UNAPREĐENjE KVALITETA USLUGA KOD ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA INTERNETU PREKO ELEKTRODISTRIBUTIVNIH VODOVA U REPUBLICI SRBIJI

By Igor Vujičić

WORD COUNT 33394 TIME SUBMITTED 18-APR-2018 10:14AM
PAPER ID 36572444

UNIVERZITET SINGIDUNUM

BEOGRAD

DEPARTMAN ZA POSLEDIPLOMSKE STUDIJE

UNAPREĐENjE KVALITETA USLUGA KOD ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA INTERNETU PREKO ELEKTRODISTRIBUTIVNIH VODOVA U REPUBLICI SRBIJI

DOKTORSKA DISERTACIJA

Mentor:

prof. dr Petar Spalević

Kandidat:

mr Igor Vujičić, dipl. inž.

Broj indeksa:
dždždždždždždž/gggg

Beograd, 2017.

SINGIDUNUM UNIVERSITY

BELGRADE

DEPARTMANT OF POSTGRADUATE STUDIES

IMPROVEMENT OF QUALITY OF SERVICE FOR BROADBAND INTERNET ACCESS PROVIDED USING ELECTRO-DISTRIBUTION POWERLINES IN REPUBLIC SERBIA

Mentor:

prof. Petar Spalević, PhD

Candidate:

M.sc. Igor Vujičić

Student number:
dždždždždždždž/gggg

Beograd, 2017.

Zahvalnica

.

2017

Igor Vujičić

REZIME

Korišćenje elektroenergetskih vodova za prenos telekomunikacionih signala datira još od kraja 19. veka. S obzirom na nesrazmernu investiciju u dostupne konvencionalne telekomunikacione tehnologije, ideja prenosa telekomunikacioh signala, prvesntveno u svhu upravljanja automatskom regulacijom u trafostanicama, je pokrenula istraživanje i razvoj tzv. Power Line Communication (PLC). Tokom godina, standardizovan je frekvencijski opseg koji je dodeljen za PLC komunikaciju u CENELEC opsegu (3 kHz do 148,5 kHz), a ova uskopojasna dvosmerna PLC komunikacija je našla svoju masovniju primenu u domenu daljinsko očitavanja brojila električne energije i upravljanje potrošnjom. Dakle, PLC tehnologija je koristi za realizaciju komunikacionih servisa u pristupnoj ravni, odnosno direktno do krajnjeg korisnika - potrošača električne energije.

U međuvremenu, razvijen je komercijalizovan čitav spektar savremenih telekomunikacionih tehnologija i servisa koje telekomunikacioni operateri pružaju svojim korisnicima. Isti ti korisnici su korisnici i usluge isporuke električne energije, koja je u nadležnosti elektrodistributivnih kompanija. Elektrodistributivne kompanije i proizvođači PLC opreme su u poslednjih 15 godina prepoznali svoj interes investirajući u razvoj širokopojasne PLC komunikacije, koja podrazumeva korišćenje frekvencijskog opsega od 1,6 MHz do 30 MHz, što omogućuje i realizaciju većih brzina prenosa podataka (teoretski do 200 Mbit/s), kako bi se podržali širokopojasni servisi kao što je VoIP, VoD, kao i brzi Internet. Proširenjem svoga poslovanja i u ovom smeru, elektrodistributivne kompanije diversifikuju svoje usluge i bivaju konkurentniji na liberalizovanom tržištu električne energije.

U ovom radu je dat pregled izazova i ograničenja koja su postavljena pred konačnu komercijalizaciju širokopojasne PLC komunikacije (BPL), kao i predlog tehničkih rešenja kojima se ti izazovi i ograničenja mogu u optimalnoj meri prevazići, kao i predlog konkretnog projekta i evaluacije pokazatelja koji bi bili osnova za verifikaciju primenjivosti BPL tehnologije za realizaciju pristupne telekomunikacione ravni i pružanje širokopojasnih servisa krajnjim korisnicima.

Rad je koncipiran u 10 poglavlja. Nakon uvodnog, prvog poglavlja u kome je opisan predmet istraživanja, motivacija za izbor ove aktuelne teme, ciljevi istraživanja, zadaci, te doprinos koji se od rezultata istraživanja očekuje, u sledećem poglavlju je prikazan detaljan pregled vrsta elektroenergetskih vodova koji se mogu naći u eksploataciji i njihovih karakteristika u pogledu pružanja telekomunikacionih usluga. Naime, postoje različite vrste elektroenergetskih provodnika kojima se realizuju, kako podzemne, tako i nadzemne mreže. Kako niskonaponski vodovi nisu primarno projektovani za prenos telekomunikacionog saobraćaja, te i same njihove konstrukcijske i tehničke karakteristike nisu optimalne za prenos ove vrste signala, svaka vrsta provodnika, kao i njegova primena u smislu načina realizacije voda, dužine, grananja i sl., predstavlja na neki način jedinstven model BPL kanala, sa svojim specifičnim karakteristikama.

Treće poglavlje predstavlja pregled elemenata PLC sistema i teorijsku analizu karakteristika i uticaja svakog od njegovih elemenata na performanse PLC komunikacije. S obzirom da topologija elektroenergetske mreže značajno utiče na topologiju PLC mreže kojoj se po njoj realizuje, u četvrtom poglavlju je predstavljen prikaz različitih topologija elektrodistributivnih mreža niskog napona, kroz opis organizacije PLC pristupnih mreža u smislu metodologije izbora optimalnog mesta za instalaciju PLC bazne stanice na mreži, segmentiranja PLC mreže za pristup, kao i slučajevi u kojima je neophodno korišćenje regeneratora PLC signala i gejtveja u PLC mreži.

Na elektroenergetskoj mreži se javlja značajan broj različitih šumova koji utiču na PLC, odnosno BPL komunikaciju. Peto poglavlje kategoriše i specificira vrste smetnji koje se javljaju u niskonaponskim, ali i srednjenaponskim mrežama. Takođe, u okviru ovog poglavlja predstavljene su i modulacione tehnike koje su našle primenu u PLC sistemima, svaka sa svojim prednostima i nedostacima, sa predlogom i opisom OFDM modulacije kao optimalne modulacije za PLC komunikaciju.

Pored modulacionih tehnika, neophodno je sagledati tehnike komutacije telekomunikacionog saobraćaja u okviru PLC sistema, kao i identifikovati efikasan MAC protokol za primenu u pristupnoj PLC mreži. Navedeno je predstavljeno u šestom poglavlju. Naime, svaki od konvencionalnih MAC protokola ima svoje prednosti i nedostatke za pouzdanu primenu u PLC sistemima, te je za realizaciju predložen svojevrsni koncept hibridnog MAC protokola koji bi bio prikladan za primenu u PLC

mreži uvažavajući moguće scenarije zahteva za dodelom kapaciteta i pristupa PLC mreži od strane komunikacionih čvorova, odnosno krajnjih korisnika.

Svaka od širokopojasnih telekomunikacionih usluga koje su i ciljne usluge za pružanje korisnicima po pristupnoj širokopojasnoj PLC mreži, imaju i svoje zahteve u pogledu kvaliteta usluge koji potrebno obezbediti, kako bi predložena tehnologija pružanja usluge mogla biti konkurentna u odnosu na konveniconalne telekomunikacione tehnologije. U sedmom poglavlju su opisane vrste multimedijalnog sadržaja koje se predviđaju za prenos po pristupnoj širokopojasnoj PLC mreži, kao i zahtevi za kvalitetom (QoS) za svaki od multimedijalnih sadržaja.

Širokopojasni PLC (Broadband Power Line – BPL) ima svoja ograničenja, kako tehnička, koja su navedena u prethodnim poglavljima, tako i regulatorna. Naime, BPL komunikacija interferira sa drugim sistemima koji koriste isti frekvencijski spektar, što je naročito izraženo kod nadzemnih vodova koji se ponašaju kao antene i zrače signal u okolni prostor. U osmom poglavlju je predstavljen regulatorni aspekt implementacije BPL tehnologije i sistema, na globalnom planu, ali i kroz regulatorni okvir u Republici Srbiji.

U devetom poglavlju, je predložen konkretan projekat za identifikaciju pokazatelja koji bi bili osnova za verifikaciju primenjivosti BPL tehnologije za realizaciju pristupne telekomunikacione ravni i pružanje širokopojasnih servisa krajnjim korisnicima u Republici Srbiji.

U poslednjem, desetom poglavalju je sistematizovan zaključak.

Ključne reči: niskonaponska elektrodistributivna mreža, nadzemna mreža, podzemna mreža, trafostanica, topologija mreže, širokojasna PLC komunikacija, PLC modemi, telekomunnikaciona mreža za pristup, širokopojasni telekomunikacioni servisi, Internet, VoD, VoIP, QoS, MAC protokol, modulacija, regulatorni okvir, EPS Distribucija, Projekat implementacije, Republika Srbija

ABSTRACT

The use of electricity transmission lines for transmission of telecommunication signals dates back to the end of the 19th century. Given the disproportionate investment in conventional telecommunication technologies available, the idea of transmitting telecommunication signals, primarily for the purpose of managing automatic regulation in substations, has initiated the research and development of the Power Line Communication (PLC). Over the years, the frequency band assigned to the PLC communication in the CENELEC range (3 kHz to 148.5 kHz) has been standardized, and this narrowband two-way PLC communication has found its massive application in the field of remote reading of the electricity meter and consumption management. Therefore, PLC technology is used for the realization of communication services in the access level, or directly to the end user - the electricity consumers.

In the meantime, a whole range of modern telecommunication technologies and services which telecommunication operators provide to their customers has been developed. At the same time, those users are also users of the electricity, which electricity distribution companies provide to them. So, electricity distribution companies and PLC equipment manufacturers have recognized their interest over the last 15 years by investing in the development of Broadband PLC communications, which involves the use of the frequency band from 1.6 MHz to 30 MHz, which enables the realization of higher data rates (theoretically up to 200 Mbps) to support broadband services such as VoIP, VoD, and high-speed Internet. By expanding their business in this direction, electricity distribution companies diversify their services and become more competitive in the liberalized electricity market.

This paper presents an overview of the challenges and constraints that have been posed before the final commercialization of Broadband PLC Communication (BPL), as well as a proposal for technical solutions that can overcome these challenges and constraints. Also, the proposal of a concrete project and evaluation of indicators that would be the basis for verifying the applicability of BPL technology for the realization of the access telecommunication level and the provision of broadband services to end-users is presented.

The paper is conceived in 10 chapters. After the first chapter as introductory, in which the subject of the research is described, the motivation for the selection of current topic, research goals, tasks, and the expected contribution from the research results, the next, second chapter deals with a detailed overview of the types of power lines that can be found in exploitation and their characteristics in terms of providing telecommunication services. Namely, there are different types of electric power conductors that are being implemented, both underground and above ground networks. Since low-voltage power lines are not primarily designed for transmission of telecommunication traffic, their design and technical characteristics themselves are not optimal for transmitting this kind of signal, each type of conductor, so its application in terms of the type of conductor, its length, branching, etc., represents unique model of BPL channel in some way, with its specific characteristics.

The third section presents an overview of the PLC system elements and theoretical analysis of the characteristics and impacts of each of its elements on the performance of PLC communication. Considering that the topology of the electricity network significantly influences on the topology of the PLC network that is being implemented on electricity network infrastructure, the fourth chapter presents the classification of different topologies of low-voltage electricity distribution networks through the description of the organization of PLC access networks in terms of the methodology for selecting the optimal location for installing PLC base station, segmentation of the PLC access network, as well as the cases when it is necessary to use the regenerators of PLC signal and gateway in the PLC network.

There is a significant number of different noise on the electricity network that affect PLC, or BPL communication. Fifth chapter categorizes and specifies the types of interference that occur in low voltage and medium voltage networks. Also, within this chapter, modulation techniques have been introduced which have found application in PLC systems, each with its advantages and disadvantages, with a proposal and description of OFDM modulation as optimal modulation for PLC communication.

In addition to modulation techniques, it is necessary to observe the techniques of switching of telecommunication traffic within the PLC system, as well as to identify an efficient MAC protocol for application in the PLC access network. This is described in Chapter 6. Namely, each of the conventional MAC protocols has its advantages and disadvantages for reliable application in PLC systems, so a concept of hybrid MAC

protocol that would be suitable for application in the PLC network and for implementation is proposed by considering possible scenarios of capacity allocation and access to the PLC access network on the side of communication nodes, as well as on the side of end-users.

Each of the targeted broadband telecommunication services aimed to be provide to the users within an access broadband PLC network have their own requirements regarding the quality of the service to be provided in order to be competitive in relation to the conventional telecommunication technologies. The seventh chapter describes the types of multimedia content that are envisaged for transmission over the access broadband PLC network, as well as the quality requirements (QoS) for each of the multimedia content.

The BPL communication has its own limitations, both, technical as mentioned in the previous chapters, as well as the regulatory ones. Namely, BPL communication interferes with other telecommunication systems using the same frequency spectrum, which is especially expressed in the case of overhead power lines that act as antennas and radiate the signal into the environment. Chapter 8 presents the regulatory aspect of the implementation of BPL technology and systems, globally, and through the regulatory framework in the Republic of Serbia.

In the ninth chapter, a Project is proposed to identify indicators that would be the basis for verifying the applicability of BPL technology for the implementation of the access telecommunication level and the provision of broadband services to the end-users in the Republic of Serbia.

The last, tenth chapter is a systematic conclusion.

Key words:

Ključne reči: low/voltage power distribution network, overhead lines, underground lines, transformer station, network topology, broadband PLC communication, PLC modems, telecommunication access network, broadband telecommunication sevices, Internet, VoD, VoIP, QoS, MAC protocol, modulation, regulatory aspect, EPS Distribucija, Implementation Project, Republic of Serbia

Spisak slika:

SLIKA 2-1 A) TOPOLOGIJA VISOKONAPONSKE MREŽE, B) SLOŽENOST NISKONAPONSKE MREŽE. 19
SLIKA 2-2 PRELAZAK SA AMR SISTEMA NA AMM SISTEME (FUNKCIONALNOSTI) 30
SLIKA 2-3 PRELAZAK SA AMM SISTEMA NA AMI SISTEME (FUNKCIONALNOSTI) 32
SLIKA 2-4 RAZVOJ I INTEGRACIJA AMX SISTEMA U KONCEPTU PAMETNE MREŽE (SMART GRID)..... 33
SLIKA 2-5 PRELAZAK SA AMI SISTEMA NA SMS SISTEME (FUNKCIONALNOSTI) 33
SLIKA 2-6 NEIZOLOVANI NADZEMNI NISKONAPONSKI VOD 38
SLIKA 2-7 IZOLOVANI NADZEMNI NISKONAPONSKI VOD 40
SLIKA 2-8 NADZEMNI IZOLOVANI VOD ZA PRIKLJUČENJE OBJEKTA 40
SLIKA 2-9 ČETVEROŽILNI PODZEMNI KABL. 42
SLIKA 2-10 PODZEMNI KABLOVI ZA KUĆNI PRIKLJUČAK 42
SLIKA 2-11 VRSTE ŠUMOVA NA NISKONAPONSKOM VODU. 44
SLIKA 3-1 ŠUMOVI NA VIOKONAPONSKOM VODU. 50
SLIKA 3-2 ŠUMOVI NA NISKONAPONSKOM VODU 52
SLIKA 3-3 ŠUMOVI NA NISKONAPONSKOM VODU 53
SLIKA 4-1 ŠEMATSKI PRIKAZ STRUKTURE ELEKTRODISTRIBUTIVNE MREŽE NISKOG NAPONA 57
SLIKA 4-2 INSTALACIJA PLBS U TRAFOSTANICI 59
SLIKA 4-3 RAZLIČITA TOPOLOGIJA PRISTUPNE PLC MREŽE U ODNOSU NA TOPOLOGIJU NISKONAPONSKE MREŽE 60
SLIKA 4-4 REALIZOVANJE PLC PODSISTEMA NA SEGMENTIMA NN MREŽE 61
SLIKA 4-5 VIŠE NEZAVISNIH PLC PRISTUPNIH MREŽA U OKVIRU TERITORIJE KOJU POKRIVA JEDNA TRAFOSTANICA. 62
SLIKA 4-6 SEGMENTACIJA PRISTUPNE PLC MREŽE RIPITERIMA ILI GEJTVEJIMA 64
SLIKA 5-1 BLOK DIJAGRAM OFDM SISTEMA 72
SLIKA 5-2 BLOK DIJAGRAM OFDM SISTEMA. 74
SLIKA 9-1 NISKONAPONSKA MREŽA TS B-474 (GIS PRIKAZ) 100
SLIKA 9-2 NISKONAPONSKA MREŽA TS B-474 (TIS PRIKAZ) 101
SLIKA 9-3 NISKONAPONSKA MREŽA TS V-474 (DEONICE KABLOVSKIH VODOVA) 102
SLIKA 9-4 NISKONAPONSKA MREŽA TS V-296 (GIS PRIKAZ) 103
SLIKA 9-5 NISKONAPONSKA MREŽA TS V-296 (TIS PRIKAZ) 103
SLIKA 9-6 NISKONAPONSKA MREŽA TS V-296 (NISKONAPONSKI IZLAZI) 104
SLIKA 9-7 NISKONAPONSKA MREŽA TS V-296 (GRANANJE MREŽE) 104
SLIKA 9-5 NISKONAPONSKA MREŽA TS Z-938 (TIS PRIKAZ) 107
SLIKA 9-9 PLC ĆELIJA V-296 114

Spisak tabela:

TABELA 2-1 PARAMETRI G3-PLC I PRIME 26
TABELA 7-1 PROTOK I QOS ZAHTEVI ZA MULTIMEDIJALNE APLIKACIJE 86
TABELA 9-1 PODACI O STRUKTURI NISKONAPONSKE MREŽE TS B-474 101
TABELA 9-2 PODACI O STRUKTURI NISKONAPONSKE MREŽE TS V-296 106
TABELA 9-3 PODACI O STRUKTURI NISKONAPONSKE MREŽE TS Z-938 112
TABELA 9-4 UPOREDNA ANALIZA PARAMETARA ODABRANIH TRAFOSTANICA 112
TABELA 9-5 PREGLED ZAHTEVANIH SERVISA SA ZAHTEVANIM KAPACITETOM PO KORISNIKU 116
TABELA 9-6 PARAMETRI SISTEMA 120
TABELA 9-7 TEHNIČKE KARAKTERISTIKE 123
TABELA 9-8 STANDARDI ZA BROJILA ELEKTRIČNE ENERGIJE 124

Sadržaj

REZIME **3**

ABSTRACT **6**

1 UVOD **14**

1.1 Predmet istraživanja **14**

1.2 Motivacija **16**

1.3 Ciljevi i zadaci istraživanja **16**

1.4 Očekivani doprinos **17**

2 KORIŠĆENJE PLC TEHNOLOGIJE PO ELEKTROENERGETSKIM VODOVIMA **18**

2.1 Istorijat korišćenja elektroenergetskih vodova u svrhu prenosa telekomunikacionih signala **18**

2.2 Standardi kod upotrebe PLC tehnologije **20**

2.2.1 S-FSK tehnologija 22

2.2.2 OFDM tehnologija 22

2.2.2.1 G3-PLC 23

2.2.2.2 PRIME 24

2.2.2.3 IEEE 1901.2 26

2.3 Razvoj AMM sistema realizovanih na PLC tehnologiji **28**

2.4 Kategorizacija elektroenergetskih vodova za pružanje telekomunikacionih usluga **36**

2.4.1 Identifikacija tipova niskonaponskih vodova primenjenih u telekomunikacionoj pristupnoj ravni 37

2.4.1.1 Nadzemni niskonaponski vodovi 37

2.4.1.2 Podzemni niskonaponski vodovi 41

3 OSNOVNI ELEMENTI PLC SISTEMA **47**

3.1 Povezivanje elemenata sistema **54**

4 TOPOLOGIJA ELEKTRODISTRIBUTIVNIH MREŽA NISKOG NAPONA **56**

4.1 Organizacija PLC pristupnih mreža **58**

4.1.1 Izbor lokacija za instalaciju PLC bazne stanice 58

4.1.2 Segmentacija PLC pristupne mreže 60

4.1.3 Uloga gejtveja i ripitera u PLC pristupnoj mreži 62

5 SMETNJE KOJE SE JAVLJAJU U SREDNJENAPONSKIM I NISKONAPONSKIM MREŽAMA 67

5.1 Smetnje u srednjenaponskim mrežama 67

5.2 Smetnje u niskonaponskim mrežama 68

5.3 Modulacione tehnike 69
5.3.1 Single-carrier modulacija 70
5.3.2 Spread spectrum modulacija 70
5.3.3 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) modulacija 71
5.3.3.1 Koncept OFDM modulacije 73
5.3.3.2 Eliminacija impulsnog šuma 76

6 KOMUTACIJA SAOBRAĐAJA U SREDNJENAPONSKOJ I NISKONAPONSKOJ MREŽI 77

6.1 MAC protokoli u pristupnoj PLC mreži 77

7 ŠIROKOPOJASNE TELEKOMUNIKACIONE USLUGE U PRISTUPNOJ PLC MREŽI 83

7.1 Vrste multimedijalnih sadržaja za prenos po širokopojasnoj PLC mreži 84
7.1.1 Digitalni video 84
7.1.2 Skenirani fajlovi i digitalne fotografije 85
7.1.3 Audio sadržaji– muzički i govorni sadržaji 85
7.1.4 Interaktivni sadržaji - govor i video 85
7.1.5 Gejming i simulacije 86

7.2 Zahtevi za kvalitetom usluge (QoS) kod pružanja multimedijalnog saobraćaja 87
7.2.1 Protok 87
7.2.2 Gubitak paketa i kašnjenje 88
7.2.3 Džiter 88

8 REGULATORNI ASPEKT IMPLEMENTACIJE ŠIROKOPOJASNE PLC TEHNOLOGIJE I SISTEMA 89

9 PREDLOG PROJEKTA IMPLEMENTACIJE ŠIROKOPOJASNOG PLC KOMUNIKACIONOG SISTEMA U ELEKTROENERGETSKOJ MREŽI EPS DISTRIBUCIJE U REPUBLICI SRBIJI 92

9.1 OPIS I CILj PROJEKTA 92

9.2 Koncept realizacije projekta 93

9.3 Predmet i cilj projekta 96
9.3.1 Izgradnja PLC pristupne mreže po niskonaponskoj mreži DP Beograd 96
9.3.2 Realizacija servisa za korisnike PLC mreže 97
9.3.3 Praćenje rada i verifikacija karakteristika PLC opreme i sistema 98

9.4 Podaci o niskonaponskoj mreži 98
9.4.1 Niskonaponska mreža B-474 100
9.4.2 Niskonaponska mreža TS V-296 102

9.4.3 Niskonaponska mreža TS Z-938 ... 106
9.4.4 Poređenje strukture mreže odabranih trafostanica ... 112

9.5 Tehničko rešenje ... 113
9.5.1 Konfiguracija PLC segmenata ... 113

9.6 Usluge u projektovanoj PLC mreži ... 115

9.7 Konfiguracija, nadzor i upravljanje u projektovanoj PLC mreži ... 117

9.8 Uslovi za projektovanje i instalaciju ... 118

9.9 Predviđeni uslovi za rad brojila električne energije ... 119
9.9.1 Klimatski uslovi na mestu ugradnje brojila električne energije ... 119
9.9.2 Parametri sistema na mestu ugradnje ... 120

9.10 Tehničke specifikacije za PLC opremu ... 120

9.11 Tehničke karakteristike brojila električne energije ... 123
9.11.1 Standarni koje brojilo treba da zadovoljava ... 123
9.11.2 Funkcionalnosti koje brojilo treba da podržava ... 124
9.11.2.1 Profili opterećenja ... 124
9.11.2.2 Limitacija snage ... 125
9.11.2.3 Code Red ... 126
9.11.2.4 Dnevnik događaja ... 127
9.11.2.5 Ažuriranje firmvera ... 127
9.11.2.6 Merenje kvaliteta isporučene električne energije ... 128
9.11.2.7 Integritet merenja ... 129

10 ZAKLJUČAK ... 130

REFERENCE ... 132

BIOGRAFIJA ... 142

SPISAK OBJAVLJENIH RADOVA ... 144

MONOGRAFIJE ... 147

UČEŠĆE U PROJEKTIMA ... 148

1 UVOD

1.1 PREDMET ISTRAŽIVANJA

Predmet istraživanja u ovoj disertaciji je komunikacija putem PLC *(engl. Power Line Communication)* tehnologija. Ovaj vid komunikacije koristi niskonaponske i/ili srednjenaponske kao medijum za prenos telekomunikacionih signala, a primarno je razvijen sa ciljem jednostavnog daljinskog upravljanja elektroenergetskim sistemom i telefonije za potrebe elektrodistributivnih preduzeća [1]. Ovakav vid komunikacije je dosta sporiji u odnosu na bežične komunikacije i druge savremene vidove komunikacija iz razloga što elektrodistributivna mreža nije odgovarajući medij za prenos signala visoke frekvencije. Međutim, korišćenjem visokorazvijenih tehnologija za obradu signala u oblasti telekomunikacija i drugih naprednih tehnologija, ovaj vid komunikacije postao je zanimljiv za istraživanje i primenu u elektrodistributivnim mrežama. Aktuelna generacija PLC sistema koristi frekvencije u opsegu od 1,6 – 30 MHz. Ovaj opseg omogućuje realizaciju velikih protoka (teoretski do 200 Mbit / sec) [2], a putem kojih je moguće podržati pružanje i širokopojasnih usluga. Širokopojasni PLC – ŠPLC sistemi se prema području primene mogu podeliti na PLC sisteme za pristup *(Access PLC)* i kućne PLC *(In-Home PLC)* [3], [4]. Istraživanje predstavljeno u ovoj disertaciji je fokusirano na topologije pristupnih PLC mreža, koje se realizuju na infrastrukturi niskonaponskih elektrodistributivnih mreža.

U poređenju sa drugim komunikacionim madijumima komunikacija putem elektrodistribudivnih komunikacionih mreža ima velike nedostatke u pogledu prenosa signala u širokopojasnom propusnom opsegu. Problemi koji se javljaju u vidu slabljenja signala, pozadinskog obojenog šuma i sličnih impulsnih šumova predstavljaju vrlo ograničavajući faktor. Iz ovog razloga potrebno je detaljno istražiti PLC i mnoge nedostatke koji se javljaju u njihovoj primeni u ovom vidu komunikacije. Potrebno je detaljno istražiti karakteristike PLC kanala. PLC predstavlja optimalno pouzdan i vrlo jednostavan model kanala za korišćenje u distributvnim komunikacionim mrežama. Za modelovanje PLC kanala, krajem 90-tih godina razvijene su dve metode, i to:

- *multipath* model, i

- model teorije prenosa (TLT).

Takođe za modelovanje PLC koriste se i modulacije kao što su OFDM *(engl. Orthogonal Frequency Division Multiplexing)* i povezana pulsna OFDM [5] i talasna *(wavelet)* OFDM [6].

Za uspešno korišćenje ova dva modela potrebno je poznavanje topologije mreže i električnih osobina kablova kao preduslove koji ometaju njihovu primenu.

Dodatno, PLC mora da zadovolji i mogućnost primene u različitim scenarijima ekspolatacije. PLC mora podržati mogućnost različitih brzina prenosa, mora omogućiti različitu pokrivenost, kao i robusnost u vrlo složenim i različitim aplikacijama.

Topologija niskonaponskih mreža u velikoj meri utiče na mogućnost korišćenja ovih mreža za komunikaciju a takođe i specifične karakteristike niskonaponskih vodova kao medijuma za prenos signala visoke frekvencije [7]. U elektrodistributivnim vodovima izražena je značajna prisutnost šumova koji potiču od različitih izvora, a takođe je vrlo izražena i velika varijacija vrednosti vremenske impedanse. Veliki broj izvoda (krakova) i ogranaka na niskonaponskoj mreži utiče na pojavu refleksija i efekata višestruke propagacije. Na kvalitet komunikacionog signala u niskonaponskom vodu utiče i i slabljenje koje se javlja usled prostiranja signala po vodu, a koje se povećava sa povećanjem frekvencije signala i dužine provodnika (elektrodistributivnog voda).

Takođe, neophodno je uvažiti činjenicu da se u elektrodistributivnim mrežama mogu naći i različite vrste vodova, koji po mestu i načinu instaliranja mogu biti [100] ,[101]:

- nadzemni vodovi (provodnici postavljeni na stubovima), ili
- podzemni vodovi (provodnici se polažu u zemlju).

Provodnici u niskonaponskim mrežama se razlikuju po preseku, ali i vrsti materijala od kojeg se prave, kao i po vrsti izolacije.

Nadzemni vodovi mogu biti:

- neizolovani,
- slaboizolovani i
- izolovani.

1.2 MOTIVACIJA

Osnovni motiv ovog rada jeste da se izvrši detaljna analiza jednog savremenog pristupa širokopojasnog modela komunikacija primenom PLC-a na elektrodistributivnoj mreži. Detaljnom analizom svojstva prenosa podataka putem PLC širokopojasne elektrodistributivne mreže i uticaja smetnji potrebno je doći do zaključka o opravdanosti ovakvog modela prenosa podataka. Kao rezultat detaljne analize topologije elektrodistributivne mreže u Republici Srbiji, i uticaja različitih vidova smetnji koji se mogu javiti prilikom primene ovog vida komunikacije, dolazi se do zaključka o opravadanosti primene i implementacije ovog pristupa u EPS Distribuciji (koja je operator distrubutivnog sistema u Republici Srbiji čiji je osnivvač Elektroprovreda Srbije), ali i ostalih elektrodistributivnih preduzeća sa sličnom topologijom mreže, a kakve su svakako elektrodistribucija u Regionu.

Na osnovu dobijenih rezultata predložen je model i topologija mreže za primenu u EPS Distribuciji.

1.3 CILJEVI I ZADACI ISTRAŽIVANJA

Detaljna analiza i predlog projekta izgradnje PLC pristupne mreže po niskonaponskoj i srednjonaponskoj mreži u EPS Distribuciji. Detaljna analiza i predlog realizacije servisa za korisnike PLC mreže.

Naučni cilj ovog istraživanja jeste utvrđivanje efikasnosti prenosa podataka PLC komunikacionim kanalom realizovanim u elektrodistributivnim niskonaponskim i srednjenaponskim mrežama.

Poseban cilj istraživanja je utvrditi mogućnost korišćenja ovakvih komunikacioh sistema za efikasan prenos podataka za široki broj korisnika van zatvorenog sistema elektrodistribucije.

1.4 OČEKIVANI DOPRINOS

Sagledavanjem peformansi PLC komunikacionih sistema primenjenih u elektrodistributivnim mrežama može se značajno poboljšati sistem komunikacije. Predloženim metodama može se značajno poboljšati analiziranje performansi PLC komunikacionih sistema.

PLC komunikacioni sistemi bazirani na elektrodistibutivnim mrežama predstavljaju jednu jeftinu i veoma efikasnu komunikacionu metodu koja se može koristiti u postojećoj infrastrukturi.

Primenom predloženih topologija PLC komunkacionih sistema u postojećim elektrodistibutivnim mrežama niskog napona, u uslovima liberalizacije tržišta električne energije, elektrodustribucije mogu diverzifikovati svoje usluge i jeftino pružiti kvalitetne telekomunikacione usluge širokom broju korisnika i domaćinstava koje već snabdeva električnom energijom, a bez instaliranja nove mreže.

Predmet i tema doktorske disertacije su aktuelni, a korišćenje modulacija i PLC komunikacione tehnologije u postojećoj infrastrukturi elektroenergetske mreže predstavlja doprinos predloženog istraživanja u implementacije komunikacionih tehnologija i elektrodistributivnih mreža.

Uvažavajući predmet i cilj, hipoteze od kojih se polazi, kao i metode istraživanja, očekuje se da će rezultati ovog naučno-istraživačkog rada imati doprinos na pružanje širokopojasnih usluga po elektrodistributivnoj mreži na području Republike Srbije.

Rezultat ove disertacije nakon sprovedenog istraživanja jeste da se primenom topologije širokopojasnih PLC komunikacija u elektrodistributivnim mrežama može uspešno i jeftino vršiti prenos podataka za različite aplikacije.

2 KORIŠĆENJE PLC TEHNOLOGIJE PO ELEKTROENERGETSKIM VODOVIMA

2.1 ISTORIJAT KORIŠĆENJA ELEKTROENERGETSKIH VODOVA U SVRHU PRENOSA TELEKOMUNIKACIONIH SIGNALA

Počeci korišćenja električnih vodova u komunikacione svrhe datiraju još sa kraja 19. i početka 20. veka. Elektroenergetske transportne i distributivne mreže su od samog početka elektrifikacije bile interesantne za korišćenje u komunikacione svrhe, dok se devedesetih godina prošlog veka kao posledica tehnološkog skoka i ubrzanog razvoja elektronike i telekomunikacione opreme, to interesovanje značajno povećalo.

U ranijem periodu razvoja su ove vrste komunikacija bile ograničene i uglavnom su korišćene u upravljačke svrhe za potrebe elektroenergetskih kompanija [8, 9, 10] (prosto upravljanje trafostanicama), kao i za glasovnu-telefonsku komunikaciju takođe u elektroenergetskim kompanijama [11, 12]. Početkom dvadesetog veka predložena je višestruka tonska šema (Loudri) koja je slična današnjoj DTMF tehnologiji *(engl. Dual-Tone Multi Frequency)* [15]. Takođe, istovremeno je od strane istog naučnika predloženo da se koriste filteri - korišćenjem jednog filtra za svaki ton. Ovaj vid komunikacije je primenjen i u sadašnjim savremenim konceptima PLC tehnologija visoke frekvencije [14]. U ovim komunikacijama je značajno mesto zauzela i OFDM *(engl. Orthogonal Frequency Division Multiplexing)* [16] i sve vrste FSK *(engl. Frequency Shift-Keying)* [17], tehnike koje se uspešno koriste kod ovog vida komunikacija korišćenjem različitih frekvencija.

Dakle, u prvim decenijama dvadesetog veka postalo je zastupljenije korišćenje elektrodistibutivnih visokonaponskih mreža za prenos glasa iz razloga što se elektrifikacija ubrzano širila i na seoske sredine [11]. Ovakav vid komunikacije je u narednim godinama i decenijama postajao sve zastupljeniji i interesantniji i u srednjenaponskim mrežama zbog svoje rasprostranjenosti (slika 2-1 a) [18], ali su se kod prelaska sa jednog naponskog nivoa na drugi javljali problemi u komunikaciji, jer transformatori u komunikacionom smislu predstavljaju prekid voda. Trebalo je pronaći način da se zaobiđu transformatori (slika 2-. b) [18]. Znači bilo je potrebno pri spajanju

linije na dva različita naponska nivoa pronaći način kaplovanja *(eng. coupling)* signala sa voda koji napaja primar energetskog transformatora na vod koji je spojen na sekundar istog transfromatora [19].



a) b)

Slika 2-1 a) Topologija visokonaponske mreže, b) složenost niskonaponske mreže.

Komunikacija preko elektroenergetskih vodova svih oblika imala je svoju primenu i tokom drugog svetskog rata kada je zbog zabrane korišćenja emitovanja radioamaterskog signala, zbog mogućnosti ometanja vojne komunikacije, zajednica radioamatera prešla na korišćenje svih vrsta kablova i vodova za potrebe emitovanja signala i komunikacije, pa i energetskih vodova.

Razvojem telekomunikacija i telekomunikacione opreme, i elektroenergetske mreže su postale zanimljive i kao medij za prenos raznih vrsta podataka u telekomunikacijama. Dva su razloga za to. Jedan je da se pojavom elektronskih brojila električne energije osamdesetih godina prošlog veka, javila ideja i opravdana potreba za danjiinskom komunikacijom sa tim brojilima u svrhu očitavanja. Komunikacija je u početku jednosmerna, a kasnije i dvosmerna, što je omogućila i upravljanje brojilima (u smislu podešavanja i kontrole potrošnje). Drugi razlog je što se brzim razvojem

poluprovodnika i elektronskih komponenti u telekomunikacijama otvario put za korišćenje i kućnih naponskih instalacija za potrebe telekomunikacija. Dostupnost ove tehnologije postaje široko rasprostranjena pojavom modema za kućne mreže [13, 14].

U cilju efikasnog korišćenja elektroenegretskih mreža vrši se istraživanje PLC-a, pre svega povećanja propusnog opsega, kako bi se podržala potreba i mogućnost za prenos sve većih količina podataka (sve složenijih tipova telekomunikacionih servisa). Povećanjem propusnog opsega (a samim tim i frekvencije) dolazi do povećanja smetnji u vodu, kanalnom modelovanju, kodiranju kanala, sinhronzacijama i relejima za PLC. U ovom radu će se posebna pažnja obratiti na karakteristike PLC-a u smislu modulacije i šema kodiranja kanala, kao i karakteristika slabljenja i distributivnoj mreži. Takođe, posebno će se obratititi pažnju na karakteristike i mogućnost upotrebe PLC-a u cilju poboljšanja pokrivenosti i kapaciteta postojeće mreže Republici Srbiji.

2.2 STANDARDI KOD UPOTREBE PLC TEHNOLOGIJE

Generalno, korišćenje PLC-a u telekomunikacijama se može podeliti na širokopojasne i uskopojasne komunikacije, te je u skladu sa tim potrebno pri korišćenju istih primeniti određene standarde.

Kod uskopojasnih komunikacija, aktuelni standardi predviđaju karakteristični opseg od 3 kHz -148,5 kHz. Ovi standardi se primenjuju u Evropi i mogu biti podeljeni na podopsege koji su klasifikovani kao A, B, C, D, i podopseg za potrebe elektrodistributivnih kompanija (evropska komisija za standardizaciju CENELEC standard, uredba EN 50065 – 1), gde su frekvencije raspodeljene na sledeći način:

- 3 – 9 kHz podopseg za potrebe elektrodistributivnih kompanija,
- 9 – 95 kHz (A band) podopseg za potrebe elektrodistributivnih kompanija,
- 95 – 125 kHz (B band) podopseg za potrebe korisnika.
- 125 – 140 kHz (S band) podopseg za potrebe korisnika, CSMA protokol.
- 140 – 148,5 kHz (A band) podopseg za potrebe korisnika.

CENELEC ograničava amplitudu signala u A – opsegu na maksimum 5 V (0,75 – 5V, u zavisnosti od tipa modulacije). Amplitude signala u B, C i D –opsegu su ograničene na 0,63 V. Ovakva regulacija postavlja oštra ograničenja u pogledu servisa

koji se mogu realizovati ovom tehnologijom. Za zahtevne aplikacije u pogledu velikih protoka, potreban je širi propusni opseg jer je propusni opseg proporcionalan brzini prenosa. Nove generacije PLC sistema koriste frekvencije od 1,6 – 30 MHz, što je omogućilo značajno povećanje propusnog opsega i korišćenje energetskih vodova i za širokopojasne aplikacije. Veliki probelem je interferencija sa drugim komunikacionim sistemima, kojima su već dodeljeni delovi ovog frekventnog spektra (radio-difuzija, radioamateri, vazduhoplovna navigacija, itd..)

Standardizacijom je posebno uređen frekvencijski opseg i od strane američke federalne komisije gde se opseg kreće od 10 – 490 kHz (FCC). Takođe je standardizacijom frekvencijski opseg uređen i od strane Japanske i Kineske industrije i Komisije za standardizaciju gde se opsezi kreću od 10 – 450 kHz i od 3 – 500 kHz respektivno.

U poslednjih petnaestak godina razvijeno je nekoliko PLC tehnologija, koje su i standardizovane kroz ISO, odnosno IEC standardizaciju, a koje podržavaju male brzine prenosa, a mogu da zadovolje komunikacione zahteve u okviru AMM sistema (*Automated Meter Management* – sistemi za daljinsko očitavanje brojila i upravljanje potrošnjom) [102]. One se razlikuju po tehnikama modulacije, po složenosti, po imunosti na određene tipove smetnji, po brzinama komunikacije i sl. Standardi za uskopojasnu PLC komunikaciju su [22, 23]:

- 14908 – 3 podržana brzina prenosa podataka od 5,4 i 3,6 kbit/s,
- 14908 – 3 – 5 podržava prenos podataka od 1,2 i 2,4 kbit/s i
- CEA 600.31 podržava prenos podataka od 10 kbit/s,

Za obezbeđivanje većih brzina prenosa koriste se standardi [24]:

- ITU-T G.hnem koji podržava brzine prenosa do 1 Mbit/s,
- IEEE 1901.2 koji podržava brzine prenosa do 500 kbit/s,
- G3 – PLC koji podržava brzine prenosa do 300 kbit/s i IPv6 protokol a baziran je na OFDM.
- PRIME (*engl. PowerRline Intelligent Metering Evolution*) koji podržava brzine prenosa u rasponu od 21,4 – 128,6 kbit / s.

Od svih tehnologija izdvajaju se dve koje su bazirane na otvorenim standardima i koje su šire rasprostranjene. Tehnologija starije generacije, koja je robustna, dokazana i

široko primenjena je S-FSK. Novija tehnologija ima svojih prednosti i koristi OFDM modulaciju, a njena primena je sve šira. Pored ovih postoje i druge tehnologije koje uglavnom nisu bazirane na otvorenim standardima i koje predstavljaju vlasnička rešenja pojedinih kompanija ili grupacija, npr. YITRAN, NES i sl.

2.2.1 S-FSK tehnologija

Proverena i dokazana tehnologija za PLC aplikacije u AMR/AMM sistemima koristi S-FSK modulaciju. Ova tehnologija pokrivena je sa nekoliko međunarodnih standarda: IEC 61334-5-1:2001 [86], IEC 61334-4-32:1996 [87], IEC 61334-4-511:2000 [88], IEC 61334-4-512:2001 [89], IEC 61334-6:2000 [90]

Ovo rešenje je imuno na uskopojasne interferencije i slabljenje, nije kompleksno i vrlo je pouzdano, sa preko 99,9% [91].

Osnovne tehničke specifikacije S-FSK modulacije su:

- Frekvencijski opseg 3 – 95 kHz (CENELEC A-band)
- Brzina komunikacije do 2400 bps
- Frekvencija fs je pridružena binarnoj „0“, dok je frekvencija fm pridružena binarnoj „1“. Tipičan razmak između ovih frekvencija je oko 10 kHz.
- Fizički blok podataka je konstantan i sadrži 42 bajta
- Logički blok podataka se sastoji od najviše 242 bajta (maksimum 7 fizičkih blokova)
- Kvalitet komunikacije za svako brojilo koje je konektovano na koncentrator je nezavisan od drugih brojila

2.2.2 OFDM tehnologija

OFDM tehnologija je novija tehnologija, i naprednija u odnosu na opsisanu S-FSK. OFDM podržava veće brzine prenosa, ima veću imunost na interferencije, ali i složenija za realizaciju u odnosu na S-FSK.

OFDM zadržava sve prednosti PLC komunikacije: „Plug-and-Play“, dvosmerna komunikacija, zaštićena komunikacija, korišćenje postojećih niskonaponskih vodova,

imunost na uskopojasnu interferenciju i slabljenje. Komunikacione mogućnosti u smislu brzine su povećane do oko 50 kbps.

Kada su u pitanju OFDM tehnologije, trenutno su se izdvojila tri standardizovana i rešenja, zasnovana na otvorenim standardima i specifikacijama:

- G3-PLC, razvijeno i održavano od strane G3-PLC Alijanse [92]
- PRIME, razvijeno i održavano od strane Prime Alijanse [93]
- IEEE 1901.2, IEEE standard za uskopojasnu PLC za Smart Grid aplikacije na učestanostima do 500 kHz [94]

Svaka od ovih tehnika daje interoperabilna rešenja i podržana je od vodećih svetskih proizvođača integrisanih kola. Takođe, ove tehnike podržavaju IPv6, što ih preporučuje za buduća rešenja.

2.2.2.1 G3-PLC

Osobine i mogućnosti G3-PLC su razvijene da bi odgovorile složenim izazovima PLC komunikacije i dale pouzdana rešenja. Osnovne osobine su:

- OFDM modulacija na fizičkom nivou (DBPSK, DQPSK, D8PSK) daje efikasno korišćenje spektra
- Usaglašena sa regulatornim telima, kao što su CENELEC, ARIB i FCC (10 kHz – 490 kHz)
- Bazirana na standardima
- Dva nivoa korekcija greški (Forward Error Correction) za robustnu komunikaciju u lošim uslovima (Convolution i Reed Solomon) i CRC16 za detekciju greški
- Adaptivno mapiranje frekvencija za optimalno korišćenje opsega i dinamičku selekciju najboljih raspoloživih frekvencija za prenos svakog paketa
- Estimacija kanala radi izbora optimalne modulacione šeme između susednih čvorova
- Robustni mod radi unapređenja komunikacije u uslovima pojačanog šuma na kanalu
- MAC sloj baziran na IEEE 802.15.4 je pogodan za male brzine prenosa

- 6LoWPAN adaptacioni sloj za prenos IPv6 paketa preko elektroenergetske mreže
- AES-128 enkripcija za optimalnu zaštitu podataka
- Koegzistira sa starijom S-FSK (IEC 61334) komunikacijom i širokopojasnim IEEE P1901 i ITU G.hn standardima
- Podržava IPv6, tako da dozvoljava internet bazirane aplikacije i sisteme upravljanja
- *Mesh* protokol za rutiranje daje najbolju putanju između udaljenih čvorova u mreži

Osnovne tehničke specifikacije G3-PLC su:

- Frekvencijski opseg 35,9 – 90,6 kHz (CENELEC A-band)
- Učestanost odabiranja fs = 400 kHz
- FFT sa M = 256
- Razmak između podnosioca Δf = 1,5625 kHz
- Modulaciona tehnika: DBPSK, DQPSK ili D8PSK
- Blok podataka od najviše 133 i 235 bajtova
- Brzina komunikacije: do 71 kbps nekodirana, do 33,4 kbps kodirana, 5 kbps za robustni mod

G3-PLC tehnologija je prihvaćena kao standard u okviru Međunarodne telekomunikacione unije *(International Telecommunication Union - ITU)* [95] Osnovni parametri G3-PLC dati su u Tabeli 2-1.

2.2.2.2 PRIME

PRIME (PoweRline Intelligent Metering Evolution) predstavlja javnu, otvorenu i slobodnu telekomunikacionu arhitekturu koja podržava sadašnje i buduće AMM funkcionalnosti i daje platformu za elektroenergetsku mrežu budućnosti Smart Grid.

Cilj PRIME je da uspostavi kompletan set međunarodnih standarda koji omogućavaju punu interoperabilnost između opreme i sistema različitih proizvođača. Ovo će pospešiti konkurenciju na tržištu i doneti benefite i elektrodistributivnim kompanijama i potrošačima.

Komponente PRIME arhitekture (modulacija i tehnike kodiranja, protokoli, formati podataka, itd.) nisu predmet intelektualne svojine. Specifikacije su razumljive i dovoljno detaljne tako da svako na osnovu njih može da napravi interoperabilno rešenje i ponudi ga tržištu.

PRIME inicijalno definiše niže OSI (Open Systems Interconnection) slojeve u uskopojasnim PLC sistemima preko elektroenergetske mreže. Cela arhitektura je dizajnirana da bude jeftina, ali sa visokim performansama. Koristi se OFDM u uskopojasnom frekvencijskom opsegu.

PRIME radi na proširenju opsega do 500 kHz, kako bi se pokrio i FCC opseg, što bi omogućilo brzine komunikacije do 1 Mbps. Takođe, radi se na standardizaciji komunikacije između AMM centra i koncentratora, bazirane na Web servisima preko IP mreže, a posebna pažnja se posvećuje sigurnosti i privatnosti informacija.

Osnovne tehničke specifikacije PRIME su:

- Frekvencijski opseg 42 – 89 kHz (CENELEC A-band)
- Učestanost odabiranja fs = 250 kHz
- FFT sa M = 512
- Razmak između podnosioca $\Delta f = 400$ kHz
- Modulaciona tehnika: DBPSK, DQPSK ili D8PSK
- Blok podataka od najviše 2268 bajtova (D8PSK), odnosno 377 bajtova (DBPSK)
- Brzina komunikacije do 128,6 kbps (D8PSK), odnosno 21,4 kbps (DBPSK)

PRIME tehnologija je prihvaćena kao standard u okviru Međunarodne telekomunikacione unije *(International Telecommunication Union - ITU)* [96]

Osnovni parametri PRIME dati su u Tabeli 2-1 [18].

	PLC G3	PRIME
frequency range	35–91 kHz	42–89 kHz
sampling frequency f_s	400 kHz	250 kHz
OFDM		
FFT size M	256	512
length of cyclic prefix L_{CP}	30	48
windowing	yes	no
subcarrier spacing Δf	1.5625 kHz	488 Hz
No. of carriers used (one–sided)	36	97
max. data rate	33.4 kbps	128.6 kbps
Forward Error Correction	Reed Solomon code, convolutional code, repetition code	convolutional code
interleaving	per data packet	per OFDM symbol
modulation	DBPSK, DQPSK	DBPSK, DQPSK, D8PSK
differential encoding	in time	in frequency

Tabela 2-1 Parametri G3-PLC i PRIME

2.2.2.3 IEEE 1901.2

IEEE 1901.2 je IEEE standard za uskopojasnu komunikaciju na niskim učestanostima, do 500 kHz, preko energetske mreže, namenjen za Smart Grid aplikacije. Standard pokriva komunikaciju preko energetskih vodova naizmenične struje, jednosmerne struje i preko nenapojenih vodova. Standard podržava komunikaciju preko niskonaponske mreže (između transformatora i brojila, sa naponom ispod 1000 V) i bidirekcionu komunikaciju kroz MV/LV transformatore (1000 V do 72 kV). Podržana je komunikacija u urbanim sredinama i na većim rastojanjima od više kilometara u ruralnim sredinama.

Podržane brzine komunikacije su do 500 kbps. Standard uključuje i mehanizme koji omogućavaju koegzistenciju i drugih PLC tehnologija u opsegu ispod 500 kHz. Ovi mehanizmi mogu biti korišćeni odvojeno od ostatka standarda.

Standard vodi računa o zaštiti podataka.

Osnovne karakteristike IEEE 1901.2 su:

- 10 – 490 kHz frekvencijski opseg, OFDM
- Brzina komunikacije do 500 kbps
- Koegzistira sa drugim PLC tehnologijama

- Komunikacija kroz MV/LV transformatore
- Komunikacija na više kilometara u ruralnim sredinama
- Komunikacija preko AC i DC linija
- Podržava IPv6
- MAC sloj je baziran na IEEE 802.15.4-2006
- Modulacija obavezna diferencijalna: DBPSK, DQPSK, D8PSK
- Modulacija opciona koherenta: BPSK, QPSK, 8PSK, 16-QAM
- Convolution i Reed Solomon za korekciju greški (Forward Error Correction)
- Učestanost odabiranja 0,4 MHz i 1,2 MHz

Za širokopojasne komunikacije se smatraju komunikacije koje se obavljaju u High Frequency (HF) i Very Hugh Frequency (VHF) opsegu, odnosno u opsegu od 1,8 – 250 MHz. Propusni opseg preko 30 MHz, pa i preko 100 MHz, kao i modelovanje kanala u navedenim opsezima je uglavnom istraživano u radovima [25, 26]. Kao i kod uskopojasnih, i kod širokopojasnih komunikacija ustanovljeni su određeni standardi:

- **TIA-1113** standard predstavlja prvi standard koji je ustanovljen za širokopojasne komunikacije u elektroenergetskim mrežama i zasnovan je na 14 Mbit/s [27, 28, 29] (HomePlug 1.0) tehnologiji. Kod navedenog standarda su podržane dve vrste modulacija: BPSK i QPSK. Ovaj standard je u narednim godinama razvijan i dopunjavan, pa je u 2005. godini dostigao i brzine koji podržava i napredne tehnologije kao što su HDTV i VoIP. To su brzine od 200 Mbit / s (HomePlug AV), koje su u međuvremenu povećavane i do 500 Mbit / s proširivanjem spektra (2 – 68 MHz). Daljim razvojem komunikacionih tehnologija 2012. godine pojavio se standard HomePlug AV2, sa ciljem dostizanja brzina prenosa reda veličine Gbit/. Ovaj standard takođe podržava i MIMO kanal.
- **IEEE 1901** je standard koji je u primeni od 2010. godine. Karakteristike ovog standarda date su u radovima [30, 31, 32]. Ovaj standard sadrži opcije koje pružaju kompatibilnost sa HomePlug AV standardom

odnosno BackPlug AV uređajima kao i sa mnogim drugim uređajima i predstavlja krupan korak ka širokom tržištu kućnih PLC uređaja.

- **ITU-T G.hn** predstavlja standard koji obezbeđuje HAN primopredajnik i odobren je 2009. godine [33]. Ovim primopredajnikom je omogućeno da ovi uređaji mogu raditi na brzinama od Gbit/s. Dakle, može se reći da je cilj i svrha ovog standarda da omogući da svi uređaji budu prilagođeni ovom prenosu.

Navedene standardizovane širokopojasne PLC komunikacije se odnose In-Door aplikacije, odnosno za primenu unutar objekata za realizaciju LAN mreže po naposnkim instalacijama objekta. Za širokopojanse PLC komunikacije za Out-Door aplikacije, odnosno realizaciju pristupne ravni od trafostanice do objekta korisnika, još uvek nisu definisani standardi, iako postoje pouzdana tehnička rešenja kojima se ova ravan može realizovati na adekvatan način, uvažavajući zahtevani nivo QoS za širokopojasne usluge. Razlog tome je raspodela frekvencijskog opsega koji koristi širokopojasna PLC komunikacija. Naime, ovaj frekventni opseg je već dodeljen drugim korisnicima te širokopojasni PLC predstavlja interferencije postojećim konvencionalnim sistemima. O ovom regulatornom aspektu će biti reči u posebnom poglavlju.

2.3 RAZVOJ AMM SISTEMA REALIZOVANIH NA PLC TEHNOLOGIJI

Sa početkom proizvodnje i isporuke električne energije u komercijalne svrhe, osamdesetih godina 19. veka, pojavila se potreba za merenjem proizvedene, ali prevashodno utrošene (isporučene) električne energije, kao bi se ista mogla i naplaćivati. U to vreme, i na bazi dostupne tehnologije, uređaji za registrovanje potrošnje električne energije (naizmeničnog napona i struje) su realizovani kao elektromehanička, odnosno indukciona brojila.

Razvojem poluprovodničkih tehnologija i komercijalizacijom elektronike, u upotrebi se pojavljuju elektronska brojila. Prva generacija elektronskih brojila je u funkcionalnom smislu samo zamenila indukciona brojila, odnosno nije imala dodatni funkcionalni kvalitet u odnosu na indukciona brojila, i merila su samo aktivnu i/ili reaktivnu REFERENCA električnu energiju. Tarifiranje merenja (registracija vremena i

prebacivanje tarifa) je i dalje vršeno dovođenjem signala sa eksternog uređaja („uklopni sat“). Prva elektronska brojila su se masovnije počela koristiti u eksploataciji osamdesetih godina 20. veka.

Stasavanjem ideje i tehnologije za prenos digitalnih signala preko niskonaponskih vodova, razmišlja se i u pravcu korišćenja te tehnologije i za daljinsko očitavanje digitalnih podataka iz registra elektronskog brojila u kome se čuva podatak o aktuelnoj registrovanoj potrošnji. U tu svrhu, razvoj digitalnih brojila dalje teče u pravcu realizacije električnog interfejsa na brojilu preko koga se iz brojila može dobiti taj digitalni podatak. Prvi PLC modemi su se povezivali na ovaj električni interfejs, koji u početku nije ni bio standardizovan. Kasnije se uglavnom standardno korišćeni RS232 ili RS485 interfejsi. Proizvođači brojila i PLC opreme su nezavisno razvijali sopstvene protokole komunikacije sa brojilom. Upotrebom navedenih elemenata na tržištu su se pojavili sistemi daljinskog očitavanja brojila *(Automatic Meter Reading - AMR)*. AMR predstavlja dvosmernu komunikaciju sa brojilima u svrhu očitavanja. Benefiti koji su ostvareni implementacijom AMR sistema su:

- **Smanjenje vremena i troškova u odnosu na „ručna“ očitavanja**, jer su eliminisani troškovi koji se odnose na angažovanje radnika i vozila za izlazak na teren za poslove očitavanja brojila.

- **Smanjenje greške u očitavanju.** Naime, kod manuelnog očitavanja postoji mogućnost česte greške jer se vrednost izmerene potrošnje prepisuje sa displeja brojila i upisuje u obrasce koji su u papirnom formatu, a dalje se vrši unos takvih podataka u elektronskom formatu na računarima u elektrodistribuciji. Uočava se da se greška može javiti dva puta. U AMR sistemu se izbegavaju greške usled ljuskog faktora jer se digitalni podatak prenosi direktno sa brojila kroz PLC mrežu u bazu podataka na računaru u elektrodistribuciji, odakle se vrši eksport podataka u softver za obračun i naplatu električne energije.

- **Očitavanje brojila na nedostupnim i udaljenim mernim mestima.** Čest je slučaj da se brojila na nepristupačnim lokacijama (npr. usled odsutnosti vlasnika objekta) ne mogu očitati u redovnim mesečnim terminima, što onemogućava blagovremeno izdavanje računa, odnosno stvara greške u proračunu gubitaka na području koje napaja jedna trafostanica. Naime, gubici predstavljaju razliku

između električne energije izmerene u trafostanici koja napaja neko područje (ulaz) i zbira izmerenih vrednosti potrošnje (izlaz) na brojilima u objektima koji se napajaju iz te trafostanice.

Daljim razvojem tehnologije, ali i razvojem tržišta električne energije, pojavila se potreba za dvosmernom komunikacijom sa brojilima u svrhu očitavanja registrovanih veličina u brojilima, ali i podešavanja vremena i tarifa, kao i upravljanja potrošnjom. Naime, razvoj brojila je tekao u pravcu koji je osim proste funkcije merenja električne energije, integrisao u brojilu i dodatne funkcije. Jedna od suštinski važnijih funkcija je daljinsko isključenje, odnosno uključenje potrošača, kao i limitacija potrošnje. Upotreba ovakvih brojila (sa nadograđenim funkcijama i sklopkom, u kombinaciji sa modemima za dvosmernu komunikaciju) je podržala prelazak sa AMR sistema na AMM (Automatic Meter Management) sisteme, odnosno sisteme za daljinsko očitavanje brojila i upravljanje potrošnjom.



Slika 2-2 Prelazak sa AMR sistema na AMM sisteme (funkcionalnosti)

Dakle, u odnosu na AMR sisteme, AMM sistemi dodatno integrišu (…):

- **Prekidački uređaj**, odnosno **sklopku** koji omogućuje daljinsko uključenje/isključenje potrošača ili limitaciju potrošnje. Ova funkcija je inicijalno motivisana disciplinovanjem neplatiša, dok u današnje vreme na složenom tržištu električne energije ima namenu i upravljanja potrošnjom u i podršku različitim paketima usluga koje elektrodistribucije imaju u ponudi prema svojim korisnicima,
- **Programiranje tarifnih programa u brojilu.** Ovo omogućava da prilikom izmene tarifne politike koja je propisana Zakonom o električnoj energiji i podzakonskim aktima, odnosno ugovorenim tarifnim paketima na deregulisanim tržištima električne energije, nema potrebe za lokalnim preprogramiranjem brojila, što za posledicu ima povećane troškove eksploatacije, već se slanjem

broadcast poruka, sva brojila u AMM sistemu mogu jednovremeno podesiti u skladu da novim tarifnim programom.

- **Dodatna merenja i funkcionalnosti** kao što su merenje kvaliteta električne energije, faktora snage, profila opterećenja, i sl.
- **Detekcije i evidentiranja događaja** kao što su prekid napajanja, ometanje integriteta merenja, dotrajalost baterije i sl.

Prvi AMM sistemu su se pojavili sredinom devedesetih godina prošlog veka. Takođe, paralelno sa PLC komunikacijom, koja je u vreme pre toga bila jedina prirodna vrsta komunikacije u svrhu daljinske komunikacije sa brojilima uzimajući u obzir elektrodistributivnu delatnost i infrastrukturu koju ona koristi, pojavom mobilnih komunikacija su se razvijali i GSM, a kasnije GSM/GPRS (i redom 3G, LTE) modemi, uglavnom za point-to-point komunikaciju, na mernim mestima sa kojih je izuzetno važna pouzdanost komunikacije blagovremenost prenosa digitalnog signala i preduzimanja akcija na mernom mestu (u smislu isključenja sklopke). Naravno prve generacije PLC komunikacije nisu mogle da podrže nivo pouzdanosti komunikacije, ali su ipak performanse sistema u smislu brzine protoka i pouzdanosti bile daleko iznad performansi poslovnih procesa koji su se obavljali ručno (organizacije i trajanja odlaska kod potrošača u svrhu očitavanja, i manuelnog isključenja sa električne mreže).

Sledeća generacija sistema se razvijala u pravcu integracije kompletne merne infrastrukture koje se može naći u objektu korisnika (električna energija, voda, gas, grejanje) i komunikacija i upravljanje njome preko PLC infrastrukture. To znači da brojilo električne energije u objektu korisnika postaje svojevrsni Hub za ostale merne uređaje, na koje se žično ili bežično komunikaciono povezuju gasomer, vodomer i kalorimetar. U brojilu električne energije postoje posebni registri u koje se upisuju stanja brojača navedenih mernih uređaja, a dalje se te vrednosti prenose PLC mrežom i u istom sistemu preko koga se podaci razmenjuju sa brojilom električne energije. Ova generacija sistema je u tom svetlu dobila naziv sistem infrastrukture naprednog merenja - AMI (Advanced Metering Infrastructure).

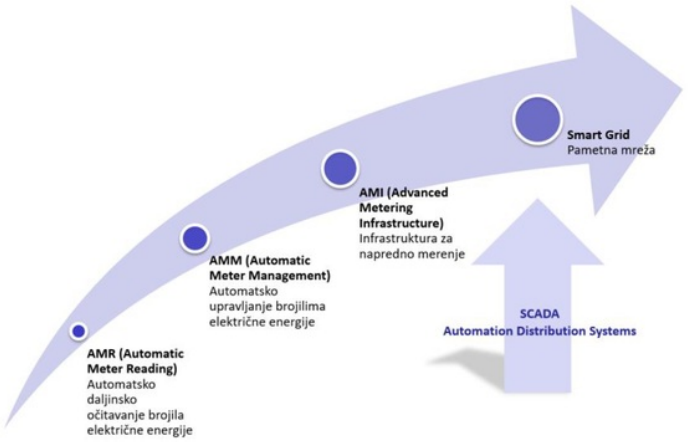


Slika 2-3 Prelazak sa AMM sistema na AMI sisteme (funkcionalnosti)

AMI sistemi su, u odnosu na AMM sisteme, nadograđeni sledećim bitnim funkcionalnostima:

- Komunikacionim port na brojilu za povezivanje sa ostalim vrstama mernih uređaja u bliskom okruženju (voda, gas, grejanje, ...)
- Napredne funkcionalnosti (daljinsko ažuriranje softvera brojila – *Firmware update*, ...)

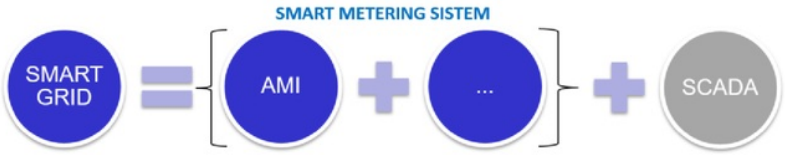
Sagledavajući razvoj sistema za daljinsku komunikaciju sa brojilima električne energije, kao i razvoj PLC tehnologija, jasna je smernica strategije komunikacionog prevazilaženja poslednje milje (last mile) u elektroenergetskom sistemu. Elektroenergetski sistem se funkcionalno može podeliti na sektor Proizvodnje električne energije, sektor Prenosa i sektor Distribucije. Prirodno, po veličini investicija i zahtevima za pouzdanošću tehnoloških procesa, najveća ulaganja su u sektorima Proizvodnje i Prenosa. To je i razlog što su prvi komunikacioni sistemi u elektroenergetskom sektoru implementirani Okviru Proizvodnje i Prenosa kroz realizaciju SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sistema. Korišćene komunikacione tehnologije su različite, ali se u cilju postizanja potrebnog nivoa pouzdanosti komunikacije i upravljanja procesima u realnom vremenu, uglavnom koriste optički vodovi (podzemni ili nadzemni, a u slučaju sektora Prenosa optički kablovi koji su ugrađeni u zemljovodno uže koje se postavlja po stubovima visokonaponskih dalekovoda). U novije vreme se optički vodovi koriste i u sektoru Distribucije za realizaciju kičme komunikacione mreže elektrodistributivnog sektora postavljanjem optičkih vlakana po dalekovodima srednjeg napona.



Slika 2-4 Razvoj i integracija AMx sistema u konceptu Pametne mreže (Smart Grid)

Dakle, razvojem i implementacijom pouzdane PLC komunikacije, pre svega po niskonaponskoj elektrodistributivnoj mreži, elektroenergetski sistem će komunikaciono biti zaokružen kroz eksploataciju sopstvene komunikacione infrastrukture od Proizvodnje, pa sve do krajnjeg potrošača električne energije. Savremeni trendovi automatizacije objekata i domaćinstava naše domove pretvaraju takođe u neku vrstu internih komunikacionih sistema u kojima se kroz neki Hub upravlja pametnih uređajima (grejanje prostora, grejanje vode, rasveta, multimedija, kuhinjski aparati, i sl.) Prevazilaženjem poslednje milje od trafostanice do krajnjeg potrošača, uspostavlja je jedan sveobuhvatni sistem koji se može nazvati SMS (Smart Metering System) ili pametna mreža.

Pametna mreža je elektroenergetska mreža u kojoj su svi njeni objekti povezani u komunikacionu mrežu, tako da svaki čvor te mreže (objekat elektroenergetskog sistema) ima svoju adresu, i kontrolabilan je i opservabilan iz jedinstvenog centra.



Slika 2-5 Prelazak sa AMI sistema na SMS sisteme (funkcionalnosti)

U SMS sistemu, na nivou objekta krajnjeg potrošača implementiran je i svojevrsni displej preko koga korisnik ima uvid u:

- trenutne parametre svoje potrošnje,
- aktuelnu tarifu i cenu energije,
- i druge parametre koji mu mogu biti interesantni, uz grafičke prikaze trendova.

Takođe, kroz PLC infrastrukturu (Out-door i In-door) realizovana je i infrastrukturna osnova koja omogućuje krajnjem potrošaču, da upravljanje električnim uređajima omogući softverima koji će po određenim algoritmima praćenja stanja na elektroenergetskoj mreži, parametara potrošnje, dinamike tarifiranja. U porastu je i broj krajnjih potrošača koji u svom objektu imaju i male kapacitete za proizvodnju električne energije (npr. solarne panele). U SMS sistemu je moguća optimizacija u smislu odnosa proizvedene i utrošene električne energije, kao i predaja proizvedene električne energije u energetsku mrežu po optimalnim komercijalnim uslovima.

Od prvih dana komercijalizacije električne energije, pre više od jednog veka, koncept odnosa proizvodnje i potrošnje električne energije je bio sledeći: Potrošnjom se nije upravljalo, ona je jedna kategorija koja se u određenoj meri može predvideti na osnovu istorijskih podataka, doba dana, perioda u godini, itd., ali je ipak stohastička pojava. Proizvodnja je morala da prati trend potrošnje, sa kapacitetima koji su u svakom slučaju veći od vrha potrošnje, kako bi mogla obezbediti stabilnost elektroenergetskog sistema. Upravo, cilj implementacije i eksploatacije pametne mreže je uspostavljanje novog koncepta upravljanja u elektroenergetskom sektoru, što će omogućiti [102]:

- **Povećanje energetske efikasnosti** kroz smanjenje tehničkih i komercijalnih (netehničkih) gubitaka električne energije, i smanjenje potrošnje energije u smislu racionalizacije i njenog optimalnog korišćenja
- **Povećanje stabilnosti elektroenergetskog sektora**– "peglanje" vrhova potrošnje adaptivnim upravljanjem potrošnjom (kako od strane elektrodistribucije, tako i na strani kupaca električne energije)
- **Prelazak na korišćenje „zelene energije"** (ekološki obnovljivi energetski izvori)

Benefiti su višestruki. Za elektroprivrednu (elektrodistributivnu) delatnost najznačajniji su:

- smanjenje tehničkih gubitaka i smanjenje neovlašćene potrošnje električne energije (netehničkih gubitaka)
- racionalizacija troškova radne snage kroz automatizaciju očitavanja, uključenja i isključenja kupaca električne energije
- efikasnije sprovođenje operativnih aktivnosti elektrodistributivnih preduzeća, detektovanje prekida napajanja na mernom mestu, alarmi na događaje koji se mogu okarakterisati kao pokušaj ometanja merenja
- jednostavnije i brže planiranje i sprovođenje isključenja kupaca prilikom remonta trafostanica ili promene uklopnog stanja na terenu
- kvalitetniji ulazni podaci u postupku planiranja proizvodnje električne energije
- povećanje stepena naplate
- povećanje zadovoljstva korisnika

Takođe, postoje benefiti i za krajnje potrošače, od kojih se mogu izdvojiti:

- smanjenje reklamacija usled eliminacije uticaja ljudskog faktora, te kreiranje i izdavanje računa za utrošenu električnu energiju na bazi stvarne potrošnje
- svojevrsna funkcionalnost *prepaid* plaćanja i potrošnje kroz AMM sistem
- fleksibilnu promenu isporučioca na liberalizovanom tržištu električne energije

U tom smislu, iako se za za potrebe realizacije AMM sistema savremene tehnologije i tehnike uskopojasne PLC komunikacije mogu smatrati dovoljno pouzdanim (sa tehno-ekonomskog aspekta) u svrhu dvosmerne komunikacije, za komercijalizaciju niskonaponske mreže i pružanje telekomunikacionih usluga koje podržavaju druge konkurentne tehnologije, neophodan je prelazak na širokopojasnu PLC komunikaciju.

2.4 KATEGORIZACIJA ELEKTROENERGETSKIH VODOVA ZA PRUŽANJE TELEKOMUNIKACIONIH USLUGA

PLC tehnologija je tehnologija koja za prenos telekomunikacionih signala, kao medijum za prenos koristi elektrodistributivne vodove, odnosno elektrodistributivnu mrežu. Dakle, svrha PLC tehnnologije je da se do krajnjeg korisnika u pristupnoj telekomunkacionoj ravni iskoristi niskonaponska (NN) elektrodistributivna mreža. Kako je u uvodnom delu naglašeno, elektroenergetske mreže svih naponskih nivoa su interesantne i koriste se za prenos telekomunikacionih signala, u različite svrhe, ali je korišćenje niskonaposnke mreže veoma interesantno jer upravo ovaj segment elektroenergetske mreže predstavlja *last mile* pristup, i značajan potencijal, kako u tehničkom smislu pružanja različitih vrsta telekomunikacionih usluga, tako i u poslovnom smislu (primena različitih poslovnih modela servisa u cilju maksimizacije profita i povrata investicije). Osnovne elemente niskonaponske mreže: ćelije niskonaponskih trafostanica, rastavljači, osigurači, podzemni niskonaponski vodovi, kablovske spojnice i kablovske završnice, stubovi i ovjesna oprema, …, koji povezuju sekundar transformatora u SN/NN trafostanici (transformacija srednjeg napona 20 ili 10 kV, na niski napon 0,4 kV), sa jedne strane, i merni ormar u objekatu potrošača električne energije, odnosno korisnika telekomunikacione usluge s druge strane.

Prema mestu primene elektrodistributivni niskonaponski vodovi se mogu podeliti na [101]:

- podzemne vodove (polaganje odgovarajućih kablova u zemlju).
- nadzemne vodove (postavljanje odgovarajućih provodnika po stubovima, ili kačenje na fasade ili krovove objekata kupaca), i

U zavisnosti od navedenih kategorije podele vodova, zavisi i način realizacije, kao i složenost elektrodistributivne mreže, a posledično i način realizacije i složenost PLC mreže, s obzirom da se PLC mreža realizuje na infrastrukturi elektrodistributivne mreže.

Navedena podela predstavlja najgrublju podelu, naime vodovi se dalje mogu deliti (važi za obe kategorije):

- u zavisnosti od materijala unutrašnjih provodnika niskonaponskog voda, koji može biti bakar ili aluminijum,

- u zavisnosti od poprečnog preseka unutrašnjih provodnika,
- u zavisnosti od izolacionog omotača unutrašnjih provodnika, odnosno voda,
- u zavisnosti od konstrkcione morfologije voda, odnosno načina realizacije uvrnutim ili paralelnim unutrašnjim provodnicima, i slično.

Na bilo kom području koje pokriva neka elektrodistributivna mreža, u eksploataciji se mogu naći neki odnosno svi navedeni tipovi vodova. Ova činica značajno usložnjava, odnosno otežava jednoznačno determinisanje karakteristika prenosa telekomunikacionih signala preko elektrodistributivne mreže. Ono što je potrebno uraditi jeste sagledavanje postojećih modela mreže, odnosno identifikacija kategorija elektrodistributivnih vodova niskog napona [101], i vršenje merenje propagacionih karakteristika na svakoj od identifikovanoj kategorija vodova sa težištem na merenju slabljenja signala po jediničnoj dužini voda.

2.4.1 Identifikacija tipova niskonaponskih vodova primenjenih u telekomunikacionoj pristupnoj ravni

Niskonaponska mreža je deo elektrodistributivne mreže čija je namena prenos električne energije od niskonaponskih izlaza iz trafostanice koja vrši transformaciju srednjeg napona na niski napon, do objekata kupaca električne energije. Niskonaponska mreža se realizuje nadzemnim, podzemnim vodovima, ili kombinovano. Koliko će niskonaposnkih izlaza trafostanica imati u zavisnosti je od topologije elektrodistributivne mreže, urbanističkih planova konkretnih naselja ili regije, gustine naseljenosti, itd. S obzirom da se za realizaciju PLC mreže koristi infrastruktura niskonaponske elektrodistributivne mreže jasno je da i sama PLC mreža koristi iste te nadzemne, odnosno podzemne vodove.[100]

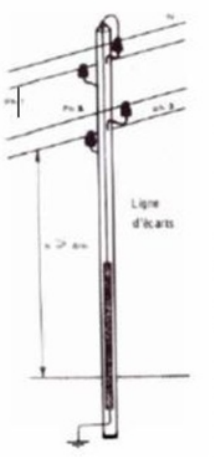
2.4.1.1 Nadzemni niskonaponski vodovi

U područjima relativno niske gustine naseljenosti ili na područjima na kojima se se električnom energijom napajaju individualni stambeni objekti, odnosno tamo gde sa

stanovišta investionih troškova nije opravdano korišćenje podzemnih vodova, zarealizaciju niskonaposnke elektrodistributivne mreže se koriste nadzemni niskonaponski vodovi. Mogu se identifikovati dve vrste nadzemnih vodova [101]:

- izolovani nadzemni niskonaponski vodovi, i
- neizolovani nadzemni niskonaponski vodovi.

Na slici 2-6 ilustrovana je primena i struktura neizolovanih niskonaponskih vodova. U konkretnom slučaju, svaki drveni stub je opremljen sa po četiri potporna izolatora na koje vrši pričvšćivanje isprepletenih neizolovanih provodnika, odnosno užadi. Uže je konstruisano od sedam ili više provodnika (žica) koje su použene u koncentrične slojeve. Sve žice od kojih je uže napravljeno imaju svoj nazivni prečnik. Zavisno od preseka užeta, oko središnje žice nalaze se nekoliko slojeva žica (uobičajeno od jednog do četiri sloja). Primenjuju se suprotni smerovi použavanja za susedne slojeve žica, s tim da se spoljašni sloj použava u desnom smeru.



19 licni za bakarne vodove
7 ili 19 licni za aluminijum alloy vodove



Najčešće korišćeni profil voda 3F + N (u zavisnosti od opterećenja):

Bakarni vodovi:
3 x 29,3 mm^2 + 1 x 29,3 mm^2 (19 licni)
3 x 38,2 mm^2 + 1 x 29,3 mm^2 (19 licni)
3 x 48,3 mm^2 + 1 x 38,2 mm^2 (19 licni)
Aluminijumski alloy vodovi:
3 x 34,4 mm^2 + 1 x 34,4 mm^2 (7 licni)
3 x 54,6 mm^2 + 1 x 34,4 mm^2 (7 licni)
3 x 75,5 mm^2 + 1 x 54,6 mm^2 (19 ili 7 licni)

Slika 2-6 Neizolovani nadzemni niskonaponski vod

Donja tri provodnika na stubu su fazni provodnici, dok gornji provodnik ima funkciju neutralnog provodnika. U eksploataciji se mogu naći bakarni provodnici, mada se u poslednjih dvadesetak godina intenzivnije koriste provodnici od legura aluminijuma.

Neizolovani provodnici se danas mogu naći u eksploataciji u veoma starim mrežama, koje nisu dugo rekonstruisane. Danas se kod priključaka novih objekata na mrežu, ili prilikom rekonstrukcije mreže, uobičajeno koriste izolovani vodovi. Međutim, realno stanje na terenu podrazumeva, ipak, izvesnu zastupljenost i neizolovanih vodova, naročito u ruralnim područjima i prigradskim područjima nerazvijenih regija.

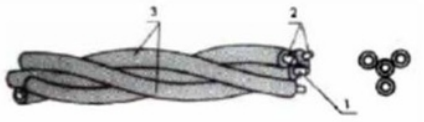
Tehno-ekonomske prednosti korišćenja izolovanih nadzemnih vodova u niskonaponskim mrežama, u odnosu na vodove realizovane neizolovanim provodnicima su[101]:

- manji pad napona po dužini voda,
- bezbednija instalacija i eksploatacija,
- mogućnost bezbednog pričvršćivanja na fasade objekata, što se primenjuje u gradskim oblastima kako bi se umanjilo korišćenje stubova, što zbog nedostatka prostora, što zbog smanjenja investicionih ulaganja,
- korišćenje stubova manje visine,
- bezbednije i jednostavnije održavanje mreže
- umanjenje rizika od požara u šumskim područjima, itd.

Naravno, instalacija izolovanih nadzemnih vodova se primarno vrši na stubovima. U tom slučaju se ne koriste izolatori, već se privršćenje nadzemnog voda na stub vrši pomoću odgovarajuće ovjesne opreme.

Sa drugog aspekta, izolovani vodovi imaju i svoje nedostatke, od kojih se mogu izdvojiti:

- prilikom preopterećenja izolovani vodovi imaju nižu granicu pregrevanja izolacionih slojeva, i
- ograničena upotreba ovakvih vodova za napajanje važnijih centara potrošnje sa koncentrisanim brojem potrošača, zbog aktuelno dostupnih preseka ovih vodova.



Najčešće korišćeni profil voda (3F + N):
3 x 35 mm^2 + 1 x 54,6 mm^2 (7 licni)
3 x 50 mm^2 + 1 x 54,6 mm^2 (7 licni)
3 x 70 mm^2 + 1 x 54,6 mm^2 (12 i 7 licni)

1 – neutralni provodnik od aluminijum-alloy-a
2 – fazni provodnici od aluminijuma
3 – PCR izolacioni omotač

Slika 2-7 Izolovani nadzemni niskonaponski vod

Na slici 2-7 je ilustrovana struktura nadzemnih izolovanih vodova. Kao što se može uočiti, oko neutralnog provodnika koji je mehanički ojačan ukršteni su fazni provodnici, a on istovremeno ima i ulogu nosećeg provodnika.

Objekat kupca (potrošača električne energije) se električnom energijom napaja sa najbližeg stuba elektroenergetske mreže, koji se oubičajeno postavlja ili u dvorišti objekta, i na javnoj površini, neposredno uz ogradu. Ovo priključenje na stub se vrši drugačijim tipom nadzemnog voda, čija je struktura ilustovana na slici 2-8. S obzirom da priključak može biti monofazni ili trofazni, strukturu takvog napojnog voda čine:

- dva provodnika (jedan fazni i jedan neutralni izolovani ukršteni provodnik), kod monofaznog priključka
- četiri provodnika (tri fazna i jedan neutralni izolovani ukršteni provodnik) kod trofaznog priključka





Najčešće korišćeni profil voda (1F + N ili 3F + N):
2 x 16 mm^2 (7 licni)
4 x 16 mm^2 (7 licni)
2 x 25 mm^2 (7 licni)
4 x 25 mm^2 (7 licni)

1 – provodnik od aluminijuma
2 – PCR izolacioni omotač

Slika 2-8 Nadzemni izolovani vod za priključenje objekta

Primena neizolovanih niskonaponskih vodova u svrhu prenosa telekomunikacionih signala ima svoje ograničenje u pogledu intenzivnijeh visokofrekventnog zračenja u poređenju sa zračenjem koje se javlja kod izolovanih niskonaponskih vodova. Prilikom prenosa visokofrekventog signala kroz nadzemne vodove dolazi do emisije signala u prostor u okolini provodnika, koja zavisi i od amplitude signala koji se prenosi preko niskonaposnkog voda. Dakle, energetski vodovi postaju antene, a emitovani signal predstavlja smetnju za ostale sisteme kojima je

dodeljen isti frekvencijski spektar. Kod neizolovanih nadzemnih vodova je ovo zračenje izraženije. Ovakav uticaj uslovljava ograničavanje predajne snage PLC signala, zbog čega PLC sistem postaje osetljiviji na uticaj smetnji prisutnih u niskonaponskoj mreži. Zbog navedenih uslova, odnos signal – šum predstavlja veoma važan faktor PLC mreži realizovanoj na infrastrukturi niskonaponske elektrodistributivne mreže. Takođe, za očekivati je veće slabljenje pri prenosu signala visoke frekvencije preko izolovanih niskonaponskih vodova, u odnosu na neizolovane.

2.4.1.2 Podzemni niskonaponski vodovi

Kod realizacije podzemnih vodova najčešće su u upotrebi dve vrste kablova, koje se razlikuju po formi:

- kabl čiju strukturu čine tri središnja fazna provodnika sa perifernim neutralnim provodnikom, i
- kabl čiju strukturu čine četiri središnja provodnika.

Kao što se može primetiti, navedene dve forme se razlikuju po načinu izvedbe neutralnog provodnika.

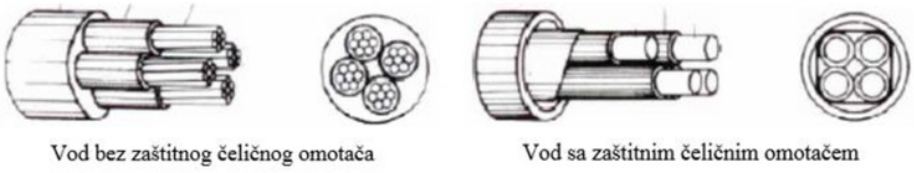
U slučaju kabla čiju strukturu čine tri središnja fazna provodnika sa perifernim neutralnim provodnikom, neutralni provodnik je realizovan u koncentričnoj izvedbi koja vrši obuhvat faznih provodnika. Kao materijal provodnika koristi se bakar ili u novije vreme aluminijum.

Kod kabla čiju strukturu čine četiri središnja provodnika, fazni provodnici su postavljeni kružno, kao što je ilustrovano na slici 2-9. U nekim verzijama realizacije kabla, izvedba neutralnog provodnika je identična faznom provodniku, te čine simetričnu četvorosektornu strukturu [34].



Slika 2-9 Četverožilni podzemni kabl.

Za realizaciju kućnih priključaka najčešće se primenjuju četvorožilni središnji provodnici u standardnim presecima 4×16 mm2, 4×25 mm2 ili 4×35 mm2. Provodnici su alumunijumski ili bakarni. Na slici 2-10 ilustrovana je struktura kablova za oba slučaja, i izvedbi sa zaštitinim slojem i bez njega.



Slika 2-10 Podzemni kablovi za kućni priključak

Neki od parametara za izračunavanje impedansi su[35]:

- provodljivost bakra, $k = 58 \times 106$ [A / m]
- disipacija izolacije (PVC), $\tan\delta = 0{,}025$
- relativna dielektrična konstanta (PVC), $\varepsilon r = 4$
- dielektrična konstanta vakuuma, $\varepsilon 0 = 8{,}8541878176 \times 10\text{-}12$ [F / m]
- relativna permeabilnost (bakra), $\mu r = 1$
- permeabilnost vakuuma, $\mu 0 = 1{,}256637 \times 10\text{-}6$ [H / m].

Na osnovu navedenih parametara moguće je računati potrebne parametre izražene po jedinici dužine:

$$C' = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{r}{a} \quad (1)$$

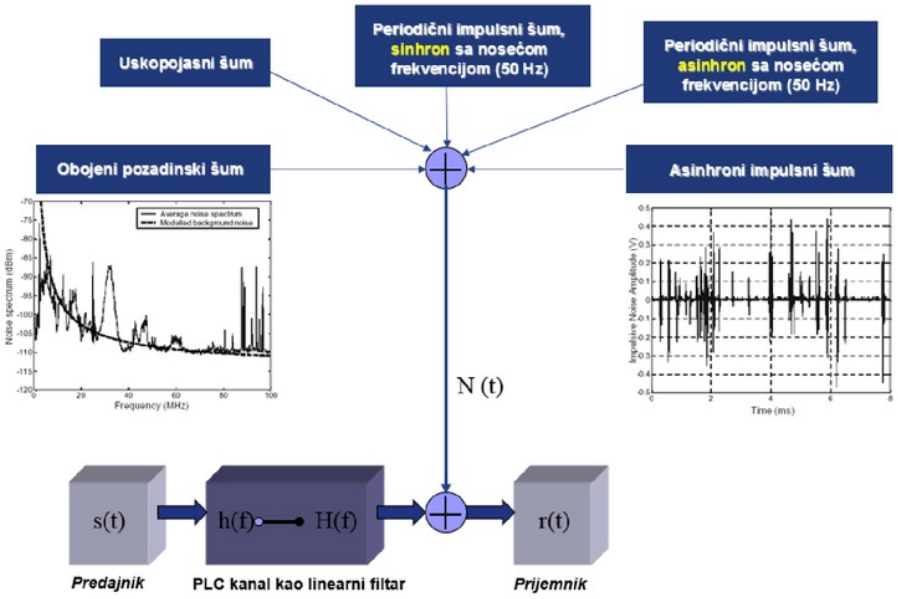
$$L' = \mu_0 \mu_r \frac{r}{a} \quad (2)$$

$$R' = \sqrt{\frac{\pi \mu_0}{kr^2} f} \quad (3)$$

$$G' = 2\pi f C' \tan\delta \quad (4)$$

Sa stanovišta emitovanja signala visoke frekvencije u okolni prostor, može se zaključiti da je korišćenje niskonaponskih podzemnih vodova prikladnije rešenje za realizovanje PLC mreže, ali sa izraženijim slabljenjem nego kod niskonaponskih nadzemnih vodova. Pored toga, smetnje koje se javljaju na mreži, kao što uskopojasni šum, svakako imamju manji uticaj na PLC komunikaciju ako je PLC veza realizovana podzemnim niskonaponskim vodom.

Navedeni tipovi podzemnih i nadzemnih niskonaponskih vodova, kao i energeteska mreža koja je realizovana tim kablovima, te i sama topologija mreža sa mnogobrojnim grananjima i neprilagođenim impedansama na svakom od prelaza između različitih tipova vodova i materijala od kojih su napravljeni, su namenjeni prenosu električne energije. Dakle, njihova primarna namena svakako nije prenos telekomunikacionih signala. Stoga, može se identifikovati čitav niz faktora koji predstavljaju prepreku pouzdanom prenosu širokopojasnih telekomunikacionih signala u frekvencijskom opsegu od 1,6 MHz do 30 MHz, preko vodova niskog napona. Od faktora koji imaju najveći uticaj na prenos širokopojasnih telekomunikacionih signala preko vodova niskog napona su prekomerni nivo šuma i slabljenje signala koji se prenosi.



Slika 2-11 Vrste šumova na niskonaponskom vodu.

Svojstva PLC veze i pouzdanost komunikacije u velikoj meri zavise od doba dana, ali i područja na kome je realizovana mreža. Smetnje koje utiču na PLC komunikaciju su uzrokovane različitim izvorima šuma koji su nezavisni jedni u odnosu na druge. Ukupni šum na širokopojasniom PLC kanalu predstavlja zbir pet tipova šuma različite prirode nastanka i uticaja na PLC komunikaciju, a koji su ilustrovani na slici 2-11 [36]:

- obojeni pozadinski šum, koji je izraženiji na niskim frekvencijama u navedenom frekvencijskom opsegu,
- uskopojasni šum čiji su izvor radio stanice, a koji se javlja se na višim frekvencijama u navedenom frekvencijskom opsegu,
- periodični impulsni šum asinhron sa nosećom frekvencijom,
- periodični impulsni šum sinhron sa nosećom frekvencijom, i
- impulsni šum.

Veliki problem predstavlja i neprilagođena impedansa niskonaponske elektrodistributivne mreže. Naime, zbog topologije mreže i načina realizacije

priključakak, na niskonaponskoj elektrodistributivnoj mreži postoji veliki broj grananja u mreži, različitim vrstama spojeva koji se ogledaju u prelascima između različitih tipova vodova (nadzemnog na podzemni , i obrnuto), prelascima između različitih materijala od kojih su vodovi izrađeni (aluminijum na bakar, i obrnuto), prelascima između različitih poprečnih preseka vodova, itd …). Na svim navedneim tačkama prelaza i grananja dolazi do refleksija signala. Ovo višestruko propagiranje signala, odnosno eho, za posledicu ima frekvencijski selektivno slabljenje u funkciji prenosa PLC linka. Dodatno, dolazi i do pojave slabljenja signala, koje je proporcionalno dužini voda, kao i njegovoj frekvenciji [36].

Kao što se može videti, prostiranje signala i pouzdanost komunikacije nisu zavisno samo od tipa niskonaponskog voda, već su zavisni i od varijacija u vremenu i lokaciji na mreži, kao i od karakteristične impedanse svakog kabla, koja je opet u zavisnosti od vrsta uređaja koji se napajaju sa predmetnog niskonaponskog voda.

Ako bismo hteli da odredimo tipične karakteristike niskonaponske mreže kao medijuma za prenos telekomunikacionog signala, mogli bismo identifikovati sledeće:

- Uključivanje i isključivanje električnih uređaja koji postoje u objektima krajnjih korisnika, a koji se napajaju iz mreže, je po svojoj prirodi stohastično. Ovo je uzrok trenutnim varijacijama propagacionih karakteristika signala, a koje su izraženije porastom rastojanja između trafostanice i objekta krajnjeg korisnika.
- U cilju merenja slabljenja signala, impedanse mreže i ostalih karakteristika niskonaponske elektrodistributivne mreže kao komunikaconog kanala, niskonapnski vodovi se po dužini mogu podeliti u pet klasa:
  - ✓ Niskonaponski vod do 100 m dužine,
  - ✓ Niskonaponski vod do 200 m dužine,
  - ✓ Niskonaponski vod do 300 m dužine,
  - ✓ Niskonaponski vod do 400 m dužine, i
  - ✓ Niskonaponski vod preko 400 m dužine.
- Dužina niskonaponskih vodova ne bi trebalo da iznosi preko 400 m, kako bi se istvario optimalan prenos signala. Međutim, u realnim uslovima postoje i znatno

duži vodovi u određenom procentu. U nekim slučajevima dužine se kreću i do 1500 m, najčešće u ruralnim sredinama.

3 OSNOVNI ELEMENTI PLC SISTEMA

Komunikacioni kanal predstavlja fizički put između prijemnika i predajnika. S obzirom na topologiju niskonaponske mreže, spojnice imeđu modema i mreže je teško dizajnirati i implementirati. Poteškoće se javljaju u realizaciji iz razloga što uočavamo dva ekstremna talasna oblika, visoku snagu na niskoj frekvenciji, i na drugoj strani nisku snagu na visokoj frekvenciji. Pri dizajniranju i realizaciji mreže javljaju se i parazitski efekti čiji se uticaj mora uzeti u obzir. Ovi efekti se javljaju u elementima mreže i raspored strujnog kola ima direktan uticaj na njihov efekat. Takođe, elementi koji imaju uticaj na kvalitet su otpornici, kondenzatori i induktori, kao i transformatori.

Dizajniranje sistema i utiskivanje komunikacionog signala na elektroenergetsku mrežu predstavlja veliki izazov. Kako bi se prevazišli problemi u dizajniranju ovih sistema potrebno je da se komponente strujnog kola u potpunosti razmotre. Na primer, induktori moraju biti projektovani za frekvencije velike snage i u tu svrhu moraju posedovati blokatore koji moraju pravilno funkcionisati na frekvenciji modulacije, kondenzatori koji se koriste na spojevima moraju biti visokofrekventni i visokonaponski, a spojni transformatori moraju biti tako dizajnirani da kroz njih slobodno može proći visokofrekventni komunikacioni kanal. Pre ulaska u transformator talasni oblik je potrebno filtrirati za ≈ 100 dB. Najčešće se strujno kolo predstavlja preko tri osnovne komponente: otpornost, kapacitivnost i induktivnost (idealno strujno kolo), a zapravo se sve tri komponente međusobno mešaju, što znači da se kod ovog idealnog modela strujno kola zanemaruju parazitske komponente.

Negativan uticaj parazitskih kapacitivnosti je veći kod visokih napona, dok je kod velikih struja prisutan veći negativan uticaj parazitskih induktivnosti. Takođe, elektromagnetni elementi kola naročito imaju neželjeni negativni uticaj na komunikacioni kanal.

Provodnici predstavljaju elemente kola o kojima je potrebno naročito voditi računa prilikom dizajniranja provodnika. Razlog zašto je potrebno posebno voditi računa o dizajniranju provodnika jeste taj što se oni smatraju idealnim, ali i zanemarljiv otpor koji se javlja u njima u kombinaciji sa kontaktnim otporom može izazvati značajni pad napona, naročito na niskim naponima ili prilikom prolaska velikih struja.

Takođe se kod provodnika često javlja i parazitska induktivost. Takođe, može se reći da dugački provodnici mogu imati i određenu otpornost pa ako kroz iste prolazi velika struja može se javiti znatan pad napona. Smanjenje otpornosti provodnika postiže se povećanjem poprečnog preseka provodnika ili odabirom odgovarajućeg materijala. Takođe, otpornost koja se javlja na spojnim i kontaktnim površinama može se smanjiti povećanjem istih i zaštitom od oksidacije. Indukcija pravog provodnika naizmenične struje je [37].

$$L \approx 2l\left[2,3\log_{10}\left(\frac{4l}{d}-0,75\right)\right] \ [\text{nH}]$$

gde l i d predstavljaju dužinu i prečnik provodnika

Iz gornje jednačine se može zaključiti da što je dužina provodnika veća, veća je njegova samoinduktivnost, a samim tim i povratno elektromagnetno polje. Takođe, može se reći da se sa povećanjem prečnika provodnika smanjuje i njegova parazitska samoinduktivnost. Iz jednačine se vidi da je ova induktivnost nezavisna od frekvencije ali je reaktansa direktno proporcionalna frekvenciji čime se uticaj ove induktivnosti na kolo povećava sa povećenjem frekvencije. Izbegavanje ovog efekta korišćenjem dva paralelna provodnika praktično nije moguće jer je korišćenje dva provodnika gotovo istog efekta kao i jedan sa navedenim prečnikom [38]. Kada naizmenična struja prolazi kroz neku petlju javlja se parazitska induktivnost koja se ponaša kao transmiter i prijemna antena, te otežava komunikaciju [39]. Za neutralizaciju ovih efekata bitno je voditi računa o rasporedu kola i površini poprečnog preseka petlje koja mora biti što je moguće manja.

Pojava skin efekta je prisutna kod provodnika kod kojih protiče velika struja. Magnetno polje koje se javlja u ovom slučaju manifestuje se kao magnetna induktivnost, koja su jača u središtu provodnika. Teoretski, skin efekat je objašnjen u radu [40], dok se dubina skin efekta za sinusoidni talas frekvencije f računa kao [38]:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\pi\sigma\mu_0\mu_r f}} \ [m]$$

gde μ_r i σ predstavljaju relativnu permeabilnost i provodljivost provodnika, a μ_0 permeabilnost vakuuma.

Prilikom izrade strujnog kola mogu se koristiti provodnici od punog preseka (čiji

je optimalni presek dat u [41] ili provodnici od više upredenih žica [42])

Još jedan od parazitskih efekata koji mogu imati uticaja na komunikacioni kanal jeste efekat blizine, koji je uzrokovan drugim magnetnim poljima visokofrekventnih naizmeničnih struja. Ovaj efekat takođe može povećati otpornost. Ovaj efekat nema veliki uticaj u samim provodnicima, ali zbog uticaja u namotajima i transformatorima treba ga uzeti u obzir prilikom dizajniranja.

Parazitska kapacitivnost igra bitnu ulogu kod provodnika koji su na bliskoj udaljenosti i izračunava se :

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r A}{d} \quad [\mathrm{F}]$$

gde A predstavlja ukupnu površinu poprečnog preseka, d predstavlja rastojanje između dve paralelne površine, dielektrična konstanta vakuuma je ε_0, a relativna dielektrična provodljivost medijuma ε_r. Jedan karakterističan primer ove kapacitivnosti jeste kapacitivnost koja se javlja u transformatorima [43]. Iz formule, ali i prakse, može se videti da ova kapacitivnost zavisi od relativne dielektrične provodljivosti materijala (medijuma) koji je između površina kondenzatora, a koja je obično veća o dielektrične konstante vakuuma.

Otpornici predstavljaju elemente koje bi trebalo maksimalno izbegavati jer za PLC komunikacije oni direktno predstavljaju gubitak snage. Međutim, otpornici su neizbežni u strujnim kolima i najčešće se koriste u raznim uređajima za merenje struje [44], u uređajima koji se koriste kao senzori napona [45], u tranzistorima, kod filtra [37]. itd.

Otpornici, kada su izloženi visokim frekvencijama, u zavisnosti od materijala od kog su izrađeni pokazuju određena odstupanja u pogledu impedanse. Otpornici su najčešće izrađeni od sledećih tipova materijala: žice, karbon-kompozitni, metal-film i otpornici čipova tankog filma.

Otpornici izrađeni od namotane žice pokazuju najveće nedostatke prilikom upotrebe visokofreventnih struja. Postoje specijalne izvedbe visokofrekventnih otpornika od žice koji se mogu koristiti za frekvencije do 200 kHz, kako bi minimizirali parazitsku induktivnost [39, 46].

Karbon – kompozitni otpornici kao dielktrik imaju ugljenik ili granule ugljenika,

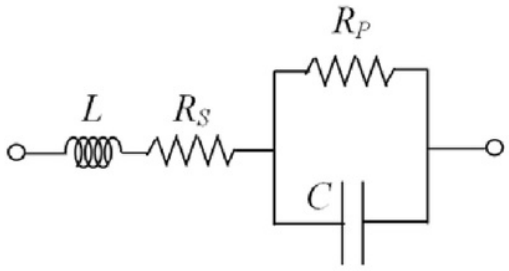
te se zbog svog sastava naziva otpornikom parazitskog šunt kapaciteta [47]. Kod ove vrste otpornika prisutan je efekat poznat kao *Boella* efekat, nazvan po njegovom pronalazaču iz Italije [47].

Metal – film otpornici kod kojih se parazitivna kapacitivnost javlja iznad frekvencije od 10 MHz [37].

Otpornici čipova od tankog filma su proizvedeni od aluminiijuma ili Berilijuma i njihova parazitska reaktansa kod jednosmernih struja je zanemarljiva do frekvencija od 2 GHz [37]. Ovi otpornici imaju nedostatak jer se mogu koristiti samo pri malim vrednostima struja, zbog svoje karakteristike da su topljivi. Ovaj nedostatak se može delimično nadomestiti korišćenjem otpornika izrađenih od traka Bor – Ugljenika [39]

Kondenzatori su elementi koji se kod PLC komunikacija u elektroenegetskim mrežama koriste za povezivanje komunikacionog kanala sa električnom mrežom [11] ali se takođe koriste i kao deo filtra [12] i opštih komunikacionih/modemskih kola [48]. Kodenzatori, pored dominante C komponente, imaju i L i R komponentu.

Na slici 3.2 prikazano je uopšteno ekvivalentno kolo [39, 49], gde se često, zbog pojednostavljenja, serijska induktivnost može izostaviti [49, 50] a ponekad se mogu koristiti i složeniji modeli [51].



Slika 3-1 Šumovi na viokonaponskom vodu.

Uopšteno, može se reći da su kondenzatori linearni elementi do samorezonantne frekvencije f_{res}, koja je određena proizvodom kapacitivnosti C i parazitnom induktivnošću L:

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad [\text{Hz}]$$

Iz gore navedene jednačine proizilazi da bi kod idealnog kondenzatora

induktivnost trebala da bude 0.

Faktor kvaliteta kondenzatora Q je određen otporom ekvivalencije i izražen je:

$$Q = \frac{1}{\cos\phi} = \frac{1}{2\pi fC} \quad [-]$$

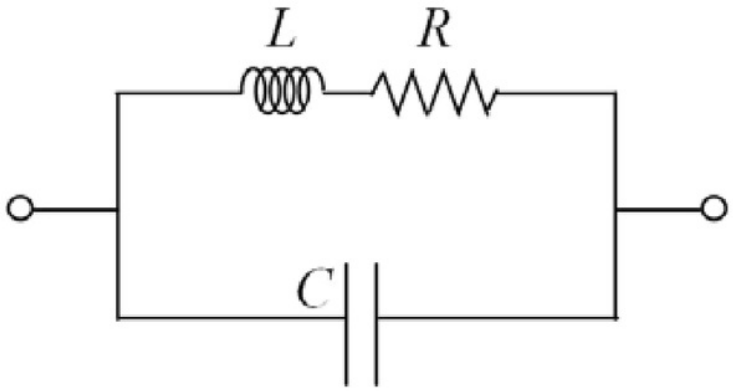
Na karakteristike kondenzatora bitno utiče i temperatura. Visoka vrednost faktora kvaliteta kondenzatora Q znači da se vrlo malo energije u kondenzatoru raspršuje, čineći da radi na nižim, stabilnijim temperaturama nego pri niskom faktoru kvaliteta.

Postoje tri različite grupe dielektrika koje se mogu koristiti za klasifikaciju kondenzatora a to su: vazdušno – dielektrični, čvrsto –dielektrični i tečno – dielektrični.

- Vazdušno – dielektrični kondenzatori se najčešće koriste kao kondenzatori za podešavanje.
- Čvrsto – dielektrični kondenzatori su keramički kondenzatori uglavnom pogodni za visoke frekvencije [39].
- Tečno – dielektrični kondenzatori se koristi kada su potrebni veliki kapaciteti [39].

Kalemovi su elementi koji se u komunikacijama elektroenergetskim vodovima koriste kako bi odvojili delovi elektroenergetske mreže od komunikacione mreže i na taj način se sprečava disipacija snage u određenim delovima elektroenergetske mreže [11].

Namotaji često čine deo spojnih kola, filtera i strujnih krugova za uključivanje [12]. Ekvivalentna šema indukcionog strujnog kola prikazana je na slici 3.2., i veoma je sličan ekvivalentnom strujnom krugu otpornika [37, 52, 53].



Slika 3-2 Šumovi na niskonaponskom vodu

Kako bi se minimizirala parazitska kapacitivnost, potrebno je da se povećava rastojanje između bilo kojeg kapacitivnog sloja, što se može postići u jednoslojnom solenoidu koji se često koristi za visoke frekvencije [47]. Povećanje razmaka negativno utiče na induktivnost spojne komponente što konačno daje manju efektivnu induktivnost.

Osnovna jednačina induktivnosti L definisana je Faradejevim zakonom:

$$e = -n\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d}{dt}(Li) = -\left(L\frac{di}{dt} + i\frac{dL}{dt}\right) \quad [\mathrm{V}]$$

gde e predstavlja indukovani napon, n i ϕ predstavljaju broj namotaja i fluks.

Imamo dve vrste kalemova: kalemove sa vazdušnim jezgrom i kalemove sa magnetnim jezgrom. Prvi su u potpunosti linearni u odnosu na pobudu i ne primenjuju se efekti zasićenja, što je prednost u odnosu na kalemove sa magnetnim jezgrom.

Magnetna jezgra koja imaju efektivnu permeabilnost od $\mu_e = 1000$, čime povećava induktivnost vazdušnog jezgra. Uopštena jednačina idealnog kalema [39] :

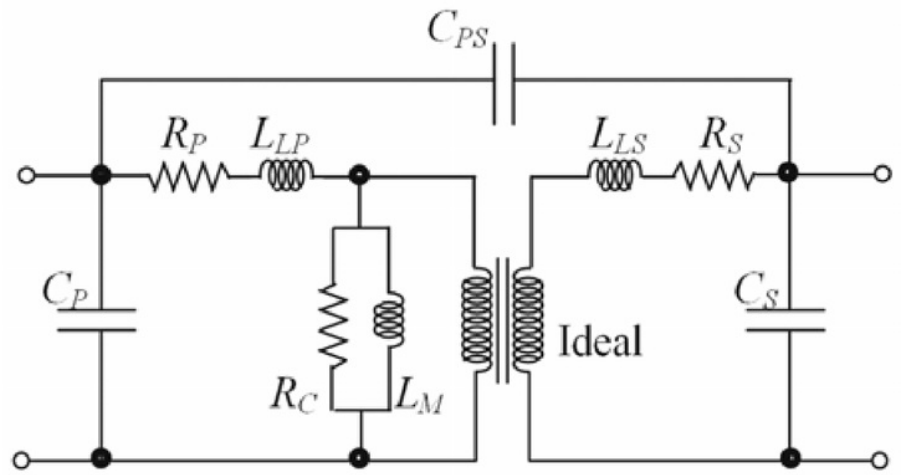
$$L = \mu_0 \mu_e N^2 \frac{A}{l} \quad [\mathrm{H}]$$

gde su μ_0 i μ_e su permeabinlost vakuuma i efektivna relativna permeabilnost jezgra (materijala od kojeg je jezgro napravljeno).

Nedostaci kalemova sa magnetnim jezgrom su u tome što ulaze u zasićenje na određenom nivou pobude, što konačno dovodi do nelinearnosti. Drugi nedostatak

kalemova sa magnetnim jezgrom jeste da različiti magnetni materijali imaju različite gubitke. Induktivnost se menja u zavisnosti od temperature, frekvencije i pobude, što dovodi do grešaka i negativnih efekata.

Transformator je element mreže koji u sebi sadrži dva ili više namotaja koji su međusobno spregnuti, a koji u sebi imaju, u cilju efikasnog povezivanja, magnetno jezgro visoke permeabilnosti. U transformatoru se javljaju dve vrste idnuktivnosti, magnetizujuća i induktivnost curenja. Kod dobro dizajniranih transformatora potrebno je da magnetizujuća induktivnost bude višestruko veća od induktivnosti curenja. Na slici 3.3. prikazan je opšti model šematskog prikaza transformatora [43]. Elementi kola L_M i R_C predstavljaju magnetizujuću impedansu i gubitke jezgra. Element kola predstavljen parametrom R predstavlja gubitke primarnog i sekundarnog namotaja, dok je sa L_L predstavljena induktivnost curenja. Elementi kola prikazani kao C_P i C_S, su parazitske kapacitivnosti koje predstavljaju zajedničku vrednost kapaciteta koji se javlja između različitih namotaja i slojeva istog namotaja, i kapaciteta između primarnog i sekundarnog namotaja C_{PS}.



Slika 3-3 Šumovi na niskonaponskom vodu

Pri projektovanju transformatora koji bi imao minimalan uticaj parazitskih elemenata potrebno je poštovati određene principe:

Induktivnosti (curenja) u velikoj meri zavise od geometrije transformatora. U radu [54] pokazano je da je ukupna induktivnost curenja proporcionalna odnosu visine i širine namotaja. Indukcija curenja se na ovaj način može smanjiti čak i do faktora 4 ako

se projektuje transformator dvostruke širine u odnosu na visinu.

Za smanjenje parazitske reaktanse može se koristiti izvedba transformatora sa prepletenim slojevima primarnog i sekundarnog namotaja. Induktivnost curenja se može smanjiti kada se koriste dva primarna i dva sekundarna sloja [54].

Gubici namotaja (R_P i R_S) mogu se minimizirati korišćenjem žičanih ili pločastih provodnika.

3.1 POVEZIVANJE ELEMENATA SISTEMA

Većina električnih kola dizajnirana je koristeći konvencionalna teorija električnog kola koja se zasnova na diskretnim, idealnim L, R i C komponentama. Kako bi se mogao dizajnirati prezican elektronski sistem, potrebno je uzeti u obzir i neophodne vrednosti kola koje se javljaju u neidealnim prilikama. Ovo je potrebno uraditi, jer su parazitski uticaji skloni promeni sa promenom frekvencije, napona, struje i temperature.

Nagli napredak industrije poluprovodnika 1950. godine imao je za utisak da će se smanjiti upotreba i uticaj pasivnih komponenta u izradi elektronski kola. Ipak udeo pasivnih komponenti se udvostručio u proizvodnji elektronskih komponenti, pa je sa početkom dvehiljaditih godina dostigao i udeo od 70% [55].

Korišćenjem tehnike za proizvodnju diskretnih komponenti L, R ili C na zajedničkoj podlozi, postignuta je funkcionalna integracija ovih komponenti, čime se olakšava proizvodnja i postiže minimizacija čipova parazitskih parametara, a povećava se pouzdanost i smanjuju se troškovi [55]. Komponente realnog sveta imaju mešavinu karakteristika i dizajniraju jednu pasivnu komponentu koja ima dva ili više kontrastnih uticaja, (LC ili RC), gde je u tridesetim godinama dvadesetog veka predložena prva integrisana LC komponenta [56]. Elektromagnetno integrisane RC (distribuirane) komponente pojavile su se šezdesetih godina dvadesetog veka kada je postalo neophodno i očigledno da se parazitski parametri mogu koristiti kod distributivnih elemenata [57-60]. Istraživanja su nastavljena te je početkom devedesetih godina dvadesetog veka pređena barijera kada je proizveden integrisani element snage veće od

100 W [61, 62]. I dalje se radi na prevazilaženju barijera i proizvodnji elektronski integrisanih elementa veće snage [55, 63, 64, 65, 66].

4 TOPOLOGIJA ELEKTRODISTRIBUTIVNIH MREŽA NISKOG NAPONA

Izgradnja niskonaponskih mreža se vrši u skladu sa IEC standardima, odnosno lokalnim standardima koji su usklađeni sa IEC standardima. Ovi standardi propisuju različite načine instaliranja napred opisanih različitih vrsta vodova i prateće opreme koja je u primeni u niskonaponskim mrežama. Kao što je u prethodnom poglavlju navedeno, elektroenergetske mreže se realizuju nadzemnim vodovima i/ili podzemnim kablovima. Svaki od identifikovanih različitih tipova provodnika, odnosno kablova, poseduje različite karakteristike u pogledu prenosa telekomunikacionih signala. U izgradnji niskonaponske mreže delom se koriste podzemni vodovi, delom nadzemni, pa i kombinovana rešenja sa višestrukim prelazima sa tipa na tip u okviru jedne deonice mreže ili jednog niskonaponskog izvoda trafostanice. U opštem slučaju, topologija niskonaponske mreže je radijalna, odnosno topologija stabla, ali njena struktura se razlikuje u zavisnosti od lokacije, dužine mreže, gustine potrošača i njene izvedbe [99].

Prema gustini potrošača, područja na kojima je realizovana niskonaponska elektrodistributivna mreža se u opštem slučaju mogu podeliti na:

- gradska
- prigradska
- ruralna,

iako postoje i specifična područja u kojoj se mogu preplitati dve od navedene tri kategorije.

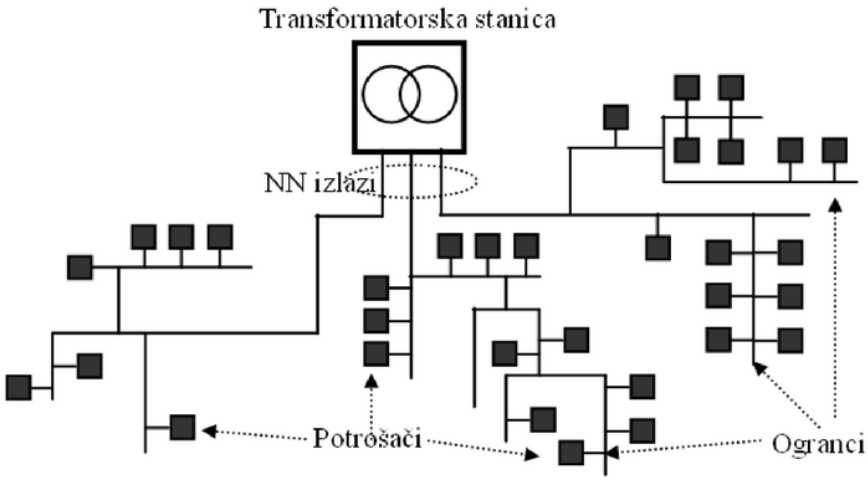
Prema karakteru krajnjih potrošača, područja se mogu podeliti na:

- pretežno rezidencijalna, i
- poslovna ili industrijska.

Navedene podele predstavljaju faktore koji imaju uticaj na topologiju niskonaponske mreže i način njene realizacije, ali i na topologiju PLC mreže, njenu strukturu, kao i na zahteve u pogledu kvaliteta usluge potencijalnih korisnika širokopojasnih PLC servisa.

Na slici 4-1 prikazana je jedna od mogućih struktura realizacije niskonaponske

mreže. U opštem slučaju, trafostanica koja vrši transformaciju srednjeg napona (najčešće 10 kV ili 20 kV) na niski napon, ima nekoliko niskonaponskih izlaza, iz kojih se realizuje nekoliko grana niskonaponske mreže kojima se dalje električna energija distribuira do krajnjih korisnika. Ove grane se razlikuju po strukturi i koncentraciji (broju) korisnika koji se napajaju sa njih, a i raspodela potrošača po njima može biti simetrična ili asimetrična. Topologija niskonaponskih izlaza, kao i niskonaponska mreža generalno, je topologija stabla.



Slika 4-1 Šematski prikaz strukture elektrodistributivne mreže niskog napona

Imajući u vidu raznoliku strukturu elektrodistributivnih niskonaponskih mreža, prilično je jasno da nije moguće definisati tipičnu strukturu niskonaponske mreže. Ipak, moguće je identifikovati neke karakteristične pokazatenje niskonaponske mreže koji se mogu kvantifikovati, a koji se u većoj meri podudaraju na sličnim geografskim područjima i područjima sa sličnom koncentracijom potrošača i sličnim karakterom potrošnje (Tabela 4.1.) Vrednosti parametara mogu varirati i zavise od karakteristika područja na kome je niskonaponska mreža izgrađena.

Broj potrošača u trafo – području	~150 – 250
Broj izlaza	5
Broj potrošača po izlazu	~30 – 50
Dužina mreže po izlazu	~500

Tabela 4.1 Karakteristični parametri prosečne strukture NN mreže u Centralnoj Srbiji

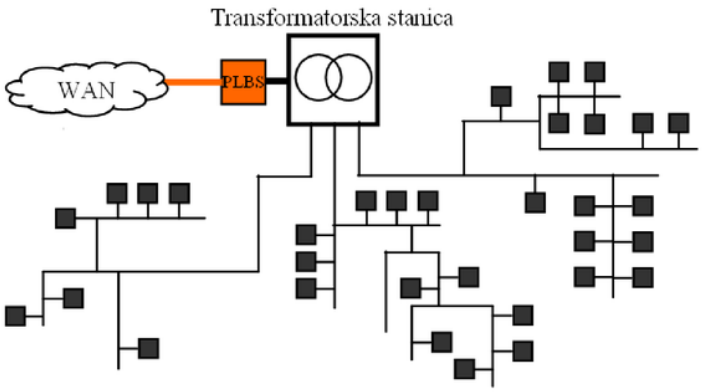
4.1 ORGANIZACIJA PLC PRISTUPNIH MREŽA

Topologiju PLC pristupne mreže u najvećoj meri određuje topologija niskonaponske mreže na kojoj je PLC pristupna mreža realizovana. Ipak, organizacija PLC pristupne mreža može biti realizovana i različita od niskonaponske mreže, a od faktora koji na to utiču mogu se izdvojiti pozicioniranje PLC bazne stanice (PLBS), način segmentiranja mreže, itd. U ovom poglavlju će biti predloženo nekoliko mogućnosti u smislu pozicioniranja PLBS u niskonaponskoj mreži, segmentiranja PLC mreže, implementacije regeneratora signala, kao i segmentacije mreže primenom gejtveja.

4.1.1 Izbor lokacija za instalaciju PLC bazne stanice

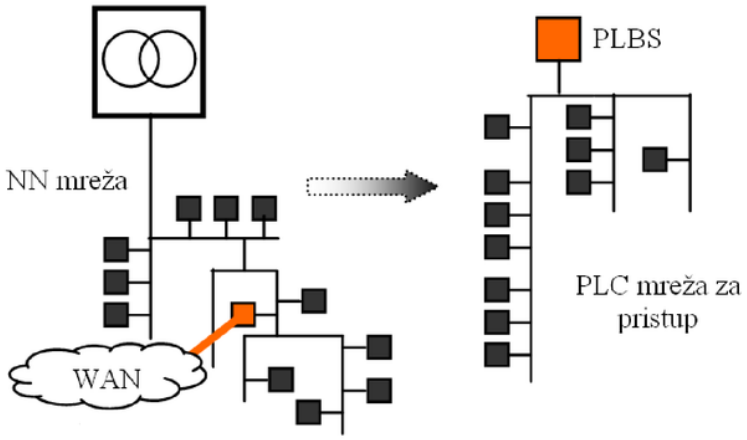
PLC bazna stanica je jedan od osnovnih elemenata PLC mreže, koji povezuje PLC pristupnu mrežu sa jedne strane, i okosnicu mreže (neku *WAN* mrežu) većeg kapaciteta. Shodno tome zauzima i centralno mesto u strukturi svake PLC mreže. Prateći strukturu niskonaponske mreže u kojoj centralno mesto zauzima trafostanica, tačka iz koje se napajaju svi objekti na trafopodručju koje pokriva ta trafostanica, smatra se za uobičajeno da PLBS bude smeštena u trafostanici. Ali, to ne mora biti pravilo. Poziciju PLBS u PLC pristupnoj mreži primarno određuje mogućnosti njenog povezivanja sa okosnicom mreže. U tom smislu, moguća su dva realna scenarija:

- U trafostanici postoji mogućnost povezivanja na *WAN* mrežu (do trafostanice postoji položena optička mreža – podzemna ili nadzemna realizovana ADSS optičkim vodovima, ili neka druga vrsta veze sa *WAN* mrežom). U ovom slučaju je opravdano i optimalno PLBS smestiti u trafostanicu, te topologija i struktira PLC pristupne mreže prati topologiju i strukturu niskonaponske elektrodistributivne mreže (Slika. 4-2.);



Slika 4-2 Instalacija PLBS u trafostanici

- Ukoliko u samoj trafostanici ne postoji mogućnost povezivanja na *WAN* mrežu, PLBS može biti instalirana i van trafostanice. To može biti neka tačka na mreži koja je pogodna za povezivanje sa *WAN* mrežom. Pored ovog primarnog kriterijuma za odabir lokacije PLBS, u obzir treba uzeti i područje na kome je mreža realizovana, kao i koncentraciju, odnosno broj korisnika PLC servisa. Jedno od pogodnih mesta za instalaciju PLBS može biti kablovski distributivni ormar (KDO), u slučaju da je isti uključen u sistem daljinskog upravljanja pa u njemu postoji komunikacioni kabl preko koga je moguće povezati PLBS na okosnicu telekomunikacione mreže. U ovakvom scenariju, topologija PLC mreže je različita od topologije niskonaponske mreže, kako je i ilustrovano na slici 4-3.



Slika 4-3 Različita topologija pristupne PLC mreže u odnosu na topologiju niskonaponske mreže

Izmeštanjem PLBS van trafostanice, tačka povezivanja na okosnicu *WAN* mreže, odnosno centralna tačka PLC mreže, se pomera na neko drugo mesto u mreži. S obzirom da se PLBS instalira na infrastrukturi niskonaponske mreže (Slika 4-3), u zavisnosti od izbora navedenih scenarija realizovanja PLC mreže, menja se i udaljenost između PLBS i korisnika širokopojasnih PLC servisa. U oba slučaja, topologija pristupne PLC mreže ima fizičku strukturu stabla.

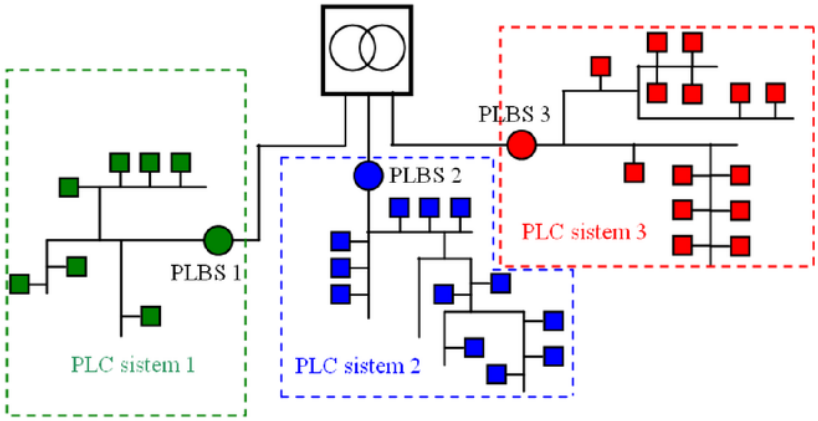
4.1.2 Segmentacija PLC pristupne mreže

Polazni parametar koji treba uzeti u obzir prilikom projektovanja PLC mreže je broj korisnika kojima će se pružati širokopojasni servisi u prvoj fazi implementiranja PLC sistema na teritoriji koju pokriva odabrana trafostanica. Ako broj zainteresovanih korisnika širokopojasnih servisa relativno mali, PLC mrežu treba realizovati na kompletnoj niskonaponskoj mreži trafo-područja, vodeći računa da se PLBS optimalno pozicionira.

Sa povećanjem broja korisnika širokopojasnih servisa, u sledećoj fazi razvoja PLC mreže, prikladno je izvršiti podelu niskonaponske mreže na više segmenata, kako bi se smanjila dužina mreže kao i broj korisnika koji učestvuju u deljenju kapaciteta

PLC linka. Svakako, treba voditi računa da segmentiranje mreže bude optimalno u smislu broja segmenata i broja korisnika po segmentu. Jedna od prikladnih podela je segmentiranje mreže na način da svaki od niskonaponskih izlaza trafostanice bude poseban segment mreže, te da svaki segment mreže bude zaseban PLC sistem.

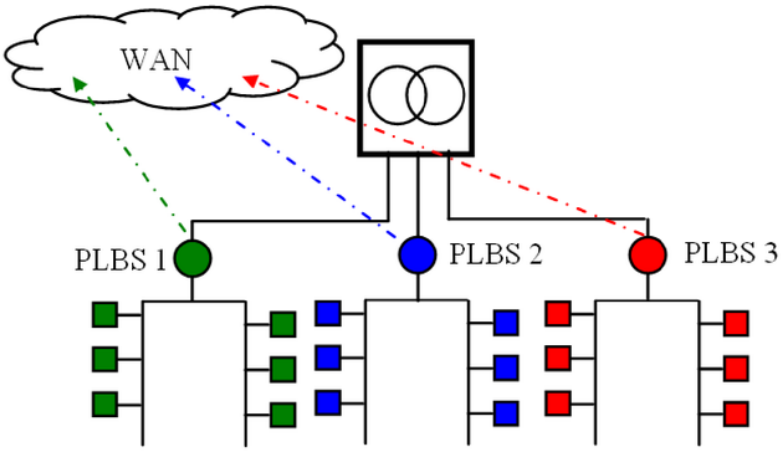
Na slici 4-4 ilustrovana je jedna od mogućih segmentacija niskonaponske mreže trafostanice koja ima tri niskonaponska izlaza. Svaki od segmenata ima svoju PLBS koja pokriva korisnike u okviru tog dela niskonaponske mreže. S obzirom da se segmentacijom mreže postiže da broj potencijalnih korisnika po segmentu, odnosno PLBS, bude manji u odnosu broj korisnika na celoj PLC mreži ukoliko je pokriva jedna PLBS, protok na PLC linku deli manji broj PLC korisnika.



Slika 4-4 Realizovanje PLC podsistema na segmentima NN mreže

Dodatna prednost koja se postiže segmentiranjem PLC pristupne mreže je da se dužina mreže po segmentu smanjuje. Ovo je veoma važno jer se time omogućuje smanjenje predajne snage signala koji se prenosi u okviru segmenta mreže, a što umanjuje interferenciju sa drugim komunikacionim sistemima koji koriste isti frekvencijski spektar. U pogledu topologije PLC podsistema, odnosno segmenata u okviru niskonaponske mreže, oni zadržavaju fizičku topologiju stabla.

U okviru svakog od PLC podsistema, odnosno segmenata mreže, može se formirati nezavisna PLC pristupna mreža (Slika 4-5), koja se može nezavisno povezati na okosnicu *WAN* mreže.



Slika 4-5 Više nezavisnih PLC pristupnih mreža u okviru teritorije koju pokriva jedna trafostanica.

Još jedna od raspoloživih opcija je realizacija hijerarhijske PLC pristupne mreže. Ovakvo rešenje podrazumeva konekciju PLBS svakog od segmenata na okosnicu *WAN* mreže, preko centralne PLBS koja se montira u trafostanici. Ovakav pristup ima i svoje ograničenje, koje se ogleda u tome da se kapacitet PLC pristupne mreže smanjuje u smislu protoka. Naime, u svrhu komunikacije između PLBS različitih hijerarhijskih nivoa, i konačno sa centralnom PLBS, moguće je dodeliti zasebne slotove vremena, ili dodeliti delove dostupnog frekvencijskog spektra za svaku od PLBS, a što sve u konačnici rezultira smanjenjem dostupnog kapaciteta PLC pristupne mreže.

4.1.3 Uloga gejtveja i ripitera u PLC pristupnoj mreži

Telekomunikacioni signal koji se prenosi elektrodistributivnim vodom je izložen slabljenju, koje je direktno proporcionalno rastojanju između predajnika i prijemnika, i frekvenciji signala. Uz zadovoljenje zahteva za adekvatnim bitskim protokom koji može podržati širokopojasne servise, rastojanje na kom je moguće preneti signal u PLC pristupnoj mreži je direktno proporcionalan predajnoj snazi signala. Dakle, da bi se ostvario veći domet potrebno je povećati snagu signala na predajniku. Međutim, sa povećanjem predajne snage povećava se elektromagnetno zračenje signala sa voda u

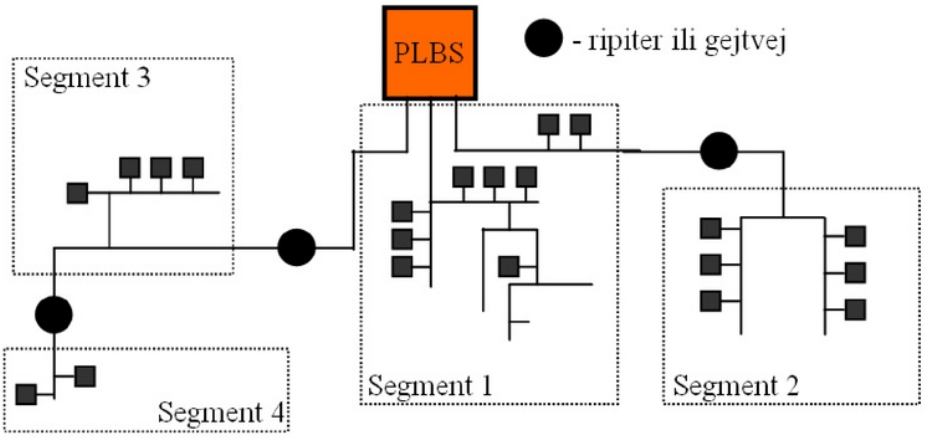
okruženje PLC sistema, što povećava interferenciju sa drugim sistemima u istom frekvencijskom spektru.

U cilju realizacije PLC pristupne mreže koja podržava bitske protoke dovoljne za pružanje širokopojasnih servisa, uz veće domete u prenosu signala niskonaponskom mrežom, preporučuje se upotreba ripitera, odnosno regeneratora signala.

Ripiteri vrše regeneraciju signala, na taj način što oslabljeni signal regenerišu i pojačavaju do nivoa snage signala na predajniku i emituju ga dalje u mrežu. Slika 4-6 ilsutruje primenu ripitera ili gejtveja u PLC pristupnoj mreži.

Mrežne stanice (opremljene PLC modemima) kod korisnika širokopojasnih PLC servisa komuniciraju sa pripadajućom PLBS preko ripitera čija je uloga da primljeni signal pojačaju i re-emituju ga u susedni mrežni segment. Ripiteri podržavaju dvosmernu komunikaciju, dok u susednim segmentima mreže rade na različitim frekvencijama, ili koriste različite vremenske slotove. U PLC mrežama u ruralnim područjima, u kojima je ponekad potrebno premostiti velika rastojanja između predajnika i prijemnika, odnosno između mrežne stanice kod korisnika i PLBS u trafostanici, ili na nekom drugom mestu na niskonaponskoj mreži, koristi se više ripitera u jednoj liniji komunikacije. Za dobre performanse PLC sistema, preporuka je da udaljenost između mrežne stanice kod korisnika širokopojasnih servisa i ripitera, odnosno između dva ripitera na PLC mreži, ne bude veća od 100 m [67].

S obzirom da ripiteri samo vrše prosleđivanje saobraćaja između susednih segmenata PLC mreže, odnosno ne vrše razdvajanje mreže na logičkom nivou, jasno je da PLC pristupna mreža za pristup i uz upotrebu ripitera zadržava fizičku topologiju stabla. Sa aspekta logičke komunikacije, pristupna PLC mreža je *bus* mreža. [68].



Slika 4-6 Segmentacija pristupne PLC mreže ripiterima ili gejtvejima

Uobičajeno, mrežna stanica je instalirana u objektu korisnika, pored brojila električne energije. Sa aspekta PLBS, mrežna stanica predstavlja korisnički pristupni uređaj (*CPE – Customer Premisses Equipment*). Ukoliko u objektu korisnika postoji implementirana LAN mreža koja je realizovana po kućnoj električnoj instalaciji (*In-door PLC* sistem), tada je uz brojilo neophodno postaviti i gejtvej koji ima dve uloge:

- sa aspekta PLC pristupne mreže ima ulogu krajnjeg korisnika,
- sa aspekta LAN-PLC mreže ima ulogu PLBS.

Brojilo električne energije predstavlja tačku u kojoj je jednostavno ostvariti spregu PLC signala sa niskonaponske mreže kućnog priključka na kućne električne instalacije, obzirom da se provodnici trofaznog kućnog priključka priključuju na priključnicu brojila, a tu su direktno povezani sa glavnim provodnicima kućne električne instalacije. Na taj način je u svakoj tački unutrašnje električne instalacije obezbeđeno prisustvo PLC signala. Unutrašnji PLC modem se priključuje u neku od utičnica, a na njemu su dostupne različite vrste interfejsa (*Ethertnet, USB,...*), u zavisnosti od njegove namene. U PLC modemu, u predajniku je integrisan kapacitivni kapler čija je uloga elektromagnetna sprega telekomunikacionog signala na energetski vod.

PLC gejtveja u PLC pristupnoj mreži ima za ulogu ne samo regeneraciju signala i prosleđivanje signala u susedni segment mreže, već i ulogu lokalne PLBS. Njegovom

upotrebom se vrši podela PLC mreže na segmente, gde svaki segment ima sopstveni PLC gejtvej kao posrednika PLBS i tog segmenta PLC mreže. Opet svaki segment primarno ima fiziku topologiju stabla. Međutim, ukoliko se PLC gejtvej postavi u merni ormar u nekom objektu kolektivnog stanovanja, u kome ima više brojila, onda taj „segment mreže u okviru jednog ormara“ može da ima i topologiju zvezde.

Dakle, segmentiranje PLC pristupne mreža se može vršiti implementacijom ripitera i gejtveja na odgovarajućim mestima na mreži. Ograničavajući faktor za realizaciju većeg brojila segmenata u okviru PLC pristupne mreže je interferencija koja se javlja između susednih segmenata. Kako bi se ovaj problem prevazišao, preporuka je korišćenje šireg frekvencijskog spektra, kako bi se svakom od segmenata dodelio jedan deo spektra. S druge strane, ovo rezultira smanjenjem ukupnog kapaciteta mreže.

Svakako, implemetacija ripitera i gejtveja rezultira povećavanjem investicionih troškova pri realizaciji PLC pristupne mreže. Ovi troškovi se mogu smanjiti optimalnom raspodelom PLC modema na PLC pristupnoj mreži, koji mogu preuzeti tu funkciju. Naime, savremeni PLC modemi vrše i funkciju ripitera. Ovime se postiže da, obzirom da objekti korisnika obično nisu na velikim međusobnim rastojanjima, PLC modemi na neki način vrše segmentaciju mreže na veoma male segmente (koliko je rastojanje do sledećeg objekta odnosno PLC modema). Time se značajno smanjuje potrebna izlazna predajna snaga signala, kao i zračenje u okruženje niskonaponske mreže. Predlog ovakve realizacije segmentiranja mreže PLC modemima je poteklo od *ONELINE,* nemačkog alternativnog telekomunikacionog operatora [67].

Naravno, PLC modemi koji imaju i funkciju ripitera su složeniji za realizaciju, dok je njihova primena u PLC mreži uslovljena primenom složenog mehanizma upravljanja koji bi podržao optimalnu dodelu frekvencija ili vremenskih slotova. Pored toga, ripiteri unose dodatno kašnjenje u prenosu signala zbog potrebe da se izrši konverzija primljenog signala i njegova regeneracija. Sve navedeno utiče na ograničenu upotrebu ripitera i gejtveja u PLC pristupnoj mreži.

S obzirom na topologiju i strukture niskonaponskih mreža u EPS Distribuciji, a sagledavajući rezultate relevantnih projekata sprovedenih u EU, može se očekivati da će u Srbiji, u najvećem broju slučajeva PLBS biti instalirane po trafostanicama. U ruralnim područjima su mogući izuzeci, jer su često niskonaponski vodovi značajno dugački. Ukoliko bi se u ruralnim područjima za okosnicu telekomunikacione mreže koristila

neka od bežičnih tehnologija, PLBS bi se tada mogle isntalirati i van trafostanice, čime bi se vodovi mogli skratiti u PLC komunikacionom smislu i posledično tome optimizovati korišćenje ripitera.

5 SMETNJE KOJE SE JAVLJAJU U SREDNJENAPONSKIM I NISKONAPONSKIM MREŽAMA

U električnim mrežama srednjeg i visokog napona se javljaju amplitudna i fazna izobličenja. Pored navedenih izobličenja, i šum je ključni faktor koji bitno utiče na performanse prenosa elektrodistributivnim vodovima. Kako bi se minimizirao uticaj smetnji potrebno je primeniti odgovarajuće tehnike za kodiranje i modulaciju. Problem elektromagnetne kompatibilnosti je takođe problem koji se može javiti i potrebno je da se detaljno analizira prilikom prenosa podataka putem elektrodistributivnih mreža. U nastavku će biti opisana priroda šuma u električnim mrežama srednjeg i niskog napona.

5.1 SMETNJE U SREDNJENAPONSKIM MREŽAMA

U srednjenaponskim mrežama mogu se javiti dve vrste smetnji i to pozadinski (obojeni šum) i uskopojasni šum [69].

- ***Pozadinski šum*** je smetnja koja se javlja u električnim mrežama i ova vrsta smetnji u velikoj meri zavisi od vremenskih prilika, konfiguracije terena, nadmorske visine i dr. Nivo smetnji koji se može javiti u srednjenaponskim mrežama je veći nivoa smetnji koji se javljaju u niskonaponskim mrežama. Pozadinski šum je uvek prisutan u komunikacionom kanalu, a razlika u veličini pozadinskih smetnji je veća kod srednjenaponskih mreža u odnosu na niskonaponske za približno 20 - 30 dBm/Hz kod frekvencija opsega 1 - 20 MHz.

Pojava i prisustvo korone, a naročito prilikom loših vremenskih prilika, predstavlja glavni uzrok pozadinskih smetnji [70]. Prilikom eksploatacije, protokom električne struje kroz električnu mrežu, kod srednjenaponskih mreža u blizini provodnika se javlja jako električno polje. Prisustvo ovog električnog polja dovodi do ubrzavanja kretanja slobodnih elektrona oko provodnika. Prilikom interakcije ovih elektrona sa okolinom dolazi do stvaranja slobodnih elektrona i pozitivnih jona prilikom čega se stvara pražnjenje koje nazivamo korona. Ovo pražnjenje elektrona dovodi do indukovanja strujnih impulsa u provodnicima koji imaju slučajne varijacije i amplitude. Takođe, ovo

pražnjenje kod trofaznog voda se različito javlja kod svakog provodnika. Konačno, može se reći da se u svakoj fazi (provodniku), uvek kada je napon dovoljno visok, javlja korona koja uzrokuje stvaranje šuma. Korona je smetnja koja se može smatrati konstantnom (trajnom), a čija amplituda zavisi od veličine napona i sastava provodnika, kao i od vrste i konfiguracije terena. Korona se u niskim frekventnim opsezima može posmatrati i kao beli šum. Priroda korone je istražena i prikazana je u radu [71].

- ***Uskopojasni šum*** - Ovaj šum predstavlja smetnju koja nastaje usled prisustva i delovanja drugih bežičnih uređaja koji rade u frekvencijskom opsegu na kojem rade uređaji za prenos u električnim vodovima na srednjem ili niskom naponu. Uskopojasni šum se može razlikovati u zavisnosti od trenutka i mesta posmatranja, jer frekventni opseg u električnim mrežama nije ravnomeran, a takođe ovaj šum je i vremenski zavistan. Napred navedeno ukazuje da se prilikom izračunavanja i merenja uskopojasnog šuma, merenje mora vršiti na različitim mestima i u različitim vremenskim trenucima.

Ukupan nivo šuma predstavlja sumu ove dve vrste šuma (uskopojasnog i pozadinskog).

5.2 SMETNJE U NISKONAPONSKIM MREŽAMA

Za razliku od srednjenaponskih mreža kod niskonaponskih mreža šum koji se javlja je dosta složeniji i mnogo je nepredvidljiviji. Šum koji se javlja i koji je prisutan u niskonaponskim mrežama se može razvrstati u pet grupa [72]:

- uskopojasni šum,
- obojeni pozadinski šum,
- sinhroni periodični impulsni šum,
- asinhroni periodični impulsni šum, i
- nagli (burst) impulsni šum.

Uskopojasni šum je isti kao i kod srednjenaponskih električnih mreža.

Pozadinski šum je šum koji se javlja usled superponiranja različitih i višestrukih izvora šuma male snage. Njihova gustina šuma je u opsegu 120 - 140 dB. Na osnovu

ispitivanja i višestrukih merenja, zaključeno je da se gustina snage pozadinskog šuma smanjuje sa povećanjem frekvencije [73].

Sinhroni periodični impulsni šum je šum koji se javlja u frekvencijskim opsezima 50 - 100 Hz. Uzročnici koji uzrokuju ovu vrstu smetnji su sinhroni pretvarači električne energije koji se nalaze u dimerima i diodnim ispravljačima.

Asinhroni periodični impulsni šum je šum koji je uzrokovan prebacivanjem napajanja električnom energijom. On se uglavnom javlja na frekvencijskim nivoima 50KHz - 2 MHz. Merenje i analiziranje ovih smetnji, je veoma teško iz razloga što je njihovo trajanje kratko i ima malu amplitudu. Može se zato zbog navedenih karakteristika reći da se ova vrsta šuma smatra delom pozadinskog obojenog šuma [75].

Nagli (burst) impulsni šum je šum koja je javlja naglo i nepredvidljivo, slučajno. Ova vrsta impulsnog šuma se često naziva i asinhroni impuslni šum [72]. Pojava ovih smetnji je posledica rada kućnih aparata, elektromotora i dr. Zbog toga što ima mnogo različitih vrsta izvora ove vrste smetnje, može se reći da ovaj šum ima različita svojstva u pogledu vremenskog odziva, kao i u pogledu spektarskih osobina. Za komunikaciju putem električnih mreža, impulsni nagli šum je od velike važnosti jer je snaga ovog šuma u svakom pogledu dominantna u odnosu na druge napred navedene vrste šumova. Jačina ovog šuma može dovesti do velikog gubitka podataka u prenosu. Analiza ovog šuma prikazana je u radovima [72, 76].

5.3 MODULACIONE TEHNIKE

Za kvalitetan prenos veoma je bitan i izbor modulacione tehnike koja zavisi od prirode i karakteristika medijuma u kojem određena mreža mora da radi. Kad se kao komunikacioni kanal koristi elektroenergetski vod onda on predstavlja medijum koji ima negativne osobine za prenos komunikacionog signala. Negativne karakteristike koje se javljaju u ovom medijumu su šum, multipath i izražena selektivnost kanala.

Prilikom izbora modulacione tehnike za elektroenergetski vod mora se voditi računa o faktorima koji se odnose na: prisustvo šuma i impulsnih smetnji koji dovode do toga da je odnos signal šum na niskom nivou, vremenski promenljivu frekventno

selektivnu prirodu i na regulatorna ograničenja u odnosu na elektromagnetnu kompatibilnost.

Izbor treba da bude takav da obezbeđuje dovoljan kvalitet za širok spektar varijacija.

Najčešće korišćene modulacione šeme su:

- Single-carrier modulacija;
- Spread spectrum modulacija;
- Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) modulacija;
- Multi-carrier CDMA (MC-CDMA) modulacija;

5.3.1 Single-carrier modulacija

Ova vrsta modulacije je zanimljiva ako se posmatra složenost kao parametar jer je jednostavna za realizaciju. Međutim, kako je kanal realizovan u elektroenergetskom vodu veoma nelinearan, prisustvo interferencije je neizbežno, te su stoga potrebne superiornije tehnike u cilju otklanjanja ovih smetnji. Na osnovu analize date u [77] može se reći da Single-carrier modulacija nije dobar izbor za korišćenje u elektroenergetskom komunikacionom kanalu.

5.3.2 Spread spectrum modulacija

Spread spectrum modulacija je takva vrsta modulacije koja podatke koji se prenose širi preko čitavog frekventnog opsega. Originalni informacioni signal, sa frekvencijskim opsegom B i trajanjem Ts, pretvoren kroz *pseudo-noise* signal u signal koji se prenosi u spektru W, gde je $W>>B$. Umnožavajuće širenje spektra može s meriti merenjem parametra Faktora širenja (*spreading-faktor - SF*). Ovaj parametar je također poznat pod nazivom "dobitak širenja" (*spreading gain*) ili "dobitak obrade" (*processing gain*) i definisan je jednačinom:

$$G = \frac{W}{B} = W \cdot T_S \qquad (5.1)$$

Ova vrsta modulacije prvenstveno je bila namenjena za upotrebu u bežičnim komunikacijama gde je njena namena bila da se izbegnu zagušenja, tj. u slučajevima kada potencijalni ometač ometa komunikaciju. Kod ove vrste modulacije prekid komunikacije je moguće ostvariti tako što potencijalni ometač treba da otkrije da prenos uopšte postoji. Iz tog razloga je potrebno da prilikom dizajniranja vodimo računa da se prenosni signal što teže detektuje pa se iz tog razloga ovaj signal najčešće i naziva *noise-like* signal. Još jedna karakteristika koja mora biti zadovoljena jeste da ovaj signal treba da bude takav da bude teško ometan od strane potencijalnog ometača-signala za ometanje.

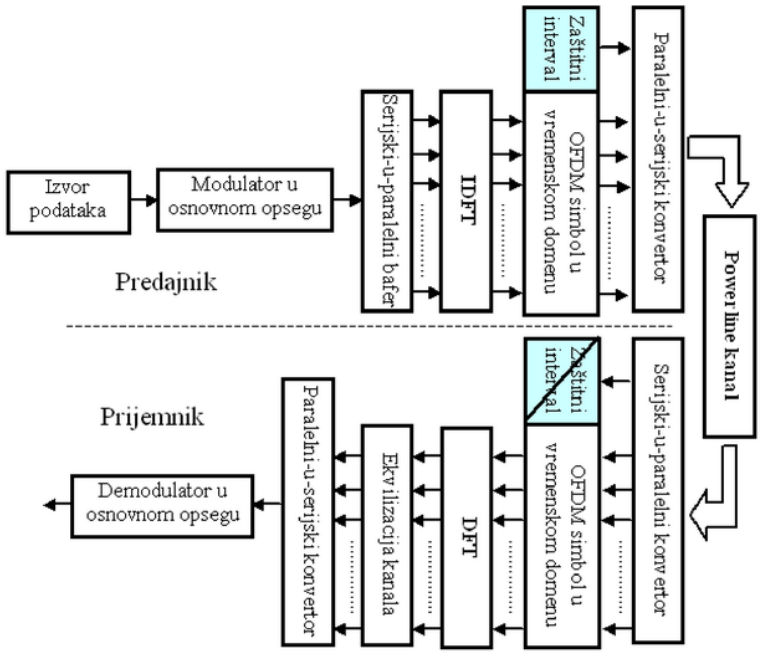
Ova tehnika ima svojih ograničenja prilikom korišćenja za prenos signala kroz elektroenergetske vodove, naročito kod impulsnog šuma jer je propusni opseg ograničen, pa se u tom slučaju neminovno javlja šum. Da bi se ova tehnika pouzdano koristila potrebno je značajno proširenje propusnog opsega što sa druge strane može dovesti do značajnog ograničenja brzine protoka. U aplikacijama sa ne tako zahtevnim performansama u pogledu brzine protoka, ova modulacija nalazi svoju primenu.

Kao prednosti tehnologije proširenog spektra, mogu se izdvojiti izražena bezbednost prenosa signala, otpornost na smetnje od strane drugih sistema, redundantnost, otpornost na efekte fedinga i višeputnog prostiranja. Uobičajene tehnike proširenog spektra su *Direct Sequence* (DS), *Frequency Hopping* (FH), *Time Hopping* (TH) i *Multi-Carrier* (MC). Takođe, u zavisnosti od primene u konkretnim sistemima, moguće je kombinovanje navedenih tehnika kako bi se dobila hibridna tehnika koja sublimira prednosti različitih tehnika.

5.3.3 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) modulacija

Orthogonal Frequency Division Multiplexing modulacija je modulacija koja se najčešće koristi u slučajevima kada se signal prenosi u frekventno selektivnim kanalima. Kod ove modulacije se koriste ortogonalni tonovi za modulaciju signala [78]. U OFDM sistemu [79] (slika 5-1), podaci se prenose na tzv. podnosioce, modulirane različitim mogućim tehnikama, kao što su binarna fazna modulacija *(BFSK- Binary Phase Shift Keying)* ili kvadraturna amplitudna modulacija *(QAM- Quadrature Amplitude Modulation)*. Svaki podkanal se moduliše posebnim simbolom, a onda su svi

podkanali frekventno multipleksirani, koristeći ortogonalne frekvencije kako bi povećali efikasnost kanala. Podaci (koji predstavljaju skup frekventnih podnosioca) se transformišu u vremenskom domenu koristeći inverznu brzu Fourierovu transformaciju (IFFT) na predajniku. Izlaz IFFT preko n informacionih simbola generiše OFDM simbol.



Slika 5-1 Blok dijagram OFDM sistema

OFDM inherentno rešava problem sa intersimbolnom interferencijom (ISI) uzrokovanom širenjem kašnjenja sa više puta, ubacivanjem intervala zaštite. Na primer, ekvivalentni 10 Mbps OFDM simbol sa 100 pod-nosilaca je širok 10 mikrosekundi, sa odgovarajućim zaštitnim opsegom i cikličnim prefiksa, lako može prevazići 1 mikrosekunda raspona kašnjenja tipične na dalekovodu. Iako OFDM može eliminisati ISI, ostaje problem sa izbleđivanjem, takođe uzrokovanim višekanalnim refleksijama. Rešenje je dodavanje interlokovanja i kodiranja grešaka kako bi se povratili izgubljeni bitovi. Ovo se obično naziva kodiranim OFDM (COFDM).

Ciklični prefiks se dodaje u OFDM simbol radi održavanja ortogonalnosti u vremenskom disperzibilnom PL kanalu (uzrokovanu *multipath* refleksijama). Ovaj prefiks kopira poslednji deo simbola i dodaje kopiju na početak simbola. Dužina OFDM

simbola je jednaka recipročnom razmaku između podnosioca i generalno je vrlo duga u poređenju sa brzinom prenosa podataka. Ovo dugo vreme simbola, generalno mnogo mikrosekundi, u kombinaciji sa cikličnim prefiksom, ključni su faktori koji omogućavaju performanse na vremenskom disperzivnom kanalu.

Na prijemniku, gde se ciklični prefiks i zaštitni interval uklanjaju iz signala o vremenskom domenu, OFDM signali demodulišu se izvršavanjem FFT na svakom simbolu, kako bi ih pretvorili u frekvencijski domen. Jednostavni izjednačavač ispravlja izobličenje kanala. Konačno, odluka simbola i dekodiranje se izvršavaju.

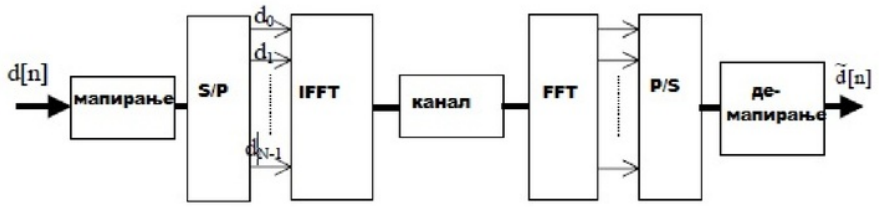
Sledeća prednost OFDM-a je mogućnost dodeljivanja tonova (uključivanje i isključivanje podnosilaca) tako da se podaci prenose samo u spektru prenosa funkcija koja može održati bitnu brzinu greške (BER) koja odgovara aplikaciji [80].

Ova tehnika je u poslednje vreme vrlo zastupljena i koristi se intenzivno u radio emitovanju, kod 4G mreža i ADSL linija.

5.3.3.1 Koncept OFDM modulacije

Koncept OFDM modulacije je da se tok podataka podeli na niz manjih tokova i da se svi tokovi takođe prenesu istovremeno, a takođe da se podeli i na paralelno više ortogonalnih podnosilaca. Ortogonalnost podnosioca ima za cilj da obezbedi da se tokovi međusobno ne ometaju. Zbog preklapanja može doći da podnosioci izgube svoju ortogonalnost, u kom slučaju se međusobno preklapaju, što dovodi do toga da se javlja intersimbolna interferencija (ISI). Blok dijagram sistema realizovanog OFDM modulacijom prikazan je na slici 5-2.

Prenos podataka realizuje se tako što se podaci šalju u jednom pod-kanalu, tako da svaki podkanal ima sopstvenu propusnost. U slučaju kada je propusni opseg prenosa manjeg nivoa od širine propusnosti kanala, intersimbolne interferencije (ISI) na tom kanalu se eliminišu. U zavisnosti od brzine protoka, pri nižim brzinama imamo niži propusni opseg pa bi usled toga odabirući dovoljan broj podnosioca kanala mogli da imamo veliki broj niskokvalitetnih paralelnih tokova podataka pri čemu bi se u svakom podkanalau imali odsustvo intersimbolne interferencije.



Slika 5-2 Blok dijagram OFDM sistema.

Kod realizacije ove modulacije broj bitova koji se dodeljuje pod-nosiocima je promenljiv u zavisnosti od toga kako je promenljiv i odnos SNR u realizovanom (zadatom) frekventnom opsegu. Princip odabira broja podnosioca zasniva se na tome da se on odabira kao razmak frekventnog offset-a između susednih nosioca i susednih smetnji.

Raspodela podataka u cilju prenosa preko više podnosioca može se realizovati pomoću inverzne brze Furijeove transformacije (IFFT). Brza Furijeova transformacija se, takođe, može koristiti za filtriranje (FFT). Ove transformacije vrše reverzibilna linearna mapiranja OFDM simbola [78]. Zbog napred navedenih karakteristika ova modulacija zahteva manje potrebnih izračunavanja za jedinično vreme u odnosu na druge. Kod ove modulacije, impulsi pod-nosioca koji se koriste za prenos podataka su tako izabrani da budu pravougaoni. Ova činjenica predstavlja prednost kako bi IDFT, primenjena kao IFFT, mogla obaviti formiranje impulsa i modulacije. U skladu sa napred navedenim, na prijemnoj strani za obavljanje navedene operacije potrebna nam je samo FFT. Kod primene FFT imamo pravougaoni implus koji dovodi do greške sinusnog tipa.

Prenos podataka u frekventnom domenu uz korišćenje brze Furijerove transformacije dovodi do robusnosti prema intersimbolnoj interferenciji.

OFDM sistem je linearan pod pretpostavkom da:

- su prijemnik i predajnik savršeno sinhronizovani.
- je kanal idealan.

Pri praktičnim realizacijama sistema prvi uslov je ispunjen i ako se ubaci neki poznati signal, dodat OFDM simbolu. Ovaj signal se ubacuje kako bi se mogla

identifikovati referentna amplituda i faza konstalacije mapiranja u svakom od podnosioca, a sve u cilju ispravne demodulacije podataka.

Idealan kanal je teško, skoro nemoguće, ostvariv u praksi.

Svaki simbol u OFDM sistemu je napravljen od dva dela: od korisnog signala koji se nalazi u aktivnom simbolu, i intervala zaštite, koji se ponavlja na početku simbola. Ako imamo situaciju da je vremenski interval zaštite duži od intervala kašnjenja kanala kod više podkanala, efekat intersimbolne smetnje može biti eliminisan. U zavisnosti od aplikacije, razlikujemo različite odnose zaštitnog intervala. Ubacivanje intervala zaštite i korisnog simbola dovodi do smanjenja propusnog opsega za prenos podataka. Na prijemnoj strani, potrebno je da zaštitni interval bude eliminisan kako bi se uspešno primenila brza Furijeova transformacija na primljeni signal.

Efekat primene OFDM sistema na smetnje u PLC komunikacionom sistemu je takav da, primenom diskretne Furijeove transformacije, dolazi do širenja efekta impulsnog šuma kod svakog pod-nosioca na način da se šum na svakom od pod-nosioca ponaša kao Gausov šum. Napred navedena karakteristika predstavlja jednu od glavnih karakteristika i prednosti OFDM sistema u okruženju impulsnog šuma.

Uz pretpostavku da postoji dovoljno zaštitnih intervala kako bi se izbegla intersimbolna smetnja, svaki podkanal se može tretirati kao Gausova smetnja. Greška bita (BER) [77] je za primenjenu kvadraturnu amplitudnu modulaciju u prisustvu Gausovog šuma data kao :

$$BER = 1-(1-P_{\sqrt{M}})^2 \qquad (5.2)$$

$$P_{\sqrt{M}} = 2(1-\frac{1}{\sqrt{M}})Q\left(\sqrt{\frac{E_{av}}{(M-1)N_0}}\right) \qquad (5.3)$$

gde je M nivo modulacije i M = 2k kada je k jednak. E_{av} je prosečna snaga signala i N0 je snaga buke.

Stoga, ako se kvadraturna amplitudna modulacija koristi za svakog podnosioca, prosek BER OFDM sistema sa N podnosilaca (pretpostavljajući da nema ISI) se može izraziti kao:

$$BER_{avg} = 1 - \frac{\sum_{k=1}^{N} (1 - P_{k,\sqrt{M}})^2}{N} \tag{5.4}$$

$$P_{k,\sqrt{M}} = 2(1 - \frac{1}{\sqrt{M}})Q(\sqrt{\frac{3H_k^2 E_{av}}{(M-1)\sigma_Z}}) \tag{5.5}$$

5.3.3.2 Eliminacija impulsnog šuma

Zbog svoje robustnosti OFDM sistem je podobniji za korišćenje u PLC komunikacionim sistemima. Međutim, kao i kod svih drugih modulacija i kod ove modulacije mogu se javiti smetnje koje mogu biti posledica dugih impulsnih šumova, što u krajnjem slučaju može dovesti do oštećenja čitavog OFDM simbola. Navedeni nedostatak može vrlo negativno uticati na sveukupne performanse ovako realizovanog sistema, te je zato neophodno primeniti tehnike za otklanjanje impulsnih smetnji u okruženju u kojem je prisutna visoka impulsna smetnja, koja se naročito javlja u elektroenergetskim vodovima. U tu svrhu su razvijene tehnike za eliminaciju (suzbijanje) smetnji kod OFDM [81] [82] i [83].

6 KOMUTACIJA SAOBRAĐAJA U SREDNJENAPONSKOJ I NISKONAPONSKOJ MREŽI

U mrežama za paketni prenos telekomunikacionog saobraćaja, a PLC mreža je jedna od takvih, za funkcionalnu realizaciju prenosa telekomunikacionog saobraćaja veoma je važna tehnika rutiranja. Komutacija je tehnika koja se realizuje na sloju veze *(Data Link Layer)*, drugom sloju OSI *(Open System Inteconnection)* referentnog modela, i zasnovana je na MAC *(Media Access Control)* protokolu.

Imajući u vidu navedeni aspekt, energetski vod bilo kod naponskog nivoa se kao sistem za pristup može smatrati transparentnim mostom, koji je u stvari entitet sloja veze. U tom kontekstu, korišćeni MAC protokol definiše performanse u vidu pouzdanosti, kašnjenja, efikasnosti i QoS karakteristika prenosa podataka.

6.1 MAC PROTOKOLI U PRISTUPNOJ PLC MREŽI

Energetski vod je u telekomunikacionom smislu promenjiv medijum za prenos podataka u pogledu vremena i frekvencije, i može se uporediti sa prenosnim kanalom u bežičnim mobilnim aplikacijama. U takvim sistemima frekvencijski odziv mreže se konstantno menja i nikada nije isti.

Takođe, obzirom da na energetskim provodnicima ne postoji plašt koji bi eliminisao prijem radio signala iz okolne sredine, energetski vod dobija ulogu velike antene koja je podložna prijemu radio signala, kao i drugih uskopojasnih i širokopojasnih smetnji, koje utiču na odnos signal-šum (SNR) na relevantnim frekvencijama.

Dalje, energetski vod nema prilagođenu završnu impedansu, što je uzrok refleksije signala koje mogu dovesti do delimičnog brisanja signala usled faznog preklapanja, kao i do intersimbolske interferencije.

U ovakvom nepovoljnom okruženju, kakav je energetski vod, rešenje MAC protokola je od suštinskog značaja jer njegov dizajn utiče na efikasno korišćenje propusnog opsega kao i na stabilnost i robusnost celog PLC sistema.

Aktuelna rešenja većine PLC MAC protokola su MAC rešenja koja se koriste i u drugim mrežnim tehnologijama. Uobičajeno se koriste ili CSMA *(Carrier-Sense Multiple Access)*, ili 802.11 i Token passing (802.5). Ipak, ovakva rešenja koja su preuzeta iz konvencionalnih telekomunikacionih sistema imaju i svoja ograničenja za PLC komunikaciju jer PLC ima specifične karakteristike kanala i topologiju mreže, a koje primarno nisu razmatrane pri dizajniranju ovih protokola. Kako bi se PLC propusni opseg što bolje iskoristio, javlja se potreba za usavršavanjem postojećih rešenja i definisanjem optimalnog i novog koncepta koji će efikasno funkcionisati u neuobičajenim uslovima propagacije kakvi postoje u PLC mrežama, i koji će obezbediti potrebni nivo QoS za pružanje zahtevanih telekomunikacionih servisa po energetskom vodu. Upravo nesavršenost MAC aktuelnih protokola predstavlja ograničenje u pružanju kompleksnijih usluga u realnom vremenu, kao što su VoIP i VoD.

CSMA protokoli u PLC mreži u određenim slučajevima ne zadovoljavaju zahtevane performanse sistema, u slučajevima pojave skrivenih čvorova *(Hidden Nodes)*. U PLC mrežama za pristup, skriveni čvorovi su veoma česta pojava, jer se nemoguće da svi korisnički uređaji *(CPE – Customer Premises Equipment)* u okviru jedne PLC ćelije (trafostanice), uprkos funkciji repeticije koju savremena pametna brojila električne energije podržavaju, budu u dometu sa svim ostalim korisničkim uređajima koji su instalirani u toj PLC ćeliji. Pored toga, RTS/CTS *(Request to Send/Clear to Send)* mehanizmi u PLC pristupnim mrežama su dosta neefikasni za pružanje usluga kao što su VoIP ili VoD. Navedeno su ograničenja za korišćenje CSMA protokola kao rešenja za PLC pristupnu mrežu. Svakako, CSMA protokol je dobro rešenje za primenu u PLC-LAN mrežama (LAN mrežama u okviru objekta realizovanim po unutrašnjim naponskim instalacijama). Ipak, ova disertacija je usmerena na PLC pristupnu mrežu, dakle na energetske vodove od trafostanice do objekta korisnika.

Token passing je dobro rešenje u sistemima komunikacije gde su spoljašnje smetnje niskog intenziteta, i tamo gde hijerarhija mreže plitka. Obzirom na veliki broj brojila električne energije (a svako brojilo je repetitor) na trafo-području, očigledno je

da je hijerarhija između PLBS i CPE duboka, odnosno da između PLBS i CPE postoji veći broj čvorova. Iz navedenog se zaključuje da token passing rešenje u PLC mreži može trpeti značajnu degradaciju performansi, odnosno rezultirati čestim gubicima tokena u složenom i smetnjama podložnom okruženju kakav je energetski vod. Pored toga, kašnjenje koje je karakteristično za token passing, bilo bi restriktivno za usluge u realnom vremenu, sa povećanjem broja hijerarhijskih nivoa.

Kombinacija polling i rezervacionog MAC mehanizma bi mogla pružiti efikasne rezultate za telekomunikacione kanale kakav je energetski vod. Rezervacioni deo MAC protokola bi mogao podržati prihvatljiv nivo džitera *(jitter)* i kašnjenja za pružanje usluge u realnom vremenu po PLC mreži. Takođe, aspekt duboke hijerarhije PLC mreže bi mogao biti prevaziđen obezbeđenjem dovoljnog propusnog opsega dostupnog u određenom vremenu za kritični saobraćaj na svakom nivou, što opet može da podrži mehanizam rezervacije. Polling mehanizam bi, s druge strane, mogao sprečavati izgladnjivanja nekog čvora u PLC mreži u slučaju prekomernog saobraćaja.

Očigledno je da bi se za adekvatnu primenu energetskih vodova za pružanje širokopojasnih telekomunikacionih servisa, kao što su servisi u realnom vremenu, morao osmisliti i definisati adekvatan MAC protokol, i to je jedan od pravaca istraživanja koji je pred naučnom zajednicom iz ove oblasti.

Kao polaznu osnovu svakako treba definisati skup polaznih pretpostavki za pristup kanalu u PLC mrežama zasnovanih na TDMA:

- PLBS dodeljuje vremenske slotove CPE -ima i ripiterima, koji su njegovi slejvovi. Dodela vremenskih slotova u frejmovima, gde je dužina frejma nekoliko vremenskih slotova.
- PLBS proziva ripitere kako bi dobio procenu količine saobraćaja u svojim respektivnim pod-mrežama i rezerviše vremensko trajanje zasnovano na ovim procenama.
- PLBS rezerviše i dodeljuje određene vremenske slotove za svaki CPE koji je neko vreme bio u *idle* stanju. Na ovaj način bi se sprečilo izgladnjivanje čvorova u slučaju gustog saobraćaja.
- PLBS rezerviše određene vremenske slotove i svaki put kada je čitava mreža u *idle* stanju, odnosno u momentima kada svi PLC elementi mreže mogu

proračunati nivo šuma. Ovo bi povećalo robustnost mreže dodelom prilika svim elementima mreže da imaju izvrše procenu količine šuma na PLC kanalu.

- CPE -ovi mogu napraviti zahtev za rezervaciju kojom, ako im se odobri od strane PLBS, dobijaju pristup kanalu na garantovano traženo vreme. Ovo bi podržalo implementaciju usluga u realnom vremenu, naročito prenosa govora.
- Ripiteri prosleđuju svaki zahtev za rezervacijom sa specificiranim trajanjem od svojih CPE-ova do PLBS. Dakle, kada takav zahtev stigne do PLBS, cela putanja kroz hijerarhiju je rezervisana da posluži CPE-ovim zahtevima u realnom vremenu. Ovoj proces je analogan procesu uspostavljanja poziva u konvencionalnoj telekomunikacionoj mreži.
- Potrebno je implementirati i mehanizam auto-konfiguracije MAC-a, koji bi mogao podržao izbegavanje interferencije od strane drugih PLC sistema.

S druge strane, ni jedan do sada poznati konvencionalni MAC protokol ne može izaći na kraj sa svim uzrocima smetnji i uticaja u okruženju PLC pristupne mreže. Robusni MAC protokol za pristupne PLC mreže mora sublimirati centralizovani pristup kako bi se izbegla međusobna interferencija PLC ćelija, rezervaciju resursa koji bi podržali odgovarajući nivo QoS na vodovima podložnim smetnjama i šumovima, i pouzdan mehanizam prozivanja koji bi obezbedio efikasno deljenje propusnog opsega.

Takođe, potrebno je definisati i adekvatan mehanizam multipleksiranja koji će se koristiti.

Najčešće korišćene konvencionalne šeme, odnosno tehnike višestrukog pristupa, a koje bi se mogle koristiti i u PLC sistemima su:

- FDMA *(Frequency division multiple access)* - višestruki pristup sa frekvencijskom raspodelom
- TDMA *(Time division multiple access)* - višestruki pristup sa vremenskom raspodelom, i
- CDMA *(Code-division multiple access)* - višestruki pristup tehnologijom proširenog spektra

U kanalima sa višestrukim pristupom, kakav je i energetski vod, isti fizički medijum se deli između više korisnika koji zahtevaju različite bitske brzine. Zbog

specifičnih karakteristika energetskog voda kao kanala za prenos telekomunikacionog saobraćaja, nemaju svi korisnici iste uslove na kanalu, protok varira od korisnika do korisnika. Navedeno predstavlja veliki problem za poznate šeme višestrukog pristupa koje vrše statičku dodelu pristupa kanalu (kao što je FDMA - *Frequency division multiple access*), s obzirom da kanal koji u nekom periodu vremena ima dobre uslove propagacije, već u sledećem trenutku izvesno neće biti pogodan za potrebne brzine prenosa, dok se kod susednog kanala može desiti obratno. Pokušaj PLBS (Master) da preraspodeli kanale kako bi izvršio prilagođenje novonastalim uslovima na mreži, za posledicu ima porast kontrolnog saobraćaja, što je takođe nepoželjno.

Šeme višestrukog pristupa koje se dinamički prilagođavaju kanalu i izbegavaju bespotrebno korišćenje sredstava, će izvesno biti preferirane u budućem istraživanju i definisanju adekvatnog tehničkog rešenja. U tom kontekstu, TDMA *(Time division multiple access)* se pojavljuje kao verovatno najbolji izbor, jer se svakom korisniku (CPE) može dodeliti maksimalna količina vremena, ali ako korisnik ne koristi svo dodeljeno vreme ono može biti iskorišćeno od strane drugog korisnika. Na primer, master (PLBS) može emitovati poruke kojima specificira redosled čvorova na prenosnom kanalu i maksimalan broj slotova dodeljenih svakom od čvorova, a kada čvor završi sa svojim prenosom on će na to ukazati sledećem čvoru na listi koji odmah može početi sa prenosom saobraćaja.

Pored nedostataka navedenih šema višestrukog pristupa, CDMA *(Code-division multiple access)* ima dodatni nedostatak, a to je da je protok između para čvorova ograničen zbog upotrebe proširenog koda *(spreading code)*), tako da nije moguće postići veliki protok između para čvorova u situaciji komunikacije od tačke do tačke (što je praktično slučaj u srednjenaponskoj mreži), ili ako su ostali čvorovi neaktivni (što se često može desiti u niskonaponskoj mreži), jer je PLC kanal ograničenog propusnog opsega. Takođe, sinhronizacija prilikom slanja saobraćaja od čvora na mrežu *(uplink)*, kada više čvorova emituje saobraćaj istovremeno je ključni problem.

Obzirom da po PLC mreži vrši prenos podataka iz više čvorova, koji simultano emituju signale na mrežu, FDMA i CDMA imaju dodatne negativne aspekte u pogledu blizu/daleko efekta. Naime, ako dva čvora na mreži istovremeno šalju signal jednake predajne snage prema nekom trećem čvoru, sa različitom udaljenošću od tog trećeg čvora, prijemni čvor na mreži će imati problem u detekciji signala od udaljenijeg

predajnog čvora, obzirom da će nivo signala koji stiže iz bližeg predajnog čvora biti jači. U zavisnosti od odnosa signal-šum, taj signal od udaljenijeg predajnog čvora se može detektovati kao šum. Ovaj problem se može prevazići kontrolom predajne snage, ali je to dodatni trošak u realizaciji sistema, a koji nije potreban u slučaju primene TDMA (*Time-division multiple access)*.

Kao što se može videti, osnovni kriterijum za izbor dvosmerne šeme višestrukog pristupa treba biti zasnovan na fleksibilnosti i maksimiziranju dostupnih resursa, obezbeđujući da resursi koji se ne koriste od strane jednog čvora mogu lako biti preraspoređeni na korišćenje drugom čvoru.

U pogledu podrške kvalitetu servisa (QoS) koji bi se pružali putem energetskog voda, fiksna raspodela frekvencija kod FDMA šeme, može biti problematična ako kapacitet kanala varira kao posledica promene impedanse kanala, slabljenja ili šuma, jer uslovljava gubitak vremena tokom prebacivanja na neki drugi frekventni opseg, a u tom vremenu nije zadovoljen QoS. U sistemu u kome je primenjena TDMA šema, periodični vremenski slot može biti dodeljen pojedinačnim korisnicima kako bi se podržali QoS zahtevi. U sistemima u kojima je primenjena CDMA šema, QoS je podržan kroz korišćenje različitih kodova za svakog korisnika.

U pogledu otpornosti na šumove i smetnje CDMA šema je verovatno najbolje rešenje jer multiplikacija proširenim kodom na prijemniku širi i smetnju na sve frekvencije. Sistemi u kojima je primenjena TDMA šema mogi iskusiti probleme u prisustvu impulsnog šuma koji mogu biti prevaziđeni korišćenjem zahteva za automatskim ponavljanjem *(ARQ – Automatic Repeat reQuest)*. S druge strane, primena FDMA šema može biti neadekvatna u prisustvu slučajnog šuma, koji može uticati na nemogućnost korišćenja određenih frekvencija, što za posledicu ima prebacivanje na neki drugi frekventni opseg za predaju.

7 ŠIROKOPOJASNE TELEKOMUNIKACIONE USLUGE U PRISTUPNOJ PLC MREŽI

U razvoju PLC sistema za prenos podataka velikom brzinama, osnovni izazov prenos pružanje multimedijalnih sadržaja preko niskonaponskih vodova uz zadovoljenje potrebnog kvaliteta u prenosu ovakve vrste saobraćaja [97]. S obzirom da se radi o realizaciji kanala za simultani prenos govora, standardnih i stereo audio signala, kao i video signala velike gustine (HD Video), uz pružanje i usluge standardnog prenosa podataka, multimedijalne PLC mreže i sistemi moraju biti dizajnirani na takav način da mogu zadovoljiti stroge zahteve u pogledu kvaliteta servisa (QoS) [98].

Kao osnovne vrste ciljnih multimedijalnih usluga za koje postoji potreba za pružanje preko niskonaponskih elektrodistributivnih vodova, i sa različitim izazovima koje treba rešiti u PLC okruženju, su VoIP i IPTV. Omogućavanje pružanja ovih usluga krajnjim korisnicima preko elektrodistributivne mreže, sa zadovoljavajućim kvalitetom usluge, predstavlja osnovu za diversifikaciju delatnosti elektrodistributivnih preduzeća [4], što će im omogućiti izlazak na tržište telekomunikacija u formi alternativnih telekomunikacionih operatora, odnosno obezbediti komparativnu prednost u odnosu na konvencionalne pružaoce telekomunikacionih usluga kroz objedinjavanje paketa isporuke električne energije i *Triple Play* širokopojasnih telekomunikacionih servisa [103].

Ako se razmotre zahtevi za kvalitetan prenos ovakvih vrsta saobraćaja, zaključuje se da VoIP podrazumeva prenos relativno malih paketa u trajanju od 10 milisekundi do 15 milisekundi, u dvosmernim, skoro simetričnim brzinama prenosa od oko 100 kbps, ali uz ograničenje da paketi moraju biti isporučeni sa izuzetno malim kašnjenjem reda svega par desetina milisekundi kako bi podržala interaktivnost govora, i priroda govorne komunikacije. Govorne aplikacije su u određenoj meri tolerantne na umerene učestanosti gubitka paketa i varijacije u kašnjenju paketa (džitere), pod uslovom da postoji spremnost za prihvatanje manje degradacije u kvalitetu glasa.

S druge strane, IPTV koristi veće brzine prenosa (od 1 Mbps do 4 Mbps), uz asimetrične zahteve vezane za protok. Pored toga, za zadovoljavajući subjektivni

doživljaj korisnika prenos saobraćaja mora obezbediti veoma mali džiter, uz skoro nultu stopu gubitka paketa. S obzirom da je IPTV *broadcast* usluga, odnosno usluga koja nije interaktivna, moguće je baferovati do nekoliko stotina milisekundi multimedijalnih podataka te obezbediti naknadnu reprodukciju u granicama koja je prihvatljiva za korisnika.

VoIP i IPTV su predstavljeni kao reprezentativni servisi različitih bazičnih zahteva u pogledu principa QoS, ali svakako mogu biti prošireni i translirani i na ostale multimedijalne sadržaje kao što je HDTV, audio servisi viskog kvaliteta, usluge video konferencije, multimedijalne igre, i ostale slične aplikacije.

7.1 VRSTE MULTIMEDIJALNIH SADRŽAJA ZA PRENOS PO ŠIROKOPOJASNOJ PLC MREŽI

U tabeli 7-1 su navedeni različiti multimedijalni sadržaji. Za svaki širokopojasnih servisa koji pružaju ove sadržaje, naveden je i zahtev u pogledu protoka i nivoa QoS. Predstavljeni su multimedijalni sadržaji koji se odnose na VoD, IPTV, prenos standardnog Internet saobraćaja, kao i interaktivne širokopojasne usluge kao što su VoIP, Video konferencija, ali i Gejming (eng. *Gaming*, igranje zahtevnih video igara u mrežnom okruženju).

7.1.1 Digitalni video

Digitalni video i digitalni audio signali u današnje vreme predstavljaju značajnu većinu saobraćaja na bilo kojoj vrsti telekomunikacione mreže. Nekadašnji formati digitalnog videa su se odnosile na digitalne formate video striminga različitih brzina i rezolucija, koji su korisnicima bili dostupni koristeći različite aplikacije kao što su *RealPlayer* ili *Microsoft Media Player*. Striming protokoli koje ove aplikacije koriste vrše prilagođenje dostupnom protoku primenom mehanizma baferske reprodukcije. Iste metode se i danas koriste kod IPTV prenosa preko Interneta. Danas su takođe dostupni DVD *(Digital Video Disk)* i HDTV formati, koji se koriste brzine prenosa od 5 Mbps do 25 Mbps, a mogu biti reprodukovani sa DVD uređaja, ili sa HDTV uređaja (kao što je *BlueRay*), ili pak reprodukovani preko PLC mreže sa nekog centralnog medijskog

servera, kao što je to slučaj kod VoD usluge *(Video on Demand)*. DVD i HDTV koriste tehnike kompresije zasnovane na MPEG-2 i MPEG-4 formatima razvijene od strane MPEG *(Motion Pictures Expert Group)*.

7.1.2 Skenirani fajlovi i digitalne fotografije

Skenirani fajlovi i digitalne fotografije predstavljaju drugu vrstu popularnog medijskog sadržaja za kojim postoji potreba prenosa preko PLC pristupne mreže. Digitalne fotografije napravljene digitalnim kamerama ili skenerima od nekoliko megapiksela, mogu biti skladišteni i na nekom centralnom uređaju na PLC mreži i distribuirani do korisnika za lokalnu reprodukciju. Svaka fotografija može imati veličinu od nekoliko megabajta i, na primer kontinuiran slide show takvih fotografija na lokalnom uređaju za reprodukciju multimedijalnog sadržaja (računaru, televizoru, itd.), ima značajan uticaj na performanse prenosa takvih podataka preko PLC mreže. Digitalne fotografije i skenirani fajlovi su često skladišteni u JPEG *(Joint Pictures Expert Group)* formatu ili GIF *(Graphics Interchange Format)* formatu.

7.1.3 Audio sadržaji– muzički i govorni sadržaji

Stereo muzički audio visokog kvaliteta je sledeća kategorija po zastupljenosti u prenosu saobraćaja preko PLC pristupne mreže. Veoma često su audio sadržaji sinhronizovani sa DVD ili HDTV prezentacijama, i telekomunikacionom mrežom se prenose simultano, bez značajnog džitera ili bilo kojih problema u sinhronizaciji slike i zvuka. U *broadcast* aplikacijama audio i video mogu biti baferovani, dekompresovani i potom reprodukovani u ispravnoj sekvenci, brzinom koja će obezbediti optimalan kvalitet usluge.

7.1.4 Interaktivni sadržaji - govor i video

Za razliku od prethodno navedenih usluga, usluge kao što su videokonferencija i VoIP zahtevaju dvosmernu interakciju između dva kraja komunikacije, uz zadovoljenje i određene subjektivne potrebe korisnika za prihvatljivim odazivom u interakciji. Za ovu vrstu aplikacija optimalno je rezervisati i koristiti različite kanale za svaki smer

razmene audio i video sadržaja. PLC širokopojasna mreža za pristup treba da podrži navedene zahteve za navedene servise, uz odgovarajuću kompresiju kako bi optimizovali protok i poboljšali interaktivnost u razmeni sadržaja.

7.1.5 Gejming i simulacije

Gejming i različiti simulatori zasnovani na principu umrežavanju više korisnika, pred PLC mrežu za pristup takođe postavljaju visoke zahteve u pogledu interaktivnosti, kvalitetu audio i video sadržaja. Neki simulatori i video igre imaju zahteve za prikazom video sadržaja skoro u realnom vremenu, ili u slučaju simulacija izuzetno kvalitetne grafičke sadržaje koji moraju biti učitani, reprodukovani i renderovani jednakom brzinom kojom se pokreće korisnik, što zahteva sinhronizaciju, interaktivnost i svojevrsnu prirodnost u prezentaciji sadržaja.

Aplikacija	Protok (Mbps)	Kašnjenje (ms)	Džiter	Verovatnoća gubitka paketa (PLP)
Video striming visoke definicije	11-25	100-300	Od 0,5 mikrosekundi do nekoliko milisekundi	Skoro bez greške *
TV standardne definicije (SDTV)	2-6	100-300	Od 0,5 mikrosekundi do nekoliko milisekundi	Skoro bez greške
IPTV	1-4	100-300	Od 0,5 mikrosekundi do nekoliko milisekundi	Skoro bez greške
Video DVD kvaliteta	6-8	100-300	Od 0,5 mikrosekundi do nekoliko milisekundi	Skoro bez greške
Internet video konferencija	0,1-2	75-100	10-30 ms	10^{-3}
VoIP	< 0,064	10-30	10-30 ms	10^{-2}
Gejming	< 0,1	10-30	10-30 ms	Skoro bez greške

* manje od jedne greške u periodu od dva sata

Tabela 7-1 Protok i QoS zahtevi za multimedijalne aplikacije

7.2 ZAHTEVI ZA KVALITETOM USLUGE (QOS) KOD PRUŽANJA MULTIMEDIJALNOG SAOBRAĆAJA

Za svaki od identifikovanih multimedijalnih sadržaja predstavljenih u tabeli 7-1 prikazana su četiri najznačajnija parametra koji se koriste za određivanje kvaliteta usluge (QoS), a to su: protok, gubitak paketa, kašnjenje, i džiter.

7.2.1 Protok

Multimedijalni saobraćaj, kao što je video ili govor najbolje se prenosi kada je obezbeđen garantovani protok koji obezbeđuje realizaciju maksimalne očekivane bitske brzine bez zagušenja. Na primer, tradicionalna TDM obezbeđuje fiksnu dodelu protoka koji podržava standardnu telefoniju sa nekompresovanim glasom zauzimajući 64 kbps, i video zasnovan na ISDN-u koji zahteva nekoliko kanala po 64 kbps. Kako bi se obezbedio zahtevani QoS, u deljenoj mreži, kakav je Internet ili LAN zasnovan na Ethernetu, realizovanoj po bežičnoj infrastrukturi ili PLC mreži, neophodna je dodela protoka multimedijalnom saobraćaju, kao i sofisticirani mehanizam kontrole pristupa kanalima i upravljanja zagušenjem.

Kako bi preko PLC mreže bilo moguće pružati identifikovane širokopojasne usluge (HDTV, IPTV i VoIP, i druge navedene), i pored mehanizama dodele protoka, kontrole pristupa i upravljanja zagušenjem, neophodno je primarno obezbediti maksimalan protok, s obzirom na spektralna i regulatorna ograničenja.

Trenutno dostupna PLC tehnologija podržava brzine prenosa podataka do 200 Mbps u frekvencijskom opsegu od 2-30 MHz, pri čemu se može očekivati da realan protok bude do 90 Mbps, zbog implementacije predloženih mehanizama upravljanja pristupom, greškama, kao i specifičnostima MAC protokola.

7.2.2 Gubitak paketa i kašnjenje

Na kašnjenje paketa koji se prenose PLC kanalom utiče kašnjenje u obradi i prenosu signala, kao i potreba za ponovnim slanjem paketa (retransmisija paketa), koja i dominira u ukupnom kašnjenju. Čak i nakon primene FEC mehanizama PLC kanal i dalje može imati gubitke paketa u nivou 1 od 100, ili čak i više. Kao bi se postigao „*Quasi error free*" nivo, koji podrazumeva BLER *(Block Error Rate)* u nivou 10^{-10}, a što je potrebno da bi se dostigao potrebni nivo QoS za neke od multimedijalnih aplikacija, može biti potrebno i do 5 retransmisija.

Aplikacije kao što su HDTV, SDTV ili striming muzičkog sadržaja, dozvoljavaju početno kašnjenje u opsegu 100-300 milisekundi, te se ovo vreme može iskoristiti za potrebne retransmisije.

Interaktivne aplikacije kao što su Gejming, VoIP i video konferencije, koje ne mogu tolerisati ovako veliko kašnjenje, morale bi izbaciti ili izvršiti zamenu izgubljenih paketa, a to neizbežno vodi degradaciji kvaliteta usluge.

7.2.3 Džiter

Džiter je termin koji opisuje varijaciju u kašnjenju koja može da uzrokuje neželjene efekte u multimedijalnom saobraćaju. Razmotrimo, na primer, slučaj HDTV prenosa u kojem se inicijalno kašnjenje od 300 milisekundi koristi za prilagođenje (smeštaj) paketa koje je potrebo retransmitovati.

Ako bi svi paketi (baferovani i reprodukovani) zakasneli sa identičnim kašnjenjem od 300 milisekundi u odnosu na početak transmisije prvog paketa koji se reprodukuje, onda će džiter biti tačno nula. U praksi, poželjna vrednost džitera kod ovakvih aplikacija je oko 500 nanosekundi, te multimedijalni PLC sistem treba da podrži ovu vrednost džitera.

8 REGULATORNI ASPEKT IMPLEMENTACIJE ŠIROKOPOJASNE PLC TEHNOLOGIJE I SISTEMA

Pored tehničkih izazova koji su postavljeni pred PLC sistem, odnosno korišćenje energetskih vodova za prenos podataka (telekomunikacionih signala), važan aspekt predstavlja i regulatorni tretman PLC tehnologije. Kao što je navedeno u prethodnim poglavljima, PLC komunikacija se može podeliti na uskopojasnu i širokopojasnu.

Uskopojasna PLC komunikacija na globalnom planu koristi nekoliko frekvencijskih opsega, koji su svi u kHz frekvencijskom području. U Evropi se za uskopojasnu PLC komunikaciju koristi CENELEC frekvencijski opseg, koji je određen standardom EN 50065-1, sa frekvencijama od 3 kHz do 148,5 kHz. Od strane američke federalne komisije *(Federal Communications Commission)*, za PLC komunikaciju u FCC opsegu su odobrene frekvencije od 10 kHz do 490 kHz, dok su od strane komisija za standardizaciju u Japanu i Kini, odobreni frekvencijski opsezi od 10 kHz do 450 kHz i od 3 kHz do 500 kHz, respektivno. Dakle, u zavisnosti od istorijskog uticaja i specifičnih tehničkih rešenja, odobreni opsezi su u upotrebi mahom na pomenutim geografskim područjima.

Odobreni opsezi i frekvencijska područja uglavnom omogućavaju bitske brzine dovoljne da podrže zahteve daljinskog očitavanja i upravljanja brojilima električne energije. Porast količine podataka koji se razmenjuje između pametnih brojila električne energije i centra upravljanja, kao i strategije diversifikacije usluga koje elektrodistribucije mogu ponuditi na liberalizovanom tržištu telekomunikacija [4], usmerili su razmišljanja i razvoj komunikacija na više frekvencije i širi frekvencijski opseg.

U tom svetlu, pojava širokopojasnog PLC -a (ŠPLC ili BPL – *Broadband Power Line*) na frekvencijama od 1,6 MHz do 30 MHz, upravo stvara uslove za dostizanje brzina prenosa koje će podržati pružanje širokopojasnih servisa po energetskim vodovima, čime bi elektrodistributivne kompanije mogle ponuditi još jednu alternativu postojećim operatorima koji svoje usluge pružaju preko konvencionalne telekomunikacione infrastrukture.

Međutim, iako je BPL u određenoj meri zastupljen kroz In-Home aplikacije i ograničenu implementaciju u pristupnoj ravni (pilot projekti koji treba da ukažu na rezultate primenjenih tehnika modulacije i MAC protokola koji će omogućiti zadovoljavajući nivo QoS za širokopojasne usluge), još uvek nije definisan regulatorni okvir za primenu ŠPLC tehnologije.

Regulatorni problem primene ŠPLC se ogleda u interferenciji sa drugim sistemima u opsezima koji su dodeljeni drugim korisnicima frekvencijskog spektra. Kao što je već opisano, ŠPLC sistemi se mogu podeliti na ŠPLC sisteme koji koriste niskonaponske električne instalacije u okviru objekta za formiranje ŠPLC komunikacione LAN mreže *(In-door)*, i ŠPLC mrežu za pristup, koja koristi niskonaponsku (ili srednjenaponsku) električnu mrežu za prenos signala između trafostanice (ili nekog drugog čvora na mreži) do objekta korisnika. Ova dva pomenuta sistema koriste i različite frekvencije. Sistemi namenjeni za ŠPLC komunikaciju u okviru objekata se koriste frekvencije od 1,6 MHz do 16 MHz, dok sistemi za ŠPLC pristup koriste frekvencije od 16 MHz do 30 MHz.

Naime, prilikom prenosa signala neke frekvencije kroz energetski vod, on se ponaša kao antena koja u okolni prostor emituje signal te iste frekvencije. Jačina emisije je direktno proporcionalna frekvenciji i amplitudi signala koji se prenosi kroz energetski vod. S obzirom da se kod ŠPLC -a govori o frekvencijama koje su van standardom odobrenog frekvencijskog opsega za PLC komunikaciju, ŠPLC emisija u okolni prostor vrši interferenciju sa signalima sistema koji koriste taj frekvencijski opseg. Kod ŠPLC sistema za pristup, ovaj problem je izraženiji kod neizolovanih energetskih vodova, dok je kod podzemnih energetskih vodova najmanje izražen. Takođe, *In-door* ŠPLC sistemi nemaju značajno izražen navedeni problem interferencije obzirom na se električne instalacije nalaze u zidovima objekata, i amplitude signala koji se prenose kroz njih su značajno manje nego kod ŠPLC sistema za pristup.

Dakle, ono što je neophodno uraditi u bliskoj budućnosti, a što je zadatak Međunarodne telekomunikacione unije *(ITU - International Telecommunication Union)* i nacionalnih regulatornih tela je arbitrirati i zvanično odobriti delove navedenog spektra za upotrebu od strane elektrodistributivnih kompanija u svrhu ŠPLC komunikacije, kao i definisati dovoljan nivo amplitude signala za pružanje širokopojasnih usluga sa zadovoljavajućim QoS.

Upravo je Međunarodni Pravilnik o radio-komunikacijama osnovni dokument ITU, koji na svetskom nivou reguliše ovu oblast. [84]

Uzimajući u obzir regulatorne propise navedene u Međunarodnom Pravilniku o radio-komunikacijama, te Ustav i Konvencije ITU, nacionalne regulative na nacionalnim nivoima, donose planove namene radio-frekvencijskih opsega, kao i odgovarajuće pravilnike koji regulišu rad radio-difuznih stanica na nacionalnoj teritoriji.

Planom namene u Republici Srbiji, u opsegu od 1,6 MHz do 30 MHz, što je predmet interesa ŠPLC komunikacije, su dodeljene frekvencije za sledeće namene, odnosno korisnike [85]: pomorski saobraćaj, posebne delatnosti – vojska, radio-lokacija, radio-amateri, hidro-meteorologija, ribarstvo, vazdušni saobraćaj, hitne službe, organi unutrašnjih poslova, radio-difuzija, železnički saobraćaj, telefonija-pozivanje spasilačkih centara,…

Kao što se može videti, delovi ovog frekvencijskog spektra su već dodeljeni određenim korisnicima u namene koje su od strateškog interesa za svaku nacionalnu zajednicu. S tim u vezi, pred ITU i pred nacionalnim regulatornim telima je zadatak da pronađu regulatorni okvir i za ŠPLC tehnologiju, kao redundantnu tehnologiju, i još jedan zamajac razvoja IT sektora i IT tržišta na globalnom nivou.

9 PREDLOG PROJEKTA IMPLEMENTACIJE ŠIROKOPOJASNOG PLC KOMUNIKACIONOG SISTEMA U ELEKTROENERGETSKOJ MREŽI EPS DISTRIBUCIJE U REPUBLICI SRBIJI

9.1 OPIS I CILJ PROJEKTA

Operator distributivnog sistema „EPS Distribucija“ (u nastavku EPS Distribucija) će realizacijom projekta multiservisne mreže sa PLC (Power Line Communications) baziranim pristupom korisnicima, implementacijom ove vrste komunikacionog sistema obezbediti polazne pretpostavke za realizaciju komercijalnih PLC sistema u Republici Srbiji, sa aspekta zakonske regulative i primenjivosti sistema za realizaciju pristupne platforme koja obezbeđuje integrisan pristup različitim telekomunikacionim servisima, uključujući širokopojasne - *"triple-play"* usluge, kao i uskopojasni i širokopojasni prenos podataka za potrebe "energetskih" i automatizacijskih aplikacija.

Ovaj projekat, zajedno sa studijama iz oblasti PLC tehnologija koje su urađene ili su toku u EPS distribuciji, treba da posluži kao osnova nadležnim institucijama u Republici Srbiji (RATEL), te menadžmentu i Nadzornom odboru EPS Distribucije za donošenje odluka po pitanju šire komercijalne upotrebe i korištenja širokopojasnih PLC tehnologija u Republici Srbiji i EPS Distribuciji.

Pošto je reč o širokopojasnoj tehnologiji koja se prvi put primenjuje u Republici Srbiji, a koja podleže zakonskoj regulativi iz oblasti elektronskih komunikacija, projekat će se odvijati u skladu sa uputstvima i zahtevima nadležnih institucija, a prvenstveno Republičke agencije za elektronske komunikacije i poštanske usluge (u nastavku RATEL). Kroz projekat će se posebno pokazati da se radi o opremi i sistemu u skladu sa osnovnim odredbama Zakona o elektronskim komunikacijama, vezanim za rad i instalaciju telekomunikacione opreme i mreže namenjene za međupovezivanje sa javnim telekomunikacionim mrežama, ili za pružanje telekomunikacionih usluga, odnosno da su u skladu sa priznatim savremenim dizajnom i funkcionalnostima po

pitanju:

- bezbednosti rada u mreži
- integriteta mreže
- interoperativnosti usluga
- uslova priključenja terminalne opreme.

te da je ova tehnologija konkurentna sa drugim komercijalnim pristupnim tehnologijama baziranim na pristupu po bakarnim kablovima i bežičnom pristupu, sa aspekta kvaliteta i integracije servisa.

Konkretni ciljevi realizacije projekta su:

1. Testiranje i verifikacija karakteristika širokopojasne PLC tehnologije sa stanovišta:
   - ✓ mogućnosti pružanja različitih tipova širokopojasnih servisa u lokalnoj pristupnoj mreži i QoS parametara koje mreža podržava
   - ✓ uticaja elektromagnetne prirode
   - ✓ koegzistencije različitih PLC mreža (kućna – *indoor*, pristupna - *access*, uskopojasna),
2. Utvrđivanje primenljivosti niskonaponske mreže EPS Distribucije za realizaciju širokopojasne PLC mreže,
3. Ispitivanja i verifikacija karakteristika širokopojasne PLC opreme / sistema vezana za definisanje zakonske regulative,
4. Ispitivanje uticaja rada širokopojasnih PLC sistema na kvalitet električne energije

9.2 KONCEPT REALIZACIJE PROJEKTA

Realizacija projekta uključuje sledeće osnovne elemente:

- ✓ Izgradnja širokopojasne PLC pristupne mreže po niskonaponskoj u EPS

distribuciji, na distributivnom području Beograd (DP Beograd)

- ✓ Realizacija širokopojasnih servisa za korisnike PLC mreže,
- ✓ Praćenje rada i verifikacija karakteristika širokopojasne PLC opreme i sistema sa aspekta kvaliteta servisa i elektromagnetnog zračenja u periodu trajanja projekta.

EPS Distribucija za realizaciju projekta treba da obezbedi vlastita sredstva. Međutim, imajući u vidu značaj i revolucionarnu ulogu širokopojasne PLC tehnologije u segmentu integrisanog korisničkog pristupa i kućne mreže, te znajući da se radi o tehnologiji koja se prvi put koristi u Republici Srbiji za navedenu namenu, očekuje se da će proizvođači širokopojasne PLC opreme biti zainteresovani za prezentaciju ove tehnologije i svojih proizvoda na novom tržištu ponuditi i obezbediti i vlastito učešće u troškovima realizacije projekta, očekivanog iznosa do 50% vrednosti projekta.

Predviđeno vreme trajanja projekta je 3 meseca, računajući od dana ispunjenja sledećih uslova:

- ✓ izvršena prijemna merenja i testiranja na širokopojasnom PLC sistemu,
- ✓ obezbeđeni servisi,
- ✓ izvršeno priključenje minimalno 70% od predviđenog broja korisnika.

Ukoliko se u periodu od 1 meseca od ispunjenja prva dva uslova ne obezbedi zahtevani broj korisnika, projekat će početi da teče od ovog datuma, sa redukovanim brojem korisnika. Projekat se može produžiti ukoliko EPS Distribucija zaključi da je potrebno dodatno vreme za testiranje opreme, ili ukoliko dođe do zastoja u realizaciji projekta iz bilo kog opravdanog razloga, ili na zahtev RATEL-a ili drugih nadležnih institucija.

Saglasnost ili privremenu saglasnost RATEL-a za realizaciju i rad testnih širokopokasnih PLC mreža obezbediće EPS Distribucija, na osnovu prateće dokumentacije koja će biti isporučena uz opremu, te projektne dokumentacije. Za potrebe radova na ugradnji PLC opreme i realizaciji širokopojasne PLC mreže potrebno je angažovati eksternu kompaniju (Izvođača projekta) koji je licenciran za obavljanje poslova izgradnje elektroenergetske i telekomunikacione mreže. Za ovo ne postoje prepreke, obzirom da u Republici Srbiji postoji značajan broj kvalifikovanih

izvođača radova koji već imaju ugovore sa EPS Distribucijom, ali i sa telekomunikacionim operaterima. U tom smislu, potrebno je sprovesti javnu nabavku za navedene usluge. Ova javna nabavka može uključiti i isporuku specificirane širokopojasne PLC opreme.

U okviru izgradnje širokopojasne PLC mreže predviđeno je povezivanje PLC segmenata sa telekomunikacionim sistemom EPS Distribucije, preko bežičnog – radio linka velike brzine, te realizacija servisa za korisnike unutar EPS Distribucije. Servise će realizovati EPS Distribucija korišćenjem vlastitih telekomunikacionih resursa (osoblje i oprema), kao i očitavanje brojila kroz širokopojasnu pristupnu PLC mrežu.

Servise za korisnike izvan EPS Distribucije u potpunosti treba da obezbedi odabrani Izvođač projekta, samostalno ili u saradnji sa drugim firmama (mrežnim operatorima, provajderima Internet usluga...).

EPS Distribucija u ovom segmentu Izvođaču može da obezbedi sledeće vidove podrške:

- ✓ mogućnost korišćenja postojećeg telekomunikacionog sistema EPS Distribucije u svim njegovim segmentima
- ✓ mogućnost korišćenja infrastrukture EPS Distribucije (elektrodistributivna mreža mreža, stubovi i dr.)
- ✓ mogućnost angažmana osoblja EPS Distribucije – Centra za IKT i Direkcije za podršku tržištu i smanjenje gubitaka na aktivnostima u realizaciji projekta

U periodu trajanja projekta odabrani Izvođač treba da vrši kontinuirano praćenje performansi i QoS parametara širokopojasnog PLC sistema i arhiviranje podataka.

Takođe, Izvođač mora vršiti sva merenja / testiranja u PLC mreži, koja u periodu trajanja projekta budu neophodna u cilju utvrđivanja i otklanjanja smetnji / kvarova / degradacije servisa ili u cilju otklanjanja smetnji prema drugim sistemima.

Po isteku projekta Izvođač će izraditi finalni izvještaj o rezultatima projekta.

9.3 PREDMET I CILJ PROJEKTA

Predmet i cilj projekta je realizacija projekta multiservisne pretplatničke mreže po niskonaponskoj mreži EPS Distribucije na bazi širokopojasnih PLC sistema, koja uključuje tri osnovne celine definisane u nastavku.

9.3.1 Izgradnja PLC pristupne mreže po niskonaponskoj mreži DP Beograd.

Izgradnja PLC pristupne mreže po niskonaponskoj mreži EPS Distribucije, na DP Beograd, planira realizaciju tri PLC ćelije / segmenta, na teritoriji koju napajaju tri trafostanice: B-474, V-296 i Z-938, sa po dvadeset (20) korisnika po ćeliji, te realizaciju očitavanja brojila električne energije kroz širokopojasnu pristupnu PLC mrežu, za po pet (5) brojila u svakom od segmenata. Ovaj segment uključuje:

1. Isporuku opreme:

- CPE *(Customer Premises Equipment)* uređaji na lokaciji korisnika,
- PLC adapteri, za povezivanje u mreži unutar objekta na lokaciji DP Beograd,
- PLC modemi, za povezivanje u pristupnoj mreži,
- Oprema NN (niskonaponske) PLC pristupne mreže,
- Pristupne tačke *(HE-engl. Head End)*,
- Dodatna oprema po potrebi (gateway uređaji / regeneratori...),
- Oprema za povezivanje sa telekomunikaciom sistemom EPS Distribucije preko radio linka velike brzine:
    - access point sa usmerenom antenom i pripadajućim elementima
    - optički ethernet konvertori / *"extender"*-i
- Oprema za očitanje brojila kroz širokopojasnu PLC mrežu:
    - pametna brojila električne energije

- registratori / koncentratori za prikupljanje podataka o očitanjima brojila električne energije,
- računarska oprema i aplikacija za očitanje podataka sa brojila,
- širokopojasni PLC modemi za prenos očitavanja sa brojila električne energije.

- Sistem upravljanja za PLC opremu,
- Prateći materijal i dokumentacija za svu opremu koja je predmet instalacije,
- Sva druga oprema i materijal za koje se u fazi dizajna, projektovanja i / ili realizacije utvrdi da je neophodna za korektno funkcionisanje opreme i sistema.

2. Izvršenje usluga:

- Obuka osoblja EPS Distribucije o osnovama širokopojasne PLC tehnologije i opreme koja će se koristiti u realizaciji projekta;
- Dizajniranje/projektovanje i izrada projektne dokumentacije za realizaciju svakog od segmenata;
- Instalacija, konfiguracija i puštanje u rad isporučene PLC opreme, uključujući i podršku na realizaciji servisa za korisnike EPS Distribucije;
- Prijemna merenja električnih karakteristika, odnosno karakteristika relevatnih za elektromagnetnu kompatibilnost, kao i merenja / testiranja QoS parametara u mreži i izrada zapisnika / protokola o izvršenim merenjima.

9.3.2 Realizacija servisa za korisnike PLC mreže

U ovom segmentu potrebno je da se obezbede sledeće usluge na realizaciji servisa za eksterne korisnike PLC mreže:

- Pribavljanje potrebnih dozvola/saglasnosti za realizaciju servisa od RATEL-a i drugih nadležnih institucija;
- Odabir korisnika;
- Obezbeđenje terminalne opreme na lokaciji korisnika (IP set-top box i sl);
- Realizacija Internet pristupa za eksterne korisnike PLC mreže;
- Realizacija priključaka mreže govornih telefonskih usluga za eksterne korisnike PLC mreže;
- Realizacija *"streaming video"* usluga (IPTV, VOD) za eksterne korisnike PLC mreže;

Dodatno, za 5 od odabranih 20 korisnika u svakoj PLC ćeliji potrebno je izvršiti zamenu postojećih brojila novim brojilima, kao i realizovati očitanje ovih brojila preko širokopojasnog PLC sistema na pristupnom nivou, za potrebe EPS Distribucije.

9.3.3 Praćenje rada i verifikacija karakteristika PLC opreme i sistema

U delu praćenja i verifikacije rezultata projekta, potrebno je da se obezbede sledeće usluge:

- Merenja i arhiviranje QoS parametara i performansi u mreži;
- Merenja / testiranja elektromagnetnih smetnji i uticaja;
- Izrada izveštaja o rezultatima realizacije projekta;

9.4 PODACI O NISKONAPONSKOJ MREŽI

Projekat PLC mreže potrebno je da se realizuje po niskonaponskoj EPS Distribucije, na DP Beograd. Osnovu elektrodistributivne mreže koja je predmet ovog projekta čine TS 10/0,4 kV sa srednjenaponskim i niskonaponskim izvodima iz ovih trafostanica.

Ovim predlogom projekta su obuhvaćena tri trafopodručja. Kao reprezentativni primeri su odabrane tri trafostanice, svaka sa specifičnim tipom mreže, brojem deinica mreže i brojem i karakterom potrošača. Trafostanica B-474 je gradska trafostanica, u pogonu Beograd, sa 4 izvoda i isključivo kablovskom, podzemnom mrežom. Trafostanica napaja 201 potrošača u objektima kolektivnog stanovanja. Trafostanica V-296 je gradska trafostanica, sa 10 izvoda, locirana na području koje pokriva pogon Banovo Brdo. Mreža je kombinovana, podzemno-nadzemna. Napaja se ukupno 304 potrošača, u objektima kolektivnog i individualnog stanovanja. Kao treći primer, odabrana je trafostanica Z-938, locirana u prigradskoj sredini pogona Zemun, sa 10 izvoda, dužinom mreže od 4.564 metra i ukupno 165 potrošača. Mreža je uglavnom nadzemna, sa velikim brojem deonica (otcepa) i prelazima između različitih preseka provodnika i vrste materijala od kojih su provodnici napravljeni.

U svim trafostanicama, priključni niskonaponski kablovi od transformatorske stanice do mesta priključka potrošača su četverožilni, različitih preseka, dok su priključci kod potrošača realizovani kao monofazni (cca 80% domaćinstava) i trofazni (cca 20% domaćinstava). U zgradama, brojila su raspoređena po spratovima, u spratnom mernom ormaru (MO) ili su koncentrisana na jednom mestu u Glavnom razvodnom mernom ormaru (GRMO), a u objektima inidividualnog stanovanja su smeštena u izmeštenim MO, na stubu na javnoj površini (ispred objekta).

Osnovni podaci o pojedinačnim segmentima niskonaponske mreže koji će se koristiti za realizaciju pristupne PLC mreže i njeno povezivanje sa kičmom telekomunikacionog sistema EPS Distribucije su dati u narednim delovima ovog poglavlja.

S obzirom da ne postoje raspoloživi podaci o karakterističnim vrednostima slabljenja, impedanse i dr. za niskonaponske vodove na kojima se realizuje PLC mreža, potrebno je u cilju implementacije i prikupljanja odgovarajućih podataka:

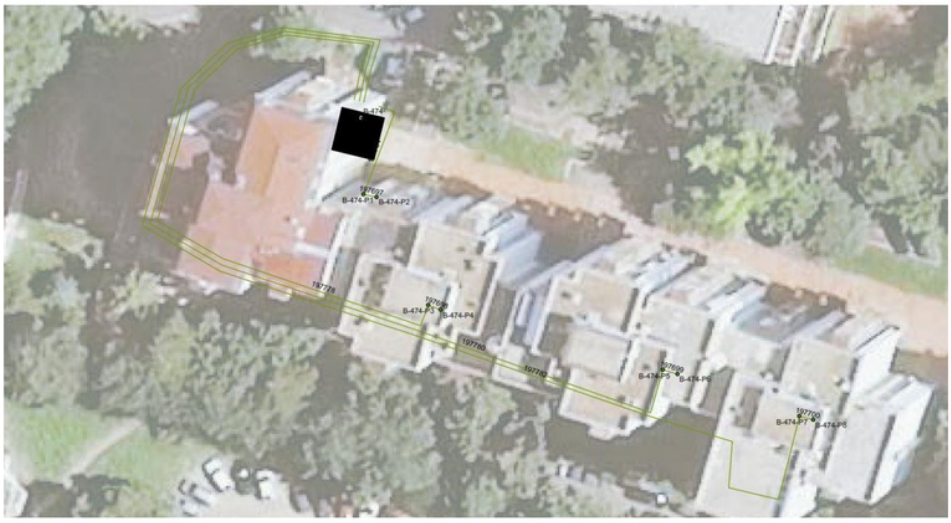
- izvršiti obilazak lokacija i merenja, pa na osnovu dobijenih rezultata odabrati dodatnu opremu neophodnu za kvalitetan prenos na specificiranim deonicama ili
- izvršiti procenu dodatne opreme neophodne za kvalitetan prenos na specificiranim deonicama na osnovu podataka o osnovnim

karakteristikama mreže.

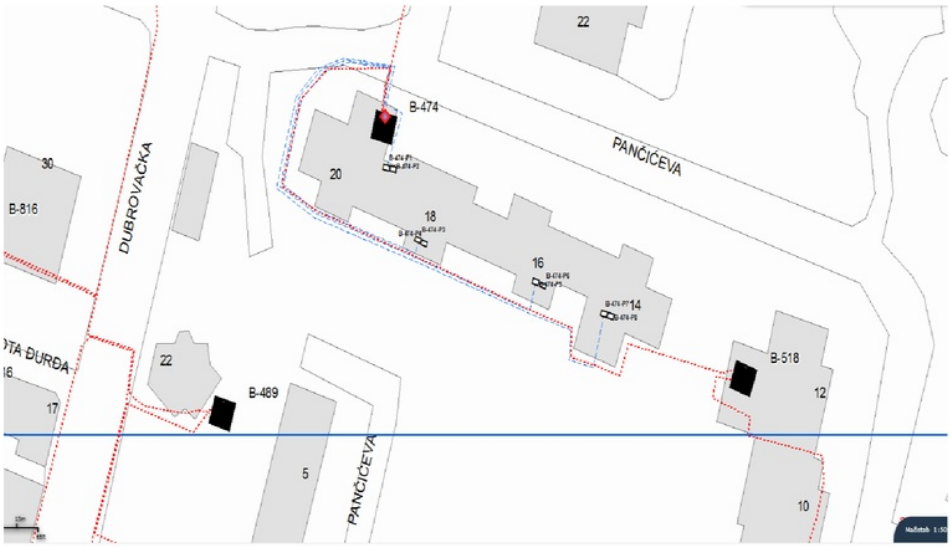
9.4.1 Niskonaponska mreža B-474

U ovoj sekciji je data jednopolna šema mreže trafodtsnice 10/0,4 kV/kV B-474. Trafostanica ima 4 niskonaponska izlaza sa kojih se napaja blok zgrada na Dorćolu (pogon Beograd). Trafostanica sa pripadajućom niskonaponskom mrežom je izgrađena 2008. godine. Snaga transformatora je 630 kVA. Merenje u trafostanici je poluindirektno, sa strujnim mernim transformatorima (SMT) prenosnog odnosa 1000/5 A.

Na slikama 9-1, 9-2 i 9-3 je prikazana šema niskonaponske kablovske mreže TS B-474, ukupne dužine 352 metra. Priključci su realizovani kablovima tipa PP00, kojima se ukupno 201 potrošač, od čega su 182 domaćinstva i 19 komercijalnih potrošača, od čega 1 veći industrijski potrošač.



Slika 9-1 Niskonaponska mreža TS B-474 (GIS prikaz)



Slika 9-2 Niskonaponska mreža TS B-474 (TIS prikaz)

Tabela 9-1 prikazuje strukturu mreže TS B-474, sa brojem izvoda, brojem deonica, vrstom i presekom kablovskog izvoda, dužinama deonica i izvoda, kao i brojem potrošača po deonici i po izvodu:

Izvod	ID Deonice	Tip deonice	Vrsta kabla i presek	Dužina deonice (m)	Broj potrošača po deonici	Dužina izvoda (m)	Broj potrošača po izvodu
I	197784	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	12,1	53	13,6	54
	197697	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	1,5	1		
II	197778	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	79,7	47	81,2	47
	197698	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	1,5	neaktivna		
III	197699	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	1,8	2	115,1	53
	197780	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	113,4	51		
IV	197782	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	142,5	47	144,2	47
	197700	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	1,7	neaktivna		

Tabela 9-1 Podaci o strukturi niskonaponske mreže TS B-474



Slika 9-3 Niskonaponska Mreža TS V-474 (deonice kablovskih vodova)

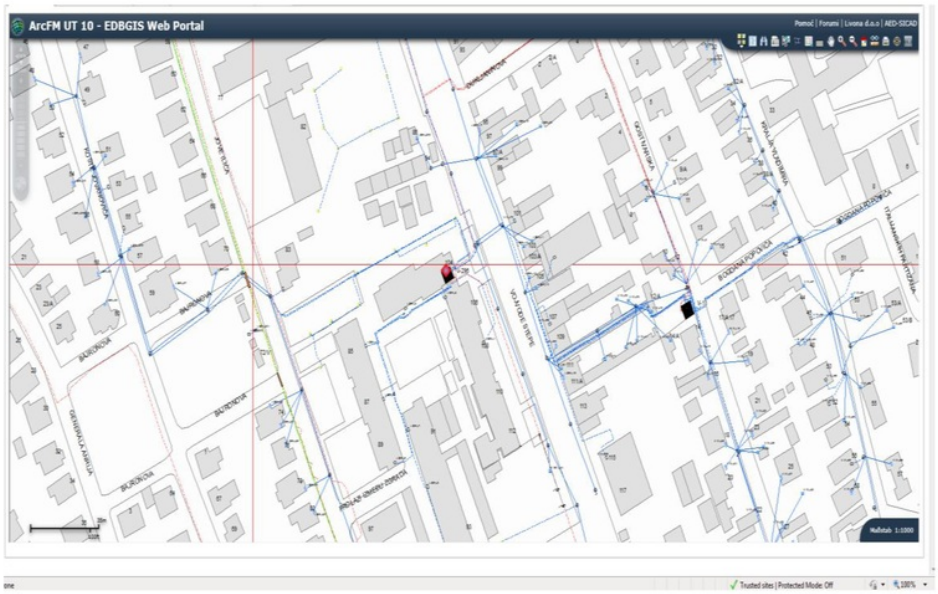
9.4.2 Niskonaponska mreža TS V-296

U ovoj sekciji je data jednopolna šema niskonaponske mreže TS V-296, sa osnovnim podacima o elementima trafostanice i niskonaponskim izvodima. Trafostanica ima 10 niskonaponska izlaza sa kojih se napajaju stambene zgrade i kuće na Banjici (pogon Banovo Brdo), od kojih se jedan (izvod br. 5) ne koristi. Trafostanica sa pripadajućom niskonaponskom mrežom je izgrađena 2008. godine. Snaga transformatora je 1000 kVA. Merenje u trafostanici je poluindirektno, sa strujnim mernim transformatorima (SMT) prenosnog odnosa 1500/5 A.

Na slikama 9-4, 9-5, 9-6 i 9-7 je prikazana šema NN kablovske mreže TS V-296, čija je ukupna dužina 1.939 metara. Priključci su realizovani kombinovanom kablovsko/nadzemnom mrežom, kojom se ukupno napaja 304 potrošača, od čega su 276 domaćinstva i 38 komercijalnih potrošača (poslovnih prostora različčitih namena).



Slika 9-4 Niskonaponska mreža TS V-296 (GIS prikaz)



Slika 9-5 Niskonaponska mreža TS V-296 (TIS prikaz)

Od devet niskonaposkih izvoda preko kojih se napajaju poslovni potrošači i domaćinstva, pet je kablovskih, a četiri su kombinovana izvoda koji se koriste i za javnu rasvetu, kao i za napajanje korisnika u privatnim kućama. Deo mreže na ovim izvodima realizovan je nadzemnim provodnicima SKS (samonosivi kablovski snop) i Al-Fe (vazdušni neizolovani vodovi).



Slika 9-6 Niskonaponska mreža TS V-296 (niskonaponski izlazi)



Slika 9-7 Niskonaponska mreža TS V-296 (grananje mreže)

Na slici 9-7 su prikazane neke od deonica izvoda VIII i izvoda IX, kojima se napajaju domaćinstva u objektima individualnog stanovanja. Primetan je veliki broj otcepa mreže. Generalni, priključak za svaku kuću je realizovan posebnim nadzemnim vodom sa najbližeg stuba. Na mestu svakog otcepa, sa aspekta prenosa PLC signala dolazi do pojave refleksije i slabnjenja signala, zbog neusaglašenosti impedase (različite vrste preseka provodnika, a često i materijala od kojih su provodnici napravljeni).

Tabela 9-2 prikazuje strukturu mreže TS V-296, sa brojem izvoda, brojem i tipom deonica, vrstom i presekom provodnika, dužinama deonica i izvoda, kao i

brojem potrošača po svakom aktivnom izvodu:

Izvod	ID Deonice	Tip deonice	Vrsta provodnika i presek	Dužina deonice (m)	Dužina izvoda (m)	Broj potrošača po izvodu
I	201926	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	44,7	44,70	14
II	201925	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	10,8	10,77	24
III	201867	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	85,9	178,49	48
	201865	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	36,4		
	201868	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	25,2		
	201872	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	29,9		
	201870	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	1,1		
IV	201862	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	69,7	75,64	35
	201866	1 kV podzemna	PP00 4x25	5,9		
V	neaktivan					
VI	201858	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	27,6	57,02	36
	201861	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	2,6		
	201859	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	26,8		
VII	202107	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	18,6	259,50	41
	202077	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	15,4		
	202057	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	27,8		
	202069	1 kV nadzemna	4x16	6,3		
	202068	1 kV nadzemna	4x16	6,2		
	201936	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	26,9		
	202065	1 kV nadzemna	Cu 4x6	11,9		
	202078	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	29,6		
	202073	1 kV nadzemna	Cu 4x10	9,2		
	202072	1 kV nadzemna	Cu 4x10	34,6		
	202074	1 kV nadzemna	Cu 4x10	23,6		
	202075	1 kV nadzemna	Cu 4x10	10,9		
	204917	1 kV nadzemna	2x16	38,6		
VIII	202108	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	17,6	289,98	34
	202076	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	14,2		
	202070	1 kV nadzemna	4x16	15,1		
	202071	1 kV nadzemna	4x16	17,8		
	201928	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	84,7		
	201934	1 kV nadzemna	4x16	11,5		
	202080	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	32,3		
	204918	1 kV podzemna	PP00 4x25	31,2		
	201933	1 kV podzemna	PP00 4x25	13,9		
	202079	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	29,3		
	201930	1 kV nadzemna	Cu 4x10	14,6		
	201929	1 kV nadzemna	Cu 4x10	7,9		
IX	202099	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	134,6	653,04	59
	207139	1 kV podzemna	PP00 4x25	7,6		
	202082	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	38,9		
	202090	1 kV nadzemna	4x16	17,6		

	202091	1 kV nadzemna	4x16	17,6		
	202092	1 kV nadzemna	4x16	22,8		
	202093	1 kV nadzemna	4x16	13,9		
	202094	1 kV nadzemna	4x16	16,7		
	202109	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	32,7		
	202110	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	36,0		
	202097	1 kV nadzemna	4x16	17,5		
	204924	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	114,7		
	204949	1 kV nadzemna	4x16	6,0		
	204948	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	35,5		
	204947	1 kV podzemna	PP00 4x25	11,0		
	204946	1 kV nadzemna	Cu 4x6	8,3		
	204945	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	31,3		
	204928	1 kV podzemna	PP00 4x25	12,7		
	207141	1 kV nadzemna	Cu 4x6	16,0		
	207142	1 kV podzemna	PO 13 4x10	4,6		
	207140	1 kV nadzemna	Cu 4x10	22,9		
	204925	1 kV nadzemna	4x16	13,8		
	204926	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	1,9		
	204950	1 kV nadzemna	Cu 4x6	18,4		
X	202098	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	135,8	369,99	13
	202086	1 kV nadzemna	4x16	14,2		
	202087	1 kV nadzemna	PP00 4x10	19,2		
	202089	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	152,3		
	202083	1 kV nadzemna	4x16	13,4		
	202084	1 kV nadzemna	4x16	14,4		
	202085	1 kV nadzemna	4x16	20,7		

Tabela 9-2 Podaci o strukturi niskonaponske mreže TS V-296

9.4.3 Niskonaponska mreža TS Z-938

U ovoj sekciji su predstavljeni osnovni podaci o trafostanici TS Z-938 i njenoj niskonaponskoj mreži, koja je u kombinovana mreža sa većinski nadzemnim vodovima (svega nekoliko procenata mreže čine podzemni vodovi). Trafostanica ima 10 niskonaponskih izvoda, od kojih se peti, osmi i deveti izvod ne koriste. Trafostanica sa pripadajućom niskonaponskom mrežom je izgrađena 2008. godine. Snaga transformatora je 1000 kVA. Merenje u trafostanici je poluindirektno, sa strujnim mernim transformatorima (SMT) prenosnog odnosa 1000/5 A.

Ukupna dužina mreže je 4.564 metera. Sa ove trafostanice se napaja ukupno 165 potrošača i svi su iz kategorije domaćinstava. Radi se o objetima individualnog

stanovanja (privatne kućae). Trafostanica Z-938 je reprezentativni uzorak prigradske (skoro seoske mreže). Trafostanica sa pripadajućom mrežom je locirana u Surčinu, u pogodnu Zemun. Mreža se sastoji od čak 197 deonica, sa različitim tipovima nadzemnih vodova. Na izvodu I se napaja 25 potrošača, na izvodu II 26 potrošača, na III i IV izvodu se napaja 17 potrošača, na izvodu VI je svega 9 potrošača, na izvodu VII 56 potrošača, dok izvod X napaja 15 potrošača.



Slika 9-8 Niskonaponska mreža TS Z-938 (TIS prikaz)

Tabela 9-3 prikazuje broj deonica niskonaponske mreže TS Z-938, sa tipovima nadzemnog voda i presekom, kao i dužinu svake od deonica. Uočljiv je veliki broj grananja mreže uz upotrebu raznolikih tipova provodnika, od samonosivog kablovskog snopa (SKS), AlC nadzemnih vodova, bakarnih nadzemnih vodova različitog preseka.

ID Deonice	Tip deonice	Vrsta provodnika i presek	Dužina deonice (m)
204459	1 kV nadzemna	Cu 4x10	8,1
204460	1 kV nadzemna	X00-A - 3x35+54,6	32,5
204457	1 kV nadzemna	4x16	10,9
204445	1 kV nadzemna	4x16	8,7
204446	1 kV nadzemna	4x16	31,0
204468	1 kV nadzemna	AlC 3x70+71,5+2x16	29,8
204452	1 kV nadzemna	4x16	14,1
203579	1 kV nadzemna	AlC 3x70+71,5+2x16	32,6

204455	1 kV nadzemna	4x16	17,9
204442	1 kV nadzemna	Cu 4x10	8,6
204464	1 kV nadzemna	4x16	62,5
204453	1 kV nadzemna	4x16	17,0
204466	1 kV nadzemna	AlC 3x70+71,5+2x16	28,5
204439	1 kV nadzemna	2x16	13,0
204438	1 kV nadzemna	2x16	16,9
204449	1 kV nadzemna	4x16	8,6
204447	1 kV nadzemna	4x16	26,8
204450	1 kV nadzemna	2x16	9,6
204451	1 kV nadzemna	Cu 4x10	6,6
204454	1 kV nadzemna	4x16	19,0
204467	1 kV nadzemna	AlC 3x70+71,5+2x16	30,3
204456	1 kV nadzemna	4x16	21,3
204458	1 kV nadzemna	Cu 4x10	7,9
204440	1 kV nadzemna	2x16	15,1
204448	1 kV nadzemna	2x16	26,3
204465	1 kV nadzemna	AlC 3x70+71,5+2x16	29,7
204462	1 kV nadzemna	2x16	23,8
204441	1 kV nadzemna	4x16	10,8
29426	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	0,6
29459	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	191,8
204469	1 kV nadzemna	AlC 3x70+71,5+2x16	31,8
204474	1 kV nadzemna	AlC 3x70+71,5+2x16	29,9
204427	1 kV nadzemna	Cu 4x10	18,9
204425	1 kV nadzemna	4x16	16,8
204430	1 kV nadzemna	4x16	17,7
204417	1 kV nadzemna	Cu 4x10	6,1
204426	1 kV nadzemna	4x16	10,2
204421	1 kV nadzemna	4x16	15,3
203573	1 kV nadzemna	AlC 3x70+71,5+2x16	0,6
204424	1 kV nadzemna	2x16	11,3
204473	1 kV nadzemna	AlC 3x70+71,5+2x16	29,8
204423	1 kV nadzemna	4x16	10,6
204420	1 kV nadzemna	4x16	16,0
204429	1 kV nadzemna	Cu 4x10	24,9
204475	1 kV nadzemna	AlC 3x70+71,5+2x16	27,4
203572	1 kV nadzemna	AlC 3x70+71,5+2x16	30,5
204422	1 kV nadzemna	4x16	20,1
204418	1 kV nadzemna	4x16	6,1
29428	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	0,6
29461	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	76,4
204436	1 kV nadzemna	4x16	10,3
204437	1 kV nadzemna	2x16	17,5
230872	1 kV nadzemna	AlC 3x70+71,5+2x16	0,3
204431	1 kV nadzemna	2x16	19,1

204433	1 kV nadzemna	Cu 4x10	9,5
204434	1 kV nadzemna	4x16	30,1
204435	1 kV nadzemna	4x16	25,0
230886	1 kV nadzemna	AlC 3x70+71,5+2x16	32,0
230887	1 kV nadzemna	AlC 3x70+71,5+2x16	20,0
204861	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	32,4
220202	1 kV nadzemna	X00-A - 3x70+71,5+2x16	28,3
204846	1 kV nadzemna	4x16	19,6
204843	1 kV nadzemna	2x16	28,8
204839	1 kV nadzemna	4x16	17,1
204837	1 kV nadzemna	4x16	28,3
204841	1 kV nadzemna	4x16	13,5
204864	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	27,9
204862	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	29,9
204857	1 kV nadzemna	4x16	24,3
204860	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	29,2
204833	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	33,1
204851	1 kV nadzemna	Cu 4x10	19,0
204993	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	1,8
204842	1 kV nadzemna	4x16	20,9
204854	1 kV nadzemna	Cu 4x10	23,2
204858	1 kV nadzemna	4x16	24,7
204863	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	28,0
204840	1 kV nadzemna	4x16	20,1
204859	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	0,5
204844	1 kV nadzemna	2x16	16,7
204853	1 kV nadzemna	4x16	19,9
204855	1 kV nadzemna	4x16	16,2
204847	1 kV nadzemna	2x16	23,1
29436	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	0,6
29463	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	47,5
204651	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	31,2
204646	1 kV nadzemna	4x16	17,9
204636	1 kV nadzemna	Cu 4x10	23,6
204633	1 kV nadzemna	4x16	14,4
204650	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	35,8
204647	1 kV nadzemna	2x16	22,8
204632	1 kV nadzemna	2x16	20,1
203640	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	31,7
204649	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	29,7
204631	1 kV nadzemna	4x16	21,3
204644	1 kV nadzemna	4x16	25,2
204634	1 kV nadzemna	4x16	18,0
204641	1 kV nadzemna	4x16	24,7
204628	1 kV nadzemna	Cu 4x10	16,7
204648	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	0,8

204643	1 kV nadzemna	4x16	32,7
204637	1 kV nadzemna	Cu 4x10	24,0
29430	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	0,6
204638	1 kV nadzemna	Cu 4x10	20,7
204645	1 kV nadzemna	4x16	32,6
205128	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	20,9
220197	1 kV nadzemna	4x16	14,2
204480	1 kV nadzemna	4x16	8,3
204626	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	23,1
204498	1 kV nadzemna	4x16	19,2
204497	1 kV nadzemna	4x16	23,6
204499	1 kV nadzemna	4x16	19,3
204478	1 kV nadzemna	Cu 4x10	10,5
204479	1 kV nadzemna	4x16	11,6
203605	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	31,6
204477	1 kV nadzemna	4x16	17,2
29434	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	0,6
204625	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	26,5
205132	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	20,3
205043	1 kV nadzemna	Cu 4x10	17,5
205062	1 kV nadzemna	4x16	10,8
205054	1 kV nadzemna	4x16	15,7
205051	1 kV nadzemna	4x16	16,8
205003	1 kV nadzemna	4x16	18,3
204998	1 kV nadzemna	Cu 4x10	10,4
205047	1 kV nadzemna	4x16	20,5
203970	1 kV nadzemna	4x16	64,9
205049	1 kV nadzemna	4x16	54,7
205006	1 kV nadzemna	4x16	16,5
205064	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	42,1
205041	1 kV nadzemna	4x16+1x16	47,7
205004	1 kV nadzemna	4x16	24,0
205042	1 kV nadzemna	4x16	15,3
205001	1 kV nadzemna	4x16	18,1
205000	1 kV nadzemna	3x35+71,5+2x16	36,0
205055	1 kV nadzemna	Cu 4x10	20,3
203602	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	156,7
203583	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	28,6
205058	1 kV nadzemna	2x16	21,2
205057	1 kV nadzemna	2x16	25,0
204999	1 kV nadzemna	Cu 4x10	19,9
203584	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	1,0
205061	1 kV nadzemna	4x16	17,4
204995	1 kV nadzemna	4x16	17,6
205050	1 kV nadzemna	4x16	14,2
205065	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	41,6

205066	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	42,3
205045	1 kV nadzemna	4x16	26,8
204996	1 kV nadzemna	4x16	31,4
205053	1 kV nadzemna	4x16	13,9
205046	1 kV nadzemna	4x16	11,5
205063	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	35,4
220207	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	36,9
204997	1 kV nadzemna	Cu 4x10	12,9
203644	1 kV nadzemna	3x35+71,5+2x16	38,8
205052	1 kV nadzemna	4x16	31,0
205005	1 kV nadzemna	4x16	19,6
205002	1 kV nadzemna	4x16	19,8
205059	1 kV nadzemna	X00-A 4x10	20,8
205056	1 kV nadzemna	Cu 4x10	21,6
205060	1 kV nadzemna	X00-A 4x10	19,7
205044	1 kV nadzemna	2x16	20,1
29440	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	0,6
30411	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	44,4
203582	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	117,9
204836	1 kV nadzemna	4x16	13,6
204838	1 kV nadzemna	4x16	14,2
204852	1 kV nadzemna	4x16	18,0
204856	1 kV nadzemna	4x16	21,4
220204	1 kV nadzemna	4x16	19,0
220205	1 kV nadzemna	4x16	12,7
230875	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	0,9
230878	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	32,5
230880	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	29,7
29442	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	0,6
205134	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	8,8
204616	1 kV nadzemna	2x16	18,2
204589	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	0,7
204614	1 kV nadzemna	2x16	14,7
204618	1 kV nadzemna	4x16	18,9
204617	1 kV nadzemna	4x16	21,1
204624	1 kV nadzemna	4x16	15,6
204620	1 kV nadzemna	2x16	21,1
204590	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	32,2
204615	1 kV nadzemna	2x16	9,1
204591	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	30,3
204619	1 kV nadzemna	4x16	13,1
29432	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	0,6
204500	1 kV nadzemna	Cu 4x10	23,6
204501	1 kV nadzemna	4x16	18,3
204502	1 kV nadzemna	4x16	14,1
204503	1 kV nadzemna	4x16	8,5

204621	1 kV nadzemna	2x16	28,2
204623	1 kV nadzemna	4x16	24,7
230869	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	28,3
203634	1 kV nadzemna	X00-A 3x70+71,5+2x16	82,1
205130	1 kV podzemna	PP00 3x150+70	20,9

Tabela 9-3 Podaci o strukturi niskonaponske mreže TS Z-938

9.4.4 Poređenje strukture mreže odabranih trafostanica

Za realizaciju projekta izgradnje PLC pristupne mreže u svrhu ispitivanja preformansi PLC sistema i QoS širokopojasnih servisa koji će se pružati preko te PLC mreže, odabrane su tri trafostanice B-474 (gradsko područje – kablovska mreža, V-296 (gradsko područje – kombinovana mreža, i Z-938 (prigradsko/seosko područje – nadzemna mreža), svaka sa različitim karakteristikama u pogledu dužine mreže, broja deonica, vrste i strukture vodova, ukupnog broja potrošača, i broja potrošača po niskonaponskim izvodima.

U tabeli 9-4 su uporedno prikazani navedeni parametri za svaku od trafostanica. Koeficijenti K_{DM} i K_{PM} su identifikovani u cilju kvantifikovanja složenosti strukture mreže i razuđenosti mreže.

TS	Primer mreže	Dužina mreže (m)	Broj deonica (ogranaka)	Broj potrošača	K_{DM}	K_{PM}
B-474	Gradska (kolektivno stanovanje)	354	8	201	0,02	0,57
V-296	Gradska (kombinovano: zgrade i privatne kuće)	1.939	68	304	0,04	0,16
Z-938	Prigradska (privatne kuće)	4.564	197	165	0,04	0,04

Tabela 9-4 Uporedna analiza parametara odabranih trafostanica

Koeficijent K_{DM} predstavlja broj deonica u odnosu na ukupnu dužinu mreže, i računa se kao:

$$K_{DM} = \text{Broj deonica} / \text{Ukupna dužina mreže}$$

, dok koeficijent K_{PM} kvantifikuje broj potrošača po metru niskonaponske mreže:

K_{PM}= Broj potrošača / Ukupna dužina mreže

Može se očekivati da će se na niskonaponskoj mreži trafostanica koje imaju veći K_{DM}, odnosno čija je struktura mreže složenija u smislu da imaju veći broj grananja mreže u odnosu na dužinu mreže, izazov sa kojim će se PLC komunikacija suočiti biti složeniji u smislu kašnjenja signala i slabljenja.

Takođe, na niskonaponskoj mreži trafostanica koje imaju veći koeficijent K_{PM}, za očekivati je bolje prilike za prenos PLC signala, obzirom da se radi o mreži koja u odnosu dužinu mreže ima manji broj potrošača, što implicira i manji broj grananja i prelazaka između različitih vsrta vododva i materijala od kojih su napravljeni.

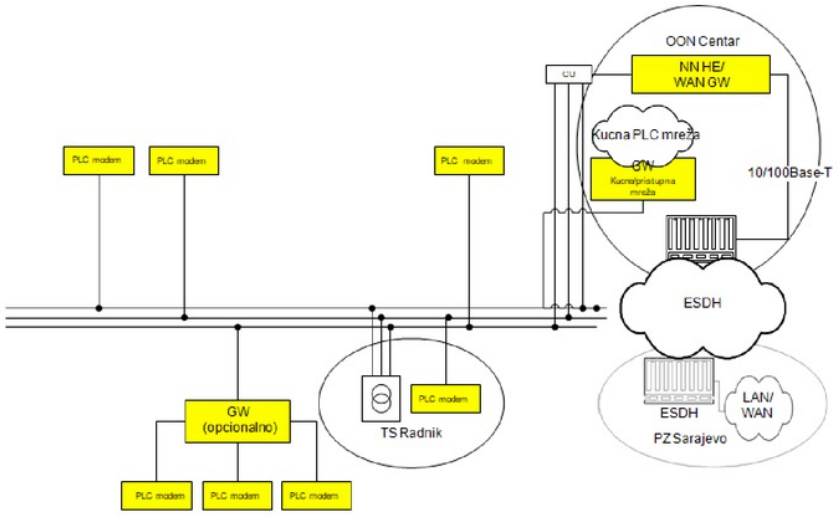
9.5 TEHNIČKO REŠENJE

9.5.1 Konfiguracija PLC segmenata

Realizacija pristupne širokopojasne PLC mreže planirana je sa tri ćelije na distributivnom području Beograd:

- ćelija1 - Opština Stari grad, pogon Beograd, **trafostanica** 10/0.4 kV **B-474**;
- ćelija 2 - Opština Čukarica, pogon Banovo brdo, **trafostanica** 10/0.4 kV **V-296**;
- ćelija 3 - Opština Zemun, pogon Zemun **trafostanica** 10/0.4kV **Z-938**;

Konfiguracija PLC pristupnih segmenata na infrastruktiri neavedenih trafostanica je predstavljena na slici 9-9.



Slika 9-9 PLC ćelija V-296

Predviđeni broj eksternih korisnika po ćeliji je 20. Ćeliije se realizuju u master / slave konfiguraciji. Moguća je direktna komunikacija Head End (HE) uređaja sa "slave" CPE uređajima ili opcionalno, komunikacija preko gateway (prelaznog) uređaja / regeneratora između unutrašnje i spoljašne NN mreže u zavisnosti od karakteristika i mogućnosti ponuđene opreme / sistema. Takođe, potrebno je instalirati i ripitere (regeneratore signala) ukoliko su potrebni za savladavanje dometa između HE lokacije i korisnika.

Na sve tri lokacije (PLC ćelije B-474, V-296 i Z-938) za 5 od odabranih 20 korisnika usluga projekta potrebno je izvršiti zamenu postojećih brojila električne energije. Brojila koja će se instalirati u okviru ovog projekta trebaju imati mogućnost daljinskog očitanja i prenosa ovih podataka preko širokopojasne PLC tehnologije. Potrebno je odabrati način realizacije daljinskog očitanja takav da se brojila očitavaju preko širokopojasnog PLC sistema, u zavisnosti od tehničkim mogućnostima (mogućim komunikacijskim interfejsima) brojila električne energije i PLC modema:

- brojilo sa integrisanim PLC modemom i registratorom očitavanja / koncentrator sa integrisanim širokopojasnim PLC modemom;

- brojilo sa odgovarajućim komunikacionim interfejsom (Ethernet, RS-232 i sl.) i širokopojasni PLC modem sa istim interfejsom za priključenje brojila;
- registrator očitavanja / koncentrator sa odgovarajućim komunikacionim interfejsom (Ethernet, RS-232 i sl.) i širokopojasni PLC modem sa istim interfejsom za priključenje brojila.

Podaci o očitanjima sa brojila električne energije u jednoj PLC ćeliji će se prikupljati na registrator očitanja / koncentrator u odgovarajućoj TS (u kojoj će se instalirati PLC NNHE), takođe preko širokopojasnog PLC sistema. Podaci sa registratora će se preko ostatka telekomunikacione infrastrukture EPS Distribucije prenositi do aplikacije za očitanje brojila koja, kroz projekat, treba da bude instalirana u DP Beograd.

9.6 USLUGE U PROJEKTOVANOJ PLC MREŽI

Za korisnike PLC mreže kroz projektovani sistem potrebno je realizovati različite usluge, sa bitno različitim komunikacionim zahtevima. Ovi servisi se grubo mogu podeliti u tri grupe, po kategorijama korisnika:

- Triple-play usluge za domaćinstva
- Servisi za poslovne korisnike (EPS Distribucija – poslovni objekti)
- Operativni servisi (EPS Distribucije - B-474, V-296 i Z-938).

Usluge za domaćinstva realizovaće se u sve tri ćelije koje su predmet projekta. Servisi za poslovne korisnike implementiraće se za lokaciju EPS Distribucije, DP Beograd, a operativni servisi za 10/0.4kV trafo stanice EPS Distribucije B-474, V-296 i Z-938. Servisi za potrebe EPS Distribucije realizuju se između navedenih lokacija i DP Beograd.

U tabeli 9-5 dat je pregled pojedinačnih servisa koje je potrebno realizovati, sa zahtevanim kapacitetima po korisniku.

Korisnik	Usluga	Kapacitet po korisniku i servisu	
		Downlink	Uplink
	Internet pristup	256 kb/s - 1,5 Mb/s	128 kb/s
	Fiksna telefonija	1 kanal / korisniku	

Domaćinstva		(kapacitet u zavisnosti od kompresije)	
	IPTV/VoD	u zavisnosti od obezbeđenog sistema i korišćenog načina kompresije video signala	
Objekti EPS Distribucije (B-474, V-296 i Z-938)	Očitanje brojila preko širokopojasnog PLC sistema (za TS A. Buće 1, TS Radnik i TS Rezačeva)	-----	do 128 kb/s
	Uskopojasni serijski prenos podataka za potrebe daljinskog nadzora TS	----	1,2 kb/s
EPS Distrubucija-poslovni objekti (Dispečerski centar)	Video-nadzor	----	128 - 512 kb/s
	IP PBX umrežavanje	4 govorna kanala (kapacitet u zavisnosti od kompresije)	
	Clijent-server aplikacije	Mb/s	128 kb/s
	Internet pristup	128 kb/s	64 kb/s

Tabela 9-5 Pregled zahtevanih servisa sa zahtevanim kapacitetom po korisniku

Zbog zahtevane integracije različitih tipova usluga u PLC mreži, oprema i sistem moraju obezbediti:

- odgovarajući QoS za različite tipove usluga kroz kategorizaciju i prioritetizaciju saobraćaja;
- kreiranje VLAN-ova za različite tipove usluga;
- VoIP funkcionalnost.

Pored osnovnih usluga prenosa govora i širokopojasnog prenosa podataka, koje treba da obezbedi pristupna PLC mreža, predviđena je i realizacija širokopojasnih *"streaming"* video usluga (IPTV, video na zahtev), kao i realizacija uskopojasnih podatkovnih servisa sa serijskom komunikacijom terminalne opreme, za potrebe "energetskih" i automatizovanih usluga (daljinsko očitanje brojila, daljinsko upravljanje TS 10/0.4kV, sigurnosni nadzor domaćinstva i dr.) S obzirom da ove usluge nemaju široku / masovnu primenu u širokopojasnim pristupnim PLC sistemima, potrebno je definisati mogućnost i uslove primjene ovakvog sistema za realizaciju ovih servisa.

Dodatno, usluge koje se realizuju u "kućnoj" mreži na lokaciji DP Beograd su:

- povezivanje računarske opreme u LAN mrežu;
- povezivanje terminalne opreme interne telefonske mreže (IP telefoni i terminalni adapteri za analogne telefone) na IP PBX u objektu.

Na ovaj način bi se sva komunikacija za potrebe ovog objekta u potpunosti obavljala kroz PLC mrežu, kućnu i pristupnu. Potrebno je definisati uslove koegzistencije kućne i pristupne mreže i način povezivanja ovih segmenata.

Priključenje svih podatkovnih terminala na PLC modeme predviđeno je preko 10 / 100 Base-T i / ili USB interfejsa. Izuzetno, povezivanje opreme za daljinski nadzor trafostanica predviđeno je preko serijskih RS - 232 interfejsa. Ukoliko PLC modemi nemaju dodatni RS-232 interfejs povezivanje je moguće realizovati preko RS-232/Ethernet konvertera.

Povezivanje brojila za očitanje električne energije moguće je preko 10 / 100 Base-T ili RS-232 interfejsa, ili drugog komunikacionog interfejsa koji je podržan i na brojilu i na PLC modemu (ukoliko brojilo nema integrisan širokopojasni PLC modem i koristi se eksterni širokopojasni PLC modem).

9.7 KONFIGURACIJA, NADZOR I UPRAVLJANJE U PROJEKTOVANOJ PLC MREŽI

Centralni nadzor i upravljanje svim komponentama PLC mreže treba da bude realizovan na bazi SNMP protokola. Sistem centralnog nadzora i upravljanja treba da omogući:

- grafički prikaz pristupne PLC mreže,
- konfiguraciju radnih parametara uređaja,
- prikaz saobraćajnih alarma i statusa uređaja
- merenje i arhiviranje parametara kvaliteta servisa.

Jedinstven sistem centralnog nadzora i upravljanja u mreži biće implementiran na lokaciji EPS Distribucije, U DP Beogradu, i koristiće se i za PLC opremu na lokacijama eksternih korisnika i za PLC opremu u objektima EPS Distribucije.

Pristup elementima PLC mreže treba da bude realizovan kao *"in-band"* pristup, kroz kanale koji obezbjeđuju povezivanje PLC segmenata sa telekomunikacionom kičmom, odnosno kroz kanale PLC mreže.

Sve softverske komponente sistema koje obezbeđuju navedene funkcije treba da

budu instalirane, a kao hardver koristiti postojeću računarsku opremu sa Windows-baziranim operativnim sistemima.

9.8 USLOVI ZA PROJEKTOVANJE I INSTALACIJU

Prilikom projektovanja i instalacije sistema, sledeći zahtevi treba da budu zadovoljeni:

- priključenje korisničkih uređaja treba biti omogućeno preko standardnih interfejsa;
- priključenje CPE uređaja na energetsku mrežu treba da bude obezbeđeno jednostavnim priključenjem na utičnice IEC 320 - C13, preko integrisanih sprežnih elemenata;
- priključenje HE / GW uređaja na telekomunikacionu kičmu treba da bude obezbeđeno preko standardnih podatkovnih interfejsa;
- svi uređaji izuzev CPE treba da imaju mogućnost:
  - ✓ unutrašnje i vanjske instalacije,
  - ✓ instalacije u zasebnom kućištu / ormaru i unutar elemenata trafostanice.
- za unutrašnje instalacije opreme predvideti:
  - ✓ mehaničku zaštitu IP20 ili bolju
  - ✓ temperaturni opseg -5°C do 45°C
- za spoljašnje instalacije potrebno je predvideti:
  - ✓ mehaničku zaštitu IP54 ili bolju
  - ✓ temperaturni opseg –20°C do +55°C
- u kućnoj PLC mreži potrebno je predvideti spregu između tri faze, da bi se omogućila međusobna komunikacija CPE uređaja;
- HE uređaj treba da ima mogućnost komunikacije preko sve tri faze, odnosno sa svim korisnicima raspoređenim na tri faze:

- ✓ sprega HE uređaja treba da bude fazna sprega (između faza)
- ✓ povezivanje NN / SN PLC uređaja sa eksternim sprežnim elementima treba da bude realizovano koaksijalnim kablom;

za NN elemente moguće je povezivanje simetričnim oklopljenim kablom

- instalaciju NN / SN PLC uređaja predviđeno je tako da se minimalizira udaljenost između uređaja i sprežne opreme, odnosno tačke priključenja na NN / SN mrežu.
- povezivanje na mrežu u TS treba da bude izvršeno u tačkama iza rastavljača/prekidača, da isključenja u energetskoj mreži ne bi uticala na funkcionisanje PLC mreže
- potrebno je predvideti da se, u najvećoj mogućoj meri, u PLC mreži izbegnu/premoste elementi energetske mreže koji unose dodatna visoka slabljenja (transformatori, brojila i dr), odnosno da se eliminiše uticaj ovih elemenata
- u sistemu po potrebi treba predvideti regeneratore, tako da se obezbedi odgovarajući domet/zona pokrivanja i odgovarajući kvalitet signala
- za sve tačke regeneracije na bazi frekventne podele potrebno je planirati korišćenje frekvencija tako da se izbegnu međusobni uticaji pojedinih segmenata
- potrebno je predvideti odgovarajuće uzemljenje uređaja.

9.9 PREDVIĐENI USLOVI ZA RAD BROJILA ELEKTRIČNE ENERGIJE

9.9.1 Klimatski uslovi na mestu ugradnje brojila električne energije

- Nadmorska visina: $\leq$1000 m
- Maksimalna temperatura: + 40°C
- Minimalna temperatura: - 20°C
- Maksimalna relativna vlažnost vazduha 100%

- Izokeraunički nivo: 125
- Stepen zagađenja: II – srednja zagađenost

9.9.2 Parametri sistema na mestu ugradnje

Nazivni napon kV	Maksimalni napon kV	Struja	Impulsni napon kV	Podnosivi impulsni napon 1 min kV	Tretman neutralne tačke
20	24	16	125	50	izolovana-uzemljena
0	12	16	75	28	izolovana-uzemljena
0.4	0.44	25		3	uzemljena

Tabela 9-6 Parametri sistema

9.10 TEHNIČKE SPECIFIKACIJE ZA PLC OPREMU

U Tabeli 9-7 date su tehničke karakteristike koje treba da zadovolje uređaji kako bi bili ugrađeni u telekomunikacioni sistem realizovan u elektroenergetskom sistemu EPS Distribucije.

R.Br.	Opis	Zahtev
1.	*PLC adapter*	
2.	Mrežne funkcije	bridging prema ieee 802.1D
3.		VLAN prema ieee 802.1q
4.	Frekvencijski opseg	1,6-30MHz
5.		mogućnost potiskivanja individualnih frekvencija,sa slabljenjem reda 30dB
6.	Konfiguracija	"Plug and Play"
7.	Interfejsi	10/100Base-T
8.	Napajanje	230VAC, 50Hz
9.	EMC karakteristike	Emisija prema EN55022/CISPR 22
10		Imunitet prema EN55024/CISPR 24
11	Bezbednost	Prema EN 60950
12	Način priključenja na NN mrežu	Preko utičnice, IEC 320-C14 priključak
13		Integrisani sprežni elementi
14		Sprega faza-nula

15	Normativni zahtevi	CE oznaka
16		EC Deklaracija o usaglašenosti
17	***PLC modem***	
18	Mrežne funkcije	bridging prema ieee 802.1D
19		VLAN prema ieee 802.1q
20	Interfejsi	10/100Base-T
21		USB
22		analogni telefonski interfejs
23		RS-232
24	Napajanje	230VAC, 50Hz
25	EMC karakteristike	Emisija prema EN55022/CISPR 22
26		Imunitet prema EN55024/CISPR 24
27	Bezbednost	Prema EN 60950
28	Način priključenja na NN mrežu	Preko utičnice, IEC 320-C14 priključak
29		Integrisani sprežni elementi
30		Sprega faza-nula
31	Normativni zahtevi	CE oznaka
32		EC Deklaracija o saglasnosti
33	***NN PLC HE***	
34	Mrežne funkcije	bridging prema ieee 802.1D
35		VLAN prema ieee 802.1q
36		IP routing
37	Interfejsi	10/100Base-T ili STM-1 ili GbE
38	Napajanje	230VAC, 50Hz
39	EMC karakteristike	Emisija prema EN55022/CISPR 22
40		Imunitet prema EN55024/CISPR 24
41	Bezbednost	Prema EN 60950
42	Sprega na NN mrežu	fazna sprega
43		integrisani ili eksterni sprežni elementi
44	Normativni zahtevi	CE oznaka
45		EC Deklaracija o saglasnosti
46	***SN PLC oprema***	
47	Interfejsi	10/100Base-T ili STM-1 ili GbE
48	Napajanje	230VAC, 50Hz
49	EMC karakteristike	Emisija prema EN55022/CISPR 22

50		Imunitet prema EN55024/CISPR 24
51	Bezbednost	Prema EN 60950
52	Sprežni elementi	za jednofaznu spregu (faza-nula)
53		za 10kV (linijski) nazivni napon (ili viši)
54		frekventni opseg reda 2-30MHz
55		harmonijska izobličenja <-60dB
56		dozvoljena struja pražnjenja , impulsni napon, dielektrična snaga i parcijalna pražnjenja u skladu sa IEC 60358
57		impulsni napon, dielektrična snaga i otpornost izolacije zavisni od izolacijskog nivoa kabla
58		maksimalni gubici ≤6dB
59	Normativni zahtevi	CE oznaka
60		EC Deklaracija o usaglašenosti
61		*Sistemski zahtevi*
62	Radni frekventni opseg za sve aktivne komponente	u opsegu 1,6-30MHz
63		mogućnost potiskivanja individualnih frekvencija, sa slabljenjem reda 30dB
64	Izlazna snaga aktivnih komponenti	mogućnost ograničenja na –50dBm/Hz
65	Koegzistencija	pristupne i kućne mreže (podjela frekventnog opsega prema TS 101 867 ili ograničenje uticaja- nivoa signala na –120dBm/Hz)
66		sa uskopojasnim PLC sistemima u CENELEC definisanim opsezima
67	MAC protokol	master-slave protokol
68		kontrola pristupa mediju
69		rezervacija opsega za servise sa fiksnim opsegom i garantovanim opsegom
70		kontrolisano kašnjenje za real-time servise
71	LLC (Logical Link Control) funkcije	Mehanizmi za kontrolu i oporavak od greške
72		FEC
73		retransmisija
74		detekcija i prilagođenje stanju linije
75	Sigurnost	Enkripcija saobraćaja
76	VOIP funkcionalnosti	standarno kodiranje prema ITU-T G. seriji preporuka (G.711/G.723.1/G.729)
77		H.323/SIP protokol
78		prioritetizacija VOIP saobraćaja
79		"backhaul" 802.1p tagging
80		kontrolisano kašnjenje paketa
81	Funkcionalnosti za podatkovni saobraćaj	Minimalno 2 klase podatkovnog saobraćaja, prema prioritetu

82		Garantovani nivo gubitka paketa za high priority saobraćaj
83		Rezervacija opsega za high priority saobraćaj sa garantovanim opsegom
84		Mogućnost realizacije "triple-play" IP servisa
85		Mogućnost realizacije uskopojasnih podatkovnih servisa za potrebe serijske komunikacije izmedu terminala
86	Mogućnost nadzora i upravljanja elementima	SNMP-baziran centralni nadzor i konfiguracija ili centralni nadzor i konfiguracija putem Web-baziranog interfejsa
87		nadzor i konfiguracija putem konzolnog interfejsa
88		download konfiguracijskih fajlova prilikom uključenja uređaja za CPE opremu
89		nadgradnja/zamjena softwera sa centralne lokacije (TFTP/FTP/HTTP)
90		statička i dinamička (DHCP) konfiguracija IP adresa
91		automatska registracija CPE uređaja u mreži
92	Funkcionalnost centralnog sistema nadzora	registracija uređaja
93		restrikcija za neautorizovano dodavanje elemenata u mreži
94		upravljanje potiskivanjem frekvencija
95		nadzor i arhiviranje performansi
96		nadzor i arhiviranje alarma
97		grafički prikaz mreže/mrežnih elemenata
98		autorizacija pristupa
99		Windows 2000 /XP operativni sistem
10		

Tabela 9-7 Tehničke karakteristike

9.11 TEHNIČKE KARAKTERISTIKE BROJILA ELEKTRIČNE ENERGIJE

9.11.1 Standarni koje brojilo treba da zadovoljava

Brojila električne energije koja se planiraju ugraditi u ove svrhe treba da zadovolje sledeće međunarodne standarde:

IEC 60 051	Direct acting indicating electrical measuring instruments and their accessories
IEC 60 068 – 1 IEC 60 068 –	Environmental testing General and guidance

1/A1 IEC 60-068-2	
IEC 60 514	Acceptance inspection of Class 2 ac watt-hour meters
IEC 60 521	Class 0.5, 1, 2 ac watt-hour meters
IEC 60 529	Degree of protection provided by enclosures (IP codes)
IEC 60 817	Spring operated impact – test apparatus and its calibration
IEC 60 898	Circuit breakers for over current protection for house hoid and similar installations
IEC 61 010	Safety requirements for electrical equipment for measurement, control and labaratory use
IEC 61 036	Alternating current static watt-hour meters for active energy (class1 and 2)
IEC 61 038 /A2	Particular requirements for time switches
IEC 60417 – 2	Graphical symbols for use on equipment
IEC 60 695 – 2-1/1	Fire hazard testing
IEC 60721-3-3	Classification of environmental conditions
IEC 61000	Electromagnetic compability (EMC)
IEC 62054-21	Electricity metering (AC) – Tariff and load control – Part 21: Particular requirements for time switches.

Tabela 9-8 Standardi za brojila električne energije

9.11.2 Funkcionalnosti koje brojilo treba da podržava

Pored osnovnih funkcionalnosti: merenje ativne i reaktivne električne energije, i snage u standardnoj klasi tačnosti, registrovana srednje petnaestominutne snage (maksigrafa), važećeg tarifiranja i registrovanja navedenih obračunskih veličina u profilu obračunskom profilu na kraju svakog meseca, komunikacije preko optičkog porta, brojila električne energije trebaju podržavati sledeći skup pametnih funkcionalnosti:

9.11.2.1 Profili opterećenja

Sa stanovišta elektrodistributivne delatnosti, veoma je važno da brojilo električne energije može da registruje i arhivira za određeni vremenski period, minimalno 45 dana, i profile veličina koje može da meri u definisanim vremenskim odbircima. Treba biti moguće podesiti 4 nezavisna profila sa nezavisnim periodima uzorkovanja u sa intervalima minimalno 15 minuta, 60 minuta i 24 časa. Na ovaj način se mogu registrovati vrednosti npr. struja po fazama, napona po fazama, uglova između napona i struja (cosφ) po fazama.

Cosφ predstavlja odnos aktivne i reaktivne energije po jednoj fazi. Idealno je da on bude 1, u kom slučaju je potrošač isključivo termičkog karaktera, odnosno nema reaktivne energije (nema induktivne ili kapacitivne komponente potrošnje). U realnim uslovima, u kategorijama potrošnje kakva su domaćinstva, teži se da cosφ bude veći od 0,95. Ukoliko je ovaj odnos manji, kod tog potrošača se vrši ugrađivanje „kompenzacije“, koja bi poništila ili umanjila reaktivnu komponentu potrošnje, ili se potrošač prebacuje u drugu kategoriju potrošnje, u kom slučaju mu se ugrađuje brojio koje pored aktivne energije meri i reaktivnu energiju.

Takođe, u profilima se registruju i profil 15-minutne snage, kao i obračunskih podataka (aktivne i reaktivne energije). Svi ovi podaci se koriste u procesima estimacije potrošnje u narednom obračunskom periodu, kao i praćenje karaktera potrošnje za svakog potrošača, kako bi se što bolje planirala proizvodnja električne energije i odgovorilo zahtevima tržišta kvalitetnom uslugom.

9.11.2.2 Limitacija snage

S obzirom da pametna brojila sadrže sklopke za daljinsko (ili lokalno) isključenje/uključenje potrošnje, brojilo treba da podržava funkciju limitacije snage. To znači da treba biti podržano da se u odgovarajući registar u brojilu upiše neka vrednost koja predstavlja snagu koju potrošač može jednovremeno preuzeti sa mreže po sve tri faze (u slučaju trofaznog priključka). Nakon što brojilo detektuje da potrošač vuče struju (snagu) veću od limitirane, ono toleriše to prekoračenje neki vremenski period (koji se takođe može podesiti), nakon čega daje lokalnu komadu sklopkama da prekinu (isključe) izlazne kleme na priključnici brojila (potrošnju). Na taj način, potrošač koji vuče veću snagu od one koja je npr. sa njim ugovorena Ugovorom o priključenju na

elektroenergetsku mrežu, će biti određeno vreme isključen sa mreže (npr, nekoliko minuta), nakon čega će mu biti omogućeno ponovno uključenje pritiskom na lokalni taster na brojilu.

Ova funkcija je veoma važna sa stanovišta „humanog isključenja“, jer je elektrodistributivno preduzeće može korisiti kod potrošača (kupaca električne energije) koji nisu redovne platiše. Naime, obzirom da je električna energija, iako komercijalna roba, ipak svojevrsna socijalna kategorija u 21. veku, kupcu koga bi u uobičajenom postupku potpuno isključili sa električne mreže dok ne izmiri svoje dugovanje, može se limitirati potrošnja na par kilovata (koliko je dovoljno za rad nekoliko sijalica i frižidera), te ga na taj način motivisati da svoj dug izmiri i nastavi dalje sa redovnim plaćanjem računa, jer za ostale potrebe neće moći koristiti električnu energiju (prekoračiće limit i sklopka će ga automatski isključiti). Na taj način kupac neće ostati bez napajanja za, možemo reći osnovne potrebe, a ipak će biti primoran da reguliše svoj status, kako bi mogao zadovoljiti ostatak potreba u svom domaćinstvu.

Ova podešavanja limita snage se mogu raditi daljinski iz Centra upravljanja preko elektridisributivne mreže (PLC komunikacijom).

9.11.2.3 Code Red

Ova funkcionalnost predstavlja svojevrsni specijalni slučaj limitacije snage. Brojila treba da imaju mogućnost da se u odgovarajućem registru deklariše kategorija u koju se brojilo svrstava. Svrha kategorizacije je da sva brojila koja se deklarišu u istoj kategoriji, po prijemu broadcast poruke odreaguju jednovremeno identičnom akcijom koja je pridružena toj kategoriji. Ta akcija je npr. daljinsko isključenje, daljinsko uključenje ili limitacija snage. Efekat korišćenja ove funkcionalnosti se ogleda u brzom reagovanju na incidentne situacije na elektrodistributivnoj mreži, ili kod planskih isključenja većeg brojila potrošača.

Na primer, ako na jednoj strani identifikujemo kupce električne energije koji su u Ugovoru o priključenju na elektroenergetsku mrežu ugovorili da pristaju na određen broj i trajanje isključenja u zamenu na povoljniju cenu preuzete električne energije, takvi potrošači se mogu svrtati u specifičnu kategoriju te u slučaju potrebe za isključenjima usled preopterećenosti mreže, takvoj kategoriji kupaca se preko PLC

mreže može poslati broadcast poruka (komanda za isključenje). Sva brojila priključena na elektrodistributivnu mrežu će primiti ovu komandu, ali će samo brojila koja pripadaju kategoriji koja je u poruci navedena, odreagovati definisanom akcijom, odnosno odreagovaće isključenjem sklopke. Na taj način, sva brojila iz specificirane kategorije reaguju jednovremeno (koliko je to moguće uzimajući u obzir pouzdanost i brzinu PLC komunikacije).

9.11.2.4 Dnevnik događaja

Brojila treba da podržavaju registraciju različitih događaja kod potrošača kod koga su montirana i čiju potrošnju mere i registruju. Ovde se pre svega misli na događaje poput:

- ✓ detekcije otvaranja poklopca priključnice. Priključnica je red klema preko kojih se brojilo ožičava i priključuje na mrežu, sa jedne strane na elektrodistributivnu mrežu – ulaz, a sa druge strane na kućne instalacije – izlaz). Ovaj događaj može biti važan za analizu da li je po evidenciji događaja skidanja i/ili ponovnog postavljanja poklopca priključnice, u tom vremenu bilo predviđeno da ovlašćeno lice elektrodistribucije vrši kontrolu merenja ili neku drugu potrebnu radnju, odnosno da li je ovlašćeno lice imalo nalog za rad. Ako nije, to je pokazatelj da je potrošač neovlašćeno uništio plombu i pristupao ožičenju brojila.
- ✓ detekcije otvaranja poklopca mernog dela brojila. Svrha detekcije ovog događaja je slična prethodno navedenoj, s tim što se radi o veoma ozbiljnom narušavanju integriteta brojila. Naime, ni elektrodistribucija nema zakonsko ovlašćenje da vrši skidanje ovog poklopca, osim u akreditovanoj i ovlašćenoj laboratoriji, jer je otvaranje poklopca mernog dela brojila zaštićeno plombom Direkcije za mere i dragocene metale koja je državni organ.
- ✓

9.11.2.5 Ažuriranje firmvera

Ovom funkcijom je podržano daljinsko ažuriranje (update ili upgrade) softvera brojila, bez uticaja na deo softvera koji je zadužen za ispravno merenje u zadatoj klasi tačnosti. Navedneo je osigurano separacijom softvera, odnosno podelom softvera brojila na dva dela:

- ✓ deo softvera brojila čija je namena funkcija merenja u zadatoj klasi tačnosti, i regiszrovanje i čuvanje obračunskih podataka,
- ✓ i „aplikativni" deo softvera brojila koji se odnosi na „pametne" funkcije brojila (među kojima su i funkcije pobrojane u ovom poglavlju), koje je upravo moguće ažurirati.

Ažuriranje firmvera brojila je korisno u situacijama rešavanja eventualnih bagova u radu neke od pametnih funkcionalsnoti, kao i u instalaciji funkcionalnosti koje u fabričkoj verziji brojila (kada je brojilo nabavljeno) nisu postojale. Ograničenje je svakako veličina dostupne memorije brojila.

9.11.2.6 Merenje kvaliteta isporučene električne energije

U poslednjih nekoliko godina, a naročito početkom procesa liberalizacije tržišta električne energije na niskom naponu, i kod kategorije kupaca koji električnu energiju preuzimaju na niskom naponu postoji potreba za merenjem kvaliteta isporučene električne energije, obzirom da savremeni Ugovori o isporuci električne energije razlikuju različito tarifiranje u odnosu na kvalitet isporučene električne energije u toku obračunskog perioda. Kvalitet električne energije se meri u skladu sa EN 50160, a pre svega se odnosi na:

- **Varijaciju napona u toku obračunskog perioda**. U brojilu se definiše nekoliko opsega i u vremenu se vrši registrovanje napona u ti opsezima. Kao izlazne vrednosti se dobijaju tačni parametri varijacije napona u određenom vremenu. Ovo je važno sa stanovišta utvrđivanja da li je nivo napona koj nekog potrošača bio na nivou ugovorenog, odnosno da li je nivo napona bio optimalan za rad električnih uređaja koji se napajaju iz mreže.
- **Broj kratkotrajnih i dugotrajnih prekida napajanja**. Prema standardu EN 50160, svi prekidi napajanja duži od 3 minuta se kategorizuju kao dugotrajni

prekidi napajanja. Registrovanje prekida napajanja se vrši po svakoj fazi, ali se i istovremeni prekid napajanja na sve tri faze (u slučaju trofaznog priključka) tretira kao poseban događaj. Registruje se vreme (time stamp) kada je dolazni napon nestao, kao i vreme (time stamp) kada je brojilo dobilo napajanje. Ova funkcija je veoma važna, jer se nedvosmisleno može utvrditi koliko je tačno i u kojim vremenskim intervalima svaki potrošač bio bez napajanja.

9.11.2.7 Integritet merenja

Jedna od važnijih funkcionalnosti pametnih brojila električne energije je detekcija događaja na mernom mestu, koje se mogu kategorisati kao neovlašćeni pristup brojilu, ili neovlašćena potrošnja električne energije.

Neki od događaja koji se detektuju i registruju u dnevniku događaja su: otvaranje/zatvaranje poklopca priključnice, otvaranje/zatvaranje poklopca mernog dela brojila, detekcija prisustva magnetnog polja intenziteta većeg od 200mT, detekcija suprotnog toka energije, i sl.

10 ZAKLJUČAK

Napisati na kraju

REFERENCE

[1] M. Schwartz, "Carrier-wave telephony over power lines: Early history," 2007 IEEE Conference on the History of Electric Power, pp. 244 – 254, 3-5 Aug. 2007.

[2] Dostupno na: http://www.ds2.es.

[3] I. Vujičić, N. Gospić, "Pružanje širokopojasnih usluga preko energetskih vodova", XII Telekomunikacioni Forum - TELFOR 2004, Sekcija 1, rad 1.10, Beograd, novembar 2004. Dostupno na: http://www.telfor.org.yu.

[4] I. Vujičić, N. Rajaković, "Prenos informacija energetskim vodovima – potencijal za diversifikaciju servisa elektroprivrede", Zbornik radova sa 27. savetovanja JUKO-CIGRE, Knjiga 2, R B2-01, Zlatibor, maj 2005.

[5] J. Sanchez-Martinez, J. Cortes, L. Diez, F. Canete, and L. Torres, "Performance analysis of ofdm modulation on indoor plc channels in the frequency band up to 210 mhz," in *2010 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications*, pp. 38 –43, Mar. 2010.

[6] L. Zbydniewski and T. Zielinski, "Ofdm vs wavelet-ofdm and circular wavelet-ofdm in high speed communication over power lines," in *Signal Processing Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications Conference Proceedings (SPA), 2009*, pp. 76–81, Sept. 2009.

[7] I. Vujičić, N. Gospić, "Communication Performances of Power-line Channel", *Electronics*, vol. 9, No. 1, pages 46-50, *YU ISSN 1450-5843*, October 2005.

[8] O. Hooijen, Aspects of Residential Power Line Communications, Aachen: Shaker Verlag, 1998.

[9] A. J. Baggot, B. E. Eyre, G. Fielding, F. M. Gray, "Use of London's electricity supply system for centralized control," *Proceedings of the IEE*, vol. 125(4), April 1978, pp. 311-327.

[10] A. Forrest, F. M. Gray, "Maximum demand limitation by the automatic and remote control of nonessential loads using the supply network as the communications medium," *Proceedings of the 3rd International Conference on Metering Apparatus*

and Tariffs for Electricity Supply, (*MATES '77*), London, UK, 15-17 November 1977, pp. 112-116.

[11] H.-K Podszeck, *Carrier Communication over Power Lines*, 4th Edition, New York: Springer-Verlag, 1972.

[12] K. Dostert, *Powerline Communications*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 2001.

[13] D. Radford, "Spread-spectrum data leap through ac power wiring," *IEEE Spectrum*, Nov. 1996, pp. 48-53.

[14] K. H. Afkhamie, S. Katar, L. Yonge, and R. Newman, "An Overview of the upcoming HomePlug AV Standard," *Proceedings of the 9th International Symposium on Power-Line Communications and its Applications (ISPLC'05)*, Vancouver, Canada, 6-8 April 2005, pp. 400-404.

[15] M. J. Park, S. J. Lee, D. H. Yoon, "Signal detection and analysis of DTMF receiver with quick Fourier transform," *Proceedings of the 30th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society* (IECON'04), Busan, Korea, 2-6 November 2004, vol. 3, pp. 2058- 2064.

[16] H. C. Ferreira, H. M. Grové, O. Hooijen, and A. J. H. Vink, *Power Line Communication* (in Wiley Encyclopaedia of Electrical and Electronics Engineering), New York: John Wiley & Sons, 1999, pp. 706-716.

[17] H. C. Ferreira, "PLC issues in emerging countries: technical and economical factors for the developments of potential PLC markets" ISPLC 07 Panel Session II in *Proceedings of the 11th International Symposium on Power - Line Communications and its Applications (ISPLC'07)*, Pisa, Italy, 26 - 28 March 2007.

[18] https://images.google.com/?gws_rd=ssl

[19] IEEE Guide for Power-Line Carrier Applications, IEEE Standard 643-1980.

[20] http://ww38.intellon.com/

[21] http://www.powerlinecommunications.net/

[22] A. Aruzuaga, I. Berganza, A. Sendin, M. Sharma, and B. Varadarajan, "Prime interoperability tests and results from field," in *2010 First IEEE International*

Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm), pp. 126 –130, Oct. 2010.

[23] K. Razazian, M. Umari, A. Kamalizad, V. Loginov, and M. Navid, "G3-plc specifi for powerline communication: Overview, system simulation and field trial results," in *2010 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications*, pp. 313 –318, Mar. 2010.

[24] V. Oksman and J. Zhang, "G.hnem: the new itu-t standard on narrowband plc technology,"*IEEE Communications Magazine*, vol. 49, no. 12, pp. 36–44, 2011.

[25] M. Tlich, A. Zeddam, F. Moulin, and F. Gauthier, "Indoor power-line communications channel characterization up to 100 mhz; part II: Time-frequency analysis," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 23, pp. 1402 –1409, Jul. 2008.

[26] M. Tlich, A. Zeddam, F. Moulin, and F. Gauthier, "Indoor power-line communications channel characterization up to 100 mhz;part i: One-parameter deterministic model," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 23, pp. 1392 – 1401, Jul. 2008.

[27] M. Y. Chung, M. H. Jung, T. J. Lee, and Y. Lee, "Performance analysis of homeplug 1.0 mac with csma/ca," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 24, pp. 1411 – 1420, Jul. 2006.

[28] K. Afkhamie, S. Katar, L. Yonge, and R. Newman, "An overview of the upcoming homeplug av standard," in *2005 International Symposium on Power Line Communications and Its Applications*, pp. 400 – 404, Apr. 2005.

[29] B. Mashburn, H. Latchman, T. VanderMey, L. Yonge, and K. Tripathi, "Signal processing challenges in the design of the homeplug av powerline standard to ensure coexistence with homeplug 1.0.1," in *2005 IEEE 6th Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications*, pp. 1001 – 1005, Jun. 2005.

[30] S. Galli, H. Koga, and N. Kodama, "Advanced signal processing for plcs: Waveletofdm," in *IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications*, pp. 187 –192, Apr. 2008.

[31] S. Galli and O. Logvinov, "Recent developments in the standardization of power line communications within the ieee," *IEEE Communications Magazine*, vol. 46, pp. 64 –71, Jul. 2008.

[32] S. Goldfisher and S. Tanabe, "Ieee 1901 access system: An overview of its uniqueness and motivation," *IEEE Communications Magazine*, vol. 48, pp. 150 – 157, Oct. 2010

[33] V. Oksman and S. Galli, "G.hn: The new itu-t home networking standard," *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, pp. 138 –145, Oct. 2009.

[34] D44 – Report presenting the Architecture of PLC system, the Electricity network topologies, the operating modes and the equipment over which PLC access system will be installed", OPERA. IST Integrated Project No 507667. Funded by EC.

[35] M. Zimmermann and K. Dostert, "A multipath model for the powerline channel," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 50, pp. 553 –559, Apr. 2002.

[36] I. Vujičić, N. Gospić, "Impact of power line characteristic for providing the telecom services", Conference Proceedings TELSIKS'05, Niš, 2005, vol. 1, pp 78-82.

[37] C. Bowick, *RF Circuit Design*, Carmel: Howard W. Sams & Co, 1991.

[38] J. Auvray, M.Fourrier, *Problems in Electronics, including lumped constants, transmission lines and high frequencies*, ISBN 0-08-016982-1, Oxford: Pergamon Press, 1973.

[39] W. K. Chen (ed.), *The Circuits and Filters Handbook*, Boca Raton: CRC Press and IEEE Press, 1995.

[40] C.-S. Yen *et al*, "Time-domain skin-effect model for transient analysis of lossy transmission lines," *Proceedings of the IEEE*, vol. 7(7), July 1982, pp. 750-757.

[41] K. H. Billings, *Handbook of Switchmode Power Supplies*, New York: Mc Graw-Hill, 1989.

[42] F. E. Terman, Electronic and Radio Engineering, 4th edition, New York: Mc Graw-Hill, 1955.

[43] A. Baccigalupi *et al*, "On a circuit theory approach to evaluate the stray capacitances of two coupled inductors," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 43(5), October 1994, pp. 774-776.

[44] D. W. Braudaway, "Behaviour of resistors and shunts: with today's high-precision measurement capability and a century of materials experience, what can go wrong?" *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 48(5), October 1999, pp. 889-893.

[45] S. R. Naidu, A. F. C. Neto, "The stray-capacitance equivalent circuit for resistive voltage dividers," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. IM-34(3), September 1985, pp. 393-398.

[46] D. W. Braudaway, "Precision resistors: a review of material characteristics, resistor design, and construction practices," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 48(5), October 1999, pp. 878-883.

[47] K. Henney, *Radio Engineering Handbook*, 5th edition, New York: Mc Graw-Hill, 1959.

[48] K. K. Clarke, D.T. Hess, *Communication circuits: analysis and design*, Reading: Addison-Wesley, 1971.

[49] J.-Y. Kim *et al*, "High-frequency response of amorphous tantalum oxide thin films," *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, vol. 24(3), September 2001, pp. 526-533.

[50] C.-H. Lai, T.-Y. Tseng, "Analysis of the ac electrical response for (Ba,Pb)TiO3 positive temperature coefficient ceramics," *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, Part A*, vol. 17(2), June 1994, pp. 309-315.

[51] Y. Sakabe *et al*, "High-frequency measurements of multilayer ceramic capacitors," *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, Part B*, vol. 19(1), February 1996, pp. 7-14.

[52] J. Muciek, A. Muciek, "A comparison of low-frequency models of inductance standards," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement,* vol. IM-36(3), September 1987, pp. 830-833.

[53] R. Hanke, K. Dröge, "Calculated frequency characteristic of GR1482 inductance standards between 100 Hz and 100 kHz," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement,* vol. 40(6), December 1991, pp. 893-896.

[54] A. S. Langsdorf, *Theory of alternating-current machinery*, New York: McGraw-Hill, 1955.

[55] G. van de Walle, "Integration of passive components: an introduction," *Philips Journal of Research*, vol. 51(3), 1998, pp. 353-361.

[56] H. Peierls, *Elektrisher Wickelkondensator*, German Patent, PS 609 980, D.R., 1929.

[57] W. M. Kaufman, "Theory of a monolithic null device and some novel circuits," *Proceedings of the IRE*, September 1960, pp. 1540-1545.

[58] R. W. Wyndrum Jr., "Distributed RC Notch Networks," *Proceedings of the IEEE*, vol. 51(2), February 1963, pp. 374-375.

[59] R. Levy, T. E. Rozzi, "Precise design of coaxial low-pass filters," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-16(3), March 1968, pp. 142-147.

[60] H. J. Carlin, "Distributed circuit design with transmission line elements," *Proceedings of the IEEE*, vol. 59(7), July 1971, pp. 1059-1081.

[61] H. Van Der Broek *et al*, "A compact high performance 300W / 5V switched mode power supply," *Proceedings of 3rd European Conference on Power Electronics and Applications (EPE '89)*, Aachen, Germany, 9-12 October 1989, pp. 1455-1459.

[62] I. W. Hofsajer *et al*, "Functional component integration in a multi-kilowatt resonant converter," *Proceedings of 5th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE '93)*, vol. 2, Brighton, UK, 13-16 September 1993, pp. 125-130.

[63] N. J. Pulsford, "Applications of passive integration," *Philips Journal of Research*, vol. 51(3), 1998, pp. 411-428.

[64] I. W. Hofsajer, J. A. Ferreira, J. D. Van Wyk, "Design and analysis of planar integrated L-C-T components for converters," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 15(6), November 2000, pp. 1221-1227.

[65] J. T. Strydom, J. D. Van Wyk, J. A. Ferreira, "Some limits of integrated LCT modules for resonant converters at 1MHz," *Conference Record of the 34th IEEE Industry Applications Society Conference (IAS '99)*, vol. 2, Phoenix, USA, 3-7 October 1999, pp. 1411-1417.

[66] J. T. Strydom *et al*, "Power electronic subassemblies with increased functionality based on planar subcomponents," *Conference Record of the 31st IEEE Power Electronics Specialist Conference (PESC'00)*, vol. 3, Galway, Ireland, 18-23 June 2000, pp. 1273-1278.

[67] Group of authors: "Report on presenting the architecture of PLC system, the electricity network topolgies, the operating modes and the equipment over which access PLC system will be installed", *Deliverable D44*, OPERA.IST Integrated Project No. 507667, Funded by EC, 2005. Dostupno na: http://www.ist-opera.org/opera1.

[68] H. Hrasnica, A. Haidine, R. Lehnert: "Broadband Powerline Communications – Network Design", *John Wiley & Sons Ltd*, England, 2004.

[69] Jae-Jo Lee, Seung-Ji Choi, Huy-Myoung Oh, Won-Tae Lee, Kwan-Ho Kim, Dae-Young Lee, "Measurements of the Communications Environment in Medium Voltage Power Distribution Lines for Wide-band Power Line Communications," Proceedings of 2004 International Symposium on Power-line Communications and its Applications, Kyoto, April 2004, pp.69 – 74.

[70] Suljanovic N., Mujcic A., Zajc M., Tasic J.F., "Corona noise characteristics in high voltage PLC channel," 2003 IEEE International Conference on Industrial Technology, Volume: 2, Dec 2003, pp. 10-12.

[71] CIGRE study committee 35, report on digital powerline carrier, September 2000.

[72] Zimmermann K, Wu Y. "An analysis of the broadband noise scenario in power line networks,". Proceedings of 2000 International Symposium on Power Line Communications Limerick, 5–7 April 2000; pp.131–138.

[73] Benyoucef, D."A New Statistical Model of the Noise Power Density Spectrum for Powerline Communication," Proceedings of the 7th International Symposium on Power-Line Communications and its Applications, Kyoto, Japan, 2003, pp. 136-141.

[74] Canete, F. J.; Díez, L.; Cortés, J. A.; Entrambasaguas, J. T: "Broadband Modelling of Indoor Power-Line Channels," IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 48, no. 1, Feb. 2002, pp. 175 – 183.

[75] M. Babic, M. Hagenau, K. Dostert, J. Bausch, "Theoretical postulation of PLC," Deliverable D4 for OPERA. IST integrated project No. 507667. Funded by European Commision.

[76] Chan, M. H. L.; Donaldson, R. W.: "Amplitude, Width, and Interarrival Distribution for Noise Impulses on Intrabuilding Power Line Communication Networks.," IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 31, no. 3, August 1989, pp. 320 – 323.

[77] John G. Proakis, "Digital Communications," New York, McGraw-Hill, 2001.

[78] Prasad, Ramjee, " OFDM for wireless communications systems," Boston, Artech House, 2004.

[79] P. J. Langfeld, K. Dostert, "OFDM System Synchronization for Powerline Communications", (http://www.enersearch.se)

[80] Intellon White Papers, "Intellon High Speed Power Line Communications", *Intellon Corporation*, Florida, 1999. (http://www.hoti.org).

[81] J. Armstrong, H.A. Suraweera, "Decision directed impulse noise mitigation for OFDM in frequency selective fading channels," in proceedings of IEEE GLOBECOMM' 04, Vol.6, 29 Nov.-3 Dec. 2004, pp. 3536-3540.

[82] S. V. Zhidov, "Impulse noise suppression in OFDM based communication systems," IEEE Transactions on Consumer Electronics vol. 49, Nov. 2003, pp. 944-948.

[83] Y. Dhibi, T. Kaiser, "iterative impulsive noise suppression in mixed impulse radio and UWB-OFDM systems," in proceedings of 2nd international workshop of Networking with UWB 2005, 4-6 July 2005, pp. 60-64.

[84] PLAN RASPODELE FREKVENCIJA/LOKACIJA ZA TERESTRIČKE ANALOGNE FM I TV RADIODIFUZNE STANICE ZA TERITORIJU REPUBLIKE SRBIJE ("Sl. glasnik RS", br. 6/2006)

[85] Plan namene radio-frekvencijskih opsega, jul 2004. dostupno na www.ratel.rs

[86] IEC 61334-5-1:2001 Distribution automation using distribution line carrier systems – Part 5-1: Lower layer profiles – The spread frequency shift keying (S-FSK) profile, Geneva: International Electrotechnical Commission, 2001.

[87] IEC 61334-4-32:1996 Distribution automation using distribution line carrier systems — Part 4: Data communication protocols — Section 32: Data link layer — Logical link control (LLC), Geneva: International Electrotechnical Commission, 1996.

[88] IEC 61334-4-511:2000 Distribution automation using distribution line carrier systems – Part 4-511: Data communication protocols – Systems management – CIASE protocol, Geneva: International Electrotechnical Commission, 2000.

[89] IEC 61334-4-512:2001 Distribution automation using distribution line carrier systems – Part 4-512: Data communication protocols – System management using profile 61334-5-1 – Management Information Base (MIB), Geneva: International Electrotechnical Commission, 2001.

[90] IEC 61334-6:2000 Distribution automation using distribution line carrier systems – Part 6: A-XDR encoding rule, Geneva: International Electrotechical Commission, 2000. [12] Automatic Metering Management, SAGEM Communications, 2009.

[91] "G3-PLC Alliance," [Online]. Available: www.g3-plc.com.

[92] "PRIME Alliance," [Online]. Available: www.prime-alliance.org.

[93] IEEE 1901.2-2013 – IEEE Standard for Low-Frequency (less than 500 kHz) Narrowband Power Line Communications for Smart Grid Applications, Piscataway: IEEE Standards Association, 2013.

[94] Recommendation ITU-T G.9903 Narrowband orthogonal frequency division multiplexing power line communication transceivers for G3-PLC networks, International Telecommunication Union, 2012.

[95] Recommendation ITU-T G.9904 Narrowband orthogonal frequency division multiplexing power line communication transceivers for PRIME networks, International Telecommunication Union, 2012.

[96] M. Hoch, "Comparison of PLC G3 and PRIME," in 2011 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, 2011.

[97] Y.-J. Lin, A. Latchman, M. Lee, S.Katar, "A power line communication network infrastructure for the smart home" IEEE Wireless Communications, 9(6), 104-11, Dec 2002.

[98] H. A. Latchman, K. H. Afkhamie, S.Katar, R. E. Newman, B. Mashburn, L. Yonge, "High speed multimedia home networking over powerline" National Cable Telecommunication Association, National Show Technical Papers, San Francisko, USA, Apr. 3-5, 2005, pp. 9-22.

[99] I. Vujičić, N. Gospić, N. Rajaković "Topologija širokopojasnih PLC mreža za pristup realizovanih na elektroenergetskim distributivnim mrežama niskog napona", Zbornik radova 15. Telekomunikacionog foruma TELFOR 2007, Beograd, 2007, pp 153-156.

[100] I. Vujičić, N. Gospić, N. Rajaković "Structuring of Electricity Distributive Lines for Transmission of Broadband Telecommunication Signals", Zbornik radova TELSIKS'07, Septembar 2007

[101] I. Vujičić „Kategorizacija elektrodistributivnih vodova za pružanje širokopojasnih telekomunikacionih servisa“, SINTEZA 2014

[102] Predavanje po pozivu u okviru konferencije „Next Generation of Smart Metering" u kongresnoj Sali hotela Falkensteiner u Beogradu, 9.april.2014 godine, „Smart Metering in Serbia", Jovan Vujasinović, Igor Vujičić, Vladan Lapčević.

[103] I. Vujičić, N. Gospić, "Elektroprivredne kompanije kao alternativni telekomunikacioni operatori", V Međunarodno savetovanje o telekomunikacijama – BIHTEL 2004, rad 2.4, Sarajevo, novembar 2004.

BIOGRAFIJA

Igor Vujičić je rođen 23. marta 1977. godine u Sarajevu. Osnovnu školu završio je u Sarajevu. Srednju školu završio je u Beogradu 1995. godine. Na Vojnoj akademiji, na odseku za Radarsku tehniku diplomirao je 1999. godine sa prosečnom ocenom u toku studija 8.43 (osam i četrdeset tri). Poslediplomske studije upisao je 1999. godine na Saobraćajnom fakultetu Univerziteta u Beogradu, na Odseku za poštanski i telekomunikacioni saobraćaj, gde je 31. maja 2004. godine odbranio magistarsku tezu pod nazivom *„Modeli ulaska elektroprivrednih kompanija na telekomunikaciono tržište sa osvrtom na mogućnosti Elektroprivrede Republike Srpske“*.

U oktobru 2000. godine se zapošljava u *Elektroprivredi Republike Srpske*, u elektrodistributivnom preduzeću *„Elektro-Bijeljina“* u Bijeljini, gde karijeru započinje na poziciji inženjera za električna merenja i AMM sistem. U februaru 2002. godine, prelazi na poziciju inženjera za dokumentaciju i bazu tehničkih podataka, gde u naredne četiri godine projektuje i realizuje bazu podataka Tehničkog sektora preduzeća. U martu 2006. godine napreduje na poziciju Rukovodioca Službe za informacione sisteme i telekomunikacije. Bio je član ekspertskog tima u više projekata koji se odnose na rekonstrukciju elektroenergetskog sektora u Bosni i Hercegovini, od kojih je jedan implementacija SCADA i telekomunikacionog sistema u elektroprivredi. Motivisan temom magistarske teze, inicira realizaciju optičke mreže po dalekovodima srednjeg napona sa ciljem komercijalizacije elektrodistributivih resursa u telekomunikacione svrhe, čime se intenzivno bavi narednih 18 meseci, kada karijeru nastavlja u privatnom sektoru.

U januaru 2008. godine prelazi u preduzeće *Energosoft* d.o.o gde radi na poziciji Vodećeg projektanta za tehničku podršku, gde se zadržava do avgusta iste godine, kada prelazi u novoosnovano preduzeće u okviru Grupe – *Meter&Control* d.o.o gde je i danas zaposlen na poziciji Direktora Sektora prodaje i marketinga. Preduzeće se bavi razvojem i proizvodnjom brojila električne energije sa mogućnošću daljinskog očitavanja i upravljanja potrošnjom, komunikacionih modema, softvera, i ostale opreme potrebne za funkcionisanje AMM *(Automatic Meter Management)* sistema. Poslednjih

deset godina koristi značajno inženjersko iskustvo u razvoju poslovanja i plasmanu srpskih rešenja u oblasti sistema za daljinsko očitavanje i upravljanje potrošnjom, koja obuhvataju pametna brojila električne energije, komunikacione uređaje, kao i AMI/MDM softverska rešenja na teritoriji Evropske unije.

Od 2005. do 2013. godine bio je angažovan kao asistent na Fakultetu za Poslovnu informatiku Univerziteta Sinergija u Bijeljini, na predmetima Poslovna informatika, Osnove računarske tehnike i Baze podataka. Od 2014. godine akademsku karijeru nastavlja na Univerzitetu Singidunum kao asistent na predmetu Baze podataka.

Istraživanjima koja se odnose na učešće elektroprivrednih preduzeća na tržištu telekomunikacija kao operatora različitih telekomunikacionih usluga, i mogućnostima prenosa podataka preko niskonaponskih elektroenergetskih vodova intenzivno se bavi duži niz godina, iz čega je kao rezultat proistekao određen broj objavljenih radova, uključujući odbranjenu magistarsku tezu. Kao autor ili koautor objavio je više radova na međunarodnim domaćim konferencijama, koautor je 1 monografije, a u dosadašnjem radu učestvovao je u nekoliko projekata.

Igor Vujičić je oženjen, i sa suprugom Natašom i ćerkom Mašom živi u Beogradu.

SPISAK OBJAVLJENIH RADOVA

[1.] **I. Vujičić**, N. Gospić, *"Communication Performances of Power-line Channel"*, Electronics, YU ISSN 1450-5843, vol. 9, No. 1, pages 46-50, October 2005.

[2.] **I. Vujičić,** *"Modeli ulaska elektroprivrednih kompanija na telekomunikaciono tržište"*, ELEKTROPRIVREDA, časopis Zajednice jugoslovenske elektroprivrede, YU ISSN 0013-5755, strana 78-91, broj 3, jul-oktobar 2004.

[3.] **I. Vujičić,** N. Gospić, *"Ulazak elektroprivrednih kompanija na telekomunikaciono tržište"*, naučno stručni časopis Telekomunikacije, 2-2004. YU ISSN 0040-2605 pp 27-36

[4.] Gospić N., Vujičić I., *"Učešće elektroprivrednih kompanija na evropskom telekomunikacionom tržištu"*, TEHNIKA, Časopis saveza inženjera Srbije i Crne Gore, YU ISSN 0040-2176, UDC: 62(062.2) (497.1), broj 3, strana 77-82, Godina LIX 2004.

[5.] **I. Vujičić,** N. Gospić, *"Elektroprivredne kompanije kao alternativni telekomunikacioni operatori"*, V Međunarodno savetovanje o telekomunikacijama – BIHTEL 2004, rad 2.4, Sarajevo, novembar 2004.

[6.] **I. Vujičić,** N. Gospić, *"Pružanje širokopojasnih usluga preko energetskih vodova"*, XII Telekomunikacioni Forum - TELFOR 2004, Sekcija 1, rad 1.10, Beograd, novembar 2004.

[7.] **I. Vujičić,** N. Gospić, *"Alternativni operatori na evropskom telekomunikacionom tržištu"*, XI Telekomunikacioni Forum - TELFOR 2003, Sekcija 1, rad 1.8, Beograd, novembar 2003.

[8.] **I. Vujičić,** N. Gospić, *"Strategije ulaska elektroprivrednih kompanija na telekomunikaciono tržište"*, XI Telekomunikacioni Forum - TELFOR 2003, Sekcija 1, rad 1.7, Beograd, novembar 2003.

[9.] **I. Vujičić,** N. Rajaković, *"Prenos informacija energetskim vodovima – potencijal za diversifikaciju servisa elektroprivrede"*, Zbornik radova sa 27. savetovanja JUKO-CIGRE, Knjiga 2, R B2-01, Zlatibor, maj 2005.

[10.] K. Duronjić, D. Pilipović, **I. Vujičić,** *"Modelovanje PLC mreža pomoću UML-a"*, Zbornik radova – INFOTEH2006, ISBN-99938-624-2-8, rad B-III-1, Jahorina, Bosna i Hercegovina, mart 2006.

[11.] **I. Vujičić,** *"Elektroprivredna kompanija na tržištu telekomunikacija"*, Zbornik radova sa 13. simpozijum Upravljanje i telekomunikacije u elektroenergetskom sistemu, D2-I-11, Tara, maj 2006.

[12.] **I. Vujičić**, N. Gospić, *"Ulazak elektroprivrednih kompanija na telekomunikaciono tržište"*, naučno stručni časopis Telekomunikacije, 2-2004. YU ISSN 0040-2605 pp 27-36

[13.] **I. Vujičić**, N. Gospić, *"Power Utility Companies as Telecommunication Service Operators"*, Conference Proceedings ICEST 2005, Volume 2, pages 508-511, Niš, Serbia and Montenegro, June 2005

[14.] **I. Vujičić**, N. Gospić, *"Impact of Power Line Characteristic for Providing The Telecom Services"*, Conference Proceedings TELSIKS'05, Volume 1, pages 78-82, Nis, Serbia and Montenegro, September 2005

[15.] **I. Vujičić**, N. Gospić, *"Electrical Power Grid as Broadband Telecommunication Network"*, VI International Conference on Telecommunications – BIHTEL 2006, paper 21., Sarajevo, October 2006.

[16.] **I. Vujičić**, N. Gospić, *"Energetski vod kao komunikacioni medijum"*, Zbornik radova – INFOTEH2005, rad B-II-5, ISBN-99938-624-2-8, Jahorina, Bosna i Hercegovina, mart 2005.

[17.] **I. Vujičić**, N. Gospić, *"Perspektiva telekomunikacija ERS u procesu reforme elektroenergetskog sektora Republike Srpske"*, Zbornik radova sa 27. savetovanja JUKO-CIGRE, Knjiga 1, R D2-08, Zlatibor, maj 2005.

[18.] **I. Vujičić**, N. Gospić, N. Rajaković *"Topologija širokopojasnih PLC mreža za pristup realizovanih na elektroenergetskim distributivnim mrežama niskog napona"*, Zbornik radova 15. Telekomunikacionog foruma TELFOR 2007, Beograd, 2007, pp 153-156.

[19.] **I. Vujičić**, N. Gospić, N. Rajaković *"Structuring of Electricity Distributive Lines for Transmission of Broadband Telecommunication Signals"*, Zbornik radova TELSIKS'07, Septembar 2007

[20.] Predavanje po pozivu u okviru konferencije *„Next Generation of Smart Metering"* u kongresnoj Sali hotela *Falkensteiner* u Beogradu, 9.april.2014

godine, *„Smart Metering in Serbia"*, Jovan Vujasinović, **Igor Vujičić**, Vladan Lapčević.

[21.] **I. Vujičić** „Kategorizacija elektrodistributivnih vodova za pružanje širokopojasnih telekomunikacionih servisa", SINTEZA 2014

[22.] M. Stanojević, P. Spalević, A. Jevremović, N. Stanojević, **I. Vujičić,** „Sigurna detekcija i praćenje objekata u kompromitovanoj bežičnoj senzorskoj mreži", Zbornik radova INFOTEH-JAHORINA 2018, mart 2018

[23.] M. Ilić, S. Jović, P. Spalević, **I. Vujičić** „Water cycle estimation by neuro-fuzzy approach", Computers and Electronics in Agriculture 135 (2017) 1–3

MONOGRAFIJE

[1.]Obradović S., **Vujičić I.**, Žorić A.: »Primena računara u poslovanju«, Akademska štampa, ISBN 86-904623-4-1, Beograd, 2006.,

UČEŠĆE U PROJEKTIMA

[1.]Implementacija Projekta rekonstrukcije i rehabilitacije distributivnih objekata u EPRS (Projekat –IV/EBRD), Elektroprivreda Republike Srpske, Trebinje, 2005 - 2008.

[2.]Telekomunikacije i SCADA/EMS projekat za potrebe distributivnih preduzeća u EPRS, Elektroprivreda Republike Srpske, Trebinje, 2006 - 2007.

[3.]Dizajniranje i implemetacija baze tehničkih podataka za potrebe ZP „Elektro-Hercegovina“ a.d. Trebinje, 2017.

UNAPREĐENjE KVALITETA USLUGA KOD ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA INTERNETU PREKO ELEKTRODISTRIBUTIVNIH VODOVA U REPUBLICI SRBIJI

ORIGINALITY REPORT

3%

SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

1	eprints.ugd.edu.mk Internet	238 words — 1%
2	2007.telfor.rs Internet	179 words — 1%
3	Vujičić, Igor. "Elektrodistributivni vodovi versus širokopojasni telekomunikacioni servisi", Proceedings of the 1st International Scientific Conference - Sinteza 2014, 2014. Crossref	30 words — < 1%
4	www.scribd.com Internet	29 words — < 1%
5	www.cobei.org.br Internet	28 words — < 1%
6	nardus.mpn.gov.rs Internet	27 words — < 1%
7	www.mkt.gov.ba Internet	24 words — < 1%
8	I. Berganza Valmala. "Systems and Implementations", Power Line Communications Theory and Applications for Narrowband and Broadband Communications over Power Lines, 05/07/2010 Crossref	24 words — < 1%

9	P. Amirshahi. "Channel Characterization", Power Line Communications Theory and Applications for Narrowband and Broadband Communications over Power Lines, 05/07/2010 Crossref	24 words — < 1%
10	www2.rid.go.th Internet	18 words — < 1%
11	search.telarc.co.nz Internet	17 words — < 1%
12	www.infotech.org.rs Internet	17 words — < 1%
13	dspace-uniud.cineca.it Internet	17 words — < 1%
14	dlms.com Internet	16 words — < 1%
15	www.ijsrp.org Internet	16 words — < 1%
16	www.ist-opera.org Internet	16 words — < 1%
17	www.worldbid.com Internet	13 words — < 1%
18	singidunum.ac.rs Internet	13 words — < 1%
19	tailieu.tv Internet	12 words — < 1%
20	isatis-co.ir Internet	11 words — < 1%
21	"References", Elsevier BV, 1999 Crossref	10 words — < 1%

22	www.ratel.org.rs Internet	10 words — < 1%
23	www.electronics.etfbl.net Internet	10 words — < 1%
24	msa.org.mt Internet	10 words — < 1%
25	www.odeaanaude.eu Internet	10 words — < 1%
26	www.unit.org.uy Internet	9 words — < 1%
27	www.mc.rs Internet	9 words — < 1%
28	Miroslav, Djordjevic. "Effect of the tank main gun on the radiation pattern of the monopole antenna", Vojnotehni?ki glasnik, 2011. Crossref	9 words — < 1%
29	journal.iph.ras.ru Internet	9 words — < 1%
30	www.diegm.uniud.it Internet	9 words — < 1%
31	www.dmdm.gov.rs Internet	8 words — < 1%
32	dsm.iea.org Internet	8 words — < 1%
33	docnum.univ-lorraine.fr Internet	8 words — < 1%
34	infocom.uniroma1.it Internet	8 words — < 1%

35	ewg.rs Internet	8 words — < 1%
36	Advances in Intelligent Systems and Computing, 2014. Crossref	8 words — < 1%
37	www.sfu.ca Internet	8 words — < 1%
38	ddd.uab.cat Internet	8 words — < 1%
39	documents.mx Internet	8 words — < 1%
40	www.revistaopapel.org.br Internet	8 words — < 1%
41	www.jacb.jp Internet	8 words — < 1%
42	www.europment.org Internet	8 words — < 1%
43	www.eurescom.de Internet	8 words — < 1%
44	Stefan G. Hoffmann. "Layer-2 security for PLC - a comparison between ITU-T G.9903 and IEEE 1901.2", 2016 International Symposium on Power Line Communications and its Applications (ISPLC), 2016 Crossref	7 words — < 1%
45	Majumder, Satya Prasad, and Munshi Mahbubur Rahman. "Analytical bit error rate performance evaluation of an orthogonal frequency division multiplexing power line communication system impaired by impulsive and Gaussian channel noise", The Journal of Engineering, 2015. Crossref	6 words — < 1%

46 Sarafi, A., G. Tsiropoulos, and P. Cottis. "Hybrid wireless-broadband over power lines: A promising broadband solution in rural areas", IEEE Communications Magazine, 2009.
Crossref

6 words — < 1%

47 Hela Gassara, Fatma Rouissi, Adel Ghazel. "Statistical Characterization of the Indoor Low-Voltage Narrowband Power Line Communication Channel", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2014
Crossref

6 words — < 1%

EXCLUDE QUOTES OFF
EXCLUDE BIBLIOGRAPHY ON
EXCLUDE MATCHES < 5 WORDS