

SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET
Stručni studij elektrotehnike

Završni rad

BEŽIČNO NAPAJANJE KOD ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA

Rijeka, studeni 2015.

Edi Lubiana

0069008849

SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET
Stručni studij elektrotehnike

Završni rad

BEŽIČNO NAPAJANJE KOD ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA

Mentor: doc. dr. sc. Saša Sladić

Rijeka, studeni 2015.

Edi Lubiana

0069008849

SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET
Stručni studij elektrotehnike

IZJAVA

Sukladno članku 10. "Pravilnika o završnom radu, završnom ispitu i završetku stručnih studija" Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, izjavljujem da sam samostalno izradio završni rad prema zadatku za završni rad pod brojem 602-05/15-14/13 (Bežično napajanje kod električnih automobila) uz konzultiranje s mentorom.

Rijeka, studeni 2015.

Edi Lubiana

0069008849

Sadržaj

1	UVOD	2
2	PRIJENOS ELEKTROMAGNETSKOM INDUKCIJOM	4
2.1	Klasični prijenos elektromagnetskom indukcijom.....	4
2.2	Rezonantni prijenos elektromagnetskom indukcijom	5
2.2.1	Djelovanje rezonantnog prijenosa	6
3	ELEKTRIČNI AUTOMOBILI	11
3.1	Razvoj električnih automobila	11
3.2	Prednosti i nedostaci električnih automobila	15
3.3	Tehnologija punjenja električnih automobila	17
3.3.1	Bežično punjenje parkiranih električnih automobila	22
3.3.2	Dinamičko bežično punjenje električnih automobila	24
3.4	Baterije električnih vozila	27
3.4.1	Prednosti litij ionskih baterija u autoindustriji	28
3.4.2	Nedostaci litij ionskih baterija u autoindustriji	29
3.4.3	Strategija punjenja litij ionskih baterija.....	30
4	SIMULACIJA PRETVARAČA.....	34
5	ZAKLJUČAK.....	36
6	POPIS LITERATURE.....	37
6.1	Internetski izvori.....	37
6.2	Slike	40

1 UVOD

Bežični prijenos električne energije je pojam koji se odnosi na prijenos energije od izvora do potrošača bez upotrebe vodiča ili bilo kakve čvrste veze. Radi se o općem pojmu koji objedinjuje različite tehnologije prijenosa od najjednostavnijeg prijenosa elektromagnetskom indukcijom pa sve do složenih prijenosa svjetlosnim valovima uz upotrebu laserskih zraka.

Napretkom tehnologije možemo primjetiti da se svijet oko nas mijenja. Sve je manje žica i kabela koje postepeno zamjenjuje bežična tehnologija: od mobilnih telefona, preko bežičnog interneta i u zadnje vrijeme bežičnih punjača mobitela i malih kućanskih uređaja, [1].

Najjednostavniji oblik takvog prijenosa je prijenos elektromagnetskom indukcijom. Primjer takvog prijenosa bi bio transformator gdje primar i sekundar nisu fizički spojeni, ali se prijenos energije odvija putem elektromagnetskog polja. Kod prijenosa elektromagnetskom indukcijom treba paziti na pozicije predajnika i prijamnika i njihovu udaljenost jer djelotvornost prijenosa ubrzano pada s povećanjem udaljenosti. Ovaj tip prijenosa se koristi za male udaljenosti. U ovu grupu prijenosa spada i rezonantni prijenos koji je u principu poboljšani prijenos elektromagnetskom indukcijom, gdje primarna i sekundarna zavojnica rezoniraju na istoj frekvenciji čime se udaljenost prijenosa povećava i njihova pozicija ne utječe u tolikoj mjeri na djelotvornost prijenosa. Ovime se omogućuje prijenos na srednjim udaljenostima, od nekoliko desetaka cm do nekoliko metara, [2].

Nasuprot tim, relativno jednostavnim tehnologijama bežičnog prijenosa, koriste se sofisticiranije optičke tehnike prijenosa energije uz upotrebu laserskih zraka kojima se šalje energija na udaljeni prijamnik gdje se fotoni pretvaraju u električnu energiju. Učinkovit prijenos energije na velikim udaljenostima je moguć uz ovaj tip prijenosa, ali vrlo složen sustav, odnosno mehanizam za ciljanje i praćenje je potreban za održavanje veze između dvije strane ukoliko one nisu stacionarne. Također, ukoliko se neki objekt nađe između, dolazi do prekida veze te su moguća i oštećenja ako se radi o većim snagama. Dakle, kod ove vrste prijenosa je potrebno osigurati neprekinutu optičku vidljivost. Za velike udaljenosti prijenosa koristi se također i prijenos mikrovalovima uz odgovarajuće antene. Ova vrsta prijenosa ima slične probleme i prednosti kao i prijenos upotrebom lasera. Obje ove tehnike spadaju u prijenos s visokim elektromagnetskim zračenjem i nisu povoljne za široku primjenu, [3].

Inače, ideja prijenosa električne energije bez upotrebe vodiča je stara više od jednog stoljeća. Nikola Tesla je na prijelazu 19. u 20. stoljeće proučavao i eksperimentirao na tom području. Radio je na bežičnom prijenosu energije na velike udaljenosti kako bi doveo električnu energiju u svako kućanstvo širom svijeta koristeći ionosferu. Svoj prvi patent u vezi bežičnog prijenosa energije je patentirao 1891. godine. Patent se odnosio na transformator koji nije imao željeznu jezgru već se prijenos odvijao putem zraka. Prijenos je bio moguć zbog visoke frekvencije na kojoj su rezonirale zavojnice. Možemo slobodno reći da je Nikola Tesla bio začetnik rezonantnog prijenosa energije. Želeći ostvariti svoju ideju, nastavlja proučavati i eksperimentirati u tom smjeru. 1897. godine patentira prve patente u vezi Wardencllyffe tornja ili danas poznatijeg kao Teslinog tornja, [4]. Ideja iza ovog projekta je da se za prijenos energije koristi rezonantna frekvencija u prostoru između Zemljine kore i ionosfere. Tesla je u svojim istraživanjima došao do zaključka da je ta frekvencija oko 8 Hz što je i potvrđeno više od 50 godina kasnije. Ta frekvencija je danas poznata kao Schumannova konstanta i iznosi 7,8 Hz, [5]. Toranj je sagrađen 1901. godine i smatra se da je to bio početak realizacije ideje Nikole Tesle. Projekt je uslijed prestanka financiranja napušten 1906. godine. Nadalje, kako bi se pokrili Teslini dugovi, toranj je rastavljen 1917. u svrhu prikupljanja novca čime je projekt definitivno okončan.

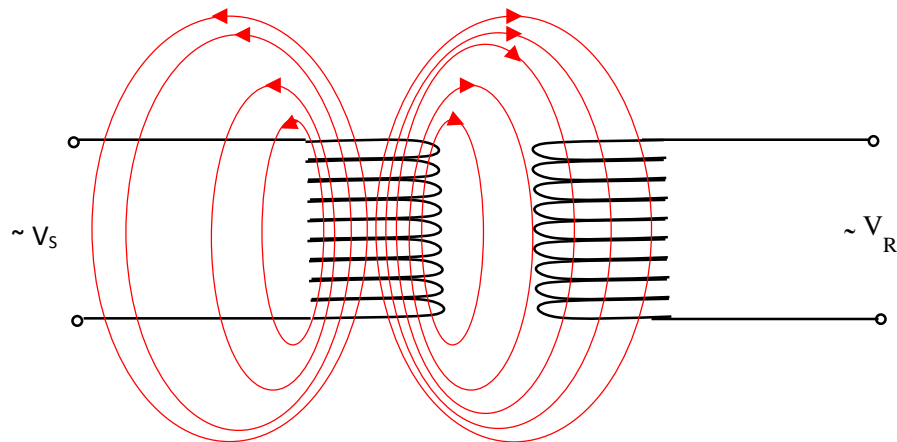
Danas se koristi sve veći broj malih električnih uređaja. U svakodnevnom životu, zanimljiva se čini ideja koja ne bi u tu sliku uključivala toliko žica i kabela. Budući da su to uređaji koji nas okružuju bilo bi dobro da oni ne zrače i da budu potpuno sigurni za svoje

okruženje. Zato je vrlo zanimljiv prijenos elektromagnetskom indukcijom u svakidašnjim prilikama.

Kod bežične tehnologije elektromagnetskom indukcijom možemo uskoro očekivati veliki skok u proizvodnji jer se već kilovati mogu prenijeti na udaljenosti od nekoliko desetaka cm uz visok postotak djelotvornosti prijenosa od preko 90 %, [3].

2 PRIJENOS ELEKTROMAGNETSKOM INDUKCIJOM

2.1 Klasični prijenos elektromagnetskom indukcijom



Slika 1: Ilustracija prijenosa električne energije elektromagnetskom indukcijom

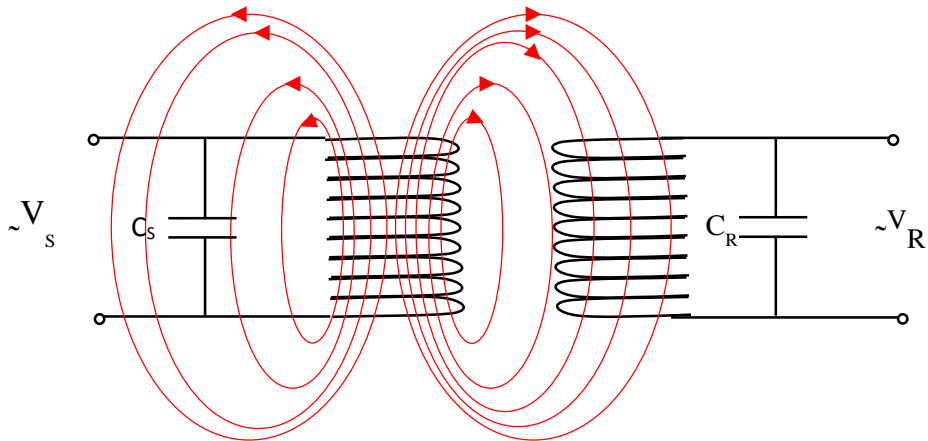
Prijenos elektromagnetskom indukcijom je najjednostavniji način bežičnog prijenosa energije i temelji se na Faradayevom zakonu elektromagnetske indukcije prema kojemu se na krajevima zatvorene vodljive petlje kroz koju prolazi promjenjivi magnetski tok inducira napon koji je proporcionalan brzini promjene toka.

Kod prijenosa elektromagnetskom indukcijom, izmjenično elektromagnetsko polje uzrokovano izmjeničnom strujom kroz zavojnicu u sustavu predajnika, omogućuje da se u zavojnici prijavnika inducira napon. Ovaj efekt se ostvaruje na malim udaljenostima odnosno razmacima. Povećanjem razmaka između primarnog i sekundarnog namota sve veći dio magnetskog polja koje se generirara na primaru se rasipa, odnosno sve manji dio tog polja zahvaća zavoje prijavnika. Djelotvornost kod ovog tipa prijenosa ostaje u zadovoljavajućim granicama samo na vrlo malim udaljenostima prijenosa, [6].

Primjenu ove metode prijenosa energije nalazimo između ostalog kod indukcijjskih ploča na štednjacima, za punjenje baterija električnih četkica i drugih malih mobilnih uređaja koje je dovoljno odložiti na za to predviđeno mjesto kako bi im se baterije počele puniti. Možemo reći da je ova metoda pogodna za upotrebu gdje god se može izbjeći njezin glavni nedostatak opadanja djelotvornosti s povećanjem razmaka prijenosa.

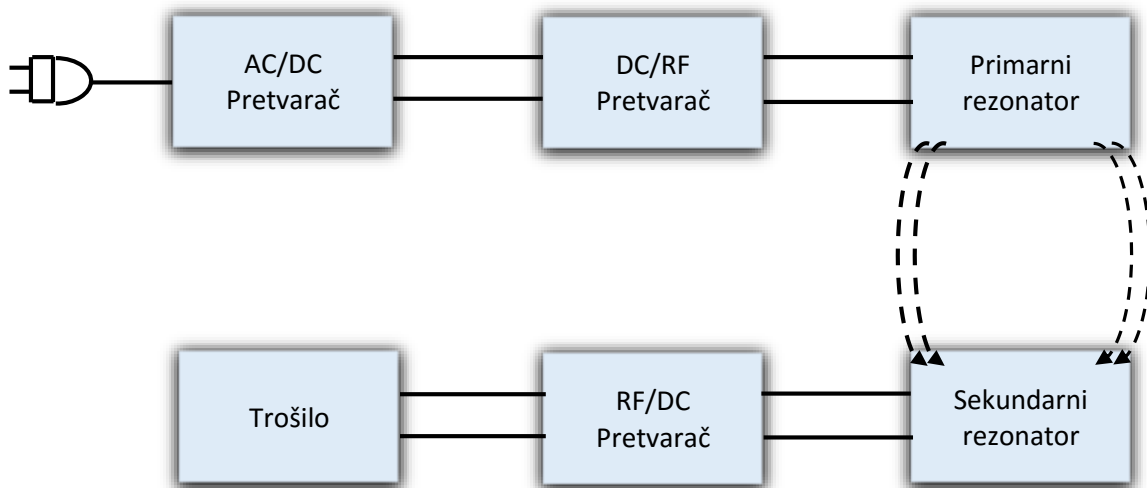
No što ako poželimo prijenos na veće udaljenosti, primjerice nekoliko metara, kao i veću slobodu pozicioniranja predajnika i prijavnika. Grupa znanstvenika sa MIT-a proučavala je razne pristupe rješavanja ova dva glavna problema kod prijenosa elektromagnetskom indukcijom i došli su do zaključka da je trenutno najbolje rješenje korištenje rezonantnog sustava predajnika i prijavnika. Korištenje ovog sustava omogućuje prijenos električne energije na udaljenosti do nekoliko metara, a pozicija predajnika i prijavnika više ne utječe u bitnoj mjeri na djelotvornost prijenosa. Ovakav tip bežičnog prijenosa električne energije se naziva rezonantni bežični prijenos elektromagnetskom indukcijom, [2].

2.2 Rezonantni prijenos elektromagnetskom indukcijom



Slika 2: Ilustracija rezonantnog prijenosa električne energije

Rezonantni prijenos je oblik elektromagnetskog prijenosa između dva rezonantna kruga. Jedan se nalazi u predajniku, a drugi u prijammniku. Ta dva kruga su ugođena na istu rezonantnu frekvenciju, čime se značajno poboljšava prijenos. Dodavanjem kondenzatora u strujni krug sa zavojnicom dobije se rezonator. Uvjet rezonancije je da su reaktancije kondenzatora i zavojnice jednake. Punjenje oscilira između zavojnice, na kojoj se stvara magnetsko polje i kondenzatora, na kojem se stvara električno polje. Suština je u tome što se energija brže prenosi sa rezonatora na rezonator nego što se troši u njemu. Na taj način se povećava djelotvornost prijenosa, a time i doseg prijenosa, [7].



Slika 3: Blok dijagram sustava bežičnog prijenosa električne energije

Krenemo li s lijeva na desno blok dijagrama prikazanog na slici, na početku se nalazi izvor električne energije. To je najčešće utičnica, ali može biti i baterija ili drugi izvor istosmjerne struje. Ukoliko je riječ o izmjeničnom izvoru kao na slici, potrebno je najprije izmjeničnu struju pretvoriti u istosmjernu preko AC/DC pretvarača. Nakon toga se istosmjerni signal pretvara u RF signal (radio frekvencijski signal frekvencije reda veličine MHz-GHz). Riječ je o visoko frekvencijskom valnom obliku kojim se napaja rezonator izvora. Magnetsko polje koje generira rezonator izvora utječe na rezonator prijammnika, pobuđuje ga i na taj način

se RF signal počinje stvarati na rezonatoru prijavnika. RF/DC pretvarač pretvara RF signal u istosmjerni napon koji se koristi za napajanje trošila, [2].

Postavlja se pitanje kakva je djelotvornost ovakvog prijenosa. Djelotvornost cijelog sustava ovisi o djelotvornosti pojedinih dijelova sustava, kao što su djelotvornost elektroničkih komponenti, pretvarača i samog bežičnog prijenosa RF signala. Kod prijenosa većih snaga, primjerice punjenja električnih automobila, postignuta je djelotvornost od početka do kraja („end to end“) preko 90 %. Tako visoka djelotvornost sustava je postignuta zahvaljujući visokim parcijalnim djelotvornostima, 97-98 % i višim, odnosno pažljivim projektiranjem svakog segmenta prijenosa, [3].

Kod malih prijenosnih uređaja, zbog težnje da ti uređaji budu što manji i lakši, često se na račun djelotvornosti smanjuju dimenzije rezonatora i pretvarača, ali svedeno i mali uređaji imaju djelotvornost od oko 80 % i više, [2, 3, 7].

Zanimanje za ovu tehnologiju pokazuju mnogi proizvođači električne opreme zbog nekoliko razloga koji često spadaju u jednu od sljedećih kategorija, [3, 4, 7, 8]:

1. Eliminiranjem potrebe za kabelima ili baterijama uređaji postaju prigodniji i zanimljiviji krajnjim korisnicima.
2. Pozicije prijavnika i predajnika ne utječu u većoj mjeri na prijenos kao kod klasičnog prijenosa elektromagnetskom indukcijom.
3. Ova tehnologija smanjuje potrebu za baterijama. Ekološki gledano ovakvi uređaji su napredniji jer su baterije veliki problem za okoliš, a s druge strane baterije su najskuplji izvori energije.
4. Kod bežičnih uređaja nema potrebe za otvorenim kontaktima pa se na taj način eliminira opasnost od iskrenja. To je velika prednost u okruženjima u kojima iskrenje nije dopušteno.
5. Jedan izvor može napajati više potrošača istovremeno što snižava ukupnu cijenu sustava i povećava njegovu praktičnost.

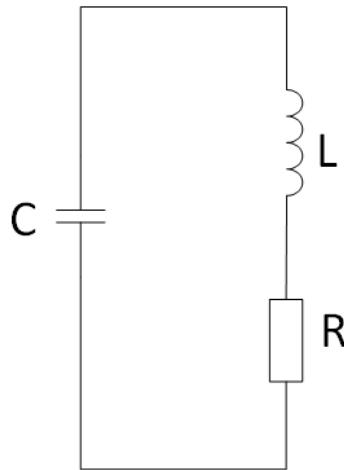
2.2.1 Djelovanje rezonantnog prijenosa

Rezonancija

Rezonancija je fenomen koji se u prirodi javlja u različitim oblicima. Pa tako razlikujemo pojave rezonancije u mehanici, elektromagnetizmu, akustici, kemiji i ostalim granama fizike. Ukoliko je neki titrajni sustav pobuđen od strane nekog drugog sustava koji vibrira na nekoj svojoj frekvenciji, kažemo da se radi o rezonanciji. Amplituda titranja je najveća onda kada su frekvencije tih dvaju sustava jednake.

Frekvencija kod koje se javlja rezonancija kod ova dva sustava se naziva rezonantna frekvencija i pri njoj je amplituda titraja maksimalna. Sustav može rezonirati pri različitim frekvencijama. To su rezonantne frekvencije tog sustava pri kojima se javlja rezonancija. Pri ovim frekvencijama male pobudne oscilacije imaju mogućnost stvaranja većih amplituda oscilacija zato što sustav pohranjuje energiju titranja.

Rezonancija također uključuje izmjenu energije iz jednog oblika u drugi i obratno. Primjerice električne u magnetsku energiju ili kinetičke u potencijalnu. U ovim sustavima je moguća pohrana energije, ako je uložena energija veća od one koja se troši na njima, [3, 9].



Slika 4: Serijski RLC krug

Ponašanje rezonatora se može opisati s dva osnovna parametra, rezonantnom frekvencijom ω_0 i udjelom gubitka rezonatora Γ . Omjer ta dva parametra određuje faktor kvalitete rezonatora Q koji nam govori koliko dobro rezonator pohranjuje energiju, [3].

$$Q = \frac{\omega_0}{2\Gamma} \quad (1)$$

Na prethodnoj shemi (slika 4) prikazan je elektromagnetski rezonator koji se sastoji od kapaciteta C , induktiviteta L i otpora R . U ovom krugu energija oscilira na rezonantnoj frekvenciji ω_0 između induktiviteta (energije pohranjene u magnetskom polju) i kapaciteta (energije pohranjene u električnom polju) te se disipira na otporu. Rezonantnu frekvenciju ω_0 i faktor kvalitete Q za ovaj serijski RLC krug se računa po sljedećim izrazima, [3]:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2)$$

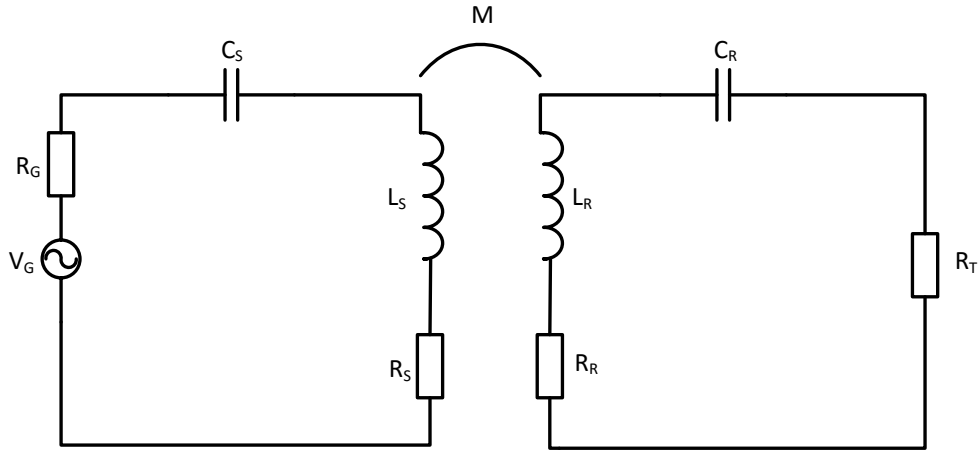
$$Q = \frac{\omega_0}{2\Gamma} = \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot \frac{1}{R} = \frac{\omega_0 L}{R} \quad (3)$$

Iz prethodnog izraza možemo primijetiti da faktor kvalitete Q raste smanjivanjem gubitaka Γ u krugu, odnosno smanjivanjem otpora R .

Kod bežičnog rezonantnog prijenosa potrebno je da faktor kvalitete Q rezonatora bude što veći kako bi se što djelotvornije prenosila energija. Visokokvalitetni elektromagnetni rezonatori imaju relativno usko frekvencijsko područje u kojem rezoniraju, te su načinjeni od komponenti koje imaju male parazitske vrijednosti kako bi gubici bili što manji, [3].

Upareni rezonatori

Ako su dva rezonatora pozicionirana tako da djeluju jedan na drugog otvara se mogućnost da oni izmjenjuju energiju. Djelotvornost ove izmjene energije ovisi o karakterističnim parametrima svakog rezonatora, ali i faktoru magnetske veze k . Način djelovanja uparenih rezonatora se može objasniti pomoću sljedeće sheme:



Slika 5: Sustav uparenih rezonatora

Na shemi su vidljivi izvor sinusnog oblika amplitude V_G i unutarnjeg otpora R_G . L_S i L_R predstavljaju induktivitete zavojnica rezonatora i oni djeluju jedan na drugoga međuinduktivitetom M , [3, 6].

$$M = k\sqrt{L_S L_D} \quad (4)$$

Svakoj zavojnici su u seriju dodani kondenzatori kapaciteta C_S i C_R koji omogućuju rezonanciju. R_S i R_R predstavljaju parazitne otpore zavojnica i kondenzatora primarnog i sekundarnog kruga. Trošilo je označeno sa R_T .

Analiza i proračun ovog strujnog kruga daje nam omjer snage koja se dobije na trošilu kada primar i sekundar ne rezoniraju P_T i maksimalne snage dostupne sa izvora $P_{G_{MAX}}$ kada oni rezoniraju na frekvenciji ω ,

$$\frac{P_T}{P_{G_{MAX}}} = \frac{4\delta^2 \frac{R_G R_T}{R_S R_R}}{\left[\left(1 + \frac{R_G}{R_S}\right)\left(1 + \frac{R_T}{R_R}\right) + \delta^2\right]^2} \quad (5)$$

gdje je

$$\delta = \frac{\omega M}{\sqrt{R_S R_R}} = \frac{k}{\sqrt{\Gamma_S \Gamma_R}} = k\sqrt{Q_S Q_R} \quad (6)$$

ocjena sposobnosti ovog sustava. Ona označava performanse ovog sustava u odnosu na alternativu bez rezonancije, [3].

Postoji mogućnost odabira izvora i otpora tereta koji daju najbolje performanse sustava. Druga mogućnost je korištenje IMN sklopa (eng. *impedance matching network*) koji usklađuje impedancije primara i sekundara.

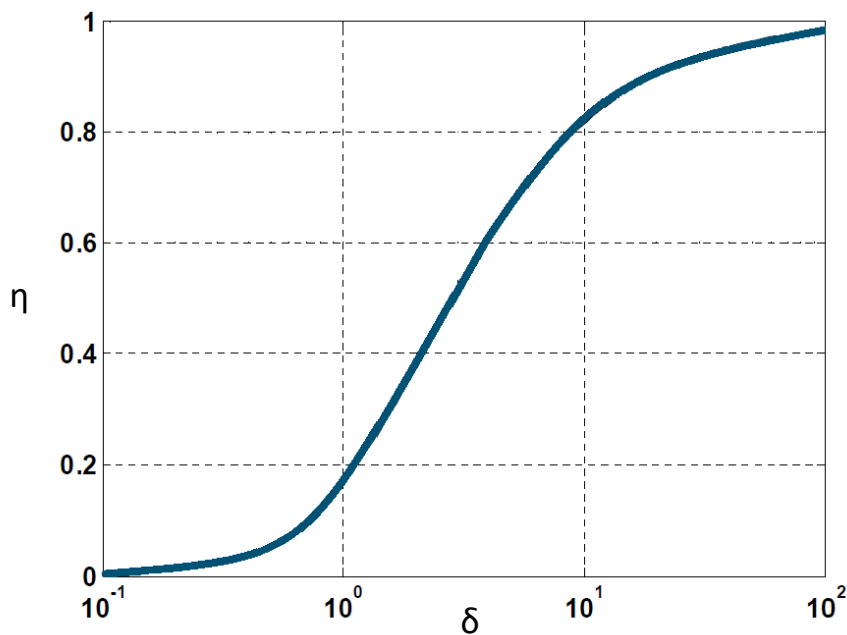
Kada se postigne da vrijedi

$$\frac{R_G}{R_S} = \frac{R_T}{R_R} = \sqrt{1 + \delta^2} \quad (7)$$

djelotvornost prijenosa je maksimalna i dana je sljedećom formulom

$$\eta_{opt} = \frac{\delta^2}{(1 + \sqrt{1 + \delta^2})^2} \quad (8)$$

Sljedeći graf prikazuje da je djelotvornost visoka kod sustava sa visokim vrijednostima ocjene sposobnosti δ .



Slika 6: Ovisnost djelotvornosti η o ocjeni sposobnosti δ

Iz grafa možemo zaključiti da djelotvornost η ovisi samo o ocjeni sposobnosti δ koji se može zapisati u obliku

$$\delta = \frac{\omega M}{\sqrt{R_S R_R}} = k \sqrt{Q_S Q_R} \quad (9)$$

koji nam pokazuje odnos između faktora magnetske veze k i faktora kvalitete neopterećenih rezonatora Q_S i Q_R , [3].

Uz poznate vrijednosti ovih parametara, upotrebom formula (8) i (9), može se odrediti djelotvornost sustava za određenu primjenu. To govori koliko su ovi parametri bitni za proračun. Faktor magnetske veze k je parametar bez mjerne jedinice koji nam pokazuje koliki se dio magnetskog toka prenosi s primara na sekundar. Ima vrijednost od 0 do 1, odnosno 0 do 100%. Sustavi bežičnog prijenosa temeljeni na „klasičnoj“ elektromagnetskoj indukciji obično su dizajnirani za više vrijednosti ovog parametra i kao rezultat toga zahtjevaju precizno pozicioniranje predajnika i prijammnika. Spomenute jednadžbe (8) i (9) pokazuju da korištenje rezonatora sa visokim faktorom kvalitete Q povisuje djelotvornost prijenosa kod takvih uređaja,

ali ono bitnije je što omogućuju djelotvoran prijenos i u slučajevima kada faktor magnetske veze ima niže vrijednosti od uobičajenih. To omogućuje veću slobodu pozicioniranja predajnika i prijavnika, [3].

3 ELEKTRIČNI AUTOMOBILI

Električni automobil je automobil čiji je pogonski stroj električni. Elektromotor kod električnog automobila za svoj rad koristi električnu energiju pohranjenu u baterijama koje se nalaze u automobilu.

3.1 Razvoj električnih automobila

Danas je uvriježeno mišljenje da je razvoj električnih automobila započeo prije 10 ili 20 godina, ali razvoj električnih automobila počinje u prvoj polovici 19. stoljeća, nedugo nakon konstruiranja prvog elektromotora. Prvi model električnog automobila nastaje 1828. godine. Konstruirao ga je mađarski izumitelj Ányos Jedlik koji je ujedno i izumitelj dinama. U narednim godinama nastaju vozila pogonjena prvim elektromotorima. Često se radilo o kočijama koje su bile pogonjene elektromotorom. Među prvim tvorcima takvih vozila spominju se Robert Anderson i Robert Davidson, te Thomas i Emily Davenport koji su prvi patentirali električno vozilo. Riječ je bila o vozilima koja nisu bila ekonomična zbog visoke cijene baterija na bazi cinka koje nisu bile punjive, [10, 11].

1859. godina je vrlo važna za razvoj električnih vozila. Te godine francuski fizičar Gaston Planté je izumio prvi punjivi olovni akumulator. Olovni akumulatori na istoj bazi se koriste i danas za pokretanje motora na unutarnje izgaranje kod klasičnih automobila.

1881. godine francuski znanstvenik Camille Alphonse Faure značajno poboljšava performanse ovih akumulatora, iza čega slijedi njihova industrijska proizvodnja. Ovi akumulatori su omogućili praktičnu primjenu električnih vozila. Iste godine englezi William Ayrton i John Perry su konstruirali električni tricikl. To je bilo prvo vozilo na koje su bile ugrađene električne svjetiljke. Koristilo je olovni akumulator. Doseg ovog vozila je bio od 15 do 40 km. Maksimalna brzina koju je ovo vozilo moglo postići je bila oko 14 km/h.

1884. engleski izumitelj Thomas Parker je konstruirao prvi električni automobil koji je imao praktičnu primjenu zahvaljujući akumulatorima koji su imali viši kapacitet od uobičajenih u to vrijeme. Parker je bio zaslužan za elektrifikaciju Londona kao i dovođenje tramvaja u Liverpool i Birmingham. Do ideje o električnom automobilu ga je dovela zabrinutost i bojazan od zagađenja koja su u to vrijeme stvarali parni strojevi i industrijski dimnjaci Londona.

1894. Louis Antoine Krieger počinje sa proizvodnjom „električnih kočija“ koje su bile opremljene regenerativnim kočnicama čija se energija pohranjivala u baterijama za kasnije korištenje. Iste godine inženjer strojarstva Henry G. Morris i kemičar Pedro G. Salom predstavljaju svoj električni automobil koji je postizao brzinu od oko 25 km/h, a čija proizvodnja i prodaja kreću 1895. godine. Godinu iza toga, 1896., predstavljaju električne dvosjede koji su imali doseg gotovo 50 km. Bili su pogonjeni sa dva elektromotora snage 0,5 ks i koristili su se kao taxi vozila u New Yorku. U to vrijeme je osnovana i kompanija koja je pružala uslugu razmjenjivanja akumulatora kako bi se nadišao problem dosega električnih vozila.

1897. Walter C. Barsey osniva u Londonu električnu taxi službu. Ova vozila su imala nadimak „kolibrići“ zbog tihog zvuka koju su stvarali u vožnji.

1898. Ferdinand Porsche, u svojoj 23. godini, predstavlja svoj prvi automobil pogonjen sa dva električna motora. To je bio prvi električni automobil sa prednjim pogonom. Iste godine je zabilježen prvi brzinski rekord. Count Gaston de Chasseloup-Laubat postiže brzinu od 62,8 km/h sa električnim automobilom pod nazivom Jeantaud.

1899. Camille Jenatzy i Count Gaston se izmjenjuju u brzinskim rekordima i iste godine je prvi put probijena granica od 100 km/h. Jenatzy postiže brzinu od 105,88 km/h sa svojim električnim automobilom pod nazivom „La Jamais Contente“, u prijevodu „Nikad zadovoljan“.



Slika 7: Camile Jenatzy [1]

1900. godine provedena je statistika vozila u SAD-u po kojoj su 38% vozila u to vrijeme činila električna vozila, 40 % vozila je bilo pokretano parnim strojevima, a 22% je bilo pokretano benzinskim motorima.

1902. Porsche predstavlja svoj drugi automobil koji je bio hibrid sa dosegom od preko 60 km. Iste godine Walter Baker postavlja novi svjetski rekord od 167 km/h u svom električnom automobilu pod nazivom „Cestovni torpedo“. Kasnije, sa istim vozilom postiže brzinu od 204 km/h no ta brzina nije službeno zabilježena. Nakon toga gradi još snažniji električni automobil s kojim je doživio nesreću u kojoj je poginulo dvoje gledatelja te se više nikad ne utrkuje. Njegov rekord od 167 km/h neće biti srušen još 64 godine.

1907. predstavljen je Detroit Electric, električni automobil koji je proizveden u 13 000 primjeraka do 1939. godine.

1912. Charles Kettering je predstavio električni starter za benzinske motore. Ironično je što je taj izum značajno naštetio industriji električnih automobila jer su se benzinski motori sada mogli pokretati vrlo lako bez upotrebe ručne poluge, odnosno tzv. kurble. Te je godine ujedno zabilježen najveći broj električnih vozila u SAD-u, čak 38 843 komada.

1913. Henry Ford počinje masovnu proizvodnju svog Modela T na prvoj pokretnoj traci koja ruši cijenu benzinskih automobila čak 2 do 3 puta u odnosu na električne automobile. To je dovelo do toga da je prodaja električnih automobila stala, a time i njihova proizvodnja.

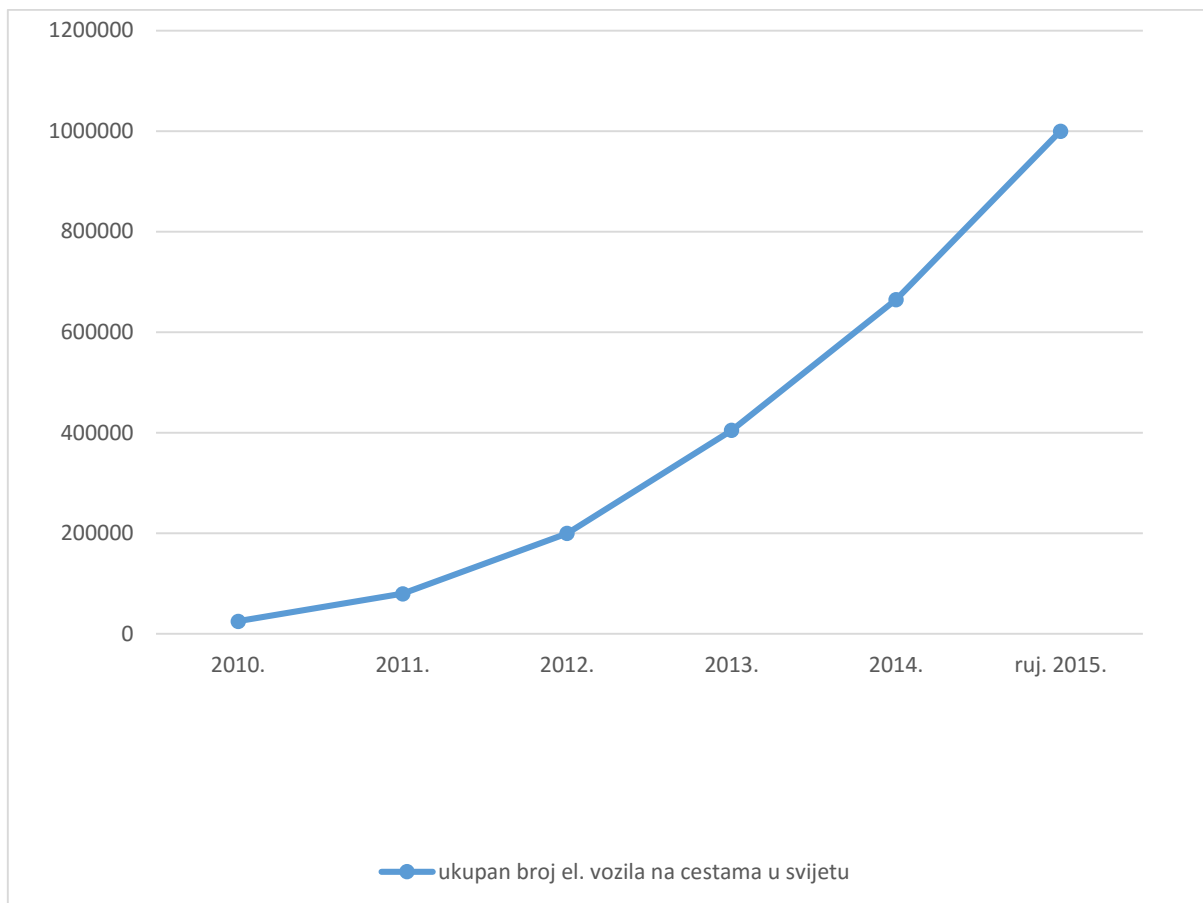
Nakon toga električni automobili nemaju značajnijeg predstavnika sve do 1990. kada General Motors predstavlja svoj koncept GM Impact na auto sajmu u Los Angelesu. Radi se o električnom automobilu za koji je predsjednik GM-a najavio da će biti pušten u prodaju, što se nije desilo sve do 1996. godine kada GM predstavlja model EV1 maksimalne brzine 129 km/h i dosega 257 km. Ovaj električni automobil nije bilo moguće kupiti, već samo koristiti na tzv. leasing. Proizvodio se do 1999. Korisnici su bili vrlo zadovoljni njime, ali po isteku leasing perioda morali su ga vratiti GM-u unatoč željama da ga otkupe. Na taj način su sva vozila povučena sa tržišta i uništena. Ovaj model po svojim performansama bi mogao slobodno parirati današnjim električnim vozilima koja ponovo ulaze na svjetska tržišta, ali očito je bio ispred svog vremena. Drugi proizvođači kao što su Honda, Nissan i Toyota su također u tom razdoblju nudili svoje električne modele pod sličnim ugovorima, a po isteku ugovora i ta vozila su bila uništena.



Slika 8: GM EV1 [2]

2005. godine u američkim kinima se prikazuje dokumentarni film „Who killed electric car?“ koji pojašnjava kako naftni lobiji stoje na putu napretka autoindustrije u tom smjeru. Ovaj film podiže globalnu svijest ljudi, pogotovo bivših leasing korisnika koji se udružuju u koaliciju sa odvjetnicima i zagovarateljima čistog okoliša pod nazivom „Plug in America“. Podizanje svijesti čovječanstva smanjuje utjecaj naftnih kompanija na ovom području i električni automobili ponovo dobivaju momentum, kreće njihov razvoj i u relativno bliskoj budućnosti možemo očekivati da električna vozila ponovo preuzmu svoje mjesto na tronu autoindustrije, [10, 11].

2010. godine je registrirano samo 25 000 električnih automobila na globalnoj razini. To je jako mali broj ako uzmemo u obzir da je 1912., odnosno gotovo 100 godina ranije, samo u SAD-u bilo zabilježeno više od 38 000 električnih vozila. 2011. ta brojka se penje na 80 000 automobila, što predstavlja rast od više od 3 puta. 2012. bilježi 200 000 električnih automobila na svjetskim prometnicama. Slijede 2013. sa 405 000, zatim 2014. sa 665 000 i ove godine probijena je granica od milijun vozila polovicom rujna. Ako se ti podaci prikažu grafički (slika 9), vidimo da je taj rast eksponencijalan. Do 2020. očekuje se više od 20 milijuna električnih automobila na svjetskim prometnicama. Treba napomenuti da ovi brojevi predstavljaju punjive električne automobile. Hibridna vozila nisu tu uključena, [12, 13].



Slika 9: Registrirani električni automobili u svijetu u proteklih nekoliko godina

Danas gotovo svaki proizvođač ima svog predstavnika na ovom području. Nedavno je Volkswagen predstavio svoje električne automobile, modele e-golf i e-up. To više nisu automobili čudnog futurističkog oblika. Izgledaju potpuno identično kao i njihove varijante sa motorima na unutarnje izgaranje.



Slika 10: Volkswagen, model e-up (foto Lubiana)

3.2 Prednosti i nedostaci električnih automobila

Prednosti električnih automobila u odnosu na benzinske i dizelske automobile su značajne. Električni automobili su ekološki najprihvatljivija alternativa vozilima na klasična goriva. Emisija CO₂ kod električnih automobila je jednaka 0. Potpuni prelazak na električni pogon bi imao značajan utjecaj na okoliš ukoliko bi se ta razlika u potrebi električne energije nadomjestila iz obnovljivih izvora energije. Razina buke koju stvaraju električna vozila je zanemariva u odnosu na klasična vozila, što je s jedne strane prednost, a s druge strane predstavlja problem za pješake koji nisu navikli na nečujna vozila. Nadalje, elektromotor koji ih pokreće je u načelu vrlo jednostavan. Ima visoki moment od samog starta. Njegova brzina se da lako regulirati i nema potrebe za mjenjačkom kutijom. Troškovi održavanja električnih automobila su minimalni jer nema ulja ni filtra koje redovno treba mijenjati kao kod klasičnih vozila, [10, 14].



Slika 11: Pogled ispod poklopca motora kod Volkswagenovog modela e-golf (foto Lubiana)

Za korisnike najveća prednost je cijena vožnje. Cijena vožnje je višestruko niža nego kod automobila na motorni pogon. Primjerice, Volkswagenov električni automobil, model e-golf troši u prosjeku 12,7 kWh na 100 km. Cijena električne energije je trenutno 1,05 kn/kWh, odnosno 0,51 kn/kWh u noćnoj tarifi što rezultira cijenom vožnje od 6 do 13 kn na 100 km, [15, 16].

Električna vozila	Klasična vozila
Emisija CO ₂ =0	Staklenički plinovi / zagađenje
Kompanije za distribuciju el. energije	Naftne kompanije
Vrijeme punjenja: do 8 sati	Vrijeme punjenja: nekoliko minuta
Doseg: +/- 150 km	Doseg: 450 km +
Potrošnja: 8-15 kn/100 km	Potrošnja: 40-80 kn/100km

Slika 12: Usporedba električnih i klasičnih vozila [3]

Postavlja se pitanje zašto se tako rijetko viđaju električni automobili na cestama. Ako zanemarimo glavni razlog, naftne lobije i njihov utjecaj na cijelu priču, možemo navesti dva osnovna nedostatka električnih automobila. To su doseg i vrijeme punjenja.

Doseg većine električnih automobila je oko 100 – 150 km. Realno gledajući u svakodnevnom životu većina vozača nema ni potrebe za većim dosegom. Postoje i modeli električnih automobila koji prelaze oko 400 km. Ti automobili su znatno teži zbog većih baterija i cjenovno su nepristupačni jer cijena baterija utječe na cijenu automobila. Cijena baterija je još uvijek visoka iako postoji trend koji pokazuje da se ta cijena iz godine u godinu znatno smanjuje, [10, 14, 15, 17, 18].

Vrijeme punjenja ovisi o snazi punjača. Punjači koji se mogu uključiti u jednofazne utičnice napune prazne baterije za oko 5 i više sati. Na trofaznu utičnicu se mogu priključiti snažniji punjači koji to vrijeme skraćuju na sat i pol do dva. Postoje i stanice za brzo punjenje gdje se baterije mogu napuniti za oko pola sata. No i tih pola sata je bitno duže od par minuta koliko je potrebno za doliti gorivo u rezervoar. Iz ovoga možemo zaključiti da je vrijeme punjenja definitivno najveći nedostatak električnih automobila kod duljih putovanja gdje se sa jednim punjenjem ne može stići do odredišta.

Pad performansi kod temperaturnih ekstrema je još jedan nedostatak električnih automobila. Studija koja je provedena na nekoliko električnih vozila je pokazala pad performansi kod temperaturnih ekstrema. Kod temperatura ispod -7°C zabilježen je pri testiranju pad performansi od čak 57%. Također kod temperatura iznad 40°C zabilježen je pad performansi od 33%, [19]. Da bi se spriječio takav pad performansi većina proizvođača ugrađuje u svoja vozila regulatore topline kako bi se baterije i ostale komponente na čije performanse utječe vanjska temperatura držale u optimalnom temperaturnom rasponu.

3.3 Tehnologija punjenja električnih automobila

Brzih stanica za punjenje na ovim prostorima nema dovoljno (trenutno samo jedna u Hrvatskoj), no radi se na tom problemu. Tesla Motors ubrzano širi svoju mrežu stanica za brzo punjenje koje napune baterije vozila za manje od 30 minuta. U Hrvatskoj je prvu stanicu za brzo punjenje Tesla Motors stavio u pogon 05.10.2015. Nalazi se u Senju i prva je od ukupno pet stanica koje su planirane na području Hrvatske. Lokacije planiranih superpunjača su strateški pozicionirane kako bi se električnim automobilom moglo proputovati cijelom zemljom koristeći samo taj izvor za punjenje. Problem kod Teslinih punjača je što su priključci namijenjeni samo Teslinim vozilima, ali iz Tesla Motorsa predlažu svim proizvođačima da prilagode priključke njihovim normama kako bi svi mogli koristiti njihovu mrežu punionica, [20].



Slika 13: Stanica superpunjača Tesla Motorsa u Senju (foto Lubiana)

Također je bitno napomenuti dobre vijesti iz HEP-a, koji je počeo širiti svoju mrežu „ELEN“ punionica tijekom 2014. godine u sklopu projekta „e-mobilnost Hrvatska“. Planiraju pustiti u pogon 20 punionica do kraja 2015. godine. Radi se o 22 kW jakim punjačima koji napune baterije električnog vozila za 1 do 2 sata, ovisno o vozilu i stupnju ispražnjenosti baterija. Za sada se punjenje ne naplaćuje, ali će se u budućnosti naplaćivati. HEP ima u planu izgraditi 345 punionica ovog tipa do 2020. godine na području Hrvatske. Također, imaju u planu postaviti i brze DC punionice na autoputevima. Ove punionice omogućuju punjenje električnih vozila za 15-30 minuta. Ovim projektom HEP ima namjeru umrežiti cijelu zemlju, [21].

Hrvatski telekom pak razvija svoju mrežu punionica za električna vozila. Također se radi o punionicama raspona snage do 22 kW. Dosad je otvoreno 10 punionica. Naplata će se vršiti putem RFID kartica (od eng. *Radio Frequency Identification*) iako je za sada usluga besplatna, [22].



Slika 14: HT-ova punionica u garaži Zagrad - Rijeka (foto Lubiana)

Uz klasično „plug in“ punjenje u zadnjih nekoliko godina se dosta radi na bežičnom napajanju. Bežično napajanje kod električnih automobila (WEVC – od eng. *wireless electric vehicle charging*) je jednostavno rješenje za punjenje električnih automobila i hibridnih vozila. Iako je ova tehnologija u svom početku zamišljena za punjenje baterija električnih vozila na parkirališnom mjestu, ona ipak otvara vrata mogućnosti punjenja baterija dok su vozila u pokretu. Primjenom tzv. DEVC tehnologije (od eng. *dynamic electric vehicle charging*) vozila će se moći puniti za vrijeme vožnje, a ne samo za vrijeme stajanja, što će bitno smanjiti potrebu za veličinom baterija. Smanjenjem baterija smanjuje se i težina vozila, a ovime i cijena električnog automobila. Što se tiče punjenja parkiranih električnih automobila, ta tehnologija je već razvijena i primjenjuje se, [23, 24, 25]. Punjenje električnih vozila za vrijeme vožnje će se morati još pričekati neko vrijeme, jer je potrebno napraviti velike zahvate na prometnicama. No ni to nije neka daleka budućnost, sudeći po tome da je Highways England (državna kompanija koja upravlja autocestama u Engleskoj) dobila iz državnog proračuna 500 milijuna funti za

razvoj ove tehnologije u sljedećih 5 godina. Radovi bi trebali početi krajem 2015. godine (slika 15), [26].



Slika 15: Projekt kompanije Highways England [4]

Punjenje u vožnji bi pojednostavilo upotrebu električnih vozila. Uz upotrebu ove tehnologije bi se nadišla ograničenja vezana za vijek trajanja baterija, jer bi se one nadopunjavale tijekom vožnje po glavnim prometnicama. Time bi se povećao doseg električnih automobila bez potrebe za zaustavljanjem. Eliminirao bi se i glavni nedostatak, odnosno vrijeme punjenja. Nakon što bi vozilo došlo na željenu destinaciju ne bi bio problem to što bi se baterije tada punile nekoliko sati, [25].

Prema ispitivanjima ljudi koji koriste električne automobile može se zaključiti da se električna vozila pune uglavnom preko noći na privatnim priključcima, a vrlo rijetko na javnim mjestima predviđenim za tu priliku, [27]. Pokazalo se da električna vozila uglavnom kupuju ljudi koji imaju garaže i privatna parking mjesta na kojima mogu napuniti svoje automobile. Da bi se motivirao prelazak sa fosilnih goriva na električnu energiju potrebno je stvoriti infrastrukturu koja bi onda bila dostupnija široj populaciji. Za izvedbu te infrastrukture postoje dvije opcije. Jedna je žična oprema, a druga bežična.

Prednosti bežične opreme u odnosu na žičnu su velike. Bežična oprema se sastoji od bazne jedinice koja je ukomponirana u asfalt na parkirnom mjestu i jedinice na vozilu. Parkiranjem automobila na za to predviđeno mjesto, baterije se počinju puniti. Na taj način je eliminirana opasnost od strujnog udara, vandalizma, oksidacije otvorenih kontakata, a s druge strane korištenje bežične opreme ne može biti jednostavnije, [23, 24].



Slika 16: Punjenje el. automobila žičnom opremom (foto Lubiana)

Zamislamo samo situaciju gdje vlasnik električnog automobila želi napuniti svoje vozilo na ulici za vrijeme jake kiše ili snijega. Korisnik bežične opreme samo parkira svoje vozilo, dok korisnik žične opreme mora povlačiti kabel pod naponom do svog automobila. Postoji i ekonomska prednost bežičnog punjenja. Naime da bi se maksimizirao životni vijek baterija optimalno je da su baterije uvijek pune 40 – 80 %. Stoga je kratka nadopuna baterija korisna kako bi se one održavale u tom rasponu. Teško je vjerovati da će žični korisnici toliko voditi računa o tome i povremeno spajati vozila na punjače dok čekaju nekoga ili obavljaju kupnju i sl., dok bežični korisnici ne moraju razmišljati o tome jer se vozilo, ako je potrebno, puni čim se parkira na za to predviđeno mjesto. Moderna električna vozila su opremljena sofisticiranim sustavima za upravljanje baterijama koji se brinu da se baterije održavaju u tom optimalnom području, [28].



Slika 17: Volkswagenov priključak (foto Lubiana)

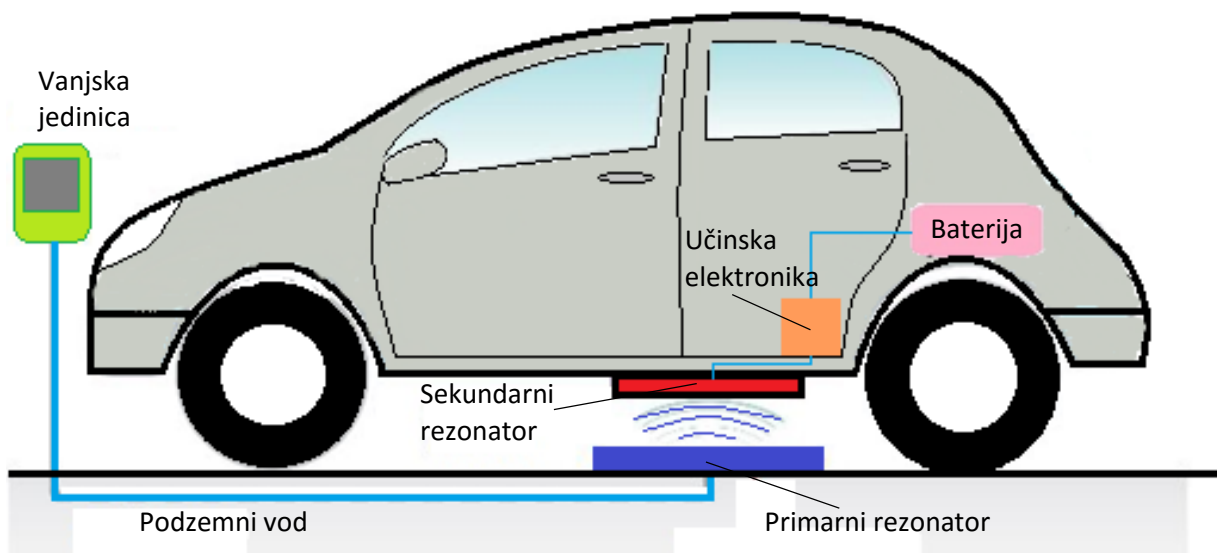
3.3.1 Bežično punjenje parkiranih električnih automobila

Industrija električnih vozila veliku pažnju posvećuje tome da električni automobili imaju normirani priključak za „plug in“ punjenje. Između ostalih, osmišljeni su AC Level 1 i AC Level 2 sustavi za punjenje električnih vozila koji najčešće koriste normirani J1772 priključak. To je bitno jer su kompanije koje proizvode sustave za bežično punjenje električnih automobila prilagodile te sustave kako bi mogle uvesti ovu normu.

Veći je broj tvrtki koje proizvode ovakve sustave, ali se svi baziraju na istoj tehnologiji, rezonantnom prijenosu elektromagnetskom indukcijom. Riječ je o dva elektromagneta, odnosno dvije zavojnice. Primarna jedinica je pozicionirana na tlu ispod vozila, a sekundarna jedinica je ugrađena na donjem dijelu vozila. Struja koja teče kroz primarnu zavojnicu stvara magnetsko polje koje inducira struju u sekundarnoj zavojnici koja je spojena preko pretvarača s baterijama električnog automobila. Da bi se smanjili gubici koji nastaju zbog razmaka između primara i sekundara te njihovih nesavršenih pozicija, primar i sekundar su ugođeni tako da rezoniraju na istoj frekvenciji. Prijenos energije je moguć kroz sve nemetalne materijale pa se primarna jedinica može ugraditi u pod garaže ili parkinga jer asfalt neće remetiti prijenos energije. To je zgodno posebno zbog javnih površina, jer je na taj način ta tehnologija zaštićena od oštećenja koja mogu nastati zbog vandalizma ili nečije nepažnje. Ugradnjom primara u asfalt se povećava razmak prijenosa, ali djelotvornost ostaje u zadovoljavajućim granicama na razmacima do 50 cm što je dovoljno i za više automobila kao što su terenci i SUV vozila, [24].

Glavne komponente bežičnog napajanja električnih vozila (slika 18) su sljedeće:

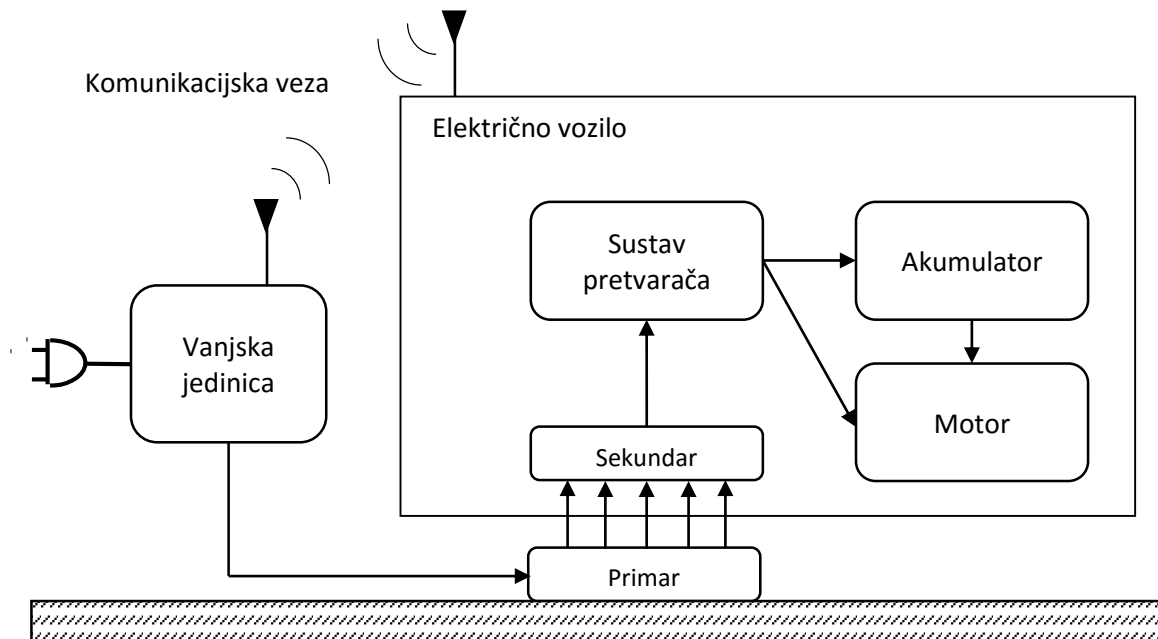
- vanjska jedinica koja je sastavljena od pretvarača, elektronike za prepoznavanje vozila i centralnog procesora za upravljanje sustavom
- primarna i sekundarna zavojnica (rezonatori)
- sustav pretvarača i pripadajuća elektronika na vozilu
- komunikacijska oprema bazirana na bluetooth tehnologiji



Slika 18: Glavne komponente bežičnog napajanja

Neke od tvrtki koje proizvode ovakve sustave su: Witricity, Evatran Plugless i Momentum Dynamics. BMW razvija svoj sustav koji još nije pušten na tržište.

Sustav funkcionira na sljedeći način (slika 19):



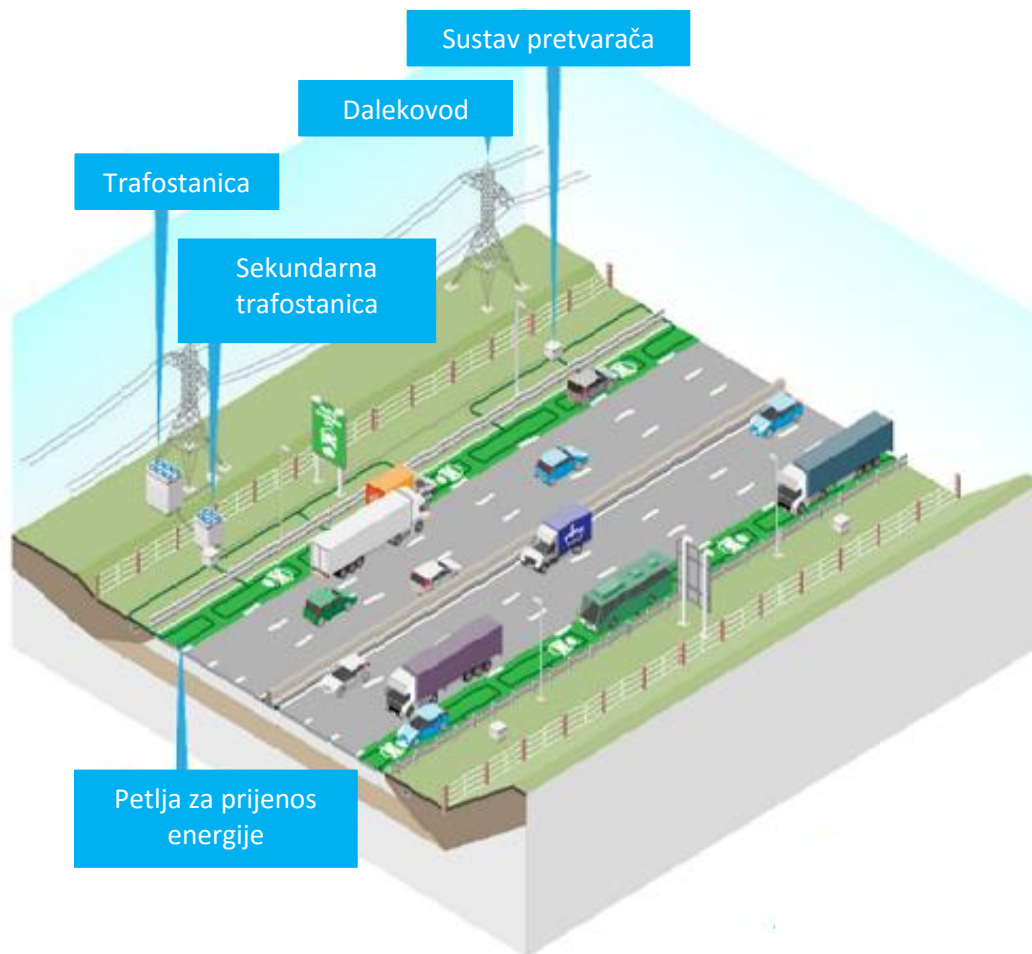
Slika 19: Blok shema sustava za bežično punjenje električnih automobila

Vozilo se parkira na mjesto za punjenje. Vanjska jedinica identificira i prepoznaje vozilo. Ako su primar i sekundar poravnati u granicama tolerancije, prijenos je moguće započeti. Pretvarači u vanjskoj jedinici pretvaraju električnu energiju iz mreže u električnu energiju specifične frekvencije koja se dovodi na primarnu zavojnicu. Tu se stvara promjenjivo magnetsko polje koje u sekundaru inducira napon. Taj napon se pomoću sustava pretvarača i pripadajuće elektronike pretvara u istosmjerni napon za punjenje baterija električnog vozila. Nakon što su baterije pune, vanjska jedinica dobije signal sa vozila i prijenos se prekida, [23, 24].

Glavne odlike bežičnog punjenja parkiranih električnih vozila:

- nema povlačenja i priključivanja kabela
- nemoguće je zaboraviti napuniti vozilo
- prijenos se odvija automatski
- vremenske nepravilnosti ne utječu na prijenos
- nije potrebno precizno pozicioniranje vozila
- visoka djelotvornost prijenosa (do 97%)

3.3.2 Dinamičko bežično punjenje električnih automobila



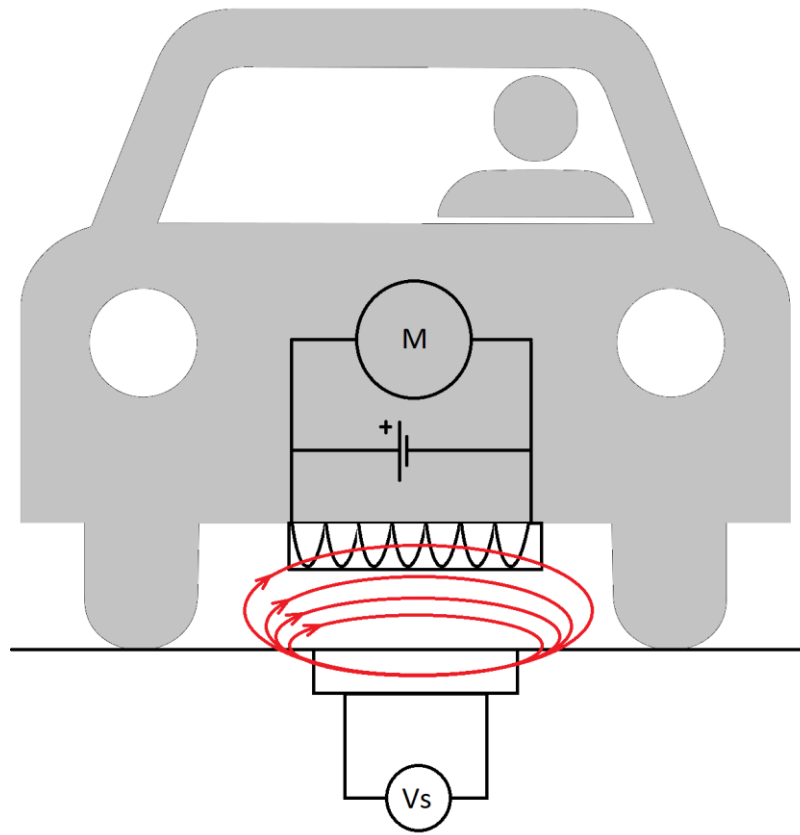
Slika 20: Infrastruktura potrebna za DWPT [5]

Dinamičko bežično punjenje električnih automobila - DWPT (od eng. *Dynamic Wireless Power Transfer*) je pojam koji se odnosi na tehnologiju koja bi omogućavala prijenos energije sa prometnica na električna vozila dok su ona u pokretu. To bi omogućavalo punjenje baterija za vrijeme vožnje. Na taj način bi se riješio jedan od glavnih nedostataka električnih vozila, njihov doseg. Uz dinamičko punjenje bi vozilo na električni pogon teoretski imalo beskonačan doseg po prometnicama koje bi bile opremljene ovakvim sustavom. Cijena izgradnje takve infrastrukture je visoka i to je njen glavni nedostatak. Kod dinamičkog punjenja, prijenos ovisi o brzini kretanja vozila koje se puni, vremenu koje vozilo provede putujući u zoni punjenja i snazi sustava za napajanje, [26].

Dinamičko punjenje se može kategorizirati na dva glavna tipa prijenosa. To su prijenos sa jednostrukim predajnikom i prijenos s više predajnika. Prvi se sastoji od jednog predajnika duž staze za punjenje koji je spojen na izvor električne energije. U ovom slučaju je predajnik daleko veći od prijamnika.

Prijenos po segmentima se sastoji od više predajnika koji djeluju svaki u svom segmentu staze za punjenje čime se povećava djelotvornost prijenosa.

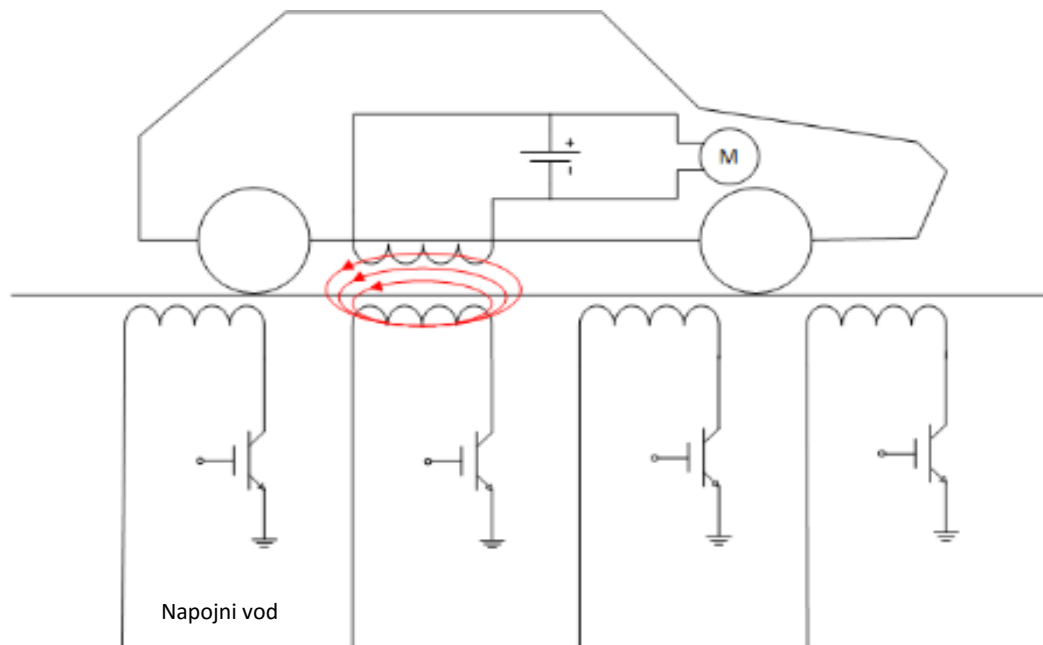
3.3.2.1 Staza za prijenos sa jednostrukim predajnikom



Slika 21: Prijenos sa jednostrukim predajnikom

Staza za prijenos sa jednostrukim predajnikom (slika 21) je jednostavnija za kontroliranje jer se sastoji od samo jednog predajnika koji je spojen na izvor napajanja. Magnetski tok, kojim se prenosi energija kod ovog tipa, je jednak duž cijele staze. Predajnik u ovom slučaju može biti dugačak od nekoliko metara do nekoliko desetaka metara. Elektromagnetsko polje se širi duž cijele staze, a ne samo na dijelu gdje se u trenutku punjenja nalazi prijamnik, odnosno automobil. Veliki je nesrazmjer između predajnika i prijavnika. Prijamnik zahvaća samo mali dio polja koji predajnik generira. Na taj način nastaju gubici koji utječu na djelotvornost prijenosa. To je ujedno i glavni nedostatak ovog tipa prijenosa. Sljedeći problem je taj što duž staze je potrebno ugraditi kompenzacijske kondenzatore kako bi kompenzirali veliki induktivitet koji se stvara na predajniku, odnosno primarnoj zavojnici, [25].

3.3.2.2 Staza za prijenos sa segmentiranim predajnikom



Slika 22: Prijenos sa segmentiranim predajnikom

Segmentni prijenos (slika 22) eliminira nepotrebno rasipanje magnetskog toka, kao i kompenzacijske probleme s kojima se suočava prijenos sa jednostrukim predajnikom. No kod ovog prijenosa se javljaju neki drugi izazovi. Potrebno je da sustav prepozna poziciju prijatelja, odnosno automobila, kako bi se uključivao odgovarajući predajnik, dok bi ostali predajnici duž staze bili ugašeni. Također potrebno je posvetiti pažnju o razmaku zavojnica, odnosno predajnika. Taj razmak mora biti optimalan. Ukoliko su predajnici previše razmaknuti jedan od drugoga, punjenje automobila neće biti stalno već isprekidano što smanjuje djelotvornost prijenosa. Suprotno tome, ako su predajnici nedovoljno razmaknuti elektromagnetska polja koja se na njima stvaraju će utjecati jedno na drugo, inducirati struje suprotnog smjera i stvarati gubitke. Zaseban sustav predajnika za svaki segment diže cijenu čitavog sustava. Svaki predajnik može biti spojen na izvor preko vlastitog pretvarača ili u drugom slučaju više predajnika može biti spojeno na isti pretvarač. I u jednom i u drugom slučaju postoji problem upravljanja predajnicima na što treba paziti prilikom projektiranja sustava. Cilj je da se energija ne rasipa nepotrebno, odnosno da se predajnik uključi onda kada se prijatelj na automobilu nađe u području djelovanja predajnika, [29, 30].

3.4 Baterije električnih vozila

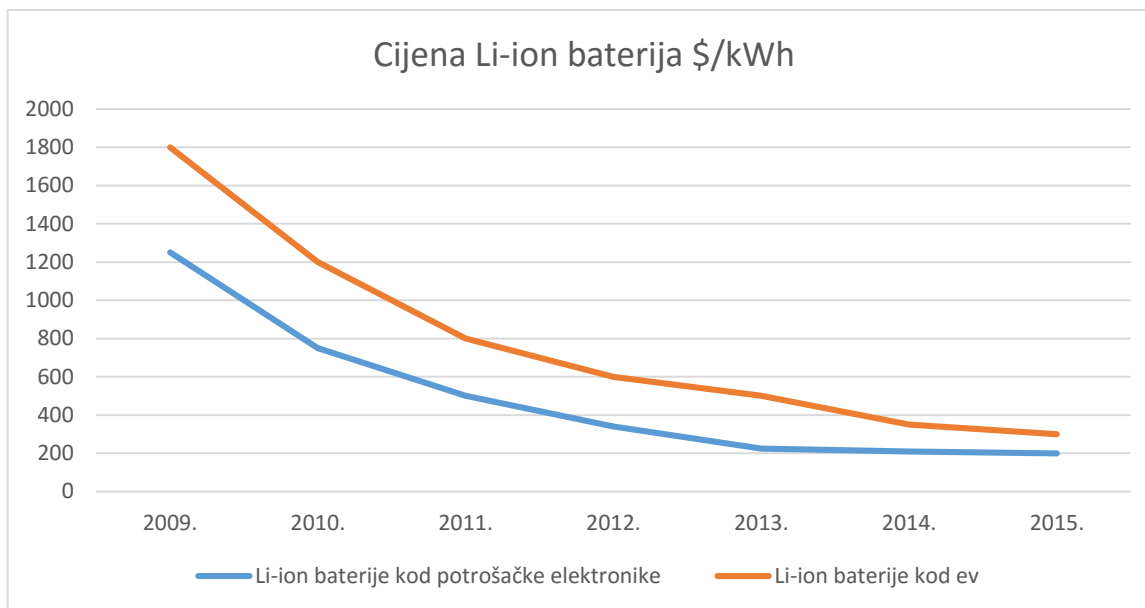
Bateriju kod električnih automobila i hibrida tvori više baterijskih članaka koji su međusobno povezani. Paralelni spoj baterijskih članaka formira baterijski blok koji zadovoljava potrebe višeg kapaciteta, a serijskim spojem baterijskih članaka ili blokova se zadovoljavaju potrebe višeg napona. Svaki članak se međusobno malo razlikuje zbog nesavršene proizvodnje i malih različitosti u kemijskom sastavu. Kod serijski spojenih članaka, kroz njih teče jednaka struja, ali na njihovim izvodima mogu biti različiti naponi. Prilikom punjenja pad kapaciteta nekog od članaka može rezultirati pregrijavanjem ukoliko članak dođe do svog maksimuma napunjenosti prebrzo u odnosu na druge članke. Drugim riječima, dok se ostali članci napune na puni kapacitet, ovaj članak će pretrpiti štetu od prepunjenja. Slično tome, najslabiji članak će se najprije isprazniti prilikom pražnjenja baterije, [28, 31, 32].

Dakle, kad se baterija sastoji od više članaka ili blokova članaka serijski spojenih bit će podložnija višoj stopi kvarova nego što je to slučaj kod svakog članka zasebno. Da bi se smanjio ovaj učinak i produljio vijek baterije potreban je učinkovit mehanizam koji će izjednačavati napunjenost pojedinih članaka kolikogod je to moguće. Tu ulogu ima sustav za upravljanje baterijama, tzv. BMS sustav (od eng. *Battery Management System*) o kojem će biti više riječi kasnije, [31].

Važnost baterija kod električnih vozila je potvrđena kroz njihovu povijest. Prvi komercijalni električni automobili su se počeli pojavljivati na prometnicama nedugo nakon izuma prvih punjivih baterija na bazi olova, 1859. godine. Prve godine 20. stoljeća bile su zlatno doba električnih automobila. U tom vremenu električnih vozila je bilo duplo više od vozila koja su bila pogonjena benzinskim motorima. No, električna vozila su gotovo nestala i prepustila tržište vozilima sa motorima na unutarnje izgaranje do 1920. godine. Razlog za to su bile upravo baterije. Baterije su bile te zbog kojih su ta vozila bila teška, imala su mali doseg, baterije su se dugo punile te im je vijek trajanja bio kratak, a pored svega toga cjenovno su bile nepristupačne, [10, 11].

Baterije električnih vozila se razlikuju od onih koje se koriste u malim prijenosnim uređajima po tome što moraju moći podnijeti velike snage (reda veličine 100 i više kW), te moraju imati veliki kapacitet akumulirane energije (do nekoliko desetaka kWh). Uz to moraju biti prihvatljivih dimenzija, težine i naravno prihvatljive cijene, [31]. Sa tim smjernicama su pokrenuta istraživanja i investicije kako bi se unaprijedila baterijska tehnologija u nadolazećem vremenu.

Budući da su baterije najskuplja komponenta električnih automobila, njihova cijena najviše utječe i na cijenu krajnjeg proizvoda. Prosječna cijena baterija koje se koriste u te svrhe je od 2009. pala sa prosječnih 1800 \$/kWh na danšnjih ispod 300 \$/kWh. Očekuje se daljnji pad cijena u budućnosti što će se pozitivno odraziti na cijenu vozila ovoga tipa. Značajniji porast prodaje električnih vozila u odnosu na klasična vozila se očekuje kada cijena baterija padne na oko 100 \$/kWh, [33, 34].



Slika 23: Cijenovna pristupačnost litij ionskih baterija tijekom proteklih godina

Danas se kod električnih automobila uglavnom koriste litij ionske (*Li-ion*) baterije koje su zbog svojih prednosti preuzele tu ulogu od nikal metal hidridnih (*NiMH*). Litij ionske baterije su široko poznate zbog svoje upotrebe u mobilnim uređajima, laptopima i drugim prijenosnim uređajima.

3.4.1 Prednosti litij ionskih baterija u autoindustriji

Litij ionske baterije se koriste u autoindustriji zbog svojih prednosti u odnosu na baterije drugog tipa:

- Visoka gustoća energije i snage - ove baterije imaju gustoću energije od 100 do 200 Wh/kg za razliku od NiMH baterija čija je gustoća 30 – 80 Wh/kg.
- Visoka djelotvornost u ciklusu punjenja i pražnjenja – zadržavaju konstantni napon kroz 80-90% krivulje pražnjenja.
- Veliki broj ciklusa punjenja/pražnjenja – od nekoliko stotina do par tisuća ciklusa.
- Odlikuje ih niska razina samopražnjenja.
- Nema memorijskog učinka – nije potrebno u potpunosti isprazniti bateriju prije punjenja da bi se produljio njen vijek trajanja.
- Široki temperaturni raspon – performanse se vrlo malo mijenjaju sa promjenom temperature okoline. Raspon u kojem performanse ostaju u zadovoljavajućim granicama su -30 do +50 °C za litij ionske baterije, ali ti temperaturni ekstremi bitno utječu na vijek trajanja baterije.
- Mogućnost brzog punjenja – ove baterije dobro podnose snažne punjače, iako brzo punjenje u nekoj mjeri ipak skraćuje vrijeme trajanja baterije pa je takvo punjenje preporučljivo koristiti samo kod dužih puteva gdje jedno punjenje nije dovoljno.

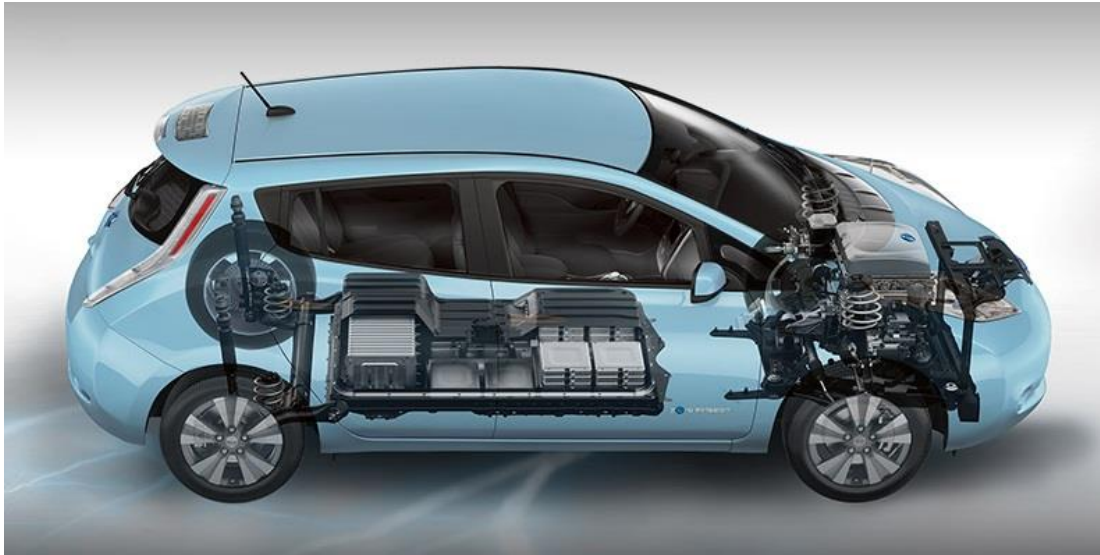
Ovo su prednosti klasičnih litij ionskih baterija. Kod klasičnih litij ionskih baterija katoda je načinjena od kobaltovog oksida, anoda od grafita, a kao elektrolit se koristi litijeva sol u organskom otapalu. Postoje varijacije na kemijski sastav ovih baterija čime se dodatno

poboljšavaju njihove performanse. Primjerice LiFePO_4 baterije koje imaju životni vijek preko 10 godina i preko 7000 ciklusa punjenja/pražnjenja ili kao još jedan primjer može se navesti baterija sa vanadijevim oksidom koje kompanija Subaru ugrađuje u svoj model G4e. Radi se o baterijama sa vrlo visokom gustoćom energije od preko 250 Wh/kg, [28, 31].

3.4.2 Nedostaci litij ionskih baterija u autoindustriji

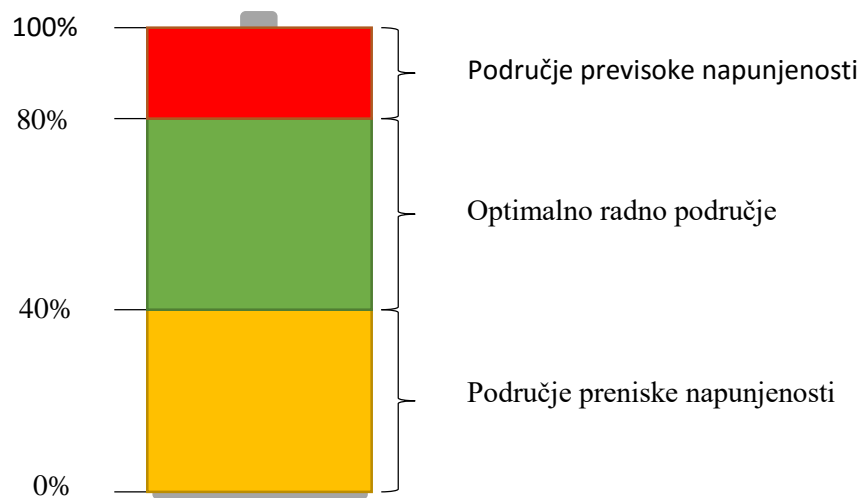
Nedostacima litij ionskih baterija se posvećuje posebna pažnja kako bi se oni smanjili i kako se sigurnost korisnika električnih vozila ne bi dovela u pitanje. Riječ je o sljedećim nedostacima:

- Osjetljivost na prepunjavanje i pretjerano pražnjenje – ovaj problem se rješava na način da električno vozilo ima ugrađen elektronički sklop koji drži baterije u preporučenim granicama punjenja kako ne bi došlo do njihovog oštećenja i smanjenja vijeka trajanja.
- Sadrže opasne kemijske spojeve za okolinu – iako se većina sastavnih dijelova baterija može reciklirati, postoje kemijski spojevi unutar baterije koji ne bi smjeli doći u kontakt sa okolišem. Ta činjenica je uzeta u obzir kod konstruiranja baterija, kao i smještaj baterija kod konstruiranja samog vozila.
- Mogućnost eksplozije i požara kod pregrijavanja u određenim okolnostima – baterije električnih automobila su opremljene regulatorima temperature. One mogu biti hladene zrakom ili rashladnom tekućinom, [31].



Slika 24: Li ion baterije smještene u podvozje automobila [6]

3.4.3 Strategija punjenja litij ionskih baterija



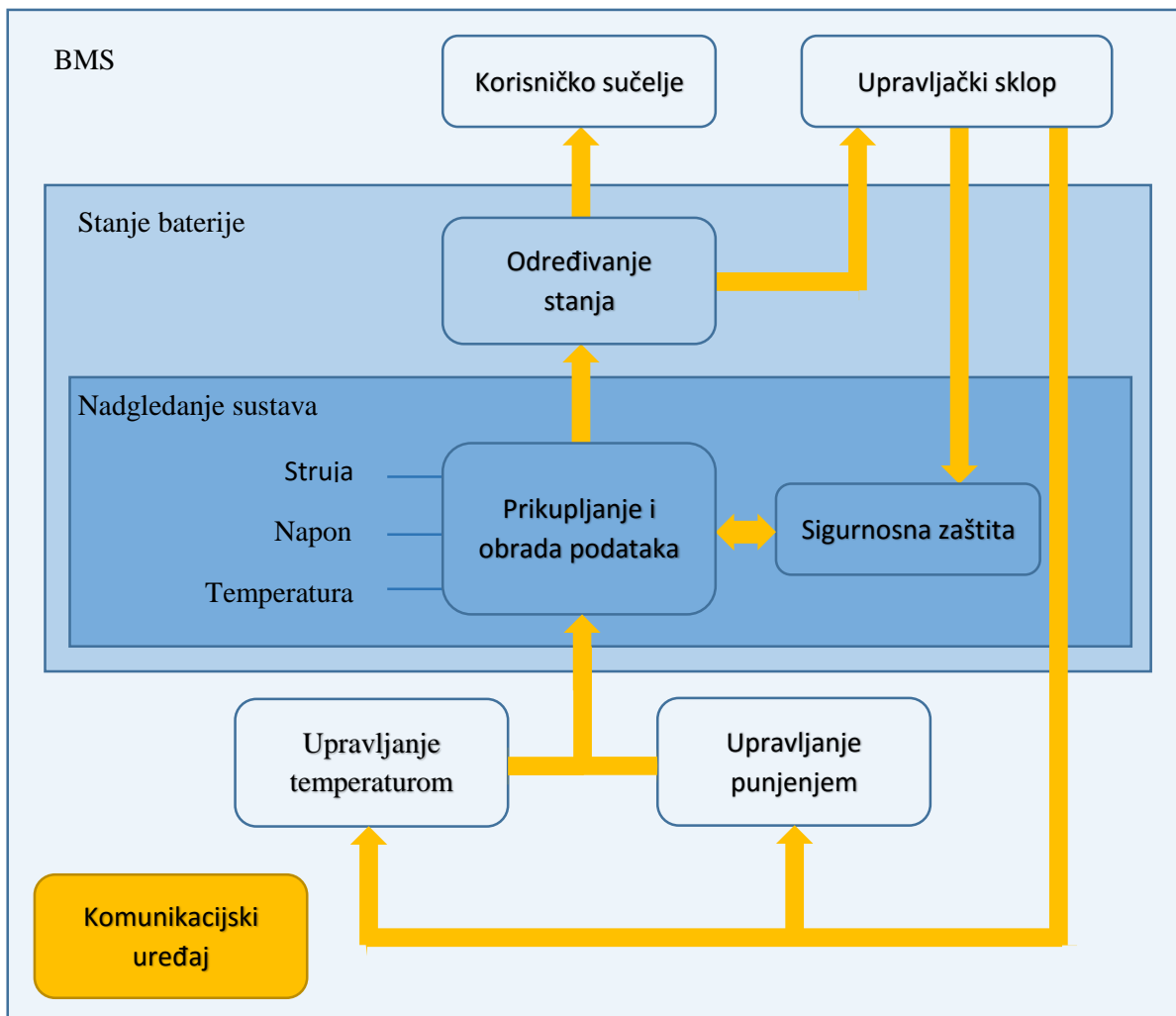
Slika 25: Područja rada Li-ion baterija

Budući da su baterije kod električnih automobila najskuplja komponenta vozila, vrlo je važno da se njihov vijek trajanja produlji koliko god je to moguće. Na njihov životni vijek utječu radna temperatura i ciklusi punjenja, odnosno pražnjenja. Da bi im se osigurao što dulji vijek trajanja ove baterije se ne smiju pregrijavati. Optimalno bi bilo da se njihova temperatura drži između 15 i 25 °C. Što se tiče punjenja, potrebno je poštivati pravilo „40-80“, [35]. To je pravilo koje se odnosi na kapacitet punjivosti baterija. Baterije se ne bi smjele isprazniti ispod 40 % svog kapaciteta i ne bi ih se smjelo puniti preko 80 % njihovog kapaciteta. Poštivanjem ovih pravila broj ciklusa punjenja/pražnjenja se povećava do 10 puta u odnosu na slučaj kada se ona ne poštuju.

Danas su električni automobili opremljeni sustavom za upravljanje baterijama, tzv. BMS sustavom (od eng. *Battery Management System*), [28, 36]. Radi se o vrlo važnoj komponenti svakog hibrida i električnog automobila. Njegova uloga je da garantira siguran i pouzdan rad baterija. BMS se sastoji od hardwarea i softwarea. Nadgleda stanje baterija, vrši evaluaciju i u skladu sa prikupljenim informacijama i rezultatima kontrolira punjenje, upravlja regulatorima temperature i drugim sklopovima koji su implementirani u sustav. BMS na taj način ima vrlo važnu ulogu u poboljšanju performansi baterije optimizirajući njezin rad, ali i drugih komponenti u automobilu.

Osnovne funkcije BMS-a su:

- nadgledanje sustava,
- prikupljanje i obrada podataka,
- komunikacija,
- zaštita sustava,
- optimizacija rada.



Slika 26: Ilustracija sustava za upravljanje baterijama

Nadgledanje sustava je omogućeno uz pomoć različitih senzora kojima se prikupljaju podaci u realnom vremenu. BMS nadzire stanje baterije kroz različite parametre i upravlja punjenjem i pražnjenjem baterije kako ne bi došlo do njenog oštećenja. Također upravlja sustavima za regeneraciju energije. Podaci koje prikuplja su najčešće sljedeći:

- napon - ukupni napon baterije i napon pojedinih baterijskih članaka,
- struja na izlazu odnosno ulazu u bateriju,
- temperatura: prosječna temperatura, temperatura rashladnog medija na ulazu i izlazu kućišta baterije, temperatura pojedinih baterijskih članaka,
- kontrola protoka rashladnog medija,
- razina napunjenosti baterije ili razina ispražnjenosti baterije kako bi se između ostalog korisniku predočio preostali doseg vozila,
- opće stanje baterije: vrijeme punjenja, samopotrošnja, stanje pojedinih članaka.

Obradom ovih podataka BMS izračunava i određuje ostale parametre koji su potrebni za ispravan rad sustava i vođenje evidencije. To su sljedeći parametri:

- maksimalna struja punjenja,
- maksimalna struja pražnjenja,
- utrošena energija od zadnjeg punjenja,
- dobivena energija kroz regeneraciju,
- unutarnja impedancija baterije ili njezinih članaka,
- ukupno utrošena energija od prvog korištenja,
- ukupno vrijeme korištenja,
- ukupan broj ciklusa punjenja/pražnjenja.

BMS je opremljen i uređajem za komunikaciju sa vanjskim uređajima, kao što je pametni telefon, računalo, sigurnosni uređaji i slično. Svi ti podaci se mogu pomoću komunikacijske veze prenijeti na neki vanjski uređaj. Pri redovnom servisu vozila ili u slučaju nekog kvara, ovi podaci se komunikacijskom vezom prenose na računalo servisa kako bi ih ovlaštena osoba mogla analizirati i donijeti odluku o daljnjim koracima. Danas se često uz električni automobil nude pripadajuće aplikacije za pametne telefone na koje se primi obavijest da su baterije napunjene i vozilo je spremno za pokret. Također u slučaju krađe pomoću aplikacije je moguće onesposobiti i locirati vozilo i slično.

Zaštitna uloga BMS-a je vrlo značajna. BMS štiti baterije i sustave električnih vozila i hibrida na način da osigurava njihovo djelovanje u sigurnom radnom području. Opasnosti koje mogu prouzrokovati kvar na sustavu te oštetiti ili smanjiti kapacitet baterije mogu biti:

- prejak struja (koja se može razlikovati pri punjenju i pražnjenju),
- previsok napon (tijekom punjenja),
- prenizak napon (prilikom pražnjenja),
- previsoka temperatura,
- preniska temperatura,
- previsoki pritisak u baterijama (kod NiMH baterija),
- kratki spoj.

BMS štiti sustav:

- prekidom strujnog kruga u kojem je detektiran kvar ili djelovanje izvan zadanih parametara pomoću releja ili sklopki,
- aktivnom kontrolom, odnosno prilagodbom rada uređaja koji su dio sustava (npr. smanjenje intenziteta rada klima uređaja).

Optimizacija je još jedna vrlo značajna uloga BMS-a. Kako bi se maksimizirao kapacitet baterije i spriječilo lokalizirano prepunjenje ili podpunjenje BMS ima ulogu da se svi baterijski članci održavaju na istoj naponskoj razini ili razini napunjenosti. BMS to ostvaruje kroz uravnotežavanje. Ta ravnoteža se postiže kroz:

- rasipanje energije prepunjenih članaka spajajući ih na teret,
- premještanje energije sa više napunjenih članaka na niže napunjene članke,
- smanjenje struje punjenja na dovoljno nisku razinu koja neće oštetiti pune članke dok će se nedovoljno napunjeni članci nastaviti puniti.

Tehnologije sustava za upravljanje baterijama se razlikuju po svojoj složenosti i performansama. Najjednostavnija varijanta BMS-a mjeri parametre na izlazu/ulazu baterije i na temelju tih podataka upravlja sustavom punjenja, odnosno pražnjenja. Složenije varijante mjere parametre na svakom baterijskom članku zasebno. Mogu biti opremljeni pasivnim ili aktivnim regulatorima kojima se uravnotežuje punjenje baterijskih članaka. Najnaprednije inačice imaju kontrolu nad čitavim sustavom. Opremljeni su korisničkim sučeljem pomoću kojega prenose informacije o cjelokupnom stanju baterije, stanju pojedinog članka te općem stanju sustava korisniku.

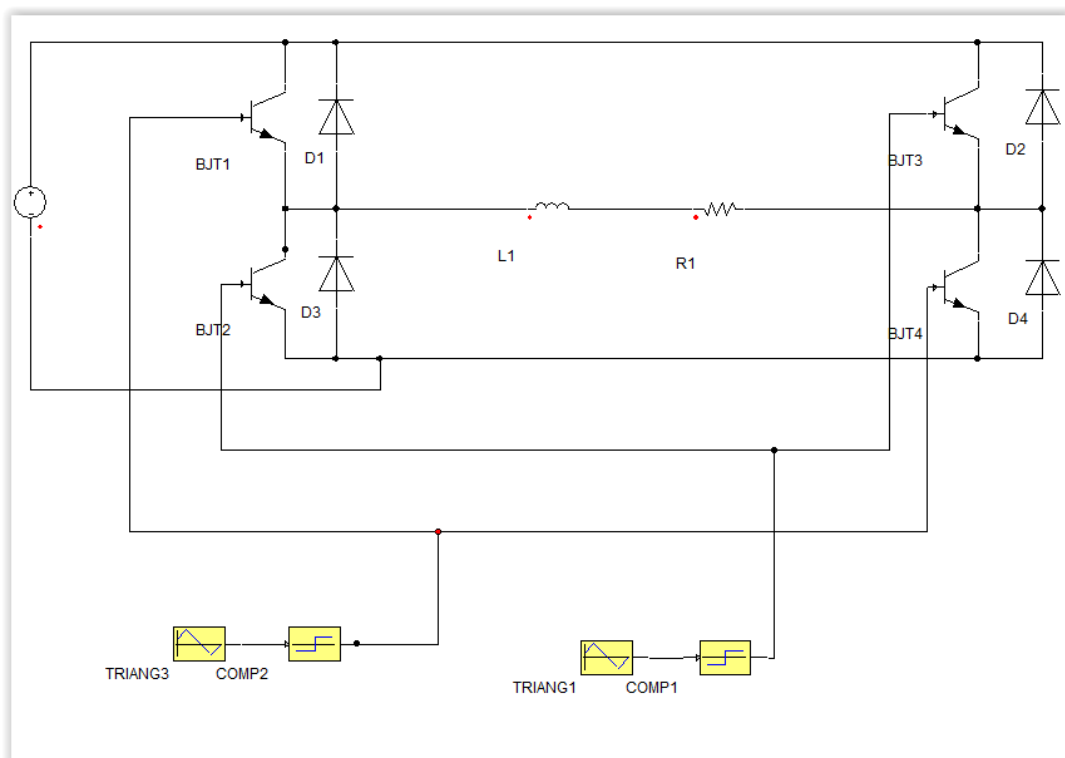
Tri su osnovne topologije složenijih sustava za upravljanje baterijama:

- Centralizirani BMS sa jednim kontrolerom spojenim snopom žica na svaki baterijski članak zasebno. Ovo je ujedno najekonomičnija varijanta, ali složene izvedbe.
- Distribuirani BMS sa integriranim krugovima na svakom članku spojenim jednim kabelom na jedan kontroler. Ovo je najskuplja varijanta, ali najjednostavnija za instalaciju.
- Modularni BMS kod kojeg više kontrolera kontrolira određen broj članaka i međusobno komunicira te nudi kompromis između prednosti i nedostataka prve dvije topologije.

4 SIMULACIJA PRETVARAČA

Budući da je kod električnih automobila izvor energije baterija, vrijednosti napona ovisno od modela do modela, u nekim slučajevima je potrebno dobiti izmjeničnu vrijednost napona kako bi se taj napon dalje mogao prilagođavati potrebama potrošača u automobilu. Za tu svrhu primjerena je primjena DC/AC pretvarača kojeg je moguće realizirati pomoću bipolarnih tranzistora.

Simulacija je napravljena pomoću programa Simporer Schematic pomoću sljedeće sheme.



Slika 27: Shema DC/AC pretvarača

Vrijednosti elemenata korištenih u simulaciji su sljedeći:

R1=10 Ω

L1=1 mH

E1=96 V

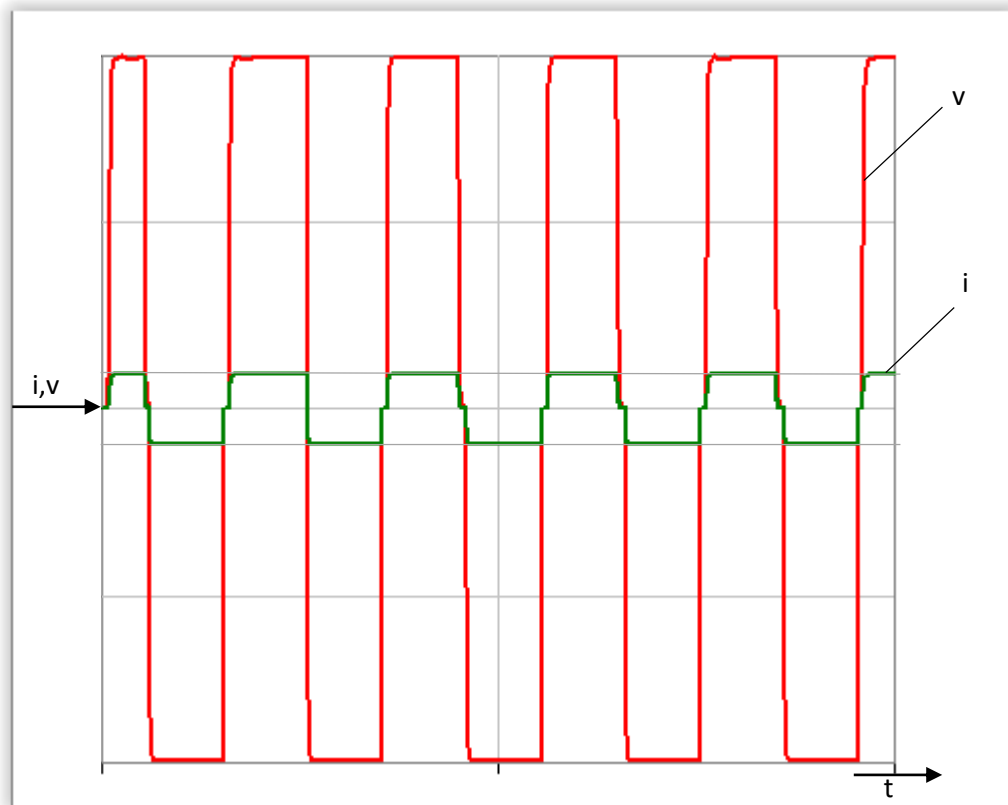
BJT1-BJT4 – bipolarni tranzistori početnih postavki

D1-D4 – povratne diode

TRIANG1 i TRIANG3 – generatori trokutastog napona frekvencije 50 Hz

COMP1 i COMP2 – generatori impulsa vrijednosti 0 i 1

Pokretanjem simulacije u trajanju od 100 ms dobiju se sljedeći valni oblici:



Slika 28: Simulirani valni oblici napona $v(t)$ i struje $i(t)$ kod DC/AC pretvarača (50V/d.s., 10A/d.s., 50ms/d.s.)

5 ZAKLJUČAK

Bežični prijenos elektromagnetskom indukcijom je pogodan za široku primjenu jer nema štetnog utjecaja na okolinu. Glavni nedostatak ovog tipa prijenosa, opadanje djelotvornosti sa udaljenošću prijenosa, je donekle riješeno sa rezonantnim prijenosom zbog čega je za očekivati da će ovaj tip bežičnog prijenosa naći široku primjenu u našoj svakodnevici, od malih kućanskih uređaja do velikih industrijskih strojeva.

Prednosti električnih automobila u odnosu na klasične automobile su značajne. Ekološka osvještenost i ekonomičnost prijevoza električnim automobilima će biti dovoljan poticaj za mnoge da donesu odluku o ovakvom tipu prijevoza. Nadalje, razvoj tehnologije za bežični prijenos energije smanjuje njihove nedostatke, što je dodatan argument na strani električnih automobila. Uz navedeno, s obzirom da velike kompanije ulažu značajna sredstva u razvoj infrastrukture za napajanje električnih automobila, za vjerovati je da će se električni automobili sve češće vidati na prometnicama.

Odabir bežičnog napajanja donosi prednosti u pogledu praktičnosti punjenja i sigurnosti, posebno u kišnim uvjetima. Razvijaju se podjednako pristupi za punjenje vozila u pokretu i parkiranih vozila pa se može očekivati da će se oba pristupa koristiti u budućnosti. Za pretpostaviti je da će se pri tome koristiti tehnologija prepoznavanja vozila u cilju pouzdane naplate.

6 POPIS LITERATURE

6.1 Internetski izvori

- [1] UNDERSTANDING Low frequency non-radiative power transfer
A. E. Umenei, Ph.D
Senior Research Scientist
June 2011
- [2] Efficient wireless non-radiative mid-range energy transfer
Aristeidis Karalis, J.D. Joannopoulos, Marin Soljačić
- [3] Highly Resonant Wireless Power Transfer: Safe, Efficient, and over Distance
Dr. Morris Kesler, WiTricity Corporation, WiTricity Corporation, 2013
- [4] Microwave Power Transmission – A Next Generation Power Transmission System
M.Venkateswara Reddy, K.Sai Hemanth, Venkat Mohan
- [5] Schumann resonances in the Earthionosphere cavity
Sergio Toledo Redondo
November 2013.
- [6] Osnove elektrotehnike III dio, MAGNETIZAM
Ljubo Malešević
- [7] Maximum Achievable Efficiency in Near-Field Coupled Power-Transfer Systems
Meysam Zargham, Student Member, IEEE, and P. Glenn Gulak, Senior Member, IEEE
- [8] Wireless power transfer – Oak ridge national laboratory
<https://www.youtube.com/watch?v=Gw6XtzEOlyI> – rujan 2015.
- [9] Prijelazne pojave i elektromagnetska kompatibilnost
Prof.dr.sc. Ivo Uglešić, dipl.ing.,
Dr.sc. Viktor Milardić, dipl.ing.,
Božidar Filipović-Grčić, dipl.ing.,
Boško Milešević, dipl.ing.,
Mr.sc. Milivoj Mandić, dipl.ing.
- [10] Električni automobil - povijest razvoja i sastavni dijelovi
M. Stojkov, D. Gašparović, D. Pelin, H. Glavaš, K. Hornung, N. Mikulandra
- [11] Electric Car Evolution by Zachary Shahan
<http://cleantechnica.com/2015/04/26/electric-car-history/> - listopad 2015.
- [12] One Million Electric Cars Will Be On The Road In September by Zachary Shahan
<http://cleantechnica.com/2015/08/08/1-million-electric-cars-will-be-on-the-road-in-september/> - listopad 2015.

- [13] Plug in electric vehicles integrating fluctuating renewable electricity
David Dallinger
- [14] Najčešće postavljena pitanja kod električnih vozila
Goran Gogić
<http://www.e-auto.guru/pitanja-dogovori/> - listopad 2015.
- [15] Novi e-golf. Ful na struju.
©Volkswagen 2015.
<http://www.volkswagen.hr/modeli/e-golf> - listopad 2015.
- [16] Tarifne stavke za kupce kategorije kućanstvo
HEP grupa
<http://www.hep.hr/ods/kupci/kucanstvo.aspx> - listopad 2015.
- [17] Tesla Model S
©Tesla motors 2015.
<http://www.teslamotors.com/models> - rujan 2015.
- [18] Electric vehicle batteries already cheaper than 2020 projections
Simon Evans
<http://www.carbonbrief.org/electric-vehicle-batteries-already-cheaper-than-2020-projections/> - listopad 2015.
- [19] How does Weather Affect an Electric Car's Range?
©Electric Car Pledge.com
<http://www.electriccarpledge.com/electric-vehicle-resources/how-does-weather-affect-an-electric-cars-range/> - listopad 2015.
- [20] Supercharger
©Tesla motors 2015.
<http://www.teslamotors.com/supercharger> - rujan 2015.
- [21] Elen: Izvor električne energije
©HEP 2012.
<http://elen.hep.hr/default.aspx> - rujan 2015.
- [22] Hrvatski telekom otvara nove punionice za električna vozila u splitsko-dalmatinskoj županiji
<http://www.t.ht.hr/press-centar/objave-za-medije/2257/Hrvatski-Telekom-otvara-nove-punionice-za-elektricna-vozila-u-Splitsko-dalmatinskoj-zupaniji.html> - rujan 2015.
- [23] Wirelessly charging stationary electric cars
David Herron
<http://greentransportation.info/ev-charging/wireless/wirelessly-charging-stationary.html> - rujan 2015.

- [24] Overview about Wireless Charging of Electrified Vehicles – basic principles and challenges
Dr. Joachim G. Taiber
<http://tec.ieee.org/2014/06/26/overview-wireless-charging-electrified-vehicles-basic-principles-challenges/> - rujana 2015.
- [25] Wireless power transmission would let EVs draw their power from the road
Seungyoung Ahn, Nam Pyo Suh & Dong-Ho Cho
<http://spectrum.ieee.org/transportation/advanced-cars/the-allelectric-car-you-never-plug-in> - rujana 2015.
- [26] Off road trials for “electric highways” technology
Highways England
Andrew Jones MP
<https://www.gov.uk/government/news/off-road-trials-for-electric-highways-technology> - rujana 2015.
- [27] California plug-in electric vehicle owner survey
Center for sustainable energy – California
- [28] Battery Management Systems in Electric and Hybrid Vehicles
Yinjiao Xing, Eden W. M. Ma, Kwok L. Tsui and Michael Pecht, 2011.
- [29] New cross-segmented power supply rails for roadway powered electric vehicles
Su Y. Choi, J. Huh, W. Y. Lee, S. W. Lee, and Chun T. Rim, Dec. 2013
- [30] Transferring electric energy to a vehicle using a system which comprises consecutive segments for energy transfer
M. Zengerle, Patent US 0217112, 2012
- [31] Electric Vehicle Battery Technologies
Kwo Young, Caisheng Wang, Le Yi Wang, and Kai Strunz
- [32] Elektro kadett – komponente
Elektrokadett.com ©2013.
<http://www.elektrokadett.com/komponente.html> - listopad 2015.
- [33] Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles
Björn Nykvist & Måns Nilsson
<http://www.nature.com/nclimate/journal/v5/n4/full/nclimate2564.html> - listopad 2015.
- [34] How Battery Costs May Drop Below \$100/kWh
Giles Parkinson
<http://cleantechnica.com/2014/10/13/battery-costs-may-drop-100kwh/> - listopad 2015.
- [35] 40-80 rule: New tip for extending battery life
Chris Graylord
<http://www.csmonitor.com/Technology/Tech/2014/0103/40-80-rule-New-tip-for-extending-battery-life> - listopad 2015.

[36] Battery and Energy Technologies: Battery Management Systems (BMS)
Barrie Lawson
<http://www.mpoweruk.com/bms.htm> - listopad 2015.

6.2 Slike

Camille Jenatzy – <http://classicauto.pl> [1]
GM model EV1 - <http://cleantechnica.com/2015/04/26/electric-car-history/> [2]
Izvor slobodnih slika za ilustraciju - <http://all-free-download.com/> [3]
Projekt kompanije Highways England – <http://www.highways.gov.uk> [4, 5]
Nissan Leaf - <http://www.nissanusa.com/electric-cars/leaf/> [6]