontroler motora, koji upravlja isporukom energije od baterije do motora, upravlja brzinom, momentom i ukupnim performansama. Kontroleri motora obično obuhvaćaju mikrokontroler ili digitalni procesor signala (DSP), energetska elektroniku (invertere), senzore i sofisticirane softverske algoritme. Kontrola usmjerena na polje (FOC) i izravna kontrola momenta (DTC) dvije su uobičajene metode.

Još jedna bitna komponenta je sustav upravljanja baterijom (BMS), koji osigurava siguran i učinkovit rad baterije. BMS nadzire napon, temperaturu i stanje napunjenosti (SOC), sprječavajući prekomjerno punjenje ili duboko pražnjenje, što bi moglo degradirati ili oštetiti bateriju. Usklađujući napunjenost između pojedinačnih ćelija, BMS maksimizira životni vijek i performanse baterije, što je ključno za dugovječnost i pouzdanost EV-a.

Inverteri također igraju značajnu ulogu, pretvarajući istosmjernu struju iz baterije u izmjeničnu struju potrebnu elektromotoru. Pretvarači izvora napona (VSI) najčešći su, kontroliraju napon i frekvenciju za upravljanje brzinom i momentom motora. Pretvarači izvora struje (CSI), iako manje uobičajeni, izravno kontroliraju struju i koriste se u nekim aplikacijama visokih performansi. Napredne strategije upravljanja poboljšavaju funkcionalnost i učinkovitost električnih vozila. Regenerativno kočenje, na primjer, pretvara kinetičku energiju natrag u

električnu energiju tijekom kočenja i pohranjuje je u bateriju. Ovo ne samo da povećava ukupnu učinkovitost, već i proširuje domet vožnje vozila.

Unatoč ovim naprecima, izazovi ostaju. Upravljanje toplinom je ključno jer je održavanje optimalne radne temperature za motore i kontrolere neophodno kako bi se spriječilo pregrijavanje i osigurala pouzdanost. Troškovi i dostupnost materijala, posebice elemenata rijetke zemlje za magnete, predstavljaju još jedan značajan izazov. Dodatno, besprijekorna integracija motora i upravljačkih sustava s drugim sustavima vozila ključna je za optimalne performanse i korisničko iskustvo.

Pogonski motori i sustavi upravljanja u električnim vozilima predvodnici su tehnoloških inovacija, pokrećući prijelaz na održivi prijevoz. Kroz kontinuirani napredak i rješavanje postojećih izazova, ove će komponente igrati ključnu ulogu u oblikovanju budućnosti mobilnosti, čineći električna vozila učinkovitijima, pouzdanijima i dostupnijima široj publici.

LITERATURA

- (1).Erjavec, J. (2013). Hybrid, Electric and Fuel – Cell Vehicles. 2nd ed. Delmar Cengage Learning,
- (2).Husain, I. (2003). Electric and Hybrid Vehicles: Design Fundamentals. 1st ed. CRC Press,
- (3).Chan, C.C.; Chau, K.T. (2001). Modern Electric Vehicle Technology. 1st ed. Oxford University Press,
- (4).<https://www.toyota.hr/electrification/hybrid-electric> [Pristupljeno: 15. kolovoza 2024.].
- (5).<https://www.volkswagen.hr/elektricna-vozila/elektricna-vozila> [Pristupljeno: 15. kolovoza 2024.].
- (6).<https://www.nissan.hr/paleta/elektricna-vozila.html> [Pristupljeno: 15. kolovoza 2024.].
- (7).<https://automania.hr/yamaha-je-za-autosalon-tokyo-motor-show-pripremila-pet-elektr-icnih-dvotoch/> [Pristupljeno: 15. kolovoza 2024.].
- (8).Denton T. *Electric and hybrid vehicles*. New York, NY : Routledge, 2016.
- (9).<https://www.bmw.hr/hr/electric-cars/plug-in-hibrid.html> [Pristupljeno: 20. kolovoza 2024.].
- (10). Ehsani, M., Gao, Y., Gay, E. S., Emadi, A. (2004). Modern electric, hybrid, and fuel cell vehicles
- (11). Alanazi, F. (2024). Electric Vehicles: Benefits, Challenges, and Potential Solutions for Widespread Adaptation, *Applied Sciences* 13(10), str.6-16
- (12). Cui, Y., Liu, J., Cong, B., Han, X., Yin, S. (2022). Characterization and assessment of fire evolution process of electric vehicles placed in parallel. *Process Saf. Environ. Prot.* 2022, 166, str. 524–534.
- (13). <https://www.electricalclassroom.com/parts-of-a-motor/> [Pristupljeno: 20. kolovoza 2024.].
- (14). <https://www.glas.ba/2017/04/28/tesla-najavljuje-nove-punionice-za-elektro-automobile-u-regiji/> [Pristupljeno: 20. kolovoza 2024.].
- (15). <https://epunjaci.hr/2021/10/14/kako-sigurno-napuniti-elektricni-automobil-kod-kuce/> [Pristupljeno: 20. kolovoza 2024.].
- (16). Liu, H., Wang, D.Z.W. (2019). Locating multiple types of charging facilities for battery electric vehicles. *Transp. Res. Part B Methodol.* 103, str. 30–55.
- (17). Cai, W. (2021). Review and development of electric motor systems and electric powertrains for new energy vehicles. *Automotive Innovation* 4, str. 3-22.
- (18). Gao, J. (2023). Research on the maintenance of new energy vehicles, *Proceedings of the 2023 International Conference on Functional Materials and Civil Engineering*, str.
- (19). Zhang, A., Kang, J.E., Kwon, C. (2017). Incorporating demand dynamics in multi-period capacitated fast charging location planning for electric vehicles. *Transp. Res. Part B Methodol.* 103, str. 5–29

POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz prvog električnog automobila.....	3
Slika 2. Prikaz električnog automobila u Londonu.....	6
Slika 3. Hibridno vozilo - Toyota Prius.....	8
Slika 4. Plug-in hibridno vozilo - VW Golf GTE.....	9
Slika 5. Čisto električno vozilo - Nissan Leaf.....	9
Slika 6. Električni motocikl.....	10
Slika 7. Prikaz VW Golf-e s motorom naprijed i baterijom iza.....	10
Slika 8. Presjek motora.....	11
Slika 9. Osnovni elementi hibridnog električnog vozila.....	12
Slika 10. BMW Plug-in hibrid.....	13
Slika 11. Paralelni hibrid s jednim kvačilom.....	14
Slika 12. Paralelni hibrid s dva kvačila.....	15
Slika 13. Paralelni hibrid s mjenjačem s dvostrukim kvačilom.....	16
Slika 14. Paralelni hibrid s podijeljenom osovinom.....	17
Slika 15. Serijski hibridni sustav.....	18
Slika 16. Serijsko paralelni sustav.....	19
Slika 17. Hibrid s podjelom snage.....	20
Slika 18. Rotor i stator indukcijskog motora.....	23
Slika 19. Shematski prikaz asinkronog motora s kaveznim rotorom.....	24
Slika 20. Shematski prikaz sinkronog motora.....	25
Slika 21. Prikaz momenta i snage različitih motora.....	26
Slika 22. Shematski prikaz elektronički komutiranog motora.....	27
Slika 23. Princip rada DC motora bez četkica.....	28
Slika 24. Prikaz motora koji koristi tri zavojnice ili faze.....	29
Slika 25. Osnovni princip rada SRM motora.....	30
Slika 26. Olovno-kiselinska baterija.....	32
Slika 27. Baterija kod modernih vozila.....	33
Slika 28. Pojednostavljeni prikaz NiCad baterijske ćelije.....	34
Slika 29. Treća generacija Toyotinig NiMH baterija.....	35
Slika 30. Princip rada Litij-ionske baterije.....	36
Slika 31. Javna punionica tvrtke TESLA.....	37
Slika 32. Punjenje vozila na kućnom punjaču.....	38
Slika 33. DC punjenje s brzim punjačem.....	39
Slika 34. Induktivno punjenje.....	40
Slika 35. Metoda zamjene baterija.....	40
Slika 36. Tip 1 priključak.....	41
Slika 37. Tip 2 priključak.....	42
Slika 38. Tip 3 priključak.....	43

Slika 39. Blok električnog vozila koji prikazuje glavne komponente	44
Slika 40. IGBT	46
Slika 41. Senzor pozicije rotora	47
Slika 42. Signali senzora.....	48

POPIS TABLICA

Tablica 1. Komponente upravljanja.....	45
----------------------------------------	----

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je **završni rad**
(vrsta rada)
isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom **Pogonski motori i upravljački sustavi kod električnih vozila**, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

U Zagrebu, 12. 05. 2024.

Student/ica:

Marko Krenančić

(ime i prezime, potpis)