

Istraživanje algoritama za punjenje baterija električnih vozila

Višnić, Karla

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:168:785662>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-01**



Repository / Repozitorij:

[FER Repository - University of Zagreb Faculty of Electrical Engineering and Computing repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 69

**ISTRAŽIVANJE ALGORITAMA ZA PUNJENJE BATERIJA
ELEKTRIČNIH VOZILA**

Karla Višnić

Zagreb, veljača 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 69

**ISTRAŽIVANJE ALGORITAMA ZA PUNJENJE BATERIJA
ELEKTRIČNIH VOZILA**

Karla Višnić

Zagreb, veljača 2024.

DIPLOMSKI ZADATAK br. 69

Pristupnica: **Karla Višnić (0036515504)**
Studij: Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Profil: Elektrostrojarstvo i automatizacija
Mentor: prof. dr. sc. Damir Sumina

Zadatak: **Istraživanje algoritama za punjenje baterija električnih vozila**

Opis zadatka:

Električna mobilnost je ključna za smanjenje emisije stakleničkih plinova i održivu budućnost prijevoza. Razvoj učinkovitih i brzih sustava za punjenje baterija električnih vozila igra ključnu ulogu u poticanju upotrebe električnih vozila. Ovaj diplomski rad doprinosi ispitivanju takvih sustava i omogućuje daljnje istraživanje u području električne mobilnosti. Glavni cilj ovog diplomskog rada je implementirati i analizirati sustav za punjenje baterija električnih vozila. U radu je potrebno istražiti trenutna tehnološka rješenja za punjenje baterija električnih vozila i analizirati njihove prednosti i nedostatke. Potrebno je napraviti analizu dostupnog kontrolera u smislu njegovih tehničkih specifikacija, performansi i kompatibilnosti s različitim vrstama električnih vozila. Potrebno je implementirati algoritme za punjenje baterija električnih vozila te analizirati i implementirati komunikaciju između kontrolera i vozila. Nakon toga potrebno je izvršiti mjerenja i evaluirati performanse sustava, uključujući brzinu punjenja, učinkovitost i sigurnost.

Rok za predaju rada: 9. veljače 2024.

Najveće zahvale pripadaju mojim roditeljima, Renati i Saši te bratu Jurici, čija me neizmjerena podrška dovela do kraja mog akademskog puta i pomogla formirati u osobu kakva jesam.

Hvala mentoru, prof. dr. sc. Damiru Sumini na vodstvu tokom izrade diplomskog rada.

Također, hvala kolegama Vedadu, Darku i Borisu na pomoći i savjetima koje su mi udijelili kako bi ostvarenje ovog rada bilo moguće.

Na kraju, hvala Antoniju i svim mojim prijateljima koji su na moje studentske dane ostavili neizbrisiv trag.

SADRŽAJ

1. Uvod	1
2. Trenutna tehnološka rješenja	2
3. Postav i oprema	4
3.1. DC izvor	5
3.2. Modul punjenja	6
3.3. Nadzorni PLC	6
3.4. Kontroler punjenja	7
3.5. Istosmjerni sklopnik	7
3.6. DC punjač automobila	8
3.7. Uređaj za nadzor otpora izolacije	9
3.8. HMI panel	9
3.9. RFID čitač kartica	10
4. Izrada ormara	11
5. Koraci DC punjenja vozila	13
6. Algoritam upravljanja snagom punjenja	17
6.1. Sekvenca punjenja vozila	17
6.2. Odabir korisnika i programiranje RFID čitača	18
6.3. Modbus komunikacija	19
6.4. Modbus TCP komunikacija	20
6.5. Izračun snage punjenja	23
6.6. Pokretanje punjenja	26
6.7. HMI panel	26
7. Program punjenja baterija električnih vozila	28
7.1. CAN komunikacija	28
7.2. Dinamičko postavljanje ograničenja	32

7.3. Test izolacije kabela	35
8. Rezultati punjenja	36
9. Zaključak	41
Literatura	42

1. Uvod

U posljednjih nekoliko godina komercijalizacija električnih vozila dovela je do globalnog povećanja uporabe električnih vozila kao primarnog prijevoznog sredstva. Ovaj trend rezultirao je značajnom potrebom punionica električnih vozila u elektroenergetskom sustavu. U želji za efikasnim elektronenergetskim sustavom neizostavan korak je implementacija sustava upravljanja kao što su punionice električnih vozila s pametnim upravljanjem raspodjele energije.

Cilj ovog diplomskog rada je izrada brze punionice električnih vozila koja radi na principu istosmjerne (DC) struje i podržava istovremeno punjenje većeg broja vozila, uzimajući u obzir ograničenja elektroenergetskog sustava i punjača. Osim fizičke izrade sustava punionice potrebna je i izrada programa za odabir snage punjenja baterije pojedinog vozila. Ovim radom nastoji se detaljnije objasniti proces punjenja i opcije upravljanja snagom punjenja.

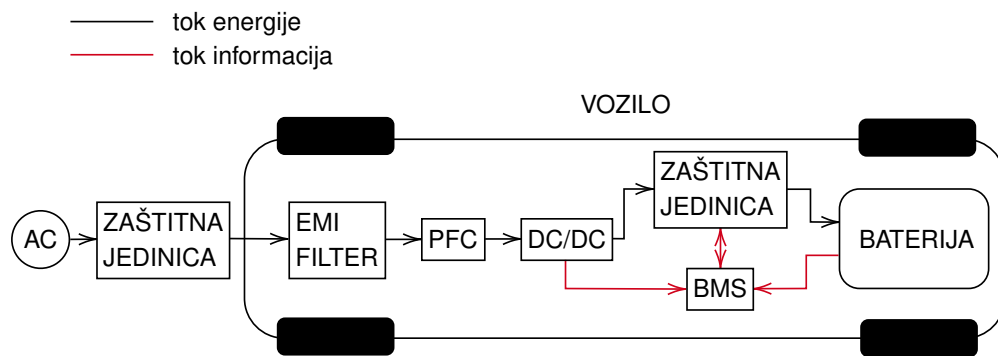
U narednim poglavljima opisana su trenutna tehnološka rješenja punionica te njihove prednosti i mane. Zatim slijedi pregled korištene opreme i postupak punjenja baterija električnih vozila koja daju jasnu sliku o potrebnom načinu upravljanja. Detaljno je pojašnjen algoritam raspodjele energije među vozilima te su opisani korišteni komunikacijski protokoli. Slijedi opis programa koji služi za uspostavu punjenja jednog vozila. Na samom kraju prikazano je uspješno ostvarenje punjenja na fizičkom postavu.

2. Trenutna tehnološka rješenja

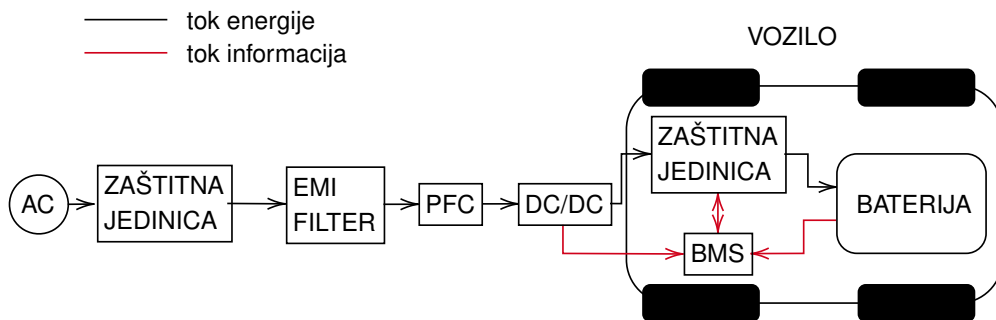
Jedna od podjela punionica električnih vozila na današnjem tržištu odnosi se na mjesto pretvorbe energije iz izmjeničnog (AC) u istosmjerni (DC) oblik [10]. Postoje punionice koje pretvorbu energije vrše izvan vozila i one koje ju vrše unutar vozila.

Pretvorba energije koja se događa unutar vozila prikazana je slikom 2.1. Kod ove konfiguracije sustava energija iz elektroenergetskog sustava prolazi kroz zaštitnu jedinicu do vozila, gdje EMI (eng. *Electro Magnetic Interference*) filter uklanja visokofrekvencijsku buku koja može dovesti do grešaka u komunikaciji dva ili više uređaja. Nakon EMI filtera slijedi PFC (eng. *Power Factor Correction*) uređaj pomoću kojega se nastoji povećati faktor snage. Energija potom prelazi u DC/DC pretvarač i zaštitnu jedinicu baterije kojom se upravlja pomoću BMS-a (eng. *Battery Management System*). BMS je važna komponenta u punjenju baterija električnih vozila jer ona prikuplja podatke baterijskog modula, DC/DC pretvarača i zaštitne jedinice kako bi se na pravilan način pomoću regulacije struje i napona moglo izvršiti punjenje baterije vozila.

Slika 2.2 predstavlja sustav punjenja s pretvorbom energije izvan vozila. Ova konfiguracija slična je konfiguraciji koja radi na principu pretvorbe energije unutar vozila, s vidljivom razlikom da su svi elementi koji se nalaze prije DC/DC pretvarača, uključujući i njega, postavljeni izvan vozila, odnosno u sklopu punionice električnih vozila. Ova karakteristika omogućava veću snagu punjenja, što rezultira kraćim vremenom punjenja, a dodatna prednost krije se u težini vozila. Vozila koja u sebi dodatno imaju DC/DC pretvarač znatno su teža od onih koja u sebi to nemaju, što ujedno dovodi i do manje potrošnje te većeg ubrzanja. Mana ovakvih vrsta vozila je što punjenje mora biti izvršeno na specijaliziranim DC punionicama, čija je analiza i funkcionalnost prikazana u ovom diplomskom radu.



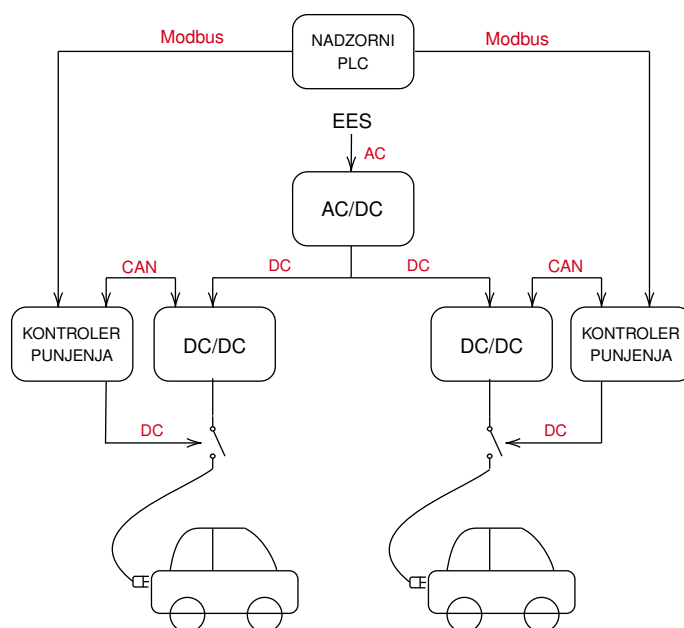
Slika 2.1: Skica punjenja vozila pomoću pretvorbe energije unutar vozila



Slika 2.2: Skica punjenja vozila pomoću pretvorbe energije izvan vozila

3. Postav i oprema

Elementi punionice za testiranje programa raspodjele energije prikazani su na slici 3.1. Punionica se sastoji od DC izvora prikazan oznakom AC/DC koji iz elektroenergetskog sustava uzima energiju i pretvara je u DC oblik. DC napon potreban je kako bi moduli punjenja prikazani oznakom DC/DC mogli vozilima osigurati napon i struju punjenja. Moduli punjenja instrukcije za postavljanje napona i struje dobivaju putem CAN (eng. *Controller Area Network*) komunikacije od kontrolera punjenja. Kako bi se punjenje pokrenulo, kontroleri punjenja moraju aktivirati sklopnike koji se nalaze između modula i vozila. S obzirom da kontroleri punjenja nemaju nikakve informacije o dostupnim snagama za punjenje, nadzorni PLC (eng. *Programmable Logic Controller*) je uređaj koji će kontrolerima putem Modbus TCP komunikacije dostaviti informacije o potrebnim strujama i naponima za punjenje. Nadzorni PLC u svakom trenutku prima sve potrebne informacije o sustavu kako bi mogao osigurati pametnu raspodjelu energije između dva vozila.



Slika 3.1: Skica toka energije i komunikacije postava

Za postav sa slike 3.1 odabrana je oprema prikazana tablicom 3.1.

Tablica 3.1: Popis korištene opreme

Oprema	Proivodač	Kataloška oznaka
DC izvor	Delta Elektronika	SM500-CP-90
Modul punjenja	Phoenix Contact	1296467
Nadzorni PLC	Siemens	6ES7214-1HG40-0XB0
Kontroleri punjenja	Phoenix Contact	1624130
Isosmjerni sklopnik	Littelfuse	DCNEV250
DC konektor punjenja	Phoenix Contact	1095775
Uređaj za nadzor otpora izolacije	Bender	B91036401
HMI panel	Siemens	6AV2123-2GB03-0AX0
Mrežni preklopnik	Siemens	6GK5005-0BA10-1AA3
RFID čitač kartica	Hikvision	DS-K1801M

3.1. DC izvor

Uređaj koji osigurava DC napon potreban za module punjenja je izvor SM500-CP-90 proizvođača Delta Elektronika. SM500-CP-90 pruža fleksibilnost u podešavanju napona u rasponu od 0 do 500V i struje u rasponu od -90 do 90A. Maksimalna snaga koju uređaj može razviti je 15kW. Dodatno, uređaj ima sposobnost vraćanja energije u mrežu, ali pošto se izvor koristi isključivo za punjenje vozila ova značajka neće se koristiti.



Slika 3.2: DC izvor [3]

3.2. Modul punjenja

Modul punjenja je uređaj dizajniran za implementaciju rješenja brzih DC punionica. Napon koji se na izlazu može razviti je u rasponu od 150 do 1000V, što je dovoljno za punjenje većine vozila kojima je napon baterije 400 ili 800V. Struja koju modul može postići je 100A, a maksimalna snaga 30kW.



Slika 3.3: DC modul za punjenje vozila [2]

3.3. Nadzorni PLC

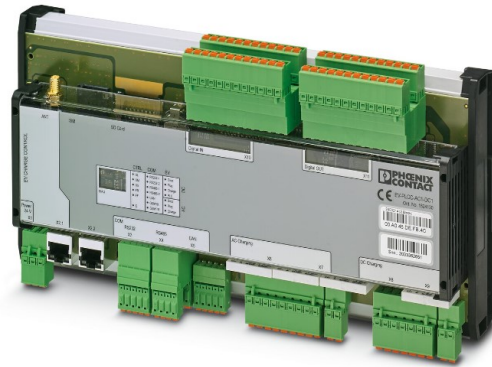
Nadzorni PLC služi za upravljanje tokom energije cijelog sustava. S obzirom da je maksimalna snaga koju izvor može postići 15kW, a taj izvor ujedno napaja i dva modula punjenja od 30kW, potrebna je pametna raspodjela energije kako bi se osiguralo da ukupna snaga punjenja svih vozila priključenih na sustav punionice ne prijeđe maksimalnih 15kW.



Slika 3.4: Nadzorni PLC za upravljanje tokom energije [8]

3.4. Kontroler punjenja

Kontroler punjenja električnih vozila koji se koristi je EV-PLCC-AC1-DC1 proizvođača Phoenix Contact. Punjenje baterija putem ovog kontrolera izvedeno je po standardima IEC 61851-1,-23, DIN SPEC 70121 i CHAdeMO. Kontroler ima mogućnost ostvarivanja AC i DC punjenja, što uvelike pridonosi njegovoj širokoj primjeni kod punjenja električnih vozila.



Slika 3.5: Kontroler za upravljanje punjenja električnih vozila [6]

3.5. Istosmjerni sklopnik

Fizička izolacija elemenata kod prijenosa energije je najsigurniji vid zaštite od prevelike struje i napona, koji u određenim slučajevima mogu napraviti značajnu štetu dijelovima strujnog kruga. Jedan od načina je postavljanje istosmjernog sklopnika između modula punjenja i samog vozila, što je implementirano u ovom radu. Istosmjerni sklopnik, prikazan na slici 3.6, je uređaj kojim upravlja kontroler punjenja i koji osigurava da se punjenje uspostavi ili prekine s obzirom na stanje sustava.



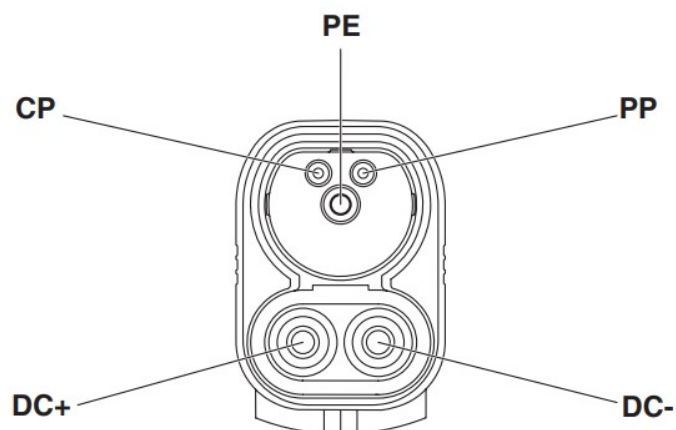
Slika 3.6: Istosmjerni sklopnik [4]

3.6. DC punjač automobila

Konektor za punjenje korišten u sklopu punionice je CCS (eng. *Combined Charging System*), tip 2 i njegov izgled prikazan je slikom 3.7. Ovaj tip koristi se kao europski standard za DC punjenje vozila. Na slici 3.8 vidljivo je pet konekcija. Putem priključaka DC+ i DC- vrši se punjenje baterije vozila. PE priključak služi kao uzemljenje, a CP (eng. *control pilot*) i PP (eng. *proximity pilot*) služe za komunikaciju vozila i kontrolera. CP prenosi informacije putem CAN komunikacije, dok PP služi kao obavijest je li vozilo priključeno na punionicu ili nije. PP priključak koristi se kod stanica koje nemaju ugrađeni kabel za punjenje, već se korisnik sa svojim kabelom spaja i uspostavlja punjenje.



Slika 3.7: Izgled konektora CCS tip 2 [5]



Slika 3.8: Priključci konektora CCS tip 2 [5]

3.7. Uređaj za nadzor otpora izolacije

Nadzora otpora izolacije izvršava uređaj ISOMETER isoCHA425HV. Ovaj uređaj u kombinaciji s uređajem AGH420-1 provjerava otpor izolacije za DC punionice prema CHAdeMO i CCS standardima. Raspon napona za koje ovaj uređaj provjerava otpor izolacije je od 0 do 1000V te je u njegovim postavkama moguće postaviti razinu otpora izolacije za provjeru od 1 do 500k Ω .



Slika 3.9: Uređaj za nadzor otpora izolacije [1]

3.8. HMI panel

HMI panel (eng. *Human Machine Interface*, u prijevodu sučelje čovjek-stroj) je uređaj putem kojeg je moguće dobiti informacije o trenutnom stanju sustava. HMI panel koji se koristi u sklopu ove punionice prikazan je na slici 3.10.



Slika 3.10: HMI panel [8]

3.9. RFID čitač kartica

Za prepoznavanje korisnika punionice koristi se RFID čitač kartica sa slike 3.11. Ovaj uređaj prikuplja podatke o prijavljenim korisnicima te ih potom šalje nadzornom PLC-u kako bi proračuni snaga punjenja bili mogući.



Slika 3.11: RFID čitač kartica [7]

4. Izrada ormara

Prvi korak u izradi punionice je montaža i ožičenje postava. Ormar korišten za izradu punionice je *rack* ormar. *Rack* ormari sastoje se od okvira koji je standardiziran za montažu elektroničkih uređaja. Ovi ormari često se koriste u postavima kod kojih je potrebna organizirana montaža opreme i kabela, što je slučaj i kod DC punionica.

Prema opisu iz poglavlja 3 napravljena je shema spajanja u programu Eplan. Osim sheme spajanja, pomoću Eplan-a je moguće izraditi i 3D prikaz sustava sa svim komponentama kako bi montaža potrebnih uređaja bila što jednostavnija te kako bi se cjelokupan raspored elemenata mogao vidjeti prije izrade punionice. Slikom 4.1 prikazan je 3D model, dok je na slici 4.2 u cijelosti dovršena stanica za punjenje baterija električnih vozila.



Slika 4.1: 3D shema punionice



Slika 4.2: Slika montirane punionice

5. Koraci DC punjenja vozila

Prije izrade programa punjenja potrebno je poznavanje jednog ciklusa punjenja baterija električnih vozila. Punjenje se odvija u kontroliranim uvjetima. Konstantna provjera struje i napona, kao i temperature baterije, ključan su korak u ostvarivanju sigurnosti korisnika. Tablica 5.1 prikazuje sve faze DC punjenja električnih vozila.

Na početku ciklusa kada vozilo nije priključeno na punionicu, napon na priključku CP iznosi 12V. Kao što je spomenuto u poglavlju 3.6, CP prenosi podatke za komunikaciju između vozila i kontrolera punjenja. U ovoj fazi dodatno je moguća ciklička provjera otpora izolacije.

U trenutku priključka vozila na punionicu, napon CP priključka spušta se na 9V, što daje informaciju kontroleru da je vozilo priključeno na punionicu te da je moguće prijeći na sljedeći korak.

Sljedi korak inicijalizacije početnih parametara. Inicijalizacija započinje kada vozilo uključi PWM signal potreban za digitalnu komunikaciju sa stanicom za punjenje. U ovom koraku uspostavlja se razmjena parametara punjenja između vozila i stanice. Dodatno se provjerava napon između DC+ i DC- priključka, koji u ovoj fazi ne bi smio biti veći od 60V. Na kraju inicijalizacije vozilo šalje informacije o maksimalnim vrijednostima napona i struje punjenja te se konektor za punjenje zaključava, kako se tijekom procesa punjenja ne bi mogao fizički odspojiti.

U četvrtom koraku ciklusa izvodi se test izolacije kabela. Test izolacije kabela mora biti inicijaliziran od strane vozila. Ukoliko je test izvršen bez grešaka, vozilo i stanica spremni su za proces punjenja.

Netom prije početka samog punjenja potrebno je obaviti predpunjenje. To je proces u kojem je napon punionice postavljen na vrijednost određenu samom baterijom vozila, dok struja mora biti manja od 2A. Nakon uspješno obavljenog predpunjenja, vozilo prelazi u stanje spremno za punjenje te čeka da stanica uzvrati potvrdom o spremnosti. U trenutku kada i vozilo i stanica postignu stanje spremnosti na punjenje, prelazi se na korak šest.

Tijekom šestog koraka vozilo kontinuirano stanici šalje svoje zahtjeve napona, dok

u isto vrijeme stanica na svoje izlaze postavlja parametre koje je vozilo od nje zahtijevalo. Tijekom ovog koraka potrebno je na pametan način odlučiti o struji koju stanica postavlja na svoje izlaze, jer će o tome ovisiti snaga punjenja vozila.

Po završetku punjenja, vozilo i stanica smanjuju struju punjenja i vozilo šalje informaciju kako više nije spremno za punjenje, odnosno punjenje se zaustavlja. Stanica u ovoj fazi mora isprazniti svoj istosmjerni međukrug i poslati vozilu povratnu informaciju kako ni ona više nije spremna za punjenje. Vozilo se vraća u korak inicijalizacije.

Tijekom sedmog i osmog koraka vozilo otključava konektor za punjenje, prekida digitalnu komunikaciju sa stanicom i isključuje PWM signal te se vozilo fizički odspaja od punionice.

Tablica 5.1: Faze DC punjenja kod CCS-a

Faza punjenja	Status izvršavanja punjenja
1. Vozilo nije priključeno	a) CP = 12 V DC b) Stanica ciklički provodi nadzor izolacije
2. Vozilo je priključeno	Konektor za punjenje vozila priključen u vozilo, CP priključak prelazi na 9 V DC
3. Inicijalizacija	a) PWM je uključen s faktorom vođenja od 5% i uspostavljena je digitalna komunikacija između vozila i punionice b) Razmjena parametara punjenja između vozila i stanice za punjenje c) Provjera izlaznog napona između DC+ i DC- konektora punionice (mora biti manji od 60 V) d) Vozilo šalje maksimalne vrijednosti struje i napona punjenja e) Vozilo zaključava priključak za punjenje
4. Test izolacije kabela	a) Vozilo potvrđuje da je priključak za punjenje zaključan b) Vozilo zahtijeva test izolacije kabela c) Stanica izvodi test izolacije kabela i javlja vrijednost vozilu d) Test izolacije kabela izvršen e) Vozilo i stanica su spremni za punjenje

Faza punjenja	Status izvršavanja punjenja
5. Predpunjenje	<p>a) Vozilo šalje stanici zahtjev za predpunjenje sa strujom manjom od 2 A i naponom potrebnim za pokretanje postupka predpunjenja</p> <p>b) Stanica postavlja napon koje vozilo zahtijeva i ograničava struju na maksimalnu vrijednost od 2A</p> <p>c) Dostizanje zahtijevanog napona</p> <p>d) Vozilo uklapa DC prekidače ako je razlika napona manja od 20V</p> <p>e) Vozilo omogućava punjenje (stanje vozila se prebacuje u spremno za punjenje (eng. "Ready to charge"))</p> <p>f) Predpunjenje vozila se onemogućava i DC napon se priključuje</p> <p>g) Stanica za punjenje šalje vozilu signal spremnosti za uspostavu punjenja</p>
6. Punjenje	<p>a) Vozilo šalje stanici zahtjev za naponom koji je potreban za punjenje automobila</p> <p>b) Stanica kontinuirano postavlja napon na izlazu na vrijednost koju vozilo zahtijeva</p> <p>c) Stanica kontinuirano vraća stvarni napon i struju te stvarne granične vrijednosti struje i napona punjenja prema vozilu</p> <p>d) Stanica postavlja struju punjenja prema specifikacijama vozila</p>
7. Prekid punjenja	<p>a) Vozilo smanjuje struju punjenja s obzirom na BMS (eng. <i>Battery Management System</i>)</p> <p>b) Stanica smanjuje struju punjenja na razinu manju od 1A</p> <p>c) Vozilo otkazuje punjenje (vozilo više nije u stanju "Spremno za punjenje")</p> <p>d) Vozilo isklapa svoje DC prekidače ako je struja manja od 1A</p> <p>e) Stanica prazni istosmjerni međukrug</p>

Faza punjenja	Status izvršavanja punjenja
7. Prekid punjenja	<p>f) Punionica se prebacuje u stanje "EVSE_NotReady", odnosno "Punionica nije spremna"</p> <p>g) Vozilo se prebacuje u stanje 3. Inicijalizacija</p> <p>h) Vozilo otključava priključak za punjenje u slučaju da je napon između DC+ i DC- konektora manji od 60 V</p> <p>i) Vozilo zaustavlja digitalnu komunikaciju sa stanicom za punjenje</p> <p>j) Tri do pet sekundi nakon što je komunikacija prekinuta, stanica isključuje PWM signal</p>
8. Vozilo se odspaja od punionice	Konektor punjača se odspaja od vozila i punjenje završava

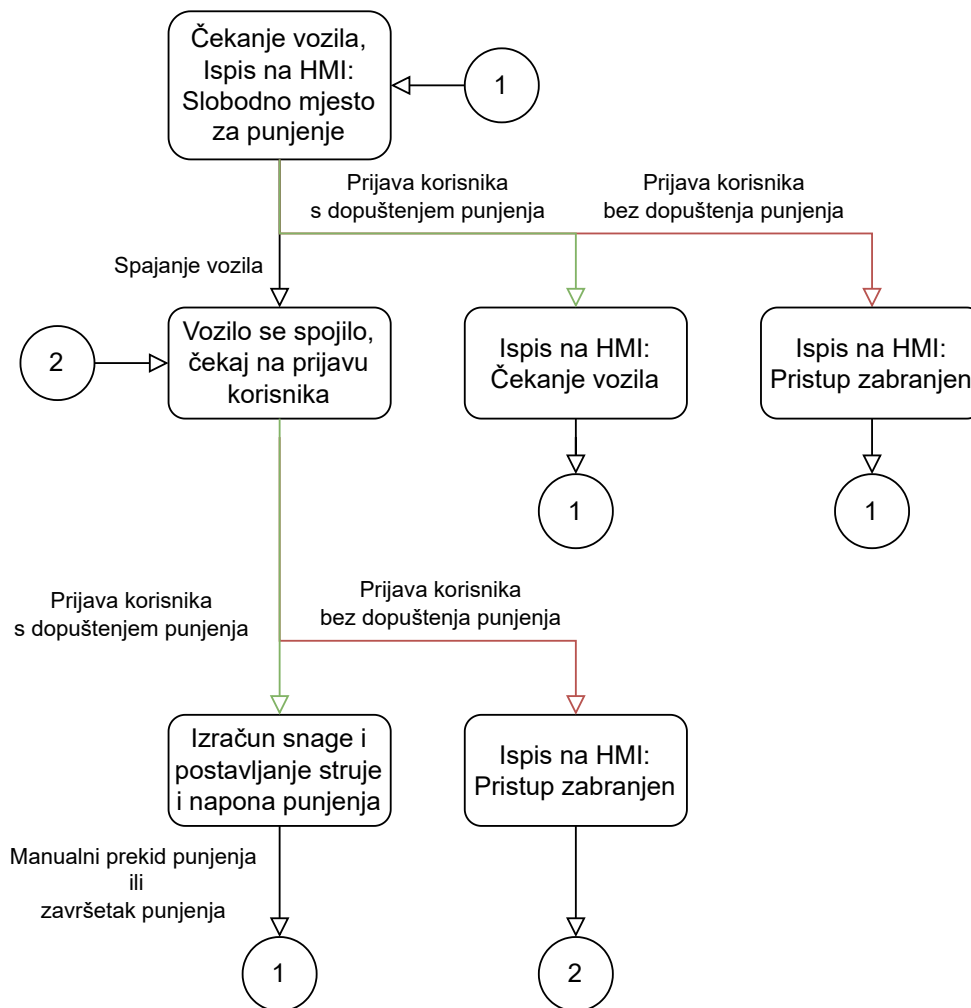
6. Algoritam upravljanja snagom punjenja

6.1. Sekvenca punjenja vozila

Slika 6.1 prikazuje dijagram toka sekvence punjenja električnog vozila i prijave korisnika punionice. Prije izvođenja sekvence potrebno je provjeriti je li vozilo priključeno na punionicu. U vremenu u kojem punionica čeka na vozilo, postoji mogućnost da se korisnici putem RFID čitača prijave u sustav za punjenje. U slučaju da prijavljeni korisnik nema dopuštenje za punjenje, na HMI panel ispisuje se poruka zabrane pristupa. U suprotnom, ispisuje se poruka da korisnik ima pravo na punjenje, ali da vozilo i dalje nije priključeno. U oba slučaja program ne nastavlja dalje sa svojim izvođenjem već se vraća na korak broj jedan, a to je čekanje na priključivanje vozila.

Nakon uspješnog priključenja vozila na punionicu, sustavu je potrebna identifikacija korisnika punionice putem RFID čitača. Prijavom korisnika bez dopuštenja punjenje se ne pokreće te se na HMI panelu ispisuje poruka o neovlaštenom pristupu. S druge strane, prijavom korisnika s dopuštenjem pristupa započinje izračun potrebne snage punjenja i određivanje struje punjenja.

U trenutku kad je stanje napunjenosti baterije takvo da se punjenje smatra završenim, ili je punjenje prekinuto naredbom za prekid punjenja, opisana sekvencija se ponavlja ispočetka. Redoslijed i način obavljanja koraka napisan je u programskom jeziku ST (eng. *Structured Text*) u programskom okruženju Tia portal V16.



Slika 6.1: Dijagram sekvence punjenja vozila i odabira korisnika punionice

6.2. Odabir korisnika i programiranje RFID čitača

Ukupna snaga koju punionica u nekom trenutku može dati na svojim izlazima ovisi o maksimalnoj snazi na njezinom ulazu. Uređaj koji ograničava ulaznu snagu je DC izvor, čija je maksimalna snaga 15kW, kao što je već opisano u poglavlju 3.1. S obzirom na ovo ograničenje, potrebno je osigurati da zbroj snaga koje će moduli punjenja koristiti za punjenje svih vozila ne prijeđe 15kW. Rješenje ovog problema implementirano je putem algoritma prioritizacije korisnika punionice. Nakon priključivanja vozila na punionicu, korisnik se mora preko RFID čitača kartica prijaviti u sustav kako bi nadzorni PLC mogao odrediti prioritete priključenih vozila.

Odabrani RFID čitač kartica spomenut u poglavlju 3.9 koristi se Wiegand protokolom. Wiegand je komunikacijski protokol koji se uvelike koristi u sustavima autorizacije prolaza. Wiegand komunikacija ostvaruje se putem tri žice (Data0, Data1 i uzemljenje), spojene na Arduino uređaj. Kad se Wiegand protokolom ne prenose nikakvi podatci, konektori Data0 i Data1 spojeni su na visoki napon. Postoje dvije inačice Wiegand protokola ovisno o tome čita li se 26 ili 34 bita.

Nakon što Arduino uređaj prikupi informaciju o prijavljenom korisniku, na svoje digitalne izlaze šalje 4-bitni broj koji se dalje prosljeđuje na digitalne ulaze nadzornog PLC-a. Na ovaj način će PLC dobiti informaciju o tome koji se korisnik od mogućih petnaest spojio na punionicu. U slučaju da Arduino pošalje broj petnaest, bitove 1111, osoba koja se prijavila nema pravo pristupa punionici i punjenje se ne pokreće. Punionica se sastoji od dva mjesta punjenja te je potrebno osigurati dva čitača kartica, po jedan sa svake strane, te dva Arduino uređaja kako bi PLC mogao znati u svakom trenutku koji korisnik se prijavio na koje od dva moguća mjesta punjenja.

6.3. Modbus komunikacija

Modbus je industrijski protokol koji se često koristi u sustavima automatizacije, upravljanja i nadzora. Velika prednost Modbus protokola leži u njegovoj jednostavnosti komunikacije između različitih uređaja, kao što su programabilni logički kontroleri, senzori, aktuatori i računala. Postoje dvije verzije Modbus protokola:

- Modbus RTU (eng. *Remote Terminal Unit*),
- Modbus TCP (eng. *Transmission Control Protocol*).

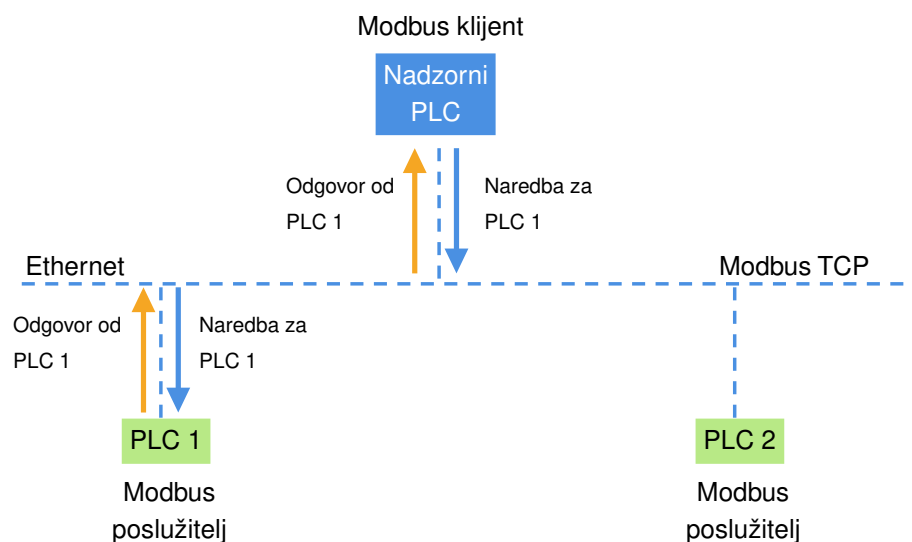
Modbus RTU je karakterističan po velikoj pouzdanosti i jednostavnosti korištenja. Primjenjuje se u serijskoj komunikaciji uređaja putem RS-232 ili RS-485 standarda. RS-232 je starija verzija standarda koja omogućava uspostavu komunikacije između uređaja za komunikaciju, kao što su modemi, i uređaja za prijenos informacija, kao što su računala. S druge strane, RS-485 je novija verzija standarda koja omogućava spajanje više uređaja na jednu sabirnicu, što za rezultat ima paralelnu uspostavu komunikacije između više uređaja. Osim većeg broja uređaja, RS-485 standard ima i veću brzinu prijenosa informacija u odnosu na njegovu stariju verziju RS-232. Ulogu u brzini prijenosa informacija kod RS-232 standarda ima i udaljenost uređaja koji uspostavljaju komunikaciju, gdje veća udaljenost dovodi do manje brzine prijenosa.

Modbus TCP omogućuje komunikaciju putem standardne Ethernet mreže, što olakšava integraciju s modernim informacijskim sustavima. Komunikacija putem Modbus

protokola odvija se takozvanom klijent-poslužitelj (eng. *client-server*) arhitekturom, gdje je uređaj koji zahtijeva komunikaciju označen kao klijent, dok su ostali uređaji koji odgovaraju na zahtjeve komunikacije označeni kao poslužitelji. Klijent šalje zahtjeve (upite) prema poslužiteljima, a poslužitelji odgovaraju na te zahtjeve odgovarajućim podacima.

6.4. Modbus TCP komunikacija

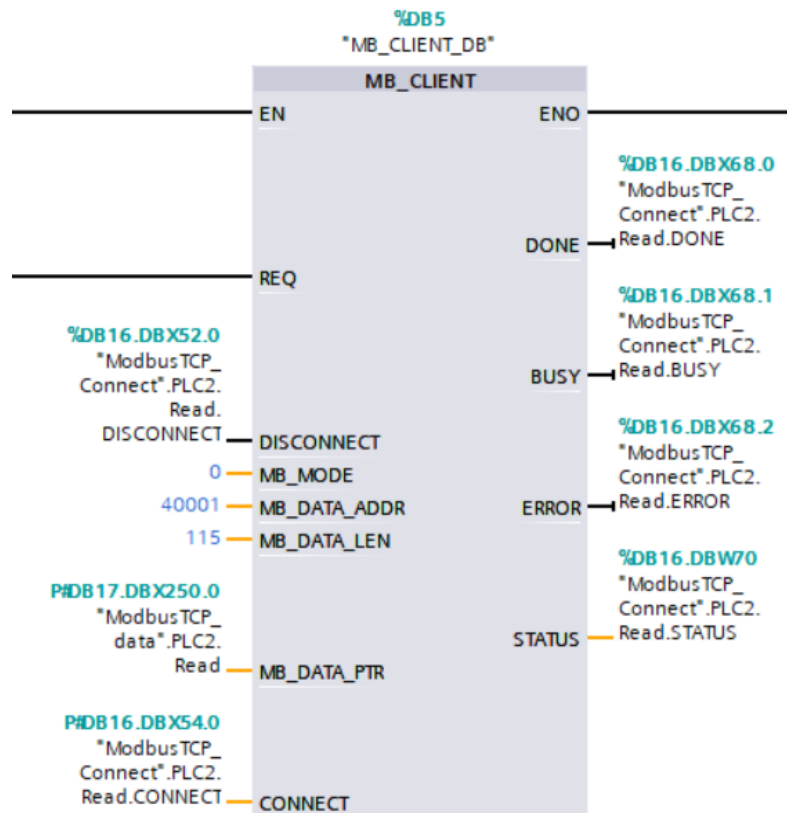
Putem Modbus TCP komunikacije omogućen je prijenos podataka između PLC-a od proizvođača Siemens, koji je postavljen kao klijent, i dva podređena PLC-a od proizvođača Phoenix Contact, koji su postavljeni kao poslužitelji. Za uspostavu komunikacije bitno je postaviti točne IP adrese uređaja. Skica sa slike 6.2 objašnjava način komunikacije uspostavljen između nadzornog PLC-a i podređenih PLC-ova.



Slika 6.2: Prikaz Modbus TCP komunikacije

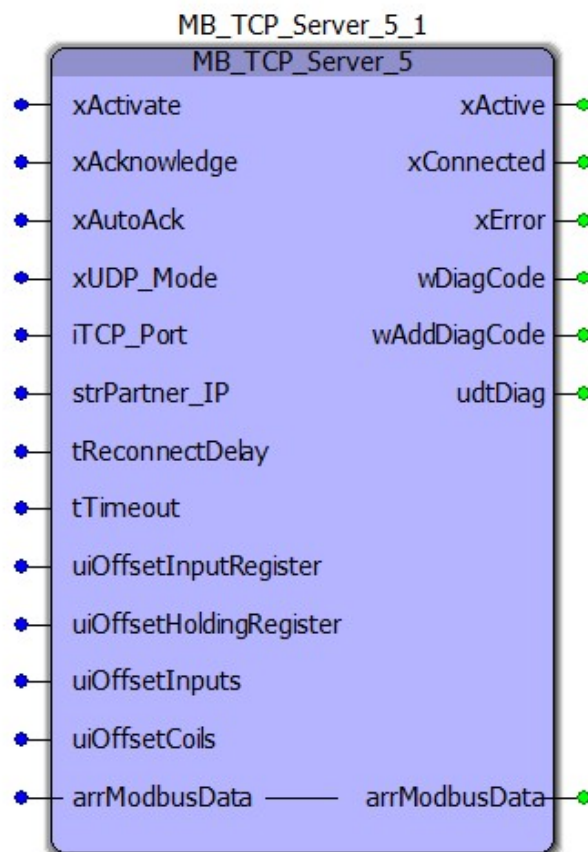
Za uspostavu Modbus TCP komunikacije potrebno je unutar programa TIA portal koji je korišten za programiranje Siemensovog PLC-a, koristiti funkcijski blok MB_CLIENT sa slike 6.3. Ulaz REQ u funkcijski blok MB_CLIENT služi za slanje naredbe poslužitelju. S obzirom da postoje dva poslužitelja i da je potrebno omogućiti čitanje i pisanje s oba, ulaz REQ potrebno je postaviti u jedinicu samo u trenutcima kad se izvršila prethodna naredba. MB_MODE određuje naredbu koja se izvodi, gdje se u slučaju naredbe za čitanje podataka ulaz MB_MODE postavlja u 0, a za pisanje se postavlja u 1. MB_DATA_ADDR sadrži informacije o adresi na kojoj počinju registri za

prijenos podataka. MB_DATA_LEN govori o količini podataka za prijenos, dok ulaz CONNECT sadrži podatke o IP adresi poslužitelja s kojeg se čitaju ili u koji se upisuju podaci. Izlazi iz bloka MB_CLIENT govore o trenutnom stanju uspostavljenog komunikacijskog kanala.



Slika 6.3: Funkcijski blok za uspostavu Modbus komunikacije kod nadređenog PLC-a

Nakon podešavanja nadzornog PLC-a kao Modbus klijenta, potrebno je kontrolere punjenja postaviti kao Modbus poslužitelje. U okruženju PC WORX koji se koristi za programiranje kontrolera punjenja, potrebno je upotrijebiti funkcijski blok MB_TCP_Server_5 sa slike 6.4. Ovaj funkcijski blok omogućava Modbus TCP komunikaciju sa nadređenim kontrolerom. Parametar koji je potrebno podesiti kod funkcijskog bloka MB_TCP_Server_5 je strPartner_IP za postavljanje IP adrese klijenta.



Slika 6.4: Funkcijski blok za uspostavu Modbus komunikacije kod podređenog PLC-a

6.5. Izračun snage punjenja

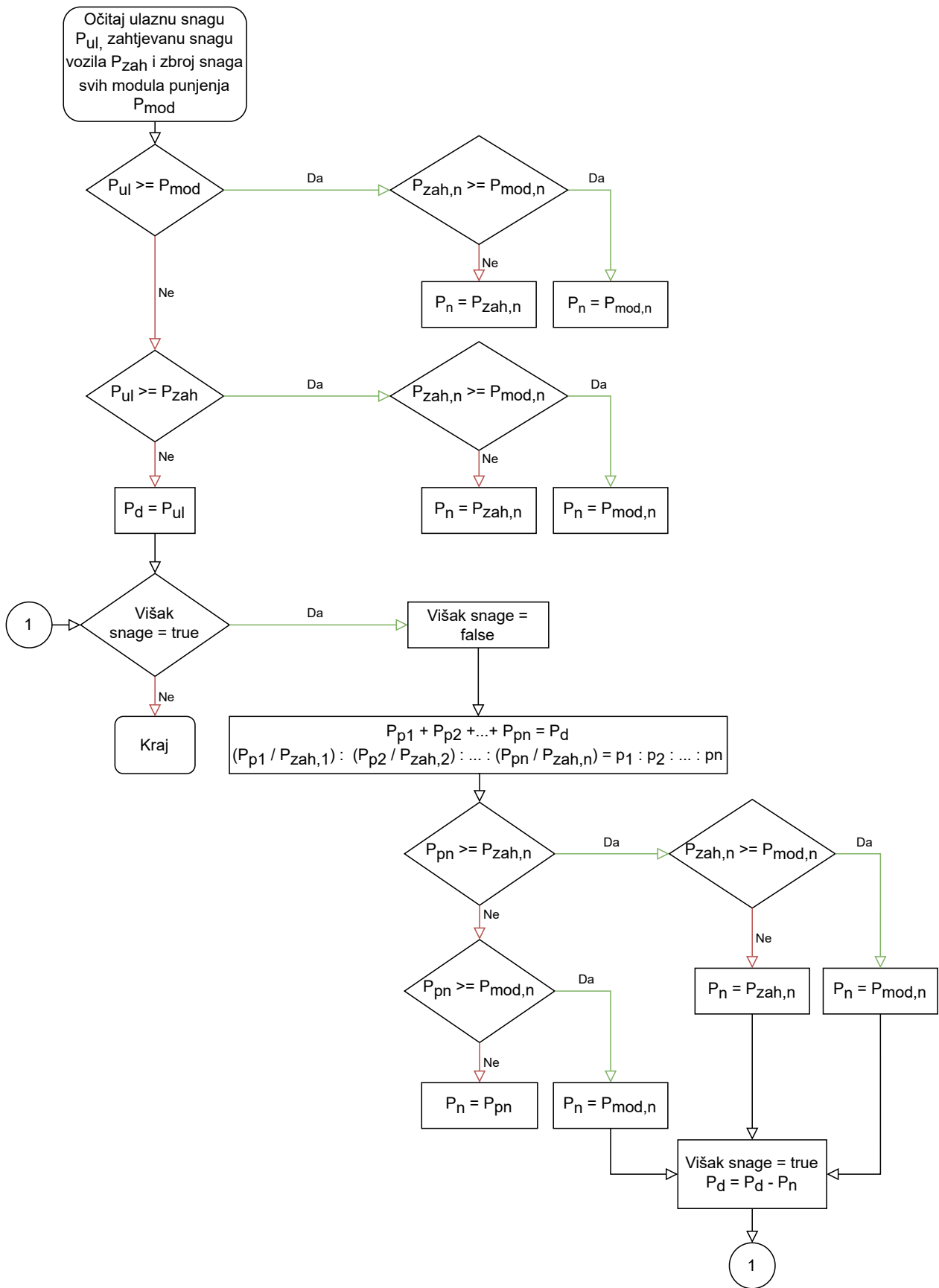
Bit glavnog programa punjenja je osigurati efikasnu raspodjelu energije uzimajući u obzir ulaznu snagu punionice i snage modula za punjenje vozila. Nadzorni PLC putem Modbus komunikacije ciklički dobiva informacije o naponu baterije koji će biti potreban za izračunavanje struje za punjenje vozila.

Osim napona baterije, potrebne ulazne varijable su priključna snaga, prioritet punjenja i snaga modula punjenja. Svaki potrošač u elektroenergetskom sustavu može zakupiti određenu priključnu snagu. Priključna snaga diktira trenutnu razinu snage koju kupac može koristiti te je iz tog razloga bitno osigurati da punionica ne koristi snagu veću od priključne. Prioritet punjenja koristi se za proračun snaga punjenja u slučaju da je ulazna snaga punionice nedostatna za punjenje svih vozila istovremeno.

Tablica 6.1 i dijagram toka sa slike 6.5 opisuju način na koji program dolazi do konačnih vrijednosti snaga punjenja. Na samom početku potrebno je očitati ulaznu snagu P_{ul} , zbroj snaga svih modula P_{mod} i zbroj snaga koje korisnik zahtjeva za punjenje svojeg vozila P_{zah} .

Tablica 6.1: Tablica parametara potrebnih za izradu programa

Oznaka Varijable	Opis varijable
P_{ul}	Ulazna snaga
P_{mod}	Zbroj snaga svih modula za punjenje
$P_{mod,n}$	Snaga n-tog modula za punjenje
P_{zah}	Zbroj svih snaga koje korisnik zahtijeva
$P_{zah,n}$	Zatražena snaga za punjenje n-tog vozila
P_d	Snaga koja se dijeli između vozila
$P_{p,n}$	Preporučena snaga punjenja n-tog vozila
p_n	Težinska funkcija prioriteta n-tog vozila
P_n	Stvarna vrijednost snage za punjenje vozila



Slika 6.5: Dijagram toka programa za odabir snage punjenja vozila

Slučaj: $P_{ul} \geq P_{mod}$

Prva provjera obavlja se kako bi se provjerilo je li snaga na ulazu veća od zbroja snaga svih modula za punjenje. Time se utvrđuje postoji li dovoljno snage na ulazu kako bi svi moduli istovremeno mogli raditi na maksimalnoj snazi. Ako je navedeni uvjet ispunjen, potrebno je dodatno provjeriti je li korisnik zahtijevao veću ili manju snagu od onoga što modul može isporučiti ($P_{zah,n} \geq P_{mod,n}$). U slučaju da je modul u mogućnosti isporučiti potrebnu snagu, izlazna snaga punjenja postavlja se na onu koju je korisnik zahtijevao ($P_{zah,n}$), u protivnom se ta snaga ograničava na maksimalnu snagu koju modul može isporučiti ($P_{mod,n}$). Ovaj postupak se ponavlja za sva prisutna vozila.

Slučaj: $P_{ul} < P_{mod}$

Utvrđivanjem da ulazna snaga nije dovoljna da pokrije potrošnju svih modula, potrebna je dodatna usporedba snage na ulazu (P_{ul}) i ukupne snage punjenja koju zahtijevaju svi korisnici (P_{zah}). Ako ulazna snaga može pokriti zahtjev snaga svih priključenih vozila, postupak određivanja snage punjenja jednak je kao i u prošlom slučaju gdje se provjerava može li modul isporučiti zahtijevanu snagu.

Slučaj: $P_{ul} < P_{zah}$

U trećem slučaju ulazna snaga nije veća niti od zbroja snaga svih modula, niti od zbroja snaga koje su korisnici zahtijevali. Nedostatak ulazne snage onemogućuje pravilnu isporuku potrebne energije vozilima. Radi postizanja optimalne raspodjele energije među vozilima, zadaća algoritma je da prema prioritetima odredi snage punjenja svakog vozila. Snaga koju je potrebno raspodijeliti među vozilima (P_d) na početku je jednaka ulaznoj snazi. Ulaskom u petlju potrebno je riješiti sustav jednačbi 6.1 i 6.2. Jednačba 6.1 govori kako zbroj snaga koje će program preporučiti za punjenje svakog vozila ($P_{p1}, P_{p2}, \dots, P_{pn}$) mora biti jednak snazi namijenjenoj za raspodjelu između svih vozila (P_d). Jednačba 6.2 iskazuje da omjeri količnika preporučenih snaga ($P_{p1}, P_{p2}, \dots, P_{pn}$) i snaga koje zahtijevaju vozila ($P_{zah,1}, P_{zah,2}, \dots, P_{zah,n}$) moraju biti jednaki omjerima prioriteta pojedinog vozila (p_1, p_2, \dots, p_n). Rješavanjem tog sustava jednačbi dobivaju se snage koje program preporučuje za punjenje vozila. Nakon proračuna snaga potrebno je provjeriti može li se preporučena snaga postaviti na izlaz punionice. Prva provjera se obavlja kako bi se saznalo je li snaga koju je program preporučio veća od one koju je korisnik zahtijevao. U slučaju da je taj uvjet ispunjen, postupak odabira

snage punjenja je isti kao i u prva dva slučaja. S obzirom da je za punjenje vozila u ova dva slučaja postavljena snaga manja od preporučene ($P_n < P_{pn}$), za ostala vozila spojena na punionicu preostaje više snage nego što je to prvobitno bilo postavljeno. Kako bi se i taj višak snage iskoristio za druga vozila, postupak izračuna snaga se ponavlja, uz izmjenu da se snaga za raspodjelu među vozilima smanjuje za iznos snage punjenja prethodnog automobila ($P_d = P_d - P_n$). U slučaju kad preporučena snaga nije veća od zahtijevane, dodatno se provjerava je li veća od snage modula, a u slučaju kada je veća, izlazna snaga punjenja postavlja se na maksimalnu snagu modula ($P_{mod,n}$) i postupak se ponavlja. U protivnom, snaga punjenja vozila postavlja se na snagu koju je program preporučio (P_{pn}).

$$P_{p1} + P_{p2} + \dots + P_{pn} = P_d \quad (6.1)$$

$$\frac{P_{p1}}{P_{zah,1}} : \frac{P_{p2}}{P_{zah,2}} : \dots : \frac{P_{pn}}{P_{zah,n}} = p_1 : p_2 : \dots : p_n \quad (6.2)$$

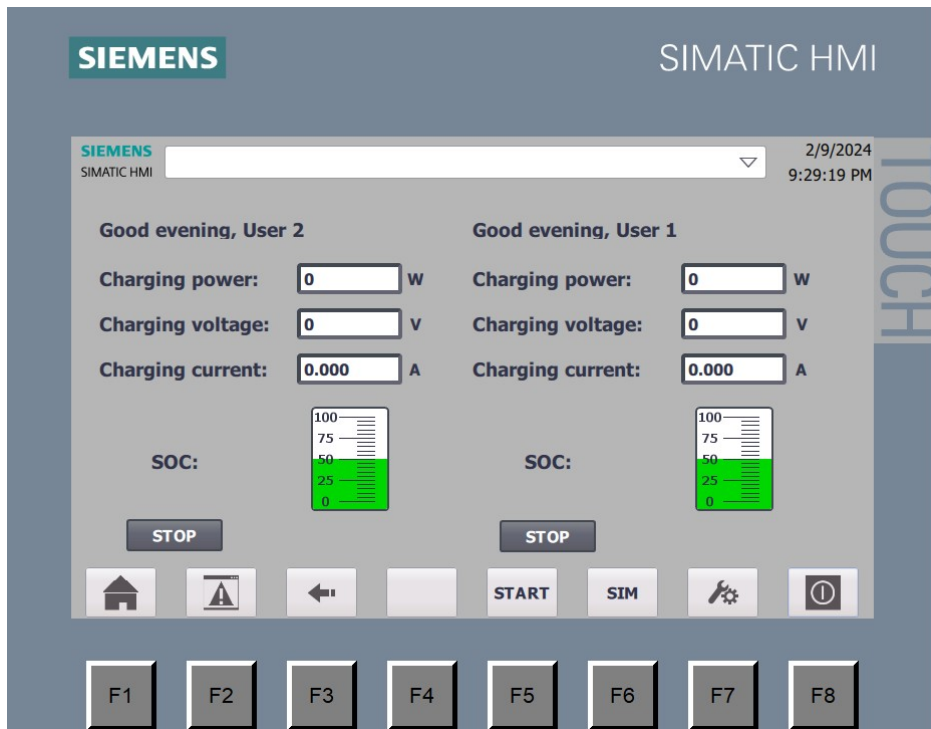
6.6. Pokretanje punjenja

Osnovni zahtjev za punjenje baterija električnih vozila je da napon punjača mora biti veći od napona baterije. Iz ovog razloga je potrebno informaciju o naponu baterije koju vozilo šalje kontroleru proslijediti prema DC modulu punjenja. Primitkom informacije o naponu, DC modul će na svoj izlaz dati napon koji je veći od napona baterije. Slijedi postupak izračuna struje punjenja. Struja punjenja se računa na način opisan formulom 6.3, u kojoj je P_n snaga koja je dobivena proračunima iz poglavlja 6.5, η korisnost DC modula punjenja, a U_n trenutni napon koji DC modul daje na svojim izlazima.

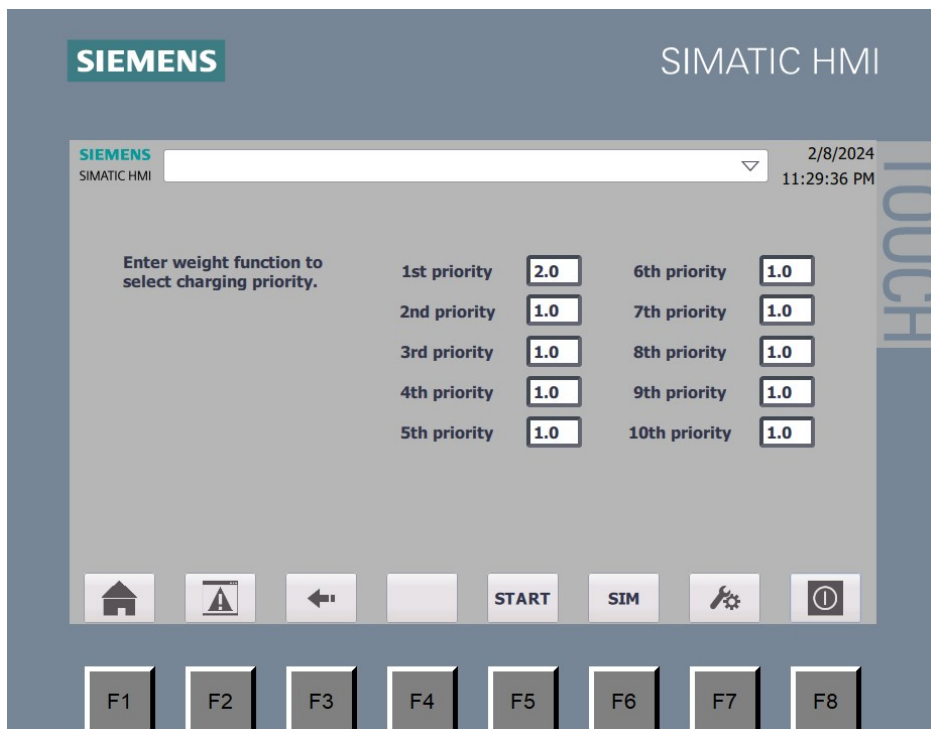
$$I = \frac{P_n \cdot \eta}{U_n} \quad (6.3)$$

6.7. HMI panel

HMI panel služi za prenošenje informacija između punionice i korisnika. Osnovne informacije koje se prikazuju na HMI panelu su prikazane slikom 6.6. Osim informativnih podataka, putem HMI panela je moguće zadati težinske funkcije za postavljanje prioriteta prijavljenih korisnika (Slika 6.7). Mogućnost zadavanja težinskih funkcija nije opcija namijenjena za korisnika punionice te se ona se može koristiti samo uz poznavanje lozinke za pristup.



Slika 6.6: Početna stranica HMI panela



Slika 6.7: Stranica sa odabirom težinskih funkcija prioriteta punjenja

7. Program punjenja baterija električnih vozila

Program koji omogućuje punjenje vozila preko punjača CHARX PS-M2 implementiran je unutar programskog okruženja PC WORX. Program je postavljen na dva EV-PLCC-AC1-DC1 kontrolera koji ciklički uspostavljaju CAN komunikaciju prema vozilu i Modbus komunikaciju prema nadzornom PLC-u. Program se sastoji od sljedećih cjelina:

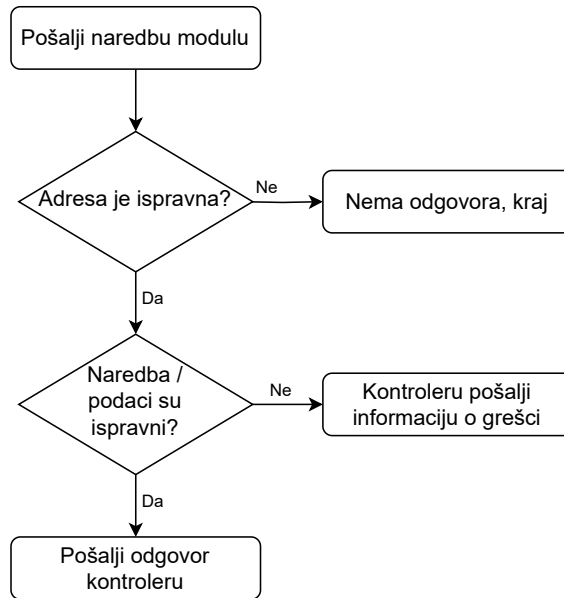
- CAN komunikacija,
- dinamičko postavljanje ograničenja napona i struje,
- test izolacije kabela.

7.1. CAN komunikacija

CAN je serijski komunikacijski protokol koji se uvelike koristi u automobilskoj industriji. Njegova zadaća je omogućiti pouzdanu serijsku komunikaciju između različitih senzora, aktuatora, mikrokontrolera i drugih uređaja. Za razliku od Ethernet protokola, CAN protokol ne zahtijeva direktno postavljanje adrese uređaja te se koristi jedinstvenim indikatorima koji svakom uređaju naznačuju prioritet poslanih poruka. Velika prednost ovog protokola je njegova brzina i sposobnost nastavka komunikacije čak i u slučaju kolizije u mreži. CAN koristi diferencijalnu komunikaciju, što znači da se podatci prenose pomoću dva vodiča, od kojih jedan prenosi signal, dok drugi prenosi inverzni signal u svrhu smanjenja elektromagnetskih smetnji.

Slika 7.1 prikazuje korake komunikacije CAN protokolom. Uspostavom komunikacije, pošiljalac šalje poruku primatelju, u slučaju punionice to je kontroler koji šalje poruku modulu punjenja. Ako poslana poruka sadrži neispravnu adresu primatelja, primatelj na poruku neće odgovoriti. Ukoliko je u poruci sadržana ispravna adresa, primatelj će provjeravati jesu li podatci, odnosno naredba ispravni. Za neispravnu na-

redbu ili podatke, pošiljalatelj vraća informaciju o greški, dok za ispravnu naredbu ili podatke pošiljalatelj uzvraća komunikaciju.



Slika 7.1: Procedura CAN komunikacije

Paketi poruka koje se šalju između kontrolera i DC modula punjenja sastoje se od identifikatora i podataka za prijenos. Identifikator služi za prepoznavanje uređaja na mreži, postavljanje naredbi i slanje informacija o grešci, dok osam bajtova koji slijede nakon identifikatora prenose podatke. Vizualni prikaz paketa poruka prikazan je tablicom 7.1.

Tablica 7.1: Prikaz paketa poruka koji se šalju među uređajima putem CAN komunikacije

Identifikator	Podatci			
29 bitova	bajt 0	bajt 1	...	bajt 7

Identifikator naredbe

Identifikator naredbe sastoji se od dvadeset devet bitova koji su vizualno prikazani tablicom 7.2. Prva tri bita odnose se na kod pogreške koji govori o tome postoji li pogreška u komunikaciji i koja vrsta pogreške je prisutna. Četiri bita koja slijede odnose se na broj uređaja spojenih na jednu CAN sabirnicu. Slijedi šest bitova naredbe koja zadaju naredbu koja se treba izvesti te se na samom kraju nalaze adrese primatelja i pošiljalatelja, svaka po 8 bitova.

Tablica 7.2: Raspodjela bitova identifikatora naredbe CAN komunikacije

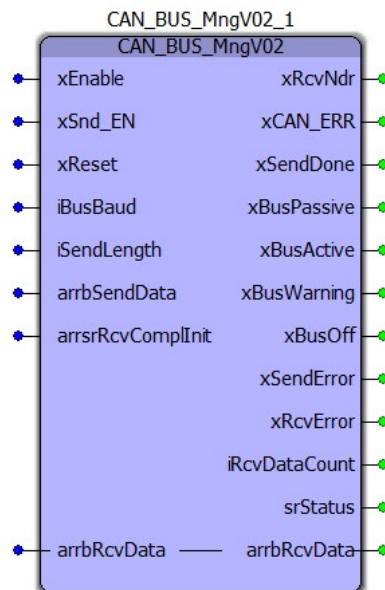
28-26	25-22	21-16	15-8	7-0
Error kod (3 bita)	Broj uređaja (4 bita)	Naredba (6 bitova)	Adresa primatelja (8 bitova)	Adresa pošiljatelja (8 bitova)

Funkcijski blokovi za uspostavu CAN komunikacije

Za ostvarivanje CAN komunikacije unutar programskog okruženja PC WORX korišteni su funkcijski blokovi:

- CAN_BUS_MngV02 (Slika 7.2),
- CHARX_POWER_30KW_V02 (Slika 7.3).

Funkcijski blok CAN_BUS_MngV02 implementira slanje i primanje podataka putem CAN komunikacije dok se funkcijski blok CHARX_POWER_30KW_V02 koristi za komunikaciju sa DC modulom punjenja.



Slika 7.2: Funkcijski blok CAN_BUS_MngV02

Ova dva bloka potrebno je međusobno povezati na način da se varijable arrbRcvData, arrsrRcvComplInit i arrbSendData funkcijskog bloka CAN_BUS_MngV02 redom povežu s varijablama srRcvBuffer, arrsrRcvComplInit, srCanSendBuffer funkcijskog bloka CHARX_POWER_30KW_02. Ostale ulazne i izlazne varijable funk-

cijskog bloka CAN_BUS_MngV02 potrebne su za postavljanje specifikacija CAN komunikacije kao što je brzina komunikacije preko varijable iBusBaud.



Slika 7.3: Funkcijski blok CHARX_POWER_30KW_V02

Ulaz usiLinkState funkcijskog bloka CHARX_POWER_30KW_V02 predstavlja status procesa punjenja. Punjenje se odvija prema standardu DIN SPEC 70121. Kako bi modul punjenja znao u kojem koraku se nalazi vozilo, potrebno je na ulaz usiLinkState dovesti izlaz LINK_STATE funkcijskog bloka EV (Slika 7.4). Ovakvim povezivanjem, vozilo i punjač u svakom trenutku imaju informaciju o koraku u kojem se trenutno nalaze i kojeg je potrebno izvesti.

Ulazne varijable diVoltageDemandEV i diCurrentDemandEV potrebno je postaviti kako bi punjač znao potrebnu snagu punjenja vozila. Poglavlje 6.6 govori o načinu izračuna struje, dok se za napon postavlja napon baterije vozila.

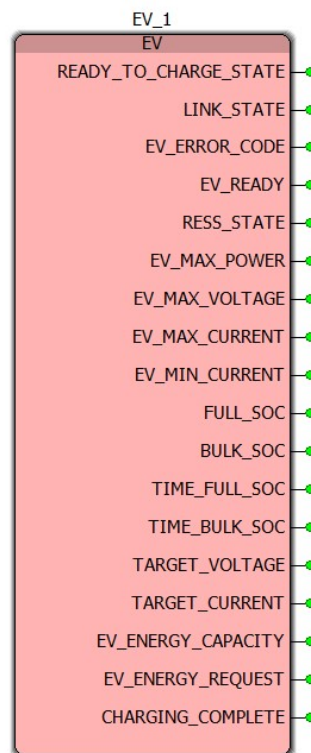
Kod realizacije punjača postoji mogućnost paralelnog spajanja DC modula za postizanje veće maksimalne snage punjenja. CHARX_POWER_30KW_V02 preko svojih izlaza dobiva informacije o trenutnom stanju DC modula. Maksimalan broj DC modula koje je moguće paralelno spojiti je šest te iz tog razloga postoji šest setova izlaznih varijabli koje govore o trenutnom stanju DC modula, kao što je prikazano na slici 7.3. Izlaz iActiveMdl označava broj paralelno spojenih DC modula.

7.2. Dinamičko postavljanje ograničenja

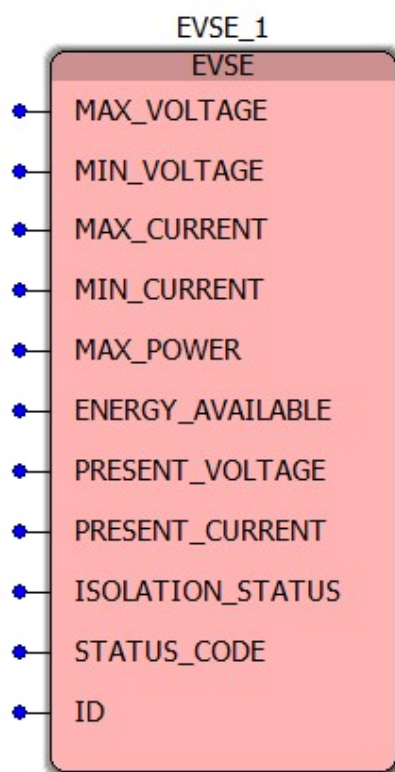
Za postavljanje ograničenja struje i napona punionice potrebni su funkcijski blokovi:

- EV (Slika 7.4),
- EVSE (Slika 7.5),
- CCS_CompleteV02 (Slika 7.6).

Blok EV omogućuje prijenos podataka od električnog vozila prema kontroleru, dok s druge strane blok EVSE prenosi podatke od kontrolera prema vozilu.



Slika 7.4: Funkcijski blok EV



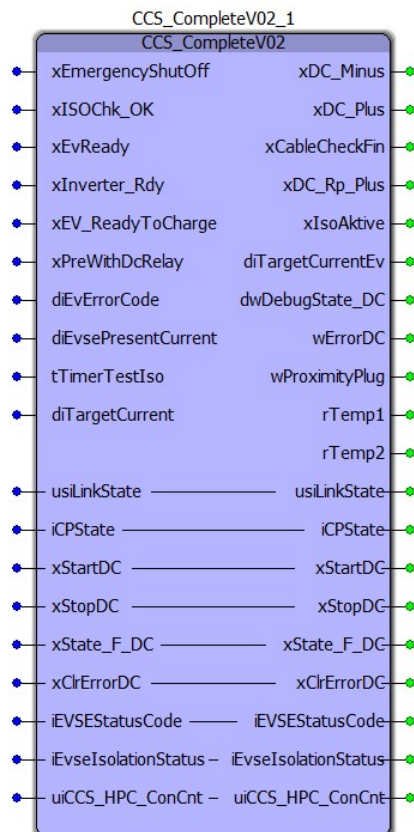
Slika 7.5: Funkcijski blok EVSE

S obzirom da funkcijski blok EVSE prenosi podatke od kontrolera punjenja prema vozilu, potrebno je na njegove ulaze dovesti ograničenja sustava punjenja. Maksimalan i minimalan napon punionice moguće je podesiti na željenu razinu ovisno o svojstvima punionice koje se žele postići. U ovom radu te vrijednosti postavljene su na 500V za maksimalan napon i 150V za minimalan napon.

Uz napon je potrebno podesiti i raspon struje. Maksimalna razina struje je vrijednost koju određuje nadzorni PLC na način opisan u poglavljima 6.5 i 6.6. Ova varijabla ograničava struju punjenja vozila.

Maksimalna snaga koju vozilo može primiti postavlja se na ulaz MAX_POWER te se ona postavlja na 15kW, jer je maksimalna snaga koju DC izvor može postići upravo 15kW.

Funkcijski blok CHARX_POWER_30KW_V02 šalje informacije o trenutnom naponu i struji punjenja prema vozilu. Izlaze diPresentCurretinv1 i diPresentVoltageinv1 potrebno je povezati sa ulazima PRESENT_VOLTAGE i PRESENT_CURRENT funkcijskog bloka EVSE.



Slika 7.6: Funkcijski blok CCS_CompleteV02

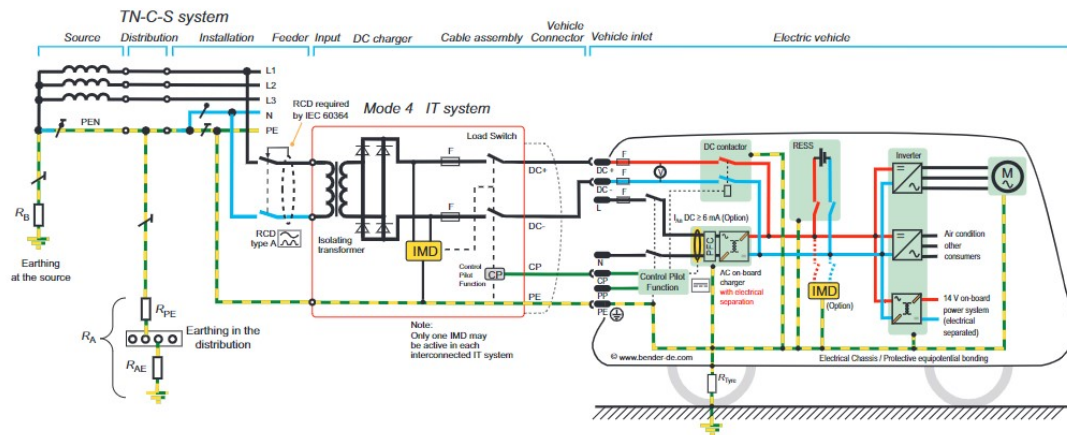
Funkcijski blok CCS_CompleteV02 preuzima potpunu uspostavu DC punjenja, odnosno omogućuje pokretanje i zaustavljanje punjenja te zaustavljanje u slučaju nužde i čitanje stanja sustava.

Priključivanjem vozila na punionicu, varijabla iCPState prelazi u broj 2, što će nadzornom PLC-u biti informacija da se vozilo priključilo i da se čeka na prijavu korisnika. Nakon prijave korisnika s dopuštenjem punjenja, nadzorni PLC šalje signal s rastućim bridom na varijablu xStartDC kako bi se punjenje pokrenulo. Zaustavljanje punjenja omogućeno je putem HMI panela na kojem se nalazi gumb za prekid punjenja. Rastući brid koji šalje taj gumb postavlja se na ulaz xStopDC kako bi se punjenje zaustavilo.

Ulazna varijabla xEmergencyShutOff povezana je s digitalnim ulazom kontrolera punjenja na kojem je spojena gljiva za isklon u slučaju nužde. Ulaz xISOChk_OK govori o tome je li test otpora izolacije uredno proveden, a njegova vrijednost se određuje u dijelu programa za test izolacije kabela. Ostale varijable blok CCS_CompleteV02 dobiva od funkcijskih blokova CHARX_POWER_30KW_V02 i EV.

7.3. Test izolacije kabela

Zadnji korak u programu za punjenje električnih vozila je test izolacije kabela. Kako bi punjenje bilo moguće, uređaji za izračun otpora izolacije iz poglavlja 3.7 moraju potvrditi da je otpor izolacije u granicama koje garantiraju sigurnost za korisnika punionice. Komunikacija koja se koristi između uređaja ISOMETER isoEV425 i kontrolera punjenja je Modbus RTU-485, čije su karakteristike opisane u poglavlju 6.3. Test izolacije potrebno je automatski pokrenuti u koraku broj četiri prema tablici 5.1. S obzirom da se test izolacije izvodi prije samog punjenja vozila, ovaj uređaj potrebno je spojiti prije sklopnika iz poglavlja 3.5, kako je to prikazano slikom 7.7. Na ovaj način se osigurava provjera testa izolacije kabela prije uklapanja sklopnika, odnosno prije početka punjenja vozila.



Slika 7.7: Način spajanja uređaja ISOMETER isoEV425 [9]

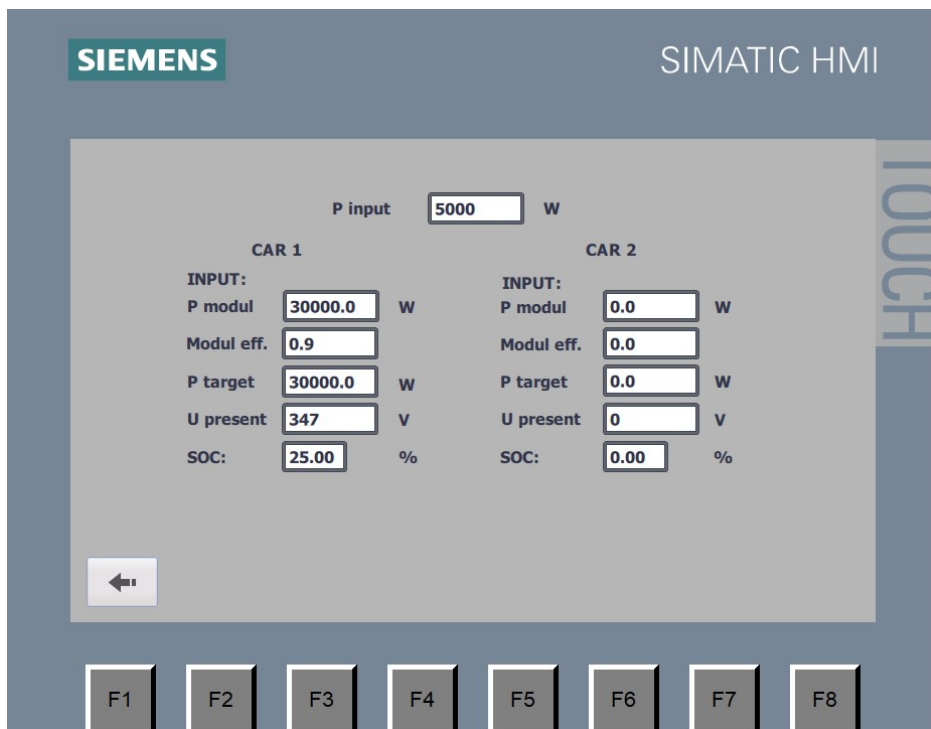
8. Rezultati punjenja

Prije puštanja punionice u pogon potrebno je napraviti test programa za određivanje struje punjenja pomoću simulacije koja je izvedena u WinCC programu. U sklopu ovog diplomskog rada fizičko punjenje uspješno je ostvareno samo s jednim vozilom, stoga je prva simulacija namjenjena testiranju sustava punjenja jednog vozila. Ulazni parametri koje je prije simulacije potrebno postaviti su; ulazna snaga, snaga modula, efikasnost modula, tražena snaga punjenja i stanje napunjenosti.

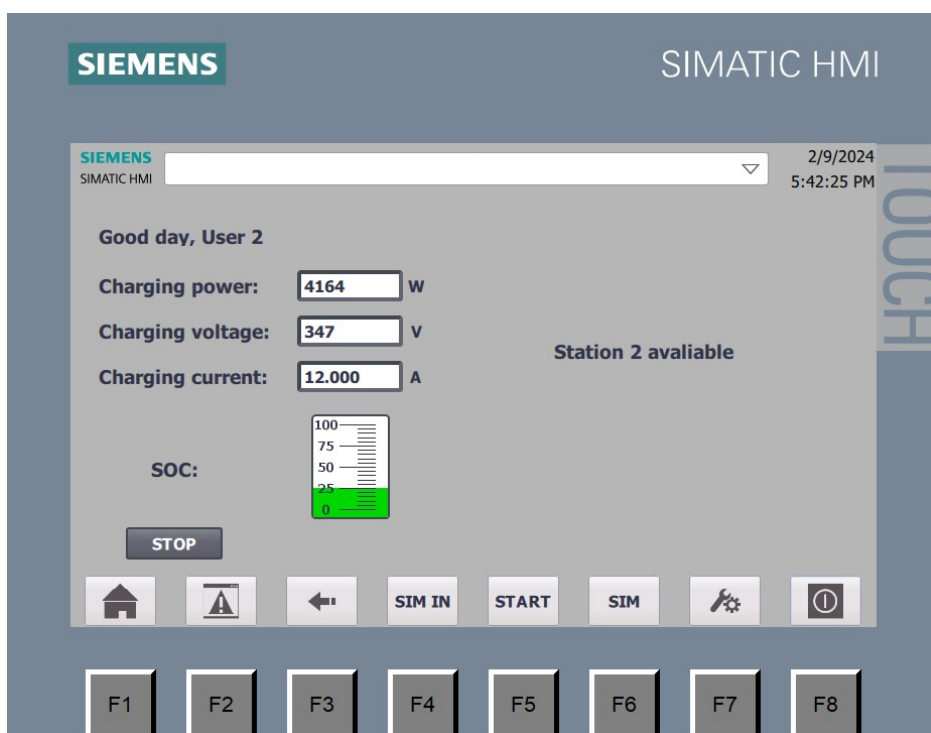
Prva simulacija izvodi se s ulaznim parametrima sa slike 8.1. Ulazna snaga postavlja se na 5000W zbog ograničenja priključka na koji se spaja ulaz DC izvora. Maksimalna snaga koju modul može postići je 30000W. Eksperimentalno određena efikasnost modula je 0.9, a tražena snaga punjenja postavlja se na snagu modula punjenja, odnosno 30000W. Trenutni napon prisutan na izlazu modula punjenja je 347V, dok se stanje napunjenosti postavlja na 25%.

S ovim ulaznim parametrima dobivena je struja, pa tako i snaga punjenja, što se može vidjeti na slici 8.2. Moguće je uočiti da snaga punjenja nije ni približna ulaznoj snazi od 5000W. Razlog tomu je nemogućnost povećanja struje punjenja. Struja punjenja koja se šalje kontroleru punjenja može poprimiti samo cijele vrijednosti. Ako bi se kontroleru punjenja poslala struja od 13A umjesto one od 12A, to bi značilo da je snaga punjenja koja se dobije umnoškom struje i napona jednaka 4511W. Ovu snagu bi DC modul punjenja trebao razviti na svojem izlazu, što znači da bi od DC izvora trebao moći dobiti 5012W (snaga dobivena pomoću izraza 8.1 gdje je P_{iz} izlazna, a P_{ul} ulazna snaga modula punjenja). Ovom analizom je dokazano da algoritam odabira snage punjenja radi u slučaju kada se na punionici nalazi jedno vozilo.

$$\eta = \frac{P_{iz}}{P_{ul}} \quad (8.1)$$

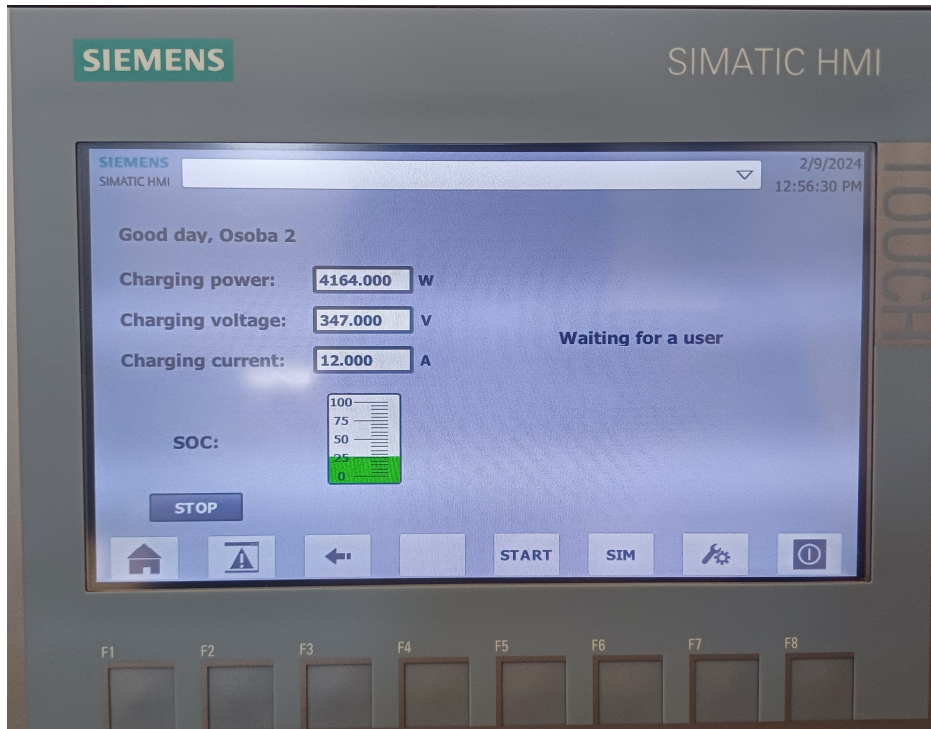


Slika 8.1: Ulazni parametri simulacije punjenja jednog vozila



Slika 8.2: Izlazni parametri simulacije punjenja jednog vozila

Slika 8.3 prikazuje vrijednosti snage, napona i struje punjenja za vrijeme fizičkog punjenja jednog vozila. Vidljivo je da su vrijednosti dobivene u simulaciji i one na stvarnom postavu identične. Dodatno, slika 8.4 prikazuje stanje DC izvora za vrijeme punjenja te je moguće uočiti da snaga dostiže 4620W što je kao i kod simulacije moguće dobiti izračunom po formuli 8.1.



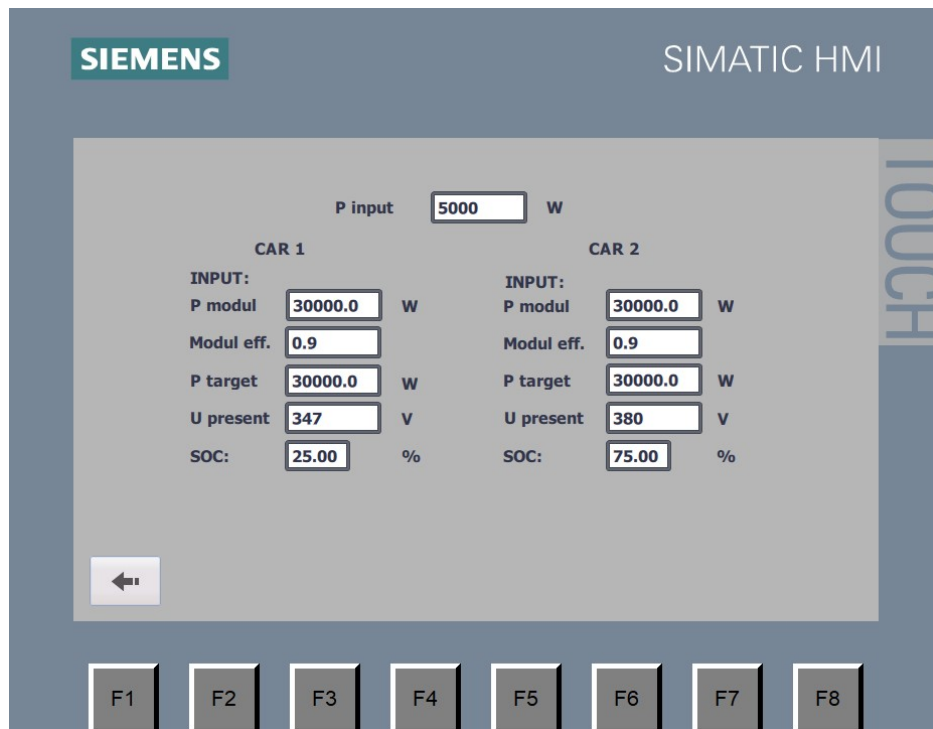
Slika 8.3: HMI panel za vrijeme punjenja jednog vozila na fizičkom postavu



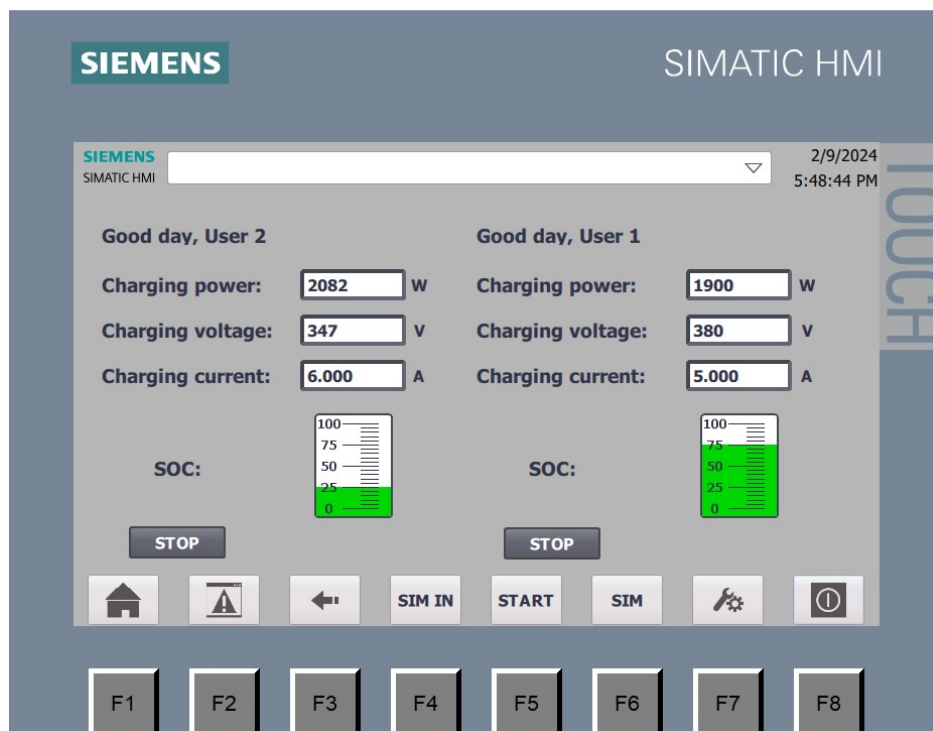
Slika 8.4: DC izvor za vrijeme punjenja jednog vozila na fizičkom postavu

Osim simulacije punjenja jednog vozila potrebno je vidjeti kako će se sustav ponašati ako se na njega priključe dva vozila. U tom slučaju postoji mogućnost prijave dva korisnika s jednakim ili različitim prioritetima punjenja. Provedene su simulacije za oba slučaja. Ulazne varijable u ovim simulacijama prikazane su na slici 8.5. Dobi-

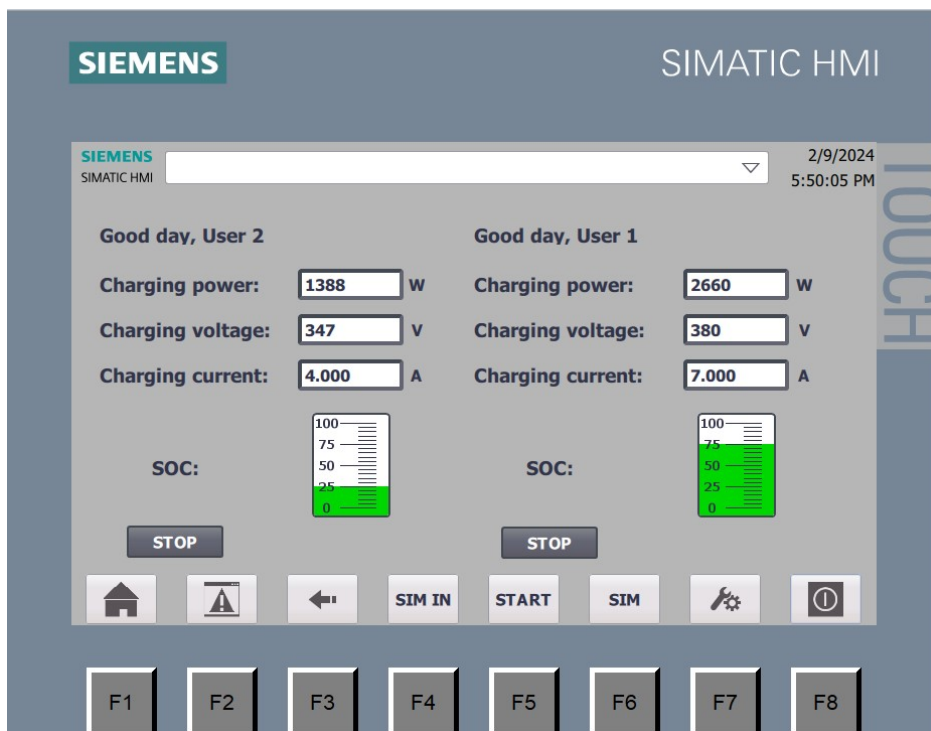
veni rezultati prikazani su slikama 8.6 i 8.7. Postavljeni prioriteti punjenja su u drugoj simulaciji jednaki, dok je u treću prioritet jednog korisnika duplo veći od drugog.



Slika 8.5: Ulazni parametri druge i treće simulacije



Slika 8.6: Izlazni parametri simulacije s istim prioritetima punjenja



Slika 8.7: Izlazni parametri simulacije s različitim prioritetima punjenja

Nakon uspješnih simulacija izveden je i test punjenja vozila na izrađenoj DC punionici što prikazano na slici 8.8.



Slika 8.8: Slike procesa punjenja vozila

9. Zaključak

Ovaj diplomski rad bavi se izradom DC punionice za električna vozila te pametnom raspodjelom energije u sustavu. Opisan je postupak izrade punionice te potrebna oprema. Korištena oprema uključuje kontrolere punjenja, nadzorni kontroler, DC module, DC izvor, RFID čitač kartica i uređaj za nadzor izolacije. Nadalje, razvijen je i detaljno opisan algoritam raspodjele energije koji se temelji na sustavu prioriteta. Svakom je korisniku pridjeljen određeni broj koji označava stupanj na ljestvici prioriteta, te prema njemu korisnik dobiva određeni dio energije. Prioritet korisnika očitava se prilikom prijave putem RFID čitača kartica. Opisani su korišteni protokoli za uspostavu komunikacije između kontrolera punjenja i nadzornog kontrolera, RFID čitača te ostalih uređaja potrebnih za izradu kompletne punionice. Također je, korak po korak, objašnjen postupak punjenja baterije električnog vozila, program punjenja pojedinog vozila, te način komunikacije između kontrolera punjenja i vozila.

Za kraj, napravljene su simulacije za testiranje programa raspodjele energije za nekoliko mogućih slučajeva. S obzirom na to da je algoritam u simulacijama radio prema očekivanjima, testirano je i punjenje jednog vozila na izrađenoj punionici. Test se pokazao uspješnim te se može zaključiti da je uspješno izrađena DC punionica električnih vozila i algoritam za pametnu raspodjelu energije.

Razvijeni algoritam punjenja baterija električnih vozila može poslužiti kao podloga za daljnji razvoj pametnih punionica i sustava upravljanja energijom punjenja.

LITERATURA

- [1] Bender resistance insulation test. <https://www.benderinc.com/products/ground-fault-monitoring-ungrounded/isometer-isoev425-with-agh420/>.
- [2] Phoenix contact power module. <https://www.phoenixcontact.com/en-pc/products/dc-power-module-charx-ps-m2-825dc-1000dc-30kw-1296467>.
- [3] Delta elektronika home page. <https://www.delta-elektronika.nl/>.
- [4] Littelfuse. <https://www.littelfuse.com/products/dc-solenoids-and-relays/high-voltage-dc-contactor-relays/dcnev250/dcnev250-m.aspx>.
- [5] Phoenix contact charging cable. <https://www.phoenixcontact.com/en-nt/products/dc-charging-cable-ev-t2m4cc-dc200a-50m50esbk11-1095775>, .
- [6] Phoenix contact charging controller. <https://www.phoenixcontact.com/en-pc/products/dc-charging-controller-ev-plcc-ac1-dc1-1624130>, .
- [7] Hikvision rfid. <https://www.hikvision.com/en/products/Access-Control-Products/Readers/Value-Series/DS-K1801/>.
- [8] Siemens. <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/1000000>.
- [9] Isometer® isoev425 with coupling device agh420. Datasheet, 2014. URL <https://manualzz.com/doc/39320073/isometer%C2%AE-isoev425-with-coupling-device-agh420>.
- [10] Nivedita Naik, Madhu G M, i C. Vyjayanthi. Research on electric vehicle charging system: Key technologies, communication techniques, control strategies and standards. U *2021 IEEE 2nd International Conference On Electrical Power and Energy Systems (ICEPES)*, stranice 1–6, 2021.

Istraživanje algoritma za punjenje baterija električnih vozila

Sažetak

Izrada i programiranje sustava punjenja električnih vozila bitan su dio budućnosti u kojoj se sve veći dio populacije prebacuje na vozila sa pogonom na električnu energiju. Pametno punjenje električnih vozila nužno je za efikasnu raspodjelu energije sustava. U ovom diplomskom radu opisan je postav punionice električnih vozila i oprema korištena za njezinu izradu. Detaljno je objašnjena logika sustava upravljanja raspodjelom energije te program punjenja jednog vozila. Također su objašnjeni komunikacijski protokoli korišteni u izradi punionice i koraci sekvence punjenja vozila. Sustav je na kraju testiran i validiran putem simulacija i na fizičkom postavu.

Ključne riječi: DC punionica, algoritam punjenja, algoritam raspodjele energije, upravljanje energijom, pametno punjenje, komunikacijski protokoli punjenja

Research of the algorithm for charging batteries of electric vehicles

Abstract

Creating and programming electric vehicle charging systems are essential part of the future in which an increasing part of the population is switching to electric vehicles. Smart charging of electric vehicles is a mandatory step to achieve efficient power management. This thesis describes the setup of the electric vehicle charging station and the equipment used for its manufacture. The logic of the energy distribution management system and the charging program of one vehicle are explained in detail. In addition, the communication protocols used in the construction of the charging station are explained, as well as the steps of the vehicle charging sequence. The system was eventually tested and validated via simulations and a physical setup.

Keywords: DC charging station, charging algorithm, power management algorithm, energy management, smart charging, communication protocols