

# Električni automobil sa solarnim punjenjem baterije

---

**Ležaić, Dario**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2018**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:543729>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-21**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA

DARIO LEŽAIĆ  
**ELEKTRIČNI AUTOMOBIL SA SOLARNIM  
PUNJENJEM BATERIJE**  
ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2017.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA

DARIO LEŽAIĆ

**ELEKTRIČNI AUTOMOBIL SA SOLARNIM  
PUNJENJEM BATERIJE**

**ELECTRIC CAR WITH PHOTOVOLTAIC  
BATTERY CHARGING**

ZAVRŠNI RAD

**Mentor:**  
**Dr.sc.Tihomir Mihalić**

Karlovac, 2017.



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES  
Trg J.J.Strossmayera 9  
HR-47000, Karlovac, Croatia  
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510  
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579



## *VELEUČILIŠTE U KARLOVCU*

*Stručni studij: Strojarsva*

*Usmjerenje: Strojarske konstrukcije*

*Karlovac, 23.06.2017.*

### **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

*Student: Dario Ležaić*

*Matični broj: 0110612014*

*Naslov: ELEKTRIČNI AUTOMOBIL SA SOLARNIM PUNJENJEM BATERIJE*

Opis zadatka:

Fokus zadatka je na električnom osobnom automobilu sa solarnim punjenjem baterije. Solarno punjenje baterije kod automobila predstavlja vrlo važan način korištenja tog obnovljivog izvora energije, koji bi mogao jako pozitivno utjecati na ekonomiju i ekologiju.

Ovim završnim radom potrebno je prikazati su svojstva, metode proizvodnje te način gradnje solarnog punjenja baterije automobila.

Student treba u radu objasniti:

- Općenito o električnom automobile
- Dijelovi električnog automobile
- Elektromotor, DC motor, 3-phase AC motor I BLDC motor
- Upravljačka ploča i elektronika
- Kontroler elektromotora
- Baterije i BMS sustav
- Fotonaponske ćelije
- GRADNJA ELEKTRIČNOG AUTOMOBILA
- PRETVARAČ VISOKOG NAPONA - TESLINA ZAVOJNICA
- Princip rada
- Primjena Tesline zavojnice

Koristiti odgovarajuću dostupnu literaturu, priručnike i podatke.

Zadatak zadan:  
23.06.2017.

Rok predaje rada:

*Predviđeni datum obrane:*  
*31.01.2018.*

*Mentor:*

*Predsjednik Ispitnog  
povjerenstva:*

dr.sc. Tihomir Mihalić

Dr.sc. Tanja Tomić

## IZJAVA

Izjavljujem da sam završni rad na temu ELEKTRIČNI AUTOMOBIL SA SOLARNIM PUNJENJEM BATERIJE izradio samostalno koristeći navedenu literaturu i znanje koje sam stekao tijekom studija, uz vodstvo mentora dr.sc. *Tihomir Mihalić*, kome se ovim putem zahvaljujem.

Zahvaljujem se roditeljima, sestri, baki i djevojci Aleksandri koji su mi bili velika podrška i potpora tijekom studija i vjerovali u mene kada mi je bilo najpotrebnije.

U Karlovcu, 23.06.2017.

Dario Ležaić

---

## SAŽETAK

U Završnom radu opisana je priprema izgradnje električnog automobila sa solarnim punjenjem baterije. U posebnom poglavlju još je opisana izgradnja Tesline zavojnice kao pretvarača visokog napona.

U uvodnom dijelu ukratko je opisana povijest i razvoj električnog automobila kao i razlog zašto su se i pojavili na tržištu.

Daljnjom razradom svakog pojedinog dijela električnog automobila prikazana su dosadašnja tehnička rješenja u gradnji električnog automobila te njihova moguća poboljšanja.

Zaključak ove teme govori o potrebi primjene električnih vozila u današnjem vremenu kao i u budućnosti pred nama.

## SUMMARY

This final paper explains preparation of constructing a electric car with photovoltaic battery charging. Separate chapter explains construction of Tesla's coil as high voltage transformer.

In the prologue it's shortly described history and development of the electric car and reason why did they show on market.

In the further analysis of every part of a electric car are given present tehcnical solutions in construction of the electric car and their further improvements.

In the conclusion of thesis it's described importance of using a electric vehicles today and in the future towards us.

**SADRŽAJ**

SADRŽAJ .....	III
POPIS SLIKA .....	IV
POPIS TABLICA.....	V
POPIS OZNAKA .....	VI
1. UVOD.....	1
2. ELEKTRIČNI AUTOMOBIL.....	2
2.1. Općenito o električnom automobilu .....	2
2.2. Dijelovi električnog automobila .....	3
2.2.1. Elektromotor .....	3
2.2.1.1. DC motor .....	3
2.2.1.2. 3-phase AC motor .....	4
2.2.1.3. BLDC motor .....	5
2.2.2. Upravljačka ploča i elektronika .....	6
2.2.2.1. Kontroler elektromotora .....	6
2.2.3. Baterije i BMS sustav .....	12
2.2.3.1. Baterije.....	12
2.2.3.2. BMS – Battery Management System .....	20
2.2.3.3. Fotonaponske ćelije .....	23
3. GRADNJA ELEKTRIČNOG AUTOMOBILA.....	29
4. PRETVARAČ VISOKOG NAPONA – TESLINA ZAVOJNICA.....	36
4.1. Općenito o Tesloj zavojnici .....	36
4.2. Povijest Tesline zavojnice.....	37
4.3. Princip rada .....	38
4.4. Primjena Tesline zavojnice .....	41
5. ZAKLJUČAK.....	42
6. PRILOZI.....	43
7. LITERATURA .....	44

**POPIS SLIKA**

Slika 1.	EV1 električni automobil proizveden 1996. Godine [3] .....	2
Slika 2.	DC motor 10kw [3] .....	3
Slika 3.	3-phase AC motor za električni automobil [3] .....	4
Slika 4.	BLDC motor sa tekućim hlađenjem [3] .....	5
Slika 5.	Kontroler brzine vrtnje DC motora [2].....	7
Slika 6.	Frekventni pretvarač za 3-phase AC motor [2] .....	9
Slika 7.	10kW BLDC motor kontroler [2].....	11
Slika 8.	Shema spajanja i dodatne opcije kontrolera [3] .....	11
Slika 9.	Nikal-Kadmij baterije [3] .....	15
Slika 10.	Nikal-metal hidrid baterija [3].....	16
Slika 11.	Li-ion baterija korištena u mobilnom telefonu [3] .....	18
Slika 12.	LiFePo4 baterija za električna vozila [12].....	19
Slika 13.	Serijski spoj baterija [3] .....	19
Slika 14.	Paralelni spoj baterija [3] .....	20
Slika 15.	Mješoviti spoj baterija [3] .....	20
Slika 16.	Battery Management System [3].....	23
Slika 17.	Fotonaponski panel [3].....	24
Slika 18.	Savitljivi fotonaponski panel [3] .....	28
Slika 19.	Podvozje automobila Tesla Model S [3] .....	29
Slika 20.	Podvozje Modela S sa svim komponentama [3] .....	30
Slika 21.	Ford C-Max sa fotonaponskim panelima za punjenje baterije [3] .....	32
Slika 22.	Podvozje automobila Ford Focus Electric [3] .....	33
Slika 23.	Ford Focus Electric [3].....	34
Slika 24.	Punionica električnih automobila sa fotonaponskim panelima [3] .....	35
Slika 25.	Shema Tesline zavojnice [3] .....	36
Slika 26.	Pramenovi električne struje visoke frekvencije[3].....	37
Slika 27.	Prikazuje glavne komponente Tesline zavojnice [3].....	38
Slika 28.	Prerez u strujnom krugu za zaštitu strujnog izvora [3] .....	39
Slika 29.	Prsten spojen na sekundar Tesline zavojnice [3].....	40



**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Pregled specifikacija elektromotora [3] .....	6
Tablica 2. Pregled tehničkih karakteristika fotonaponskih panela [3] .....	27

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Opis</b>
MSUI	Motor s unutarnjim izgaranjem
TFSI	Turbo Fuel Stratified Injection
BLDC	Brushless DC motor
3phase AC Motor	Trofazni asinkroni motor pokretan izmjeničnom strujom
DC motor	Elektromotor pokretan istosmjernom strujom
BMS	Battery Management System
PWM Kontroler	Pulsno širinska modulacija kontrole istosmjernih motora
LCP panel	Local Control Panel - displej za prikaz trenutnih parametara sustava
kWh	kilovat-sat
V	Volt
A	Amper
W	Watt
Ah	Amper-sat
Hz	Hertz
C	koeficijent otpora zraka
Wp	Maksimalna snaga panela
STC	Standard Test Conditions - standardni ispitni uvjeti

## 1. UVOD

Ideja o električnom automobilu potiče još od kraja 19. te početka 20 stoljeća, kada su prvi električni automobili napravljeni i korišteni, ali su zbog unaprijeđenja motora s unutarnjim izgaranjem gotovo i nestali sa tržišta. Krajem 90-tih godina zbog povećanja cijena naftnih derivata ponovno se probudilo zanimanje za njihovom proizvodnjom prvo kao hibridni automobili, a sada kao 100% električni automobili. Da bi uopće uspjeli pobuditi tržište automobila kao i interes kupaca proizvođači električnih automobila su morali otići korak unaprijed. Danas kada imamo na stotine različitih marki automobila od niže do više klase kao i gotovo trkaćih automobila dostupnih za cestovnu vožnju bilo je gotovo nemoguće konkurirati takvom izboru tržišta. Inženjeri američke tvrtke Tesla motors u tome su uvelike uspjeli proizvevši automobil veće snage od prosječnog automobila sa motorom s unutarnjim izgaranjem i što je danas važnije sa manjom potrošnjom „goriva“. Točnije 9-10 puta manjom potrošnjom goriva za isti broj prijeđenih kilometara.[2] Korak dalje bi bio kao što piše i u naslovu električni automobil sa solarnim punjenjem baterije čime bi još više smanjili potrošnju električne energije potrebne za punjenje baterije i tako još više smanjili trošak za „gorivo“. U nastavku ovoga rada je opisano kako električni automobil funkcionira i na koji bi se način još mogla poboljšati njegova izvedba.

## 2. ELEKTRIČNI AUTOMOBIL

### 2.1 Općenito o električnom automobilu

Prvi pravi električni automobil vrlo sličan kakav je i danas proizvoda je američka tvrtka General Motors i nazvan je EV1. Tada se EV1 nije mogao kupiti kao i drugi automobili već se mogao samo dobiti na leasing kao najam. Kako bi električni automobil konkurirao automobilu sa MSUI kao što piše u uvodu inženjeri su morali postići nemoguće. Prvi problem je taj što je cijena električnog automobila u odnosu na automobil sa MSUI znatno veća, čak i do 3-4 puta gdje najveću ulogu ima cijena baterije čak 50%. Izazov je proizvesti automobil sa niskom cijenom izrade, a zadržati performanse kao što to imaju i drugi automobili. Stoga su se ljudi iz administracije i prodaje okrenuli marketingu da bi naglasili zašto je električni automobil poželjniji i potreban današnjici.[3] Prvo i najvažnije električni automobili imaju 0% ispusta stakleničkih plinova, drugo ne ovise o cijenama nafte na tržištu pa tako i njihova daljnja cijena proizvodnje pada, treće cijena servisa električnih automobila je jako mala jer je jedino što je potrebno servisirati je sustav kočenja, što će isto biti riješeno kad uanprijeđenjem sustava elektromagnetskih kočnica. Također velika prednost kod elektromotora kao pogona električnih automobila je korisnost. Korisnost MSUI je 30% kod novih TFSI motora je i do 35%, dok je korisnost novih električnih BLDC motora i do 90% što znači da je kod same izvedbe za istu iskoristivost pogona moguće napraviti i do 3 puta „slabiji“ motor sa istim krajnim performansama. [Slika 1.] prikazuje EV1 proizveden 1996. u američkoj tvrtki General Motors.



**Slika 1. EV1 električni automobil proizveden 1996. Godine [3]**

## 2.2 Dijelovi električnog automobila

### 2.2.1 Elektromotor

#### 2.2.1.1 DC motor

Kao pogonski motor koristi se više varijanti. DC motor, 3-phase AC motor te BLDC motor. Kod DC motora koristi se istosmjerna struja napona između 48-72-96V, ali zato velike struje i do 500A koja je regulirana preko upravljačke ploče.[3] Služi kod vozila koja imaju veću masu i općenito manje brzine kretanja kao što je to npr. viljuškar. Odlika DC motora je u tome što im se može regulirati i napon i struja. Povećanjem napona dobivamo veći broj okretaja motora čime u konačnici povećavamo brzinu kretanja vozila. Kada želimo dobiti veći moment koji se koristi kao vučna snaga u ovom slučaju kod viljuškara možemo povećati struju koja daje DC motoru moment. Naravno da nije moguće ići u nedogled sa povećavanjem napona i struje što je određeno sa presjekom žice u namotima motora. Općenito je pravilo ako se koristi naponsko pojačanje koristiti će se i žica manjeg poprečnog presjeka, dok će se za povećanje struje koristiti žica većeg poprečnog presjeka. DC motori se manje koriste u proizvodnji i gradnji električnih automobila zbog potrebe za većim presjecima žica što poskupljuje izvedbu, zbog velikog grijanja žica radi prolaska velike struje, te zbog većeg obujma i težine samog motora u odnosu na druge varijante motora koje se koriste. [Slika 2] prikazuje DC motor snage 10kw koji se koristi u viličarima.



**Slika 2. DC motor 10kw [3]**

Okretaji motora ovise o naponu, a nazivni broj okretaja DC motora je teoretski ograničen samo presjekom žice, kako nije moguće beskonačno povećavati napon motoru okretaji se kreću u rasponu od 1400-2800 okretaja u minuti. Također okretaji kod DC motora nisu vezani za frekvenciju jer istosmjerni napon ne ovisi o promjeni sinusoide pa taj broj od 2800 može ići i preko neko kraće vrijeme, također i startna struja može biti duplo veća od nazivne neko kratko vrijeme, a da ne dođe do izgaranja namotaja.

### 2.2.1.2 3-phase AC motor

3-phase AC motor se često koristi jer ima odlike DC motora zbog velikog startnog momenta i velikog broja okretaja zbog viših radnih napona. Kao najvažnija karakteristika u odnosu na DC motore je ta što ne koriste četkice koje iskre i zbog dodira na rotor i troše pa ih je potrebno često mijenjati. Napon AC motora varira ovisno o upravljačkoj ploči te proizvođaču i iznosi između 80-110V AC, dok su struje znatno niže nego kod DC motora, a iznose oko 150-170A.[3] AC motori su lakši od DC motora iste snage zbog manje težine magneta te žica manjeg poprečnog presjeka pa su i zato poželjniji u električnom automobilu. Nedostatak 3phase AC motora je u upravljanju. Komplicirano upravljanje naponima sa 3 faze te upravljanje frekvencijom poskupljuje mu ukupnu izvedbu jer je potrebna upravljačka ploča sa naponskom i frekvencijskom regulacijom. [Slika 3] prikazuje 3-phase AC motor koji se koristi u električnim automobilima. Na slici se vidi da motor ima izvode za tekućinu za hlađenje motora.



**Slika 3. 3-phase AC motor za električni automobil [3]**

### 2.2.1.3 BLDC motor

Najnoviji i najučinkovitiji motor proizveden za potrebe električnog pogona je BLDC motor ili Brushless DC motor. Zbog svog dizajna spaja odlike DC motora i AC motora koristeći srednje struje 100-150A i napone 48-120V te prijenos napona na rotor bez četkica uz frekventnu regulaciju okretaja, te ih odlikuje kompaktna i laganu izvedba. BLDC motor je ustvari 3-phase AC motor sa inverterom koji ulazni DC napon i struju pretvara u izlazni rotorski 3-phase AC napon i struju čime postiže sve prednosti DC i AC motora. Za usporedbu sa DC motorom BLDC motor je i do 3 puta lakši te volumno manji, može postići 5 puta veći moment koji je kontinuiran u cijelom rasponu okretaja motora, a koji mogu biti 0-6000 okretaja u minuti, dok održavanja praktički i nema.[3] Glavna razlika je u položaju namota rotora koji se u BLDC motoru nalaze na statoru pa je i odvodnja topline učinkovitija. Uz sve te pogodnosti u odnosu na DC i AC motore nedostatak je veća cijena koštanja zbog kompliciranije izvedbe te još kompliciranije upravljačke elektronike, međutim uzevši u obzir koje su mu prednosti nedostaci mu ne umanjuju vrijednost. Upravo zbog manjeg volumena i težine su napravljeni za pogon električnih vozila jer svaka dodatna težina smanjuje mogući broj prijeđenih kilometara zbog utjecaja na potrošnju baterije. [Slika 4] prikazuje BLDC motor od 20kw, sa temperaturnim senzorom koji regulira cirkulaciju tekućine za hlađenje.



**Slika 4. BLDC motor sa tekućim hlađenjem [3]**

[**Error! Reference source not found.**] nam daje lakši pregled specifikacija pojedinih vrsta elektromotora

**Tablica 1. Pregled specifikacija elektromotora [3]**

Motor	DC 10kw	3-phase AC 10kw	BLDC 10kw
Nazivni napon	48-96V	80-110V	48-120V
Nazivna struja	do 500A	150-170A	100-150A
Nazivni broj okretaja	1400-2800	1440/2880	do 6000
Masa	60kg	30kg	18kg

Pregledavši tablicu možemo odmah zaključiti koji bi elektromotor najviše odgovarao u gradnji električnog automobila jer brojevi u tablici koji opisuju nazivne napone, struje te masu samog elektromotora u tome pomažu i olakšavaju izbor.

### 2.2.2. Upravljačka ploča i elektronika

Sljedeća važna komponenta bez koje elektromotor ne bi "znao" koja je njegova zadaća je upravljačka elektronika.

#### 2.2.2.1 Kontroler elektromotora

Kontroler elektromotora ima jednu glavnu ulogu, a to je napajanje i regulacija elektromotora te druga ulogu omogućavanje punjenja baterije pomoću regenerativnog kočenja. Služi kao direktna veza između vozača i papučice "gasa", odnosno u ovom slučaju potencijometra koji pretvara linearni ili rotacioni pomak papučice gasa u mjerljivu veličinu koju kontroler onda registrira kao signal po kojemu određuje iznos napona te struje koju šalje na elektromotor koji reagira u odnosu na taj signal momentom i brojem okretaja. Postoji više vrsta kontrolera elektromotora, a to su:

- a) kontrola i regulacija putem napona
- b) kontrola i regulacija putem frekvencije



c) kontrola i regulacija BLDC motora

a) kontrola i regulacija putem napona

Najjednostavnija regulacija brzine vrtnje elektromotora je naponska regulacija. Na tiskanoj pločici se nalazi elektronički sklop ukupne veličine 100x70mm, male mase i niske cijene. Najvažnija komponenta je pontenciometar koji propušta odabrani napon u nekom rasponu od minimalnog napona V do maksimalnog napona V koji neće uništiti pločicu ili sam elektromotor. Snaga elektromotora je određena snagom koju kontroler može dati odnosno kod zahtjeva za većom snagom potreban je jači kontroler, npr. snaga elektromotora može biti 5kw, a snaga kontrolera 1kw pa je preostalih 4kw neiskoristivo ako se ne zamjeni kontroler koji bi davao 5kw elektromotoru. Ovakav kontroler nije univerzalan te se koristi samo za kontrolu i regulaciju istosmjernih DC motora koji imaju stalnu struju, a regulira im se samo napon o kojem ovisi broj okretaja motora. [Slika 5] prikazuje kontroler napona sa svim komponentama.



PWM DC KONTROLER

10 - 50V

40A

2000W

**Slika 5. Kontroler brzine vrtnje DC motora [2]**

PWM je skraćeni naziv od Pulse Width Modulation, a ona radi na sljedeći način: kako bi kontroler regulirao brzinu vrtnje mora imati jednu izmjenjivu varijablu što je u ovom slučaju napon. Kontroler "daje" elektromotoru impulsne signale koji svojom širinom ili duljinom trajanja između uključenja i isključenja određuju visinu napona  $V$  koji određuje brzinu vrtnje motora. Što je širina impulsa veća to će se motor okretati većim brojem okretaja. Drugim riječima što je jače magnetsko polje unutar elektromotora on će se okretati većom brzinom. Frekvencija između impulsa je konstantna. Uspoređujući sa drugim kontrolerima PWM DC kontroler ima veliku učinkovitost jer je stanje ili "uključeno" ili "isključeno" pa je rasipanje te padovi napona minimalno, a kao rezultat je kontrola motora gotovo linearna što povećava stabilnost vrtnje u cijelom rasponu okretaja. Amplitude impulsa su također konstantne pa motor u cijelom rasponu okretaja ima konstantnu snagu.[2] Kao primjer naponske regulacije okretaja bi bilo elektromotorno vitlo gdje se brzina vitla regulira brzinom okretaja motora dok vučna snaga odnosno moment ostaje konstantan na cijelom rasponu okretaja motora.

#### b) kontrola i regulacija putem frekvencije

Kontrola AC motora je nešto složenija te je potrebna drugačija metoda kontrole okretaja i snage motora. Frekventni pretvarač služi za regulaciju brzine vrtnje, momenta i jednostavna pozicioniranja 3-phase AC motora u rasponu frekvencije 0-1000Hz.

Princip rada frekventnog pretvarača se zasniva na činjenici da je brzina vrtnje elektromotora proporcionalna frekvenciji napona dovedenog na priključne terminale motora. Frekventni pretvarač se sastoji od četiri veće cjeline: diodnog ispravljača, istosmjernog međukruga, izmjenjivača i upravljačkog dijela. Diodni ispravljač stvara istosmjerni napon od ulaznog izmjeničnog napona. Izmjenjivač nakon toga algoritmom pulsno-širinske modulacije daje na izlazu trofazni izmjenični napon tražene frekvencije.[2]

Frekventni pretvarač se dimenzionira prema nazivnoj struji elektromotora što znači da nazivna struja pretvarača mora biti veća ili jednaka nazivnoj struji elektromotora. Postoji i mogućnost dimenzioniranja pretvarača i preko nazivne snage elektromotora, ali opasnost je ta što npr. višepolni motori mogu za istu snagu imati veću nazivnu struju.

[Slika 6] prikazuje frekventni pretvarač za 3-phase AC motor



**Slika 6. Frekventni pretvarač za 3-phase AC motor [2]**

Ako je potrebno može se koristiti i motor čija je nazivna struja veća od nazivne struje pretvarača, ali u tom slučaju moment opterećenja elektromotora mora biti manji od nazivnog momenta pretvarača što se rješava smanjenjem brzine vrtnje motora kako bi moment opterećenja postao manji od nazivnog momenta pretvarača. Ovo rješenje se primjenjuje samo u nužnom slučaju kada proizvodnja ne smije biti prekinuta, a da ne bi došlo do oštećenja pretvarača i/ ili elektromotora. U slučaju reguliranja vrtnje više od jednog motora se promjenom frekvencije izlaznog napona, proporcionalno mijenja brzina vrtnje svakog motora. Nazivna struja frekvencijskog pretvarača treba biti veća ili jednaka zbroju nazivnih struja priključenih motora.[2] Važno je ugraditi i zaštite od preopterećenja za svaki od motora, također i razlike u snagama motora ne smiju biti veće od 2-3 puta jer inače dolazi do problema pri pokretanju. Prednost frekventnog pretvarača u odnosu na naponski regulator je ta što promjenom frekvencije motora rotor se može vrtjeti i većim brojem okretaja od nazivnog, ali u tom slučaju ne dulje vrijeme jer može doći do izgaranja izolacije motora te

posebice oštećenja ležajeva pa tako i do kvara pogona. Proporcionalno maksimalnom broju okretaja motora važno su i minimalni okretaji motora zbog izvedbe hlađenja rotora.

Kako se ventilator za hlađenje rotora nalazi na samoj osovini motora kod malog broja okretaja i velikog opterećenja dolazi do jakog zagrijavanja rotora i mogućnosti pregrijavanja i izgaranja izolacije, zato je preporučeni minimalni broj okretaja 30% od nazivnog broja okretaja, a ako je potrebno imati manji broj minimalnih okretaja od preporučenog potrebno je ugraditi motor sa prisilnim hlađenjem ili riješiti problem okretaja ugradnjom reduktora. Što se tiče upravljanja frekventnim regulatorom to je moguće učiniti lokalno putem LCP panela ili daljinski putem upravljačkih stezaljki ili serijskom komunikacijom. Najvažnija karakteristika za slučaj korištenja 3-phase AC motora u automobilu je oblik ulazne i izlazne struje odnosno napona. Frekventni pretvarači nisu transformatori pa oni ne mogu primiti 1x230V i dati 3x400V, ali mogu primiti 1x230V i dati 3x230V pa se za takav napon konstruiraju i takvi elektromotori. Obzirom na kompliciranu izvedbu ili samo upravljanje frekventni pretvarači nisu drastično skuplji od naponskih pretvarača, a mogu služiti za upravljanje i 1-phase i 3-phase AC motora.

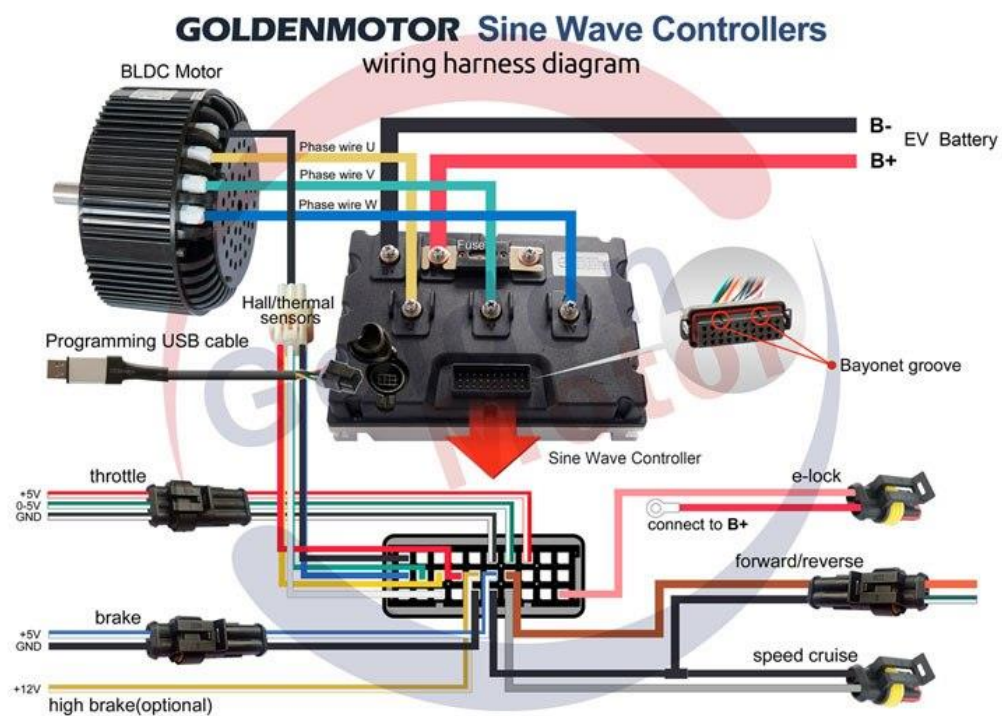
#### c) kontrola i regulacija BLDC motora

Najsloženiji i cijenovno najskuplji je kontroler BLDC motora. Zbog svoje konstrukcijske izvedbe BLDC objedinjuje značajke AC i DC motora u jednom, ali uspješnost rada mu osigurava kontroler. Kontroler BLDC motora ima dvije osnovne zadaće, prvo je potrebno istosmjernu DC struju i napon iz baterije pretvoriti u izmjeničnu AC struju i napon i kao drugo pretvoriti 1-phase u 3-phase izlaz sa traženim naponom. BLDC motor nema komutator pa kako bi mogao znati u kojem će se smjeru okretati i kojim brojem okretaja ima ugrađene senzore položaja. Senzori položaju daju povratnu informaciju kontroleru u kojem se točno položaju nalazi rotor te koju će jezgru magnetizirati struja sa kontrolera da bi se rotor motora počeo okretati. Takva informacija stiže u milisekundama jer je potrebno magnetizirati tri jezgre budući da se radi o 3-phase sustavu, a sa povećanjem broja okretaja bez pouzdanog i brzog mikročipa takva regulacija ne bi bila moguća.[2] [Slika 7] prikazuje kontroler BLDC motora



**Slika 7. 10kW BLDC motor kontroler [2]**

Kontroler se nalazi u aluminijskoj zaštitnoj kutiji te se postavlja blizu izvora hlađenja bilo prirodnog ili prisilnog jer se zbog prolaska velikih struja jako zagrijava. Ovisno o proizvođaču sam kontroler nudi više dodatnih opcija kao što je regenerativno kočenje, tempomat, indikacija potrošnje baterije, zaključavanje motora i sl. Na slici ispod [Slika 8] prikazuje shemu spajanja i dodatne opcije koje nudi kontroler proizvođača Goldenmotor.



**Slika 8. Shema spajanja i dodatne opcije kontrolera [3]**

Kako je BLDC motor namjenski konstruiran za električna vozila već brzina i većih brojeva okretaja kao što su to automobili ili motocikli njegove karakteristike kao što su zaštite od preopterećenja ili prekoračenje nazivnog broja okretaja mu omogućavaju preopterećenja koja mu neće naštetiti štoviše njegova vršna snaga je i 2-3 puta veća od nazivne snage motora, a upravo takva karakteristika je važna u vozilima zbog kretanja iz mjesta do ubrzanja do željene brzine pa je vršna snaga gotovo uvijek dosegnuta. Preporučeno je opteriti motor do njegove nazivne snage, a ako se i optereti preko nazivne ili do vršne da taj interval bude što kraći jer duljim držanjem na velikim opterećenjima ipak će doći do manjih oštećenja pa bi uzastopna ponavljanja mogla dovesti do kvara upravljačke elektronike ili samog motora. Prednost kontrolera BLDC motora je i ta što mu je izvedba kompaktna i lagana reda veličine kao i izvedba naponskog upravljača DC motora pa ne stvara problem za zauzeće prostora niti stvara dodatnu težinu vozilu smanjujući tako broj prijeđenih kilometara. Najveći nedostatak kontrolera BLDC motora je kao prvo značajka da motor bez nje uopće ne može raditi niti na određenom broju okretaja, a niti sa regulacijom broja okretaja, drugo njegova cijena je gotovo jednaka ili čak i veća od cijene samog motora kojim upravlja, te su i popravci takvih kontrolera zbog složene elektronike u njima jako skupi. Porastom proizvodnje BLDC motora i njihovih kontrolera zbog sve veće potražnje i proizvodnje električnih automobila cijena koštanja će u budućnosti padati pa će biti i cijenovno dostupniji.

## 2.2.3 Baterije i BMS sustav

### 2.2.3.1 Baterije

Baterija korištena u automobilima sa unutarnjim izgaranjem za napajanje elektronike i pokretanje motora je preteška i energetska preslaba da bi služila kao ozbiljan izvor energije za električne automobile pa je bilo potrebno konstruirati nove lakše i energetska učinkovitije baterije koje mogu za manji volumen i manju masu pohraniti veći kapacitet energije u sebi. Na taj način uštedom na masi svih komponenti sustava dobiva se veći broj prijeđenih kilometara, budući da masa baterije ima veliku ulogu, a što zavisi o kapacitetu pohranjene energije bitan fokus nalazi se upravo na njima. Kako bi pohranili nekoliko desetaka kWh energije, a pritom ne zauzeti prostor koji mora biti osiguran za putnike došlo je do razvoja raznih tipova baterija te njihovih oblika. Prva podjela baterije je podjela na primarne i sekundarne baterije.

## Primarne baterije

Najpoznatije vrste primarnih baterija su cink-ugljik te cink-klorid (veće trajnosti), alkalne i srebro-oksidi baterije. Konstrukcija cink-ugljik baterija poznata je već desetljećima (kao i njihovi nedostaci), a sastoji se od ugljenog štapića koji je smjesa ugljika i mangan-dioksida koji služi kao pozitivna elektroda te posude od cinka koja je istovremeno negativna elektroda. U ovom slučaju elektrolit je smjesa cink-klorida i amonij-klorida namočenog u vodi. Napon članka iznosi oko 1,5V. Alkalne baterije, također napona članka 1,5 V, baziraju se na reakciji cinka i mangan-dioksida. Anoda kod tih baterija izrađena je od cinka u prahu, a katoda od mangan-dioksida. Za razliku od cink-ugljik baterija, kod ovog članka elektrolit je lužina, kalij-hidroksid umjesto amonij-klorida i cink-klorida. Alkalne baterije imaju znatno veći kapacitet, dolaze već potpuno napunjene, mogu se prazniti većim strujama te imaju visoki temperaturni koeficijent i dobru otpornost. Srebro-oksidi baterije, napona članaka 1,5 V, imaju veliku trajnost i vrlo visoku učinkovitost po jedinici mase (130 Wh/kg), no cijena srebra ograničava njihovu širu primjenu pa se pretežno upotrebljavaju kao male dugmaste baterije za konzumnu elektroniku kao što su kalkulatori i ručni satovi, dok se profesionalna primjena tih baterija odnosi isključivo na vojnu industriju i mornaricu (primjerice napajanje torpeda). Kod ove baterije anoda je cink, a katoda srebrni oksid, dok je elektrolit najčešće natrij-hidroksid ili kalij-hidroksid.[3] Važno je znati da primarne baterije ne mogu koristiti u električnom automobilu jer se ne smiju puniti.

## Sekundarne baterije

Najpoznatije i najstarije vrste sekundarnih baterija su olovno-kiselinski te nikal-kadmij akumulator. Ostale vrste punjivih baterija kao što su nikal-metal hidrid i litij-ionske novijeg su datuma. Olovni akumulator opravdano se smatra najstarijom vrstom sekundarne baterije. Izumio ga je francuski fizičar Gaston Plante 1859. godine. Članak napona 2 V koji ima nisku cijenu a krasi ga mogućnost davanja visokih jačina struje u kratkom vremenu, zbog čega je našao vrlo široku primjenu u automobilskoj industriji kao primarni izvor električne energije za rad potrošača i pokretanje automobila. Svaka ćelija sastoji se od olova, odnosno olovnog dioksida, uronjenog u otopinu sulfatne kiseline koncentracije oko 37%. U ispražnjenom se stanju elektrode prevuku olovo(II)-sulfatom.[3]

Puštanjem istosmjerne struje kroz elektrode dolazi do kemijske reakcije, čiji je rezultat presvlačenje pozitivne elektrode olovo(IV)-oksidom, a negativna elektroda prelazi u olovo. Radi velikog kapaciteta, potrebna je i velika površina elektroda između kojih se nalazi separator (najčešće drvo, razni umjetni materijali, guma, porozni PVC i PE). Napunjenost olovnog akumulatora moguće je kontrolirati gustoćom elektrolita, koja kod punog članka iznosi oko 1,28 g/cm<sup>3</sup>, dok taj podatak za prazan akumulator iznosi oko 1,10 g/cm<sup>3</sup>. Pražnjenjem akumulatora obje elektrode presvlače se olovo(II)-sulfatom, a razlika potencijala se smanjuje. Nedostaci olovnog akumulatora su dubinsko pražnjenje ispod 1,8 V po članku, pri čemu se elektrode nepovratno sulfatiziraju, relativno velika masa po jedinici kapaciteta i nužno održavanje zbog izraženog samopražnjenja te mogućnost stvaranja eksplozivne smjese vodika i kisika uslijed elektrolize elektrolita.[3] Novija izvedba olovnog akumulatora nalazi primjenu u elektronskim sklopovima, telefonskim centralama i medicinskoj opremi, a tada redovito dolazi u hermetički zatvorenoj (SLA) izvedbi. Sekundarne baterije su punjive i kao takve mogu koristiti u električnim automobilima, a one se dijele na nekoliko tipova.

Sljedeća podjela ne obuhvaća sve tipove baterija, ali uzima u obzir one koje bi mogle biti korištene za pohranu energije u električnim automobilima.

Podjela baterija prema tipu:

- a) Nikal-Kadmij baterije, NiCd
  - b) Nikal-metal hidrid baterije, NiMH
  - c) Hibridne Nikal-metal hidrid baterije, h-NiMH
  - d) Litij-Ion baterije, Li-Ion
  - e) Litij-željezo-fosfatne baterije, LiFePo<sub>4</sub>
- a) Nikal-Kadmij baterije, NiCd

Nikal-kadmij baterija novijeg je datuma iako je poznata više od pedeset godina. Baterija napona 1.2 V po članku, kapaciteta 40-60 Wh/kg, čije se elektrode sastoje od nikal(IV)-oksida i kadmija, smatrao sa godinama najboljim izborom za uređaje široke potrošnje, prvenstveno zbog velikog kapaciteta, niskih proizvodnih troškova te opcije pražnjenja velikim jačinama struje i mogućnosti izravne primjene umjesto standardnih cink-ugljik baterija. Postoje dvije osnovne skupine NiCD baterija; hermetički zatvorene i



ventilirajuće baterije. Hermetički zatvorene poznatije su u široj primjeni (bežični telefoni, igračke, rasvjeta u nuždi, električni alati i ostalo) a mogu se primjenjivati pojedinačno ili grupno u serijskom ili paralelnom spoju. Napon ovog članka iznosi 1,2V, što je niže od uobičajenih 1,5V kod primarnih baterija pa izravna zamjena nije moguća u svim uvjetima. Efikasnost iznosi 70-90%. Iako su NiCD baterije izumljene prije 1900. godine, prva komercijalna primjena započela je tek 1946. godine u SAD-u, kada su baterije dobile manji i kompaktan džepni oblik, kemijski i fizički konkurentan olovnom akumulatoru, zahvaljujući sinteriranim (poroznim, sraštenim) pločama elektrodama NiCD akumulatora.[2] Nedostaci ovih baterija su samopražnjenje i memorijski efekt, gubitak kapaciteta zbog kristalizacije kadmija koja smanjuje korisnu površinu elektroda, zbog čega je potrebno u potpunosti isprazniti baterije, a ujedno izbjegavati često nadopunjavanje jer je broj ciklusa punjenja/praznjenja članka ograničen. [Slika 9] prikazuje Nikal-Kadmij baterije.



**Slika 9. Nikal-Kadmij baterije[3]**

#### b) Nikal-metal hidrid baterije, NiMH

Baterija čiji je sastav sličan prethodno opisanom NiCD članku (kapaciteta 30-80 Wh/kg) s bitnom razlikom što je kod ovog tipa sekundarnih članaka toksični kadmij zamijenjen ekološki prihvatljivim hidridom metala (spojem vodika i metala), odnosno vodikom jer su ioni vodika smješteni u strukturi metalnog hidrida. Metalni hidrid u ovisnosti o strukturi može sadržavati od 1-7% vodika u masenom udjelu. Mnogi hidridi metala postoje u elementarnom stanju, no nisu pogodni za primjenu u NiMH baterijama. Za konstrukciju baterija upotrebljavaju se legure metala kao što su lantan, cezij i titan ili primjerice nikal,

kobalt, mangan te volfram ili krom. Postoje četiri skupine metalnih hidrida koje se upotrebljavaju, a svaka od njih ima dvije komponente metala iz koje se sastoji. Elektrode kod NiMH baterija izvedene su slično kao konstrukcija elektrolitskog kondenzatora; dvije folije elektroda omotane su između slojeva separatora. Za razliku od NiCD tu je i veća gustoća energije, kao i veća otpornost na neželjenu kristalizaciju. Tip baterije, koji je danas uz Li-Ion baterije najbrojniji na tržištu baterija za male elektronske uređaje koji je donekle zadržao boljke prethodno opisanog članka, što uključuje napon od 1,2 V i pojavu samopražnjenja.[2] Prvi modeli NiMH akumulatora pojavili su se osamdesetih godina prošlog stoljeća, a u široku primjenu ušli su dva desetljeća kasnije. NiMH baterije podnose velike struje pražnjenja, a mogu se puniti jakim strujama (petina kapaciteta) te ne pate od memorijskog efekta, no loše podnose punjenje koje traje vremenski duže no što je potrebno. Zbog toga za punjenje ove vrste baterija uglavnom nisu pogodni punjači za NiCD baterije, već punjači sa  $\Delta V$  kontrolom ili timerom. [Slika 10] prikazuje Nikal-metal hidrid bateriju.



**Slika 10. Nikal-metal hidrid baterija[3]**

c) Hibridne Nikal-metal hidrid baterije, h-NiMH

Na tržištu su se nedavno pojavile nove vrste hibridnih NiMH baterija čija je osnovna karakteristika drastično smanjenje pojave samo-pražnjenja tijekom vremena. Jednom napunjene održati će naboj članka tijekom cijele godine. Ostalim modelima baterija to je nedostižno obično već nakon tri tjedna pohrane. Naime poznato je da sve NiMH baterije dnevno izgube između 1 do 3% kapaciteta članka. Funkcionalnost ovih baterija posve je jednaka u hladnim zimskim mjesecima, a posebno se preporučuju za potrošače s dubinskim pražnjenjem kao što su fotoaparati i bljeskalice.[2] Ove baterije, poznate pod nazivima Ready2Use, "low-self discharge" ili pak "hibridne" baterije dolaze na tržište pod različitim

imenima. Kako je za električni automobil važno svojstvo duboko pražnjenje baterije kao i funkcionalnost tijekom hladnim zimskim mjesecima one predstavljaju dobar izbor u odabiru akumulatora električne energije za automobil.

#### d) Litij-Ion baterije, Li-Ion

Litij-Ion baterije imaju veliki kapacitet po jedinici mase (160 Wh/kg) a mogu imati napon od 1,5 do max 4,2 V po članku, što je više od ostalih vrsta baterija. Ne pate od memorijskog efekta, a polako potiskuju NiMH baterije jer nalaze široku primjenu u mobilnim telefonima, prijenosnim računalima te ostaloj informatičkoj i elektronskoj opremi. Karakterizira ih mogućnost oblikovanja prema potrebi i veličini uređaja, a spomenimo i neznatno samopražnjenje ćelije od oko 5% mjesečno, što je u usporedbi s ostalim sekundarnim baterijama odličan rezultat. Za razliku od svih ostalih punjivih baterija, Li-Ion baterije imaju relativno malu masu i odličan omjer kapaciteta po jedinici mase. Mnogi modeli ovih baterija opremljeni su elektronskim sklopom koji prati napon i stanje baterije.[2] Ovaj elektronski sklop uglavnom je glavni krivac za pojavu samopražnjenja kod Li-Ion baterija. Nedostaci ovih baterija su gubitak kapaciteta u uvjetima povišene temperature (konkretan primjer kod baterija prijenosnih računala), a starenjem članka povećava se njegov unutarnji otpor, što se svodi na smanjenje jačine struje koju Li-Ion baterija može dati. Uglavnom, ove vrste baterija imaju kraći životni vijek od spomenutih NiMH baterija.

[Slika 11] prikazuje Litij-Ion bateriju koja se koristi u mobilnim telefonima.



**Slika 11. Li-ion baterija korištena u mobilnom telefonu [3]**

e) Litij-željezo-fosfatne baterije,  $\text{LiFePo}_4$

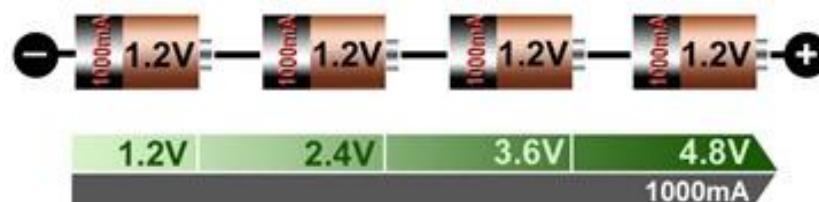
Najnovije i kapacitetom najjače su  $\text{LiFePo}_4$  baterije. Njihova primjena je u gotovo svim električnim vozilima kao i u solarnim sustavima. Nekoliko prednosti u odnosu na ostale navede baterije: a) duže vrijeme pražnjenja zbog većeg kapaciteta, b) mogu pohraniti više energije za istu veličinu u odnosu na druge baterije, c) puno su sigurnije za rukovanje što je i najvažnija sigurnosna karakteristika baterija jer kod dubokog pražnjenja i potrebe za velikom strujom baterije se jako griju i povećava se opasnost od eksplozije. Kapacitet po jedinici mase za  $\text{LiFePo}_4$  bateriju iznosi 90–110 Wh/kg, dok joj je specifična pohranjena energija 2400 W/kg, nazivni napon po ćeliji 3,2 V, vijek trajanja i do 10 godina, a ciklus punjenja preko 2000 puta. Brzina punjenja je i do 3 puta veća od brzine punjenja drugih vrsta baterija, tzv. brzim punjačem se mogu napuniti do 80% kapaciteta za 15 minuta, a do 100% za 40 minuta.[2] Izračunom broja ciklusa i vijekom trajanja baterija prosječni električni automobil sa jednim setom baterija može preći između 140.000 i 160.000 kilometara prije potrebe za zamjenom baterija, za usporedbu sa drugim vrstama baterija broj pređenih kilometara bi bio oko 60.000 kilometara i zamjena bi bila nepohodna jer bi baterije izgubile i preko 30% kapaciteta. Nedostatak  $\text{LiFePo}_4$  baterije je visoka cijena u odnosu na druge vrste baterija međutim daljnjim razvojem električnih automobila i cijele elektroindustrije cijena koštanja baterija će biti sve manja.

Razvoj tehnologije baterija je u usponu pa će u budućnosti i ovu vrstu baterije zamijeniti nove sa još većim kapacitetom, a manjom masom i volumenom. [Slika 12] prikazuje LiFePo4 ćeliju u obliku konstruiranom za primjenu u električnim vozilima.



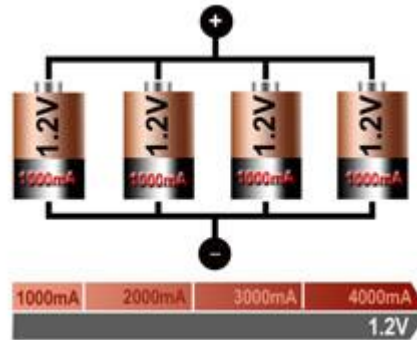
Slika 12. LiFePo4 baterija za električna vozila [3]

Sve navedene baterije su u originalu proizvedene kao jedan članak od 1,2V ili 1,5V i kapacitetom od 500-2000mAh. Kako bi uopće bilo moguće pokrenuti automobil potrebno je više energije pa se članci povezuju u serijske i paralelne spojeve. Serijskim spojem baterija povećava se nazivni napon V ukupnog spoja, dok kapacitet Ah ostaje jednak svakom pojedinom članku u spoju. [Slika 13] prikazuje serijski spoj baterija.



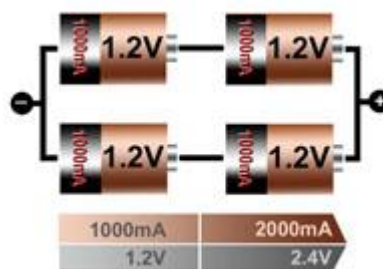
Slika 13. Serijski spoj baterija [3]

Paralelnim spojem baterija povećava se ukupni kapacitet Ah, dok napon ostaje jednak nazivnom naponu pojedinog članka u spoju. [Slika 14] prikazuje paralelni spoj baterija.



Slika 14. Paralelni spoj baterija [3]

Kombinacijom serijskog i paralelnog spoja moguće je dobiti tražene vrijednosti napona i strujnog kapaciteta prema zahtjevima upravljačke elektronike ili samog motora. Poželjno je imati veći napon jer omogućuje korištenje iste snage trošila ili u ovom slučaju motora, a pritom korištenje žice manjeg presjeka pri čemu se štedi na materijalu izrade žica, protokom većeg napona i manje struje smanjeno je grijanje žica kao i ukupna masa vozila. [Slika 15] prikazuje mješoviti spoj baterija.



Slika 15. Mješoviti spoj baterija [3]

### 2.2.3.2 BMS - Battery Management System

Baterije korištene u električnom automobilu su osjetljive na režime rada kao što su pražnjenje i punjenje. Kako bi im se osigurao vijek trajanja i do 10 godina ili 200.000 kilometara potrebno je kontrolirati njihov režim rada. Uređaj koji kontrolira režim rada baterija naziva se BMS ili Battery Management System. BMS je elektronički sklop projektiran upravo za "čuvanje" baterija od preopterećenja velikim strujama pražnjenja i

punjenja pri eksploataciji što bi inače dovelo do njihovog brzog oštećenja ili nejednolikog trošenja pojedinih ćelija u baterijskom sklopu što bi dovelo do smanjenja ukupnog kapaciteta baterijskog sklopa.[3] Neke od funkcija BMS-a su:

#### 1) Nadziranje stanja baterija

##### a) Napon

Nadzire se ukupni napon svih ćelija povezanih u jedan sklop, kao i individualni napon svake ćelije, te minimalni i maksimalni napon svake pojedine ćelije.

##### b) Temperatura

Važno svojstvo kod očuvanja vijeka trajanja baterije je njezina temperatura jer kod visokih temperatura kapacitet baterija pada te je povećana opasnost od eksplozija pa sustav nadzire prosječnu temperaturu, kao i ulaznu i izlaznu temperaturu rashladne tekućine ( kod prisilnog hlađenja baterije), te temperaturu pojedinih ćelija.

##### c) Struja

Najveći utjecaj na vijek trajanja baterija ima režim punjenja ili dubokog pražnjenja baterije. Struju maksimalnog pražnjenja ograničava sam BMS sustav, a kolika je ta maksimalna struja, a da ne dođe do oštećenja baterija propisuje proizvođač zavisno od tehnologije baterija koja se koristi. Sustav koristi programibilni procesor čije se postavke mogu prilagoditi načinu rada elektromotora ili željenom načinu vožnje od samog vozača električnog vozila.

#### 2) Sustav regenerativnog kočenja

Regenerativno kočenje ima dvije glavne značajke, prva je pomoć pri kočenju korištenjem elektromagnetnog polja samog elektromotora kako bi se olakšalo kočenje samim kočnicama, a drugo važnije svojstvo je mogućnost korištenja pogonskog elektromotora u svrhu generatora za punjenje baterije. Automobil je pri brzini od 100km/h nakon otpuštanja pedale "gasa" pogonjen samo vlastitom inercijom koju sustav regenerativnog kočenja onda koristi kako bi u obrnutom procesu elektromotora koji sad služi kao generator napunio bateriju, a pri tom i smanjio brzinu samog vozila. Takav režim punjenja baterije je dobar za korištenje na cestama gdje se izmjenjuju ubrzanja i kočenje jer je moguće povratiti i do 30% potrošene električne energije.

### 3) Izračun varijabli kod režima rada

- a) Maksimalna struja punjenja kao optimalna struja punjenja
- b) Maksimalna struja pražnjenja kao optimalna struja pražnjenja
- c) Energija ( kWh) predana elektromotoru od zadnjeg punjenja baterije
- d) Unutarnji otpor ili impedancija u pojedinoj ćeliji
- d) Broj ciklusa punjenja
- e) Ukupna energija predana elektromotru i vozilu od prvog punjenja
- f) Ukupno vrijeme rada sustava baterija-elektromotor-vozilo

### 4) Zaštita

- a) Zaštita od velike struje punjenja
- b) Zaštita od visokog napona
- c) Zaštita od niskog napona
- d) Zaštita od visoke temperature
- e) Zaštita od kratkog spoja

### 5) Optimizacija režima rada

- a) Balansiranje energije između manje i više napunjenih ćelija
- b) Reduciranje struje punjenja kako bi gotovo napunjena baterija primala manju struju, a polupuna baterija veću struju punjenja
- c) Modularno punjenje



[Slika 16] prikazuje BMS



**Slika 16. Battery Management System[3]**

#### 2.2.3.3. Fotonaponske ćelije

Osnovna načela primjene sunčeve energije za proizvodnju električne energije u fotonaponskim elementima poznata su već gotovo 200 godina, a prvi praktično uporabljivi uređaji koji su to omogućavali pojavljuju se u drugoj polovici 20. stoljeća. U prvo vrijeme uglavnom za primjenu u raznim vojnim i svemirskim projektima, dok u širu primjenu ulaze tek u vrijeme prve „energetske krize“, sedamdesetih godina prošlog stoljeća, zajedno sa drugim „alternativnim“ rješenjima za opskrbu električnom energijom kao što su kotlovi na biomasu, dizalice topline i solarni toplinski sustavi.[2]

Zahvaljujući ubrzanom razvoju tehnologije, povećanju potreba za električnom energijom, ali i rastućoj svijesti o potrebi smanjenja potrošnje fosilnih goriva, u posljednjih desetak godina fotonaponski sustavi postaju iznimno popularni kod nas, osobito uz razne programe za poticanje njihove primjene. Osim izgradnje sunčane elektrane u svrhu prodaje električne energije u javnu distributivnu mrežu, sunčane elektrane mogu se izraditi kao elektrane za vlastite potrebe te u ovom slučaju kao mikro sustav dopunjavanja baterije u električnom automobilu.

[Slika 17] prikazuje Fotonaponski panel.



**Slika 17. Fotonaponski panel [3]**

Solarna ćelija zvana i fotonaponska ćelija je poluvodički uređaj koji pretvara sunčevu energiju izravno u električnu energiju pomoću fotoelektričnog efekta. Grupe ćelija tvore solarne module, poznate i kao solarni paneli ili fotonaponska ploča.

Fotonaponski paneli se dijele u tri skupine, a) Monokristalni, b) Polikristalni, c) amorfni paneli.

a) Monokristalni paneli

Paneli su sastavljeni od visoko učinkovitih, monokristalnih ćelija silicija koje su proizvedene od jednog kristala silicija visoke čistoće. Svaka ćelija u fotonaponskom panelu je električki ispitana kako bi se postigao optimalni učinak solarnih modula. Predstavlja vrh ponude po kvaliteti, životnom vijeku i jamstvenom roku od 25 godina. Zbog navedenih svojstava ima nešto veću cijenu, a koristi se u najprofesionalnijim aplikacijama (sateliti, vojne komunikacije, mobilna telefonija i sl.) kao i u individualnim objektima. Najčešći raspon snage u kojem se koristi je od 20 do 150 Wp.[2]

### b) Polikristalni paneli

Slično kao i monokristalni, polikristalni modul predstavlja izuzetno rješenje u smislu kvalitete, nešto niže cijene, visoke estetike i jednako povoljnog životnog i jamstvenog vijeka. Vizuelno se razlikuje od monokristalnog panela po tome što mu je površina gotovo potpuno ispunjena kvadratnim pločicama, za razliku od monokristala čije su pločice uglavnom oktogonalne. Osnovna je razlika, kao što samo ime kaže u molekularnoj strukturi aktivnog kristala. Područje primjene i raspon snage je također vrlo sličan. Mono i polikristalni moduli su visokog stupnja iskorištenja (preko 15%) i dugog životnog vijeka sa jamstvom na snagu od 25 godina.[2]

### c) Amorfni paneli

Najveću popularnost u našim krajevima stekao je na početku uvođenja fotonaponske tehnologije u svojoj klasi, [www.sole-energy.eu](http://www.sole-energy.eu) koja je od samog početka proizvodila najbolje module u svijetu u svojoj klasi. Razlikuje se po svojoj tipičnoj crnoj boji i prugastoj strukturi TIN-FILM tehnologije. Raspon snage mu je od najmanjih do 12 Wp sa jamstvom na snagu od preko 5 godina. Po cijeni je nešto povoljniji, a kao nedostatak može se spomenuti niža efikasnost (6%) i manja otpornost na mehanička naprezanja (obično staklo). Makar nije pravilo, obično se koristi u manjim sustavima.[2]

Amorfni paneli trebaju oko dva puta veću površinu da bi proizveli istu količinu električne energije kao monokristalni ili polikristalni te se njegova izlazna snaga pogoršava sve više tijekom vremena, s obzirom na nedostatke amorfni moduli bolje reagiraju na difuznu i fluorescentnu svjetlost i bolje rade pri višim temperaturama.

Kao podskupinu sa smanjenim područjem za aplikaciju predstavlja savitljivi modul u raznim gore navedenim tehnologijama, a koristi se uglavnom u mobilnim aplikacijama (jahte, automobili, kamp oprema, vojni punjači i sl.)

Wp je način definiranja snage modula uz takozvane STC uvjete od kojih je najvažnija insolacija od 1000W/m<sup>2</sup>. U našim krajevima ona se postiže ljeti u podne pa Wp snaga predstavlja maksimum koji se od modula može praktično dobiti.

Jedna solarna ćelija uvijek daje napon od oko 0,5 V, bez obzira na njezinu veličinu. Ako je potrebno imati veći izlazni napon panele je moguće povezati serijskim spojem, odnosno paralelnim spojem ako je potrebno dobiti veću izlaznu struju. Najčešći su fotonaponski paneli za 12 voltne sisteme. Kako bi se postigao taj napon potrebno je serijski povezati 24 ćelije, ali za punjenje baterija i kako bi se kompenzirao pad napona fotonaponski panel obično sadrži između 28 i 40 pojedinih ćelija za viši napon. Da bi fotonaponski panel punio bateriju napona 12V njegov izlazni napon treba biti nešto veći. Kod punjenja baterija fotonaponskim panelima može doći do problema zbog pada napona, a to je:

a) Pad napona zbog visokih temperatura

Za razliku od solarne toplinske energije za grijanje, fotonaponski radi manje na velikim vrućinama. Rješenje za pad napona u tropskim klimama je instalacija panela sa većim naponima.

b) Duljina vodiča za povezivanje panela sa baterijama

Važno je da ožičenje između panela i drugih dijelova instalacije bude što je moguće kraće, jer je zbog relativno niskog napona potrebna veća struja koja će nositi električnu energiju u baterije pa je zbog potrebe većeg poprečnog presjeka žice povećano i grijanje vodiča i time pada ukupna snaga dovedena u baterije.

[Error! Reference source not found.] nam daje pregled tehničkih karakteristika fotonaponskih panela

**Tablica 2. Pregled tehničkih karakteristika fotonaponskih panela [3]**

ELEKTRIČNE KARAKTERISTIKE	
Maksimalna snaga $P_{max}$	250W <sub>p</sub>
Napon u točki maksimalne snage $U_{MPP}$	30,6V
Struja u točki maksimalne snage $I_{MPP}$	8,17A
Napon praznog hoda $U_{OC}$	36,3V
Struja kratkog spoja $I_{SC}$	8,71A
Stupanj korisnog djelovanja	15,4%
TEMPERATURNE KARAKTERISTIKE	
Temperaturni koeficijent snage $P_{MPP}$	-0,44%/°C
Temperaturni koeficijent napona $U_{OC}$	-0,34%/°C
Temperaturni koeficijent struje $I_{SC}$	-0,06%/°C
MEHANIČKE KARAKTERISTIKE	
Dimenzije (VxŠxD)	1640x990x40mm
Težina	21kg
Fotonaponske ćelije	Polikristalični Si, 156x156mm
Kabeli i konektori	Vodič duljine 1m, presjeka 4mm <sup>2</sup> , MC4 konektori
UVJETI RADA	
Temperaturni opseg	-40 do 85 °C
Maksimalno opterećenje panela	5400Pa ( test opterećenja pod snijegom)
Otpornost na tuču	Maksmilani promjer 25mm pri brzini od 23m/s
JAMSTVO PROIZVOĐAČA	
Jamstvo na proizvod	10godina
Jamstvo na snagu	12 godina 90% 25 godina 80%

U tablici 2 su prikazane tehničke karakteristike jednog polikristalnog fotonaponskog panela, te karakteristike su gotovo univerzalne ili postoje manje razlike koje ovise o proizvođaču fotonaponskih sustava.

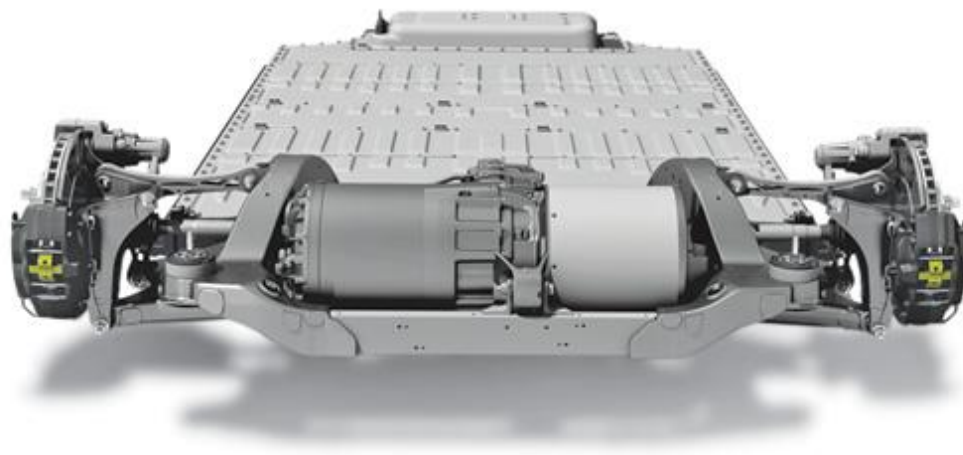
Kako bi ovakav fotonaponski panel ili više njih, mogao poslužiti u gradnji električnog automobila potrebno je imati ili potpuno ravan krov automobila ili savitljiv panel koji bi se prilagodio konturama krova automobila. Automobil sa ravnim krovom je nemoguće pronaći jer je i on aerodinamički oblikovan kako bi sam automobil imao što manji otpor zraka pri kretanju te što brže odvođenje vode ili snijega u kišnim i snježnim uvjetima pa je potrebno za ovu namjenu postaviti savitljivi fotonaponski panel. Savitljivi fotonaponski paneli koriste istu tehnologiju mono i polikristala kao i ostali fotonaponski paneli, ali je njihov poprečni presjek znatno manji i iznosi 1,7mm, a efikasnost ćelije iznosi 17,4%. Panel se sastoji od tri sloja, od kojih je prvi plastična baza, drugi fotonaponske ćelije i treći epoksidna smola otporna na UV zrake. Po panelima se može hodati bosim nogama, ali pod uvjetom da su paneli instalirani na površinu uz koju savršeno prijanjaju i koja je 100% tvrda. Fiksiraju se pomoću dvostruko ljepljive trake. Jedina mana savitljivih panela je nešto manja snaga po jedinici površine  $W_p$  od uobičajenih fiksnih fotonaponskih panela. [Slika 18] prikazuje savitljivi fotonaponski panel.



**Slika 18. Savitljivi fotonaponski panel [3]**

### 3. GRADNJA ELEKTRIČNOG AUTOMOBILA

Nakon odabira pojedinih dijelova slijedi i njihova ugradnja i konverzija automobila sa MSUI u električni automobil ili gradnja električnog automobila. Osnovne postavke od kojih treba krenuti su odabir vozila što manje ukupne mase jer masa vozila direktno utječe na performanse i broj prijeđenih kilometara, što manji  $C_d$  koeficijent odnosno što manji otpor zraka pri kretanju vozila, također je važno, a pogotovo kod konverzije automobila sa MSUI u električne automobile odabrati vozilo koje će biti isključivo namjenjeno jednoj ili dvije potrebe zbog izračuna ukupne potrošnje električne energije proporcionalno sa prijeđenim kilometrima u jednom ciklusu punjenja. Kao primjer gradnje električnog vozila uzet je Tesla model s. [Slika 19] prikazuje podvozje automobila Tesla Model S.



**Slika 19. Podvozje automobila Tesla Model S [3]**

Da bi smanjili koeficijent otpora zraka  $C_d$  inženjeri tvrtke Tesla su proizveli ravno podvozje automobila koje ujedno služi kao nosač prednjeg i zadnjeg dijela vozila sa svim komponentama pogona i kočionog sustava, te služi kao i nosač baterije vozila. Karakteristike ravnog podvozja koriste se u svijetu Formule 1 jer takav dizajn povećava stabilnost vozila na cesti stvarajući efekt vakuuma između podvozja i ceste pa takvo vozilo ima bolje vozne osobine i manju mogućnost klizanja osobito u zavojima.

Manji koeficijent otpora zraka smanjuje potrošnju električne energije spremljene u bateriji vozila pa je i broj prijeđenih kilometara veći. Još jedna prednost ovakvog dizajna podvozja je i mogućnost spuštanja centra težišta vozila čime se još više povećava ukupna stabilnost na cesti, a u putničkom prostoru se dobija više mjesta jer su sve komponente smještene ispod putničkog prostora. Takav dizajn daje maksimalnu udobnost putnicima u vozilu. U ovom slučaju tvrtka Tesla koristi 3-phase AC elektromotore kao pogon vozila spojene na jednostupanjsku mjenjačku kutiju kako bi se smanjili gubici na prijenosu koji u uobičajenim automobilima sa MSUI iznose i 35-40%. Kako bi se kompenzirao samo jedan stupanj prijenosa u odnosu na mjenjače koji koriste 5 ili više stupnjeva prijenosa elektromotor je spojen na upravljačku ploču frekventnog regulatora pa se promjena broja okretaja i snage koju elektromotor isporučuje kotačima regulira pomoću frekvencije. Također za izradu podvozja vozila Tesla Model S korišten su laki metali kao što su aluminij i njegov legure, dok se za kočione diskove koriste kompozitni materijali pa su mase inercije rotirajućih dijelova svedene na minimum, a snaga kočenja je povećana korištenjem kočionih diskova velikih promjera čak i do 300mm. Sve značajke i mogućnosti upravljanja osobnostima vozila elektroničkim putem prikazane su na lcd ekranu na kontrolnoj ploči pa vozač može odabrati način vožnje od načina štednje energije do sportskog načina vožnje i to samo pritiskom tipke na ekranu. Frekventni regulator u samom vozilu koristi mikroprocesor koji prema načinu i odabiru vožnje računa optimalne vrijednosti potrošnje električne energije pohranjene u bateriji te ih isporučuje elektromotoru. [Slika 20] prikazuje podvozje Modela S sa svim komponentama.



**Slika 20. Podvozje Modela S sa svim komponentama[3]**



Domet ovog električnog automobila je između 500 i 600 kilometara pri optimalnom režimu rada i normalnoj vožnji dok bi za gradsku vožnju taj broj pao na između 300 i 400 kilometara. Kako Tesla Model S koristi sustav regenerativnog kočenja moguće je u tom slučaju regenerirati nekoliko kwh električne enrgije i time postići još nekoliko desetaka prijeđenih kilometara.

Da bi se broj prijeđenih kilometara mogao povećati potrebno je ili ugraditi više ćelija baterije radi većeg kapaciteta, što je problematično jer se tada povećava i ukupna masa vozila i smanjuje prostor za putnike, ili ugraditi bateriju većeg kapaciteta čime se povećava ukupna cijena koštanja samog vozila.

Mogućnost povećanja dometa vozila je ugradnja fotonaponskih ćelija na krov vozila pa bi se baterije punile i dok automobil miruje i dok se kreće. Takvu mogućnost nude savitljivi fotonaponski paneli kojima je moguće pokriti cijelu površinu krova automobila i puniti bateriju sa otprilike 0,5kw/h što bi značilo da bi se kroz 10 sati punjenja koliko automobil stoji na parkiralištu, a baterija se puni moglo dobiti i do 5kwh što bi bilo dovoljno za prijeći dodatnih 20% kilometara što ovisi o režimu vožnje automobila. Primjer iz svakodnevnice je odlazak na posao električnim automobilom sa fotonaponskim panelima koji je parkiran na parkiralištu 8-10 sati te se za to vrijeme napuni sa dodatnih 5kwh ili više zavisno o površini krova i površini ugrađenih fotonaponskih panela. Kada bi se električni automobil koristio samo u svrhe odlazaka na posao ili u svrhu manje gradske vožnje 30-40 kilometara dnevno za vožnju bi bilo dovoljno i samo punjenje pomoću panela na krovu vozila pa bi se trošak energije potrebne za vožnju pao na nulu i nakon kupljenog vozila daljnja ulaganja i potrošnja bi bila zanemariva, a takav automobil bi bio višestruko isplativiji od drugih automobila sa MSUI.

Takvo rješenje je ponudilo više proizvođača automobila, a najpoznatiji je Ford sa modelom C-Max koji se proizvodi kao model sa MSUI i kao hibridni električni automobil sa mogućnošću punjenja baterije fotonaponskim panelima. Kao bazni model tvornica automobila Ford uzela je svoj model C-Max i pretvorila ga u koceptno hibrid električno vozilo sličnih karakteristika kao i model sa MSUI.[3]

[Slika 21] prikazuje Ford C-Max sa fotonaponskim panelima za punjenje baterije.



**Slika 21. Ford C-Max sa fotonaponskim panelima za punjenje baterije [3]**

Predstavljen kao konceptni model Ford C-Max prikazuje mogućnosti budućeg načina korištenja električnog automobila te gotovo besplatnu električnu energiju koja je potrebna za njegov pogon. Budući da ovaj konceptni model koristi hibridni pogon koji objedinjuje MSUI sa elektromotorom nije u potpunosti električni, ali će daljnjim razvojem fotonaponskih panela i kapaciteta baterija i hibridna vozila zamjeniti potpuno električni automobili. Automobili sa MSUI možda nešto niže cijene ili gotovo jednake cijene koštaju i do tri puta više ako se uzmu u obzir troškovi amortizacije kroz period od 10 ili 15 godina koliko se takav automobil vozi prije nego se zamjeni novim, budući da električni automobili imaju mali broj dijelova koji koriste cijena amortizacije je znatno niža odnosno gotovo da troškova i nema osim izmjene dijelova kočionog sustava te pneumatika.

Postoji također i potpuno električni Fordov automobil, a predstavljen je modelom Focus. Pogoni ga 90kw elektromotor sa 140Nm okretnog momenta, ukupni kapacitet baterije iznosi 23 kwh dok mu je ukupni domet do sljedećeg punjenja oko 120 kilometara što također ovisi o režimu vožnje. [Slika 22] prikazuje podvozje automobila Ford Focus Electric.



**Slika 22. Podvozje automobila Ford Focus Electric [3]**

Gornji dio vozila odnosno cijela karoserija gotovo je jednaka i modelu sa MSUI kao i interijer pa ničime ne "odskake" od drugih automobila koja se viđaju na cestama. Da bi u potpunosti promjenili pristup električnim vozilima inženjeri su uveli proizvodnju električnih automobila gotovo istog izgleda kao i drugih automobila sa MSUI jer je stari dizajn uvijek odudarao od ostalih vozila pa je odluka za kupnju električnog automobila bila otežana zbog samog izgleda električnih vozila.

[Slika 23] prikazuje automobil Ford Focus Electric.



**Slika 23. Ford Focus Electric [3]**

Cijenom i izgledom kao i opremom koju nudi je konkurentan automobil današnjice koji pomaže u očuvanju okoliša neispuštanjem CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> ispušnih plinova koji zagađuju okolinu, a sa druge strane jeftiniji je za održavanje od ostalih automobila sa MSUI te se njihova kupnja potiče kroz razne fondove i financiranja, a najvažnije je povećanje svijesti sve većeg broja ljudi o očuvanju okoliša i prirode.

Korak dalje u gradnji električnih vozila bila bi izgradnja infrastrukture koja potiče kupnju električnih vozila zbog potrebe za punjenjem njihovih baterija pa je korištenje tehnologije fotonaponskih panela i ovdje razvijeno. Prosječna stanica za punjenje može istovremeno puniti zavisno o konstrukciji od 4 do 8 vozila. Struja potrebna za punjenje električnih vozila dolazi iz gradske mreže te se naplaćuje kroz račune poreznih obveznika ili kroz slične pristojbe. Kako bi se umanjila količina potrošene električne energije iz mreže ugrađuju se fotonaponski paneli na krovove punionica električnih vozila.

[Slika 24] prikazuje punionicu električnih automobila sa fotonaponskim panelima.



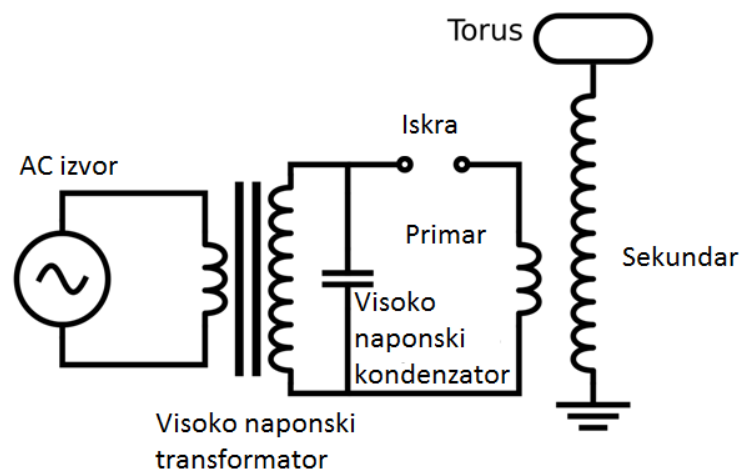
**Slika 24. Punionica električnih automobila sa fotonaponskim panelima [3]**

Današnjom tehnologijom i razvojem fotonaponskih panela moguće je dobiti između 250 i 300 W po panelu što bi se u budućnosti trebalo i utrostručiti zbog novih materijala koji ulaze u proizvodnju samih panela kao i tehnologije i načina same proizvodnje panela. Sadašnja tehnologija koristi poluvodič silicij u kombinaciji sa slojevima UV upijajućih materijala i plastike jer za sada imaju najveći efekt pretvorbe sunčeve svjetlosti u upotrebljivu istosmjernu struju, dok bi se u budućnosti umjesto silicija mogli koristiti i drugi materijali.[2] U kasnijoj budućnosti bi fotonaponski paneli mogli u potpunosti ili u velikom dijelu zamijeniti konvencionalne načine dobivanja električne energije koja bi bila čista za okoliš i ljudsko zdravlje.

## 4. PRETVARAČ VISOKOG NAPONA - TESLINA ZAVOJNICA

### 4.1 Općenito o Tesloj zavojnici

Teslina zavojnica ili Teslin transformator je uređaj za proizvodnju visokoga napona, do nekoliko milijuna volti te izmjenične struje visokih frekvencija od 10 do 300 kHz koji je izumio Nikola Tesla 1891. Primar Teslina transformatora sastoji se od električne zavojnice načinjene od žice koja ima mali broj namotaja, te visokonaponskog električnoga kondenzatora i iskrišta. Frekvencija titranja titrajnoga strujnoga kruga primara ovisi o električnom kapacitetu kondenzatora i o induktivnosti zavojnice. Sekundarna zavojnica ima vrlo velik broj namotaja od tanke žice, a nalazi se unutar primarne zavojnice kako bi prijenos energije bio što bolji. Zavojnice ne sadrže željeznu jezgru jer bi s njom, zbog visokih frekvencija Tesline struje, gubitci energije bili veliki. Električni se kondenzator električki nabija do napona od nekoliko kilovolta s pomoću izvora izmjenične struje, najčešće s pomoću transformatora. Kada je kondenzator električki nabijen, strujni krug primara zatvara se preko iskrišta, kondenzator se prazni i nastaje visokofrekventno titranje punjenje i pražnjenje kondenzatora kroz zavojnicu, a magnetsko polje primarne zavojnice inducira napon u sekundarnoj zavojnici.[1] Visoki naponi u Teslinu transformatoru stvaraju snažne iskre ili duge pramenove svjetlosti ako se na vrh sekundarne zavojnice stavi metalni prsten ili toroid, a mogu se pojaviti i drugi učinci, na primjer u blizini sekundara u Geisslerovim cijevima nastaje luminiscencija, i kad one nisu povezane vodičima sa sekundarom. Teslin transformator je svojstven po tome da zbog stojnog vala koji nastaje na sekundarnoj zavojnici proizvodi vrlo visoki napon visoke frekvencije. [Slika 25] prikazuje shemu tesline zavojnice.

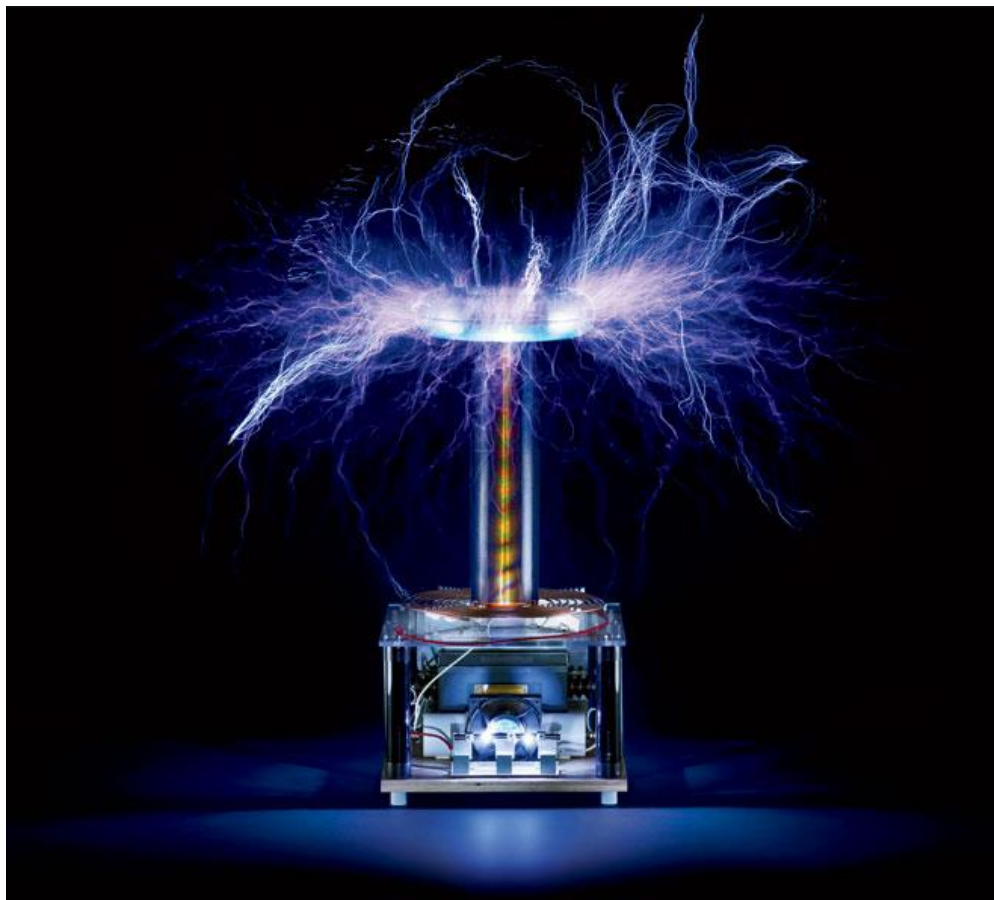


Slika 25. Shema Tesline zavojnice[3]

## 4.2 Povijest Tesline zavojnice

Tesla je tvrdio da će električno osvjetljenje biti ekonomičnije ako se upotrijebi izmjenična električna struja sa znatno većom frekvencijom od 50 Hz (titraja u sekundi). Prvi Teslin visokofrekventni generator izmjenične struje je imao 400 pari polova, i pri 3000 okretaja u minuti, davao je struju sa 10 000 Hz.[3] No Tesla je počeo ispitivati i druge mogućnosti dobivanja visoke frekvencije i vrlo visokog napona. Pronašao je da se to može postići upotrebom razmaka na iskrištu, slično svjećici na automobilu, u oscilirajućem električnom krugu. Zapravo, kod električne iskre nastaju električne oscilacije, čiji broj iznosi od 100 000 Hz do 1 000 000 Hz, uslijed čega u takvom krugu nastaje isto toliki broj prekida struje. Prema tome, magnetsko polje ovakvog oscilirajućeg kruga mijenjat će svoj smjer 100 000 do 1 000 000 puta u sekundi, pa ako unesemo provodnik u takvo promjenjivo magnetsko polje, inducirat će se struja visoke frekvencije i visokog napona.

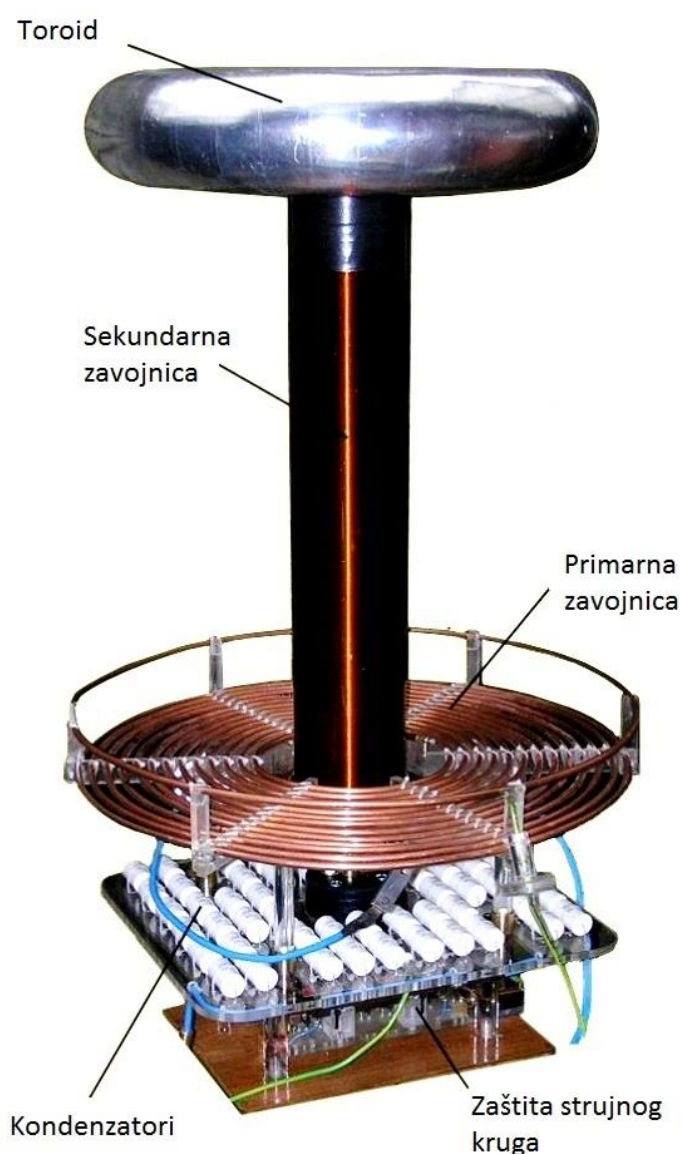
[Slika 26] prikazuje proboj pramenova električne struje kroz zrak zbog titraja elektrona visoke frekvencije.



Slika 26. Pramenovi električne struje visoke frekvencije [3]

### 4.3 Princip rada

Teslin transformator se sastoji iz primarne zavojnice od nekoliko zavoja debele žice. Promjer ove zavojnice može biti od nekoliko milimetara do nekoliko metara. U sredini primarne zavojnice, nalazi se sekundarna zavojnica, sa velikim brojem zavoja tanke i dobro izolirane žice i puno manjeg promjera od primarne zavojnice. Kao izolator može poslužiti zrak ili se obje zavojnice potope u transformatorsko ulje. On nema željeznu jezgru, kao normalni transformator, jer bi ona ometala električne oscilacije. Najveći efekt se postiže u sekundarnoj zavojnici ako ima isti period oscilacija kao primarna zavojnica. [Slika 27] prikazuje glavne komponente Tesline zavojnice.

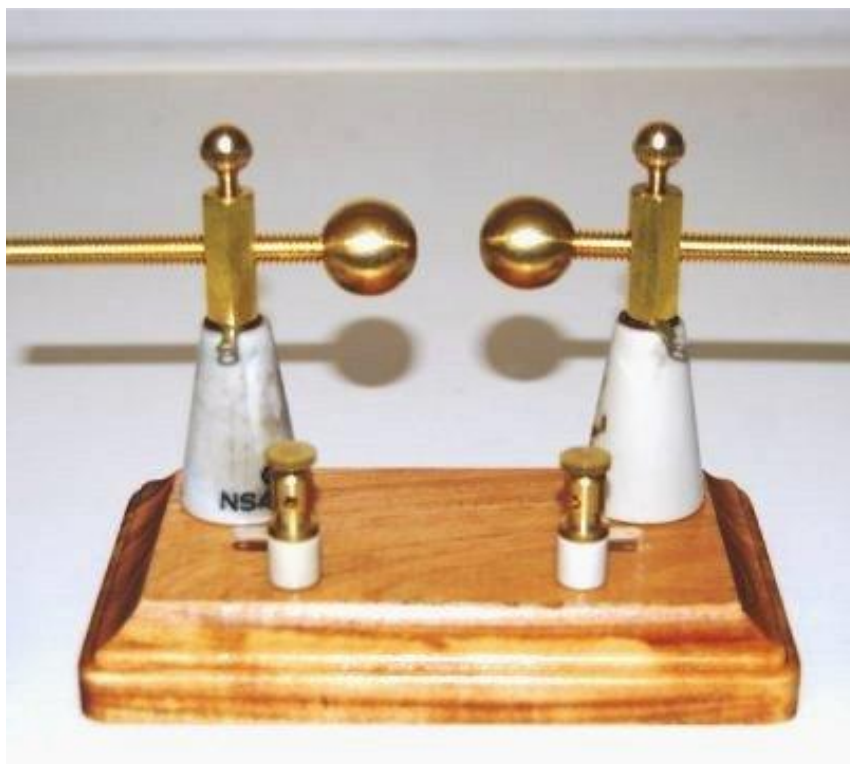


Slika 27. Prikazuje glavne komponente Tesline zavojnice [3]



Zavojnice primara i sekundara se montiraju na izolator odnosno podlogu koja služi kao izolator između zavojnice i zemlje kako ne bi došlo do kratkog spoja. Strujni krug primara i sekundara zaštićen je zbog mogućnosti izboja prevelikog napona na primar i dalje na kondenzatore te strujni izvor koji napaja primar Tesline zavojnice. Kao dodatna zaštita služi i prorez između dva metalna elementa koji su u obliku kugle te preko njih struja preskače u obliku iskre. Zbog ne zatvorenog strujnog kruga ne može doći do izgaranja Tesline zavojnice niti strujnog izvora.

[Slika 28] prikazuje zaštitu strujnog kruga prorezom između vodičkih elemenata.



**Slika 28. Prorez u strujnom krugu za zaštitu strujnog izvora [3]**

Zbog manjih gubitaka struje izvora napajanja kao vodički elementi koriste se metali kao što su aluminij, bakar, mjeđ kao i legirani metali, gdje su legirni elementi zlato ili wolfram otporni na visoke temperature te manjeg unutarnjeg otpora. Struja koja teče vodičima sa manjim otporom ima manje gubitke te time povećava efekt snage na trošilu u ovom slučaju povećava pramenove koji izlaze iz Tesline zavojnice.

Da bi dobili pramenove struje iz Tesline zavojnice na vrh sekundarne zavojnice se stavlja prsten, obično napravljen od fleksibilnih aluminijskih cijevi, da bi stvorio električno polje, koje omogućuje stvaranje iskri i munja izvan zavojnica.

[Slika 29] prikazuje prsten napravljen od aluminijske cijevi povezan sa sekundarnom zavojnicom.



**Slika 29. Prsten spojen na sekundar Tesline zavojnice [3]**

Ako bi Teslina zavojnica bila napravljena bez prstena na vrhu sekundara efekt izbijanja iskri ili pramenova bi bio i do 5 puta manji.

#### **4.4 Primjena Tesline zavojnice**

Ako se jedan pol sekundarne zavojnice Teslinog transformatora uzemlji, onda će na drugom polu izbijati dugi pramenovi svjetlosti. Još intenzivnije plavičaste pramenove vidjet će se između dvije paralelne bakarne žice ili dvije kružno savijene bakrene žice, ako njihove slobodne krajeve vežemo za polove sekundarne zavojnice. Ako se na polove sekundarne zavojnice stave dvije bakrene ploče, onda se između njih stvara jako električno polje. Ako se u to električno polje stavi fluorescentna svjetiljka, onda će ona svijetliti, iako nije povezana vodičima. Teslin transformator se uglavnom koristi za pokuse sa bežičnim prijenosom energije i informacijama na daljinu. U današnje vrijeme se Teslin transformator koristi za obrazovne svrhe, a grade ih muzeji, istraživačke ustanove i entuzijasti.

## **5. ZAKLJUČAK**

Nakon uvodnog dijela i prikazanih osnovnih elemenata električnog automobila kao i fotonaponskih sustava prikazana je i gradnja električnog automobila te u zadnjem dijelu i Teslina zavojnica kao pretvarač visokog napona.

Automobili su zbog svoje uloge u svakodnevnom životu ljudi nezamjenjiva prijevozna sredstva te kao takva i veliki zagađivači okoliša jer ispuštaju velike količine štetnih ispušnih plinova koji uvelike štete okolišu i ljudskom zdravlju. Kako bi se reducirale količine štetnih ispušnih plinova i smanjilo zagađivanje okoliša električni automobili u potpunosti zamjenjuju automobile sa MSUI, a ne ispuštaju štetne ispušne plinove te kao takvi predstavljaju tehnologiju budućnosti prijevoza. Daljnjim razvojem baterija koje se koriste u električnim automobilima povećavati će se njihov kapacitet i brzina punjenja, a tako i domet automobila.

## **6. PRILOZI**

CD-R disk

## 7. LITERATURA

- [1] Interna skripta, Električni Strojevi 1 i 2, Tehničko Veleučilište u Zagrebu, 2010,
- [2] Schrack, Jednostavni Li-Ionski Fotonaponski sustavi, 2015,
- [3] Wikipedia, Teslin transformator.