

Zdravko Jadrijević, dipl. ing.  
HEP – Distribucija d.o.o., DP Elektrodalmacija Split  
mr. sc. Goran Majstrovich, dipl. ing.  
Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb

D2 – 08

## KOMUNIKACIJA PUTEM ELEKTROENERGETSKE MREŽE

### SAŽETAK

Pristup Internetu i telefoniranje putem elektroenergetske mreže jednostavnim spajanjem na utičnicu kućne električne instalacije predstavljao je izazov na koji nije bilo pravih odgovora. Nakon deregulacije telekomunikacijskog i energetskog tržišta došlo je do potrebe za alternativnim i brzim prijenosom podataka, budući da je telekomunikacijska fiksna mreža i dalje pod monopolom jedne tvrtke. Danas komunikacija putem elektroenergetske mreže nudi idealno rješenje, jer je infrastruktura elektroenergetske mreže gušća od bilo koje telekomunikacijske mreže. Cijela infrastruktura od davatelja usluga do kućne elektroinstalacije postoji i spremna je za korištenje.

Kućni modemi komuniciraju s modemima u srednjenaponskim postrojenjima koji dalje prenose informacije ili putem električne mreže ili klasičnim telekomunikacijskim rješenjima. Brzine prijenosa podataka kreću se do nekoliko desetaka Mbit/s na frekvencijama oko 20 MHz, čime je otvoren put za razne primjene poput prijenosa digitalnog audio signala ili čak distribucije video signala. Ovime se nudi nova usluga elektroenergetske mreže koja bi u budućnosti mogla biti vrlo značajna i profitabilna.

U radu su dana teorijska razmatranja te praktična iskustva u svijetu.

**Ključne riječi:** elektroenergetska mreža, brzi prijenos podataka elektroenergetskom mrežom, Internet, elektromagnetska kompatibilnost

## POWERLINE COMMUNICATIONS

### SUMMARY

Phone and Internet connection via electric power network was a big challenge for experts in last decades. After power and telecommunication sector deregulation, new possibilities for data exchange appeared. Since telecommunication network remains monopoly, strong need for alternative solution was raised. Today, power line communication offers ideal solution because of existing developed power network that is spread wider than telecommunication network. Whole powerline communication infrastructure is ready for usage with no additional investment.

Modem at home communicates directly with modem in middle-voltage substation. After that data exchange path is defined using power line or classical telecommunication lines. Data exchange speed is about few tens of Mbit/s, using frequency of about 20 MHz. This frequency is allowing digital audio signal exchange or even video signal exchange. Power line communication opens new, very promising direction in power sector. This paper presents other countries experience in this field.

**Keywords:** power system, high-speed powerline communications, Internet, electromagnetic compatibility (EMC)

## 1. UVOD

Početak 30-ih godina prošlog stoljeća počinje korištenje elektroenergetske mreže za prijenos informacija putem mrežnog tonfrekventnog upravljanja (MTU). Frekvencije koje koriste pri MTU leže u blizini mrežne frekvencije te se signali bez problema i s malim prigušenjem prenose preko transformatora do potrošača, ali je dvosmjerna komunikacija praktički neostvariva zbog značajne količine dodatne opreme potrebne na strani odašiljača. Elektroenergetska mreža s pogodnom dvosmjernom tehnikom prijenosa informacija otvara niz novih mogućnosti koje nadmašuju mogućnosti MTU tehnike. Strogi propisi u pogledu upotrebljivih frekventnih opsega te dopuštene razine utiskivanja obeshrabrivali su razvoj komunikacije putem elektroenergetske mreže. Također, nije bilo ekonomskog interesa za usmjeravanje "powerline" lobija koji bi bili sposobni utjecati na norme i propise, kao što je to slučaj na drugim tehnološkim poljima.

Situacija se radikalno promijenila s deregulacijom telekomunikacijskog i energetskeg tržišta. Jedna od prvih posljedica bio je zahtjev za alternativnim brzim prijenosom podataka putem fiksne telefonske mreže. Na ovoj razini praktički je i dalje ostao monopol, budući da cijela telekomunikacijska mreža i dalje pripada jednoj tvrtki. Komunikacija putem elektroenergetske mreže nudi idealno rješenje poglavito jer je infrastruktura elektroenergetske mreže gušća od bilo koje druge komunikacijske mreže. Cijela infrastruktura od davatelja usluga do kućne elektroinstalacije već postoji i praktički spremna je za korištenje. Ovo znači da npr. brza Internet veza preko elektro utičnice neće ostati samo vizija, već postaje stvarnost. Komunikacija elektroenergetskom mrežom nudi fascinantne mogućnosti poput teorijskih brzina prijenosa podataka od preko 100 Mbit/s. Masovna posvećenost vodećih tvrtki i veliki broj istraživanja jamstvo su da će globalna komunikacija putem elektroenergetske mreže postati uobičajena i sveprisutna praksa.

Iako je elektroenergetska mreža u osnovi projektirana za prijenos energije s minimalnim gubicima, došlo se do zaključka da je uz prijenos energije s minimalnim gubicima i pouzdani prijenos podataka preko iste mreže na zadovoljavajućoj razini. U početku, samo su elektrodistributivne tvrtke bile sposobne ostvariti profitabilnu primjenu, ali ovo stanje se u zadnje vrijeme mijenja.

Deregulacija telekomunikacijskog i energetskeg tržišta u Europi pokrenuta je devedesetih godina 20-stoljeća. Razvijaju se dodatne usluge poput automatskog daljinskog očitavanja mjernih uređaja, raznih tarifnih usluga ili drugih usluga na polju kućne automatizacije. Korištenje elektroenergetske mreže, odnosno niskonaponske mreže za telekomunikacijske usluge još je interesantnije te može omogućiti stvarnu alternativu postojećim nacionalnim telekomunikacijskim fiksnim mrežama na polju govornih, fax i podatkovnih usluga, a osobito za brzi i jeftin pristup Internetu. Nadalje, radi se na korištenju kućnih instalacija kao lokalne mreže za prijenos digitalnih audio i video informacija pored ostalih podataka. Ova usluga je od globalnog interesa i trenutno se posebno propagira od strane udruženja «HomePlug Alliance» u SAD-u te od strane «Information Society Technologies (IST)» programa Europske Unije.

Ekperiment prijenosa govora putem niskonaponske mreže uspješno je obavljen i na splitskom FESB-u 1992. godine [6]. Razne studije i istraživanja pokazala su da kapacitet tipičnih distributivnih mreža na srednjem i niskom naponu omogućava prijenos podataka brzinama do nekoliko stotina Mbit/s koje se postižu kod frekvencija od oko 20 MHz.

Upotreba elektroenergetske mreže nije neograničena, kad su u pitanju frekventni opsezi potrebno je tek iznaći rješenja za rezerviranje frekvencija te odrediti granične razine koje će svih zadovoljiti. Budući je ovakva komunikacija i korištenje elektroenergetske mreže relativno nova djelatnost, prikladna mjerenja se tek trebaju izvršiti kako bi se izbjegla nedopustivo visoka radijacija signala. Trenutno glavni naponi usmjereni su ka rješenju koje bi jamčilo elektromagnetsku kompatibilnost.

## 2. ELEKTROENERGETSKI SUSTAV I NJEGOVA SVOJSTVA

Naponske razine povezane transformatorima projektirane su na način da su gubici električne energije minimalni pri mrežnim frekvencijama (50 ili 60 Hz). Transformatori su "prirodna" prepreka koja predstavlja idealnu separaciju za prijenos podataka na visokim frekvencijama. Ovo sugerira potrebu za odgovarajućom hijerarhijskom strukturom za planiranje komunikacijskog sustava.

### 2.1. Visoki napon

Visokonaponska mreža služi za prijenos električne energije na velike udaljenosti. Premda su prijenos električne energije i prijenos visokofrekventnih signala dalekovodom slični fizikalni procesi, postoje znatne razlike u svojstvima dalekovoda na različitim frekvencijama. Za 380 kV-ni trofazni dalekovod dužine 500 km prigušenje signala zbog gubitaka radne snage iznosi:

$$e^{\alpha(1\text{MHz}) \cdot 500\text{km}} \approx 2 \equiv 6 \text{ (dB)}$$

Ova niska vrijednost iznenađuje, ali nažalost, ne može se uzeti kao konačna za projektiranje sustava budući da niz dodatnih fizikalnih utjecaja kao što su inje, led, magla, gusti snijeg ili kiša može dovesti do povećanja prigušenja na visokim frekvencijama. Pored prigušenja zbog gubitaka radne snage treba voditi računa i o utjecaju zemlje (udaljenost između vodiča i zemlje je svega tri do četiri puta veća od udaljenosti između vodiča) te o dielektričnim gubicima. Utjecaj zemlje uzrokuje znatne gubitke zahvaljujući slaboj vodljivosti i visokom skin efektu na visokim frekvencijama. Prigušenje zbog utjecaja zemlje raste s frekvencijom. Tablica I. prikazuje prigušenje D na 100 km dalekovoda u ovisnosti o frekvenciji i za odnos udaljenost vodiča od zemlje / međusobna udaljenost vodiča = 3.5.

Tablica I. Prigušenje u ovisnosti o frekvenciji

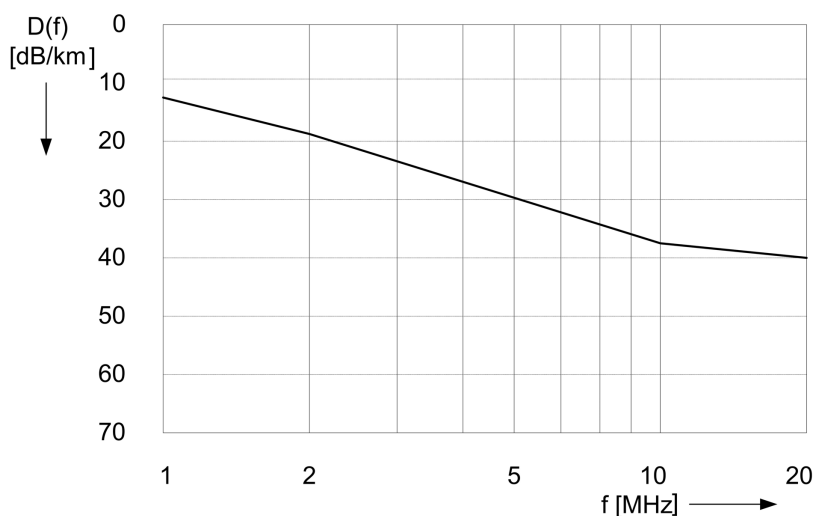
D na 100 km dalekovoda	f (kHz)
6.12 dB	200
9.25 dB	300
12.39 dB	400

Usporedba ovih vrijednosti s vrijednostima za prigušenje zbog omskog otpora pokazuje da se prigušenje zbog gubitaka radne snage može zanemariti.

Na visokom naponu ne smije se zanemariti utjecaj prenapona (uzrokovani sklopnim radnjama ili atmosferskim pražnjenjima) te širokopojasnog šuma tj. stalno prisutnog i visokog utjecaja korone odnosno tinjavog izbijanja. Utjecaj koronarnog izbijanja je značajniji od utjecaja prenapona budući da je ono na visokom naponu stalno prisutno.

## 2.2. Srednji i niski napon

U prošlosti transmisivna svojstva distributivnih mreža u MHz-nom frekventnom opsegu nisu se proučavala kako u teoriji, tako ni u praksi. Zahvaljujući velikom broju različitih topologija distributivne mreže, koje koriste različite vodove ili tipove kabela, opća teorijska analiza je teško izvodiva. Općenito, raspon vodova srednjenaponske mreže kreće se između 5 i 25 km. Za niskonaponsku mrežu tipične dužine vodnih polja kreću se od 100 do 1000 m. Prigušenje signala po srednjenaponskim i niskonaponskim nadzemnim vodovima je iznenađujuće nisko i praktički zanemarivo u odnosu na prigušenje po kabelskim vodovima. Ipak, istraživanja pokazuju da prigušenje u niskonaponskim kablovima ne dostiže kritične vrijednosti kod frekvencija do 20 MHz, čak i za duljine od jednog kilometra, slika 1.



Slika 1. Prigušenje po kilometru za standardne četverožilne kablove

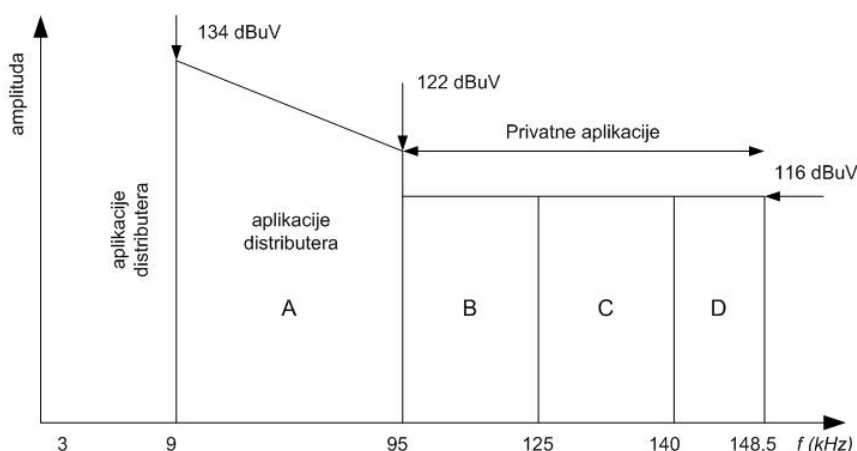
### 3. TEHNOLOGIJE

#### 3.1. Mrežno tonfrekventno upravljanje (MTU)

Za potrebe MTU koristi se frekventni pojas od 120 do 3000 Hz, a brzina prijenosa podataka je najviše par bitova u sekundi. MTU tehnika je u početku bila realizirana kao višefrekvencijski postupak pri kojem je prenošena suma više signala različitih frekvencija. Danas se isključivo koristi prijenos informacija putem jedne nosive frekvencije i to amplitudnom modulacijom (ASK – Amplitude Shift Keying) gdje se binarna jedinica prenosi slanjem signala nosive frekvencije, dok se za binarnu nulu signal ne šalje. Zbog male ulazne impedancije mreže na ovim frekvencijama potrebna je velika snaga odašiljača zbog čega je MTU jednosmjerna komunikacija.

#### 3.2. Europska norma EN 50065

Europska norma EN 50065 definira područje od 3 do 148,5 kHz za prijenos informacija putem elektroenergetske mreže, slika 2.



Slika 2. Frekvencijski pojas i razina signala po EN 50065

Frekvencijsko područje ispod 95 kHz (A pojas) namijenjeno je za aplikacije distributera, dok je područje od 95 kHz do 148,5 kHz (B, C i D pojas) predviđeno za privatnu upotrebu tj. upotrebu unutar objekta. Dopušteni nivo signala kreće se od 134 dB $\mu$ V ( $\approx 5$  V) do 120 dB $\mu$ V ( $\approx 1,25$  V) u A pojasu, a 116 dB $\mu$ V ( $\approx 0,631$  V) u B, C i D pojasu.

#### 3.3. Konvencionalne tehnike modulacije

##### 3.3.1. Amplitudna modulacija (engl. Amplitude Shift Keying – ASK)

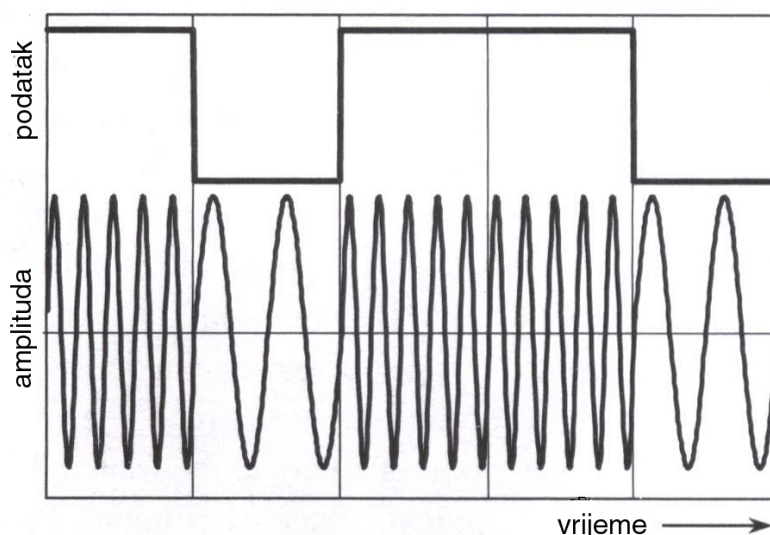
ASK modulacija funkcionira na način da se mijenja amplituda signala  $A(t)$ , a iznos amplitude je kodirana informacija o podatku, dok su frekvencija i faza nepromjenjive. Kod binarne amplitudne modulacije simbol "1" predstavljen je sinusnim valnim oblikom amplitude  $A > 0$ , dok je za simbol "0" rezerviran iznos amplitude  $A = 0$ .

##### 3.3.2. Fazna modulacija

Ovisno o podacima mijenja se faza, a konstantni su amplituda i frekvencija. Binarna fazna modulacija (engl. Binary Phase Shift Keying – BPSK) je najjednostavniji oblik fazne modulacije i može se promatrati kao amplitudna modulacija, uz uvjet da je binarni podatak "0" predstavljen amplitudom negativnog predznaka. Fazna modulacija može prenositi i simbole pri čemu je za različite simbole faza nosioca različita. Ako je broj simbola jednak  $M$ , modulacija se naziva  $M$ -PSK modulacijom. 4-PSK modulacija u literaturi se često nalazi pod kraticom QPSK (engl. Quaternary). Za kombinaciju amplitudne i fazne modulacije često se koristi kratica QAM (engl. Quadrature Amplitude Modulation). Ova vrsta modulacije koristi se isključivo za prijenos simbola koji sadrže više od dva bita.

### 3.3.3. Frekvencijska modulacija

Kod frekvencijske modulacije (engl. Frequency Shift Keying – FSK) modulacija amplituda i faza su konstantne, dok frekvencija signala ovisi o podacima. U primjeru na slici 3. binarna "1" predstavljena je nižom frekvencijom, a binarna "0" višom frekvencijom. Pouzdanost detekcije je veća ako su odabrane frekvencije nosilaca ortogonalne na intervalu dužine  $T$  (period simbola). Ortogonalnost se postiže odabirom nosilaca na frekvencijama koje su cjelobrojni višekratnici frekvencije simbola  $1/T$ . Prednost ovakvog odabira frekvencija je da valni oblik unutar jednog simbola uvijek počinje i završava u nuli, pa su time i istitravanja najmanja. Neki sustavi komunikacija niskonaponskom mrežom danas koriste tehniku koju nazivaju «raspršena FSK» (spread FSK), što ne predstavlja FSK sa jako udaljenim frekvencijama nosilaca.



Slika 3. Frekvencijska modulacija (FSK)

### 3.4. Redundantne tehnike modulacije

Primjena koja je inicirala razvoj tehnika raspršenja spektra bila je tehnika RADAR-a (RADio Detection And Ranging). Neke prednosti tehnike raspršenja spektra su:

- Moguće je višestruko korištenje istog frekvencijskog pojasa. Budući da se može generirati veliki broj kodova, može se dozvoliti i veliki broj korisnika.
- Signal je rasprostranjen preko širokog frekvencijskog pojasa - energija signala na pojedinoj frekvenciji je vrlo mala, pa ne utječe puno na kvalitetu ostalih komunikacijskih sustava.
- Privatnost podataka: bez poznavanja funkcije raspršenja praktički je nemoguće restaurirati podatke.

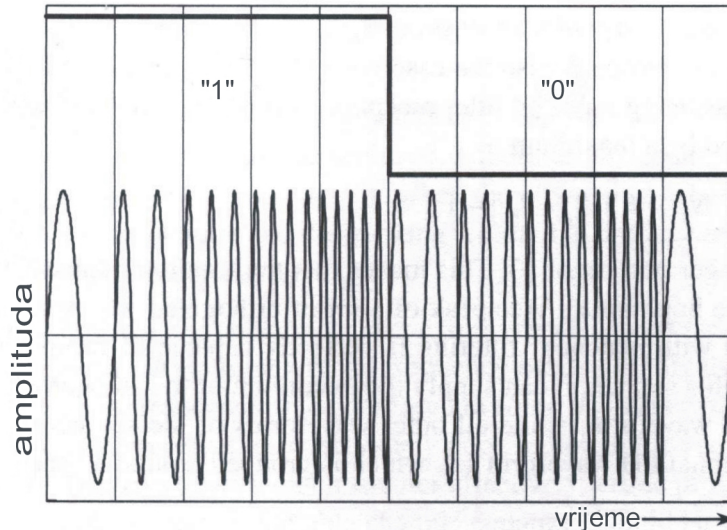
#### 3.4.1. Modulacija faznim skakanjem

Pri modulaciji faznim skakanjem (engl. Phase Hopping – PH) mijenja se fazni kut signala nosioca konstantne frekvencije u ovisnosti o pseudo-slučajnom nizu (koji predstavlja funkciju raspršenja) i o binarnim podacima. Najjednostavnija i u praksi najznačajnija varijanta ove modulacije je promjena faze nosioca za  $0^\circ$  odnosno  $180^\circ$  odnosno množenje signala s 1 ili  $-1$ .

#### 3.4.2. Modulacija frekvencijskih skakanjem (engl. Frequency Hopping – FH)

Ovo je posebna forma FSK modulacije koja za prijenos podataka koristi više od dvije frekvencije i mijenja frekvenciju prema unaprijed određenom redoslijedu. Princip frekvencijskog skakanja dan je na slici 4. Postoje dvije vrste:

1. Sporo frekvencijsko skakanje (engl. Slow Frequency Hopping – SSH)  
Unutar jednog skoka prenosi se jedan ili više bitova. U slučaju gubitka jednog ili više bitova moraju se koristiti kodovi za korekciju grešaka ili ponavljanje informacije na različitim frekvencijama.
2. Brzo frekvencijsko skakanje (engl. Fast Frequency Hopping – FFH)  
Kod ove tehnike je jedan bit raspodijeljen na više frekvencijskih skokova. Razlikovanje "1" i "0" bita može se postići promjenom redoslijeda odabranih frekvencija, vidi sliku 4.



Slika 4. Primjer prijenosa podataka FH modulacijom

Dakle, čak i ako je jedna (ili više, ovisno o broju skokova frekvencije u jednom bitu) frekvencija prigušena ili podvrgnuta jakim smetnjama, kodovi za korekciju pogreške nisu potrebni. Raspoloživi frekvencijski pojas se može bolje iskoristiti primjenom FH, nego primjenom PH modulacije. Još jedna prednost FH nad PH modulacijom je manja osjetljivost na grešku sinkronizacije, te je moguća sinkronizacija pomoću izmjeničnog napona 230V/50Hz kao globalne reference. Pomoću  $N$  nosivih frekvencija, koje se koriste u FH modulaciji, može se formirati  $N!$  (faktorijela) različitih kombinacija tzv. simbola. Na ovaj način 6 simbola može se predstaviti pomoću 3 frekvencije ( $N=3$ ), dok  $N=5$  frekvencija nudi 120 simbola. 6 simbola od  $N=3$  sposobno je prenijeti  $\lceil \log_2(6) \rceil = 2$  bita<sup>1</sup>, dok s  $N=5$  se može ostvariti  $\lceil \log_2(120) \rceil = 6$  bitova. Na ovakav način ostvarena je redundancija pomoću FH modulacije što prijenos podataka čini otpornijim protiv izostanka pojedine frekvencije ili utjecaja šuma. Ovo rezultira s padom brzine prijenosa, ali s velikim imunitetom na smetnje. U tablici II. prikazane su sve kombinacije odnosno obrada simbola s ukupno 3 frekvencije ( $N=3$ ).

Tablica II. Raspored frekvencija i obrada simbola

Broj simbola	Raspored frekvencija	FH modulacija	Obrada simbola
$S_1$	ABC	0	00
$S_2$	ACB	-	01
$S_3$	BAC	-	10
$S_4$	BCA	-	11
$S_5$	CAB	1	-
$S_6$	CBA	-	-

Iz tablice II. može se vidjeti da se jedino simboli  $S_1$  i  $S_5$  razlikuju u sve tri pozicije tako da ti simboli u FH modulaciji predstavljaju "0" odnosno "1". Na isti način i prijemnik ih tako jednostavno može prepoznavati. Isto tako stupac "Obrada simbola" pokazuje način predstavljanja bitova kao kombinaciju frekvencija, ali se u ovom slučaju 00 i 01 ili 00 i 10 razlikuju u svega dvije pozicije. Kad bi koristili svih šest simbola za prijenos podataka tada bi za kriterij odluke imali samo jednu različitu poziciju. To bi u slučaju

<sup>1</sup> [ . ] - podrazumijeva maksimalni cijeli broj od ( . )

greške jedne frekvencije dovodilo do pogrešne obrade. Zbog veće sigurnosti optimalna je obrada signala s  $N=4$  frekvencije, tablica III. Ovo rješenje je dovoljno otporno na smetnje, a zahvaljujući predstavljanju simbola s dva bita udvostručena je brzina.

Tablica III. Obrada podataka s  $N=4$  frekvencije

Raspored frekvencija	Podatak
ABCD	00
BCDA	01
CDAB	10
DABC	11

Ovdje su dakle, kao podatak uzete frekvencije koje se u kombinacijama razlikuju u svim pozicijama. Eksperimenti pokazuju da, nakon što primi start bit, prijemnik bez greške protumači poslani informacije i da se dogodi da izostanu 3 frekvencije. Na isti način ovaj princip se može uspješno primjenjivati s dvostrukim brojem frekvencija, npr. s 8 frekvencija bi jednom kombinacijom prosljeđivali četiri bita. Za praktičnu upotrebu u prijenosu podataka elektroenergetskom mrežom dovoljnu sigurnost i pouzdanost nudi opisana varijanta s četiri frekvencije.

### 3.4.3. OFDM

OFDM (engl. Orthogonal Frequency Division Multiplexing) je modulacijska tehnika sa više nosilaca koji se već koriste u DAB sustavima (engl. Digital Audio Broadcasting), u sustavima za brzi prijenos podataka telefonskom linijom (ADSL- Asymmetric Digital Subscriber Line), a predviđena je i za digitalnu televiziju. To je modulacijska tehnika raspršenja spektra koja se može izvesti iz već opisane tehnike frekvencijskog skakanja (FH). Ima malu spektralnu gustoću snage (raspoloživa snaga odašiljača raspodijeljena je na široki frekvencijski pojas), puno manju osjetljivost na smetnje nego konvencionalne uskopojasne modulacijske tehnike, a mogu se realizirati i sustavi s višestrukim pristupom. Podaci se prenose paralelno, tehnikom frekvencijskog multipleksa, pri čemu se raspoloživi frekvencijski pojas dijeli na veliki broj podkanala centralnih frekvencija. Jedna od prednosti OFDM-a nad FH modulacijom je u tome što se podaci prenose na više nosilaca paralelno te su tako moguće veće brzine modulacije.

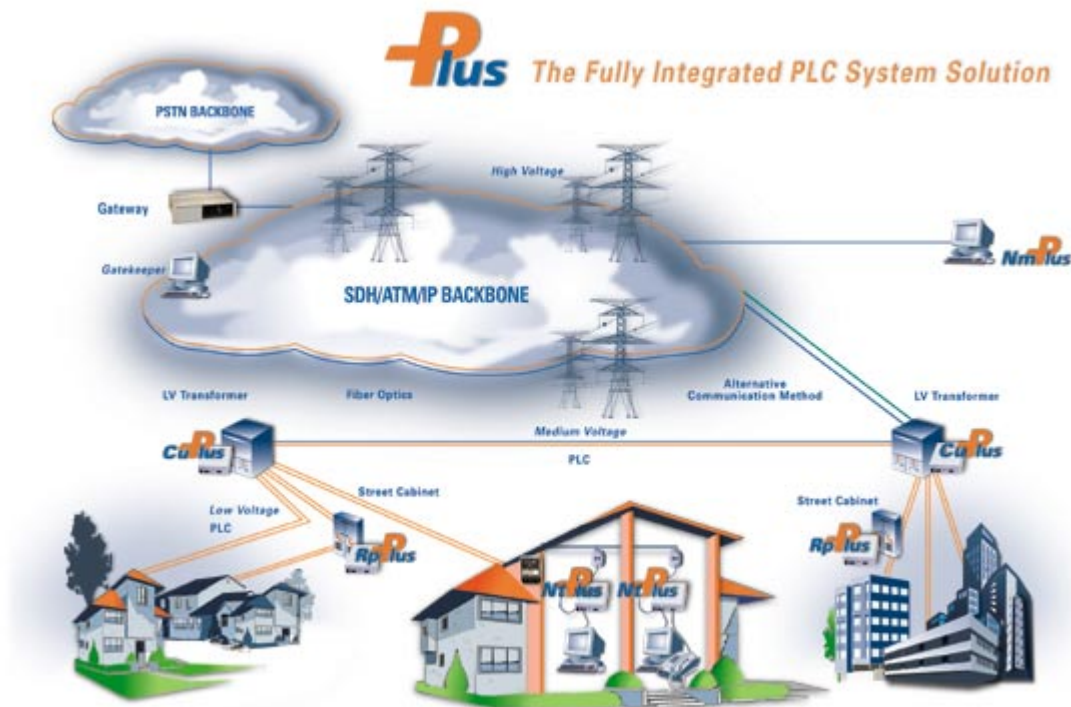
## 4. ISKUSTVA U SVIJETU

Prema dostupnim podacima u literaturi i na Internetu, do 2003. godine, proveden je veliki broj uspješnih pokusa i pilot projekata, a ponegdje je započela i komercijalna eksploatacija tehnologije. Uglavnom se radi o sustavima kojima se pored telekomunikacijskih usluga poput pristupa Internetu nude i usluge upravljanja potrošnjom el. energije, očitavanja brojila i sl. Ostvarene brzine prijenosa kreću se od nekoliko kbita/s kod tehnologija unutar norme EN 50065 odnosno od 0,5 do nekoliko desetaka Mbit/s u frekvencijskim područjima od 2 do 30 MHz. S opisanim projektima i proizvodima pojavljuju se slijedeće tvrtke: ABB, Adaptive Networks, Intracoastal, Iskraemeco, Powertec, Goerlitz Computerbau, Echelon, Itran i drugi nude proizvode i imaju projekte unutar norme EN 50065 ili slične USA norme. Imaju rješenja za niskonaponsku ili srednjenaponsku mrežu, a kao tehnologije koriste se frekvencijsko skakanje (FH), OFDM, širokopojasna modulacija raspršenja spektra, FSK, BPSK, DCSK modulacija i druge. Najčešća primjena je za potrebe telemetrije odnosno automatskog očitavanja brojila, automatizacije doma, daljinskog isključivanja neplatiša, fleksibilnog tarifiranja i slično.

Mainnet, Ascom, Keyin Telecom, Amperion, Siemens, Ambient, Enikia, Intellon, Phonex, PICorn, i drugi nude proizvode za usluge Interneta, telefonije, očitavanja brojila, kontrolu trošila, automatizacije doma, LAN-a, sigurnosne usluge i usluge alarmiranja, prijenos video i audio signala, upravljanja potrošnjom i drugo te opslužuju nekoliko tisuća korisnika, uglavnom u pilot projektima. Kao tehnologije najčešće se koriste OFDM i DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum). Pilot projekti ili ispitivanja vrše se u mnogim zemljama Europe ili Svijeta kao što su Njemačka, Švedska, Austrija, Finska, Francuska, Italija, Nizozemska, Engleska, Češka, SAD, Japan, Kina, Koreja, Malezija i dr. Sudeći prema dostupnim podacima najdalje je otišla izraelska tvrtka Main.net koja ima realizirane projekte u 40-ak elektrodistributivnih tvrtki u 15-ak zemalja Europe, SAD-a i drugdje.

#### 4.1. Main.net Communication Ltd.

Main.net koristi složenu modemsku tehnologiju kako je prikazano na slici 5.



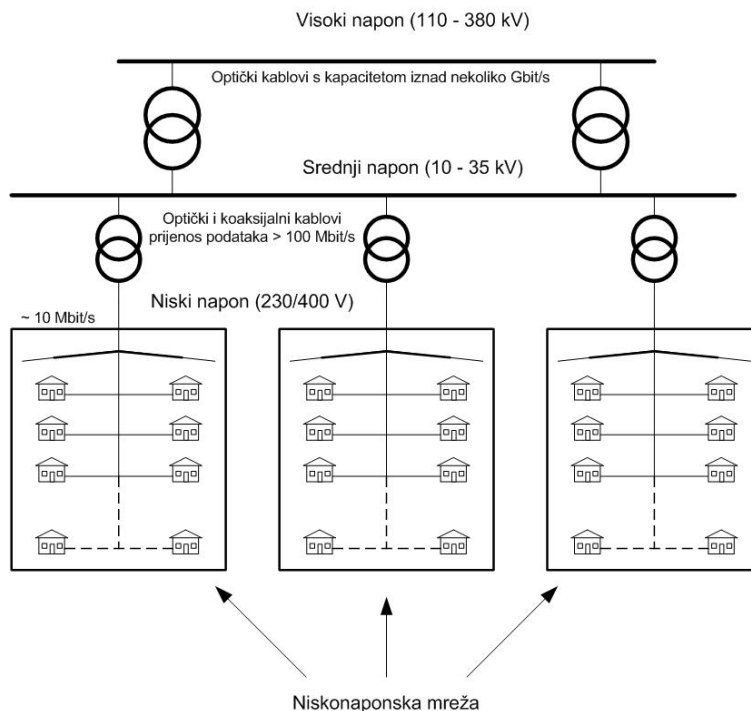
Slika 5. Koncept sustava tvrtke Main.net [11]

Kao tehnika modulacije primjenjuje se DSSS (vrsta tehnike raspršenja spektra), a transmisijske frekvencije kreću se od 4 do 25 MHz. Brzine komunikacije se kreću se do 10 Mbit/s, a razvijeni su sljedeći uređaji:

1. NtPLUS – kućna završna jedinica koja omogućuje razne komunikacijske usluge putem električne utičnice
2. RuPLUS – kućni mrežni kontroler, smješta se pokraj el. brojila i povezuje domove preko distribucijske niskonaponske mreže na mrežni kontroler CuPLUS
3. CuPLUS – mrežni kontroler smješten u blizini trafostanice s mogućim sučeljem prema optičkim, radio, žičanim i drugim medijima
4. RcPLUS – regionalni koncentrador, gateway prema IP, ATM, SDH, SONET i drugim sustavima
5. NmPLUS – sistemska kontrolna jedinica

Od usluga nude se Internet, telefonija, Voice over IP, automatsko očitavanje brojila i automatizacija doma. Tehnologiju tvrtke Main.net koristi do sada oko 10000 Europljana i to na na sljedećim lokacijama: Mannheim, Hameln, Dresden, Offenbach – Njemačka, Linz – Austria, Gotland – Švedska, Krakow – Poljska, Arnhem, Nuon – Nizozemska, Crieff, Campbeltown – Škotska, Helsinki – Finska, Union Fenosa - Španjolska. U navedenim primjerima koriste brzine prijenosa nekoliko puta brže od DSL-a, a u primjerima komercijalne primjene plaća se mjesečna pretplata od 30-ak € neovisno o vremenu provedenom na Internetu, dok se cijena priključne opreme kreće oko 300 €. Osim navedenog, širom SAD-a postoje pilot i komercijalni projekti koje koriste više stotina kupaca: Pennsylvania's PPL - Allentown, St. Louis, Ameren, City of Manassas, Ohio's American Electric Power i New York's Consolidated Edison i dr.





Slika 6. Prijenosne brzine na pojedinim razinama

## 5. ELEKTROMAGNETSKA KOMPATIBILNOST

Normom EN 50065 propisana je i jakost signala po pojedinim frekventnim pojasevima pa za to područje nije potrebno razmatrati utjecaj komunikacije elektroenergetskom mrežom na ostale sustave. No, u području od nekoliko MHz koje koriste davatelji usluga Interneta, a u kojem se elektroenergetske instalacije ponašaju kao antene, nije propisana dopuštena razina signala, odnosno dopuštena emisija elektromagnetskih valova. Iako proizvođači opreme tvrde da nema povišenog zračenja za vrijeme prijenosa podataka, ipak treba vršiti daljnja mjerenja emitiranog signala kao i njihov utjecaj na postojeće elektroničke uređaje i komunikacijske sustave kako bi se donio odgovarajući sud odnosno propis glede elektromagnetske kompatibilnosti.

## 6. ZAKONSKA REGULATIVA

Za širokopojasnu PLC tehnologiju još uvijek ne postoje norme. 1997. g. dva PLC foruma osnovana su u Europi, u suradnji s opskrbljivačima električne energije, davateljima usluga i proizvođačima opreme s nakanom da ubrzaju rad na normizaciji u odnosu na zakonske okvire kao što su rezerviranje frekvencija i elektromagnetska kompatibilnost (EMC). Dva foruma odlučila su 1999. g. udružiti snage i informacije u IPTF (International Powerline Telecommunication Forum) kako bi propisala niz frekventnih pojasa (dimnjaka) koji bi se koristili za komunikaciju elektroenergetskom mrežom, a koji isključuju širokopojasne radio, TV i amaterske frekventne opsege kako ne bi došlo do međudjelovanja.

## 7. ZAKLJUČAK

Dugi niz godina, elektrodistributivne tvrtke imaju nakanu koristiti distribucijsku mrežu za komunikacije i prijenos podataka. Iako su prvi patenti stvoreni 1899. godine, dvosmjerni prijenos podataka tek je nedavno postao stvarnost. Postojeća infrastruktura nadzemne i podzemne elektromreže te kućnih instalacija postala je sveprisutna komunikacijska platforma. Elektroenergetska mreža obavlja ulogu koja joj je prvenstveno namijenjena, tj. nije projektirana za prijenos podataka. Da bi se riješili problemi utjecaja niske impedancije, topologije mreže, mnoštva sklopničkih uređaja, transformatora i drugih

faktora elektroenergetska industrija ulaže napore kako bi pronašla optimalan način korištenja elektroenergetske mreže u komunikacijske namjene. Prema normi EN 50065 definirano je korištenje elektroenergetske mreže za prijenos informacija u frekventnom opsegu od 3 do 148,5 kHz. Iako je teoretski kapacitet tog opsega nekoliko megabita u sekundi (Mbit/s), u novije vrijeme sve više se radi na istraživanju mogućnosti komunikacija u području od 1 MHz do 30 MHz. Više proizvođača nudi praktična rješenja i vrše pokuse u 15-ak zemalja Europe te u SAD-u, iako to područje nije definirano normom. Prema dostupnim podacima u literaturi i na Internetu, do 2003. godine, proveden je veliki broj uspješnih pokusa i pilot projekata, a ponegdje je započela i komercijalna eksploatacija tehnologije. Uglavnom se radi o sustavima kojima se pored telekomunikacijskih usluga poput pristupa Internetu nude i usluge upravljanja potrošnjom el. energije, očitavanja brojlara i sl. Ostvarene brzine prijenosa kreću se od nekoliko kbita/s kod tehnologija unutar norme EN 50065 odnosno od 0,5 do nekoliko desetaka Mbit/s u frekvencijskim područjima od 2 do 30 MHz. Upravo udruge kao što su PLC forum, Home Plug Powerline Alliance, United Powerline Council i dr. ulažu napore kako bi se rješila zakonska regulativa. Kapacitet prijenosa informacija u tom frekventnom području kreće se do 100 i više Mbit/s čime su se otvorile razne mogućnosti kao što su, pored Interneta, prijenos audio signala te distribucija video signala.

## LITERATURA

- [1] K. Dostert: *Powerline Communications*, Prentice – Hall, Inc., 2001.
- [2] M. Slišković, B. Jeren: *Prijenos digitalnih podataka niskonaponskom distributivnom mrežom*, Znanstvena studija, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2000.
- [3] M. Zimmermann, K. Dostert: *A Multi – Path Signal Propagation Model for the Power Line Channel in the High Frequency Range*, Proceedings of the Intern. Simp. on Power Line Communications and its Appl., Lancaster, United Kingdom, 1999.
- [4] K. Dostert: *EMC Aspects of High Speed Powerline Communications*, Proceedings of the 15<sup>th</sup> International Wroclaw Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility, Wroclaw, June 2000.
- [5] A. M. Noll: *Tehnological Challenges of Powerline Telecommunication*, February 5, 2002.
- [6] I. Marinović, Ž. Čavka, I. Zanchi: *Prijenos informacijskih signala kroz niskonaponsku elektroenergetska mrežu*, Elmar, Zadar 1993.
- [7] Ž. Čavka: *Prijenos govora preko niskonaponske energetske mreže*, Diplomski rad, FESB 1992.
- [8] International Powerline Communications Forum (<http://www.ipcf.org>)
- [9] Home Plug Powerline Alliance (<http://www.homeplug.org>)
- [10] PLC Forum (<http://www.plcforum.org>)
- [11] <http://www.mainnet.co.il>
- [12] United Powerline Council (<http://www.uplc.utc.org>)
- [13] <http://www.powerlinecommunications.net>
- [14] Christopher Helman, *Tilting at Power Lines*, 20.01.2003., <http://www.forbes.com>
- [15] Plexteon Logistics, Inc. <http://www.plexteon.com>