

# Usporedba sustava za komunikaciju putem elektroenergetske mreže

---

**Simonović, Damjan**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2016**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:976500>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-20**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**  
**ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**

**Sveučilišni studij**

**USPOREDBA SUSTAVA ZA KOMUNIKACIJU PUTEM**  
**ELEKTROENERGETSKE MREŽE**

**Završni rad**

**Damjan Simonović**

**Osijek, 2016.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju****Osijek, 21.09.2016.****Odboru za završne i diplomske ispite****Prijedlog ocjene završnog rada**

<b>Ime i prezime studenta:</b>	Damjan Simonović
<b>Studij, smjer:</b>	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
<b>Mat. br. studenta, godina prijave:</b>	3779, 28.08.2013.
<b>OIB studenta:</b>	08229138337
<b>Mentor:</b>	Doc.dr.sc. Marijan Herceg
<b>Sumentor:</b>	
<b>Naslov završnog rada:</b>	Usporedba sustava za komunikaciju putem elektroenergetske mreže
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Elektronika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Predložena ocjena završnog rada:</b>	Dobar (3)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 1 Jasnoća pismenog izražavanja: 1 Razina samostalnosti: 2
<b>Datum prijedloga ocjene mentora:</b>	21.09.2016.
<b>Datum potvrde ocjene Odbora:</b>	28.09.2016.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 28.09.2016.

**Ime i prezime studenta:**

Damjan Simonović

**Studij:**

Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

3779, 28.08.2013.

**Ephorus podudaranje [%]:**

1

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Usporedba sustava za komunikaciju putem elektroenergetske mreže**

izrađen pod vodstvom mentora Doc.dr.sc. Marijan Herceg

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1. Zadatak završnog rada .....	1
<b>2. ELEKTROENERGETSKA MREŽA .....</b>	<b>2</b>
2.1. Visoki napon .....	2
2.2. Srednji i niski napon .....	2
2.3. Aspekti kanala i šuma .....	3
2.4. Propisi elektromagnetske kompatibilnosti.....	3
<b>3. SUSTAVI ZA KOMUNIKACIJU PUTEM ELEKTROENERGETSKE MREŽE .....</b>	<b>5</b>
3.1. Uskopojasni sustavi prijenosa signala .....	5
3.1.1. PRIME .....	5
3.1.2. G3.....	7
3.1.3. IEEE 1901.2.....	9
3.2. Širokopojasni sustavi prijenosa signala .....	10
3.2.1. ITU-T G.hn .....	11
3.2.2. IEEE 1901 .....	12
3.2.3. HomePlug Alliance .....	13
<b>4. USPOREDBA SUSTAVA ZA KOMUNIKACIJU PUTEM ELEKTROENERGETSKE MREŽE .....</b>	<b>16</b>
4.1. Usporedba uskopojasnih sustava prijenosa signala .....	16
4.2. Usporedba širokopojasnih sustava prijenosa signala .....	18
<b>5. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>23</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>24</b>
<b>SAŽETAK.....</b>	<b>26</b>
<b>ŽIVOTOPIS.....</b>	<b>27</b>

## 1. UVOD

Komunikacija putem elektromagnetske mreže počela se koristiti širenjem distribucije električne struje u Europi tridesetih godina 20. stoljeća. Komunikacijska mreža se koristi za prijenos podataka. Prijenos podataka se vrši tako da se kroz dalekovod šalju električni signali visoke frekvencije.

Elektroenergetska mreža se pretvara u komunikacijsku mrežu superpozicijom informacijskih signala male energije na valove mreže. Kako bi se osiguralo da valovi mreže ne ometaju signal podataka, raspon frekvencija koji se koristi za komunikacijsku mrežu je puno veći od one koja se koristi za napajanje elektroenergetske mreže. Raspon frekvencije koji se koristi za uskopojasnu komunikacijsku mrežu je od 3 kHz do 500 kHz, a za širokopojasnu komunikacijsku mrežu je od 1 MHz do 250 MHz. Komunikacija putem elektromagnetske mreže temelji se na električnim signalima koji nose informaciju i prenose se putem dalekovoda. Komunikacijski kanal je definiran kao fizički put između dva komunikacijska čvora.

Komunikaciju putem elektroenergetske mreže možemo podijeliti na dva tipa; uskopojasni i širokopojasni sustav prijenosa signala. Uskopojasni sustav prijenosa signala radi na malim frekvencijama i s malim brzinama prijenosa, ali zato ima dulji domet. Najbolje se prenosi putem vodova visokog napona. Karakteristike širokopojasnog sustava prijenosa signala su suprotne od uskopojasnog. Širokopojasni radi na višim frekvencijama i sa velikim brzinama prijenosa, ali ima kratki domet.

### 1.1 Zadatak završnog rada

Zadatak završnog rad je detaljan opis svih karakteristika, prednosti i nedostataka sustava za komunikaciju putem elektroenergetske mreže radi odabira najbolje odgovarajućeg sustava prema traženim uvjetima te odabira aplikacije prema karakteristikama sustava.

## 2. ELEKTROENERGETSKA MREŽA

Elektroenergetsku mrežu čine svi generatori, transformatori, vodovi i trošila koji su međusobno povezani u sustav. Zato se često za elektroenergetsku mrežu kaže i elektroenergetski sustav. Elektroenergetsku mrežu možemo podijeliti na prijenosnu i distributivnu mrežu. Prijenosna mreža najčešće obuhvaća postrojenja i vodove čiji je nazivni napon viši od 110 kV, a ostalo smatramo distributivnom mrežom. Kod elektroenergetske mreže je vrlo važno da je frekvencija uvijek konstantna ili da odstupanja od nazivne frekvencije budu neznatna. Uvijek želimo da napon bude jednak nazivnom naponu u svim točkama mreže, ali to zbog padova napona nije moguće. Regulacijom napona i dimenzioniranjem mreže se može praktički dobiti konstantan napon koji je približan nazivnom naponu.

### 2.1 Visoki napon

Za prijenos električne energije na velikim udaljenostima koristi se visokonaponska mreža radi malih gubitaka. Raspon napona se kreće od 110 kV do 380 kV. Visokonaponska mreža najčešće služi za prijenos visokog napona od elektrane do stanice gdje se napon smanji za distributivnu mrežu te stoga sadrži jako malo ili uopće nema grana na kojima se dijeli napon, što ju čini prihvatljivom za vođenje valova sa malim prigušenjem po duljini voda. Za širokopojasnu komunikacijsku mrežu najveći problem stvaraju vremensko promjenjivo visokonaponsko iskrenje i oscilacije snage šuma od nekoliko desetaka decibela te praktičnost i cijena. Zato se za visokonaponsku mrežu najviše koristi uskopojasni sustav prijenosa signala, ali je brzina prijenosa podataka mala. [1]

### 2.2 Srednji i niski napon

Srednjenaponska mreža sa rasponom napona od 10 kV do 33 kV i niskonaponska mreža sa rasponom napona od 100 V do 400 V se koriste za komunikacijske mreže sa velikim prijenosnim brzinama. Srednjenaponska mreža se koristi za distribuciju električne energije između gradova, a niskonaponska za dovod električne energije do potrošača. Signal koji prelazi sa srednjenaponske mreže preko transformatora na niskonaponsku mrežu može biti prigušen od 55 dB do 75 dB zbog čega se često postavljaju posebne naprave za spajanje ili repeterator ako se želi uspostaviti komunikacijski kanal sa velikom brzinom prijenosa podataka. [1]

### 2.3 Aspekti kanala i šuma

Karakteristike kanala i šuma s obzirom na komunikacijsku mrežu uvelike ovise o veličini napona mreže. Rad komunikacijskih mreža je određen sa nekoliko parametara, od kojih je najvažnije niskopropusno frekvencijsko svojstvo komunikacijskog kanala i vremensko odstupanje.

Ako je komunikacijski kanal opterećen ili ako su neki dijelovi voda kratkospojeni ili odspojeni, doći će do vremenskog odstupanja, tj. kašnjenja dospijeća podataka što može dovesti do kolizije. Stoga su implementirani mehanizmi koji će prekinuti transmisiju podataka ukoliko dođe do opterećenja ili do nekog poremećaja kao npr. kratki spoj dijelova voda.

Niskopropusno frekvencijsko svojstvo komunikacijskog kanala je rezultat dielektričnih gubitaka u izolaciji između vodiča. Zbog tih gubitaka u vodičima, prigušenje signala ovisi o udaljenosti između odašiljača i prijemnika, pa je niskopropusno vladanje izraženije u dugim kablskim segmentima kao što su vanjski podzemni kabeli.

Razlikujemo više vrsta šuma: pozadinski šum, uskopojasni šum, sinkroni i asinkroni periodično pulsirajući šum. Sa superpozicijom spektralno filtriranog bijelog Gaussovog šuma i moduliranih sinusnih signala, svi se ti šumovi modeliraju izravno na prijemnik. [2]

### 2.4 Propisi Elektromagnetske kompatibilnosti

S obzirom da dalekovodi nisu dizajnirani da prenose komunikacijske signale pojavljuju se zračenja koja mogu biti opasna za okoliš ukoliko se ne kontroliraju. Zbog toga je donesen pravilnik o elektromagnetskoj kompatibilnosti koji govori da uređaji moraju djelovati zadovoljavajuće u elektromagnetskom okruženju kako nebi bilo opasnosti za okoliš. Postoje propisi posebno za uskopojasnu i posebno za širokopojasnu komunikacijsku mrežu. Propisi elektromagnetske kompatibilnosti za uskopojasnu komunikacijsku mrežu bave se frekvencijom u rasponu od 3 kHz do 500 kHz. Najvažniji odbor koji propisuje pravila koja vrijede i na globalnoj razini je Europski odbor za elektrotehničku normizaciju. U tablici 2.1 dan je popis odbora pojedinih država za elektromagnetsku kompatibilnost koji rade na različitim frekvencijskim rasponima. [2]



Tablica 2.1. Važne institucije za elektromagnetsku kompatibilnost pojedinih država za uskopojasnu komunikacijsku mrežu

Države	Frekvencija [kHz]	Institucije
EU	3 – 148,5	Europski odbor za elektrotehničku normizaciju
US	10 - 490	Federalna komisija za komunikacije
Japan	10 - 450	Udruga Radio industrija i poduzeća

- Europski odbor za elektrotehničku normizaciju (CENELEC, *Comité Européen de Normalisation Électrotechnique*)
- Federalna komisija za komunikacije (FCC, *Federal Communications Commission*)
- Udruga radio industrija i poduzeća (ARIB, *Association of Radio Industries and Businesses*)

CENELEC ima propise za različite frekvencijske pojase, kako je i prikazano u tablici 2.2.

Tablica 2.2. Frekvencijski rasponi CENELEC A I B frekvencijskog pojasa.

Frekvencijski pojas	Frekvencijski raspon
CENELEC A	9 kHz do 95 kHz
CENELEC B	95 kHz do 125 kHz
CENELEC C	125 kHz do 140 kHz
CENELEC D	140 kHz do 148,5 kHz

Za širokopojasnu komunikacijsku mrežu još nije propisan pravilnik o elektromagnetskoj kompatibilnosti koji vrijedi samo za nju. 1999. godine dva su se foruma udružila i osnovala Međunarodni forum za telekomunikacije putem elektroenergetske mreže (IPTF, *International Powerline Telecommunication Forum*) da bi propisali niz frekventnih pojasa koji bi se koristili za širokopojasnu komunikacijsku mrežu, a ti propisi isključuju širokopojasne TV, radio i amaterske frekventne opsege kako ne bi došlo do međudjelovanja. [2]

### 3. SUSTAVI ZA KOMUNIKACIJU PUTEM ELEKTROENERGETSKE MREŽE

Sustave za komunikaciju putem elektroenergetske mreže dijelimo u dvije grupe: uskopojasni i širokopojasni sustavi.

#### 3.1 Uskopojasni sustavi prijenosa signala

Frekvencijska područja u kojima uskopojasni sustavi rade su u rasponu od 3 kHz do 500 kHz. Frekvencijske modulacije i raspršene frekvencijske modulacije su temelj najraširenijih tehnologija uskopojasne komunikacije putem elektroenergetske mreže koje su implementirane danas. Oduvijek se htjela postići veća brzina prijenosa podataka, te se zbog toga svaki projekt usmjerava ka moderniziranju elektroenergetske mreže u pametnu mrežu. Zato se dolazi do rješenja za uskopojasnu komunikacijsku mrežu sa velikom brzinom prijenosa podataka. PRIME i G3 su primjeri uskopojasne komunikacijske mreže sa velikom brzinom prijenosa podataka. Oni su prvobitno dizajnirani za vlastitu upotrebu, ali su nedavno postali međunarodni standardi. Kako bi implementacija višestrukih tehnologija bila moguća, uvjeti za snagu procesiranja uskopojasne komunikacijske mreže sa velikom brzinom prijenosa podataka nisu zahtjevni. To omogućava nadogradnju putem ažuriranja softvera i to pogotovo može biti prednost ako uzmemo u obzir uređaje mreže koji dugo traju te se možemo pouzdati u opremu na terenu za nekoliko desetljeća. Još jedan standard koji se koristi u uskopojasnoj komunikacijskoj mreži je IEEE P1901.2. [2]

##### 3.1.1. PRIME (Powerline Related Intelligent Metering Evolution)

PRIME je postao međunarodni standard 2012. godine. On koristi ukupno 96 podnosilaca ortogonalnog frekvencijskog multipleksa (OFDM, *Orthogonal Frequency Division Multiplex*) u frekvencijskom rasponu od 42 kHz do 89 kHz, u okviru CENELEC-a pojasa A. Također implementira diferencijalnu dvofaznu, četverofaznu i osmerofaznu modulaciju i dodatni konvolucijski kod. To mu omogućava da postigne vršnu prijenosnu brzinu od 128,6 kbit/s na fizičkom sloju. Interval OFDM simbola je 2240  $\mu$ s uključujući 192  $\mu$ s cikličkog prefiksa što je dovoljno kako bi se nosio sa širenjem najčešćih kašnjenja elektroenergetske mreže. Nadalje, da bi se nosio sa impulsnim šumom, PRIME nudi opciju implementiranja zahtjeva za automatsku retransmisiju koji se temelji na mehanizmu protokola za selektivno ponavljanje. Što se tiče arhitekture sustava, PRIME formira podmreže gdje svaka podmreža ima jedan glavni čvor i nekoliko uslužnih čvorova. Glavni čvor kontrolira

veze i resurse podmreže koristeći signal *beacon* koji periodično šalje. Također je odgovoran i za prilagodbu kanala za pristupne komunikacijske mreže. Da bi se osigurala privatnost, autentifikaciju i integritet podataka definiran je sigurnosni profil koji koristi 128-bitnu napredni standard za enkripciju. PRIME definira konvergencijski sloj između kontrole pristupa mediju i aplikacijskog sloja. Konvergencijski sloj se može podijeliti na podrazinu zajedničku konvergencije i konvergencijsku razinu ovisnu o usluzi. Podrazina zajedničke konvergencije obavlja poslove segmentacije i ponovnog sastavljanja podataka te je prilagođena specifičnoj primjeni. Trenutno su definirane tri konvergencijske razine ovisne o usluzi:

- Nulta podrazina konvergencije pruža sloju kontrole pristupa mediju transparentan put do aplikacije. Namijenjen je za programe koji ne trebaju nikakvu posebnu konvergencijsku sposobnost,
- IPv4 (Internetski protokol verzija 4) konvergencijski sloj osigurava učinkovit način za prijenos IPv4 paketa preko PRIME mreže,
- IEC 61334-4-32 konvergencijski sloj pruža podršku naprednim mjernim aplikacijama.

Odabirom sheme dvofazne, četverofazne ili osmerofazne modulacije i uključivanje ili isključivanje konvolucijskog kodiranja, šest protokola se mogu realizirati za prijenos podataka. Stoga je PRIME u mogućnosti prenositi 2268 bita po paketu pri brzini od 128,6 kbit/s koristeći ne kodiranu osmerofaznu modulaciju, dok njegov najsnažniji protokol, kodirana dvofazna modulacija može prenositi 377 bita po paketu pri brzini od 21,4 kbit/s. Time se uvijek podaci iz zaglavlja kontrole okvira prenose koristeći kodiranu dvofaznu modulaciju. [2]

Jedan od uređaja koji koristi PRIME standard je Elgama DC12 podatkovni koncentrator (slika 3.1.). Podatkovni koncentrator je uređaj koji povezuje više izvora sa samo jednim odredištem. Glavna funkcija ovog koncentratora je da postigne ravnotežu opterećenja između dva ili više poslužitelja koji su povezani. Koncentrator obično pruža komunikacijsku vezu između puno kanala sa malim brzinama prijenosa i jednim ili više kanala sa većim brzinama prijenosa podataka. Elgama DC12 podatkovni koncentrator ima naprednu unutarnju *software* arhitekturu sa mogućnošću mijenjanja funkcija ili dodavanja novih funkcija. To daje mogućnost za fleksibilne prilagodbe funkcija prema zahtjevima kupca.



Slika 3.1. ELGAMA DC12 podatkovni koncentrator

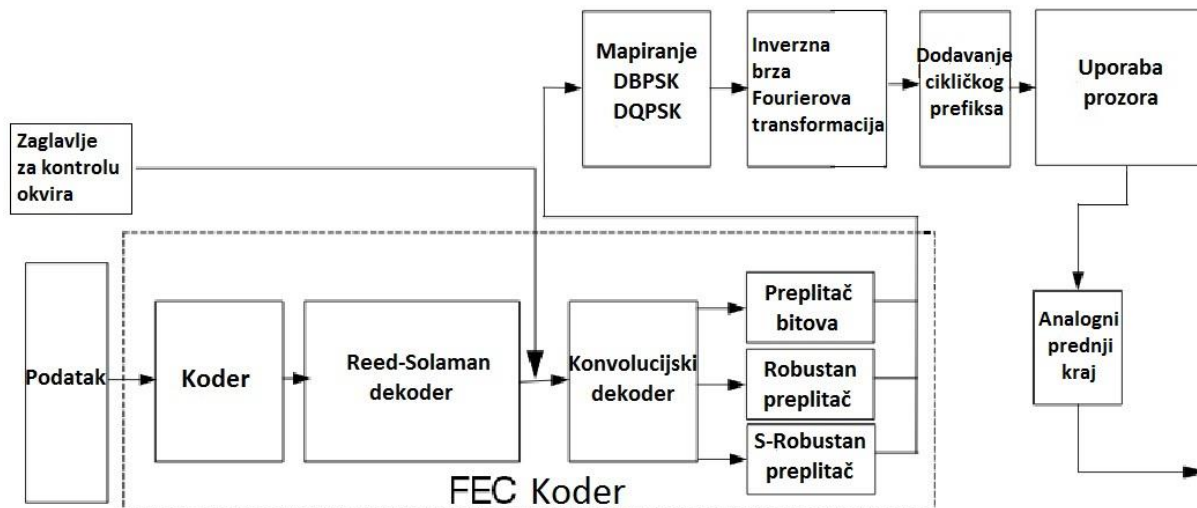
### 3.1.2. G3

Još jedan standard koji se temelji na OFDM-u sa visokim prijenosnim brzinama putem komunikacijske mreže je G3. Objavljen je u kolovozu 2009. godine. G3 radi u frekvencijskom rasponu od 35.9 kHz do 90.6 kHz, ali može biti konfiguriran i za rad u međunarodno priznatim frekvencijskim rasponima od 10 kHz do 490 kHz (FCC, CENELEC i ARIB). Koristeći diferencijale dvofazne, trofazne i osmerofazne modulacije i nizanjem konvolucijskog kodiranja sa ispravljanjem pogreške, G3 doseže vršnu prijenosnu brzinu blizu 300 kbit/s. Vršne i tipične prijenosne brzine za različite frekvencijske raspone navedene su u tablici 3.2.

Tablica 3.3. Vršne i tipične brzine prijenosa podataka za različite frekvencijske raspone.

Frekvencijski raspon	Vršna brzina [kbit/s]	Tipična brzina [kbit/s]
CENELEC (36 kHz to 91 kHz)	46	44
FCC (150 kHz to 487.5 kHz)	234	187
FCC (10 kHz to 487.5 kHz)	298	225

Blok dijagram G3 prijenosnika je prikazan na slici 3.1. G3 nudi tri načina za prijenos podataka: robustan, diferencijal dvofazne modulacije i diferencijal četverofazne modulacije, olakšavajući podatkovne pakete za maksimalno 133, 225 i opet 225 bajta, pri maksimalnoj brzini prijenosa podataka od 33,4 kbit/s.



**Slika 3.2.** Blok dijagram G3 prijenosnika. DBPSK: diferencijal dvofazne modulacije, DQPSK: diferencijal četverofazne modulacije, FEC (*Forward Error Correction*): Ispravljač pogreške

Preplitač je tehnika koja se koristi kako bi se poboljšala svojstva FEC kodera. U svim načinima rada podaci su zaštićeni konvolucijskim kodom s generatorom polinoma. Generator polinoma služi da bi se šifrirana informacija dešifrirala. Također, svakom se OFDM simbolu dodaje prozor od osam uzoraka na njegovom početku i kraju radi spektralnog oblikovanja, te se tako se zaštitni interval smanjuje. [2]

Jedan od uređaja koji koristi G3-plc standard je SGCM-P40 (slika 3.2.). Pomoću njega je moguće smanjiti infrastrukturne troškove uslijed komuniciranja, te nije potrebno koristiti mrežu s velikom gustoćom prometa podataka. Može komunicirati i na udaljenosti oko 6 kilometara bez upotrebe repetitora. Još jedna prednost ovog modula je režim rada u asinkronom načinu prijenosa podataka. Ovaj način osigurava maksimalnu robusnost i komunikaciju na fizičkom sloju. Procjenjuje vrijednost omjera signala i šuma, te pomoću sustava automatski odabire optimalni tip kodiranja signala (tip modulacije: DBPSK, DBPSK sa ponavljajućim bitom i DQPSK). Na temelju tih podataka, sustav detektira frekvenciju, je li upotrebljiva za komunikaciju, ako nije, ta frekvencija se ignorira. Svrha ovog načina je automatsko upravljanje parametrima komunikacije kako bi se osigurala najveća moguća

propusnost između odašiljača i prijemnika. Radna frekvencija mu je od 145,3 do 478,12. *Flash* memorija 512 kb, RAM memorija: 64 kb.

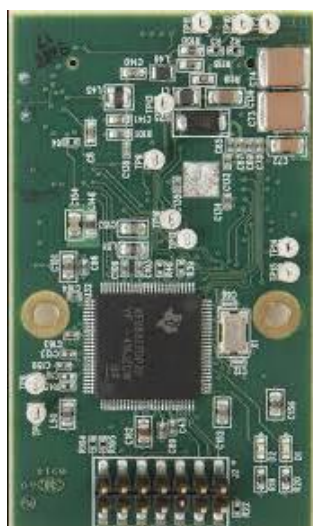


Slika 3.3. Izgled SGCM-P40

### 3.1.3. IEEE 1901.2

IEEE 1901.2 je objavljen u travnju 2010. godine. Podržava interoperabilnost s prethodnim OFDM tehnologijama PRIME i G3. Frekvencijski raspon u kojem radi je od 10 kHz do 490 kHz. Također je baziran na OFDM-u i zaštićen diferencijalima fazne modulacije i konvolucijskim kodom. Brzina prijenosa podataka ide do 500 kbit/s, ovisno o zahtjevima aplikacije. Dizajniran kako bi pružio novi standard za rad i pouzdanost. [2]

Modul koji koristi IEEE 1901.2 standard je SOMPLC-FCC (slika 3.3.). Također je kompatibilan i sa PRIME i G3 standardima. Radi u FCC frekvencijskom pojasu. Uz FCC podržava i AIRB frekvencijski pojas. Inženjeri mogu uzeti SOM modul i integrirati ga u matičnoj ploči ili zadržati modul kao dodatak na u njihovoj primjeni. Ima 34 pinova za povezivanje s drugim uređajima/modulima.



**Slika 3.4.** Izgled SOMPLC-FCC modula

## 3.2 Širokopolasni sustavi prijenosa signala

U početku 21. stoljeća, na tržištu su se pojavili standardi za širokopolasnu komunikacijsku mrežu koji rade u frekvencijskom pojasu od oko 1 MHz do 300 MHz. Takvi standardi nisu interoperabilni, a omogućuju prijenos podataka od oko 200 Mbit/s. Kako bi komunikacija putem elektroenergetske mreže ostvarila veliki uspjeh, međunarodno usvojen standard za komunikacijsku mrežu je postao bitan. Međunarodna telekomunikacijska unija (ITU, *International Telecommunications Union*), kao i Udruženje inženjera elektrotehnike (IEEE, *Institute of Electrical and Electronics Engineers*) započela je rad na takvim standardima nove generacije, i to ITU-T G.hn i IEEE 1901. ITU-T G.hn nije primjenjiv samo na elektroenergetsku mrežu, već i na telefonske linije i koaksijalne kabele. Tako je po prvi puta definiran jedan standard za sve veće žičane komunikacijske medije. Uz ITU-T G.hn i IEEE 1901, HomePlug Alliance je objavio nekoliko svojih standarda. [2]

### 3.2.1. ITU-T G.hn

Frekvencijski raspon u kojem radi ITU-G.hn se kreće od 2 MHz do 100 MHz koristeći propusnu skalabilnost s tri različita i interoperabilna: 2 MHz – 25 MHz, 2 MHz – 50 MHz i 2 MHz - 100 MHz. Brzina prijenosa podataka standarda ITU-T G.hn doseže i do 800 Mbit/s. Jedan aspekt arhitekture ITU-G.hn se odnosi na podmreže kao domene. Rad i komunikacija G.hn standarda su upravljani upravljačem domena koji komunicira s različitim čvorovima podmreže. Fizički sloj i podatkovni sloj je definiran tako da se može koristiti za rad preko bilo kojeg žičanog medija. Parametri OFDM-a se usklađuju kako bi se razmotrili za različite karakteristike kanala i šuma. G.hn koristi u svakoj mreži različite mehanizme koji otklanjaju smetnje kako bi riješio smetnje susjednih mreža. Tako su G.hn mreže u mogućnosti da koegzistiraju i komuniciraju istovremeno, ne koristeći vremensku podjelu. Postupci prilagodbe veze se podešavaju protoku kako bi se nosili sa degradiranim signalom koji stvara smetnje i sa šumom.

Još jedna vrsta ITU-T G.hn standarda je ITU-T G.hn sa profilom male složenosti. On radi u frekvencijskom rasponu od 2 MHz do 50 MHz što omogućuje smanjenje potrošne energije i cijene komponenata. [6]

Modul koji radi na ITU-T standardu je Merryvale G.hn PLC modul. Podržava frekvencijske pojase od 25, 50 i 100 MHz. Ovaj integrirani uređaj objedinjuje sve funkcije G.hn PHY i G.hn MAC slojeva. Raspon napona na kojem radi je od 110 do 240 V izmjenično. Podržava topologiju mreže do 8 čvorova. PHY sloj radi retransmisije kako bi prevladao trenutne impulse šuma i garantira isporuku podataka.



Slika 3.5. Merryvale G.hn PLC modul

### 3.2.2. IEEE 1901

IEEE 1901 je objavljen u prosincu 2010. godine. Radi u frekvencijskom rasponu od 2 MHz do 50 MHz sa opcijom pružanja usluga iznad 30 MHz. Njegova brzina prijenosa podataka se kreće i do 500 Mbit/s. *Basic service set* je naziv za podmrežu u IEEE 1901. On definira dvije različite tehnologije za svoja dva fizička sloja. Prvi fizički sloj se temelji na OFDM modulaciji brze Fourierove transformacije, a drugi fizički sloj se temelji na OFDM modulaciji malih valova. Moraju se koristiti posebni mehanizmi za koegzistenciju prilikom rada uređaja IEEE 1901 s oba fizička sloja na istom dalekovodu koji je standardiziran kao protokol između sustava. Prvi fizički sloj sadrži konvolucijski turbo kod koje je temelj FEC-a. Drugi fizički sloj sadrži obvezan ispravljač pogreške koje se temelji na ulančanom konvolucijskom kodu i Reed-Solomon kodu. IEEE 1901 se oslanja na nosač višestrukog pristupa sa izbjegavanjem kolizije (CSMA/CA, *Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance*) za strategiju pristupa mediju, što može dovesti do povećanog broja kolizije. Način rada koordinirane



podjele vremena sa višestrukim pristupom (TDMA, *Time Division Multiple Access*) omogućuje susjednim mrežama da raspodijeli vrijeme preko dijeljenog medija za određene komunikacije. Ovaj način rada sa koordiniranom podjelom vremena sa višestrukim pristupom (TDMA) omogućuje prometu proći neometano makar i po cijeni vremenskog kašnjenja. [4]

Jedan od mnogih modula koji koriste IEEE 1901 je HD-PLC Modul DRT-J550. Velike brzine prijenosa podataka su moguće pomoću postojećih vodova, kao što su vodovi unutar kuće. DRT-J550 koristi frekvencijski pojas od 2 do 28 MHz. Brzina prijenosa podataka na fizičkom sloju se kreće do 240 Mbps. Ima malu potrošnju energije.



**Slika 3.6.** HD-PLC Modul DRT-J550

### 3.2.3. HomePlug Alliance

HomePlug Alliance je osnovan kako bi se uređajima preko kućnih električnih instalacija omogućilo međusobno komuniciranje, a također i internet. Prvi HomePlug standard sa vršnom prijenosnom brzinom na fizičkom sloju od 14 Mbit/s je HomePlug 1.0, a bio je objavljen u lipnju 2001. godine. HomePlug je objavio prvi standard za zvuk i video 2005. godine, a zvao se HomePlug AV. On je povećao brzinu prijenosa podataka fizičkom sloju sa 14 Mbit/s na 200 Mbit/s. Njegov frekvencijski raspon u kojem je radio kretao se od 2 MHz do 86 MHz. Za aplikacije kao što su video visoke rezolucije i 3D, on osigurava dovoljnu propusnost. Također implementira mogućnost kratkog razdjelnika, tj. nosača podataka u kontroli okvira.

U lipnju 2010. godine objavljen je HomePlug GreenPHY standard. On koristi aplikacije kao i HomePlug AV, ali manje troši energije, čak 75% manje i ima nižu cijenu, kao i smanjenu propusnost. Njegova vršna prijenosna brzina je 10 Mbit/s. Svi uređaji HomePlug GreenPHY-a su potpuno interoperabilni sa uređajima HomePlug AV, HomePlug AV2 i IEEE 1901 standarda.

dLAN® Green PHY modul je integriran uređaj za odašiljanje i primanje podataka putem električnih vodova. Ona ima sve funkcije potrebne za jednostavno kreiranje Green PHY mrežnih uređaja. Njegova brzina prijenosa podataka putem vodova se kreće do 10 Mbps. Njegov domet je 600 metara putem koaksijalnog kabela, 400 metara putem telefonske linije i 300 metara putem vodova. U potpunosti je kompatibilan sa GreenPHY i HomePlug AV standardima. Kupcima je omogućeno dodavanje ili prilagodba funkcija mijenjanjem upravljačkog softvera. Izvor 3,3 V, potrošnja energije < 1,5 W. Olakšava razvojni ciklus, montažu, testiranje i certifikaciju odobrenja.



**Slika 3.7.** dLAN® Green PHY modul

U siječnju 2012 je objavljen standard HomePlug AV2. Dizajniran je tako da su njegovi uređaji operabilni sa uređajima HomePlug AV, HomePlug GreenPHY i IEEE 1901 standardima. HomePlug AV2 se koristi u frekvencijskom rasponu od 30 MHz do 86 MHz. Njegova prijenosna brzina na fizičkom sloju ide do čak 1 Gbit/s. Parametri i funkcije HomePlug AV-a i HomePlug GreenPHY-a su prikazani u tablici 3.3. [5] [6]

Tablica 3.4. Parametri HomePlug AV-a i GreenPHY-a

Parametri/funkcije	HomePlug AV	HomePlug GreenPHY
Frekvencijski spektar	2-30 MHz	2-30 MHz
Frekvencijsko multipleksiranje	OFDM	OFDM
Broj podnosilaca	1155	1155
Razmak podnosilca	24.414 kHz	24.414 kHz
Zaštita	BPSK, QPSK	QPSK
FEC tip	Turbo kod	Turbo kod
Robustna brzina prijenosa podataka	4-10 Mbit/s	4-10 Mbit/s
Prilagodljiva brzina prijenosa podataka sa malim opterećenjem	20 – 200 Mbit/s	9,8 Mbit/s
Pristup kanalu	CSMA/CA s dodatnim TDMA	CSMA / CA
Središnja sposobnost koordinatora	Da	Da
Način rada za štednju energije	Ne	Da
Podjela pojase širine	Ne	Distribuirana kontrola propusnosti (DBC, <i>Distributed bandwidth control</i> )

## 4. USPOREDBA SUSTAVA ZA KOMUNIKACIJU PUTEM ELEKTROENERGETSKE MREŽE

### 4.1 Usporedba uskopojsnih sustava prijenosa signala

Parametri standarda uskopojsnih sustava prijenosa signala putem elektroenergetske mreže su prikazani u tablici 4.5.

Tablica 4.5. Parametri standarda uskopojsnih sustava za komunikacijske mreže.

Parametri	PRIME	G3	IEEE 1901.2
Frekvencijski raspon (kHz)	35,9 – 90,6	42 - 89	10 - 490
Frekvencija uzorkovanja (kHz)	400	250	400
Broj nosača	128	256	128
Ciklički prefiks ( $\mu$ s)	75	192	75
Zaštitni interval ( $\mu$ s)	55	192	55
Veličina prozora (uzorak)	8	0	8
Razmak podnosilca (Hz)	1562,5	488,28125	1562,5
Trajanje OFDM simbola (us)	695	2240	695
Modulacija	Ortogonalna fazna modulacija	Digitalna fazna modulacija	Digitalna fazna modulacija
Ispravljanje pogreške	Konvolucijski kod + RS	Konvolucijski kod	Konvolucijski kod + RS
Preplitanje	Paket	OFDM simbol	Paket
Robusni načini	Da	Ne	Da
Okvir učinkovitosti fizičkog sloja	Višestruki RS ( <i>Recommended Standard</i> )	$\leq 63$ simbola	Jednostruki RS
Maksimalna prijenosna brzina podataka (kbit/s)	300	128,6	500

Svaki od standarda za uskopojsnu komunikacijsku mrežu ima svoje prednosti i mane u odnosu na ostale standarde. Prednost PRIME standarda je velika prijenosna brzina. G3

standard je išao drugim smjerom i umjesto ostvarivanja što veće prijenosne brzine, usmjeravao se na razvoj robusnog fizičkog sloja sa ulančanim kodiranjem (Reed-Solomon i konvolucijski kod) i robusnu modulaciju sa ponavljajućim kodom. G3 također nudi dodatne frekvencijske pojaseve za uporabu diljem svijeta. IEEE 1901.2 standard se temelji na G3 standardu i definira samo fizički sloj i sloj kontrole pristupa mediju. Time pokretanje sustava, sigurnost i usmjeravanje nisu definirani. IEEE 1901.2 također uključuje koegzistenciju mehanizma koji dozvoljavaju tehnologijama uskopojasne komunikacijske mreže koji nisu interoperabilni da dijele isti frekvencijski pojas. G3 i IEEE 1901.2 imaju puno sličnosti, ali i dosta razlike koje mogu utjecati na njihovu interoperabilnost. Sloj kontrole pristupa mediju može podržati do 1280 bajta maksimalne prijenosne jedinice informacije (MTU, *Maximum Transmission Unit*) u IEEE 1901.2 standardu, dok u G3 standardu može podržati do 511 bajta MTU-a. Dodatna super robusna modulacija u IEEE 1901.2 ponavlja podatke 6 puta, dok je G3 koristi samo u zaglavlju kontrole okvira. G3 mehanizam za izbjegavanje kolizije fragmentiranih paketa nije definiran u IEEE 1901.2, kao ni mehanizam za zaštitu protiv ponavljanja s brojačem okvira. Značajna razlika između PRIME-a, G3 i IEEE 1901.2 je kako je riješeno usmjeravanje. PRIME ugrađuje svoj algoritam za usmjeravanje i raspoređuje mrežu u topologiju u obliku drveta tako da koordinator bude glavni čvor, a ostali uređaji budu uslužni čvorovi. G3 koristi LOADng protokol za algoritam usmjeravanja. To je reaktivan protokol, što znači da kada se jednom uspostavi, poruke se usmjeravaju samo kada je put prekinut ili je zastario. Kada je veza između dva susjeda prekinuta, aktivira se prvi lokalni popravljivač kako bi neprimjetno pronašao alternativni put. Ako popravljivač ne uspije, pošiljalatelj traži novi put do primatelja. Kako IEEE 1901.2 definira samo fizički sloj i sloj kontrole pristupa mediju (MAC, *Medium Access Control*), algoritam usmjeravanja nije definiran u samom standardu, već je definiran od strane sustava. Usporedba karakteristika standarda za uskopojasnu komunikacijsku mrežu dana je u tablici 4.6. [2]

Tablica 4.6. Usporedba karakteristika standarda uskopojasne komunikacijske mreže.

Karakteristike	PRIME	G3	IEEE 1901.2
Frekvencijski pojasevi	CENELEC A	CENELEC A, B i C	CENELEC A, B i C
normativne specifikacije	Fizički, MAC i konvergencijski sloj	Fizički, MAC i adaptacijski sloj	Fizički i MAC sloj
Podržani mrežni sloj	IEC61334-4-32, IPv4 ili IPv6	IPv6	IPv6
Brzina prijenosa podataka na sloju Internet protokola (IP)	Do 61.4 kbit/s za CENELEC A	- do 46 kbit/s za CENELEC A - do 234 kbit/s za FCC	- do 46 kbit/s za CENELEC A - do 234 kbit/s za FCC
Podržane modulacije	DBPSK, DQPSK, D8PSK	- DB, DQ i D8 PSK, - BSPK, QPSK, 8PSK and 16QAM	- DB, DQ i D8 PSK, - BSPK, QPSK, 8PSK and 16QAM
Robusnost	-Konvolucijski kod, - komunikacija s kraja na kraj	- Konvolucijski kod, - Reed-Solomon kod, - ponavljajući kod, - adaptivna modulacija, - komunikacija s kraja na kraj	- Konvolucijski kod, - Reed-Solomon kod, - ponavljajući kod, - adaptivna modulacija, - komunikacija s kraja na kraj
Sigurnost	Kontrola pristupa i autentifikacije temeljene na unaprijed dijeljenim ključem (PSK, <i>pre-shared key</i> )	- MAC sloj za kodiranje - kontrola pristupa i autentifikacije: - proširivi protokol za provjeru autentičnosti - protokol distribucije ključeva - zaštita od ponavljanja	MAC sloj za kodiranje

## 4.2 Usporedba širokopojasnih sustava prijenosa signala

Parametri standarda širokopojasnih sustava prijenosa signala putem elektroenergetske mreže prikazani su u tablici 4.7.

Tablica 4.7. Parametri standarda uskopojasne komunikacijske mreže.

Parametri	ITU-T G.nh	IEEE 1901	HomePlug Alliance
Frekvencijski raspon (MHz)	2 - 100	2 - 50	- AV: 2 - 30 - AV2: 30 – 86 - GreenPHY: 2 - 30
Maksimalna prijenosna brzina podataka (Mbit/s)	800	500	- AV: 200 - AV2: 1000 - GreenPHY: 10
Broj nosača	2048	1155	- AV: 1155 - AV2: 3455 - GreenPHY: 1155
Razmak podnosilca (kHz)	24.41	24.41	24.41
Modulacija	FFT OFDM	OFDM sa malim valovima	OFDM
Ispravljanje pogreške	Paritetni kod niske gustoće	- konvolucijski turbo kod - ulančani Solomon Reed i konvolucijski kod	Duo binarni turbo kod
Sigurnost	Napredni standard za šifriranje	Autentifikacijski kod ulančavanja šifriranih poruka	128-bitni napredni standard za šifriranje

Također i standardi za širokopojasnu komunikaciju međusobno imaju svoje prednosti i mane. U odnosu na brzinu prijenosa podataka i troškove, ITU-T G.nh i IEEE-1901 sustavi ciljaju prvenstveno u kući dostavu podataka, internet pregledavanja, kao i audio i video distribuciju.

U tablici 4.8. se može vidjeti usporedba karakteristika standarda širokopojasne komunikacijske mreže ITU-T G.hn i IEEE 1901. [2]

Tablica 4.8. Karakteristike ITU-T G.hn i IEEE 1901 standarda širokopojasne komunikacijske mreže

Karakteristike	ITU-T G.hn	IEEE 1901
Podmreža	Domena	<i>Basic service set</i>
Primopredajnik	Čvor	Stanica
Upravljač podmreža	Glavna domena	Upravitelj osnovnog seta usluga
2. sloj OSI modela	Podatkovni sloj	Sloj kontrole pristupa mediju
Prenoseći primopredajnik	Relej	Repetitor
Kontroler mreže	Prijenosnik	Upravitelj osnovnog seta usluga
Dodijeljene frekvencije	Frekvencijski pojas	Spektralna maska
Vremenski okvir	Ciklus kontrole pristupa mediju	Beacon interval
Vrijeme između okvira	Praznina između okvira	Prostor između okvira
Početna informacija	Zaglavlje okvira fizičkog sloja	Kontrola okvira
Robusna transmisija	Robusni način komunikacije	Robusni OFDM način
Odgovornost šifriranja	Nadzor logičke veze	Upravitelj osnovnog seta usluga
Metode pristupa	CSMA / CA, TDMA, STXOP (Shared Transmission Opportunities)	CSMA / CA, TDMA
Kontrola pristupa rasporedu	Plan pristupa mediju	Beacon

Domena – skup čvorova koji su spojeni na isti medij, gdje se jedan čvor ponaša kao upravitelj domene.



Upravitelj domene – odgovoran za evidentiranje čvorova, upravlja ostalim čvorovima prilikom prijenosa podataka, održava topologiju i usmjerava informacije potrebne za osiguravanje upravljanja i podatkovnih poruka te ostalim čvorovima emitira informacije koje su potrebne za rad domene.

Basic service set - komponenta koja se spaja na bežični medij kao što je mrežni adapter.

Primopredajnik - uređaj koji sadrži u kombinaciji odašiljač i prijemnik koji najčešće imaju zajedničke komponente ili kućište. Kod G.hn standarda primopredajnik je čvor koji prima podatke i prosljeđuje do odredišta, a kod IEEE 1901 standarda primopredajnik je stanica koja ima istu funkciju kao čvor kod G.hn standarda.

Podatkovni sloj - omogućuje pouzdan prijenos podataka između dva izravno povezana čvora.

Kontrola pristupa mediju - tehnika postavljanja podataka na medij.

Relej - prebacuje antenu sa prijemnika na odašiljač i obrnuto.

Repetitor - prima signale, pojačava ih i šalje dalje.

Spektralna maska - matematički definirana skupina linija primijenjenih na razini radio ili optičkih prijenosa.

Beacon interval - označava frekvencijski interval beacon-a.

Beacon - paket emitiran preko usmjerivača kako bi se sinkronizirala bežična mreža.

Praznina između okvira - minimalan period mirovanja između prijenosa Ethernet paketa.

Prostor između okvira - količina vremena u mikro sekundama potrebnih bežičnom sučelju za obradu primljenog okvira i odgovoriti s uzvratnim okvirom.

Fizički sloj - bavi se prijenosom niza bitova kroz fizički medij.

Nadzor logičke veze - osigurava mehanizme multipleksiranja koji omogućavaju za nekoliko mrežnih protokola koegzistenciju unutar mreže sa više točaka i da se mogu prenositi preko istog medija.

ITU-T G.hn tretira svoje podmreže kao domene koje mogu međusobno komunicirati. Operacije i komunikacije su upravljane glavnim područjem koje komunicira sa različitim čvorovima. Slično tako i IEEE 1901 svoje podmreže tretira kao *Basic service set*. Kao što je

kod G.hn glavno područje, tako je kod IEEE 1901 upravitelj osnovnog seta usluga koji se spaja na stanicu. Oba standarda imaju jako slične karakteristike kanala, zaštite i šifriranja. G.hn se nosi sa smetnjama susjednih mreža tako što koristi različite uvodne sjemenke simbola u svakoj mreži, a IEEE 1901 se oslanja na CSMA/CA strategiji pristupa mediju, što može dovesti do povećanog broja kolizije. G.hn definira fizički sloj i podatkovni sloj koji se koriste za operacije preko svakog žičanog medija. Nasuprot tome, IEEE 1901 definira dvije različite tehnologije fizičkog sloja koje se baziraju na HomePlug AV-u i na komunikacijskim mrežama visoke razlučivosti. HomePlug AV koristi brzu Fourierovu transformaciju, dok komunikacijska mreža visoke razlučivosti koristi male valove. [2]

## 5. ZAKLJUČAK

Prilikom odabira sustava za komunikaciju putem elektroenergetske mreže važno je znati zahtjeve aplikacije. S obzirom na zahtjeve aplikacije možemo odabrati najbolje odgovarajući sustav pri kojem bi aplikacija funkcionirala bez greški ili smetnji. Imamo dva različita sustava za komunikaciju putem elektroenergetske mreže, a to su uskopojasni i širokopojasni komunikacijski sustavi.

Uskopojasni komunikacijski sustav je sustav čiji je frekvencijski raspon u granicama od 3 kHz do 500 kHz. Najčešće se koristi u vodovima visokog napona jer preko njih najbolje prenosi bez velikih smetnji. Također se vodovi visokog napona koriste za prijenos komunikacije na velike udaljenosti, ali mana ovog prijenosa je mala brzina prijenosa podataka. Standardi koji se koriste u uskopojasnim komunikacijskim mrežama su PRIME, G3 i IEEE 1901.2. Cilj PRIME standarda je što veća brzina, cilj G3 standarda je razvoj robusnosti fizičkog sloja i robusne modulacije, dok se IEEE 1901.2 najviše koncentrirao na međusobnu interoperabilnost uređaja sa uređajima drugih standarda.

U širokopojasnom komunikacijskom sustavu frekvencijski raspon se kreće u granicama od 1.8 MHz do 300 MHz. Najčešće se koristi kod distribucije interneta kućanstvima. Brzine prijenosa podataka širokopojasnog komunikacijskog sustava su jako velike, ali je duljina prijenosa mala, što ga čini slabim za prijenos podataka na daljinu. Standardi koji koriste širokopojasnu komunikacijsku mrežu su ITU-T G.hn, IEEE 1901 i HomePlug Alliance koji je objavio više standarda: HomePlug 1.0, HomePlug AV, HomePlug AV2 i HomePlug GreenPHY. Najveća prednost ITU-T G.hn standarda je to što je omogućio svojim mrežama da koegzistiraju i komuniciraju istovremeno. Prednost IEEE 1901 standarda je što omogućuje susjednim mrežama da raspodijele vrijeme preko dijeljenog medija. HomePlug Alliance je razvio standarde kako bi se uređajima preko kućnih električnih instalacija omogućilo međusobno komuniciranje, a i internet.

---

**LITERATURA**

- [1] L. Lampe, A. M. Tonello, T.G. Swart, Power Line Communications: Principles, Standards and Applications from multimedia to smart grid, Wiley, United Kingdom, 2016.
- [2] L.T. Berger, A. Schwager, P. Pagani, D.M. Schneider, MIMO Power line communications: Narrow and broadband standards, EMC and advanced processing, CRC Press, London, 2013.
- [3] <http://homegridforum.org/uploads/resources/5CFw/o6Pa.pdf> Datum pristupanja: 23.6.2016.
- [4] <http://www.cse.du.ac.bd/wp-content/uploads/publications/Medium%20Access%20Control%20for%20Power%20Line%20Communication.pdf> Datum pristupanja: 23.6.2016.
- [5] [http://www.homeplug.org/media/filer\\_public/92/3f/923f0eb3-3d17-4b10-ac75-03c3c2855879/homeplug\\_green\\_phy\\_whitepaper\\_121003.pdf](http://www.homeplug.org/media/filer_public/92/3f/923f0eb3-3d17-4b10-ac75-03c3c2855879/homeplug_green_phy_whitepaper_121003.pdf) Datum pristupanja: 23.6.2016.
- [6] <http://www.hindawi.com/journals/jece/2013/892628/> Datum pristupanja: 23.6.2016.
- Izvor slike 3.1: <http://www.elgama.eu/en/products-solutions/data-concentrators/elgama-dc12> Datum pristupanja: 17.9.2016.
- Izvor slike 3.2: [https://www.researchgate.net/figure/259292801\\_fig4\\_Figure-5-Block-Diagram-of-PLC-G3-from-6](https://www.researchgate.net/figure/259292801_fig4_Figure-5-Block-Diagram-of-PLC-G3-from-6) Datum pristupanja: 18.6.2016.
- Izvor slike 3.3: <http://www.dninetworks.com/product.aspx?ProductId=108&objId=43> Datum pristupanja: 17.9.2016.
- Izvor slike 3.4: <http://www.ti.com/lit/ug/tidu812/tidu812.pdf> Datum pristupanja: 17.9.2016.
- Izvor slike 3.5: <http://xingtera.com/products/module-products/plc-module/> Datum pristupanja: 17.9.2016.
- Izvor slike 3.6: [http://www.mitsumi.co.jp/latest/Catalog/pdf/commun\\_drt\\_j550\\_e.pdf](http://www.mitsumi.co.jp/latest/Catalog/pdf/commun_drt_j550_e.pdf) Datum pristupanja: 17.9.2016.
- Izvor slike 3.7: [http://www.mitsumi.co.jp/latest/Catalog/pdf/commun\\_drt\\_j550\\_e.pdf](http://www.mitsumi.co.jp/latest/Catalog/pdf/commun_drt_j550_e.pdf) Datum pristupanja: 17.9.2016.

**Popis kratica:**

- CENELEC, *Comité Européen de Normalisation Électrotechnique*: Europski odbor za elektrotehničku normizaciju
- IEC, *International Electrotechnical Commission*: Međunarodno elektrotehnička komisija
- FCC, *Federal Communications Commission*: Federalna komisija za komunikacije
- ARIB, *Association of Radio Industries and Businesses*: Udruga radio industrija i poduzeća
- OFDM, *Orthogonal Frequency Division Multiplex*
- IPv4: Internetski protokol verzija 4
- DBPSK: diferencijal dvofazne modulacije
- DQPSK: diferencijal četverofazne modulacije
- FEC, *Forward Error Correction*: Ispravljач pogreške
- ITU, *International Telecommunications Union*: Međunarodna telekomunikacijska unija
- IEEE, *Institute of Electrical and Electronics Engineers*: Udruženje inženjera elektrotehnike
- CSMA/CA, *Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance*: Nosač višestrukog pristupa sa izbjegavanjem kolizije
- TDMA, *Time Division Multiple Access*: Podjela vremena sa višestrukim pristupom
- RS, *Recommended Standard*: Preporučeni standard
- MTU, *Maximum Transmission Unit*: Maksimalna prijenosna jedinica informacije
- MAC, *Medium Access Control*: Sloj kontrole pristupa mediju
- STXOP, *Shared Transmission Opportunities*
- IPTF, *International Powerline Telecommunication Forum*: Međunarodni forum za telekomunikacije putem elektroenergetske mreže

## SAŽETAK

U završnom radu opisani su sustavi komunikacije putem elektroenergetske mreže. Postoje uskopojasni i širokopojasni komunikacijski sustavi. Uskopojasni komunikacijski sustavi rade u frekvencijskom rasponu od 3 kHz do 500 kHz sa najvećom brzinom prijenosa podataka od 500 kbit/s. Standardi koji koriste uskopojasnu komunikacijsku mrežu su PRIME, G3 i IEEE 1901.2. Širokopojasni komunikacijski sustavi rade u frekvencijskom rasponu od 1 MHz do 300 MHz sa najvećom brzinom prijenosa podataka od 1 Gbit/s. Standardi koji koriste širokopojasnu komunikacijsku mrežu su ITU-T G.hn, IEEE 1901 i HomePlug Alliance (HomePlug 1.0, HomePlug AV, HomePlug AV2, HomePlug GreenPHY). Svaki standard ima svoje prednosti i mane u odnosu na ostale standarde.

**Ključne riječi:** komunikacija putem elektroenergetske mreže, uskopojasna komunikacija, širokopojasna komunikacija, frekvencijski raspon, brzina prijenosa podataka.

## ABSTRACT

The final thesis describes power line communication systems. There are narrowband and broadband power line communication systems. Narrowband power line communication systems operates in the frequency range from 3 kHz to 500 kHz with a maximum data rate of 500 kbit/s. The standards using narrow-band power line communication are PRIME, G3 and IEEE 1901.2. Broadband power line communication systems operates in the frequency range from 1 MHz to 300 MHz with a maximum data rate of 1 Gbit/s. Standards that use broadband power line communication are ITU-T G.hn, IEEE 1901 and HomePlug Alliance (HomePlug 1.0, HomePlug AV, HomePlug AV2, HomePlug GreenPHY). Each standard has its advantages and disadvantages compared to other standards.

**Key words:** power line communication, narrow-band power line communication, Broadband power line communication, frequency band, maximum data rate.

## ŽIVOTOPIS

Damjan Simonović rođen je 19.11.1994. u Virovitici. Živi u Đulovcu gdje završava osam razreda osnovnoškolskog obrazovanja sa odličnim uspjehom. Nakon završene osnovne škole upisuje elektrotehničku srednju školu u Daruvaru te ostvaruje odličan uspjeh na sve četiri godine srednjoškolskog obrazovanja.

Nakon završene srednje škole upisuje Elektrotehnički fakultet u Osijeku, te se kasnije odlučuje za smjer elektroenergetike. Po završetku preddiplomskog studija namjera mu je upisati diplomski studij na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku, smjer: Obnovljivi izvori energije.

U Osijeku, lipanj, 2016.

Damjan Simonović

Potpis:

---