

Prenos podatkov po elektroenergetskih vodih nizke napetosti z narinjenimi signali visoke frekvence

Rudi Čop

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za pomorstvo in promet

Pot pomorščakov 4, 6320 Portorož

E-mail: rudi.cop@fpp.edu

Transmission of the data through the low voltage electroenergetic lines with VF signals

Abstract: In the article a mode of the transmission of the data through the low voltage electroenergetic lines is described. For this purpose special modems guaranteeing a high reliability of transmission are used. They enable the communication between digital and analogic devices for automation, protection and signalling in systems employing also electric energy. Besides that the proposed technical solution is cheaper in cases where special additional signal lines are needed.

1 Uvod

Za povezavo informacijskih sredstev v mrežo z digitalnim prenosom podatkov bi se lahko uporabili tudi obstoječi energetski vodi v stanovanjskih prostorih, poslovnih zgradbah, kot tudi v vozilih: avtomobilih, ladjah, vlakih, letalih in vesoljskih vozilih. Zelo razvejana mreža vodnikov za dobavo električne energije že obstaja in ponuja najbolj neposreden dostop do porabnika kar jo je mogoče doseči s pomočjo žic. Poleg tega pa je vsaka naprava za prenos in obdelavo digitalnih podatkov vsaj občasno priključena na javno elektroenergetsko mrežo nizke napetosti.

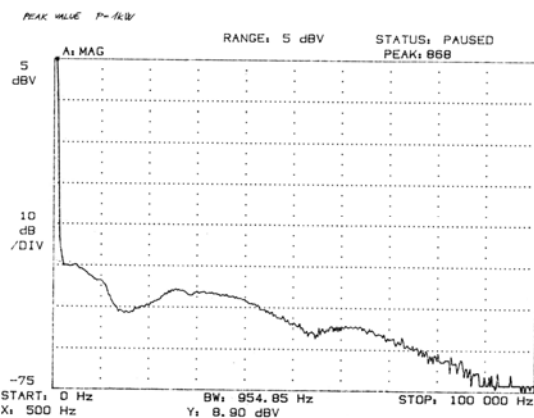
Kljub velikim možnostim, ki jih ponuja prenos podatkov po obstoječih elektroenergetskih vodih obstaja še veliko dvoma o primernosti tehnologij za tak prenos in o njegovi ekonomski opravičenosti. Še vedno so na tem področju prenosa podatkov številni nerešeni tehnični problemi in tudi nedorečeni zakonski predpisi.

Sama električna napeljava v hiši ni hvaležen medij za prenos visokofrekvenčnih signalov. Z vključevanjem in izključevanjem porabnikov spreminja obliko, duši signal v odvisnosti od uporabljene frekvence in ima zelo različne nivoje motenj. Pri nekaterih frekvencah je dušenje signala tako močno, da pade pod nivo termičnega šuma okolice. Vse te lastnosti pa se zelo naglo in nepredvidljivo spreminjajo s časom [1].

2 Razvoj komunikacijskih modemov

Cena razvoja komunikacijskih modemov za prenos podatkov po mreži nizke napetosti je bila določena na osnovi ocene vrednosti inštalacijskih del za polaganje signalnih vodov v hotelskih objektih.

Zaradi uporabe cenениh in že standardiziranih vezij so kot izhodišče služili interfon, ki za prenos signalov uporabljajo elektroenergetsko mrežo nizke napetosti. Z njimi si pomagajo delavci pri montažah, rudarjem služijo kot pomožni komunikacijski sistem in v gospodinjstvih z njimi nadzorujejo majhne otroke v oddaljenih prostorih. Pri testiranju teh interfonov je bilo ugotovljeno, da oddajajo preslaboten signal. Pokrivajo območje le nekaj deset metrov. Ker oddajajo v področju radijskih frekvenc, pa pri povečanju oddajniške moči ne bi več ustrezali temeljnemu zakonu o sistemu zvez. Tudi izbrani prenos povelj za vklop in izklop relejev s pomočjo štirih tonskih frekvenc ni bil zanesljiv.



Slika 1: Močnostni spekter motenj v industrijski električni napaljavni nizke napetosti.

Izhodišča za nadaljnji razvoj komunikacijskega modema za prenos podatkov po elektroenergetskih vodih nizke napetosti so se določila na osnovi zbranih podatkov s preizkusov z interfoni za prenos govornega signala na majhne razdalje po tem komunikacijskem mediju.

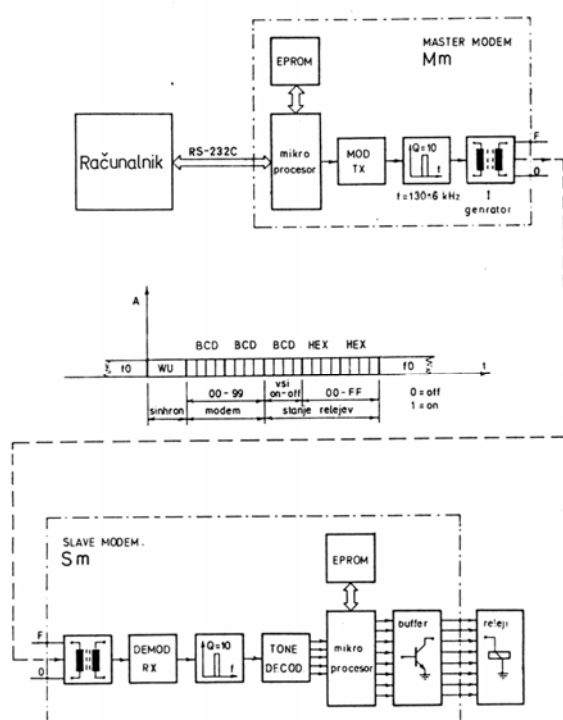
- Sestavljen bi moral biti iz cenениh sestavnih delov, ki so enostavno dosegljivi na trgu in že večkrat uporabljeni. Tako bi se poenostavilo njihovo vzdrževanje.
- Prenos podatkov naj bo čim bolj zanesljiv. Redundanco sistema se bo povečala na škodo hitrosti prenosa podatkov. Hitrost pa se bomo kasneje povečevala s primerno izbiro komunikacijskih kod.
- Obratovanje modemov mora biti zanesljivo. Zanesljivost sistema se poveča, če vsebuje manjše število elementov. Tako se tudi skrajša čas, potreben za nadzor in popravilo modemov.
- Modemi naj bodo čim bolj univerzalni in uporabni tudi v sistemih za avtomatizacijo procesov v industriji.

Modemi so bili sestavljeni iz integriranih vezij CMOS (complementary metal-oxide semiconductor), ki zagotavljajo majhno občutljivost na zunanje motnje in zanesljivost obratovanja. Pri razvoju modemov je bil uporabljen ozkopasovni simpleksni prenos podatkov s pomočjo tonskih frekvenc. Nosilna frekvenca je bila postavljena v področje

ultrazvočnih frekvenc. Pri njeni izbiri je bila v veliko pomoč slika močnostnega spektra motenj v elektroenergetski mreži nizke napetosti (Slika 1) in ustreznimi komunikacijski standardi.

Blokovna shema simpleksnega komunikacijskega sistema, ki je bil razvit (Slika 2), kaže, da so modemi zgrajeni podobno kot vse visokofrekvenčne naprave, ki prenašajo informacije s pomočjo sinusnih signalov. Napetostni nivo za prenos uporabljene elektroenergetske mreže je omejen le s kondenzatorji na izhodni in vhodni stopnji modemov. Izhodna stopnja modema za oddajanje (master modem) je krmiljeni tokovni generator zato, da se lahko prilagaja na spremenljivo impedanco mreže (Slika 3). Da se zadušijo motnje visokih frekvenc in poveča zanesljivost delovanja modemov za sprejem, master modem stalno oddaja. Za modulacijo in demodulacijo so bila uporabljena vezja PLL (phase-locked loops), ki omogočajo tudi razširitev na semi-dupleksno povezavo modemov. Uporabljena modulacija FSK (frequency-shift keying) ustreza priporočilom CCIR (Consultative Committee for International Radio) za zaporedje tonov pri analognem prenosu digitalnih signalov. Posamezni digitalni signal traja 100 ms, pri čemer se v tem času prenese informacijska vsebina en zlog (nibble) ali štirje biti.

Poleg aktivnih analognih filtrov, ki prepuščajo le uporabljeni frekvenčni pas, so bili sprejemnemu modemu (slave modem) dodani še digitalni filtri (Slika 4). Zaradi njih komunikacija zanesljivo deluje vse do 40 dB razmerja med koristnim signalom in šumom. Teoretična zanesljivost dekodiranja je 10^{14} let. S preizkusi je bil dokazano, da je sprejem in dekodiranje resnično zanesljivo tudi v izjemno slabih pogojih obratovanja, ki jih nudi bližina močnega radijskega oddajnika in strojev, ki iskrijo.



Slika 2: Blokovna shema enosmernega komunikacijskega sistema za prenos digitalnih signalov po elektroenergetski mreži nizke napetosti.

3 Uporaba in nadaljnji razvoj modemov za prenos podatkov po električni napeljavi

Modemi so se izkazali primerni za prenos podatkov, kjer je zahtevana visoka zanesljivost in zadostuje manjša hitrost prenosa. Uporabni so v primerih, kjer obstoječi elektroenergetski vodi lahko nadomestijo drage signalne vode:

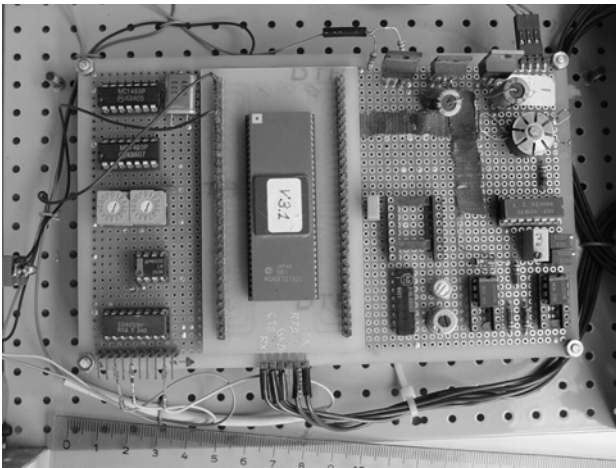
- za daljinsko krmiljenje, kot na primer vklop in izklop energetskih naprav;
- za zanesljivo obveščanje, kot je prenos sporočil na printer ali na primeren zaslon;
- za signalizacijo in zavarovanje, kot je javljanje požara, zavarovanje pred vlomi, itd..

Sistem za nadzor konične električne energije, ki je bil postavljen v hotelskem podjetju Hoteli Palace Portorož, je uporabljal za izklop in vklop posameznih električnih bremen signale visoke frekvence [2]. Ti so se širili po obstoječi

elektroenergetski mreži nizke napetosti. V mesecu juniju 2004 je bilo modemom, ki so omogočali tako vrsto komunikacije, po več kot petnajstih letih neprekinjenega delovanja izključeno napajanje Sam sistem za nadzor nad konično električno energijo pa se je nehal uporabljati po zaprtju starega hotela Palace že deset let prej. Sistem za nadzor nad porabo konične električne energije, ki za prenos signalov uporablja obstoječo elektroenergetsko omrežje nizke napetosti, je bil postopoma razvit v štirih letih. Je rezultat domačega znanja in tehnologije. Nadzoruje lahko do 400 različnih potrošnikov električne energije. Sistem je dobil ustrežni atest in se v praksi izkazal kot uporaben in zelo zanesljiv. Skupaj z nadzornim in izvršnim delom predstavlja še danes posebnost na evropskem tržišču.

Doseženi rezultati so dali povod za načrtovanje nadaljnega razvojnega dela na področju prenosa podatkov po obstoječih elektroenergetskih vodih nizke napetosti.

- Modeme za prenos podatkov po elektroenergetski mreži bi se lahko razvilo tako, da bi bili primerni za semi-dupleksni prenos podatkov. Z njimi bi lahko sestavili računalniško mrežo.
- Modeme bi se lahko usposobilo tudi za daljinske meritve. Obvladovali bi telemetrijo in nadzor nad delovanjem posameznega modema bi se izvajal iz enega samega mesta.
- Število uporabljenih sestavnih delov bi se še dalo zmanjšati, kar pomeni, da bi lahko doseglo še večjo zanesljivost delovanja, pocenitev in zmanjšanje velikosti modema.
- Vse oblike modemov bi bile lahko izdelane na eni tiskanini in iz istih sestavnih delov. S programsko opremo teh modemov bi se jim potem določevalo način delovanja.
- Z uporabo ustreznih kod bi lahko povečali hitrost prenosa podatkov pri ohranjeni zanesljivosti.



Slika 3: Oddajni modem za prenos digitalnih podatkov s pomočjo sinusnega nosilnega signala.

4 Hišno digitalno komunikacijsko omrežje

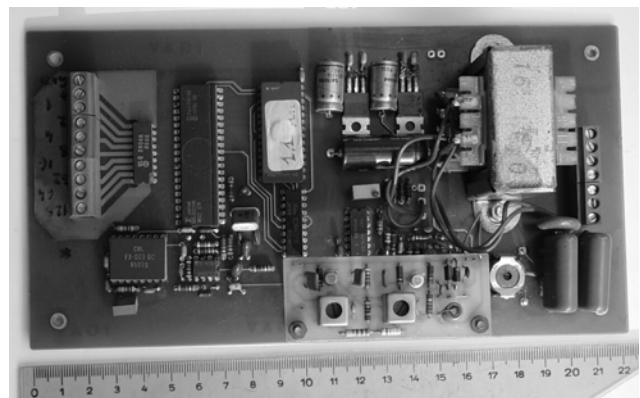
Dostop do Interneta je postal že tako potreben kot priklop na javno električno omrežje. Razvija se naslednja generacija širokopasovne telefonije, ki poleg prenosa govora omogočajo tudi hitri prenos podatkov. Zato se je hitrost prenosa podatkov povečala iz manj kot 14 kib/s na 2 Mib/s. Omogočen je širokopasovni dostop do Interneta ter prenos video signalov v realnem času. Ta razvoj pa zahteva nove tehnologije na vseh ravneh, ki morajo biti optimizirane tako za prenos govora kot tudi podatkov. Poleg razvoja Interneta je na razvoj širokopasovnih digitalnih komunikacijskih omrežij vplival tudi razvoj in pocenitev integriranih vezij. Vse to je povzročilo, da so ta omrežja že vsepovsod prisotna in da vplivajo na naše vsakdanje življenje [3]. S pomočjo Interneta se danes že lahko opravlja nekaj hišnih opravil: plačevanje računov, naročanje v trgovini, prenos televizijskih programov, pošiljanje sporočil, sprejemanje novic in ne nazadnje ponuja Internet tudi del domače zabave. Za nekatere lastnike je zato že neizogibna povezava njihovih bivališč s svetovnim spletom (word wide web). Pričakujejo, da bo dostop do Interneta mogoč že iz vsakega dela njihovega bivališča tako, kot so urejeni priključki na dovod električne energije. Tako hišno digitalno omrežje omogoča

prenosljivost informacijskih sredstev in njihovo medsebojno komuniciranje kot tudi povezavo s svetovnim spletom.

Od hišnega digitalnega komunikacijskega omrežja se pričakuje, da se ga enostavno postavi po razumni ceni in z majhnimi stroški vzdrževanja. Na razpolago so tri oblike takega hišnega omrežja:

- namenska žična omrežja, kot so namenske žične povezave ali koaksialni kabli za hitri Ethernet ter običajne telefonske povezave,
- brezžična računalniška omrežja W-LAN (wireless local area network), ki so v velikem razvoju,
- digitalno računalniško omrežje, ki izkorišča obstoječo električno napeljavo nizke napetosti v stanovanju tudi za prenos digitalnih signalov.

Pri izbiri je običajno odločilnega pomena velikost posega v obstoječe stanje ob postavitvi računalniškega omrežja. Najbolj primeren je sistem, ki se ga enostavno vključi in takoj tudi lahko uporablja (plug & play).



Slika 4: Sprejemni modem za daljinski nadzor električnih strojev in naprav.

5 Prenos digitalnih signalov po obstoječi električni napeljavi

Prenos digitalnih signalov po obstoječi električni napeljavi v hiši je cenena rešitev, ki omogoča vključevanje informacijskih naprav preko obstoječih električnih vtičnic standardne

izdelave. Teh vtičnic je v povprečju v stanovanju 45, telefonskih pa je običajno le ena do največ petih. Ni pa ta način komunikacije najbolj primeren za prenosne naprave, vendar je tudi v tem primeru mogoča njihova uporaba ob vključitvi na električno napeljavo preko polnilcev njihovih akumulatorskih baterij.

Vsaka od komunikacijskih naprav dobiva električno energijo preko električnega priključka iz hišne električne napeljave. Lahko pa je preko enega od njenih standardnih vhodov (MII, PCI, USB, 10Base-T), komunikacijskega vmesnika in analognega dela AFE (analog front end) dobiva iz električne napeljave tudi digitalne signale. Celoten tak sistem za digitalno komunikacijo PLC (power line communication) je lahko zgrajen kot kartica NIC (network interface card), ki se vtakne v informacijsko napravo ali pa kot vmesnik, ki se vključuje v vhod USB (universal serial bus). Lahko pa to isto nalogo opravlja posebej izdelana naprava v obliki električnega priključka in dodatnih priključkov za vhode USB.

Težavam pri prenosu digitalnih signalov po obstoječi hišni električni napeljavi se da izogniti z navidezno naključno modulacijo nosilnega signala in z razširitvijo uporabljenega frekvenčnega področja [4, 5]. Razširitev signala po širšem frekvenčnem območju poveča verjetnost, da se bo vsaj del njega prenesel po celotnem omrežju. Za večkratni istočasni prenos podatkov pa je najbolj uporaben ortogonalni sistem z različnimi nosilnimi frekvencami OFDM (orthogonal frequency - division multiplexing). V posebno slabih pogojih pa se

po določitvi lastnosti komunikacijskega medija lahko uporabi kodiranje z visoko stopnjo redundance.

Visokofrekvenčni signal iz hišnega računalniškega omrežja, ki uporablja obstoječe električno napeljavo, se ne more širiti preko energetskega transformatorja v električni mrežo srednje in visoke napetosti. Lahko pa se del njega izgubi v neposredno okolico. Z inskripcijo se da izogniti tem nevšečnostim in zagotovi zasebnost prenesenih podatkov.

6 Literatura

- [1] *Home Networking Over Power Lines*. White paper. Toronto (CAN): Cogency Semiconductor Inc., 2002.
- [2] R. Čop, H. Gregorc, *Nadzor nad konično električno močjo v hotelskem podjetju*. EGES Energetika, gospodarstvo, ekologija, 2004, no.4, p.76-78.
- [3] *The Future is Now: Next Generation Wireless Test Bed*. 03-GA50240-01. INEEL Idaho National Engineering and Environmental Laboratory, 2001.
- [4] G. Bumiller, *System Architecture for Power-Line Communication and Consequences for Modulation and Multiple Access*. ISPLC 2003 in Kyoto. Großhabersdorf (D): iAd GmbH, 2002.
- [5] H. Akkermans, D. Healey, H. Ottosson, *The Transmission of data over the Electricity Power Lines*. Power Line Telecommunication Report. European Commission Tesk contract No. 116503. Malmö (S), 1998.