

УНИВЕРЗИТЕТ СИНГИДУМУ
БЕОГРАД
ДЕПАРТМАН ЗА ПОСЛЕДИПЛОМСКЕ СТУДИЈЕ

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

УНАПРЕЂЕЊЕ КВАЛИТЕТА УСЛУГА
КОД ШИРОКОПОЈАСНОГ ПРИСТУПА ИНТЕРНЕТУ
ПРЕКО ЕЛЕКТРОДИСТРИБУТИВНИХ ВОДОВА
У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ

МЕНТОР:
проф. др Петар Спалевић

КАНДИДАТ:
мр Игор Вујичић

БЕОГРАД, 2018.год.

SINGIDUNUM UNIVERSITY
BELGRADE
DEPARTMENT OF POSTGRADUATE STUDIES

DOCTORAL DISSERTATION

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

MENTOR:
Prof. Petar Spalević, PhD

CANDIDATE:
MSc Igor Vujičić

BELGRADE, 2018

РЕЗИМЕ

Коришћење електроенергетских водова за пренос телекомуникационих сигнала датира још од краја 19. века. С обзиром на несразмерну инвестицију у доступне конвенционалне телекомуникационе технологије, идеја преноса телекомуникационих сигнала, првобитно у свху управљања аутоматском регулацијом у трафостаницама, је покренула истраживање и развој тзв. Power Line Communication (PLC). Током година, стандардизован је фреквенцијски опсег који је додељен за PLC комуникацију у CENELEC опсегу (3 kHz до 148,5 kHz), а ова ускопојасна двосмерна PLC комуникација је нашла своју масовнију примену у домену даљинско читавања бројила електричне енергије и управљање потрошњом. Дакле, PLC технологија је користи за реализацију комуникационих сервиса у приступној равни, односно директно до крајњег корисника - потрошача електричне енергије.

У међувремену, развијен је комерцијализован читав спектар савремених телекомуникационих технологија и сервиса које телекомуникациони оператери пружају својим корисницима. Исти ти корисници су корисници и услуге испоруке електричне енергије, која је у надлежности електродистрибутивних компанија. Електродистрибутивне компаније и произвођачи PLC опреме су у последњих 15 година препознали свој интерес инвестирајући у развој широкопојасне PLC комуникације, која подразумева коришћење фреквенцијског опсега од 1,6 MHz до 30 MHz, што омогућује и реализацију већих брзина преноса података (теоретски до 200 Mbit/s), како би се подржали широкопојасни сервиси као што је VoIP, VoD, као и брзи Интернет. Проширењем свога пословања и у овом смеру, електродистрибутивне компаније диверсификују своје услуге и бивају конкурентнији на либерализованом тржишту електричне енергије.

У овом раду је дат преглед изазова и ограничења која су постављена пред коначну комерцијализацију широкопојасне PLC комуникације (BPL), као и предлог техничких решења којима се ти изазови и ограничења могу у оптималној мери превазићи, као и предлог конкретног пројектног истраживања а и евалуације показатеља који би били основа за верификацију примењивости BPL технологије

за реализацију приступне телекомуникационе равни и пружање широкопојасних сервиса крајњим корисницима.

Рад је конципиран у 10 поглавља. Након уводног, првог поглавља у коме је описан предмет истраживања, мотивација за избор ове актуелне теме, циљеви истраживања, задаци, те допринос који се од резултата истраживања очекује, у следећем поглављу је приказан детаљан преглед врста електроенергетских водова који се могу наћи у експлоатацији и њихових карактеристика у погледу пружања телекомуникационих услуга. Наиме, постоје различите врсте електроенергетских проводника којима се реализују, како подземне, тако и надземне мреже. Како нисконапонски водови нису примарно пројектовани за пренос телекомуникационог саобраћаја, те и саме њихове конструкцијске и техничке карактеристике нису оптималне за пренос ове врсте сигнала, свака врста проводника, као и његова примена у смислу начина реализације вода, дужине, гранања и сл., представља на неки начин јединствен модел ВРЛ канала, са својим специфичним карактеристикама.

Треће поглавље представља преглед елемената PLC система и теоријску анализу карактеристика и утицаја сваког од његових елемената на перформансе PLC комуникације. С обзиром да топологија електроенергетске мреже значајно утиче на топологију PLC мреже којој се по њој реализује, у четвртом поглављу је представљен приказ различитих топологија електродистрибутивних мрежа ниског напона, кроз опис организације PLC приступних мрежа у смислу методологије избора оптималног места за инсталацију PLC базне станице на мрежи, сегментирања PLC мреже за приступ, као и случајеви у којима је неопходно коришћење регенератора PLC сигнала и гејтвеја у PLC мрежи.

На електроенергетској мрежи се јавља значајан број различитих шума који утичу на PLC, односно ВРЛ комуникацију. Пето поглавље категорише и специфицира врсте сметњи које се јављају у нисконапонским, али и средњенапонским мрежама. Такође, у оквиру овог поглавља представљене су и модулационе технике које су нашле примену у PLC системима, свака са својим предностима и недостацима, са предлогом и описом OFDM модулације као оптималне модулације за PLC комуникацију.

Поред модулационих техника, неопходно је сагледати технике комутације телекомуникационог саобраћаја у оквиру PLC система, као и идентификовати ефикасан MAC протокол за примену у приступној PLC мрежи. Наведено је представљено у шестом поглављу. Наиме, сваки од конвенционалних MAC протокола има своје предности и недостатке за поуздану примену у PLC системима, те је за реализацију предложен својеврсни концепт хибридног MAC протокола који би био прикладан за примену у PLC мрежи уважавајући могуће сценарије захтева за доделом капацитета и приступа PLC мрежи од стране комуникационих чворова, односно крајњих корисника.

Свака од широкопојасних телекомуникационих услуга које су и циљне услуге за пружање корисницима по приступној широкопојасној PLC мрежи, имају и своје захтеве у погледу квалитета услуге који потребно обезбедити, како би предложена технологија пружања услуге могла бити конкурентна у односу на конвенционалне телекомуникационе технологије. У седмом поглављу су описане врсте мултимедијалног садржаја које се предвиђају за пренос по приступној широкопојасној PLC мрежи, као и захтеви за квалитетом (QoS) за сваки од мултимедијалних садржаја.

Широкопојасни PLC (Broadband Power Line – BPL) има своја ограничења, како техничка, која су наведена у претходним поглављима, тако и регулаторна. Наиме, BPL комуникација интерферира са другим системима који користе исти фреквенцијски спектар, што је нарочито изражено код надземних водова који се понашају као антене и зраче сигнал у околни простор. У осмом поглављу је представљен регулаторни аспект имплементације BPL технологије и система, на глобалном плану, али и кроз регулаторни оквир у Републици Србији.

У деветом поглављу, је предложено конкретно пројекатно истраживање за идентификацију показатеља који би били основа за верификацију примењивости BPL технологије за реализацију приступне телекомуникационе равни и пружање широкопојасних сервиса крајњим корисницима у Републици Србији.

У последњем, десетом поглављу је систематизован закључак.

Кључне речи: *нисконапонска електродистрибутивна мрежа, надземна мрежа, подземна мрежа, трафостаница, топологија мреже, широкојасна PLC комуникација, ПЛЦ модеми, телекомунникациона мрежа за приступ,*

*широкопојасни телекомуникациони сервиси, Интернет, VoD, VoIP, QoS, MAC
протокол, модулација, регулаторни оквир, ЕПС Дистрибуција, Пројекат
имплементације, Република Србија*

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

Списак слика:

| | |
|---|-----|
| СЛИКА 2-1 А) ТОПОЛОГИЈА ВИСОКОНАПОНСКЕ МРЕЖЕ, Б) СЛОЖЕНОСТ НИСКОНАПОНСКЕ МРЕЖЕ. | 20 |
| СЛИКА 2-2 ПРЕЛАЗАК СА АМР СИСТЕМА НА АММ СИСТЕМЕ (ФУНКЦИОНАЛНОСТИ) . | 32 |
| СЛИКА 2-3 ПРЕЛАЗАК СА АММ СИСТЕМА НА АМІ СИСТЕМЕ (ФУНКЦИОНАЛНОСТИ)... | 33 |
| СЛИКА 2-4 РАЗВОЈ И ИНТЕГРАЦИЈА АМХ СИСТЕМА У КОНЦЕПТУ ПАМЕТНЕ МРЕЖЕ (SMART GRID) | 35 |
| СЛИКА 2-5 ПРЕЛАЗАК СА АМІ СИСТЕМА НА SMS СИСТЕМЕ (ФУНКЦИОНАЛНОСТИ) | 35 |
| СЛИКА 2-6 НЕИЗОЛОВАНИ НАДЗЕМНИ НИСКОНАПОНСКИ ВОД..... | 40 |
| СЛИКА 2-7 ИЗОЛОВАНИ НАДЗЕМНИ НИСКОНАПОНСКИ ВОД | 42 |
| СЛИКА 2-8 НАДЗЕМНИ ИЗОЛОВАНИ ВОД ЗА ПРИКЉУЧЕЊЕ ОБЈЕКТА..... | 42 |
| СЛИКА 2-9 ЧЕТВЕРОЖИЛНИ ПОДЗЕМНИ КАБЛ. | 44 |
| СЛИКА 2-10 ПОДЗЕМНИ КАБЛОВИ ЗА КУЋНИ ПРИКЉУЧАК | 44 |
| СЛИКА 2-11 ВРСТЕ ШУМОВА НА НИСКОНАПОНСКОМ ВОДУ..... | 46 |
| СЛИКА 3-1 ШУМОВИ НА ВИОКОНАПОНСКОМ ВОДУ. | 53 |
| СЛИКА 3-2 ШУМОВИ НА НИСКОНАПОНСКОМ ВОДУ | 54 |
| СЛИКА 3-3 ШУМОВИ НА НИСКОНАПОНСКОМ ВОДУ | 56 |
| СЛИКА 4-1 ШЕМАТСКИ ПРИКАЗ СТРУКТУРЕ ЕЛЕКТРОДИСТРИБУТИВНЕ МРЕЖЕ НИСКОГ НАПОНА..... | 59 |
| СЛИКА 4-2 ИНСТАЛАЦИЈА РLVBS У ТРАФОСТАНИЦИ..... | 61 |
| СЛИКА 4-3 РАЗЛИЧИТА ТОПОЛОГИЈА ПРИСТУПНЕ РLС МРЕЖЕ У ОДНОСУ НА ТОПОЛОГИЈУ НИСКОНАПОНСКЕ МРЕЖЕ | 62 |
| СЛИКА 4-4 РЕАЛИЗОВАЊЕ РLС ПОДСИСТЕМА НА СЕГМЕНТИМА НН МРЕЖЕ | 63 |
| СЛИКА 4-5 ВИШЕ НЕЗАВИСНИХ РLС ПРИСТУПНИХ МРЕЖА У ОКВИРУ ТЕРИТОРИЈЕ КОЈУ ПОКРИВА ЈЕДНА ТРАФОСТАНИЦА. | 64 |
| СЛИКА 4-6 СЕГМЕНТАЦИЈА ПРИСТУПНЕ РLС МРЕЖЕ РИПИТЕРИМА ИЛИ ГЕЛТВЕЈИМА | 66 |
| СЛИКА 5-1 БЛОК ДИЈАГРАМ OFDM СИСТЕМА..... | 74 |
| СЛИКА 5-2 БЛОК ДИЈАГРАМ OFDM СИСТЕМА..... | 76 |
| СЛИКА 9-1 НИСКОНАПОНСКА МРЕЖА ТС В-474 (GIS ПРИКАЗ) | 106 |
| СЛИКА 9-2 НИСКОНАПОНСКА МРЕЖА ТС В-474 (TIS ПРИКАЗ)..... | 106 |
| СЛИКА 9-3 НИСКОНАПОНСКА МРЕЖА ТС В-474 (ДЕОНИЦЕ КАБЛОВСКИХ ВОДОВА)... | 107 |
| СЛИКА 9-4 НИСКОНАПОНСКА МРЕЖА ТС V-296 (GIS ПРИКАЗ) | 108 |
| СЛИКА 9-5 НИСКОНАПОНСКА МРЕЖА ТС V-296 (TIS ПРИКАЗ) | 109 |
| СЛИКА 9-6 НИСКОНАПОНСКА МРЕЖА ТС V-296 (НИСКОНАПОНСКИ ИЗЛАЗИ)..... | 109 |
| СЛИКА 9-7 НИСКОНАПОНСКА МРЕЖА ТС В-296 (ГРАНАЊЕ МРЕЖЕ) | 110 |
| СЛИКА 9-5 НИСКОНАПОНСКА МРЕЖА ТС Z-938 (TIS ПРИКАЗ)..... | 113 |
| СЛИКА 9-9 РLС ЋЕЛИЈА V-296 | 119 |

Списак табела:

| | |
|---|-----|
| ТАБЕЛА 2-1 ПАРАМЕТРИ G3-PLC И PRIME | 27 |
| ТАБЕЛА 7-1 ПРОТОК И QOS ЗАХТЕВИ ЗА МУЛТИМЕДИЈАЛНЕ АПЛИКАЦИЈЕ..... | 91 |
| ТАБЕЛА 9-1 ПОДАЦИ О СТРУКТУРИ НИСКОНАПОНСКЕ МРЕЖЕ ТС В-474 | 107 |
| ТАБЕЛА 9-2 ПОДАЦИ О СТРУКТУРИ НИСКОНАПОНСКЕ МРЕЖЕ ТС V-296 | 112 |
| ТАБЕЛА 9-3 ПОДАЦИ О СТРУКТУРИ НИСКОНАПОНСКЕ МРЕЖЕ ТС 3-938..... | 117 |
| ТАБЕЛА 9-4 УПОРЕДНА АНАЛИЗА ПАРАМЕТАРА ОДАБРАНИХ ТРАФОСТАНИЦА | 118 |
| ТАБЕЛА 9-5 ПРЕГЛЕД ЗАХТЕВАНИХ СЕРВИСА СА ЗАХТЕВАНИМ КАПАЦИТЕТОМ ПО КОРИСНИКУ | 121 |
| ТАБЕЛА 9-6 ПАРАМЕТРИ СИСТЕМА | 126 |
| ТАБЕЛА 9-7 ТЕХНИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ | 129 |
| ТАБЕЛА 9-8 СТАНДАРДИ ЗА БРОЈИЛА ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ | 130 |

Садржај

| | |
|---|-----------|
| РЕЗИМЕ | 2 |
| ABSTRACT | 6 |
| 1 УВОД..... | 14 |
| 1.1 Предмет истраживања..... | 14 |
| 1.2 Мотивација | 16 |
| 1.3 Циљеви и задаци истраживања | 16 |
| 1.4 Очекивани допринос..... | 17 |
| 2 КОРИШЋЕЊЕ PLC ТЕХНОЛОГИЈЕ ПО ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКИМ ВОДОВИМА..... | 19 |
| 2.1 Историјат коришћења електроенергетских водова у сврху преноса телекомуникационих сигнала | 19 |
| 2.2 Стандарди код употребе PLC технологије | 21 |
| 2.2.1 S-FSK технологија..... | 23 |
| 2.2.2 OFDM технологија | 24 |
| 2.2.2.1 G3-PLC..... | 24 |
| 2.2.2.2 PRIME..... | 26 |
| 2.2.2.3 IEEE 1901.2..... | 27 |
| 2.3 Развој АММ система реализованих на PLC технологији..... | 30 |
| 2.4 Категоризација електроенергетских водова за пружање телекомуникационих услуга | 37 |
| 2.4.1 Идентификација типова нисконапонских водова примењених у телекомуникационој приступној равни | 39 |
| 2.4.1.1 Надземни нисконапонски водови | 40 |
| 2.4.1.2 Подземни нисконапонски водови | 43 |
| 3 ОСНОВНИ ЕЛЕМЕНТИ PLC СИСТЕМА..... | 49 |
| 3.1 Повезивање елемената система..... | 56 |
| 4 ТОПОЛОГИЈА ЕЛЕКТРОДИСТРИБУТИВНИХ МРЕЖА НИСКОГ НАПОНА.. | 58 |
| 4.1 Организација PLC приступних мрежа | 60 |
| 4.1.1 Избор локација за инсталацију PLC базне станице..... | 60 |
| 4.1.2 Сегментација PLC приступне мреже | 62 |
| 4.1.3 Улога гејтвеја и рипитера у PLC приступној мрежи | 65 |

| | |
|---|-----------|
| 5 СМЕТЊЕ КОЈЕ СЕ ЈАВЉАЈУ У СРЕДЊЕНАПОНСКИМ И НИСКОНАПОНСКИМ МРЕЖАМА | 69 |
| 5.1 Сметње у средњенапонским мрежама..... | 69 |
| 5.2 Сметње у нисконапонским мрежама..... | 70 |
| 5.3 Модулационе технике | 72 |
| 5.3.1 Single-carrier модулација | 72 |
| 5.3.2 Spread spectrum модулација..... | 73 |
| 5.3.3 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) модулација | 74 |
| 5.3.3.1 Концепт OFDM модулације..... | 76 |
| 5.3.3.2 Елиминација импулсног шума..... | 78 |
| 6 КОМУТАЦИЈА САОБРАЋАЈА У СРЕДЊЕНАПОНСКОЈ И НИСКОНАПОНСКОЈ МРЕЖИ..... | 80 |
| 6.1 MAC протоколи у приступној PLC мрежи | 80 |
| 7 ШИРОКОПОЈАСНЕ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОНЕ УСЛУГЕ У ПРИСТУПНОЈ PLC МРЕЖИ | 87 |
| 7.1 Врсте мултимедијалних садржаја за пренос по широкопојасној PLC мрежи | 88 |
| 7.1.1 Дигитални видео | 88 |
| 7.1.2 Скенирани фајлови и дигиталне фотографије | 89 |
| 7.1.3 Аудио садржаји– музички и говорни садржаји | 89 |
| 7.1.4 Интерактивни садржаји - говор и видео..... | 90 |
| 7.1.5 Гејминг и симулације | 90 |
| 7.2 Захтеви за квалитетом услуге (QoS) код пружања мултимедијалног саобраћаја | 91 |
| 7.2.1 Проток | 91 |
| 7.2.2 Губитак пакета и кашњење | 92 |
| 7.2.3 Џитер..... | 92 |
| 8 РЕГУЛАТОРНИ АСПЕКТ ИМПЛЕМЕНТАЦИЈЕ ШИРОКОПОЈАСНЕ PLC ТЕХНОЛОГИЈЕ И СИСТЕМА | 94 |
| 9 ПРЕДЛОГ ПРОЈЕКТА ИМПЛЕМЕНТАЦИЈЕ ШИРОКОПОЈАСНОГ PLC КОМУНИКАЦИОНОГ СИСТЕМА У ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКОЈ МРЕЖИ ЕПС ДИСТРИБУЦИЈЕ У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ | 97 |
| 9.1 ОПИС И ЦИЉ ПРОЈЕКТА..... | 97 |
| 9.2 Концепт реализације пројекта..... | 99 |
| 9.3 Предмет и циљ пројекта | 101 |
| 9.3.1 Изградња PLC приступне мреже по нисконапонској мрежи ДП Београд..... | 101 |
| 9.3.2 Реализација сервиса за кориснике PLC мреже | 103 |
| 9.3.3 Праћење рада и верификација карактеристика PLC опреме и система..... | 104 |
| 9.4 Подаци о нисконапонској мрежи..... | 104 |
| 9.4.1 Нисконапонска мрежа В-474..... | 105 |

| | | |
|-------------|---|------------|
| 9.4.2 | Нисконапонска мрежа TC V-296 | 107 |
| 9.4.3 | Нисконапонска мрежа TC Z-938 | 112 |
| 9.4.4 | Поређење структуре мреже одабраних трафостаница | 118 |
| 9.5 | Техничко решење..... | 119 |
| 9.5.1 | Конфигурација PLC сегмената | 119 |
| 9.6 | Услуге у пројектованој PLC мрежи..... | 121 |
| 9.7 | Конфигурација, надзор и управљање у пројектованој PLC мрежи..... | 123 |
| 9.8 | Услови за пројектовање и инсталацију | 124 |
| 9.9 | Предвиђени услови за рад бројила електричне енергије..... | 125 |
| 9.9.1 | Климатски услови на месту уградње бројила електричне енергије | 125 |
| 9.9.2 | Параметри система на месту уградње..... | 126 |
| 9.10 | Техничке спецификације за PLC опрему..... | 126 |
| 9.11 | Техничке карактеристике бројила електричне енергије | 129 |
| 9.11.1 | Стандарни које бројило треба да задовољава | 129 |
| 9.11.2 | Функционалности које бројило треба да подржава | 130 |
| 9.11.2.1 | Профили оптерећења | 130 |
| 9.11.2.2 | Лимитација снаге | 131 |
| 9.11.2.3 | Code Red | 132 |
| 9.11.2.4 | Дневник догађаја | 133 |
| 9.11.2.5 | Ажурирање фирмвера | 134 |
| 9.11.2.6 | Мерење квалитета испоручене електричне енергије..... | 134 |
| 9.11.2.7 | Интегритет мерења..... | 135 |
| 10 | ЗАКЉУЧАК..... | 136 |
| | REFERENCE | 140 |
| | БИОГРАФИЈА..... | 150 |
| | СПИСАК ОБЈАВЉЕНИХ РАДОВА..... | 152 |
| | МОНОГРАФИЈЕ | 155 |
| | УЧЕШЋЕ У ПРОЈЕКТИМА | 156 |

1 УВОД

1.1 ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА

Предмет истраживања у овој дисертацији је комуникација путем PLC (*енгл. Power Line Communication*) технологија. Овај вид комуникације користи нисконапонске и/или средњенапонске као медијум за пренос телекомуникационих сигнала, а примарно је развијен са циљем једноставног даљинског управљања електроенергетским системом и телефоније за потребе електродистрибутивних предузећа [1]. Овакав вид комуникације је доста спорији у односу на бежичне комуникације и друге савремене видове комуникација из разлога што електродистрибутивна мрежа није одговарајући медиј за пренос сигнала високе фреквенције. Међутим, коришћењем високоразвијених технологија за обраду сигнала у области телекомуникација и других напредних технологија, овај вид комуникације постао је занимљив за истраживање и примену у електродистрибутивним мрежама. Актуелна генерација PLC система користи фреквенције у опсегу од 1,6 – 30 MHz. Овај опсег омогућује реализацију великих протока (теоретски до 200 Mbit / sec) [2], а путем којих је могуће подржати пружање и широкопојасних услуга. Широкопојасни PLC – ŠPLC системи се према подручју примене могу поделити на PLC системе за приступ (*Access PLC*) и кућне PLC (*In-Home PLC*) [3], [4]. Истраживање представљено у овој дисертацији је фокусирано на топологије приступних PLC мрежа, које се реализују на инфраструктури нисконапонских електродистрибутивних мрежа.

У поређењу са другим комуникационим медијумима комуникација путем електродистрибутивних комуникационих мрежа има велике недостатке у погледу преноса сигнала у широкопојасном пропусном опсегу. Проблеми који се јављају у виду слабљења сигнала, позадинског обојеног шума и сличних импулсних шумова представљају врло ограничавајући фактор. Из овог разлога потребно је детаљно истражити PLC и многе недостатке који се јављају у њиховој примени у овом виду комуникације. Потребно је детаљно истражити карактеристике PLC канала. PLC представља оптимално поуздан и врло једноставан модел канала за

коришћење у дистрибутивним комуникационим мрежама. За моделовање PLC канала, крајем 90-тих година развијене су две методе, и то:

- *multipath* модел, и
- модел теорије преноса (TLT).

Такође за моделовање PLC користе се и модулације као што су OFDM (*енгл. Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) и повезана пулсна OFDM [5] и таласна (*wavelet*) OFDM [6].

За успешно коришћење ова два модела потребно је познавање топологије мреже и електричних особина каблова као предуслове који ометају њихову примену.

Додатно, PLC мора да задовољи и могућност примене у различитим сценаријима експлоатације. PLC мора подржати могућност различитих брзина преноса, мора омогућити различиту покривеност, као и робусност у врло сложеним и различитим апликацијама.

Топологија нисконапонских мрежа у великој мери утиче на могућност коришћења ових мрежа за комуникацију а такође и специфичне карактеристике нисконапонских водова као медијума за пренос сигнала високе фреквенције [7]. У електродистрибутивним водовима изражена је значајна присутност шума који потичу од различитих извора, а такође је врло изражена и велика варијација вредности временске импедансе. Велики број извода (кракова) и огранака на нисконапонској мрежи утиче на појаву рефлексија и ефеката вишеструке пропагације. На квалитет комуникационог сигнала у нисконапонском воду утиче и и слабљење које се јавља услед простирања сигнала по воду, а које се повећава са повећањем фреквенције сигнала и дужине проводника (електродистрибутивног вода).

Такође, неопходно је уважити чињеницу да се у електродистрибутивним мрежама могу наћи и различите врсте водова, који по месту и начину инсталирања могу бити [100] ,[101]:

- надземни водови (проводници постављени на стубовима), или
- подземни водови (проводници се полажу у земљу).

Проводници у нисконапонским мрежама се разликују по пресеку, али и врсти материјала од којег се праве, као и по врсти изолације.

Надземни водови могу бити:

- неизоловани,
- слабоизоловани и
- изоловани.

1.2 МОТИВАЦИЈА

Основни мотив овог рада јесте да се изврши детаљна анализа једног савременог приступа широкопојасног модела комуникација применом PLC-а на електродистрибутивној мрежи. Детаљном анализом својства преноса података путем PLC широкопојасне електродистрибутивне мреже и утицаја сметњи потребно је доћи до закључка о оправданости оваквог модела преноса података. Као резултат детаљне анализе топологије електродистрибутивне мреже у Републици Србији, и утицаја различитих видова сметњи који се могу јавити приликом примене овог вида комуникације, долази се до закључка о оправданости примене и имплементације овог приступа у ЕПС Дистрибуцији (која је оператор дистрибутивног система у Републици Србији чији је оснивач Електропровреда Србије), али и осталих електродистрибутивних предузећа са сличном топологијом мреже, а какве су свакако електродистрибуција у Региону.

На основу добијених резултата предложен је модел и топологија мреже за примену у ЕПС Дистрибуцији.

1.3 ЦИЉЕВИ И ЗАДАЦИ ИСТРАЖИВАЊА

Детаљна анализа и предлог пројекта изградње PLC приступне мреже по нисконапонској и средњонапонској мрежи у ЕПС Дистрибуцији. Детаљна анализа и предлог реализације сервиса за кориснике PLC мреже.

Научни циљ овог истраживања јесте утврђивање ефикасности преноса података PLC комуникационим каналом реализованим у електродистрибутивним нисконапонским и средњенапонским мрежама.

Посебан циљ истраживања је утврдити могућност коришћења оваквих комуникационих система за ефикасан пренос података за широки број корисника ван затвореног система електродистрибуције.

1.4 ОЧЕКИВАНИ ДОПРИНОС

Сагледавањем перформанси PLC комуникационих система примењених у електродистрибутивним мрежама може се значајно побољшати систем комуникације. Предложеним методама може се значајно побољшати анализирање перформанси PLC комуникационих система.

PLC комуникациони системи базирани на електродистрибутивним мрежама представљају једну јефтину и веома ефикасну комуникациону методу која се може користити у постојећој инфраструктури.

Применом предложених топологија PLC комуникационих система у постојећим електродистрибутивним мрежама ниског напона, у условима либерализације тржишта електричне енергије, електродистрибуције могу диверзификовати своје услуге и јефтино пружити квалитетне телекомуникационе услуге широком броју корисника и домаћинстава које већ снабдева електричном енергијом, а без инсталирања нове мреже.

Предмет и тема докторске дисертације су актуелни, а коришћење модулација и PLC комуникационе технологије у постојећој инфраструктури електроенергетске мреже представља допринос предложеног истраживања у имплементације комуникационих технологија и електродистрибутивних мрежа.

Уважавајући предмет и циљ, хипотезе од којих се полази, као и методе истраживања, очекује се да ће резултати овог научно-истраживачког рада имати допринос на пружање широкопојасних услуга по електродистрибутивној мрежи на подручју Републике Србије.

Резултат ове дисертације након спроведеног истраживања јесте да се применом топологије широкопојасних PLC комуникација у електродистрибутивним мрежама може успешно и јефтино вршити пренос података за различите апликације.

2 КОРИШЋЕЊЕ PLC ТЕХНОЛОГИЈЕ ПО ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКИМ ВОДОВИМА

2.1 ИСТОРИЈАТ КОРИШЋЕЊА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКИХ ВОДОВА У СВРХУ ПРЕНОСА ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОНИХ СИГНАЛА

Почеци коришћења електричних водова у комуникационе сврхе датирају још са краја 19. и почетка 20. века. Електроенергетске транспортне и дистрибутивне мреже су од самог почетка електрификације биле интересантне за коришћење у комуникационе сврхе, док се деведесетих година прошлог века као последица технолошког скока и убрзаног развоја електронике и телекомуникационе опреме, то интересовање значајно повећало.

У ранијем периоду развоја су ове врсте комуникација биле ограничене и углавном су коришћене у управљачке сврхе за потребе електроенергетских компанија [8, 9, 10] (просто управљање трафостаницама), као и за гласовну-телефонску комуникацију такође у електроенергетским компанијама [11, 12]. Почетком двадесетог века предложена је вишеструка тонска шема (Лоудри) која је слична данашњој DTMF технологији (*енгл. Dual-Tone Multi Frequency*) [15]. Такође, истовремено је од стране истог научника предложено да се користе филтери - коришћењем једног филтра за сваки тон. Овај вид комуникације је примењен и у садашњим савременим концептима PLC технологија високе фреквенције [14]. У овим комуникацијама је значајно место заузела и OFDM (*енгл. Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) [16] и све врсте FSK (*енгл. Frequency Shift-Keying*) [17], технике које се успешно користе код овог вида комуникација коришћењем различитих фреквенција.

Дакле, у првим деценијама двадесетог века постало је заступљеније коришћење електродистрибутивних високонапонских мрежа за пренос гласа из разлога што се електрификација убрзано ширила и на сеоске средине [11]. Овакав вид комуникације је у наредним годинама и деценијама постајао све заступљенији и интересантнији и у средњенапонским мрежама због своје распрострањености (слика 2-1 а) [18], али су се код преласка са једног напонског нивоа на други

јављали проблеми у комуникацији, јер трансформатори у комуникационом смислу представљају прекид вода. Требало је пронаћи начин да се заобиђу трансформатори (слика 2-. б) [18]. Значи било је потребно при спајању линије на два различита напонска нивоа пронаћи начин капловања (*eng. coupling*) сигнала са вода који напаја примар енергетског трансформатора на вод који је спојен на секундар истог трансформатора [19].



а)



б)

Слика 2-1 а) Топологија високонапонске мреже, б) сложеност нисконапонске мреже.

Комуникација преко електроенергетских водова свих облика имала је своју примену и током другог светског рата када је због забране коришћења емитовања радиоаматерског сигнала, због могућности ометања војне комуникације, заједница радиоаматера прешла на коришћење свих врста каблова и водова за потребе емитовања сигнала и комуникације, па и енергетских водова.

Развојем телекомуникација и телекомуникационе опреме, и електроенергетске мреже су постале занимљиве и као медиј за пренос разних врста података у телекомуникацијама. Два су разлога за то. Један је да се појавом

електронских бројила електричне енергије осамдесетих година прошлог века, јавила идеја и оправдана потреба за дањинском комуникацијом са тим бројилима у сврху читавања. Комуникација је у почетку једносмерна, а касније и двосмерна, што је омогућила и управљање бројилима (у смислу подешавања и контроле потрошње). Други разлог је што се брзим развојем полупроводника и електронских компоненти у телекомуникацијама отворио пут за коришћење и кућних напонских инсталација за потребе телекомуникација. Доступност ове технологије постаје широко распрострањена појавом модема за кућне мреже [13, 14].

У циљу ефикасног коришћења електроенергетских мрежа врши се истраживање PLC-а, пре свега повећања пропусног опсега, како би се подржала потреба и могућност за пренос све већих количина података (све сложенијих типова телекомуникационих сервиса). Повећањем пропусног опсега (а самим тим и фреквенције) долази до повећања сметњи у воду, каналном моделовању, кодирању канала, синхронзацијама и релејима за PLC. У овом раду ће се посебна пажња обратити на карактеристике PLC-а у смислу модулације и шема кодирања канала, као и карактеристика слабљења и дистрибутивне мрежи. Такође, посебно ће се обратити пажњу на карактеристике и могућност употребе PLC-а у циљу побољшања покривености и капацитета постојеће мреже Републици Србији.

2.2 СТАНДАРДИ КОД УПОТРЕБЕ PLC ТЕХНОЛОГИЈЕ

Генерално, коришћење PLC-а у телекомуникацијама се може поделити на широкопојасне и ускопојасне комуникације, те је у складу са тим потребно при коришћењу истих применити одређене стандарде.

Код ускопојасних комуникација, актуелни стандарди предвиђају карактеристични опсег од 3 kHz -148,5 kHz. Ови стандарди се примењују у Европи и могу бити подељени на подопсеге који су класификовани као А, В, С, D, и подопсег за потребе електродистрибутивних компанија (европска комисија за стандардизацију CENELEC стандард, уредба EN 50065 – 1), где су фреквенције расподељене на следећи начин:

- 3 – 9 kHz подопсег за потребе електродистрибутивних компанија,

-
- 9 – 95 kHz (A band) подопсег за потребе електродистрибутивних компанија,
 - 95 – 125 kHz (B band) подопсег за потребе корисника.
 - 125 – 140 kHz (C band) подопсег за потребе корисника, CSMA протокол.
 - 140 – 148,5 kHz (A band) подопсег за потребе корисника.

CENELEC ограничава амплитуду сигнала у А – опсегу на максимум 5 V (0,75 – 5V, у зависности од типа модулације). Амплитуде сигнала у В, С и D – опсегу су ограничене на 0,63 V. Оваква регулација поставља оштра ограничења у погледу сервиса који се могу реализовати овом технологијом. За захтевне апликације у погледу великих протока, потребан је шири пропусни опсег јер је пропусни опсег пропорционалан брзини преноса. Нове генерације PLC система користе фреквенције од 1,6 – 30 MHz, што је омогућило значајно повећање пропусног опсега и коришћење енергетских водова и за широкопојасне апликације. Велики пробелем је интерференција са другим комуникационим системима, којима су већ додељени делови овог фреквентног спектра (радио-дифузија, радиоаматери, ваздухопловна навигација, итд..)

Стандардизацијом је посебно уређен фреквенцијски опсег и од стране америчке федералне комисије где се опсег креће од 10 – 490 kHz (FCC). Такође је стандардизацијом фреквенцијски опсег уређен и од стране Јапанске и Кинеске индустрије и Комисије за стандардизацију где се опсези крећу од 10 – 450 kHz и од 3 – 500 kHz респективно.

У последњих петнаестак година развијено је неколико PLC технологија, које су и стандардизоване кроз ISO, односно IEC стандардизацију, а које подржавају мале брзине преноса, а могу да задовоље комуникационе захтеве у оквиру АММ система (*Automated Meter Management* – системи за даљинско читавање бројила и управљање потрошњом) [102]. Оне се разликују по техникама модулације, по сложености, по имуности на одређене типове сметњи, по брзинама комуникације и сл. Стандарди за ускопојасну PLC комуникацију су [22, 23]:

- 14908 – 3 подржана брзина преноса података од 5,4 и 3,6 kbit/s,
- 14908 – 3 – 5 подржава пренос података од 1,2 и 2,4 kbit/s и
- СЕА 600.31 подржава пренос података од 10 kbit/s,

За обезбеђивање већих брзина преноса користе се стандарди [24]:

- ITU-T G.hnet који подржава брзине преноса до 1 Mbit/s,
- IEEE 1901.2 који подржава брзине преноса до 500 kbit/s,
- G3 – PLC који подржава брзине преноса до 300 kbit/s и IPv6 протокол а базиран је на OFDM.
- PRIME (*енгл. PowerLine Intelligent Metering Evolution*) који подржава брзине преноса у распону од 21,4 – 128,6 kbit / s.

Од свих технологија издвајају се две које су базирани на отвореним стандардима и које су шире распрострањене. Технологија старије генерације, која је робуствена, доказана и широко примењена је S-FSK. Новија технологија има својих предности и користи OFDM модулацију, а њена примена је све шира. Поред ових постоје и друге технологије које углавном нису базирани на отвореним стандардима и које представљају власничка решења појединих компанија или групација, нпр. YITRAN, NES и сл.

2.2.1 S-FSK технологија

Проверена и доказана технологија за PLC апликације у AMR/AMM системима користи S-FSK модулацију. Ова технологија покривена је са неколико међународних стандарда: 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]

Ово решење је имуно на ускопојасне интерференције и слабљење, није комплексно и врло је поуздано, са преко 99,9% [91].

Основне техничке спецификације S-FSK модулације су:

- Фреквенцијски опсег 3 – 95 kHz (CENELEC A-band)
- Брзина комуникације до 2400 bps
- Фреквенција f_s је придружена бинарној „0“, док је фреквенција f_m придружена бинарној „1“. Типичан размак између ових фреквенција је око 10 kHz.
- Физички блок података је константан и садржи 42 бајта

-
- Логички блок података се састоји од највише 242 бајта (максимум 7 физичких блокова)
 - Квалитет комуникације за свако бројило које је конектовано на концентратор је независан од других бројила

2.2.2 OFDM технологија

OFDM технологија је новија технологија, и напреднија у односу на описану S-FSK. OFDM подржава веће брзине преноса, има већу имуност на интерференције, али и сложенија за реализацију у односу на S-FSK.

OFDM задржава све предности PLC комуникације: „Plug-and-Play“, двосмерна комуникација, заштићена комуникација, коришћење постојећих нисконапонских водова, имуност на ускопојасну интерференцију и слабљење. Комуникационе могућности у смислу брзине су повећане до око 50 kbps.

Када су у питању OFDM технологије, тренутно су се издвојила три стандардизована и решења, заснована на отвореним стандардима и спецификацијама:

- G3-PLC, развијено и одржавано од стране G3-PLC Алијансе [92]
- PRIME, развијено и одржавано од стране Prime Алијансе [93]
- IEEE 1901.2, IEEE стандард за ускопојасну PLC за Smart Grid апликације на учестаностима до 500 kHz [94]

Свака од ових техника даје интероперабилна решења и подржана је од водећих светских произвођача интегрисаних кола. Такође, ове технике подржавају IPv6, што их препоручује за будућа решења.

2.2.2.1 G3-PLC

Особине и могућности G3-PLC су развијене да би одговориле сложеним изазовима PLC комуникације и дале поуздана решења. Основне особине су:

- OFDM модулација на физичком нивоу (DBPSK, DQPSK, D8PSK) даје ефикасно коришћење спектра

-
- Усаглашена са регулаторним телима, као што су CENELEC, ARIB и FCC (10 kHz – 490 kHz)
 - Базирана на стандардима
 - Два нивоа корекција грешки (Forward Error Correction) за робустну комуникацију у лошим условима (Convolution i Reed Solomon) и CRC16 за детекцију грешки
 - Адаптивно мапирање фреквенција за оптимално коришћење опсега и динамичку селекцију најбољих расположивих фреквенција за пренос сваког пакета
 - Естимација канала ради избора оптималне модулационе шеме између суседних чворова
 - Робустни мод ради унапређења комуникације у условима појачаног шума на каналу
 - MAC слој базиран на IEEE 802.15.4 је погодан за мале брзине преноса
 - 6LoWPAN адаптациони слој за пренос IPv6 пакета преко електроенергетске мреже
 - AES-128 енкрипција за оптималну заштиту података
 - Коегзистира са старијом S-FSK (IEC 61334) комуникацијом и широкопојасним IEEE P1901 и ITU G.hn стандардима
 - Подржава IPv6, тако да дозвољава интернет базирани апликације и системе управљања
 - *Mesh* протокол за рутирање даје најбољу путању између удаљених чворова у мрежи

Основне техничке спецификације G3-PLC су:

- Фреквенцијски опсег 35,9 – 90,6 kHz (CENELEC A-band)
- Учестаност одабирања $f_s = 400$ kHz
- FFT са $M = 256$
- Размак између подносиоца $\Delta f = 1,5625$ kHz
- Модулациона техника: DBPSK, DQPSK или D8PSK
- Блок података од највише 133 и 235 бајтова

-
- Брзина комуникације: до 71 kbps некодирана, до 33,4 kbps кодирана, 5 kbps за робустни мод

G3-PLC технологија је прихваћена као стандард у оквиру Међународне телекомуникационе уније (*International Telecommunication Union - ITU*) [95] Основни параметри G3-PLC дати су у Табели 2-1.

2.2.2.2 PRIME

PRIME (PoweRline Intelligent Metering Evolution) представља јавну, отворену и слободну телекомуникациону архитектуру која подржава садашње и будуће АММ функционалности и даје платформу за електроенергетску мрежу будућности Smart Grid.

Циљ PRIME је да успостави комплетан сет међународних стандарда који омогућавају пуну интероперабилност између опреме и система различитих произвођача. Ово ће поспешити конкуренцију на тржишту и донети бенефите и електродистрибутивним компанијама и потрошачима.

Компоненте PRIME архитектуре (модулација и технике кодирања, протоколи, формати података, итд.) нису предмет интелектуалне својине. Спецификације су разумљиве и довољно детаљне тако да свако на основу њих може да направи интероперабилно решење и понуди га тржишту.

PRIME иницијално дефинише ниже OSI (Open Systems Interconnection) слојеве у ускопојасним PLC системима преко електроенергетске мреже. Цела архитектура је дизајнирана да буде јефтина, али са високим перформансама. Користи се OFDM у ускопојасном фреквенцијском опсегу.

PRIME ради на проширењу опсега до 500 kHz, како би се покрио и FCC опсег, што би омогућило брзине комуникације до 1 Mbps. Такође, ради се на стандардизацији комуникације између АММ центра и концентратора, базиране на Web сервисима преко IP мреже, а посебна пажња се посвећује сигурности и приватности информација.

Основне техничке спецификације PRIME су:

- Фреквенцијски опсег 42 – 89 kHz (CENELEC A-band)

- Учестаност одабирања $f_s = 250$ kHz
- FFT са $M = 512$
- Размак између подносиоца $\Delta f = 400$ kHz
- Модулациона техника: DBPSK, DQPSK или D8PSK
- Блок података од највише 2268 бајтова (D8PSK), односно 377 бајтова (DBPSK)
- Брзина комуникације до 128,6 kbps (D8PSK), односно 21,4 kbps (DBPSK)

PRIME технологија је прихваћена као стандард у оквиру Међународне телекомуникационе уније (*International Telecommunication Union - ITU*) [96]

Основни параметри PRIME дати су у Табели 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 differential encoding | DBPSK, DQPSK in time | DBPSK, DQPSK, D8PSK in frequency |

Табела 2-1 Параметри G3-PLC и PRIME

2.2.2.3 IEEE 1901.2

IEEE 1901.2 је IEEE стандард за ускопојасну комуникацију на ниским учестаностима, до 500 kHz, преко енергетске мреже, намењен за Smart Grid апликације. Стандард покрива комуникацију преко енергетских водова наизменичне струје, једносмерне струје и преко ненапојених водова. Стандард подржава комуникацију преко нисконапонске мреже (између трансформатора и

бројила, са напоном испод 1000 V) и бидирекциону комуникацију кроз MV/LV трансформаторе (1000 V до 72 kV). Подржана је комуникација у урбаним срединама и на већим растојањима од више километара у руралним срединама.

Подржане брзине комуникације су до 500 kbps. Стандард укључује и механизме који омогућавају коегзистенцију и других PLC технологија у опсегу испод 500 kHz. Ови механизми могу бити коришћени одвојено од остатка стандарда.

Стандард води рачуна о заштити података.

Основне карактеристике IEEE 1901.2 су:

- 10 – 490 kHz фреквенцијски опсег, OFDM
- Брзина комуникације до 500 kbps
- Коегзистира са другим PLC технологијама
- Комуникација кроз MV/LV трансформаторе
- Комуникација на више километара у руралним срединама
- Комуникација преко AC и DC линија
- Подржава IPv6
- MAC слој је базиран на IEEE 802.15.4-2006
- Модулација обавезна диференцијална: DBPSK, DQPSK, D8PSK
- Модулација опциона кохерента: BPSK, QPSK, 8PSK, 16-QAM
- Convolution и Reed Solomon за корекцију грешки (Forward Error Correction)
- Учестаност одабирања 0,4 MHz и 1,2 MHz

За широкопојасне комуникације се сматрају комуникације које се обављају у High Frequency (HF) и Very High Frequency (VHF) опсегу, односно у опсегу од 1,8 – 250 MHz. Пропусни опсег преко 30 MHz, па и преко 100 MHz, као и моделовање канала у наведеним опсезима је углавном истраживано у радовима [25, 26]. Као и код ускопојасних, и код широкопојасних комуникација установљени су одређени стандарди:

-
- **ТИА-1113** стандард представља први стандард који је установљен за широкопојасне комуникације у електроенергетским мрежама и заснован је на 14 Mbit/s [27, 28, 29] (HomePlug 1.0) технологији. Код наведеног стандарда су подржане две врсте модулација: BPSK и QPSK. Овај стандард је у наредним годинама развијан и допуњаван, па је у 2005. години достигао и брзине који подржава и напредне технологије као што су HDTV и VoIP. То су брзине од 200 Mbit / s (HomePlug AV), које су у међувремену повећаване и до 500 Mbit / s проширивањем спектра (2 – 68 MHz). Даљим развојем комуникационих технологија 2012. године појавио се стандард HomePlug AV2, са циљем достизања брзина преноса реда величине Gbit/. Овај стандард такође подржава и MIMO канал.
 - **IEEE 1901** је стандард који је у примени од 2010. године. Карактеристике овог стандарда дате су у радовима [30, 31, 32]. Овај стандард садржи опције које пружају компатибилност са HomePlug AV стандардом односно BackPlug AV уређајима као и са многим другим уређајима и представља крупан корак ка широком тржишту кућних PLC уређаја.
 - **ITU-T G.hn** представља стандард који обезбеђује HAN примопредајник и одобрен је 2009. године [33]. Овим примопредајником је омогућено да ови уређаји могу радити на брзинама од Gbit/s. Дакле, може се рећи да је циљ и сврха овог стандарда да омогући да сви уређаји буду прилагођени овом преносу.

Наведене стандардизоване широкопојасне PLC комуникације се односе In-Door апликације, односно за примену унутар објекта за реализацију ЛАН мреже по напосним инсталацијама објекта. За широкопојасне PLC комуникације за Out-Door апликације, односно реализацију приступне равни од трафостанице до објекта корисника, још увек нису дефинисани стандарди, иако постоје поуздана техничка решења којима се ова равна може реализовати на адекватан начин, уважавајући захтевани ниво QoS за широкопојасне услуге. Разлог томе је расподела фреквенцијског опсега који користи широкопојасна PLC комуникација.

Наиме, овај фреквентни опсег је већ додељен другим корисницима те широкопојасни PLC представља интерференције постојећим конвенционалним системима. О овом регулаторном аспекту ће бити речи у посебном поглављу.

2.3 РАЗВОЈ АММ СИСТЕМА РЕАЛИЗОВАНИХ НА PLC ТЕХНОЛОГИЈИ

Са почетком производње и испоруке електричне енергије у комерцијалне сврхе, осамдесетих година 19. века, појавила се потреба за мерењем произведене, али превасходно утрошене (испоручене) електричне енергије, као би се иста могла и наплаћивати. У то време, и на бази доступне технологије, уређаји за регистровање потрошње електричне енергије (наизменичног напона и струје) су реализовани као електромеханичка, односно индукциона бројила.

Развојем полупроводничких технологија и комерцијализацијом електронике, у употреби се појављују електронска бројила. Прва генерација електронских бројила је у функционалном смислу само заменила индукциона бројила, односно није имала додатни функционални квалитет у односу на индукциона бројила, и мерила су само активну и/или реактивну РЕФЕРЕНЦА електричну енергију. Тарифирање мерења (регистрација времена и пребацивање тарифа) је и даље вршено довођењем сигнала са екстерног уређаја („уклопни сат“). Прва електронска бројила су се масовније почела користити у експлоатацији осамдесетих година 20. века.

Стасавањем идеје и технологије за пренос дигиталних сигнала преко нисконапонских водова, размишља се и у правцу коришћења те технологије и за даљинско читавање дигиталних података из регистра електронског бројила у коме се чува податак о актуелној регистрованој потрошњи. У ту сврху, развој дигиталних бројила даље тече у правцу реализације електричног интерфејса на бројилу преко кога се из бројила може добити тај дигитални податак. Први PLC модеми су се повезивали на овај електрични интерфејс, који у почетку није ни био стандардизован. Касније се углавном стандардно коришћени RS232 или RS485 интерфејси. Произвођачи бројила и PLC опреме су независно развијали сопствене протоколе комуникације са бројилом. Употребом наведених елемената на тржишту су се појавили системи даљинског читавања бројила (*Automatic*

Meter Reading - AMR). AMR представља двосмерну комуникацију са бројилима у сврху читавања. Бенефити који су остварени имплементацијом AMR система су:

- **Смањење времена и трошкова у односу на „ручна“ читавања**, јер су елиминисани трошкови који се односе на ангажовање радника и возила за излазак на терен за послове читавања бројила.
- **Смањење грешке у читавању**. Наиме, код мануелног читавања постоји могућност честе грешке јер се вредност измерене потрошње преписује са дисплеја бројила и уписује у обрасце који су у папирном формату, а даље се врши унос таквих података у електронском формату на рачунарима у електродистрибуцији. Уочава се да се грешка може јавити два пута. У AMR систему се избегавају грешке услед љуског фактора јер се дигитални податак преноси директно са бројила кроз PLC мрежу у базу података на рачунару у електродистрибуцији, одакле се врши експорт података у софтвер за обрачун и наплату електричне енергије.
- **Читавање бројила на недоступним и удаљеним мерним местима**. Чест је случај да се бројила на неприступачним локацијама (нпр. услед одсутности власника објекта) не могу читати у редовним месечним терминима, што онемогућава благовремено издавање рачуна, односно ствара грешке у прорачуну губитака на подручју које напаја једна трафостаница. Наиме, губици представљају разлику између електричне енергије измерене у трафостаници која напаја неко подручје (улаз) и збира измерених вредности потрошње (излаз) на бројилима у објектима који се напајају из те трафостанице.

Даљим развојем технологије, али и развојем тржишта електричне енергије, појавила се потреба за двосмерном комуникацијом са бројилима у сврху читавања регистрованих величина у бројилима, али и подешавања времена и тарифа, као и управљања потрошњом. Наиме, развој бројила је текао у правцу који је осим прости функције мерења електричне енергије, интегрисао у бројилу и додатне функције. Једна од суштински важнијих функција је даљинско искључење, односно укључење потрошача, као и лимитација потрошње. Употреба оваквих бројила (са надограђеним функцијама и склопком, у комбинацији са

модемима за двосмерну комуникацију) је подржала прелазак са AMR система на АММ (Automatic Meter Management) системе, односно системе за даљинско читавање бројила и управљање потрошњом.



Слика 2-2 Прелазак са AMR система на АММ системе (функционалности)

Дакле, у односу на AMR системе, АММ системи додатно интегришу (...):

- **Прекидачки уређај**, односно **склопку** који омогућује даљинско укључење/искључење потрошача или лимитацију потрошње. Ова функција је иницијално мотивисана дисциплиновањем неплатиша, док у данашње време на сложеном тржишту електричне енергије има намену и управљања потрошњом у и подршку различитим пакетима услуга које електродистрибуције имају у понуди према својим корисницима,
- **Програмирање тарифних програма у бројилу**. Ово омогућава да приликом измене тарифне политике која је прописана Законом о електричној енергији и подзаконским актима, односно уговореним тарифним пакетима на дерегулисаним тржиштима електричне енергије, нема потребе за локалним препрограмирањем бројила, што за последицу има повећане трошкове експлоатације, већ се слањем *broadcast* порука, сва бројила у АММ систему могу једновремено подесити у складу да новим тарифним програмом.
- **Додатна мерења и функционалности** као што су мерење квалитета електричне енергије, фактора снаге, профила оптерећења, и сл.
- **Детекције и евидентирања догађаја** као што су прекид напајања, ометање интегритета мерења, дотрајалост батерије и сл.

Први АММ систему су се појавили средином деведесетих година прошлог века. Такође, паралелно са PLC комуникацијом, која је у време пре тога била једина природна врста комуникације у сврху даљинске комуникације са бројилима узимајући у обзир електродистрибутивну делатност и инфраструктуру коју она користи, појавом мобилних комуникација су се развијали и GSM, а касније GSM/GPRS (и редом 3G, LTE) модеми, углавном за point-to-point комуникацију, на мерним местима са којих је изузетно важна поузданост комуникације благовременост преноса дигиталног сигнала и предузимања акција на мерном месту (у смислу искључења склопке). Наравно прве генерације PLC комуникације нису могле да подрже ниво поузданости комуникације, али су ипак перформансе система у смислу брзине протока и поузданости биле далеко изнад перформанси пословних процеса који су се обављали ручно (организације и трајања одласка код потрошача у сврху читавања, и мануелног искључења са електричне мреже).

Следећа генерација система се развијала у правцу интеграције комплетне мерне инфраструктуре које се може наћи у објекту корисника (електрична енергија, вода, гас, грејање) и комуникација и управљање њоме преко PLC инфраструктуре. То значи да бројило електричне енергије у објекту корисника постаје својеврсни Hub за остале мерне уређаје, на које се жично или бежично комуникационо повезују гасомер, водомер и калориметар. У бројилу електричне енергије постоје посебни регистри у које се уписују стања бројача наведених мерних уређаја, а даље се те вредности преносе PLC мрежом и у истом систему преко кога се подаци размењују са бројилом електричне енергије. Ова генерација система је у том светлу добила назив систем инфраструктуре напредног мерења - АМІ (Advanced Metering Infrastructure).

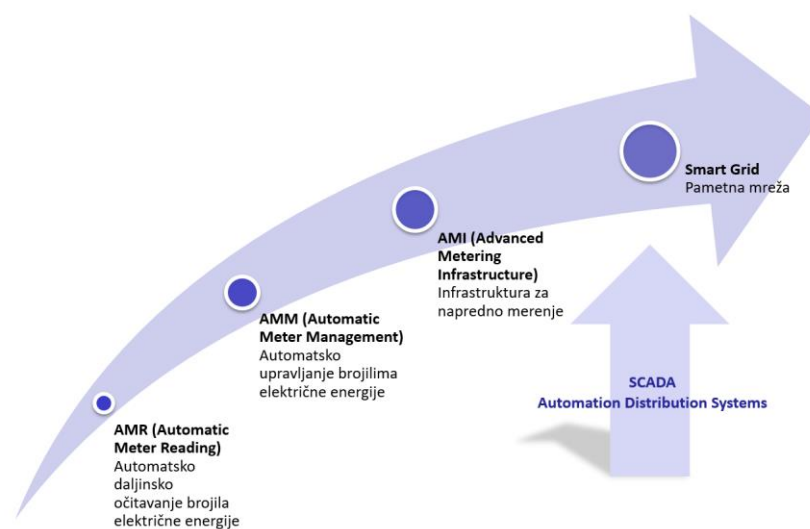


Слика 2-3 Прелазак са АММ система на АМІ системе (функционалности)

АМІ системи су, у односу на АММ системе, надограђени следећим битним функционалностима:

-
- Комуникационим порт на бројилу за повезивање са осталим врстама мерних уређаја у блиском окружењу (вода, гас, грејање, ...)
 - Напредне функционалности (даљинско ажурирање софтвера бројила – *Firmware update*, ...)

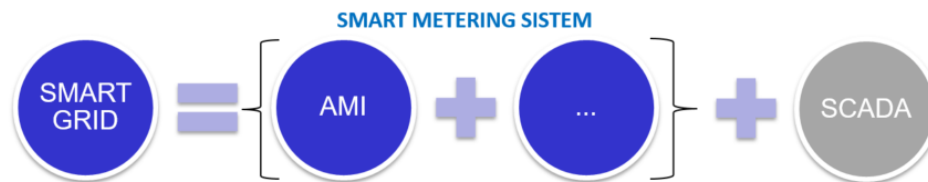
Сагледавајући развој система за даљинску комуникацију са бројилима електричне енергије, као и развој PLC технологија, јасна је смерница стратегије комуникационог превазилажења последње миље (*last mile*) у електроенергетском систему. Електроенергетски систем се функционално може поделити на сектор Производње електричне енергије, сектор Преноса и сектор Дистрибуције. Природно, по величини инвестиција и захтевима за поузданошћу технолошких процеса, највећа улагања су у секторима Производње и Преноса. То је и разлог што су први комуникациони системи у електроенергетском сектору имплементирани Оквиру Производње и Преноса кроз реализацију SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) система. Коришћене комуникационе технологије су различите, али се у циљу постизања потребног нивоа поузданости комуникације и управљања процесима у реалном времену, углавном користе оптички водови (подземни или надземни, а у случају сектора Преноса оптички каблови који су уграђени у земљоводно уже које се поставља по стубовима високонапонских далековода). У новије време се оптички водови користе и у сектору Дистрибуције за реализацију кичме комуникационе мреже електродистрибутивног сектора постављањем оптичких влакана по далеководима средњег напона.



Слика 2-4 Развој и интеграција АМх система у концепту Паметне мреже (Smart Grid)

Дакле, развојем и имплементацијом поуздане PLC комуникације, пре свега по нисконапонској електродистрибутивној мрежи, електроенергетски систем ће комуникационо бити заокружен кроз експлоатацију сопствене комуникационе инфраструктуре од Производње, па све до крајњег потрошача електричне енергије. Савремени трендови аутоматизације објеката и домаћинстава наше домове претварају такође у неку врсту интерних комуникационих система у којима се кроз неки Hub управља паметних уређајима (грејање простора, грејање воде, расвета, мултимедија, кухињски апарати, и сл.) Превазилажењем последње миље од трафостанице до крајњег потрошача, успоставља је један свеобухватни систем који се може назвати SMS (Smart Metering System) или паметна мрежа.

Паметна мрежа је електроенергетска мрежа у којој су сви њени објекти повезани у комуникациону мрежу, тако да сваки чвор те мреже (објекат електроенергетског система) има своју адресу, и контролабилан је и опсервабилан из јединственог центра.



Слика 2-5 Прелазак са АМИ система на SMS системе (функционалности)

У SMS систему, на нивоу објекта крајњег потрошача имплементиран је и својеврсни дисплеј преко кога корисник има увид у:

- тренутне параметре своје потрошње,
- актуелну тарифу и цену енергије,
- и друге параметре који му могу бити интересантни, уз графичке приказе трендова.

Такође, кроз PLC инфраструктуру (Out-door и In-door) реализована је и инфраструктурна основа која омогућује крајњем потрошачу, да управљање

електричним уређајима омогући софтверима који ће по одређеним алгоритмима праћења стања на електроенергетској мрежи, параметара потрошње, динамике тарифирања. У порасту је и број крајњих потрошача који у свом објекту имају и мале капацитете за производњу електричне енергије (нпр. соларне панеле). У SMS систему је могућа оптимизација у смислу односа произведене и утрошене електричне енергије, као и предаја произведене електричне енергије у енергетску мрежу по оптималним комерцијалним условима.

Од првих дана комерцијализације електричне енергије, пре више од једног века, концепт односа производње и потрошње електричне енергије је био следећи: Потрошњом се није управљало, она је једна категорија која се у одређеној мери може предвидети на основу историјских података, доба дана, периода у години, итд., али је ипак стохастичка појава. Производња је морала да прати тренд потрошње, са капацитетима који су у сваком случају већи од врха потрошње, како би могла обезбедити стабилност електроенергетског система. Управо, циљ имплементације и експлоатације паметне мреже је успостављање новог концепта управљања у електроенергетском сектору, што ће омогућити [102]:

- **Повећање енергетске ефикасности** кроз смањење техничких и комерцијалних (нетехничких) губитака електричне енергије, и смањење потрошње енергије у смислу рационализације и њеног оптималног коришћења
- **Повећање стабилности електроенергетског сектора**– “пеглање” врхова потрошње адаптивним управљањем потрошњом (како од стране електродистрибуције, тако и на страни купаца електричне енергије)
- **Прелазак на коришћење „зелене енергије“** (еколошки обновљиви енергетски извори)

Бенефити су вишеструки. За електропривредну (електродистрибутивну) делатност најзначајнији су:

- смањење техничких губитака и смањење неовлашћене потрошње електричне енергије (нетехничких губитака)
- рационализација трошкова радне снаге кроз аутоматизацију читавања, укључења и искључења купаца електричне енергије

-
- ефикасније спровођење оперативних активности електродистрибутивних предузећа, детектовање прекида напајања на мерном месту, аларми на догађаје који се могу окарактерисати као покушај ометања мерења
 - једноставније и брже планирање и спровођење искључења купаца приликом ремонта трафостаница или промене уклопног стања на терену
 - квалитетнији улазни подаци у поступку планирања производње електричне енергије
 - повећање степена наплате
 - повећање задовољства корисника

Такође, постоје бенефити и за крајње потрошаче, од којих се могу издвојити:

- смањење рекламација услед елиминације утицаја људског фактора, те креирање и издавање рачуна за утрошену електричну енергију на бази стварне потрошње
- својеврсна функционалност *prepaid* плаћања и потрошње кроз АММ систем
- флексибилну промену испоручиоца на либерализованом тржишту електричне енергије

У том смислу, иако се за за потребе реализације АММ система савремене технологије и технике ускопојасне PLC комуникације могу сматрати довољно поузданим (са техно-економског аспекта) у сврху двосмерне комуникације, за комерцијализацију нисконапонске мреже и пружање телекомуникационих услуга које подржавају друге конкурентне технологије, неопходан је прелазак на широкопојасну PLC комуникацију.

2.4 КАТЕГОРИЗАЦИЈА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКИХ ВОДОВА ЗА ПРУЖАЊЕ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОНИХ УСЛУГА

PLC технологија је технологија која за пренос телекомуникационих сигнала, као медијум за пренос користи електродистрибутивне водове, односно

електродистрибутивну мрежу. Дакле, сврха PLC технологије је да се до крајњег корисника у приступној телекомуникационој равни искористи нисконапонска (NN) електродистрибутивна мрежа. Како је у уводном делу наглашено, електроенергетске мреже свих напонских нивоа су интересантне и користе се за пренос телекомуникационих сигнала, у различите сврхе, али је коришћење нисконапонске мреже веома интересно јер управо овај сегмент електроенергетске мреже представља *last mile* приступ, и значајан потенцијал, како у техничком смислу пружања различитих врста телекомуникационих услуга, тако и у пословном смислу (примена различитих пословних модела сервиса у циљу максимизације профита и поврата инвестиције). Основне елементе нисконапонске мреже: ћелије нисконапонских трафостаница, растављачи, осигурачи, подземни нисконапонски водови, кабловске спојнице и кабловске завршнице, стубови и овјесна опрема, ..., који повезују секундар трансформатора у SN/NN трафостаници (трансформација средњег напона 20 или 10 kV, на ниски напон 0,4 kV), са једне стране, и мерни ормар у објекату потрошача електричне енергије, односно корисника телекомуникационе услуге с друге стране.

Према месту примене електродистрибутивни нисконапонски водови се могу поделити на [101]:

- подземне водове (полагање одговарајућих каблова у земљу).
- надземне водове (постављање одговарајућих проводника по стубовима, или качење на фасаде или кровове објеката купаца), и

У зависности од наведених категорије поделе водова, зависи и начин реализације, као и сложеност електродистрибутивне мреже, а последично и начин реализације и сложеност PLC мреже, с обзиром да се PLC мрежа реализује на инфраструктури електродистрибутивне мреже.

Наведена подела представља најгрубљу поделу, наиме водови се даље могу делити (важи за обе категорије):

- у зависности од материјала унутрашњих проводника нисконапонског вода, који може бити бакар или алуминијум,
- у зависности од попречног пресека унутрашњих проводника,

-
- у зависности од изолационог омотача унутрашњих проводника, односно вода,
 - у зависности од конструкционе морфологије вода, односно начина реализације уврнутим или паралелним унутрашњим проводницима, и слично.

На било ком подручју које покрива нека електродистрибутивна мрежа, у експлоатацији се могу наћи неки односно сви наведени типови вода. Ова чиеница значајно усложњава, односно отежава једнозначно детерминисање карактеристика преноса телекомуникационих сигнала преко електродистрибутивне мреже. Оно што је потребно урадити јесте сагледавање постојећих модела мреже, односно идентификација категорија електродистрибутивних вода ниског напона [101], и вршење мерење пропагационих карактеристика на свакој од идентификованој категорија вода са тежиштем на мерењу слабљења сигнала по јединичној дужини вода.

2.4.1 Идентификација типова нисконапонских вода примењених у телекомуникационој приступној равни

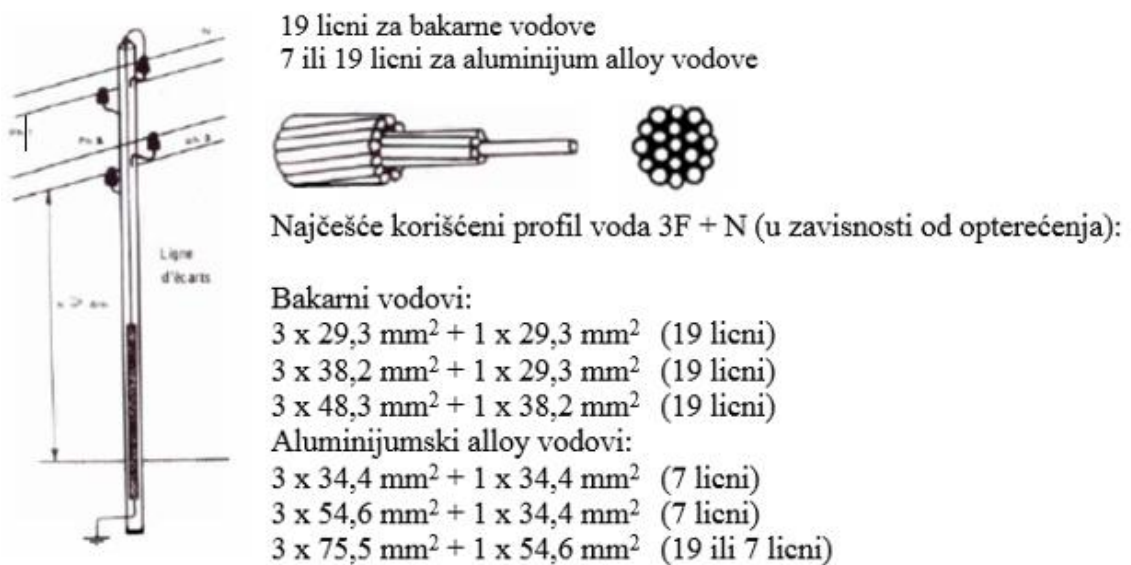
Нисконапонска мрежа је део електродистрибутивне мреже чија је намена пренос електричне енергије од нисконапонских излаза из трафостанице која врши трансформацију средњег напона на ниски напон, до објеката купаца електричне енергије. Нисконапонска мрежа се реализује надземним, подземним водовима, или комбиновано. Колико ће нисконапонских излаза трафостаница имати у зависности је од топологије електродистрибутивне мреже, урбанистичких планова конкретних насеља или регије, густине насељености, итд. С обзиром да се за реализацију PLC мреже користи инфраструктура нисконапонске електродистрибутивне мреже јасно је да и сама PLC мрежа користи исте те надземне, односно подземне водове.[100]

2.4.1.1 Надземни нисконапонски водови

У подручјима релативно ниске густине насељености или на подручјима на којима се се електричном енергијом напајају индивидуални стамбени објекти, односно тамо где са становишта инвестиционих трошкова није оправдано коришћење подземних водова, зареализацију нисконапонске електродистрибутивне мреже се користе надземни нисконапонски водови. Могу се идентификовати две врсте надземних водова [101]:

- изоловани надземни нисконапонски водови, и
- неизоловани надземни нисконапонски водови.

На слици 2-6 илустрована је примена и структура неизолованих нисконапонских водова. У конкретном случају, сваки дрвени стуб је опремљен са по четири потпорна изолатора на које врши причвшћивање испреpletених неизолованих проводника, односно ужади. Уже је конструисано од седам или више проводника (жица) које су поужене у концентричне слојеве. Све жице од којих је уже направљено имају свој називни пречник. Зависно од пресека ужета, око средишње жице налазе се неколико слојева жица (убичајено од једног до четири слоја). Примењују се супротни смерови поужавања за суседне слојеве жица, с тим да се спољашни слој поужава у десном смеру.



Слика 2-6 Неизоловани надземни нисконапонски вод

Доња три проводника на стубу су фазни проводници, док горњи проводник има функцију неутралног проводника. У експлоатацији се могу наћи бакарни проводници, мада се у последњих двадесетак година интензивније користе проводници од легура алуминијума.

Неизоловани проводници се данас могу наћи у експлоатацији у веома старим мрежама, које нису дуго реконструисане. Данас се код прикључака нових објеката на мрежу, или приликом реконструкције мреже, уобичајено користе изоловани водови. Међутим, реално стање на терену подразумева, ипак, извесну заступљеност и неизолованих водова, нарочито у руралним подручјима и приградским подручјима неразвијених регија.

Техно-економске предности коришћења изолованих надземних водова у нисконапонским мрежама, у односу на водове реализоване неизолованим проводницима су[101]:

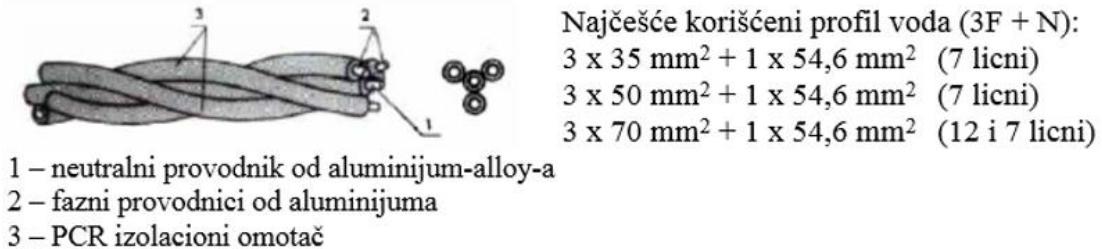
- мањи пад напона по дужини вода,
- безбеднија инсталација и експлоатација,
- могућност безбедног причвршћивања на фасаде објеката, што се примењује у градским областима како би се умањило коришћење стубова, што због недостатка простора, што због смањења инвестиционих улагања,
- коришћење стубова мање висине,
- безбедније и једноставније одржавање мреже
- умањење ризика од пожара у шумским подручјима, итд.

Наравно, инсталација изолованих надземних водова се примарно врши на стубовима. У том случају се не користе изолатори, већ се привршћење надземног вода на стуб врши помоћу одговарајуће овјесне опреме.

Са другог аспекта, изоловани водови имају и своје недостатке, од којих се могу издвојити:

- приликом преоптерећења изоловани водови имају нижу границу прегревања изолационих слојева, и

- ограничена употреба оваквих водова за напајање важнијих центара потрошње са концентрисаним бројем потрошача, због актуелно доступних пресека ових водова.

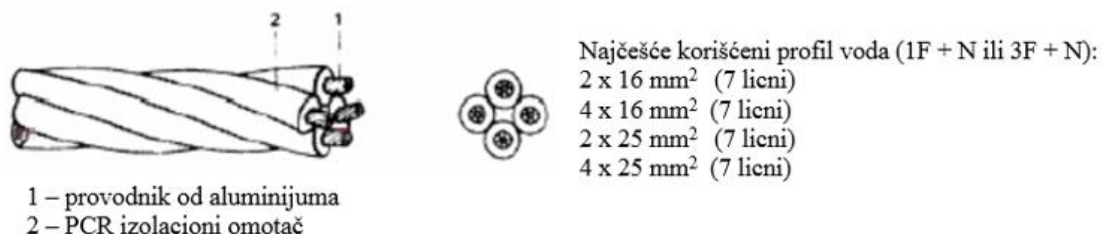


Слика 2-7 Изоловани надземни нисконапонски вод

На слици 2-7 је илустрована структура надземних изолованих водова. Као што се може уочити, око неутралног проводника који је механички ојачан укрштени су фазни проводници, а он истовремено има и улогу носећег проводника.

Објекат купца (потрошача електричне енергије) се електричном енергијом напаја са најближег стуба електроенергетске мреже, који се оубичајено поставља или у дворишти објекта, и на јавној површини, непосредно уз ограду. Ово прикључење на стуб се врши другачијим типом надземног вода, чија је структура илустрована на слици 2-8. С обзиром да прикључак може бити монофазни или трофазни, структуру таквог напојног вода чине:

- два проводника (један фазни и један неутрални изоловани укрштени проводник), код монофазног прикључка
- четири проводника (три фазна и један неутрални изоловани укрштени проводник) код трофазног прикључка



Слика 2-8 Надземни изоловани вод за прикључење објекта

Примена неизолованих нисконапонских водова у сврху преноса телекомуникационих сигнала има своје ограничење у погледу интензивнијех високофреквентног зрачења у поређењу са зрачењем које се јавља код изолованих нисконапонских водова. Приликом преноса високофреквентног сигнала кроз надземне водове долази до емисије сигнала у простор у околини проводника, која зависи и од амплитуде сигнала који се преноси преко нисконапонског вода. Дакле, енергетски водови постају антене, а емитовани сигнал представља сметњу за остале системе којима је додељен исти фреквенцијски спектар. Код неизолованих надземних водова је ово зрачење израженије. Овакав утицај условљава ограничавање предајне снаге PLC сигнала, због чега PLC систем постаје осетљивији на утицај сметњи присутних у нисконапонској мрежи. Због наведених услова, однос сигнал – шум представља веома важан фактор PLC мрежи реализованој на инфраструктури нисконапонске електродистрибутивне мреже. Такође, за очекивати је веће слабљење при преносу сигнала високе фреквенције преко изолованих нисконапонских водова, у односу на неизоловане.

2.4.1.2 Подземни нисконапонски водови

Код реализације подземних водова најчешће су у употреби две врсте каблова, које се разликују по форми:

- кабл чију структуру чине три средишња фазна проводника са периферним неутралним проводником, и
- кабл чију структуру чине четири средишња проводника.

Као што се може приметити, наведене две форме се разликују по начину изведбе неутралног проводника.

У случају кабла чију структуру чине три средишња фазна проводника са периферним неутралним проводником, неутрални проводник је реализован у концентричној изведби која врши обухват фазних проводника. Као материјал проводника користи се бакар или у новије време алуминијум.

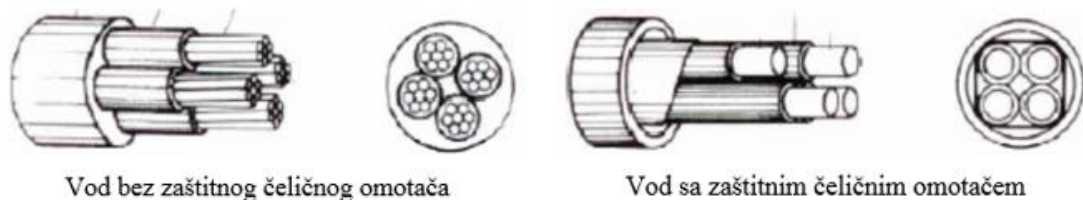
Код кабла чију структуру чине четири средишња проводника, фазни проводници су постављени кружно, као што је илустровано на слици 2-9. У неким

верзијама реализације кабла, изведба неутралног проводника је идентична фазном проводнику, те чине симетричну четворосекторну структуру [34].



Слика 2-9 Четворожилни подземни кабл.

За реализацију кућних прикључака најчешће се примењују четворожилни средишњи проводници у стандардним пресецима $4 \times 16 \text{ mm}^2$, $4 \times 25 \text{ mm}^2$ или $4 \times 35 \text{ mm}^2$. Проводници су алумунијумски или бакарни. На слици 2-10 илустрована је структура каблова за оба случаја, и изведби са заштитиним слојем и без њега.



Слика 2-10 Подземни каблови за кућни прикључак

Неки од параметара за израчунавање импеданси су[35]:

- проводљивост бакра, $k = 58 \times 10^6 \text{ [A / m]}$
- дисипација изолације (PVC), $\tan\delta = 0,025$
- релативна диелектрична константа (PVC), $\epsilon_r = 4$
- диелектрична константа вакуума, $\epsilon_0 = 8,8541878176 \times 10^{-12} \text{ [F / m]}$
- релативна пермеабилност (бакра), $\mu_r = 1$
- пермеабилност вакуума, $\mu_0 = 1,256637 \times 10^{-6} \text{ [H / m]}$.

На основу наведених параметара могуће је рачунати потребне параметре изражене по јединици дужине:

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

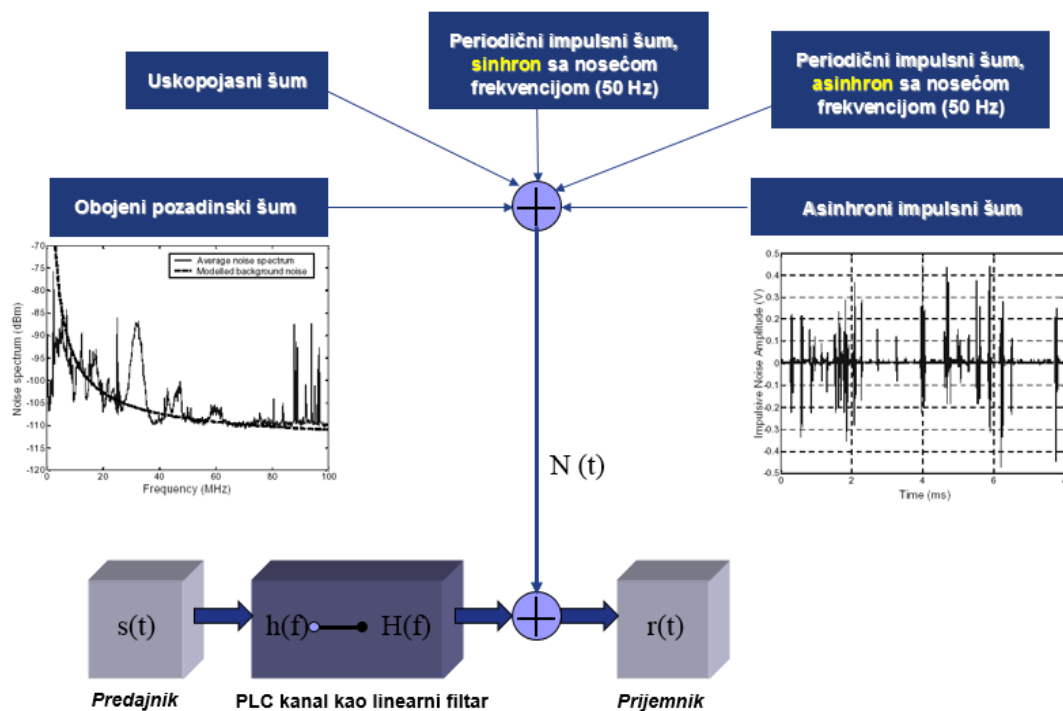
$$L' = \mu_0 \mu_r \frac{r}{a} \quad (2)$$

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

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

Са становишта емитовања сигнала високе фреквенције у околни простор, може се закључити да је коришћење нисконапонских подземних водова прикладније решење за реализовање PLC мреже, али са израженијим слабљењем него код нисконапонских надземних водова. Поред тога, сметње које се јављају на мрежи, као што ускопојасни шум, свакако имају мањи утицај на PLC комуникацију ако је PLC веза реализована подземним нисконапонским водом.

Наведени типови подземних и надземних нисконапонских водова, као и енергетска мрежа која је реализована тим кабловима, те и сама топологија мрежа са многобројним гранањима и неприлагођеним импедансама на сваком од прелаза између различитих типова водова и материјала од којих су направљени, су намењени преносу електричне енергије. Дакле, њихова примарна намена свакако није пренос телекомуникационих сигнала. Стога, може се идентификовати читав низ фактора који представљају препреку поузданом преносу широкопојасних телекомуникационих сигнала у фреквенцијском опсегу од 1,6 MHz до 30 MHz, преко водова ниског напона. Од фактора који имају највећи утицај на пренос широкопојасних телекомуникационих сигнала преко водова ниског напона су прекомерни ниво шума и слабљење сигнала који се преноси.



Слика 2-11 Врсте шума на нисконапонском воду.

Својства PLC везе и поузданост комуникације у великој мери зависе од доба дана, али и подручја на коме је реализована мрежа. Сметње које утичу на PLC комуникацију су узроковане различитим изворима шума који су независни једни у односу на друге. Укупни шум на широкопојасниом PLC каналу представља збир пет типова шума различите природе настанка и утицаја на PLC комуникацију, а који су илустровани на слици 2-11 [36]:

- обојени позадински шум, који је израженији на ниским фреквенцијама у наведеном фреквенцијском опсегу,
- ускопојасни шум чији су извор радио станице, а који се јавља се на вишим фреквенцијама у наведеном фреквенцијском опсегу,
- периодични импулсни шум асинхрон са носећом фреквенцијом,
- периодични импулсни шум синхрон са носећом фреквенцијом, и
- импулсни шум.

Велики проблем представља и неприлагођена импеданса нисконапонске електродистрибутивне мреже. Наиме, због топологије мреже и начина

реализације прикључака, на нисконапонској електродистрибутивној мрежи постоји велики број гранања у мрежи, различитим врстама спојева који се огледају у преласцима између различитих типова водова (надземног на подземни, и обрнуто), преласцима између различитих материјала од којих су водови израђени (алуминијум на бакар, и обрнуто), преласцима између различитих попречних пресека водова, итд ...). На свим наведеним тачкама прелаза и гранања долази до рефлексија сигнала. Ово вишеструко пропагирање сигнала, односно ехо, за последицу има фреквенцијски селективно слабљење у функцији преноса PLC линка. Додатно, долази и до појаве слабљења сигнала, које је пропорционално дужини вода, као и његовој фреквенцији [36].

Као што се може видети, простирање сигнала и поузданост комуникације нису зависно само од типа нисконапонског вода, већ су зависни и од варијација у времену и локацији на мрежи, као и од карактеристичне импедансе сваког кабла, која је опет у зависности од врста уређаја који се напајају са предметног нисконапонског вода.

Ако бисмо хтели да одредимо типичне карактеристике нисконапонске мреже као медијума за пренос телекомуникационог сигнала, могли бисмо идентификовати следеће:

- Укључивање и искључивање електричних уређаја који постоје у објектима крајњих корисника, а који се напајају из мреже, је по својој природи стохастично. Ово је узрок тренутним варијацијама пропационих карактеристика сигнала, а које су израженије порастом растојања између трафостанице и објекта крајњег корисника.
- У циљу мерења слабљења сигнала, импедансе мреже и осталих карактеристика нисконапонске електродистрибутивне мреже као комуникационог канала, нисконапонски водови се по дужини могу поделити у пет класа:
 - ✓ Нисконапонски вод до 100 m дужине,
 - ✓ Нисконапонски вод до 200 m дужине,
 - ✓ Нисконапонски вод до 300 m дужине,
 - ✓ Нисконапонски вод до 400 m дужине, и

-
- ✓ Нисконапонски вод преко 400 m дужине.
 - Дужина нисконапонских водова не би требало да износи преко 400 m, како би се истварио оптималан пренос сигнала. Међутим, у реалним условима постоје и знатно дужи водови у одређеном проценту. У неким случајевима дужине се крећу и до 1500 m, најчешће у руралним срединама.

3 ОСНОВНИ ЕЛЕМЕНТИ PLC СИСТЕМА

Комуникациони канал представља физички пут између пријемника и предајника. С обзиром на топологију нисконапонске мреже, спојнице између модема и мреже је тешко дизајнирати и имплементирати. Потешкоће се јављају у реализацији из разлога што уочавамо два екстремна таласна облика, високу снагу на ниској фреквенцији, и на другој страни ниску снагу на високој фреквенцији. При дизајнирању и реализацији мреже јављају се и паразитски ефекти чији се утицај мора узети у обзир. Ови ефекти се јављају у елементима мреже и распоред струјног кола има директан утицај на њихов ефекат. Такође, елементи који имају утицај на квалитет су отпорници, кондензатори и индуктори, као и трансформатори.

Дизајнирање система и утискивање комуникационог сигнала на електроенергетску мрежу представља велики изазов. Како би се превазишли проблеми у дизајнирању ових система потребно је да се компоненте струјног кола у потпуности размотре. На пример, индуктори морају бити пројектовани за фреквенције велике снаге и у ту сврху морају поседовати блокаторе који морају правилно функционисати на фреквенцији модулације, кондензатори који се користе на спојевима морају бити високофреквентни и високонапонски, а спојни трансформатори морају бити тако дизајнирани да кроз њих слободно може проћи високофреквентни комуникациони канал. Пре уласка у трансформатор таласни облик је потребно филтрирати за ≈ 100 dB. Најчешће се струјно коло представља преко три основне компоненте: отпорност, капацитивност и индуктивност (идеално струјно коло), а заправо се све три компоненте међусобно мешају, што значи да се код овог идеалног модела струјно кола занемарују паразитске компоненте.

Негативан утицај паразитских капацитивности је већи код високих напона, док је код великих струја присутан већи негативан утицај паразитских индуктивности. Такође, електромагнетни елементи кола нарочито имају нежељени негативни утицај на комуникациони канал.

Проводници представљају елементе кола о којима је потребно нарочито водити рачуна приликом дизајнирања проводника. Разлог зашто је потребно посебно водити рачуна о дизајнирању проводника јесте тај што се они сматрају идеалним, али и занемарљив отпор који се јавља у њима у комбинацији са контактним отпором може изазвати значајни пад напона, нарочито на ниским напонима или приликом проласка великих струја. Такође се код проводника често јавља и паразитска индуктивност. Такође, може се рећи да дугачки проводници могу имати и одређену отпорност па ако кроз исте пролази велика струја може се јавити знатан пад напона. Смањење отпорности проводника постиже се повећањем попречног пресека проводника или одабиром одговарајућег материјала. Такође, отпорност која се јавља на спојним и контактним површинама може се смањити повећањем истих и заштитом од оксидације. Индукција правог проводника наизменичне струје је [37].

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

где l и d представљају дужину и пречник проводника

Из горње једначине се може закључити да што је дужина проводника већа, већа је његова самоиндуктивност, а самим тим и повратно електромагнетно поље. Такође, може се рећи да се са повећањем пречника проводника смањује и његова паразитска самоиндуктивност. Из једначине се види да је ова индуктивност независна од фреквенције али је реактанса директно пропорционална фреквенцији чиме се утицај ове индуктивности на коло повећава са повећењем фреквенције. Избегавање овог ефекта коришћењем два паралелна проводника практично није могуће јер је коришћење два проводника готово истог ефекта као и један са наведеним пречником [38]. Када наизменична струја пролази кроз неку петљу јавља се паразитска индуктивност која се понаша као трансмитер и пријемна антена, те отежава комуникацију [39]. За неутрализацију ових ефеката битно је водити рачуна о распореду кола и површини попречног пресека петље која мора бити што је могуће мања.

Појава скин ефекта је присутна код проводника код којих протиче велика струја. Магнетно поље које се јавља у овом случају манифестује се као магнетна индуктивност, која су јача у средишту проводника. Теоретски, скин ефекат је

објашњен у раду [40], док се дубина скин ефекта за синусоидни талас фреквенције f рачуна као [38]:

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

где μ_r и σ представљају релативну пермеабилност и проводљивост проводника, а μ_0 пермеабилност вакуума.

Приликом израде струјног кола могу се користити проводници од пуног пресека (чији је оптимални пресек дат у [41] или проводници од више упредених жица [42])

Још један од паразитских ефеката који могу имати утицаја на комуникациони канал јесте ефекат близине, који је узрокован другим магнетним пољима високофреквентних наизменичних струја. Овај ефекат такође може повећати отпорност. Овај ефекат нема велики утицај у самим проводницима, али због утицаја у намотајима и трансформаторима треба га узети у обзир приликом дизајнирања.

Паразитска капацитивност игра битну улогу код проводника који су на блиској удаљености и израчунава се :

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d} \quad [F]$$

где A представља укупну површину попречног пресека, d представља растојање између две паралелне површине, диелектрична константа вакуума је ϵ_0 , а релативна диелектрична проводљивост медијума ϵ_r . Један карактеристичан пример ове капацитивности јесте капацитивност која се јавља у трансформаторима [43]. Из формуле, али и праксе, може се видети да ова капацитивност зависи од релативне диелектричне проводљивости материјала (медијума) који је између површина кондензатора, а која је обично већа о диелектричне константе вакуума.

Отпорници представљају елементе које би требало максимално избегавати јер за PLC комуникације они директно представљају губитак снаге. Међутим, отпорници су неизбежни у струјним колима и најчешће се користе у разним уређајима за мерење струје [44], у уређајима који се користе као сензори напона

[45], у транзисторима, код филтра [37]. итд.

Отпорници, када су изложени високим фреквенцијама, у зависности од материјала од ког су израђени показују одређена одступања у погледу импедансе. Отпорници су најчешће израђени од следећих типова материјала: жице, карбон-композитни, метал-филм и отпорници чипова танког филма.

Отпорници израђени од намотане жице показују највеће недостатке приликом употребе високофреквентних струја. Постоје специјалне изведбе високофреквентних отпорника од жице који се могу користити за фреквенције до 200 kHz, како би минимизирали паразитску индуктивност [39, 46].

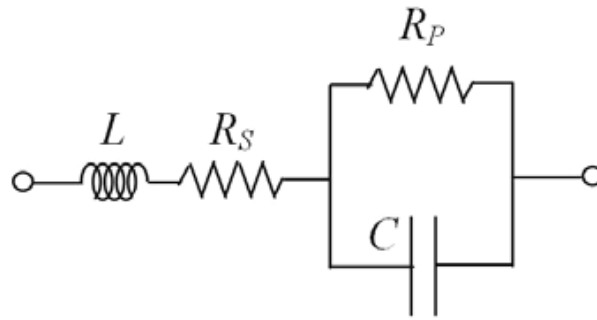
Карбон – композитни отпорници као диелктрик имају угљеник или грануле угљеника, те се због свог састава назива отпорником паразитског шунт капацитета [47]. Код ове врсте отпорника присутан је ефекат познат као *Boella* ефекат, назван по његовом проналазачу из Италије [47].

Метал – филм отпорници код којих се паразитивна капацитивност јавља изнад фреквенције од 10 MHz [37].

Отпорници чипова од танког филма су произведени од алуминијума или Берилијума и њихова паразитска реактанса код једносмерних струја је занемарљива до фреквенција од 2 GHz [37]. Ови отпорници имају недостатак јер се могу користити само при малим вредностима струја, због своје карактеристике да су топливи. Овај недостатак се може делимично надоместити коришћењем отпорника израђених од трака Бор – Угљеника [39]

Кондензатори су елементи који се код PLC комуникација у електроенегетским мрежама користе за повезивање комуникационог канала са електричном мрежом [11] али се такође користе и као део филтра [12] и општих комуникационих/модемских кола [48]. Кодезатори, поред доминанте C компоненте, имају и L и R компоненту.

На слици 3.2 приказано је уопштено еквивалентно коло [39, 49], где се често, због поједностављења, серијска индуктивност може изоставити [49, 50] а понекад се могу користити и сложенији модели [51].



Слика 3-1 Шумови на виконапонском воду.

Уопштено, може се рећи да су кондензатори линеарни елементи до саморезонантне фреквенције f_{res} , која је одређена производом капацитивности C и паразитном индуктивношћу L :

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

Из горе наведене једначине произилази да би код идеалног кондензатора индуктивност требала да буде 0.

Фактор квалитета кондензатора Q је одређен отпором еквиваленције и изражен је:

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

На карактеристике кондензатора битно утиче и температура. Висока вредност фактора квалитета кондензатора Q значи да се врло мало енергије у кондензатору распршује, чинећи да ради на нижим, стабилнијим температурама него при ниском фактору квалитета.

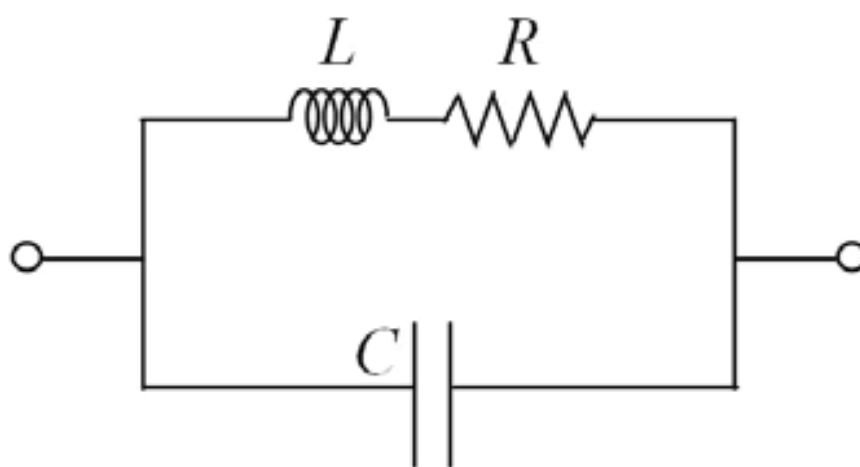
Постоје три различите групе диелектрика које се могу користити за класификацију кондензатора а то су: ваздушно – диелектрични, чврсто – диелектрични и течно – диелектрични.

- Ваздушно – диелектрични кондензатори се најчешће користе као кондензатори за подешавање.
- Чврсто – диелектрични кондензатори су керамички кондензатори углавном погодни за високе фреквенције [39].
- Течно – диелектрични кондензатори се користи када су потребни велики

капацитети [39].

Калемови су елементи који се у комуникацијама електроенергетским водовима користе како би одвојили делови електроенергетске мреже од комуникационе мреже и на тај начин се спречава дисипација снаге у одређеним деловима електроенергетске мреже [11].

Намотаји често чине део спојних кола, филтера и струјних кругова за укључивање [12]. Еквивалентна шема индукционог струјног кола приказана је на слици 3.2., и веома је сличан еквивалентном струјном кругу отпорника [37, 52, 53].



Слика 3-2 Шумови на нисконапонском воду

Како би се минимизирала паразитска капацитивност, потребно је да се повећава растојање између било којег капацитивног слоја, што се може постићи у једнослојном соленоиду који се често користи за високе фреквенције [47]. Повећање размака негативно утиче на индуктивност спојне компоненте што коначно даје мању ефективну индуктивност.

Основна једначина индуктивности L дефинисана је Фарадејевим законом:

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

где e представља индуковани напон, n и ϕ представљају број намотаја и флуks.

Имамо две врсте калемова: калемове са ваздушним језгром и калемове са

магнетним језгром. Први су у потпуности линеарни у односу на побуду и не примењују се ефекти засићења, што је предност у односу на калемове са магнетним језгром.

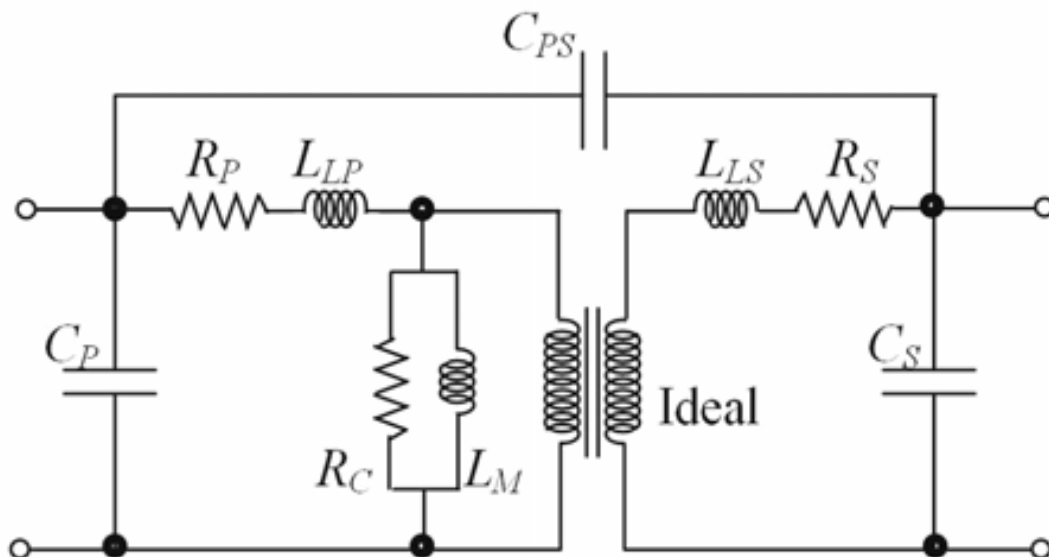
Магнетна језгра која имају ефективну пермеабилност од $\mu_e = 1000$, чиме повећава индуктивност ваздушног језгра. Уопштена једначина идеалног калема [39] :

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

где су μ_0 и μ_e су пермеабилност вакуума и ефективна релативна пермеабилност језгра (материјала од којег је језгро направљено).

Недостаци калемова са магнетним језгром су у томе што улазе у засићење на одређеном нивоу побуде, што коначно доводи до нелинеарности. Други недостатак калемова са магнетним језгром јесте да различити магнетни материјали имају различите губитке. Индуктивност се мења у зависности од температуре, фреквенције и побуде, што доводи до грешака и негативних ефеката.

Трансформатор је елемент мреже који у себи садржи два или више намотаја који су међусобно спрегнути, а који у себи имају, у циљу ефикасног повезивања, магнетно језгро високе пермеабилности. У трансформатору се јављају две врсте индуктивности, магнетизујућа и индуктивност цурења. Код добро дизајнираних трансформатора потребно је да магнетизујућа индуктивност буде вишеструко већа од индуктивности цурења. На слици 3.3. приказан је општи модел шематског приказа трансформатора [43]. Елементи кола L_M и R_C представљају магнетизујућу импедансу и губитке језгра. Елемент кола представљен параметром R представља губитке примарног и секундарног намотаја, док је са L_L представљена индуктивност цурења. Елементи кола приказани као C_P и C_S , су паразитске капацитивности које представљају заједничку вредност капацитета који се јавља између различитих намотаја и слојева истог намотаја, и капацитета између примарног и секундарног намотаја C_{PS} .



Слика 3-3 Шумови на нисконапонском воду

При пројектовању трансформатора који би имао минималан утицај паразитских елемената потребно је поштовати одређене принципе:

Индуктивности (цурења) у великој мери зависе од геометрије трансформатора. У раду [54] показано је да је укупна индуктивност цурења пропорционална односу висине и ширине намотаја. Индукција цурења се на овај начин може смањити чак и до фактора 4 ако се пројектује трансформатор двоструке ширине у односу на висину.

За смањење паразитске реактансе може се користити изведба трансформатора са преплетеним слојевима примарног и секундарног намотаја. Индуктивност цурења се може смањити када се користе два примарна и два секундарна слоја [54].

Губици намотаја (R_P и R_S) могу се минимизирати коришћењем жичаних или плочастих проводника.

3.1 ПОВЕЗИВАЊЕ ЕЛЕМЕНАТА СИСТЕМА

Већина електричних кола дизајнирана је користећи конвенционална теорија електричног кола која се заснова на дискретним, идеалним L , R и C

компонентама. Како би се могао дизајнирати прецизан електронски систем, потребно је узети у обзир и неопходне вредности кола које се јављају у неидеалним приликама. Ово је потребно урадити, јер су паразитски утицаји склони промени са променом фреквенције, напона, струје и температуре.

Нагли напредак индустрије полупроводника 1950. године имао је за утисак да ће се смањити употреба и утицај пасивних компонента у изради електронски кола. Ипак удео пасивних компоненти се удвостручио у производњи електронских компоненти, па је са почетком двехиљадитих година достигао и удео од 70% [55].

Коришћењем технике за производњу дискретних компоненти L , R или C на заједничкој подлози, постигнута је функционална интеграција ових компоненти, чиме се олакшава производња и постиже минимизација чипова паразитских параметара, а повећава се поузданост и смањују се трошкови [55]. Компоненте реалног света имају мешавину карактеристика и дизајнирају једну пасивну компоненту која има два или више контрастних утицаја, (LC или RC), где је у тридесетим годинама двадесетог века предложена прва интегрисана LC компонента [56]. Електромагнетно интегрисане RC (дистрибуиране) компоненте појавиле су се шездесетих година двадесетог века када је постало неопходно и очигледно да се паразитски параметри могу користити код дистрибутивних елемената [57-60]. Истраживања су настављена те је почетком деведесетих година двадесетог века пређена баријера када је произведен интегрисани елемент снаге веће од 100 W [61, 62]. И даље се ради на превазилажењу баријера и производњи електронски интегрисаних елемената веће снаге [55, 63, 64, 65, 66].

4 ТОПОЛОГИЈА ЕЛЕКТРОДИСТРИБУТИВНИХ МРЕЖА НИСКОГ НАПОНА

Изградња нисконапонских мрежа се врши у складу са IEC стандардима, односно локалним стандардима који су усклађени са IEC стандардима. Ови стандарди прописују различите начине инсталирања напред описаних различитих врста водова и пратеће опреме која је у примени у нисконапонским мрежама. Као што је у претходном поглављу наведено, електроенергетске мреже се реализују надземним водовима и/или подземним кабловима. Сваки од идентификованих различитих типова проводника, односно каблова, поседује различите карактеристике у погледу преноса телекомуникационих сигнала. У изградњи нисконапонске мреже делом се користе подземни водови, делом надземни, па и комбинована решења са вишеструким прелазима са типа на тип у оквиру једне деонице мреже или једног нисконапонског извода трафостанице. У општем случају, топологија нисконапонске мреже је радијална, односно топологија стабла, али њена структура се разликује у зависности од локације, дужине мреже, густине потрошача и њене изведбе [99].

Према густини потрошача, подручја на којима је реализована нисконапонска електродистрибутивна мрежа се у општем случају могу поделити на:

- градска
- приградска
- рурална,

иако постоје и специфична подручја у којој се могу преплитати две од наведене три категорије.

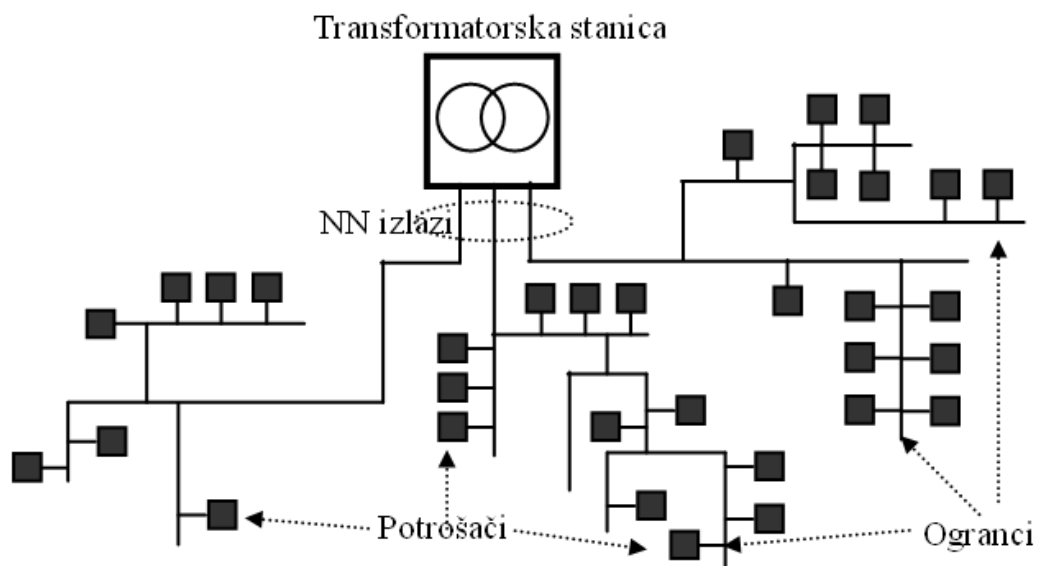
Према карактеру крајњих потрошача, подручја се могу поделити на:

- претежно резиденцијална, и
- пословна или индустријска.

Наведене поделе представљају факторе који имају утицај на топологију

нисконапонске мреже и начин њене реализације, али и на топологију PLC мреже, њену структуру, као и на захтеве у погледу квалитета услуге потенцијалних корисника широкопојасних PLC сервиса.

На слици 4-1 приказана је једна од могућих структура реализације нисконапонске мреже. У општем случају, трафостаница која врши трансформацију средњег напона (најчешће 10 kV или 20 kV) на ниски напон, има неколико нисконапонских излаза, из којих се реализује неколико грана нисконапонске мреже којима се даље електрична енергија дистрибуира до крајњих корисника. Ове гране се разликују по структури и концентрацији (броју) корисника који се напајају са њих, а и расподела потрошача по њима може бити симетрична или асиметрична. Топологија нисконапонских излаза, као и нисконапонска мрежа генерално, је топологија стабла.



Слика 4-1 Шематски приказ структуре електродистрибутивне мреже ниског напона

Имајући у виду разнолику структуру електродистрибутивних нисконапонских мрежа, прилично је јасно да није могуће дефинисати типичну структуру нисконапонске мреже. Ипак, могуће је идентификовати неке карактеристичне показатеље нисконапонске мреже који се могу квантификовати, а који се у већој мери подударују на сличним географским подручјима и подручјима са сличном концентрацијом потрошача и сличним карактером

потрошње (Табела 4.1.) Вредности параметара могу варирати и зависе од карактеристика подручја на коме је нисконапонска мрежа изграђена.

| | |
|-----------------------------------|------------|
| Број потрошача у трафо – подручју | ~150 – 250 |
| Број излаза | 5 |
| Број потрошача по излазу | ~30 – 50 |
| Дужина мреже по излазу | ~500 |

Табела 4.1 Карактеристични параметри просечне структуре НН мреже у Централној Србији

4.1 ОРГАНИЗАЦИЈА PLC ПРИСТУПНИХ МРЕЖА

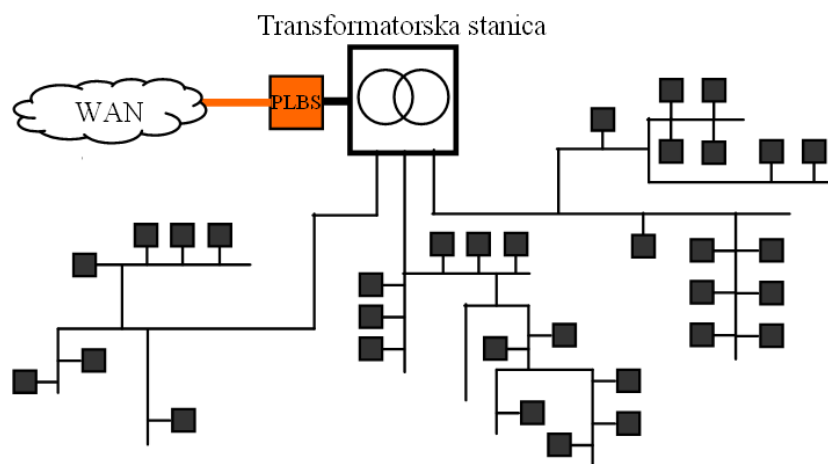
Топологију PLC приступне мреже у највећој мери одређује топологија нисконапонске мреже на којој је PLC приступна мрежа реализована. Ипак, организација PLC приступне мреже може бити реализована и различита од нисконапонске мреже, а од фактора који на то утичу могу се издвојити позиционирање PLC базне станице (PLBS), начин сегментирања мреже, итд. У овом поглављу ће бити предложено неколико могућности у смислу позиционирања PLBS у нисконапонској мрежи, сегментирања PLC мреже, имплементације регенератора сигнала, као и сегментације мреже применом гејтвеја.

4.1.1 Избор локација за инсталацију PLC базне станице

PLC базна станица је један од основних елемената PLC мреже, који повезује PLC приступну мрежу, са једне стране, и окосницу мреже (неку WAN мрежу) већег капацитета. Сходно томе заузима и централно место у структури сваке PLC мреже. Пратећи структуру нисконапонске мреже у којој централно место заузима трафостаница, тачка из које се напајају сви објекти на трафоподручју које покрива та трафостаница, сматра се за уобичајено да PLBS буде смештена у трафостаници. Али, то не мора бити правило. Позицију PLBS у

PLC приступној мрежи примарно одређује могућности њеног повезивања са окосницом мреже. У том смислу, могућа су два реална сценарија:

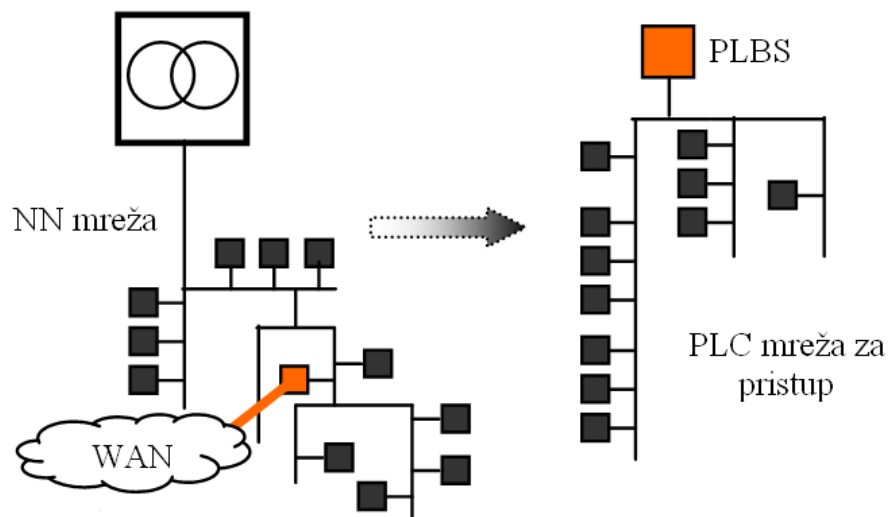
- У трафостаници постоји могућност повезивања на WAN мрежу (до трафостанице постоји положена оптичка мрежа – подземна или надземна реализована ADSS оптичким водовима, или нека друга врста везе са WAN мрежом). У овом случају је оправдано и оптимално PLBS сместити у трафостаницу, те топологија и структура PLC приступне мреже прати топологију и структуру нисконапонске електродистрибутивне мреже (Слика. 4-2.);



Слика 4-2 Инсталација PLBS у трафостаници

- Уколико у самој трафостаници не постоји могућност повезивања на WAN мрежу, PLBS може бити инсталирана и ван трафостанице. То може бити нека тачка на мрежи која је погодна за повезивање са WAN мрежом. Поред овог примарног критеријума за одабир локације PLBS, у обзир треба узети и подручје на коме је мрежа реализована, као и концентрацију, односно број корисника PLC сервиса. Једно од погодних места за инсталацију PLBS може бити кабловски дистрибутивни ормар (KDO), у случају да је исти укључен у систем даљинског управљања па у њему постоји комуникациони кабл преко кога је могуће повезати PLBS на окосницу телекомуникационе мреже. У оваквом сценарију, топологија PLC мреже је

различита од топологије нисконапонске мреже, како је и илустровано на слици 4-3.



Слика 4-3 Различита топологија приступне PLC мреже у односу на топологију нисконапонске мреже

Измештањем PLBS ван трафостанице, тачка повезивања на окосницу WAN мреже, односно централна тачка PLC мреже, се помера на неко друго место у мрежи. С обзиром да се PLBS инсталира на инфраструктури нисконапонске мреже (Слика 4-3), у зависности од избора наведених сценарија реализовања PLC мреже, мења се и удаљеност између PLBS и корисника широкопојасних PLC сервиса. У оба случаја, топологија приступне PLC мреже има физичку структуру стабла.

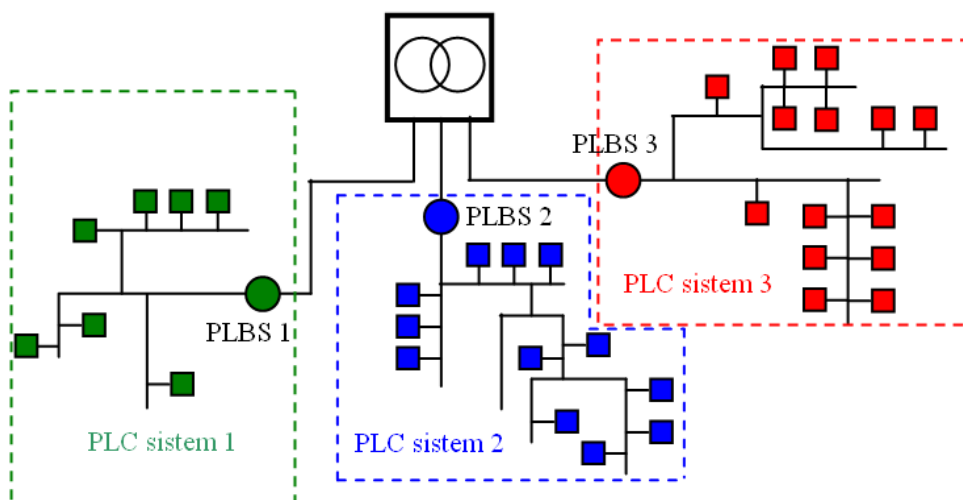
4.1.2 Сегментација PLC приступне мреже

Полазни параметар који треба узети у обзир приликом пројектовања PLC мреже је број корисника којима ће се пружати широкопојасни сервиси у првој фази имплементирања PLC система на територији коју покрива одабрана трафостаница. Ако број заинтересованих корисника широкопојасних сервиса

релативно мали, ПЛЦ мрежу треба реализовати на комплетној нисконапонској мрежи трафо-подручја, водећи рачуна да се PLBS оптимално позиционира.

Са повећањем броја корисника широкопојасних сервиса, у следећој фази развоја PLC мреже, прикладно је извршити поделу нисконапонске мреже на више сегмената, како би се смањила дужина мреже као и број корисника који учествују у дељењу капацитета PLC линка. Свакако, треба водити рачуна да сегментирање мреже буде оптимално у смислу броја сегмената и броја корисника по сегменту. Једна од прикладних подела је сегментирање мреже на начин да сваки од нисконапонских излаза трафостанице буде посебан сегмент мреже, те да сваки сегмент мреже буде засебан PLC систем.

На слици 4-4 илустрована је једна од могућих сегментација нисконапонске мреже трафостанице која има три нисконапонска излаза. Сваки од сегмената има своју PLBS која покрива кориснике у оквиру тог дела нисконапонске мреже. С обзиром да се сегментацијом мреже постиже да број потенцијалних корисника по сегменту, односно PLBS, буде мањи у односу број корисника на целој PLC мрежи уколико је покрива једна PLBS, проток на PLC линку дели мањи број PLC корисника.

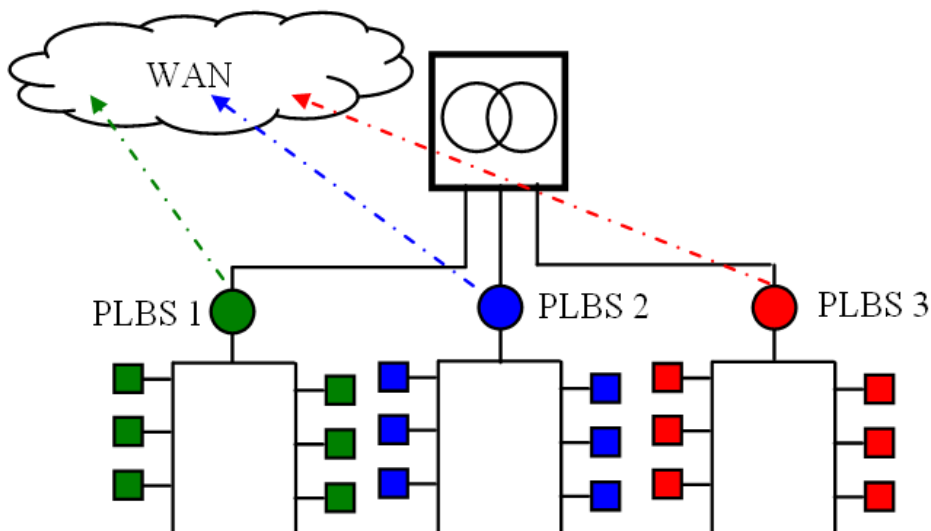


Слика 4-4 Реализовање PLC подсистема на сегментима НН мреже

Додатна предност која се постиже сегментирањем PLC приступне мреже је да се дужина мреже по сегменту смањује. Ово је веома важно јер се тиме

омогућује смањење предајне снаге сигнала који се преноси у оквиру сегмента мреже, а што умањује интерференцију са другим комуникационим системима који користе исти фреквенцијски спектар. У погледу топологије PLC подсистема, односно сегмената у оквиру нисконапонске мреже, они задржавају физичку топологију стабла.

У оквиру сваког од PLC подсистема, односно сегмената мреже, може се формирати независна PLC приступна мрежа (Слика 4-5), која се може независно повезати на окосницу WAN мреже.



Слика 4-5 Више независних PLC приступних мрежа у оквиру територије коју покрива једна трафостаница.

Још једна од расположивих опција је реализација хијерархијске PLC приступне мреже. Овакво решење подразумева конекцију PLBS сваког од сегмената на окосницу WAN мреже, преко централне PLBS која се монтира у трафостаници. Овакав приступ има и своје ограничење, које се огледа у томе да се капацитет PLC приступне мреже смањује у смислу протока. Наиме, у сврху комуникације између PLBS различитих хијерархијских нивоа, и коначно са централном PLBS, могуће је доделити засебне слотове времена, или доделити делове доступног фреквенцијског спектра за сваку од PLBS, а што све у коначници резултира смањењем доступног капацитета PLC приступне мреже.

4.1.3 Улога гејтвеја и рипитера у PLC приступној мрежи

Телекомуникациони сигнал који се преноси електродистрибутивним водом је изложен слабљењу, које је директно пропорционално растојању између предајника и пријемника, и фреквенцији сигнала. Уз задовољење захтева за адекватним битским протоком који може подржати широкопојасне сервисе, растојање на ком је могуће пренети сигнал у PLC приступној мрежи је директно пропорционалан предајној снази сигнала. Дакле, да би се остварио већи домет потребно је повећати снагу сигнала на предајнику. Међутим, са повећањем предајне снаге повећава се електромагнетно зрачење сигнала са вода у окружење PLC система, што повећава интерференцију са другим системима у истом фреквенцијском спектру.

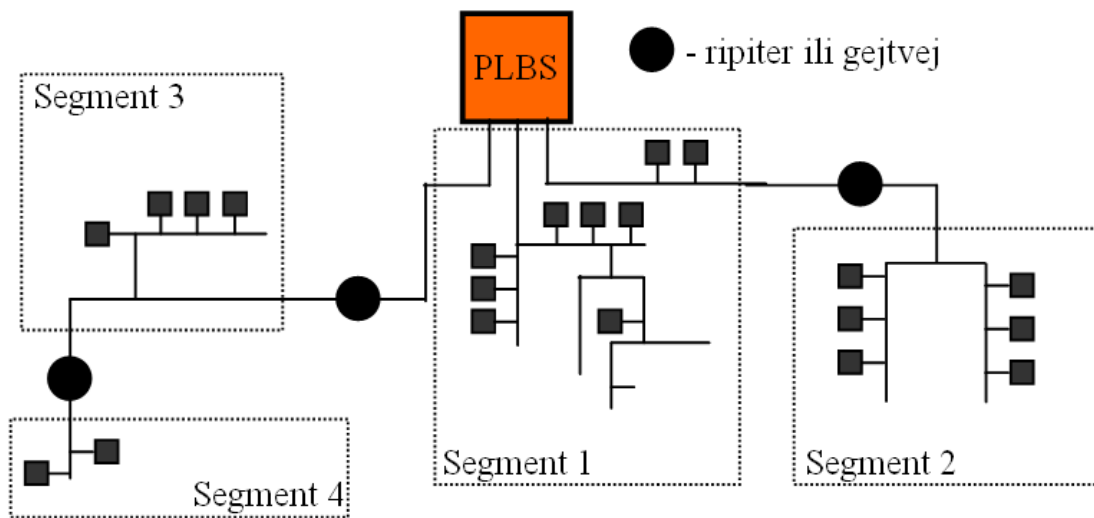
У циљу реализације PLC приступне мреже која подржава битске протоке довољне за пружање широкопојасних сервиса, уз веће домете у преносу сигнала нисконапонском мрежом, препоручује се употреба рипитера, односно регенератора сигнала.

Рипитери врше регенерацију сигнала, на тај начин што ослабљени сигнал регенеришу и појачавају до нивоа снаге сигнала на предајнику и емитују га даље у мрежу. Слика 4-6 илуструје примену рипитера или гејтвеја у PLC приступној мрежи.

Мрежне станице (опремљене PLC модемима) код корисника широкопојасних PLC сервиса комуницирају са припадајућом PLBS преко рипитера чија је улога да примљени сигнал појачају и ре-емитују га у суседни мрежни сегмент. Рипитери подржавају двосмерну комуникацију, док у суседним сегментима мреже раде на различитим фреквенцијама, или користе различите временске слотове. У PLC мрежама у руралним подручјима, у којима је понекад потребно премостити велика растојања између предајника и пријемника, односно између мрежне станице код корисника и PLBS у трафостаници, или на неком другом месту на нисконапонској мрежи, користи се више рипитера у једној линији комуникације. За добре перформансе PLC система, препорука је да

удаљеност између мрежне станице код корисника широкопојасних сервиса и рипитера, односно између два рипитера на PLC мрежи, не буде већа од 100 m [67].

С обзиром да рипитери само врше прослеђивање саобраћаја између суседних сегмената PLC мреже, односно не врше раздвајање мреже на логичком нивоу, јасно је да PLC приступна мрежа за приступ и уз употребу рипитера задржава физичку топологију стабла. Са аспекта логичке комуникације, приступна PLC мрежа је бус мрежа. [68].



Слика 4-6 Сегментација приступне PLC мреже рипитерима или гејтвејима

Уобичајено, мрежна станица је инсталирана у објекту корисника, поред бројила електричне енергије. Са аспекта PLBS, мрежна станица представља кориснички приступни уређај (*CPE – Customer Premises Equipment*). Уколико у објекту корисника постоји имплементирана LAN мрежа која је реализована по кућној електричној инсталацији (*In-door PLC систем*), тада је уз бројило неопходно поставити и гејтвеј који има две улоге:

- са аспекта PLC приступне мреже има улогу крајњег корисника,
- са аспекта LAN-PLC мреже има улогу PLBS.

Бројило електричне енергије представља тачку у којој је једноставно остварити спрегу PLC сигнала са нисконапонске мреже кућног прикључка на кућне електричне инсталације, обзиром да се проводници трофазног кућног прикључка прикључују на прикључницу бројила, а ту су директно повезани са

главним проводницима кућне електричне инсталације. На тај начин је у свакој тачки унутрашње електричне инсталације обезбеђено присуство PLC сигнала. Унутрашњи PLC модем се прикључује у неку од утичница, а на њему су доступне различите врсте интерфејса (*Ethernet, USB, ...*), у зависности од његове намене. У PLC модему, у предајнику је интегрисан капацитивни каплер чија је улога електромагнетна спрега телекомуникационог сигнала на енергетски вод.

PLC гејтвеја у PLC приступној мрежи има за улогу не само регенерацију сигнала и прослеђивање сигнала у суседни сегмент мреже, већ и улогу локалне PLBS. Његовом употребом се врши подела PLC мреже на сегменте, где сваки сегмент има сопствени PLC гејтвеј као посредника PLBS и тог сегмента PLC мреже. Опет сваки сегмент примарно има физику топологију стабла. Међутим, уколико се PLC гејтвеј постави у мерни ормар у неком објекту колективног становања, у коме има више бројила, онда тај „сегмент мреже у оквиру једног ормара“ може да има и топологију звезде.

Дакле, сегментирање PLC приступне мреже се може вршити имплементацијом рипитера и гејтвеја на одговарајућим местима на мрежи. Ограничавајући фактор за реализацију већег бројила сегмената у оквиру PLC приступне мреже је интерференција која се јавља између суседних сегмената. Како би се овај проблем превазишао, препорука је коришћење ширег фреквенцијског спектра, како би се сваком од сегмената доделио један део спектра. С друге стране, ово резултира смањењем укупног капацитета мреже.

Свакако, имплементација рипитера и гејтвеја резултира повећавањем инвестиционих трошкова при реализацији PLC приступне мреже. Ови трошкови се могу смањити оптималном расподелом PLC модема на PLC приступној мрежи, који могу преузети ту функцију. Наиме, савремени PLC модеми врше и функцију рипитера. Овиме се постиже да, обзиром да објекти корисника обично нису на великим међусобним растојањима, PLC модеми на неки начин врше сегментацију мреже на веома мале сегменте (колико је растојање до следећег објекта односно PLC модема). Тиме се значајно смањује потребна излазна предајна снага сигнала, као и зрачење у окружење нисконапонске мреже. Предлог овакве реализације сегментирања мреже PLC модемима је потекло од *ONELINE*, немачког алтернативног телекомуникационог оператора [67].

Наравно, PLC модеми који имају и функцију рипитера су сложенији за реализацију, док је њихова примена у PLC мрежи условљена применом сложеног механизма управљања који би подржао оптималну доделу фреквенција или временских слотова. Поред тога, рипитери уносе додатно кашњење у преносу сигнала због потребе да се изврши конверзија примљеног сигнала и његова регенерација. Све наведено утиче на ограничену употребу рипитера и гејтвеја у PLC приступној мрежи.

С обзиром на топологију и структуре нисконапонских мрежа у ЕПС Дистрибуцији, а сагледавајући резултате релевантних пројеката спроведених у ЕУ, може се очекивати да ће у Србији, у највећем броју случајева PLBS бити инсталиране по трафостаницама. У руралним подручјима су могући изузеци, јер су често нисконапонски водови значајно дугачки. Уколико би се у руралним подручјима за окосницу телекомуникационе мреже користила нека од бежичних технологија, PLBS би се тада могле инсталирати и ван трафостанице, чиме би се водови могли скратити у PLC комуникационом смислу и последично томе оптимизовати коришћење рипитера.

5 СМЕТЊЕ КОЈЕ СЕ ЈАВЉАЈУ У СРЕДЊЕНАПОНСКИМ И НИСКОНАПОНСКИМ МРЕЖАМА

У електричним мрежама средњег и високог напона се јављају амплитудна и фазна изобличења. Поред наведених изобличења, и шум је кључни фактор који битно утиче на перформансе преноса електродистрибутивним водовима. Како би се минимизирао утицај сметњи потребно је применити одговарајуће технике за кодирање и модулацију. Проблем електромагнетне компатибилности је такође проблем који се може јавити и потребно је да се детаљно анализира приликом преноса података путем електродистрибутивних мрежа. У наставку ће бити описана природа шума у електричним мрежама средњег и ниског напона.

5.1 СМЕТЊЕ У СРЕДЊЕНАПОНСКИМ МРЕЖАМА

У средњенапонским мрежама могу се јавити две врсте сметњи и то позадински (обојени шум) и ускопојасни шум [69].

- *Позадински шум* је сметња која се јавља у електричним мрежама и ова врста сметњи у великој мери зависи од временских прилика, конфигурације терена, надморске висине и др. Ниво сметњи који се може јавити у средњенапонским мрежама је већи нивоа сметњи који се јављају у нисконапонским мрежама. Позадински шум је увек присутан у комуникационом каналу, а разлика у величини позадинских сметњи је већа код средњенапонских мрежа у односу на нисконапонске за приближно 20 - 30 dBm/Hz код фреквенција опсега 1 - 20 MHz.

Појава и присуство короне, а нарочито приликом лоших временских прилика, представља главни узрок позадинских сметњи [70]. Приликом експлоатације, протоком електричне струје кроз електричну мрежу, код средњенапонских мрежа у близини проводника се јавља јако електрично поље. Присуство овог електричног поља доводи до убрзавања кретања слободних електрона око проводника. Приликом интеракције ових електрона са околином долази до

стварања слободних електрона и позитивних јона приликом чега се ствара пражњење које називамо корона. Ово пражњење електрона доводи до индуковања струјних импулса у проводницима који имају случајне варијације и амплитуде. Такође, ово пражњење код трофазног вода се различито јавља код сваког проводника. Коначно, може се рећи да се у свакој фази (проводнику), увек када је напон довољно висок, јавља корона која узрокује стварање шума. Корона је сметња која се може сматрати константном (трајном), а чија амплитуда зависи од величине напона и састава проводника, као и од врсте и конфигурације терена. Корона се у ниским фреквентним опсезима може посматрати и као бели шум. Природа короне је истражена и приказана је у раду [71].

- *Ускопојасни шум* - Овај шум представља сметњу која настаје услед присуства и деловања других бежичних уређаја који раде у фреквенцијском опсегу на којем раде уређаји за пренос у електричним водовима на средњем или ниском напону. Ускопојасни шум се може разликовати у зависности од тренутка и места посматрања, јер фреквентни опсег у електричним мрежама није равномеран, а такође овај шум је и временски завистан. Напред наведено указује да се приликом израчунавања и мерења ускопојасног шума, мерење мора вршити на различитим местима и у различитим временским тренуцима. Укупан ниво шума представља суму ове две врсте шума (ускопојасног и позадинског).

5.2 СМЕТЊЕ У НИСКОНАПОНСКИМ МРЕЖАМА

За разлику од средњенапонских мрежа код нисконапонских мрежа шум који се јавља је доста сложенији и много је непредвидљивији. Шум који се јавља и који је присутан у нисконапонским мрежама се може разврстати у пет група [72]:

- ускопојасни шум,
- обојени позадински шум,
- синхрони периодични импулсни шум,
- асинхрони периодични импулсни шум, и

-
- нагли (burst) импулсни шум.

Ускопојасни шум је исти као и код средњенапонских електричних мрежа.

Позадински шум је шум који се јавља услед суперпонирања различитих и вишеструких извора шума мале снаге. Њихова густина шума је у опсегу 120 - 140 dB. На основу испитивања и вишеструких мерења, закључено је да се густина снаге позадинског шума смањује са повећањем фреквенције [73].

Синхрони периодични импулсни шум је шум који се јавља у фреквенцијским опсезима 50 - 100 Hz. Узрочници који узрокују ову врсту сметњи су синхрони претварачи електричне енергије који се налазе у димерима и диодним исправљачима.

Асинхрони периодични импулсни шум је шум који је узрокован пребацивањем напајања електричном енергијом. Он се углавном јавља на фреквенцијским нивоима 50KHz - 2 MHz. Мерење и анализирање ових сметњи, је веома тешко из разлога што је њихово трајање кратко и има малу амплитуду. Може се зато због наведених карактеристика рећи да се ова врста шума сматра делом позадинског обојеног шума [75].

Нагли (burst) импулсни шум је шум која је јавља нагло и непредвидљиво, случајно. Ова врста импулсног шума се често назива и асинхрони импулсни шум [72]. Појава ових сметњи је последица рада кућних апарата, електромотора и др. Због тога што има много различитих врста извора ове врсте сметње, може се рећи да овај шум има различита својства у погледу временског одзива, као и у погледу спектарских особина. За комуникацију путем електричних мрежа, импулсни нагли шум је од велике важности јер је снага овог шума у сваком погледу доминантна у односу на друге напред наведене врсте шума. Јачина овог шума може довести до великог губитка података у преносу. Анализа овог шума приказана је у радовима [72, 76].

5.3 МОДУЛАЦИОНЕ ТЕХНИКЕ

За квалитетан пренос веома је битан и избор модулационе технике која зависи од природе и карактеристика медијума у којем одређена мрежа мора да ради. Кад се као комуникациони канал користи електроенергетски вод онда он представља медијум који има негативне особине за пренос комуникационог сигнала. Негативне карактеристике које се јављају у овом медијуму су шум, multipath и изражена селективност канала.

Приликом избора модулационе технике за електроенергетски вод мора се водити рачуна о факторима који се односе на: присуство шума и импулсних сметњи који доводе до тога да је однос сигнал шум на ниском нивоу, временски променљиву фреквентно селективну природу и на регулаторна ограничења у односу на електромагнетну компатибилност.

Избор треба да буде такав да обезбеђује довољан квалитет за широк спектар варијација.

Најчешће коришћене модулационе шеме су:

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

5.3.1 Single-carrier модулација

Ова врста модулације је занимљива ако се посматра сложеност као параметар јер је једноставна за реализацију. Међутим, како је канал реализован у електроенергетском воду веома нелинеаран, присуство интерференције је неизбежно, те су стога потребне супериорније технике у циљу отклањања ових сметњи. На основу анализе дате у [77] може се рећи да Single-carrier модулација није добар избор за коришћење у електроенергетском комуникационом каналу.

5.3.2 Spread spectrum модулација

Spread spectrum модулација је таква врста модулације која податке који се преносе шири преко читавог фреквентног опсега. Оригинални информациони сигнал, са фреквенцијским опсегом B и трајањем T_s , претворен кроз *pseudo-noise* сигнал у сигнал који се преноси у спектру W , где је $W \gg B$. Умножавајуће ширење спектра може с мерити мерењем параметра Фактора ширења (*spreading-factor* - SF). Овај параметар је такођер познат под називом "добитак ширења" (*spreading gain*) или "добитак обраде" (*processing gain*) и дефинисан је једначином:

$$G = \frac{W}{B} = W \cdot T_s \quad (5.1)$$

Ова врста модулације првенствено је била намењена за употребу у бежичним комуникацијама где је њена намена била да се избегну загушења, тј. у случајевима када потенцијални ометач омета комуникацију. Код ове врсте модулације прекид комуникације је могуће остварити тако што потенцијални ометач треба да открије да пренос уопште постоји. Из тог разлога је потребно да приликом дизајнирања водимо рачуна да се преносни сигнал што теже детектује па се из тог разлога овај сигнал најчешће и назива *noise-like* сигнал. Још једна карактеристика која мора бити задовољена јесте да овај сигнал треба да буде такав да буде тешко ометан од стране потенцијалног ометача-сигнала за ометање.

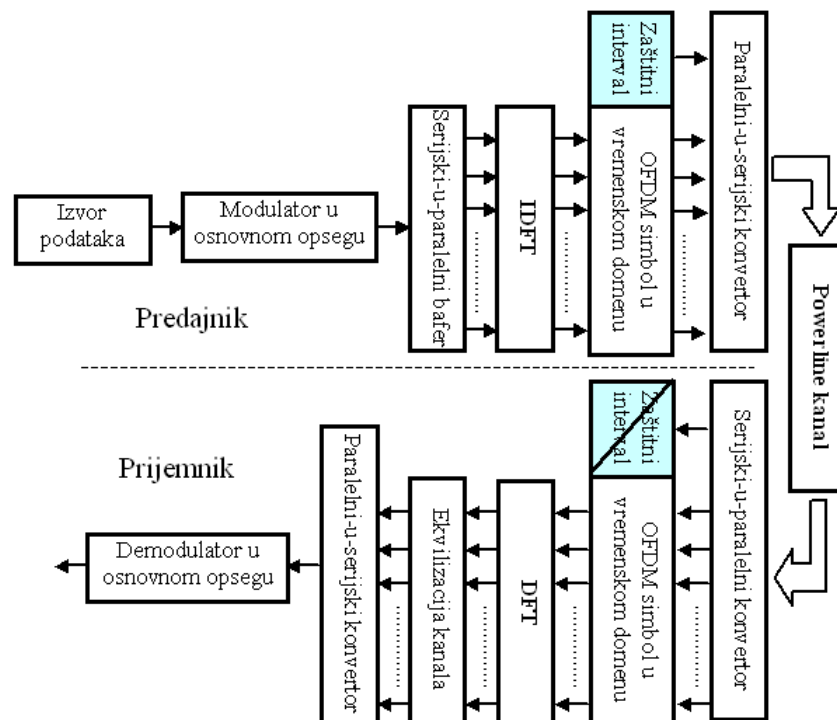
Ова техника има својих ограничења приликом коришћења за пренос сигнала кроз електроенергетске водове, нарочито код импулсног шума јер је пропусни опсег ограничен, па се у том случају неминовно јавља шум. Да би се ова техника поуздано користила потребно је значајно проширење пропусног опсега што са друге стране може довести до значајног ограничења брзине протока. У апликацијама са не тако захтевним перформансама у погледу брзине протока, ова модулација налази своју примену.

Као предности технологије проширеног спектра, могу се издвојити изражена безбедност преноса сигнала, отпорност на сметње од стране других система, редундантност, отпорност на ефекте фединга и вишепутног простирања. Уобичајене технике проширеног спектра су *Direct Sequence* (DS), *Frequency Hopping* (FH), *Time Hopping* (TH) и *Multi-Carrier* (MC). Такође, у зависности од примене у конкретним системима, могуће је комбиновање наведених техника

како би се добила хибридна техника која сублимира предности различитих техника.

5.3.3 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) модулација

Orthogonal Frequency Division Multiplexing модулација је модулација која се најчешће користи у случајевима када се сигнал преноси у фреквентно селективним каналима. Код ове модулације се користе ортогонални тонови за модулацију сигнала [78]. У OFDM систему [79] (слика 5-1), подаци се преносе на тзв. подносиоце, модулиране различитим могућим техникама, као што су бинарна фазна модулација (*BFSK- Binary Phase Shift Keying*) или квадратурна амплитудна модулација (*QAM- Quadrature Amplitude Modulation*). Сваки подканал се модулише посебним симболом, а онда су сви подканални фреквентно мултиплексирани, користећи ортогоналне фреквенције како би повећали ефикасност канала. Подаци (који представљају скуп фреквентних подносиоца) се трансформишу у временском домену користећи инверзну брзу Фуриерову трансформацију (IFFT) на предајнику. Излаз IFFT преко n информационих симбола генерише OFDM симбол.



Слика 5-1 Блок дијаграм OFDM система

OFDM инхерентно решава проблем са интерсимболном интерференцијом (ISI) узрокованом ширењем кашњења са више пута, убацивањем интервала заштите. На пример, еквивалентни 10 Mbps OFDM симбол са 100 под-носилаца је широк 10 микросекунди, са одговарајућим заштитним опсегом и цикличним префикса, лако може превазићи 1 микросекунда распона кашњења типичне на далеководу. Иако OFDM може елиминисати ISI, остаје проблем са изблеђивањем, такође узрокованим вишеканалним рефлексијама. Решење је додавање интерлоковања и кодирања грешака како би се повратили изгубљени битови. Ово се обично назива кодираним OFDM (COFDM).

Циклични префикс се додаје у OFDM симбол ради одржавања ортогоналности у временском дисперзивном PL каналу (узроковану *multipath* рефлексијама). Овај префикс копира последњи део симбола и додаје копију на почетак симбола. Дужина OFDM симбола је једнака реципрочном размаку између подносиоца и генерално је врло дуга у поређењу са брзином преноса података. Ово дуго време симбола, генерално много микросекунди, у комбинацији са цикличним префиксом, кључни су фактори који омогућавају перформансе на временском дисперзивном каналу.

На пријемнику, где се циклични префикс и заштитни интервал уклањају из сигнала о временском домену, OFDM сигнали демодулишу се извршавањем FFT на сваком симболу, како би их претворили у фреквенцијски домен. Једноставни изједначаваач исправља изобличење канала. Коначно, одлука симбола и декодирање се извршавају.

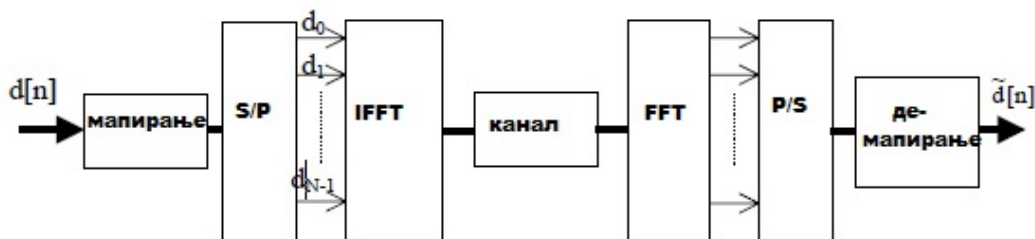
Следећа предност OFDM-а је могућност додељивања тонова (укључивање и искључивање подносилаца) тако да се подаци преносе само у спектру преноса функција која може одржати битну брзину грешке (BER) која одговара апликацији [80].

Ова техника је у последње време врло заступљена и користи се интензивно у радио емитовању, код 4G мрежа и ADSL линија.

5.3.3.1 Концепт OFDM модулације

Концепт OFDM модулације је да се ток података подели на низ мањих токова и да се сви токови такође пренесу истовремено, а такође да се подели и на паралелно више ортогоналних подносилаца. Ортогоналност подносиоца има за циљ да обезбеди да се токови међусобно не ометају. Због преклапања може доћи да подносиоци изгубе своју ортогоналност, у ком случају се међусобно преклапају, што доводи до тога да се јавља интерсимболна интерференција (ISI). Блок дијаграм система реализованог OFDM модулацијом приказан је на слици 5-2.

Пренос података реализује се тако што се подаци шаљу у једном подканалу, тако да сваки подканал има сопствену пропусност. У случају када је пропусни опсег преноса мањег нивоа од ширине пропусности канала, интерсимболне интерференције (ISI) на том каналу се елиминишу. У зависности од брзине протока, при нижим брзинама имамо нижи пропусни опсег па би услед тога одабирајући довољан број подносиоца канала могли да имамо велики број нискоквалитетних паралелних токова података при чему би се у сваком подканалу имали одсуство интерсимболне интерференције.



Слика 5-2 Блок дијаграм OFDM система.

Код реализације ове модулације број битова који се додељује подносиоцима је променљив у зависности од тога како је променљив и однос SNR и реализованом (задатом) фреквентном опсегу. Принцип одабира броја подносиоца заснива се на томе да се он одабира као размак фреквентног offset-а између суседних носиоца и суседних сметњи.

Расподела података у циљу преноса преко више подносиоца може се реализовати помоћу инверзне брзе Фуријеове трансформације (IFFT). Брза Фуријеова трансформација се, такође, може користити за филтрирање (FFT). Ове трансформације врше реверзибилна линеарна мапирања OFDM симбола [78]. Због напред наведених карактеристика ова модулација захтева мање потребних израчунавања за јединично време у односу на друге. Код ове модулације, импулси подносиоца који се користе за пренос података су тако изабрани да буду правоугаони. Ова чињеница представља предност како би IDFT, примењена као IFFT, могла обавити формирање импулса и модулације. У складу са напред наведеним, на пријемној страни за обављање наведене операције потребна нам је само FFT. Код примене FFT имамо правоугаони имплус који доводи до грешке синусног типа.

Пренос података у фреквентном домену уз коришћење брзе Фуријерове трансформације доводи до робусности према интерсимболној интерференцији.

OFDM систем је линеаран под претпоставком да:

- су пријемник и предајник савршено синхронизовани.
- је канал идеалан.

При практичним реализацијама система први услов је испуњен и ако се убаци неки познати сигнал, додат OFDM симболу. Овај сигнал се убацује како би се могла идентификовати референтна амплитуда и фаза консталације мапирања у сваком од подносиоца, а све у циљу исправне демодулације података. Идеалан канал је тешко, скоро немогуће, остварив у пракси.

Сваки симбол у OFDM систему је направљен од два дела: од корисног сигнала који се налази у активном симболу, и интервала заштите, који се понавља на почетку симбола. Ако имамо ситуацију да је временски интервал заштите дужи од интервала кашњења канала код више подканала, ефекат интерсимболне сметње може бити елиминисан. У зависности од апликације, разликујемо различите односе заштитног интервала. Убацавање интервала заштите и корисног симбола доводи до смањења пропусног опсега за пренос података. На пријемној страни, потребно је да заштитни интервал буде елиминисан како би се успешно применила брза Фуријеова трансформација на примљени сигнал.

Ефекат примене OFDM система на сметње у PLC комуникационом систему је такав да, применом дискретне Фуријеове трансформације, долази до ширења ефекта импулсног шума код сваког под-носиоца на начин да се шум на сваком од под-носиоца понаша као Гаусов шум. Напред наведена карактеристика представља једну од главних карактеристика и предности OFDM система у окружењу импулсног шума.

Уз претпоставку да постоји довољно заштитних интервала како би се избегла интерсимболна сметња, сваки подканал се може третирати као Гаусова сметња. Грешка бита (BER) [77] је за примењену квадратурну амплитудну модулацију у присуству Гаусовог шума дата као :

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

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

где је M ниво модулације и $M = 2k$ када је k једнак. E_{av} је просечна снага сигнала и N_0 је снага буке.

Стога, ако се квадратурна амплитудна модулација користи за сваког подносиоца, просек BER OFDM система са N подносилаца (претпостављајући да нема ISI) се може изразити као:

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

$$P_{k,\sqrt{M}} = 2\left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right)Q\left(\sqrt{\frac{3H_k^2 E_{av}}{(M-1)\sigma_z}}\right) \quad (5.5)$$

5.3.3.2 Елиминација импулсног шума

Због своје робустности OFDM систем је подобнији за коришћење у PLC комуникационим системима. Међутим, као и код свих других модулација и код ове модулације могу се јавити сметње које могу бити последица дугих импулсних шума, што у крајњем случају може довести до оштећења читавог OFDM

симбола. Наведени недостатак може врло негативно утицати на свеукупне перформансе овако реализованог система, те је зато неопходно применити технике за отклањање импулсних сметњи у окружењу у којем је присутна висока импулсна сметња, која се нарочито јавља у електроенергетским водовима. У ту сврху су развијене технике за елиминацију (сузбијање) сметњи код OFDM [81] [82] и [83].

6 КОМУТАЦИЈА САОБРАЋАЈА У СРЕДЊЕНАПОНСКОЈ И НИСКОНАПОНСКОЈ МРЕЖИ

У мрежама за пакетни пренос телекомуникационог саобраћаја, а PLC мрежа је једна од таквих, за функционалну реализацију преноса телекомуникационог саобраћаја веома је важна техника рутирања. Комутација је техника која се реализује на слоју везе (*Data Link Layer*), другом слоју OSI (*Open System Intecnection*) референтног модела, и заснована је на MAC (*Media Access Control*) протоколу.

Имајући у виду наведени аспект, енергетски вод било код напонског нивоа се као систем за приступ може сматрати транспарентним мостом, који је у ствари ентитет слоја везе. У том контексту, коришћени MAC протокол дефинише перформансе у виду поузданости, кашњења, ефикасности и QoS карактеристика преноса података.

6.1 MAC ПРОТОКОЛИ У ПРИСТУПНОЈ PLC МРЕЖИ

Енергетски вод је у телекомуникационом смислу промењив медијум за пренос података у погледу времена и фреквенције, и може се упоредити са преносним каналом у бежичним мобилним апликацијама. У таквим системима фреквенцијски одзив мреже се константно мења и никада није исти.

Такође, обзиром да на енергетским проводницима не постоји плашт који би елиминисао пријем радио сигнала из околне средине, енергетски вод добија улогу велике антене која је подложна пријему радио сигнала, као и других ускопојасних и широкопојасних сметњи, које утичу на однос сигнал-шум (SNR) на релевантним фреквенцијама.

Даље, енергетски вод нема прилагођену завршну импедансу, што је узрок рефлексије сигнала које могу довести до делимичног брисања сигнала услед фазног преклапања, као и до интерсимболске интерференције.

У оваквом неповољном окружењу, какав је енергетски вод, решење MAC протокола је од суштинског значаја јер његов дизајн утиче на ефикасно коришћење пропусног опсега као и на стабилност и робусност целог PLC система.

Актуелна решења већине PLC MAC протокола су MAC решења која се користе и у другим мрежним технологијама. Уобичајено се користе или CSMA (*Carrier-Sense Multiple Access*), или 802.11 и Token passing (802.5). Ипак, оваква решења која су преузета из конвенционалних телекомуникационих система имају и своја ограничења за PLC комуникацију јер PLC има специфичне карактеристике канала и топологију мреже, а које примарно нису разматране при дизајнирању ових протокола. Како би се PLC пропусни опсег што боље искористио, јавља се потреба за усавршавањем постојећих решења и дефинисањем оптималног и новог концепта који ће ефикасно функционисати у неубичајеним условима пропагације какви постоје у PLC мрежама, и који ће обезбедити потребни ниво QoS за пружање захтеваних телекомуникационих сервиса по енергетском воду. Управо несавршеност MAC актуелних протокола представља ограничење у пружању комплекснијих услуга у реалном времену, као што су VoIP и VoD.

CSMA протоколи у PLC мрежи у одређеним случајевима не задовољавају захтеване перформансе система, у случајевима појаве скривених чворова (*Hidden Nodes*). У PLC мрежама за приступ, скривени чворови су веома честа појава, јер се немогуће да сви кориснички уређаји (*CPE – Customer Premises Equipment*) у оквиру једне PLC ћелије (трафостанице), упркос функцији репетиције коју савремена паметна бројила електричне енергије подржавају, буду у домету са свим осталим корисничким уређајима који су инсталирани у тој PLC ћелији. Поред тога, RTS/CTS (*Request to Send/Clear to Send*) механизми у PLC приступним мрежама су доста неефикасни за пружање услуга као што су VoIP или VoD. Наведено су ограничења за коришћење CSMA протокола као решења за PLC приступну мрежу. Свакако, CSMA протокол је добро решење за примену у PLC-LAN мрежама (LAN мрежама у оквиру објекта реализованим по унутрашњим напонским инсталацијама). Ипак, ова дисертација је усмерена на PLC приступну мрежу, дакле на енергетске водове од трафостанице до објекта корисника.

Token passing је добро решење у системима комуникације где су спољашње сметње ниског интензитета, и тамо где хијерархија мреже плитка. Обзиром на велики број бројила електричне енергије (а свако бројило је репетитор) на трафо-подручју, очигледно је да је хијерархија између PLBS и CPE дубока, односно да између PLBS и CPE постоји већи број чворова. Из наведеног се закључује да token passing решење у PLC мрежи може трпети значајну деградацију перформанси, односно резултирати честим губицима токена у сложеном и сметњама подложном окружењу какав је енергетски вод. Поред тога, кашњење које је карактеристично за token passing, било би рестриктивно за услуге у реалном времену, са повећањем броја хијерархијских нивоа.

Комбинација polling и резервационог MAC механизма би могла пружити ефикасне резултате за телекомуникационе канале какав је енергетски вод. Резервациони део MAC протокола би могао подржати прихватљив ниво цитера (*jitter*) и кашњења за пружање услуге у реалном времену по PLC мрежи. Такође, аспект дубоке хијерархије PLC мреже би могао бити превазиђен обезбеђењем довољног пропусног опсега доступног у одређеном времену за критични саобраћај на сваком нивоу, што опет може да подржи механизам резервације. Polling механизам би, с друге стране, могао спречавати изгладњивања неког чвора у PLC мрежи у случају прекомерног саобраћаја.

Очигледно је да би се за адекватну примену енергетских водова за пружање широкопојасних телекомуникационих сервиса, као што су сервиси у реалном времену, морао осмислити и дефинисати адекватан MAC протокол, и то је један од праваца истраживања који је пред научном заједницом из ове области.

Као полазну основу свакако треба дефинисати скуп полазних претпоставки за приступ каналу у PLC мрежама заснованих на TDMA:

- PLBS додељује временске слотове CPE -има и рипитерима, који су његови слејвови. Додела временских слотова у фрејмовима, где је дужина фрејма неколико временских слотова.
- PLBS прозива рипитере како би добио процену количине саобраћаја у својим респективним под-мрежама и резервише временско трајање засновано на овим проценама.

-
- PLBS резервише и додељује одређене временске слотове за сваки CPE који је неко време био у *idle* стању. На овај начин би се спречило изглаđивање чворова у случају густог саобраћаја.
 - PLBS резервише одређене временске слотове и сваки пут када је читава мрежа у *idle* стању, односно у моментима када сви PLC елементи мреже могу прорачунати ниво шума. Ово би повећало робустност мреже доделом прилика свим елементима мреже да имају изврше процену количине шума на PLC каналу.
 - CPE -ови могу направити захтев за резервацију којом, ако им се одобри од стране PLBS, добијају приступ каналу на гарантовано тражено време. Ово би подржало имплементацију услуга у реалном времену, нарочито преноса говора.
 - Рипитери прослеђују сваки захтев за резервацијом са специфицираним трајањем од својих CPE-ова до PLBS. Дакле, када такав захтев стигне до PLBS, цела путања кроз хијерархију је резервисана да послужи CPE-овим захтевима у реалном времену. Овој процес је аналоган процесу успостављања позива у конвенционалној телекомуникационој мрежи.
 - Потребно је имплементирати и механизам ауто-конфигурације MAC-а, који би могао подржао избегавање интерференције од стране других PLC система.

С друге стране, ни један до сада познати конвенционални MAC протокол не може изаћи на крај са свим узроцима сметњи и утицаја у окружењу PLC приступне мреже. Робусни MAC протокол за приступне PLC мреже мора сублимирати централизован приступ како би се избегла међусобна интерференција PLC ћелија, резервацију ресурса који би подржали одговарајући ниво QoS на водовима подложним сметњама и шумовима, и поуздан механизам прозивања који би обезбедио ефикасно дељење пропусног опсега.

Такође, потребно је дефинисати и адекватан механизам мултиплексирања који ће се користити.

Најчешће коришћене конвенционалне шеме, односно технике вишеструког приступа, а које би се могле користити и у PLC системима су:

-
- FDMA (*Frequency division multiple access*) - вишеструки приступ са фреквенцијском расподелом
 - TDMA (*Time division multiple access*) - вишеструки приступ са временском расподелом, и
 - CDMA (*Code-division multiple access*) - вишеструки приступ технологијом проширеног спектра

У каналима са вишеструким приступом, какав је и енергетски вод, исти физички медијум се дели између више корисника који захтевају различите битске брзине. Због специфичних карактеристика енергетског вода као канала за пренос телекомуникационог саобраћаја, немају сви корисници исте услове на каналу, проток варира од корисника до корисника. Наведено представља велики проблем за познате шеме вишеструког приступа које врше статичку доделу приступа каналу (као што је FDMA - *Frequency division multiple access*), с обзиром да канал који у неком периоду времена има добре услове пропагације, већ у следећем тренутку извесно неће бити погодан за потребне брзине преноса, док се код суседног канала може десити обротно. Покушај PLBS (Мастер) да прерасподели канале како би извршио прилагођење новонасталим условима на мрежи, за последицу има пораст контролног саобраћаја, што је такође непожељно.

Шеме вишеструког приступа које се динамички прилагођавају каналу и избегавају беспотребно коришћење средстава, ће извесно бити префериране у будућем истраживању и дефинисању адекватног техничког решења. У том контексту, TDMA (*Time division multiple access*) се појављује као вероватно најбољи избор, јер се сваком кориснику (CPE) може доделити максимална количина времена, али ако корисник не користи сво додељено време оно може бити искоришћено од стране другог корисника. На пример, мастер (PLBS) може емитовати поруке којима специфицира редослед чворова на преносном каналу и максималан број слотова додељених сваком од чворова, а када чвор заврши са својим преносом он ће на то указати следећем чвору на листи који одмах може почети са преносом саобраћаја.

Поред недостатака наведених шема вишеструког приступа, CDMA (*Code-division multiple access*) има додатни недостатак, а то је да је проток између пара чворова ограничен због употребе проширеног кода (*spreading code*)), тако да није

могуће постићи велики проток између пара чворова у ситуацији комуникације од тачке до тачке (што је практично случај у средњенапонској мрежи), или ако су остали чворови неактивни (што се често може десити у нисконапонској мрежи), јер је PLC канал ограниченог пропусног опсега. Такође, синхронизација приликом слања саобраћаја од чвора на мрежу (*uplink*), када више чворова емитује саобраћај истовремено је кључни проблем.

Обзиром да по PLC мрежи врши пренос података из више чворова, који симултано емитују сигнале на мрежу, FDMA и CDMA имају додатне негативне аспекте у погледу близу/далеко ефекта. Наиме, ако два чвора на мрежи истовремено шаљу сигнал једнаке предајне снаге према неком трећем чвору, са различитом удаљеношћу од тог трећег чвора, пријемни чвор на мрежи ће имати проблем у детекцији сигнала од удаљенијег предајног чвора, обзиром да ће ниво сигнала који стиже из ближег предајног чвора бити јачи. У зависности од односа сигнал-шум, тај сигнал од удаљенијег предајног чвора се може детектовати као шум. Овај проблем се може превазићи контролом предајне снаге, али је то додатни трошак у реализацији система, а који није потребан у случају примене TDMA (*Time-division multiple access*).

Као што се може видети, основни критеријум за избор двосмерне шеме вишеструког приступа треба бити заснован на флексибилности и максимизирању доступних ресурса, обезбеђујући да ресурси који се не користе од стране једног чвора могу лако бити прераспоређени на коришћење другом чвору.

У погледу подршке квалитету сервиса (QoS) који би се пружали путем енергетског вода, фиксна расподела фреквенција код FDMA шеме, може бити проблематична ако капацитет канала варира као последица промене импедансе канала, слабљења или шума, јер условљава губитак времена током пребацивања на неки други фреквентни опсег, а у том времену није задовољен QoS. У систему у коме је примењена TDMA шема, периодични временски слот може бити додељен појединачним корисницима како би се подржали QoS захтеви. У системима у којима је примењена CDMA шема, QoS је подржан кроз коришћење различитих кодова за сваког корисника.

У погледу отпорности на шуме и сметње CDMA шема је вероватно најбоље решење јер мултипликација проширеним кодом на пријемнику шири и

сметњу на све фреквенције. Системи у којима је примењена TDMA шема могу искусити проблеме у присуству импулсног шума који могу бити превазиђени коришћењем захтева за аутоматским понављањем (*ARQ – Automatic Repeat reQuest*). С друге стране, примена FDMA шема може бити неадекватна у присуству случајног шума, који може утицати на немогућност коришћења одређених фреквенција, што за последицу има пребацивање на неки други фреквентни опсег за предају.

7 ШИРОКОПОЈАСНЕ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОНЕ УСЛУГЕ У ПРИСТУПНОЈ PLC МРЕЖИ

У развоју PLC система за пренос података великом брзинама, основни изазов пренос пружање мултимедијалних садржаја преко нисконапонских водова уз задовољење потребног квалитета у преносу овакве врсте саобраћаја [97]. С обзиром да се ради о реализацији канала за симултани пренос говора, стандардних и стерео аудио сигнала, као и видео сигнала велике густине (HD Video), уз пружање и услуге стандардног преноса података, мултимедијалне PLC мреже и системи морају бити дизајнирани на такав начин да могу задовољити строге захтеве у погледу квалитета сервиса (QoS) [98].

Као основне врсте циљних мултимедијалних услуга за које постоји потреба за пружање преко нисконапонских електродистрибутивних водова, и са различитим изазовима које треба решити у PLC окружењу, су VoIP и IPTV. Омогућавање пружања ових услуга крајњим корисницима преко електродистрибутивне мреже, са задовољавајућим квалитетом услуге, представља основу за диверсификацију делатности електродистрибутивних предузећа [4], што ће им омогућити излазак на тржиште телекомуникација у форми алтернативних телекомуникационих оператора, односно обезбедити компаративну предност у односу на конвенционалне пружаоце телекомуникационих услуга кроз обједињавање пакета испоруке електричне енергије и *Triple Play* широкопојасних телекомуникационих сервиса [103].

Ако се размотре захтеви за квалитетан пренос оваквих врста саобраћаја, закључује се да VoIP подразумева пренос релативно малих пакета у трајању од 10 милисекунди до 15 милисекунди, у двосмерним, скоро симетричним брзинама преноса од око 100 kbps, али уз ограничење да пакети морају бити испоручени са изузетно малим кашњењем реда свега пар десетина милисекунди како би подржала интерактивност говора, и природа говорне комуникације. Говорне апликације су у одређеној мери толерантне на умерене учестаности губитка пакета и варијације у кашњењу пакета (цитере), под условом да постоји спремност за прихватање мање деградације у квалитету гласа.

С друге стране, IPTV користи веће брзине преноса (од 1 Mbps до 4 Mbps), уз асиметричне захтеве везане за проток. Поред тога, за задовољавајући субјективни доживљај корисника пренос саобраћаја мора обезбедити веома мали цитер, уз скоро нулту стопу губитка пакета. С обзиром да је IPTV *broadcast* услуга, односно услуга која није интерактивна, могуће је баферовати до неколико стотина милисекунди мултимедијалних података те обезбедити накнадну репродукцију у границама која је прихватљива за корисника.

VoIP и IPTV су представљени као репрезентативни сервиси различитих базичних захтева у погледу принципа QoS, али свакако могу бити проширени и транслирани и на остале мултимедијалне садржаје као што је HDTV, аудио сервиси високог квалитета, услуге видео конференције, мултимедијалне игре, и остале сличне апликације.

7.1 ВРСТЕ МУЛТИМЕДИЈАЛНИХ САДРЖАЈА ЗА ПРЕНОС ПО ШИРОКОПОЈАСНОЈ PLC МРЕЖИ

У табели 7-1 су наведени различити мултимедијални садржаји. За сваки широкопојасних сервиса који пружају ове садржаје, наведен је и захтев у погледу протока и нивоа QoS. Представљени су мултимедијални садржаји који се односе на VoD, IPTV, пренос стандардног Интернет саобраћаја, као и интерактивне широкопојасне услуге као што су VoIP, Видео конференција, али и Гејминг (енг. *Gaming*, играње захтевних видео игара у мрежном окружењу).

7.1.1 Дигитални видео

Дигитални видео и дигитални аудио сигнали у данашње време представљају значајну већину саобраћаја на било којој врсти телекомуникационе мреже. Некадашњи формати дигиталног видеа су се односиле на дигиталне формате видео стриминга различитих брзина и резолуција, који су корисницима били доступни користећи различите апликације као што су *RealPlayer* или *Microsoft Media Player*. Стриминг протоколи које ове апликације користе врше прилагођење доступном протоку применом механизма баферске репродукције.

Исте методе се и данас користе код IPTV преноса преко Интернета. Данас су такође доступни DVD (*Digital Video Disk*) и HDTV формати, који се користе брзине преноса од 5 Mbps до 25 Mbps, а могу бити репродуковани са DVD уређаја, или са HDTV уређаја (као што је *BlueRay*), или пак репродуковани преко PLC мреже са неког централног медијског сервера, као што је то случај код VoD услуге (*Video on Demand*). DVD и HDTV користе технике компресије засноване на MPEG-2 и MPEG-4 форматима развијене од стране MPEG (*Motion Pictures Expert Group*).

7.1.2 Скенирани фајлови и дигиталне фотографије

Скенирани фајлови и дигиталне фотографије представљају другу врсту популарног медијског садржаја за којим постоји потреба преноса преко PLC приступне мреже. Дигиталне фотографије направљене дигиталним камерама или скенерима од неколико мегапиксела, могу бити складиштени и на неком централном уређају на PLC мрежи и дистрибуирани до корисника за локалну репродукцију. Свака фотографија може имати величину од неколико мегабајта и, на пример континуиран slide show таквих фотографија на локалном уређају за репродукцију мултимедијалног садржаја (рачунару, телевизору, итд.), има значајан утицај на перформансе преноса таквих података преко PLC мреже. Дигиталне фотографије и скенирани фајлови су често складиштени у JPEG (*Joint Pictures Expert Group*) формату или GIF (*Graphics Interchange Format*) формату.

7.1.3 Аудио садржаји– музички и говорни садржаји

Стерео музички аудио високог квалитета је следећа категорија по заступљености у преносу саобраћаја преко PLC приступне мреже. Веома често су аудио садржаји синхронизовани са DVD или HDTV презентацијама, и телекомуникационом мрежом се преносе симултано, без значајног цитера или било којих проблема у синхронизацији слике и звука. У *broadcast* апликацијама аудио и видео могу бити баферовани, декомпресовани и потом репродуковани у исправној секвенци, брзином која ће обезбедити оптималан квалитет услуге.

7.1.4 Интерактивни садржаји - говор и видео

За разлику од претходно наведених услуга, услуге као што су видеоконференција и VoIP захтевају двосмерну интеракцију између два краја комуникације, уз задовољење и одређене субјективне потребе корисника за прихватљивим одазивом у интеракцији. За ову врсту апликација оптимално је резервисати и користити различите канале за сваки смер размене аудио и видео садржаја. PLC широкопојасна мрежа за приступ треба да подржи наведене захтеве за наведене сервисе, уз одговарајућу компресију како би оптимизовали проток и побољшали интерактивност у размени садржаја.

7.1.5 Гејминг и симулације

Гејминг и различити симулатори засновани на принципу умрежавању више корисника, пред PLC мрежу за приступ такође постављају високе захтеве у погледу интерактивности, квалитету аудио и видео садржаја. Неки симулатори и видео игре имају захтеве за приказом видео садржаја скоро у реалном времену, или у случају симулација изузетно квалитетне графичке садржаје који морају бити учитани, репродуковани и рендеровани једнаком брзином којом се покреће корисник, што захтева синхронизацију, интерактивност и својеврсну природност у презентацији садржаја.

| Апликација | Проток (Mbps) | Кашњење (ms) | Џитер | Вероватноћа губитка пакета (PLP) |
|----------------------------------|---------------|--------------|---|----------------------------------|
| Видео стриминг високе дефиниције | 11-25 | 100-300 | Од 0,5 микросекунди до неколико милисекунди | Скоро без грешке * |
| ТВ стандардне дефиниције (SDTV) | 2-6 | 100-300 | Од 0,5 микросекунди до неколико милисекунди | Скоро без грешке |
| IPTV | 1-4 | 100-300 | Од 0,5 микросекунди до неколико милисекунди | Скоро без грешке |

| | | | | |
|-----------------------------|---------|---------|---|------------------|
| Видео DVD квалитета | 6-8 | 100-300 | Од 0,5 микросекунди до неколико милисекунди | Скоро без грешке |
| Internet видео конференција | 0,1-2 | 75-100 | 10-30 ms | 10^{-3} |
| VoIP | < 0,064 | 10-30 | 10-30 ms | 10^{-2} |
| Гејминг | < 0,1 | 10-30 | 10-30 ms | Скоро без грешке |

* мање од једне грешке у периоду од два сата

Табела 7-1 Проток и QoS захтеви за мултимедијалне апликације

7.2 ЗАХТЕВИ ЗА КВАЛИТЕТОМ УСЛУГЕ (QoS) КОД ПРУЖАЊА МУЛТИМЕДИЈАЛНОГ САОБРАЋАЈА

За сваки од идентификованих мултимедијалних садржаја представљених у табели 7-1 приказана су четири најзначајнија параметра који се користе за одређивање квалитета услуге (QoS), а то су: проток, губитак пакета, кашњење, и цитер.

7.2.1 Проток

Мултимедијални саобраћај, као што је видео или говор најбоље се преноси када је обезбеђен гарантовани проток који обезбеђује реализацију максималне очекиване битске брзине без загушења. На пример, традиционална TDM обезбеђује фиксну доделу протока који подржава стандардну телефонију са некомпресованим гласом заузимајући 64 kbps, и видео заснован на ISDN-у који захтева неколико канала по 64 kbps. Како би се обезбедио захтевани QoS, у дељеној мрежи, какав је Интернет или LAN заснован на Ethernetu, реализованој по бежичној инфраструктури или PLC мрежи, неопходна је додела протока мултимедијалном саобраћају, као и софистицирани механизам контроле приступа каналима и управљања загушењем.

Како би преко PLC мреже било могуће пружати идентификоване широкопојасне услуге (HDTV, IPTV и VoIP, и друге наведене), и поред механизма доделе протока, контроле приступа и управљања загушењем, неопходно је примарно обезбедити максималан проток, с обзиром на спектрална и регулаторна ограничења.

Тренутно доступна PLC технологија подржава брзине преноса података до 200 Mbps у фреквенцијском опсегу од 2-30 MHz, при чему се може очекивати да реалан проток буде до 90 Mbps, због имплементације предложених механизма управљања приступом, грешкама, као и специфичностима MAC протокола.

7.2.2 Губитак пакета и кашњење

На кашњење пакета који се преносе PLC каналом утиче кашњење у обради и преносу сигнала, као и потреба за поновним слањем пакета (ретрансмисија пакета), која и доминира у укупном кашњењу. Чак и након примене FEC механизма PLC канал и даље може имати губитке пакета у нивоу 1 од 100, или чак и више. Као би се постигао „*Quasi error free*“ ниво, који подразумева BLER (*Block Error Rate*) у нивоу 10^{-10} , а што је потребно да би се достигао потребни ниво QoS за неке од мултимедијалних апликација, може бити потребно и до 5 ретрансмисија.

Апликације као што су HDTV, SDTV или стриминг музичког садржаја, дозвољавају почетно кашњење у опсегу 100-300 милисекунди, те се ово време може искористити за потребне ретрансмисије.

Интерактивне апликације као што су Гејминг, VoIP и видео конференције, које не могу толерисати овако велико кашњење, морале би избацити или извршити замену изгубљених пакета, а то неизбежно води деградацији квалитета услуге.

7.2.3 Џитер

Џитер је термин који описује варијацију у кашњењу која може да узрокује нежељене ефекте у мултимедијалном саобраћају. Размотримо, на пример, случај

HDTV преноса у којем се иницијално кашњење од 300 милисекунди користи за прилагођење (смештај) пакета које је потреба ретрансмитовати.

Ако би сви пакети (баферовани и репродуковани) закаснили са идентичним кашњењем од 300 милисекунди у односу на почетак трансмисије првог пакета који се репродукује, онда ће цитер бити тачно нула. У пракси, пожељна вредност цитера код оваквих апликација је око 500 наносекунди, те мултимедијални PLC систем треба да подржи ову вредност цитера.

8 РЕГУЛАТОРНИ АСПЕКТ ИМПЛЕМЕНТАЦИЈЕ ШИРОКОПОЈАСНЕ PLC ТЕХНОЛОГИЈЕ И СИСТЕМА

Поред техничких изазова који су постављени пред PLC систем, односно коришћење енергетских водова за пренос података (телекомуникационих сигнала), важан аспект представља и регулаторни третман PLC технологије. Као што је наведено у претходним поглављима, PLC комуникација се може поделити на ускопојасну и широкопојасну.

Ускопојасна PLC комуникација на глобалном плану користи неколико фреквенцијских опсега, који су сви у kHz фреквенцијском подручју. У Европи се за ускопојасну PLC комуникацију користи CENELEC фреквенцијски опсег, који је одређен стандардом EN 50065-1, са фреквенцијама од 3 kHz до 148,5 kHz. Од стране америчке федералне комисије (*Federal Communications Commission*), за PLC комуникацију у FCC опсегу су одобрене фреквенције од 10 kHz до 490 kHz, док су од стране комисија за стандардизацију у Јапану и Кини, одобрени фреквенцијски опсези од 10 kHz до 450 kHz и од 3 kHz до 500 kHz, респективно. Дакле, у зависности од историјског утицаја и специфичних техничких решења, одобрени опсези су у употреби махом на поменутиим географским подручјима.

Одобрени опсези и фреквенцијска подручја углавном омогућавају битске брзине довољне да подрже захтеве даљинског читавања и управљања бројилима електричне енергије. Пораст количине података који се размењује између паметних бројила електричне енергије и центра управљања, као и стратегије диверсификације услуга које електродистрибуције могу понудити на либерализованом тржишту телекомуникација [4], усмерили су размишљања и развој комуникација на више фреквенције и шири фреквенцијски опсег.

У том светлу, појава широкопојасног PLC -а (ŠPLC или BPL – *Broadband Power Line*) на фреквенцијама од 1,6 MHz до 30 MHz, управо ствара услове за достизање брзина преноса које ће подржати пружање широкопојасних сервиса по енергетским водовима, чиме би електродистрибутивне компаније могле понудити још једну алтернативу постојећим операторима који своје услуге пружају преко конвенционалне телекомуникационе инфраструктуре.

Међутим, иако је BPL у одређеној мери заступљен кроз In-Home апликације и ограничену имплементацију у приступној равни (пилот пројекти који треба да укажу на резултате примењених техника модулације и MAC протокола који ће омогућити задовољавајући ниво QoS за широкопојасне услуге), још увек није дефинисан регулаторни оквир за примену ŠPLC технологије.

Регулаторни проблем примене ŠPLC се огледа у интерференцији са другим системима у опсезима који су додељени другим корисницима фреквенцијског спектра. Као што је већ описано, ŠPLC системи се могу поделити на ŠPLC системе који користе нисконапонске електричне инсталације у оквиру објекта за формирање ŠPLC комуникационе LAN мреже (*In-door*), и ŠPLC мрежу за приступ, која користи нисконапонску (или средњенапонску) електричну мрежу за пренос сигнала између трафостанице (или неког другог чвора на мрежи) до објекта корисника. Ова два поменута система користе и различите фреквенције. Системи намењени за ŠPLC комуникацију у оквиру објеката се користе фреквенције од 1,6 MHz до 16 MHz, док системи за ŠPLC приступ користе фреквенције од 16 MHz до 30 MHz.

Наиме, приликом преноса сигнала неке фреквенције кроз енергетски вод, он се понаша као антена која у околни простор емитује сигнал те исте фреквенције. Јачина емисије је директно пропорционална фреквенцији и амплитуди сигнала који се преноси кроз енергетски вод. С обзиром да се код ŠPLC -а говори о фреквенцијама које су ван стандардом одобреног фреквенцијског опсега за PLC комуникацију, ŠPLC емисија у околни простор врши интерференцију са сигнаlima система који користе тај фреквенцијски опсег. Код ŠPLC система за приступ, овај проблем је израженији код неизолованих енергетских водова, док је код подземних енергетских водова најмање изражен. Такође, *In-door* ŠPLC системи немају значајно изражен наведени проблем интерференције обзиром на се електричне инсталације налазе у зидовима објеката, и амплитуде сигнала који се преносе кроз њих су значајно мање него код ŠPLC система за приступ.

Дакле, оно што је неопходно урадити у блиској будућности, а што је задатак Међународне телекомуникационе уније (*ITU - International Telecommunication Union*) и националних регулаторних тела је арбитрирати и

званично одобрити делове наведеног спектра за употребу од стране електродистрибутивних компанија у сврху ŠPLC комуникације, као и дефинисати довољан ниво амплитуде сигнала за пружање широкопојасних услуга са задовољавајућим QoS.

Управо је Међународни Правилник о радио-комуникацијама основни документ ИТУ, који на светском нивоу регулише ову област. [84]

Узимајући у обзир регулаторне прописе наведене у Међународном Правилнику о радио-комуникацијама, те Устав и Конвенције ИТУ, националне регулативе на националним нивоима, доносе планове намене радио-фреквенцијских опсега, као и одговарајуће правилнике који регулишу рад радио-дифузних станица на националној територији.

Планом намене у Републици Србији, у опсегу од 1,6 MHz до 30 MHz, што је предмет интереса ŠPLC комуникације, су додељене фреквенције за следеће намене, односно кориснике [85]: поморски саобраћај, посебне делатности – војска, радио-локација, радио-аматери, хидро-метеорологија, рибарство, ваздушни саобраћај, хитне службе, органи унутрашњих послова, радио-дифузија, железнички саобраћај, телефонија-позивање спасилачких центара,...

Као што се може видети, делови овог фреквенцијског спектра су већ додељени одређеним корисницима у намене које су од стратешког интереса за сваку националну заједницу. С тим у вези, пред ИТУ и пред националним регулаторним телима је задатак да пронађу регулаторни оквир и за ŠPLC технологију, као редундантну технологију, и још један замајац развоја ИТ сектора и ИТ тржишта на глобалном нивоу.

9 ПРЕДЛОГ ПРОЈЕКТА ИМПЛЕМЕНТАЦИЈЕ ШИРОКОПОЈАСНОГ PLC КОМУНИКАЦИОНОГ СИСТЕМА У ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКОЈ МРЕЖИ ЕПС ДИСТРИБУЦИЈЕ У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ

9.1 ОПИС И ЦИЉ ПРОЈЕКТА

Оператор дистрибутивног система „ЕПС Дистрибуција“ (у наставку ЕПС Дистрибуција) ће реализацијом пројекта мултисервисне мреже са PLC (Power Line Communications) базираним приступом корисницима, имплементацијом ове врсте комуникационог система обезбедити полазне претпоставке за реализацију комерцијалних PLC система у Републици Србији, са аспекта законске регулативе и примењивости система за реализацију приступне платформе која обезбеђује интегрисан приступ различитим телекомуникационим сервисима, укључујући широкопојасне - *"triple-play"* услуге, као и ускопојасни и широкопојасни пренос података за потребе "енергетских" и аутоматизацијских апликација.

Овај пројекат, заједно са студијама из области PLC технологија које су урађене или су току у ЕПС дистрибуцији, треба да послужи као основа надлежним институцијама у Републици Србији (РАТЕЛ), те менаџменту и Надзорном одбору ЕПС Дистрибуције за доношење одлука по питању шире комерцијалне употребе и кориштења широкопојасних PLC технологија у Републици Србији и ЕПС Дистрибуцији.

Пошто је реч о широкопојасној технологији која се први пут примењује у Републици Србији, а која подлеже законској регулативи из области електронских комуникација, пројекат ће се одвијати у складу са упутствима и захтевима надлежних институција, а првенствено Републичке агенције за електронске комуникације и поштанске услуге (у наставку РАТЕЛ). Кроз пројекат ће се посебно показати да се ради о опреми и систему у складу са основним одредбама Закона о електронским комуникацијама, везаним за рад и

инсталацију телекомуникационе опреме и мреже намењене за међуповезивање са јавним телекомуникационим мрежама, или за пружање телекомуникационих услуга, односно да су у складу са признатим савременим дизајном и функционалностима по питању:

- безбедности рада у мрежи
- интегритета мреже
- интероперативности услуга
- услова прикључења терминалне опреме,

те да је ова технологија конкурентна са другим комерцијалним приступним технологијама базираним на приступу по бакарним кабловима и бежичном приступу, са аспекта квалитета и интеграције сервиса.

Конкретни циљеви реализације пројекта су:

1. Тестирање и верификација карактеристика широкопојасне PLC технологије са становишта:
 - ✓ могућности пружања различитих типова широкопојасних сервиса у локалној приступној мрежи и QoS параметара које мрежа подржава
 - ✓ утицаја електромагнетне природе
 - ✓ коегзистенције различитих PLC мрежа (кућна – *indoor*, приступна - *access*, ускопојасна),
2. Утврђивање применљивости нисконапонске мреже ЕПС Дистрибуције за реализацију широкопојасне PLC мреже,
3. Испитивања и верификација карактеристика широкопојасне PLC опреме / система везана за дефинисање законске регулативе,
4. Испитивање утицаја рада широкопојасних PLC система на квалитет електричне енергије

9.2 КОНЦЕПТ РЕАЛИЗАЦИЈЕ ПРОЈЕКТА

Реализација пројекта укључује следеће основне елементе:

- ✓ Изградња широкопојасне PLC приступне мреже по нисконапонској у ЕПС дистрибуцији, на дистрибутивном подручју Београд (ДП Београд)
- ✓ Реализација широкопојасних сервиса за кориснике PLC мреже,
- ✓ Праћење рада и верификација карактеристика широкопојасне PLC опреме и система са аспекта квалитета сервиса и електромагнетног зрачења у периоду трајања пројекта.

ЕПС Дистрибуција за реализацију пројекта треба да обезбеди властита средства. Међутим, имајући у виду значај и револуционарну улогу широкопојасне PLC технологије у сегменту интегрисаног корисничког приступа и кућне мреже, те знајући да се ради о технологији која се први пут користи у Републици Србији за наведену намену, очекује се да ће произвођачи широкопојасне PLC опреме бити заинтересовани за презентацију ове технологије и својих производа на новом тржишту понудити и обезбедити и властито учешће у трошковима реализације пројекта, очекиваног износа до 50% вредности пројекта.

Предвиђено време трајања пројекта је 3 месеца, рачунајући од дана испуњења следећих услова:

- ✓ извршена пријемна мерења и тестирања на широкопојасном PLC систему,
- ✓ обезбеђени сервиси,
- ✓ извршено прикључење минимално 70% од предвиђеног броја корисника.

Уколико се у периоду од 1 месеца од испуњења прва два услова не обезбеди захтевани број корисника, пројекат ће почети да тече од овог датума, са редукованим бројем корисника. Пројекат се може продужити уколико ЕПС Дистрибуција закључи да је потребно додатно време за тестирање опреме, или

уколико дође до застоја у реализацији пројекта из било ког оправданог разлога, или на захтев РАТЕЛ-а или других надлежних институција.

Сагласност или привремену сагласност РАТЕЛ-а за реализацију и рад тестних широкопокаских PLC мрежа обезбедиће ЕПС Дистрибуција, на основу пратеће документације која ће бити испоручена уз опрему, те пројектне документације. За потребе радова на уградњи PLC опреме и реализацији широкопојасне PLC мреже потребно је ангажовати екстерну компанију (Извођача пројекта) који је лиценциран за обављање послова изградње електроенергетске и телекомуникационе мреже. За ово не постоје препреке, обзиром да у Републици Србији постоји значајан број квалификованих извођача радова који већ имају уговоре са ЕПС Дистрибуцијом, али и са телекомуникационим оператерима. У том смислу, потребно је спровести јавну набавку за наведене услуге. Ова јавна набавка може укључити и испоруку специфициране широкопојасне PLC опреме.

У оквиру изградње широкопојасне PLC мреже предвиђено је повезивање PLC сегмената са телекомуникационим системом ЕПС Дистрибуције, преко бежичног – радио линка велике брзине, те реализација сервиса за кориснике унутар ЕПС Дистрибуције. Сервисе ће реализовати ЕПС Дистрибуција коришћењем властитих телекомуникационих ресурса (особље и опрема), као и читавање бројила кроз широкопојасну приступну PLC мрежу.

Сервисе за кориснике изван ЕПС Дистрибуције у потпуности треба да обезбеди одабрани Извођач пројекта, самостално или у сарадњи са другим фирмама (мрежним операторима, провајдерима Internet услуга...).

ЕПС Дистрибуција у овом сегменту Извођачу може да обезбеди следеће видове подршке:

- ✓ могућност коришћења постојећег телекомуникационог система ЕПС Дистрибуције у свим његовим сегментима
- ✓ могућност коришћења инфраструктуре ЕПС Дистрибуције (електродистрибутивна мрежа мрежа, стубови и др.)
- ✓ могућност ангажмана особља ЕПС Дистрибуције – Центра за ИКТ и Дирекције за подршку тржишту и смањење губитака на активностима у реализацији пројекта

У периоду трајања пројекта одабрани Извођач треба да врши континуирано праћење перформанси и QoS параметара широкопојасног PLC система и архивирање података.

Такође, Извођач мора вршити сва мерења / тестирања у PLC мрежи, која у периоду трајања пројекта буду неопходна у циљу утврђивања и отклањања сметњи / кварова / деградације сервиса или у циљу отклањања сметњи према другим системима.

По истеку пројекта Извођач ће израдити финални извјештај о резултатима пројекта.

9.3 ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ПРОЈЕКТА

Предмет и циљ пројекта је реализација пројекта мултисервисне претплатничке мреже по нисконапонској мрежи ЕПС Дистрибуције на бази широкопојасних PLC система, која укључује три основне целине дефинисане у наставку.

9.3.1 Изградња PLC приступне мреже по нисконапонској мрежи ДП Београд.

Изградња PLC приступне мреже по нисконапонској мрежи ЕПС Дистрибуције, на ДП Београд, планира реализацију три PLC ћелије / сегмента, на територији коју напајају три трафостанице: В-474, V-296 и Z-938, са по двадесет (20) корисника по ћелији, те реализацију читавања бројила електричне енергије кроз широкопојасну приступну PLC мрежу, за по пет (5) бројила у сваком од сегмената. Овај сегмент укључује:

1. Испоруку опреме:

- CPE (*Customer Premises Equipment*) уређаји на локацији корисника,
- PLC адаптери, за повезивање у мрежи унутар објекта на локацији ДП Београд,
- PLC модеми, за повезивање у приступној мрежи,

-
- Опрема НН (нисконапонске) PLC приступне мреже,
 - Приступне тачке (*HE-engl. Head End*),
 - Додатна опрема по потреби (gateway уређаји / регенератори...),
 - Опрема за повезивање са телекомуникациом системом ЕПС Дистрибуције преко радио линка велике брзине:
 - access point са усмереном антеном и припадајућим елементима
 - оптички етхернет конвертори / "*extender*"-и
 - Опрема за читање бројила кроз широкопојасну PLC мрежу:
 - паметна бројила електричне енергије
 - регистратори / концентратори за прикупљање података о читањима бројила електричне енергије,
 - рачунарска опрема и апликација за читање података са бројила,
 - широкопојасни PLC модеми за пренос читавања са бројила електричне енергије.
 - Систем управљања за PLC опрему,
 - Пратећи материјал и документација за сву опрему која је предмет инсталације,
 - Сва друга опрема и материјал за које се у фази дизајна, пројектовања и / или реализације утврди да је неопходна за коректно функционисање опреме и система.

2. Извршење услуга:

- Обука особља ЕПС Дистрибуције о основама широкопојасне PLC технологије и опреме која ће се користити у реализацији пројекта;
- Дизајнирање/пројектовање и израда пројектне документације за

реализацију сваког од сегмената;

- Инсталација, конфигурација и пуштање у рад испоручене PLC опреме, укључујући и подршку на реализацији сервиса за кориснике ЕПС Дистрибуције;
- Пријемна мерења електричних карактеристика, односно карактеристика релеватних за електромагнетну компатибилност, као и мерења / тестирања QoS параметара у мрежи и израда записника / протокола о извршеним мерењима.

9.3.2 Реализација сервиса за кориснике PLC мреже

У овом сегменту потребно је да се обезбеде следеће услуге на реализацији сервиса за екстерне кориснике PLC мреже:

- Прибављање потребних дозвола/сагласности за реализацију сервиса од РАТЕЛ-а и других надлежних институција;
- Одабир корисника;
- Обезбеђење терминалне опреме на локацији корисника (IP set-top box и сл);
- Реализација Интернет приступа за екстерне кориснике PLC мреже;
- Реализација прикључака мреже говорних телефонских услуга за екстерне кориснике PLC мреже;
- Реализација "*streaming video*" услуга (IPTV, VOD) за екстерне кориснике PLC мреже;

Додатно, за 5 од одабраних 20 корисника у свакој PLC ћелији потребно је извршити замену постојећих бројила новим бројилима, као и реализовати читање ових бројила преко широкопојасног PLC система на приступном нивоу, за потребе ЕПС Дистрибуције.

9.3.3 Праћење рада и верификација карактеристика PLC опреме и система

У делу праћења и верификације резултата пројекта, потребно је да се обезбеде следеће услуге:

- Мерења и архивирање QoS параметара и перформанси у мрежи;
- Мерења / тестирања електромагнетних сметњи и утицаја;
- Израда извештаја о резултатима реализације пројекта;

9.4 ПОДАЦИ О НИСКОНАПОНСКОЈ МРЕЖИ

Пројекат PLC мреже потребно је да се реализује по нисконапонској ЕПС Дистрибуције, на ДП Београд. Основу електродистрибутивне мреже која је предмет овог пројекта чине ТС 10/0,4 kV са средњенапонским и нисконапонским изводима из ових трафостаница.

Овим предлогом пројекта су обухваћена три трафоподручја. Као репрезентативни примери су одабране три трафостанице, свака са специфичним типом мреже, бројем деоница мреже и бројем и карактером потрошача. Трафостаница В-474 је градска трафостаница, у погону Београд, са 4 извода и искључиво кабловском, подземном мрежом. Трафостаница напаја 201 потрошача у објектима колективног становања. Трафостаница V-296 је градска трафостаница, са 10 извода, лоцирана на подручју које покрива погон Баново Брдо. Мрежа је комбинована, подземно-надземна. Напаја се укупно 304 потрошача, у објектима колективног и индивидуалног становања. Као трећи пример, одабрана је трафостаница Z-938, лоцирана у приградској средини погона Земун, са 10 извода, дужином мреже од 4.564 метра и укупно 165 потрошача. Мрежа је углавном надземна, са великим бројем деоница (отцепа) и прелазима између различитих пресека проводника и врсте материјала од којих су проводници направљени.

У свим трафостаницама, прикључни нисконапонски каблови од трансформаторске станице до места прикључка потрошача су четворожилни, различитих пресека, док су прикључци код потрошача реализовани као

монофазни (са 80% домаћинстава) и трофазни (са 20% домаћинстава). У зградама, бројила су распоређена по спратовима, у спратном мерном ормару (МО) или су концентрисана на једном месту у Главном разводном мерном ормару (GRMO), а у објектима индивидуалног становања су смештена у измештеним МО, на стубу на јавној површини (испред објекта).

Основни подаци о појединачним сегментима нисконапонске мреже који ће се користити за реализацију приступне PLC мреже и њено повезивање са кичмом телекомуникационог система ЕПС Дистрибуције су дати у наредним деловима овог поглавља.

С обзиром да не постоје расположиви подаци о карактеристичним вредностима слабљења, импедансе и др. за нисконапонске водове на којима се реализује PLC мрежа, потребно је у циљу имплементације и прикупљања одговарајућих података:

- извршити обилазак локација и мерења, па на основу добијених резултата одабрати додатну опрему неопходну за квалитетан пренос на специфицираним деоницама или
- извршити процену додатне опреме неопходне за квалитетан пренос на специфицираним деоницама на основу података о основним карактеристикама мреже.

9.4.1 Нисконапонска мрежа В-474

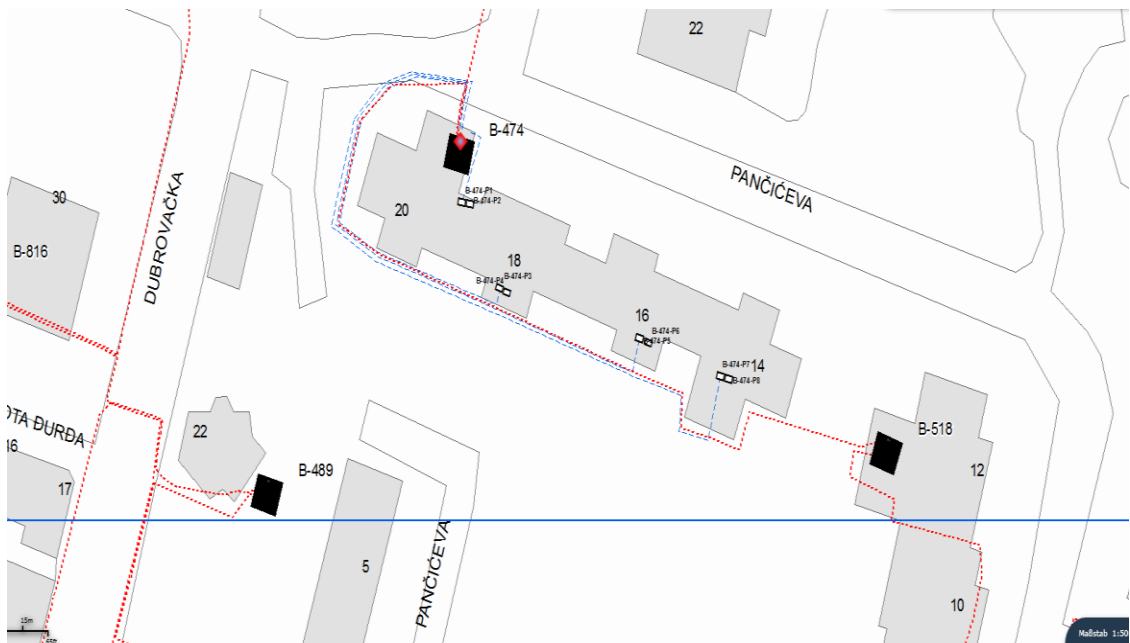
У овој секцији је дата једнополна шема мреже трафодтснице 10/0,4 kV/kV В-474. Трафостаница има 4 нисконапонска излаза са којих се напаја блок зграда на Дорћолу (погон Београд). Трафостаница са припадајућом нисконапонском мрежом је изграђена 2008. године. Снага трансформатора је 630 kVA. Мерење у трафостаници је полуиндиректно, са струјним мерним трансформаторима (СМТ) преносног односа 1000/5 А.

На сликама 9-1, 9-2 и 9-3 је приказана шема нисконапонске кабловске мреже ТС В-474, укупне дужине 352 метра. Прикључци су реализовани кабловима типа РР00, којима се укупно 201 потрошач, од чега су 182

домаћинства и 19 комерцијалних потрошача, од чега 1 већи индустријски потрошач.



Слика 9-1 Нисконапонска мрежа TC B-474 (GIS приказ)



Слика 9-2 Нисконапонска мрежа TC B-474 (TIS приказ)

Табела 9-1 приказује структуру мреже ТС В-474, са бројем извода, бројем деоница, врстом и пресеком кабловског извода, дужинама деоница и извода, као и бројем потрошача по деоници и по изводу:

| 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 | | |

Табела 9-1 Подаци о структури нисконапонске мреже ТС В-474



Слика 9-3 Нисконапонска Мрежа ТС В-474 (деонице кабловских водова)

9.4.2 Нисконапонска мрежа ТС V-296

У овој секцији је дата једнополна шема нисконапонске мреже ТС V-296, са основним подацима о елементима трафостанице и нисконапонским изводима. Трафостаница има 10 нисконапонска излаза са којих се напајају стамбене зграде и куће на Бањици (погон Баново Брдо), од којих се један (извод бр.

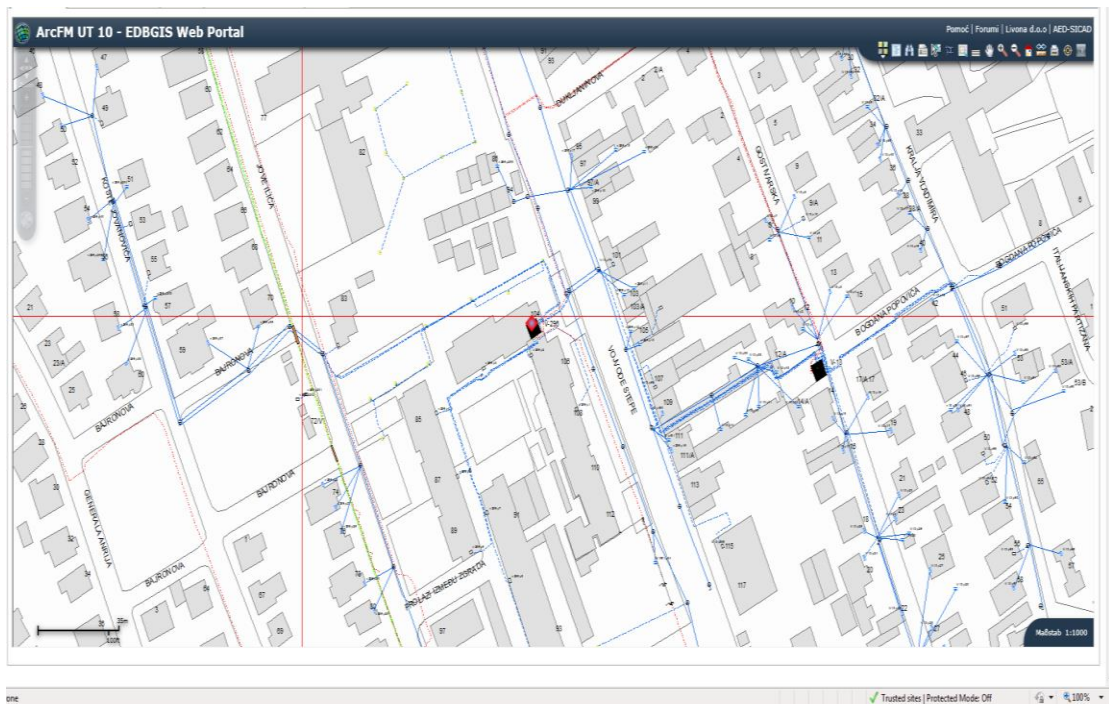
5) не користи. Трафостаница са припадајућом нисконапонском мрежом је изграђена 2008. године. Снага трансформатора је 1000 kVA. Мерење у трафостаници је полуиндиректно, са струјним мерним трансформаторима (СМТ) преносног односа 1500/5 А.

На сликама 9-4, 9-5, 9-6 и 9-7 је приказана шема НН кабловске мреже ТС V-296, чија је укупна дужина 1.939 метара. Прикључци су реализовани комбинованом кабловско/надземном мрежом, којом се укупно напаја 304 потрошача, од чега су 276 домаћинства и 38 комерцијалних потрошача (пословних простора различитих намена).



Слика 9-4 Нисконапонска мрежа ТС V-296 (GIS приказ)

Од девет нисконапонских извода преко којих се напајају пословни потрошачи и домаћинства, пет је кабловских, а четири су комбинована извода који се користе и за јавну расвету, као и за напајање корисника у приватним кућама. Део мреже на овим изводима реализован је надземним проводницима SKS (самоносиви кабловски сноп) и Al-Fe (ваздушни неизоловани водови)



Слика 9-5 Нисконапонска мрежа TC V-296 (TIS приказ)



Слика 9-6 Нисконапонска мрежа TC V-296 (нисконапонски излази)



Слика 9-7 Нисконапонска мрежа ТС В-296 (гранате мреже)

На слици 9-7 су приказане неке од деоница извода VIII и извода IX, којима се напајају домаћинства у објектима индивидуалног становања. Приметан је велики број отцепа мреже. Генерални, прикључак за сваку кућу је реализован посебним надземним водом са најближег стуба. На месту сваког отцепа, са аспекта преноса PLC сигнала долази до појаве рефлексије и слабљења сигнала, због неусаглашености импедасе (различите врсте пресека проводника, а често и материјала од којих су проводници направљени).

Табела 9-2 приказује структуру мреже ТС V-296, са бројем извода, бројем и типом деоница, врстом и пресеком проводника, дужинама деоница и извода, као и бројем потрошача по сваком активном изводу:

| 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 podziemna | PP00 3x150+70 | 2,6 | | |
| | 201859 | 1 kV podziemna | PP00 3x150+70 | 26,8 | | |
| VII | 202107 | 1 kV podziemna | PP00 3x150+70 | 18,6 | 259,50 | 41 |
| | 202077 | 1 kV nadziemna | X00-A 3x70+71,5+2x16 | 15,4 | | |
| | 202057 | 1 kV nadziemna | X00-A 3x70+71,5+2x16 | 27,8 | | |
| | 202069 | 1 kV nadziemna | 4x16 | 6,3 | | |
| | 202068 | 1 kV nadziemna | 4x16 | 6,2 | | |
| | 201936 | 1 kV nadziemna | X00-A 3x70+71,5+2x16 | 26,9 | | |
| | 202065 | 1 kV nadziemna | Cu 4x6 | 11,9 | | |
| | 202078 | 1 kV nadziemna | X00-A 3x70+71,5+2x16 | 29,6 | | |
| | 202073 | 1 kV nadziemna | Cu 4x10 | 9,2 | | |
| | 202072 | 1 kV nadziemna | Cu 4x10 | 34,6 | | |
| | 202074 | 1 kV nadziemna | Cu 4x10 | 23,6 | | |
| | 202075 | 1 kV nadziemna | Cu 4x10 | 10,9 | | |
| | 204917 | 1 kV nadziemna | 2x16 | 38,6 | | |
| | VIII | 202108 | 1 kV podziemna | PP00 3x150+70 | | |
| 202076 | | 1 kV nadziemna | X00-A 3x70+71,5+2x16 | 14,2 | | |
| 202070 | | 1 kV nadziemna | 4x16 | 15,1 | | |
| 202071 | | 1 kV nadziemna | 4x16 | 17,8 | | |
| 201928 | | 1 kV nadziemna | X00-A 3x70+71,5+2x16 | 84,7 | | |
| 201934 | | 1 kV nadziemna | 4x16 | 11,5 | | |
| 202080 | | 1 kV nadziemna | X00-A 3x70+71,5+2x16 | 32,3 | | |
| 204918 | | 1 kV podziemna | PP00 4x25 | 31,2 | | |
| 201933 | | 1 kV podziemna | PP00 4x25 | 13,9 | | |
| 202079 | | 1 kV nadziemna | X00-A 3x70+71,5+2x16 | 29,3 | | |
| 201930 | | 1 kV nadziemna | Cu 4x10 | 14,6 | | |
| 201929 | | 1 kV nadziemna | Cu 4x10 | 7,9 | | |
| IX | 202099 | 1 kV podziemna | PP00 3x150+70 | 134,6 | 653,04 | 59 |
| | 207139 | 1 kV podziemna | PP00 4x25 | 7,6 | | |
| | 202082 | 1 kV nadziemna | X00-A 3x70+71,5+2x16 | 38,9 | | |
| | 202090 | 1 kV nadziemna | 4x16 | 17,6 | | |
| | 202091 | 1 kV nadziemna | 4x16 | 17,6 | | |
| | 202092 | 1 kV nadziemna | 4x16 | 22,8 | | |
| | 202093 | 1 kV nadziemna | 4x16 | 13,9 | | |
| | 202094 | 1 kV nadziemna | 4x16 | 16,7 | | |
| | 202109 | 1 kV nadziemna | X00-A 3x70+71,5+2x16 | 32,7 | | |
| | 202110 | 1 kV nadziemna | X00-A 3x70+71,5+2x16 | 36,0 | | |
| | 202097 | 1 kV nadziemna | 4x16 | 17,5 | | |
| | 204924 | 1 kV nadziemna | X00-A 3x70+71,5+2x16 | 114,7 | | |
| | 204949 | 1 kV nadziemna | 4x16 | 6,0 | | |
| | 204948 | 1 kV nadziemna | X00-A 3x70+71,5+2x16 | 35,5 | | |
| | 204947 | 1 kV podziemna | PP00 4x25 | 11,0 | | |
| | 204946 | 1 kV nadziemna | Cu 4x6 | 8,3 | | |
| | 204945 | 1 kV nadziemna | X00-A 3x70+71,5+2x16 | 31,3 | | |
| | 204928 | 1 kV podziemna | PP00 4x25 | 12,7 | | |
| 207141 | 1 kV nadziemna | Cu 4x6 | 16,0 | | | |

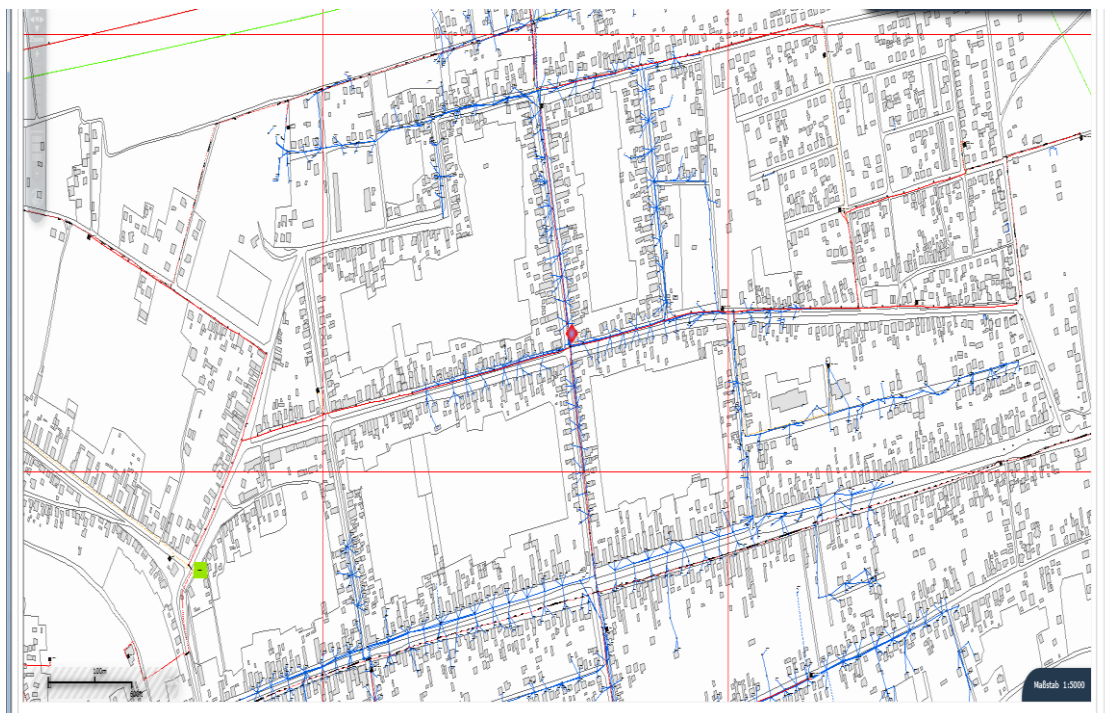
| | | | | | | |
|---|--------|---------------|----------------------|-------|--------|----|
| | 207142 | 1 kV podzemna | PO 13 4x10 | 4,6 | | |
| | 207140 | 1 kV nadzemna | Cu 4x10 | 22,9 | | |
| | 204925 | 1 kV nadzemna | 4x16 | 13,8 | | |
| | 204926 | 1 kV nadzemna | X00-A 3x70+71,5+2x16 | 1,9 | | |
| | 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 | | |

Табела 9-2 Подаци о структури нисконапонске мреже ТС V-296

9.4.3 Нисконапонска мрежа ТС Z-938

У овој секцији су представљени основни подаци о трафостаници ТС Z-938 и њеној нисконапонској мрежи, која је у комбинована мрежа са већински надземним водовима (свега неколико процената мреже чине подземни водови). Трафостаница има 10 нисконапонских извода, од којих се пети, осми и девети извод не користе. Трафостаница са припадајућом нисконапонском мрежом је изграђена 2008. године. Снага трансформатора је 1000 kVA. Мерење у трафостаници је полуиндиректно, са струјним мерним трансформаторима (СМТ) преносног односа 1000/5 А.

Укупна дужина мреже је 4.564 метера. Са ове трафостанице се напаја укупно 165 потрошача и сви су из категорије домаћинства. Ради се о објетима индивидуалног становања (приватне кућае). Трафостаница Z-938 је репрезентативни узорак приградске (скоро сеоске мреже). Трафостаница са припадајућом мрежом је лоцирана у Сурчину, у погодну Земун. Мрежа се састоји од чак 197 деоница, са различитим типовима надземних водова. На изводу I се напаја 25 потрошача, на изводу II 26 потрошача, на III и IV изводу се напаја 17 потрошача, на изводу VI је свега 9 потрошача, на изводу VII 56 потрошача, док извод X напаја 15 потрошача.



Слика 9-8 Нисконапонска мрежа TC Z-938 (TIS приказ)

Табела 9-3 приказује број деоница нисконапонске мреже TC Z-938, са типовима надземног вода и пресеком, као и дужину сваке од деоница. Уочљив је велики број гранања мреже уз употребу разноликих типова проводника, од самоносивог кабловског снопа (SKS), AIC надземних водова, бакарних надземних водова различитог пресека.

| 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 | AIC 3x70+71,5+2x16 | 29,8 |
| 204452 | 1 kV nadzemna | 4x16 | 14,1 |
| 203579 | 1 kV nadzemna | AIC 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 | AIC 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 | AIC 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 | AIC 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 | AIC 3x70+71,5+2x16 | 31,8 |
| 204474 | 1 kV nadzemna | AIC 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 | AIC 3x70+71,5+2x16 | 0,6 |
| 204424 | 1 kV nadzemna | 2x16 | 11,3 |
| 204473 | 1 kV nadzemna | AIC 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 | AIC 3x70+71,5+2x16 | 27,4 |
| 203572 | 1 kV nadzemna | AIC 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 | AIC 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 | AIC 3x70+71,5+2x16 | 32,0 |
| 230887 | 1 kV nadzemna | AIC 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 |

Табела 9-3 Подаци о структури нисконапонске мреже ТС 3-938

9.4.4 Поређење структуре мреже одабраних трафостаница

За реализацију пројекта изградње PLC приступне мреже у сврху испитивања преформанси PLC система и QoS широкопојасних сервиса који ће се пружати преко те PLC мреже, одабране су три трафостанице B-474 (градско подручје – кабловска мрежа, V-296 (градско подручје – комбинована мрежа, и Z-938 (приградско/сеоско подручје – надземна мрежа), свака са различитим карактеристикама у погледу дужине мреже, броја деоница, врсте и структуре водова, укупног броја потрошача, и броја потрошача по нисконапонским изводима.

У табели 9-4 су упоредно приказани наведени параметри за сваку од трафостаница. Коефицијенти K_{DM} и K_{PM} су идентификовани у циљу квантификавања сложености структуре мреже и разуђености мреже.

| 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 |

Табела 9-4 Упоредна анализа параметара одабраних трафостаница

Коефицијент K_{DM} представља број деоница у односу на укупну дужину мреже, и рачуна се као:

$$K_{DM} = \text{Број деоница} / \text{Укупна дужина мреже}$$

, док коефицијент K_{PM} квантификује број потрошача по метру нисконапонске мреже:

$$K_{PM} = \text{Број потрошача} / \text{Укупна дужина мреже}$$

Може се очекивати да ће се на нисконапонској мрежи трафостаница које имају већи K_{DM} , односно чија је структура мреже сложенија у смислу да имају већи број гранања мреже у односу на дужину мреже, изазов са којим ће се PLC комуникација суочити бити сложенији у смислу кашњења сигнала и слабљења.

Такође, на нисконапонској мрежи трафостаница које имају већи коефицијент K_{PM} , за очекивати је боље прилике за пренос PLC сигнала, обзиром да се ради о мрежи која у односу дужину мреже има мањи број потрошача, што имплицира и мањи број гранања и прелазака између различитих врста вододва и материјала од којих су направљени.

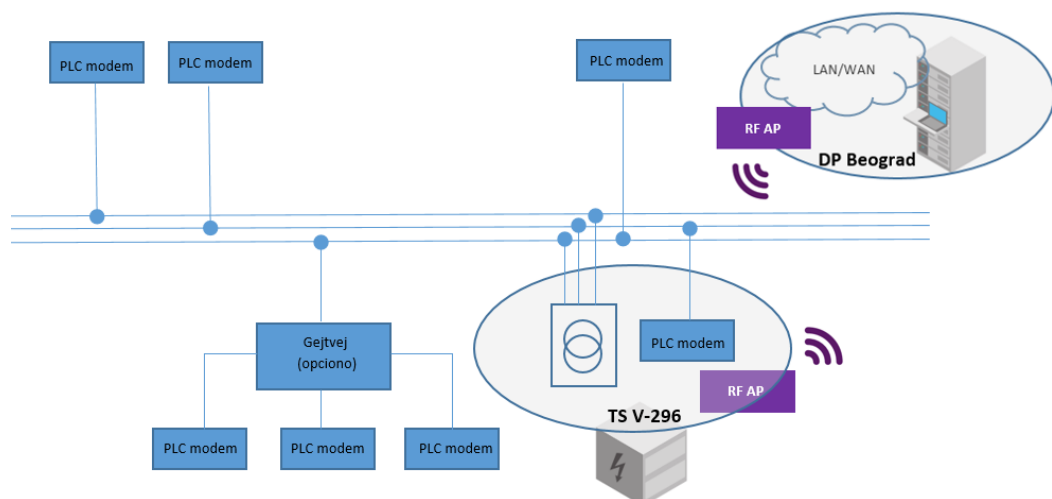
9.5 ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ

9.5.1 Конфигурација PLC сегмената

Реализација приступне широкопојасне PLC мреже планирана је са три ћелије на дистрибутивном подручју Београд:

- ћелија 1 - Општина Стари град, погон Београд, трафостаница 10/0.4 kV B-474;
- ћелија 2 - Општина Чукарица, погон Баново брдо, трафостаница 10/0.4 kV V-296;
- ћелија 3 - Општина Земун, погон Земун трафостаница 10/0.4kV Z-938;

Конфигурација PLC приступних сегмената на инфраструктури неаведених трафостаница је представљена на слици 9-9.



Слика 9-9 PLC ћелија V-296

Предвиђени број екстерних корисника по ћелији је 20. Ћелије се реализују у мастер / славе конфигурацији. Могућа је директна комуникација Head End (HE) уређаја са "slave" CPE уређајима или опционално, комуникација преко gateway (прелазног) уређаја / регенератора између унутрашње и спољашне НН мреже у зависности од карактеристика и могућности понуђене опреме / система. Такође, потребно је инсталирати и рипитере (регенераторе сигнала) уколико су потребни за савладавање домета између HE локације и корисника.

На све три локације (PLC ћелије B-474, V-296 и Z-938) за 5 од одабраних 20 корисника услуга пројекта потребно је извршити замену постојећих бројила електричне енергије. Бројила која ће се инсталирати у оквиру овог пројекта требају имати могућност даљинског читања и преноса ових података преко широкопојасне PLC технологије. Потребно је одабрати начин реализације даљинског читања такав да се бројила читавају преко широкопојасног PLC система, у зависности од техничким могућностима (могућим комуникацијским интерфејсима) бројила електричне енергије и PLC модема:

- бројило са интегрисаним PLC модемом и регистратором читавања / концентратор са интегрисаним широкопојасним PLC модемом;
- бројило са одговарајућим комуникационим интерфејсом (Ethernet, RS-232 и сл.) и широкопојасни PLC модем са истим интерфејсом за прикључење бројила;
- регистратор читавања / концентратор са одговарајућим комуникационим интерфејсом (Ethernet, RS-232 и сл.) и широкопојасни PLC модем са истим интерфејсом за прикључење бројила.

Подаци о читањима са бројила електричне енергије у једној PLC ћелији ће се прикупљати на регистратор читања / концентратор у одговарајућој ТС (у којој ће се инсталирати PLC NNHE), такође преко широкопојасног PLC система. Подаци са регистратора ће се преко остатка телекомуникационе инфраструктуре ЕПС Дистрибуције преносити до апликације за читање бројила која, кроз пројекат, треба да буде инсталирана у ДП Београд.

9.6 УСЛУГЕ У ПРОЈЕКТОВАНОЈ PLC МРЕЖИ

За кориснике PLC мреже кроз пројектовани систем потребно је реализовати различите услуге, са битно различитим комуникационим захтевима. Ови сервиси се грубо могу поделити у три групе, по категоријама корисника:

- Triple-play услуге за домаћинства
- Сервиси за пословне кориснике (ЕПС Дистрибуција – пословни објекти)
- Оперативни сервиси (ЕПС Дистрибуције - В-474, V-296 и Z-938).

Услуге за домаћинства реализоваће се у све три ћелије које су предмет пројекта. Сервиси за пословне кориснике имплементираће се за локацију ЕПС Дистрибуције, ДП Београд, а оперативни сервиси за 10/0.4kV трафо станице ЕПС Дистрибуције В-474, V-296 и Z-938. Сервиси за потребе ЕПС Дистрибуције реализују се између наведених локација и ДП Београд.

| Корисник | Услуга | Капацитет по кориснику и сервису | |
|---|---|--|----------------|
| | | Downlink | Uplink |
| Домаћинства | Интернет приступ | 256 kb/s - 1,5 Mb/s | 128 kb/s |
| | Фиксна телефонија | 1 канал / кориснику (капацитет у зависности од компресије) | |
| | IPTV/VoD | у зависности од обезбеђеног система и коришћеног начина компресије видео сигнала | |
| Објекти ЕПС Дистрибуције (В-474, V-296 и Z-938) | Очитање бројила преко широкопојасног PLC система (за ТС А. Буће 1, ТС Радник и ТС Резачева) | ---- | до 128 kb/s |
| | Uskorojasni serijski prenos podataka za potrebe daljinskog nadzora TS | ---- | 1,2 kb/s |
| ЕПС Дистрибуција- пословни објекти (Диспечерски центар) | Видео-надзор | ---- | 128 - 512 kb/s |
| | IP PBX умрежавање | 4 говорна канала (капацитет у зависности од компресије) | |
| | Слијент-сервер апликације | Mb/s | 128 kb/s |
| | Интернет приступ | 128 kb/s | 64 kb/s |

Табела 9-5 Преглед захтеваних сервиса са захтеваним капацитетом по кориснику

У табели 9-5 дат је преглед појединачних сервиса које је потребно реализовати, са захтеваним капацитетима по кориснику.

Због захтеване интеграције различитих типова услуга у PLC мрежи, опрема и систем морају обезбедити:

- одговарајући QoS за различите типове услуга кроз категоризацију и приоритетизацију саобраћаја;
- креирање VLAN-ова за различите типове услуга;
- VoIP функционалност.

Поред основних услуга преноса говора и широкопојасног преноса података, које треба да обезбеди приступна PLC мрежа, предвиђена је и реализација широкопојасних "streaming" видео услуга (IPTV, видео на захтев), као и реализација ускопојасних податковних сервиса са серијском комуникацијом терминалне опреме, за потребе "енергетских" и аутоматизованих услуга (даљинско читање бројила, даљинско управљање ТС 10/0.4kV, сигурносни надзор домаћинства и др.) С обзиром да ове услуге немају широку / масовну примену у широкопојасним приступним PLC системима, потребно је дефинисати могућност и услове примјене оваквог система за реализацију ових сервиса.

Додатно, услуге које се реализују у "кућној" мрежи на локацији ДП Београд су:

- повезивање рачунарске опреме у LAN мрежу;
- повезивање терминалне опреме интерне телефонске мреже (IP телефони и терминални адаптери за аналогне телефоне) на IP PBX у објекту.

На овај начин би се сва комуникација за потребе овог објекта у потпуности обављала кроз PLC мрежу, кућну и приступну. Потребно је дефинисати услове коегзистенције кућне и приступне мреже и начин повезивања ових сегмената.

Прикључење свих податковних терминала на PLC модеме предвиђено је преко 10 / 100 Base-T и / или USB интерфејса. Изузетно, повезивање опреме за

даљински надзор трафостаница предвиђено је преко серијских RS - 232 интерфејса. Уколико PLC модеми немају додатни RS-232 интерфејс повезивање је могуће реализовати преко RS-232/Ethernet конвертера.

Повезивање бројила за читање електричне енергије могуће је преко 10 / 100 Base-T или RS-232 интерфејса, или другог комуникационог интерфејса који је подржан и на бројилу и на PLC модему (уколико бројило нема интегрисан широкопојасни PLC модем и користи се екстерни широкопојасни PLC модем).

9.7 КОНФИГУРАЦИЈА, НАДЗОР И УПРАВЉАЊЕ У ПРОЈЕКТОВАНОЈ PLC МРЕЖИ

Централни надзор и управљање свим компонентама PLC мреже треба да буде реализован на бази SNMP протокола. Систем централног надзора и управљања треба да омогући:

- графички приказ приступне PLC мреже,
- конфигурацију радних параметара уређаја,
- приказ саобраћајних аларма и статуса уређаја
- мерење и архивирање параметара квалитета сервиса.

Јединствен систем централног надзора и управљања у мрежи биће имплементиран на локацији ЕПС Дистрибуције, У ДП Београду, и користиће се и за PLC опрему на локацијама екстерних корисника и за PLC опрему у објектима ЕПС Дистрибуције.

Приступ елементима PLC мреже треба да буде реализован као *"in-band"* приступ, кроз канале који обезбеђују повезивање PLC сегмената са телекомуникационом кичмом, односно кроз канале PLC мреже.

Све софтверске компоненте система које обезбеђују наведене функције треба да буду инсталиране, а као хардвер користити постојећу рачунарску опрему са Windows- базираним оперативним системима.

9.8 УСЛОВИ ЗА ПРОЈЕКТОВАЊЕ И ИНСТАЛАЦИЈУ

Приликом пројектовања и инсталације система, следећи захтеви треба да буду задовољени:

- прикључење корисничких уређаја треба бити омогућено преко стандардних интерфејса;
- прикључење СРЕ уређаја на енергетску мрежу треба да буде обезбеђено једноставним прикључењем на утичнице IEC 320 - C13, преко интегрисаних спрежних елемената;
- прикључење HE / GW уређаја на телекомуникациону мрежу треба да буде обезбеђено преко стандардних податковних интерфејса;
- сви уређаји изузев СРЕ треба да имају могућност:
 - ✓ унутрашње и вањске инсталације,
 - ✓ инсталације у засебном кућишту / ормару и унутар елемената трафостанице.
- за унутрашње инсталације опреме предвидети:
 - ✓ механичку заштиту IP20 или бољу
 - ✓ температурни опсег -5°C до 45°C
- за спољашње инсталације потребно је предвидети:
 - ✓ механичку заштиту IP54 или бољу
 - ✓ температурни опсег -20°C до +55°C
- у кућној PLC мрежи потребно је предвидети спрегу између три фазе, да би се омогућила међусобна комуникација СРЕ уређаја;
- HE уређај треба да има могућност комуникације преко све три фазе, односно са свим корисницима распоређеним на три фазе:
 - ✓ спрега HE уређаја треба да буде фазна спрега (између фаза)
 - ✓ повезивање NN / SN PLC уређаја са екстерним спрежним

елементима треба да буде реализовано коаксијалним каблом;
за NN елементе могуће је повезивање симетричним оклопљеним каблом

- инсталацију NN / SN PLC уређаја предвиђено је тако да се минимализира удаљеност између уређаја и спрежне опреме, односно тачке прикључења на NN / SN мрежу.
- повезивање на мрежу у ТС треба да буде извршено у тачкама иза растављача/прекидача, да искључења у енергетској мрежи не би утицала на функционисање PLC мреже
- потребно је предвидети да се, у највећој могућој мери, у PLC мрежи избегну/премосте елементи енергетске мреже који уносе додатна висока слабљења (трансформатори, бројила и др), односно да се елиминише утицај ових елемената
- у систему по потреби треба предвидети регенераторе, тако да се обезбеди одговарајући домет/зона покривања и одговарајући квалитет сигнала
- за све тачке регенерације на бази фреквентне поделе потребно је планирати коришћење фреквенција тако да се избегну међусобни утицаји појединих сегмената
- потребно је предвидети одговарајуће уземљење уређаја.

9.9 ПРЕДВИЂЕНИ УСЛОВИ ЗА РАД БРОЈИЛА ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ

9.9.1 Климатски услови на месту уградње бројила електричне енергије

- Надморска висина: ≤ 1000 m
- Максимална температура: + 40°C
- Минимална температура: - 20°C
- Максимална релативна влажност ваздуха 100%

- Изокераунички ниво: 125
- Степен загађења: II – средња загађеност

9.9.2 Параметри система на месту уградње

| Називни напон kV | Максимални напон kV | Струја kA | Импулсни напон kV | Подносиви импулсни напон 1 min kV | Третман неутралне тачке |
|---------------------|---------------------------|--------------|-------------------------|---|-------------------------|
| 20 | 24 | 16 | 125 | 50 | изолована-уземљена |
| 0 | 12 | 16 | 75 | 28 | изолована-уземљена |
| 0.4 | 0.44 | 25 | | 3 | уземљена |

Табела 9-6 Параметри система

9.10 ТЕХНИЧКЕ СПЕЦИФИКАЦИЈЕ ЗА PLC ОПРЕМУ

У Табели 9-7 дате су техничке карактеристике које треба да задовоље уређаји како би били уграђени у телекомуникациони систем реализован у електроенергетском систему ЕПС Дистрибуције.

| Р.Бр. | Опис | Захтев |
|-------|--------------------------------|--|
| 1. | <i>PLC adapter</i> | |
| 2. | Mrežne funkcije | bridging prema ieee 802.1D |
| 3. | | VLAN prema ieee 802.1q |
| 4. | Frekvencijski opseg | 1,6-30MHz |
| 5. | | могућност потискивања индивидуалних фреквенција, са слабљенjem реда 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. | | Integrirani sprežni elementi |
| 14. | | Sprega faza-nula |

| | | |
|----|--------------------------------|---|
| 15 | Normativni zahtevi | CE oznaka |
| 16 | | EC Deklaracija o usaglašenosti |
| 17 | <i>PLC modem</i> | |
| 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 | | Integrirani sprežni elementi |
| 30 | | Sprega faza-nula |
| 31 | Normativni zahtevi | CE oznaka |
| 32 | | EC Deklaracija o saglasnosti |
| 33 | <i>NN PLC HE</i> | |
| 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 | | integrirani ili eksterni sprežni elementi |
| 44 | Normativni zahtevi | CE oznaka |
| 45 | | EC Deklaracija o saglasnosti |
| 46 | <i>SN PLC oprema</i> | |
| 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 | Sistemske zahteve | |
| 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 | standardno 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 između 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 softvera 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 |
| 100 | | |

Табела 9-7 Техничке карактеристике

9.11 ТЕХНИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ БРОЈИЛА ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ

9.11.1 Стандарни које бројило треба да задовољава

Бројила електричне енергије која се планирају уградити у ове сврхе треба да задовоље следеће међународне стандарде:

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

| | |
|----------------------|---|
| 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 hold and similar installations |
| IEC 61 010 | Safety requirements for electrical equipment for measurement, control and laboratory 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. |

Табела 9-8 Стандарди за бројила електричне енергије

9.11.2 Функционалности које бројило треба да подржава

Поред основних функционалности: мерење ативне и реактивне електричне енергије, и снаге у стандардној класи тачности, регистрована средње петнаестоминутне снаге (максиграфа), важећег тарифирања и регистровања наведених обрачунских величина у профилу обрачунском профилу на крају сваког месеца, комуникације преко оптичког порта, бројила електричне енергије требају подржавати следећи скуп паметних функционалности:

9.11.2.1 Профили оптерећења

Са становишта електродистрибутивне делатности, веома је важно да бројило електричне енергије може да региструје и архивира за одређени временски период, минимално 45 дана, и профиле величина које може да мери у дефинисаним временским одбирцима. Треба бити могуће подесити 4 независна профила са независним периодима узорковања у са интервалима минимално 15 минута, 60 минута и 24 часа. На овај начин се могу регистровати вредности нпр. струја по фазама, напона по фазама, углова између напона и струја (cosφ) по фазама.

cosφ представља однос активне и реактивне енергије по једној фази. Идеално је да он буде 1, у ком случају је потрошач искључиво термичког карактера, односно нема реактивне енергије (нема индуктивне или капацитивне компоненте потрошње). У реалним условима, у категоријама потрошње каква су домаћинства, тежи се да cosφ буде већи од 0,95. Уколико је овај однос мањи, код тог потрошача се врши уграђивање „компензације“, која би поништила или умањила реактивну компоненту потрошње, или се потрошач пребацује у другу категорију потрошње, у ком случају му се уграђује бројило које поред активне енергије мери и реактивну енергију.

Такође, у профилима се региструју и профил 15-минутне снаге, као и обрачунских података (активне и реактивне енергије). Сви ови подаци се користе у процесима естимације потрошње у наредном обрачунском периоду, као и праћење карактера потрошње за сваког потрошача, како би се што боље планирала производња електричне енергије и одговорило захтевима тржишта квалитетном услугом.

9.11.2.2 Лимитација снаге

С обзиром да паметна бројила садрже склопке за даљинско (или локално) искључење/укључење потрошње, бројило треба да подржава функцију лимитације снаге. То значи да треба бити подржано да се у одговарајући регистар у бројилу упише нека вредност која представља снагу коју потрошач може једновремено преузети са мреже по све три фазе (у случају трофазног прикључка). Након што бројило детектује да потрошач вуче струју (снагу) већу од лимитиране, оно

толерише то прекорачење неки временски период (који се такође може подесити), након чега даје локалну комаду склопкама да прекину (искључе) излазне клеме на прикљчници бројила (потрошњу). На тај начин, потрошач који вуче већу снагу од оне која је нпр. са њим уговорена Уговором о прикључењу на електроенергетску мрежу, ће бити одређено време искључен са мреже (нпр, неколико минута), након чега ће му бити омогућено поновно укључење притиском на локални тастер на бројилу.

Ова функција је веома важна са становишта „хуманог искључења“, јер је електродистрибутивно предузеће може корисити код потрошача (купаца електричне енергије) који нису редовне платише. Наиме, обзиром да је електрична енергија, иако комерцијална роба, ипак својеврсна социјална категорија у 21. веку, купцу кога би у уобичајеном поступку потпуно искључили са електричне мреже док не измири своје дуговање, може се лимитирати потрошња на пар киловата (колико је довољно за рад неколико сијалица и фрижидера), те га на тај начин мотивисати да свој дуг измири и настави даље са редовним плаћањем рачуна, јер за остале потребе неће моћи користити електричну енергију (прекорачиће лимит и склопка ће га аутоматски искључити). На тај начин купац неће остати без напајања за, можемо рећи основне потребе, а ипак ће бити приморан да регулише свој статус, како би могао задовољити остатак потреба у свом домаћинству.

Ова подешавања лимита снаге се могу радити даљински из Центра управљања преко електродистрибутивне мреже (PLC комуникацијом).

9.11.2.3 Code Red

Ова функционалност представља својеврсни специјални случај лимитације снаге. Бројила треба да имају могућност да се у одговарајућем регистру декларише категорија у коју се бројило сврстава. Сврха категоризације је да сва бројила која се декларишу у истој категорији, по пријему broadcast поруке одреагују једновремено идентичном акцијом која је придружена тој категорији. Та акција је нпр. даљинско искључење, даљинско укључење или лимитација снаге. Ефекат коришћења ове функционалности се огледа у брзом реаговању на

инцидентне ситуације на електродистрибутивној мрежи, или код планских искључења већег бројила потрошача.

На пример, ако на једној страни идентификујемо купце електричне енергије који су у Уговору о прикључењу на електроенергетску мрежу уговорили да пристају на одређен број и трајање искључења у замену на повољнију цену преузете електричне енергије, такви потрошачи се могу свртати у специфичну категорију те у случају потребе за искључењима услед преоптерећености мреже, таквој категорији купаца се преко PLC мреже може послати broadcast порука (команда за искључење). Сва бројила прикључена на електродистрибутивну мрежу ће примити ову команду, али ће само бројила која припадају категорији која је у поруци наведена, одреаговати дефинисаном акцијом, односно одреаговаће искључењем склопке. На тај начин, сва бројила из специфициране категорије реагују једновремено (колико је то могуће узимајући у обзир поузданост и брзину PLC комуникације).

9.11.2.4 Дневник догађаја

Бројила треба да подржавају регистрацију различитих догађаја код потрошача код кога су монтирана и чију потрошњу мере и региструју. Овде се пре свега мисли на догађаје попут:

- ✓ детекције отварања поклопца прикључнице. Прикључница је ред клема преко којих се бројило ожичава и прикључује на мрежу, са једне стране на електродистрибутивну мрежу – улаз, а са друге стране на кућне инсталације – излаз). Овај догађај може бити важан за анализу да ли је по евиденцији догађаја скидања и/или поновног постављања поклопца прикључнице, у том времену било предвиђено да овлашћено лице електродистрибуције врши контролу мерења или неку другу потребну радњу, односно да ли је овлашћено лице имало налог за рад. Ако није, то је показатељ да је потрошач неовлашћено уништио пломбу и приступао ожичењу бројила.
- ✓ детекције отварања поклопца мерног дела бројила. Сврха детекције овог догађаја је слична претходно наведеној, с тим што се ради о

веома озбиљном нарушавању интегритета бројила. Наиме, ни електродистрибуција нема законско овлашћење да врши скидање овог поклопца, осим у акредитованој и овлашћеној лабораторији, јер је отварање поклопца мерног дела бројила заштићено пломбом Дирекције за мере и драгоцене метале која је државни орган.

9.11.2.5 Ажурирање фирмвера

Овом функцијом је подржано даљинско ажурирање (update или upgrade) софтвера бројила, без утицаја на део софтвера који је задужен за исправно мерење у задатој класи тачности. Наведнео је осигурано сепарацијом софтвера, односно поделом софтвера бројила на два дела:

- ✓ део софтвера бројила чија је намена функција мерења у задатој класи тачности, и регистровање и чување обрачунских података,
- ✓ и „апликативни“ део софтвера бројила који се односи на „паметне“ функције бројила (међу којима су и функције побројане у овом поглављу), које је управо могуће ажурирати.

Ажурирање фирмвера бројила је корисно у ситуацијама решавања евентуалних багова у раду неке од паметних функционалности, као и у инсталацији функционалности које у фабричкој верзији бројила (када је бројило набављено) нису постојале. Ограничење је свакако величина доступне меморије бројила.

9.11.2.6 Мерење квалитета испоручене електричне енергије

У последњих неколико година, а нарочито почетком процеса либерализације тржишта електричне енергије на ниском напону, и код категорије купаца који електричну енергију преузимају на ниском напону постоји потреба за мерењем квалитета испоручене електричне енергије, обзиром да савремени Уговори о испоруци електричне енергије разликују различито тарифирање у односу на

квалитет испоручене електричне енергије у току обрачуноског периода. Квалитет електричне енергије се мери у складу са EN 50160, а пре свега се односи на:

- **Варијацију напона у току обрачуноског периода.** У бројилу се дефинише неколико опсега и у времену се врши регистравање напона у ти опсезима. Као излазне вредности се добијају тачни параметри варијације напона у одређеном времену. Ово је важно са становишта утврђивања да ли је ниво напона кој неког потрошача био на нивоу уговореног, односно да ли је ниво напона био оптималан за рад електричних уређаја који се напајају из мреже.
- **Број краткотрајних и дуготрајних прекида напајања.** Према стандарду EN 50160, сви прекиди напајања дужи од 3 минута се категоризују као дуготрајни прекиди напајања. Регистравање прекида напајања се врши по свакој фази, али се и истовремени прекид напајања на све три фазе (у случају трофазног прикључка) третира као посебан догађај. Региструје се време (time stamp) када је долазни напон нестао, као и време (time stamp) када је бројило добило напајање. Ова функција је веома важна, јер се недвосмислено може утврдити колико је тачно и у којим временским интервалима сваки потрошач био без напајања.

9.11.2.7 Интегритет мерења

Једна од важнијих функционалности паметних бројила електричне енергије је детекција догађаја на мерном месту, које се могу категорисати као неовлашћени приступ бројилу, или неовлашћена потрошња електричне енергије.

Неки од догађаја који се детектују и региструју у дневнику догађаја су: отварање/затварање поклопца прикључнице, отварање/затварање поклопца мерног дела бројила, детекција присуства магнетног поља интензитета већег од 200 mT, детекција супротног тока енергије, и сл.

10 ЗАКЉУЧАК

PLC технологија је технологија која користи електродистрибутивне водове као медијуме за пренос телекомуникационог саобраћаја. Комерцијално доступни ускопојасни PLC системи, који су у употреби последње две деценије за комуникацију користе стандардизовани CENELEC фреквенцијски опсег (3 kHz до 148,5 kHz), а у сврху даљинског читавања бројила и управљања потрошњом. Ови системи, у зависности од модулације и подопсега који користе постижу брзине од 300 bps до 33 kbps.

Развој PLC технологије у смеру коришћења високих фреквенција (1,6 MHz до 30 MHz), и савремених модулационих техника и комуникационих протокола, подржава и реализацију широкопојасних телекомуникационих сервиса. У том смислу, широкопојасна PLC комуникација (BPL) се кандидује за алтернативну технологију за реализацију телекомуникационе приступне равни, и пружање *Triple-Play* сервиса крајњим корисницима. Бенефит за електродистрибутивне компаније је диверсификација услуге, у смислу да поред испоруке електричне енергије могу пружати и телекомуникационе услуге, као што су приступ Интернету, пренос података, VoIP и IPTV или VoD. На тај начин јачају своју позицију на либерализованом тржишту електричне енергије.

С обзиром да су електродистрибутивни водови, као основни елементи електродистрибутивне мреже, примарно дизајнирани за пренос електричне енергије, а не телекомуникационих сигнала, у БПЛ систему који се реализује на инфраструктури електродистрибутивне мреже, постоји читав низ ограничења која утичу на комуникацију, а последично и на квалитет телекомуникационе услуге која се пружа преко те мреже. Ти проблеми, као и предлози за њихово решавање су тема ове дисертације.

Топологију BPL приступне мреже у највећој мери одређује топологија нисконапонске мреже на којој је BPL приступна мрежа реализована. Организација BPL приступне мреже се може и разликовати од нисконапонске мреже, а фактори који на то утичу су позиционирање BPL базне станице, начин сегментирања мреже, коришћење регенератора сигнала, као и сегментација мреже применом

гејтвеја. Такође, нисконапонска мрежа, која је изграђена од великог броја врста, типова и по материјалу различитих надземних и подземних водова што значајно усложњава реализацију поуздане БПЛ комуникације.

Фактори који имају највећи утицај на пренос ВРЛ сигнала, и који представљају препреку поузданом преносу у одабраном фреквенцијском опсегу су прекомерни ниво шума, вишепутно простирање сигнала, као изражена селективност канала које узрокује слабљење сигнала који се преноси. Укупни шум на широкопојасниом РЛС каналу представља збир пет типова шума различите природе настанка и утицаја на ВРЛ комуникацију: обојени позадински шум, ускопојасни шум, периодични импулсни шум асинхрон са носећом фреквенцијом, периодични импулсни шум синхрон са носећом фреквенцијом, и импулсни шум.

С обзиром да енергетски вод нема прилагођену завршну импедансу, због великог броја гранања мреже и промене карактеристика вода услед промене пресека и материјала, долази до рефлексије сигнала која за последицу има већу вероватноћу брисања сигнала услед фазног преклапања, као и до интерсимболске интерференције.

За квалитетан пренос ВРЛ сигнала веома је важна примењена техника модулације, чији избор зависи од природе и карактеристика нисконапонског вода као медијума за пренос сигнала. При избору модулационе технике за пренос ВРЛ сигнала преко нисконапонског вода мора се водити рачуна о присуству шума и импулсних сметњи које за последицу имају низак ниво односа сигнал-шум, временски промењиву импедансу, као и фреквентно селективну природу проводника, али и на регулаторна ограничења у односу на електромагнетну компатибилност. Од доступних технологија, најбоље перформансе показује OFDM модулација.

За пружање широкопојасних телекомуникационих сервиса у реалном времену преко ВРЛ мреже, такође је неопходно је осмислити и дефинисати адекватан МАС протокол, јер дизајн МАС протокола утиче на ефикасно коришћење пропусног опсега као и на стабилност и робусност целог ВРЛ система. Примена расположивих решења из конвенционалних телекомуникационих система (CSMA, 802.11 и *Token passing* (802.5)), имају ограничења у ВРЛ

комуникацији због специфичности VPL канала и топологије мреже, што представља ограничење у пружању комплекснијих услуга у реалном времену, као што су VoIP и VoD. Показано је да би својеврсна комбинација *Polling* и резервационог MAC механизма могла пружити ефикасне резултате за телекомуникационе канале какав је нисконапонски енергетски вод. Резервациона компонента MAC протокола може обезбедити прихватљив ниво кашњења и цитера за пружање услуге у реалном времену. Дубока хијерархија PLC мреже се може превазићи обезбеђењем довољног пропусног опсега доступног у одређеном времену за критични саобраћај на сваком нивоу, што може да подржи механизам резервације, док компонента *Polling* механизма, с друге стране, може спречити изгладњивање неког чвора у VPL мрежи при појави прекомерног саобраћаја.

Следећи важан аспект за функционалну реализацију преноса телекомуникационог саобраћаја на VPL мрежи је техника рутирања. Рутирање у VPL мрежи се реализује на слоју везе, другом слоју OSI референтног модела, и заснована је на MAC протоколу, задуженом за обезбеђивање перформанси у виду поузданости, смањења кашњења сигнала, ефикасности и QoS нивоа при преносу података.

У каналима са вишеструким приступом, какав је и енергетски вод, исти физички медијум се дели између више корисника који захтевају различите битске брзине. Због специфичних карактеристика енергетског вода као канала за пренос телекомуникационог саобраћаја, немају сви корисници исте услове на каналу, проток варира од корисника до корисника. Шеме вишеструког приступа (техника мултиплексирања) које се динамички прилагођавају каналу и избегавају беспотребно коришћење средстава, ће извесно бити префериране у будућем истраживању и дефинисању адекватног техничког решења. У том контексту, TDMA се појављује као вероватно најбољи избор, јер се сваком кориснику може доделити максимална количина времена, али ако корисник не користи сво додељено време оно може бити искоришћено од стране другог корисника.

Основни изазов при преносу мултимедијалних садржаја и стандардног преноса података преко нисконапонских водова је задовољење строгих захтева у погледу квалитета сервиса (QoS). Четири најзначајнија параметра који се користе за одређивање QoS су: проток, губитак пакета, кашњење, и цитер. Сваки од

мултимедијалних садржаја има своје специфичне захтеве у погледу наведених параметара, а који су детаљно представљени у дисертацији.

Тренутно доступна БПЛ технологија теоретски подржава брзине преноса до 200 Mbps у фреквенцијском опсегу од 1,6 MHz до 30 MHz, при чему се може очекивати да реалан проток у условима експлоатације буде до 90 Mbps, управо због имплементације предложених механизма управљања приступом, грешкама, као и специфичностима MAC протокола.

Приликом преноса ВРЛ сигнала кроз енергетски вод, он се понаша као антена која у околни простор врши емисију сигнала исте фреквенције као што је ВРЛ сигнал. Снага емитованог сигнала је директно пропорционална фреквенцији и амплитуди ВРЛ сигнала. С обзиром да су делови фреквенцијског спектра који користи БПЛ технологија већ додељени одређеним корисницима, у намене које су од стратешког интереса за сваку националну заједницу (радиодифузија, јавне службе, војска, полиција), овој технологији предстоји и уређивање регулаторног оквира, што је задатак РАТЕЛ-а (а на глобалном нивоу ИТУ).

Након анализе наведених утицаја нисконапонске мреже на топологију ВРЛ мреже, перформансе ВРЛ комуникације, и ограничења која је потребно превазићи у циљу достизања потребног нивоа поузданости ВРЛ комуникације и QoS за пружање *Triple-Play* сервиса крајњим корисницима и комерцијализацију ВРЛ технологије као алтернативне или редундантне телекомуникационе технологије за реализацију приступне телекомуникационе равни, детаљно је специфициран предлог научног и пројектног истраживања широкопојасног РЛС комуникационог система у електроенергетској мрежи ЕПС Дистрибуције. Резултати истраживања ће унапредити квалитет услуга код широкопојасног приступа Интернету преко електродистрибутивних водова у Републици Србији, што ће подржати диверсификацију сервиса ЕПС Дистрибуције на либерализованом тржишту електричне енергије и дати допринос у примени ове алтернативне технологије на телекомуникационом тржишту.

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 širokopojsnih usluga preko energetske 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. Podszcek, *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 specific 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. Zeddami, 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. Zeddami, 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, *Elektrischer 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. Hofsjager, 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 topologies, 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/operal>.
- [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 Commission.
- [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 Electrotechnical 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 Francisco, USA, Apr. 3-5, 2005, pp. 9-22.
- [99] I. Vujičić, N. Gospić, N. Rajaković "Topologija širokopoljnih 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 TELSIS'07, Septembar 2007
- [101] I. Vujičić „Kategorizacija elektrodistributivnih vodova za pružanje širokopoljnih 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.

БИОГРАФИЈА

Игор Вујичић је рођен 23. марта 1977. године у Сарајеву. Основну школу завршио је у Сарајеву. Средњу школу завршио је у Београду 1995. године. На Војној академији, на одсеку за Радарску технику дипломирао је 1999. године са просечном оценом у току студија 8.43 (осам и четрдесет три). Последипломске студије уписао је 1999. године на Саобраћајном факултету Универзитета у Београду, на Одсеку за поштански и телекомуникациони саобраћај, где је 31. маја 2004. године одбранио магистарску тезу под називом „*Модели уласка електропривредних компанија на телекомуникационо тржиште са освртом на могућности Електропривреде Републике Српске*“.

У октобру 2000. године се запошљава у *Електропривреди Републике Српске*, у електродистрибутивном предузећу „*Електро-Бијељина*“ у Бијељини, где каријеру започиње на позицији инжењера за електрична мерења и АММ систем. У фебруару 2002. године, прелази на позицију инжењера за документацију и базу техничких података, где у наредне четири године пројектује и реализује базу података Техничког сектора предузећа. У марту 2006. године напредује на позицију Руководиоца Службе за информационе системе и телекомуникације. Био је члан експертског тима у више пројеката који се односе на реконструкцију електроенергетског сектора у Босни и Херцеговини, од којих је један имплементација SCADA и телекомуникационог система у електропривреди. Мотивисан темом магистарске тезе, иницира реализацију оптичке мреже по далеководима средњег напона са циљем комерцијализације електродистрибутивних ресурса у телекомуникационе сврхе, чиме се интензивно бави наредних 18 месеци, када каријеру наставља у приватном сектору.

У јануару 2008. године прелази у предузеће *Energsoft* д.о.о где ради на позицији Водећег пројектанта за техничку подршку, где се задржава до августа исте године, када прелази у новоосновано предузеће у оквиру Групе – *Meter&Control* д.о.о где је и данас запослен на позицији Директора Сектора продаје и маркетинга. Предузеће се бави развојем и производњом бројила

електричне енергије са могућношћу даљинског читавања и управљања потрошњом, комуникационих модема, софтвера, и остале опреме потребне за функционисање АММ (*Automatic Meter Management*) система. Последњих десет година користи значајно инжењерско искуство у развоју пословања и пласману српских решења у области система за даљинско читавање и управљање потрошњом, која обухватају паметна бројила електричне енергије, комуникационе уређаје, као и АМІ/МДМ софтверска решења на територији Европске уније.

Од 2005. до 2013. године био је ангажован као асистент на Факултету за Пословну информатику Универзитета Синергија у Бијељини, на предметима Пословна информатика, Основе рачунарске технике и Базе података. Од 2014. године академску каријеру наставља на Универзитету Сингидунум као асистент на предмету Базе података.

Истраживањима која се односе на учешће електропривредних предузећа на тржишту телекомуникација као оператора различитих телекомуникационих услуга, и могућностима преноса података преко нисконапонских електроенергетских водова интензивно се бави дужи низ година, из чега је као резултат проистекао одређен број објављених радова, укључујући одбрањену магистарску тезу. Као аутор или коаутор објавио је више радова на међународним домаћим конференцијама, коаутор је 1 монографије, а у досадашњем раду учествовао је у неколико пројеката.

Игор Вујичић је ожењен, и са супругом Наташом и ћерком Машом живи у Београду.

СПИСАК ОБЈАВЉЕНИХ РАДОВА

- [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 širokopoljnih usluga preko energetske vodove*", 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 TELSIS'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 TELSIS'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 širokopoljnih 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

ΜΟΗΟΓΡΑΦΙJE

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

УЧЕШЋЕ У ПРОЈЕКТИМА

- [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.