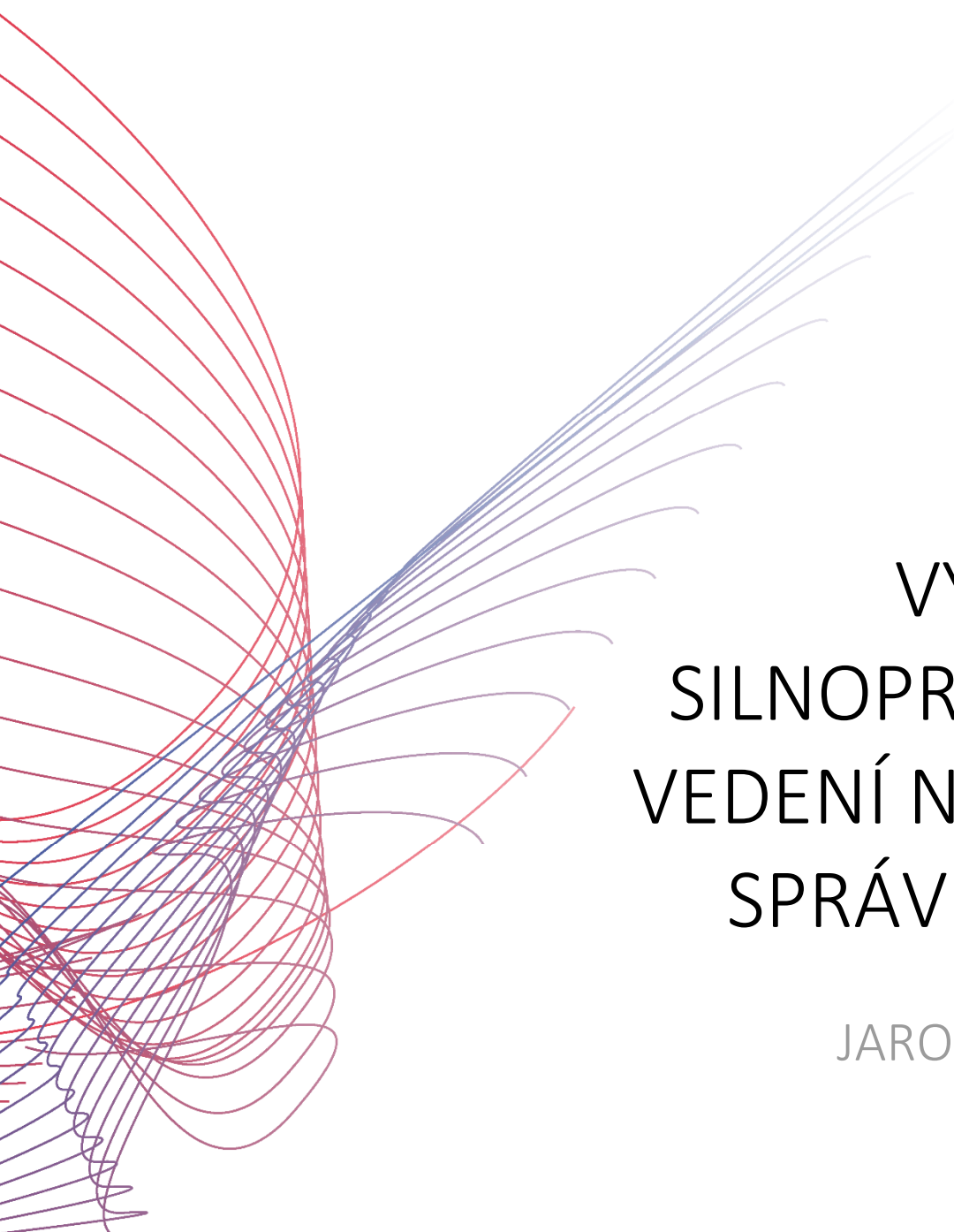




TECH  
pedia



VYUŽÍVANIE  
SILNOPRÚDOVÝCH  
VEDENÍ NA PRENOS  
SPRÁV (PLC, BPL)

JAROSLAV SVOBODA

**Názov:** Využívanie silnoprúdových vedení na prenos správ (PLC, BPL)  
**Autor:** Jaroslav Svoboda  
**Preložil:** Ján Dúha  
**Vydalo:** České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická  
**Kontaktná adresa:** Technická 2, Praha 6, Česká republika  
**Tel.:** +420 224352084  
**Tlač:** (iba elektronická)  
**Počet strán:** 27  
**Edícia (vydanie):** 1. vydanie, 2017  
**ISBN** 978-80-01-06280-7

**TechPedia**

European Virtual Learning Platform for  
Electrical and Information Engineering

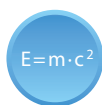
<http://www.techpedia.eu>



Tento projekt bol financovaný s podporou Európskej Komisie.

Táto publikácia (dokument) reprezentuje výlučne názor autora a Komisia nezodpovedá za akékoľvek použitie informácií obsiahnutých v tejto publikácii (dokumente).

## VYSVETLIVKY



Definícia



Zaujímavosť



Poznámka



Príklad



Zhrnutie



Výhody



Nevýhody

---

## ANOTÁCIA

Modul popisuje rôzne spôsoby a prístupy využívania silnoprúdových vedení a sietí na prenos správ. Obsahuje popis jednotlivých telekomunikačných technológií, ktoré realizujú prenos prostredníctvom silnoprúdových vedení a sietí. Ďalej popisuje možné uplatnenie týchto systémov v rámci energetickej inteligentnej siete (Smart Grid).

## CIELE

Študent získa základný prehľad o rozdieloch medzi prenosovými vlastnosťami oznamovacích a silnoprúdových vedení. Zároveň sa zoznámí s princípmi a použitím úzkopásmových a širokopásmových telekomunikačných technológií, ktoré sa prevádzkujú prostredníctvom energetických vedení a sietí (hromadné diaľkové ovládanie, vysokofrekvenčné komunikačné systémy – tzv. elektrárenskú telefóniu, lokálne systémy na prenos diaľkového merania, diaľkovej signalizácie, diaľkového ovládania a širokopásmové systémy na prenos dát. Tieto poznatky môžu pomôcť študentom pri ich nasadzovaní v rámci transportných a hlavne prístupových sietí. Študenti získajú základný prehľad o vývoji energetických sietí a zavádzaní energetických inteligentných sietí Smart Grid. Na tomto základe sa naučia zhodnotiť úlohu a výhodnosť systémov PLC a BPL pri realizácii konkrétnych telekomunikačných sietí.

## LITERATÚRA

- [1] SVOBODA, Jaroslav, Širokopásmový telekomunikačný systém po silnoprúdovom vedení, Prenosové systémy pro energetiku. Kapitola vysokoškolské učebnice autorů Sobotka a kol. Přenosové systémy. Praha SNTL. 1989
- [2] SVOBODA, Jaroslav. Hromadné dálkové ovládání. Praha. ČVUT v Praze. 1974
- [3] SVOBODA, J. a kol.. Telekomunikační technika – 3. díl. Praha. Sdělovací technika. 1999
- [4] SVOBODA, Jaroslav Využívání silnoprúdových vedení a sítí pro přenos zpráv, České vysoké učení technické v Praze 2012, 230 stran, ISBN 978-80-01-05168-9

# Obsah

<b>1</b>	Úvod.....	<b>6</b>
1.1	Historický vývoj .....	6
1.2	Parametre komunikácie po silnoprúdových vedeniach .....	8
<b>2</b>	<b>Hromadné diaľkové ovládanie (HDO).....</b>	<b>9</b>
2.1	Prístupová časť siete.....	10
2.2	Aplikácie .....	12
<b>3</b>	<b>Vysokofrekvenčná elektrárenská telefónia (VET).....</b>	<b>13</b>
3.1	Elektrárenská telefónia v súčasnosti.....	15
<b>4</b>	<b>Úzkopásmové systémy PLC pre lokálnu telematiku.....</b>	<b>16</b>
4.1	Vývoj v oblasti služieb .....	17
4.2	Normy pre PLC, frekvenčné pásma .....	19
<b>5</b>	<b>Širokopásmové systémy PLC na prenos dát.....</b>	<b>20</b>
5.1	Varianty systémov BPL v praxi .....	21
5.2	Parametre BPL .....	22
<b>6</b>	<b>Postavenie systémov PLC v procesoch konvergenzie teleinformatických sietí a služieb a budovania inteligentných sietí.....</b>	<b>24</b>
6.1	Inteligentné siete - Smart Grids .....	25
6.2	Alternatívne zdroje energie .....	26
<b>7</b>	<b>Záver.....</b>	<b>27</b>

# 1 Úvod

## 1.1 Historický vývoj

V roku 1866 patentoval nemecký inžinier Ernst Werner von Siemens (1823 – 1883) dynamo s vlastným budením, ktoré vytvorilo základ pre začiatkový rozvoj elektroenergetiky. Umožňovalo premenu mechanickej alebo tepelnej energie na elektrickú energiu v zariadení v tom čase s pomerne veľkým elektrickým výkonom. Od pôvodného lokálneho použitia elektrickej energie sa prišlo aj k diaľkovému prenosu energie. Francúzsky elektrotechnik Marcel Deprez (1843 - 1918) bol jedným z prvých, ktorí prakticky zrealizovali jednosmerný prenos na väčšiu vzdialenosť. V roku 1873 predviedol prenos medzi dynamom a motorom po už vybudovanom telegrafnom vedení na vzdialenosť 1 km.

V tom čase začali vznikať aj prvé jednosmerné elektroenergetické siete. Tie slúžili na to, aby sa miesta spotreby elektrickej energie mohli vzdialiť od miest jej výroby. Tie boli spravidla len tam, kde boli k dispozícii významné energetické zdroje (vodné toky, náleziská uhlia a pod.). Už od samotného začiatku jednosmerných siet sa premýšľalo aj o tom ako tieto namáhavo vybudované vedenia využiť aj na prenos správ. Najprv vznikla požiadavka na prenos správ na riadenie a kontrolu energetických prenosov. K jednosmernej energetickej zložke sa pridávali striedavé napätia, ktoré umožňovali vytvorenie jednoduchého signalizačného systému. K tomu muselo byť zároveň vyriešené naviazanie slaboprúdovej ovládacej časti na silnoprúdovú jednosmernú sieť vrátane bezpečnosti zariadenia aj obsluhy.



---

Prenos informácie v striedavej elektroenergetickej sieti mohol potom byť na lokálnej úrovni nn realizovaný pomocou impulzov jednosmerného prúdu. Tieto aplikácie však vyžadovali prídavné jednosmerné zdroje a boli veľmi ťažkopádne aj z hľadiska väzby zariadenia a vedenia. Preto boli rýchlo nahradené systémami s prenosom signálov pomocou striedavých prúdov s frekvenciami vyššími ako bola nominálna frekvencia siete. Najprv išlo znova o jednoduchú signalizáciu slúžiacu na riadenie prevádzky týchto sietí. Neskoršie vznikali jednoduché systémy na diaľkové ovládanie napr. úsekových siet'ových odpojovačov. Vždy sa jednalo buď o adresnú diaľkovú signalizáciu stavu určitého objektu alebo o adresné ovládanie vybraného jediného objektu zo vzdialeného povelového miesta, prípadne o obojsmerné spriahnutie týchto systémov. Pre tieto účely sa najčastejšie využívali siete nn, veľmi zriedkavo aj siete vn.

---

Súčasne s tým sa približne od 30. rokov minulého storočia v energetike začali zavádzať aj systémy *hromadného diaľkového ovládania (HDO)*, ktoré naopak z jediného centrálného miesta vysielali signál do rozvetvenej silnoprúdovej siete. Na tento signál reagovali celé skupiny diaľkovo ovládaných zariadení a vyvolával buď dohodnutý signál alebo spínicu funkciu.

Výstavba robustných a mechanicky náročných diaľkových silnoprúdových vedení vn a vvn navodzovala hneď od začiatku rozvoja energetiky myšlienku ich využitia aj na prenos telefónie. To odštartovalo aj prvé pokusy využiť tento princíp pri silnoprúdových vedeniach vo forme tzv. vľ elektrárenskej telefónie. V ČR začala

výroba týchto zariadení už pred druhou svetovou vojnou v podniku Telegrafia Praha (predchodca závodu Tesla Strašnice). Po vojne výroba týchto zariadení pokračovala.



---

V súčasnej dobe stále viac narastá podiel vzdušných trojfázových vedení vvn, ktoré majú do ochranného metalického lana zabudovaný špeciálny optický kábel. Pomocou optického kábla je možné takýmto vedením preniesť relatívne veľké dátové toky, ktoré sú obvyklé v klasických telekomunikačných sieťach s optickými káblami.

---

Ďalší vývoj telekomunikačnej techniky potom umožnil aplikácie využívajúce aj nn distribučné časti energetických sietí na vytváranie úzkopásmových systémov slúžiacich na účely lokálneho ovládania, signalizácie a diaľkového merania (napr. odpočty stavov elektromerov). Pokročilé prenosové technológie vyvinuté hlavne na prenos telekomunikačných signálov v rádiových prostrediach s vysokou hladinou rušenia však umožnili aj realizáciu širokopásmových dátových systémov s vysokými prenosovými rýchlosťami v relatívne veľmi nepriaznivom elektromagnetickom prostredí distribučných elektroenergetických sietí.

## 1.2 Parametre komunikácie po silnoprúdových vedeniach

Názov pásma	Podhovorové	Hovorové	Stredofrekvenčné	Vysokofrekvenčné
Rozsah pásma	$f < 300 \text{ Hz}$	$f = 0,3 - 4 \text{ kHz}$	$f = 4 - 150 \text{ kHz}$	$f > 150 \text{ kHz}$
Použitie	HDO	HDO	DS, DO, DM Telefónne a úzkopásmové dátové služby	Telefónne a širokopásmové dátové služby
Príklady používaných frekvencií	0 Hz, 50 Hz 166 Hz, 217 Hz	300 Hz – 2500Hz 300 Hz – 3400Hz 316 Hz, 425 Hz 1050 Hz	3 – 95 kHz 9 – 95 kHz 95 – 148,5 kHz	40 kHz – 750 kHz 1 MHz – 30 MHz

Pre všetky tieto systémy sa začali používať anglické termíny Power Line Communication – PLC (Komunikácia po silnoprúdovom vedení), Power Line Telecommunication – PLT (Telekomunikácia po silnoprúdovom vedení) alebo Power Line – PL (Silnoprúdové vedenie) – tie však zahŕňajú ako širokopásmové, tak aj úzkopásmové telekomunikačné systémy na energetických vedeniach. Ako presnejšie označenie pre širokopásmové systémy sa začal používať termín Broadband Power Lines – BPL (Širokopásmové silnoprúdové vedenia).

Systémy PLC bývajú ich odporcami najviac kritizované práve kvôli elektromagnetickej interferencii, ktorú produkujú pri svojej prevádzke. Dátový signál, ktorý je injektovaný do energetického vedenia sa môže javiť pre ostatné komunikačné systémy ako zdroj rušenia. Pri systémoch PLC sa samozrejme v priebehu ich vývoja prejavovali rôzne problémy v oblasti vzájomného ovplyvňovania s inými komunikačnými prostriedkami. Problematika elektromagnetickej kompatibility (EMC) musí byť teda aj v oblasti PLC prísne sledovaná. Širokopásmový signál BPL vyžarovaný do okolia silnoprúdového rozvodného vedenia často prekračuje prípustné medze v súčasnosti platných medzinárodných štandardov EMC. Tie však vznikli v určitej historickej dobe a to hlavne s ohľadom na ochranu rádiového príjmu od parazitných rušivých zdrojov. Okrem toho môžu mať systémy PLC rôznych generácií a rôznych firiem z hľadiska rušivého vyžarovania signálu veľmi rozdielne vlastnosti.



**Z podstaty prenosu širokopásmových signálov po metalických vedeniach** však tiež vyplýva, že každé z nich môže istým spôsobom vyžarovať určitú časť energie signálu do okolitého priestoru a naopak môže do neho vstupovať určitá časť energie signálov z elektromagnetickeho prostredia, ktoré ho obklopuje. Veľkosť týchto častí však závisí predovšetkým od konštrukcie jednotlivých typov vedení a spôsobov väzby signálov na vedenie. Rušivé vyžarovanie širokopásmových signálov prenášaných po metalickom vedení je teda fyzická skutočnosť, ktorá platí ako pre silnoprúdové, tak aj pre slaboprúdové vedenia a tiež aj pre rôzne, relatívne nové telekomunikačné systémy (napr. ADSL a VDSL).

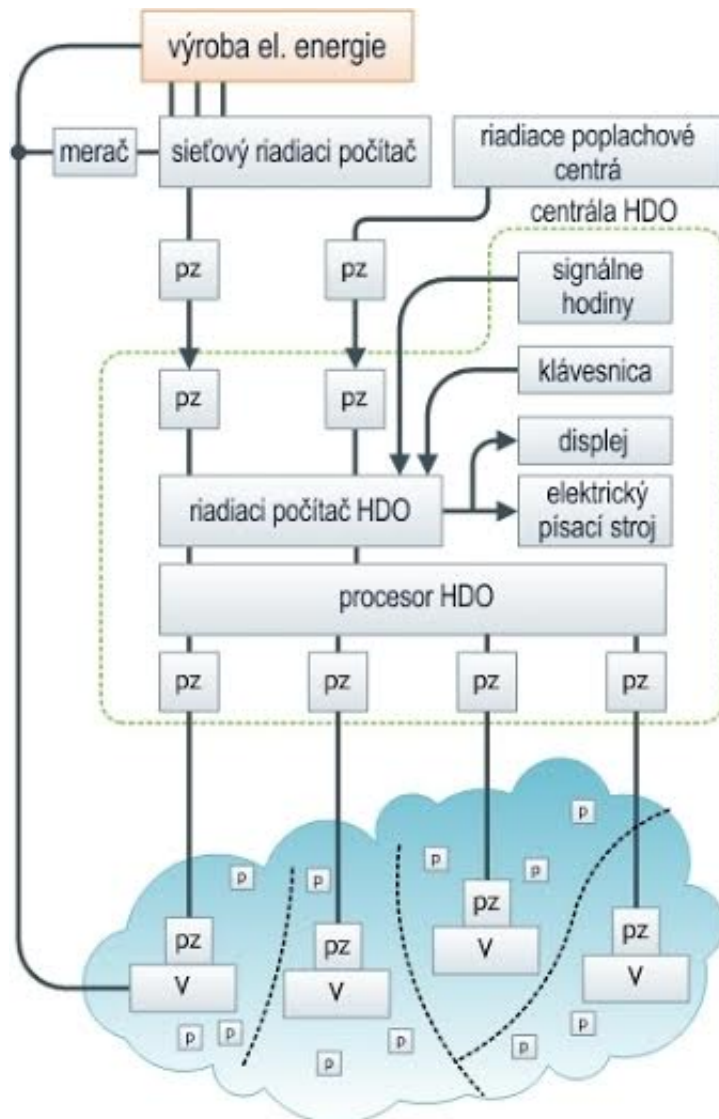


## 2 Hromadné diaľkové ovládanie (HDO)

Z hľadiska klasifikácie telekomunikačných služieb je možné HDO zaradiť do skupiny tzv. služieb diaľkových operácií. Sem patria napríklad systémy *diaľkového ovládania (DO)*, *diaľkovej signalizácie (DS)*, *diaľkového merania (DM)*, *diaľkovej regulácie (DR)*, diaľkového sledovania (Tele-Watching), navigácie GPS a iné. Podľa typu prenosu je HDO systémom jednosmerným (distribučným).

$E=m \cdot c^2$

DO je systémom adresným, ktorý má medzi ovládacím a jedným ovládaným miestom k dispozícii samostatne vyhradený obojsmerný okruh. HDO je systémom hromadným, ktorý z jediného centra vysiela signál po spoločnej jednosmernej prenosovej ceste súčasne k mnohým ovládaným miestam. Výsledným efektom nemusí však byť len ovládanie, ale aj signalizácia určitých stavov a udalostí.

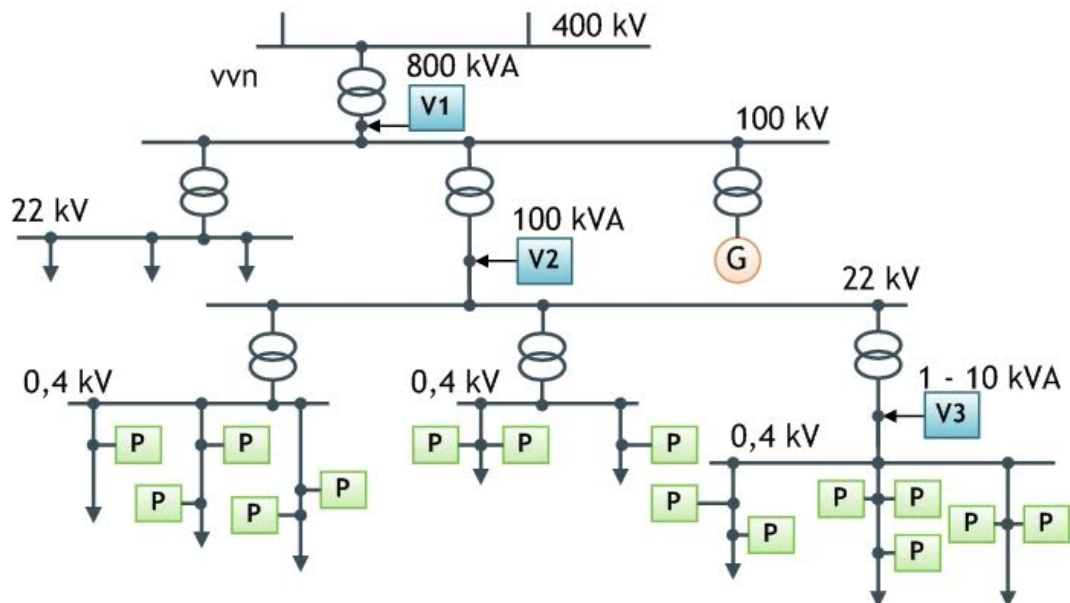


Všeobecné usporiadanie moderného systému HDO; př – prenosové zariadenie, V – lokálny vysielač HDO, p - prijímač HDO.

## 2.1 Prístupová časť siete



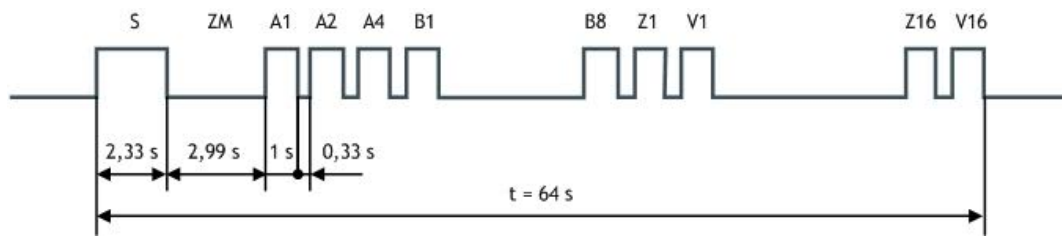
Prístupovú časť siete podrobnejšie zobrazuje ďalší obrázok. Z neho je zrejmé, že vysieláče HDO (V1, V2, V3) môžu byť pripojené na sekundárnu stranu transformátora vvn/vn, vn/vn aj vn/nn. Z toho potom vyplýva veľkosť ovládanej oblasti a výkon zdroja signálu (rádovo jednotky až stovky kVA). Používané ovládacie frekvencie sú v rozsahu 217Hz – 1050Hz.



Prístupová časť siete.

Na prenos signálu HDO silnoprúdovou sieťou musia byť k dispozícii pomerne mohutné výkonové zdroje nízkofrekvenčného striedavého signálu s výkonom rádovo od jednotiek až do stoviek kVA. Tieto sa zjednodušene označujú aj ako meniče frekvencie. Najprv sa meniče frekvencie realizovali pomocou elektromechanických točivých strojov. V súčasnosti sa ako výkonové zdroje signálu HDO používajú výhradne tzv. *statické meniče frekvencie (SMF)* realizované výkonovým tyristorovým striedačom. Zdroje sa k sieti pripájajú najčastejšie pomocou tzv. sériovej väzby.

Potreba rozlíšenia väčšieho počtu skupín ovládaných objektov a vyššieho zabezpečenia prevádzky viedla k vytvoreniu moderných typov povelových kódov HDO. Povelový kód so sériovým vyjadrením dvojpovelu (pozri obrázok) obsahuje štartovací impulz (S) a zabezpečovaciu medzeru (ZM). Ďalej je to tzv. adresová časť (A, B), ktorá umožňuje vytvoriť podmienky na zväčšenie počtu možných dvojpovelov systému (až do rádov stoviek). Potom nasleduje povelová časť so 16 dvojpovelmi.



Povelový kód so sériovým vyjadrením dvojpovelu.

Z pôvodného účelu HDO, ktorým bola podpora prevádzky elektroenergetickej siete sa v priebehu jeho rozvoja značne rozšíril počet možných aplikácií, ktoré môžeme rozdeliť do troch hlavných aplikačných skupín.

## 2.2 Aplikácie

- Prvou skupinou je riadenie odberu elektrickej energie a zrovnomenenie celkovej spotreby elektrickej energie. Priradenie jednotlivých dvojpovelov používaných v tejto oblasti predstavuje napr. ovládanie zásobníkov horúcej vody v domácnosti, priemysle a poľnohospodárstve, ovládanie elektrických akumuláčnych kachlí, ovládanie elektricky vykurovaných kotlov, klimatizačných zariadení a tepelných čerpadiel, ovládanie priemyslových a pekárenských pecí, ovládanie zásobníkových a závlahových čerpadiel, ovládanie elektromotorov, regulácia odberových diagramov elektriny a pary vo veľkých závodoch a iné.
- Druhú skupinu aplikácií HDO predstavujú tzv. spínacie funkcie. V týchto prípadoch ide napr. o prepínanie dvojtarifných elektromerov, ovládanie elektromerov na meranie maxima odberu, ovládanie obmedzovačov príkonu, ovládanie spínačov podružných silnoprúdových vedení a podružných transformačných staníc, ovládanie spínačov na skúšanie zemných spojení, spínanie geograficky rozptýlených meracích bodov na štatistické účely energetiky, spínanie kondenzátorových batérií na kompenzáciu účinníka, ovládanie rôznych režimov verejného osvetlenia, ovládanie osvetlenia dopravných značiek, svetelných reklám, výkladných skriň a iné.
- Tretiu skupinu potom tvoria signály na informačné, zvolávacie a varovné funkcie. Ide napríklad o verejné časové signály, synchronizáciu verejných hodín, zvolávanie údržbových a poruchových pracovníkov, dobrovoľných hasičov, príslušníkov horskej služby, poplachy pre príslušníkov záchranných a pohotovostných zložiek, polície a armády, ovládanie funkcie verejných sirén, vyhlasovanie poplachov v systéme civilnej ochrany, živelných udalostí či pri zvýšení radiácie v okolí jadrových elektrární a iné.

Súčasnú modernú prijímače HDO je potrebné považovať za veľmi sofistikované telekomunikačné zariadenia konštruované na báze moderných elektronických súčiatočiek.



---

S príchodom nových telekomunikačných technológií sa síce oslabil význam systémov HDO, ale napriek tomu zostáva HDO jedným z potrebných systémov pre ďalší rozvoj elektroenergetiky.

---

### 3 Vysokofrekvenčná elektrárnská telefónia (VET)

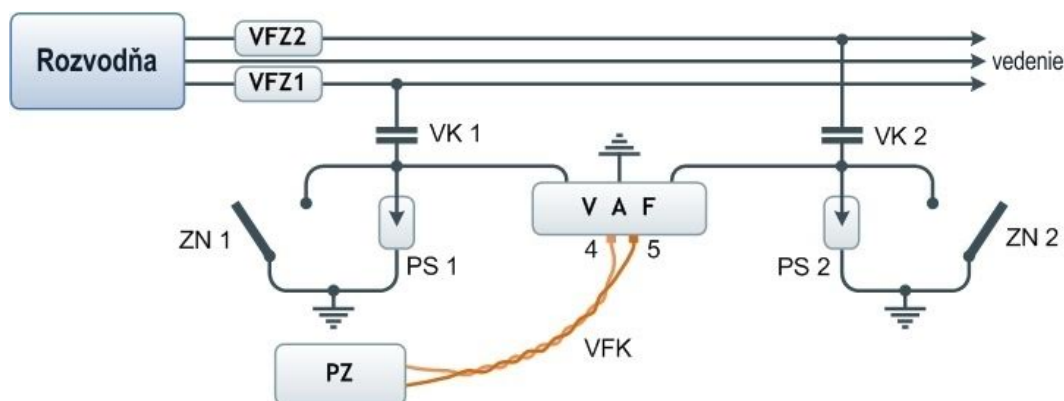
$E=m \cdot c^2$

Prenosové zariadenia boli vytvorené na princípe známom z vĕ nosných telefónnych systémov. Používala sa amplitúdová modulácia s predmoduláciou alebo tiež frekvenčná modulácia. V Českej republike a aj v Slovenskej republike norma ČSN 33 4640 umožňovala, na základ výnimky z Telekomunikačného zákona, realizovať služobné prenosy pre účely energetiky v pásme 30 – 750 kHz a šírkou jednotlivých kanálov 2,5 kHz alebo 4 kHz. Zároveň definovala parametre väzobného zariadenia a bezpečnostné požiadavky.

Väzobné zariadenie na pripojenie komunikačného zariadenia na silnoprúdové vedenie musí zaisťovať niekoľko základných parametrov. Predovšetkým musí mať veľké tlmenie pre technickú frekvenciu energetickej siete 50 Hz a čo najmenšie tlmenie pre pásmo telekomunikačného signálu. Ďalej musí obsahovať prvky, ktoré zaisťujú bezpečnosť obsluhy aj zariadení a to nielen pred nominálnym fázovým napätím, ale aj pred možnými prepät'ovými javmi respektíve aj pred nominálnymi a skratovými prúdmi. Často musí tiež obsahovať prvky na smerovanie signálu (napr. veľké tlmenie pre smer k silnoprúdovému transformátoru a malé tlmenie v smere k vedeniu). Počas vývoja vzniklo veľa druhov väzobných zariadení.

*i*

Principiálne blokové usporiadanie, príklad najpoužívanejšej medzifázovej kapacitnej väzby vĕ zariadenia na silnoprúdové vedenie vĕn znázorňuje obrázok.



Principiálne blokové usporiadanie, príklad najpoužívanejšej medzifázovej kapacitnej väzby vĕ zariadenia na silnoprúdové vedenie vĕn.

Väzobné kondenzátory vonkajšieho prevedenia VK1 a VK2 (rádovo nF) sú pripojené na väzobný filter VAF a tvoria s ním pásmový priepust naladený na pásmo telekomunikačného signálu. Ako vnútorná prepät'ová ochrana slúži tlejivka. Väzobný filter okrem toho impedančne prispôsobuje impedanciu týchto väzobných prvkov k impedancii vĕ symetrického kábla VFK, ktorý je privedený k vlastnému prenosovému zariadeniu PZ.

Smerovanie signálu smerom na diaľkové vedenie vvn, respektíve z vedenia na prenosové zariadenie zaisťujú vysokofrekvenčné pásmové zádrže VFZ1 a VFZ2. Tieto zádrže (slangovo nazývané „tlmivky“) sú naladené na prenášané vf pásmo v okolí nosnej a teda zamedzujú stratám signálu v transformátore rozvodne a obmedzujú presluchy do iných vedení. Technologicky najnáročnejšou časťou zádrže je silová tlmivka Ls, ktorá musí byť dimenzovaná až na skratový prúd danej fázy. Ten dosahuje rádovo až stovky ampérov. Bezpečnostnú funkciu väzby zaisťujú pri prevádzke prepäťové zväzdače (bleskoistky) PS1, PS2 reagujúce aj pri poruche väzobných kondenzátorov. Pri manipulácii na väzobnom zariadení zabezpečujú pracovné podmienky zopnuté zemniace nože ZN1 a ZN2.

---



Aj keď realizácia úzkopásmových vf systémov tzv. elektrárenskej telefónie bola veľmi náročná z hľadiska technologického i ekonomického, bolo ich nasadenie veľmi účelné. Vf systémy sa nepoužívali len na telefóniu, ale aj na prenos dát, ďalekopisu a telemetriu. Jednotlivé vf trasy na území ČR a SR boli postupne prepojané do rozsiahlej robustnej siete slúžiacej na dispečerské riadenie prevádzky energetickej sústavy. Ku koncu minulého storočia teda existovala celoštátna dispečerská sieť po energetických vedeniach, spájajúca prakticky všetky elektrárne a dôležité rozvodne.

---



Nový prvok diaľkových vonkajších energetických sietí – optický kábel, technologicky zabudovaný do zemniaceho (ochranného) oceľového lana vonkajších trás vvn a vn, vytvoril technicky a ekonomicky výhodnú prenosovú cestu s obrovskými širokopásmovými prenosovými možnosťami. Jedná sa o náhradu pôvodných metalických zemniacich lán (Re, AlFe) špeciálnymi tzv. kombinovanými zemniacimi lanami (KZL), v ktorých sú do kostry z vodivých laniiek vpletené optické telekomunikačné káble. Tie slúžia na realizáciu širokopásmových telekomunikačných kanálov na bežných princípoch používaných pri diaľkových telekomunikačných prenosoch.

---

## 3.1 Elektrárenská telefónia v súčasnosti

---



V ČR a SR boli už prakticky všetky klasické zariadenia „vf elektrárenskej telefónie“ zlikvidované a nahradené prenosovými technológiami využívajúcimi kombinované zemniace laná so zabudovanými optickými káblami. Takáto zmena je v krajinách s rozsiahlymi energetickými sieťami, hlavne z ekonomických dôvodov, otázkou postupného riešenia. V týchto sieťach sa teda predpokladá niekoľkoročné „prechodné obdobie“ pri prechode na optické prenosové systémy. Preto je v týchto krajinách (napr. Ruská federácia, Ukrajina, Čína, India a iné) aktuálnym problémom optimalizácia klasických vf prenosových zariadení smerom k digitalizácii vf prenosových kanálov.

---

## 4 Úzkopásmové systémy PLC pre lokálnu telematiku

Úzkopásmové služby PLC môžeme rozdeliť na tri skupiny:

- Hovorové
- Rozhlasové
- Nehovorové



---

Hovorové služby predstavujú analógový prenos služobnej alebo štandardnej telefónie.

---



## 4.1 Vývoj v oblasti služieb

V priebehu rozvoja aplikácií PLC bol uskutočnený rad experimentov aj s audioslužbami PLC. Prenos rozhlasových programov pomocou amplitúdovej modulácie v pásme dlhých alebo stredných vln pre lokálne potreby väčších objektov (napr. študentských internátov) bol závislý hlavne od „čistoty energetickej siete“, teda od úrovne rušenia v použítom pásme.



Omnoho väčšia bola životnosť služobných telefónnych prenosov, realizovaných prostredníctvom trakčných energetických vedení. Najčastejšie sa aplikácie prevádzkovali po elektrických trakčných vedeniach v hlbinných uhoľných baniach, kde slúžili na dorozumievanie pracovných čiat.



V niektorých prípadoch sa však takéto systémy experimentálne nasadzovali aj na trakčných vedeniach železničných systémov na spojenie železničných dispečerov s posádkami lokomotív. V obidvoch prípadoch boli hlavným obmedzením rušenia spôsobované pohybom trolejových napájačov elektrických hnacích vozidiel po trakčnom vedení (iskrenie na spojovacích prechodoch).



Ďaleko väčšie uplatnenie dosiahli nehovorové služby PLC zahŕňajúce diaľkové meranie, diaľkové ovládanie, diaľkovú signalizáciu a už spomenuté hromadné diaľkové ovládanie. V poslednom čase sa objavili aj aplikácie na diaľkové odčítanie bytových meračov. Vznikla tiež požiadavka na implementáciu týchto prenosov do infraštruktúry zabezpečovacích systémov.



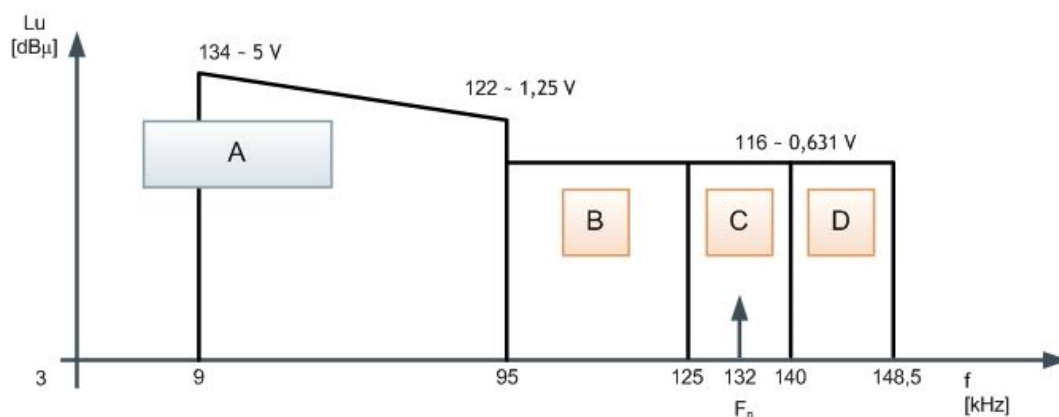
Úzkopásmová technológia PLC má samozrejme aj svoje obmedzenia, ktoré pramenia z komunikácie po existujúcich energetických rozvodoch. Najvýznamnejšie ovplyvňuje signál PLC tlmenie, ktoré závisí od frekvencie, odbočiek na rozvodniciach, indukčnosti vedenia, konfigurácie vedení, charaktere a rozložení odberových záťaží, počtu odbočiek (zásuviek), typu spotrebičov, premostňujúcich kapacít (napr. na odrušenie spotrebičov). Ďalej tiež od nedostatočnej väzby medzi fázami ak sa vysielač a prijímač nachádzajú na rôznych fázach rozvodu. Ďalšou prekážkou úspešného prenosu je vysoká úroveň rušivých napätí, ktoré najčastejšie generujú späť do siete samotné spotrebiče. Ide hlavne o osvetľovacie telesá riadené striedavým meničom, beztransformátorové sieťové napájacie zdroje, elektromotory s tyristorovou reguláciou (vrtáčky, vysávače, mixéry a iné), prípadne aj domáce sieťové telefóny (interkom), ktoré pracujú v rovnakých frekvenčných pásmach. Okrem toho môže dochádzať aj ku skresleniu vlastného signálu PLC vplyvom nelinearití frekvenčných a fázových charakteristík alebo časovo premenlivých impedancií. Proti týmto prekážkam pri prenose úzkopásmovými systémami je možné bojovať okrem iného pomocou vhodnej voľby modulácie, potlačovačmi ozvien, obmedzovačmi impulzových hlukov. Dnes sa uvažuje pre typické distribučné rozvody s realizáciou úzkopásmových prenosov dát vo vzdialenostnom pásme od stoviek metrov až do približne 5 km.

V súčasnej dobe sa objavuje stále viac aplikácií, ktoré využívajú úzkopásmové kanály PLC v nn sieti na lokálne účely. Ide predovšetkým o systémy diaľkového zberu dát hlavne z meračov rôznych distribuovaných médií (el. energia, voda, plyn, teplá voda, chlad, atď.). Tieto systémy poskytujú presné a spoľahlivé informácie bez nutnosti osobnej návštevy meracieho miesta. Tým sa obmedzujú ľudské chyby odčítania a znižujú sa osobné náklady. Okrem elektroenergetických podnikov teda môžu využívať tieto možnosti aj distribútori ďalších médií.

## 4.2 Normy pre PLC, frekvenčné pásma

$E = m \cdot c^2$

Pre oblasť úzkopásmových systémov PLC bola napr. v ČR prevzatá norma EN 50065-1, platná od roku 1991. Názov tejto normy je „Signalizácia v inštaláciách nízkeho napätia vo frekvenčnom rozsahu od 3 kHz do 148,5 kHz“. Norma stanovuje predovšetkým frekvenčné pásma a medze koncového výstupného napätia ako ukazuje obrázok.



Frekvenčné pásma a medze koncového výstupného napätia.

*i*

K jednotlivým frekvenčným deliacim bodom je možné z obrázka odčítať pre príslušné frekvencie amplitúdové medze, vyjadrené jednak absolútnou úrovňou napätia v  $\text{dB}\mu$  a tiež napätím vo Voltoch. Na svete však existujú aj ďalšie štandardy pre aplikáciu úzkopásmových PLC.

## 5 Širokopásmové systémy PLC na prenos dát



---

Podobne ako v klasickej telekomunikačnej technike vzrástol záujem o širokopásmové kanály a okruhy v prístupových sieťach. Tento trend sa prejavil aj v prenosových prostriedkoch využívajúcich ako prenosovú cestu distribučné silnoprúdové vedenia.

---



Silnoprúdová distribučná sieť však tiež predstavuje infraštruktúru, ktorá je z hľadiska možnej prenosovej kapacity veľmi málo využitá. Pritom predstavuje prístupovú sieť privedenú až k jednotlivým spotrebiteľom elektrickej energie a umožňuje prenos digitálnych signálov s prenosovou rýchlosťou rádovo jednotiek až stoviek Mbit/s.

---

Posledné desaťročie minulého storočia preto prinieslo požiadavku na využitie častí silnoprúdových sietí aj na prenos širokopásmových vysokorýchlostných dátových signálov. Táto požiadavka bola vyvolaná hlavne masovým rozšírením siete Internet a vznikla myšlienka použiť energetické vedenie aj na prístup k tejto informačnej technológii. Začiatky tohto prístupu siahajú do deväťdesiatych rokov minulého storočia.

## 5.1 Varianty systémov BPL v praxi

---



Prenosy v tejto distribučnej sieti sa v praxi obvykle rozdeľujú na dva typy systémov BPL.

---

- Vonkajšie (outdoor alebo access) systémy BPL používajú buď vn vedenie alebo nn vedenie od transformátora k napájaným objektom, t.j. verejné časti energetickej siete.
  - Vnútorne (indoor alebo in-house) systémy BPL využívajú vnútorné rozvody budov, ktoré sú obvykle súkromným majetkom. Pritom pre vonkajšie aplikácie sa používa najčastejšie pásmo 1 – 18 MHz a pre vnútorné aplikácie pásmo 18 – 30 MHz. Priamy dosah signálov je však relatívne veľmi malý a podľa spôsobu väzby a konfigurácie distribučnej siete dosahuje najčastejšie rádovo desiatky až stovky metrov a dosahované rýchlosti sa väčšinou pohybujú v jednotkách až stovkách Mbit/s.
- 



Mechanizmus šírenia prenášaného signálu po silnoprúdových vedeniach je tým zložitejší a neprehľadnejší, čím je frekvencia signálu vyššia a príslušná dĺžka vlny je porovnateľnejšia s geometrickými dĺžkami jednotlivých úsekov (napr. odbočiek). Dochádza tu často ku vzniku paralelných a sériových rezonancií. Ďalej je okrem nehomogenity jednotlivých úsekov potrebné uvažovať zmeny prenosových parametrov vyvolané zmenami konfigurácie, okamžitými zmenami záťaží a samozrejme relatívne vysokou hladinou hlukov vytváranou rôznorodými zdrojmi rušenia. Okrem toho je nutné uvažovať aj prenosové vlastnosti potrebných väzobných členov.

---

Úspešnému vyriešeniu problémov v agresívnom prenosovom prostredí energetických sietí významne pomohli skúsenosti, ktoré výrobcovia telekomunikačných zariadení nazhromaždili už pri vývoji a prevádzke distribučných systémov káblovej televízie a moderných rádiokomunikačných systémov. Preto sú v konkrétnych riešeniach systémov BPL využité najnovšie modulačné a prístupové metódy. Súčasný vývoj zariadení PLC je zameraný hlavne na dva typy modulácií. Modulácia s rozprestrením spektra priamou postupnosťou DSSSM - (Direct Sequence Spread Spectrum Modulation) a ortogonálny frekvenčný multiplex OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex).

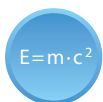
## 5.2 Parametre BPL

Z hľadiska prenosu signálu BPL nás zaujímajú dva hlavné parametre:

- prenosová rýchlosť,
- chybovosť.



Ako už bolo uvedené, predstavuje elektrická rozvodná sieť ako prenosové médium veľmi obtiažne prostredie z hľadiska elektromagnetickej kompatibility. Navyše sa podmienky pre prenos v energetickej sieti menia každú chvíľu (vplyvom prevádzkových manipulácií a pripojovaním rôznorodých spotrebičov). Preto je potrebné pre systémy BPL starostlivo voliť nielen modulačné metódy, ale tiež spôsoby kódovania a metódy detekcie a korekcie chýb. Tým sa zvyšuje potrebný počet služobných bitov, čím vlastne klesá efektívna prenosová rýchlosť vlastných používateľských dát.



Všeobecne sa dá povedať, že čím väčšia prenosová rýchlosť tým väčšia náchylnosť na chyby a tým viac prenosovej kapacity musí byť vyhradená na detekciu a korekciu chýb. V prípade systémov s menšími prenosovými rýchlosťami je pomer medzi užitočnými a redundantnými dátami asi 1:1. Pre systémy s prenosovou rýchlosťou 200 Mbit/s je tento pomer až 1:3 (teda len asi 30 % z prenosovej kapacity pripadá na užitočné dáta). Maximálna dosiahnuteľná vzdialenosť medzi dvomi modemami BPL závisí hlavne od výstupného výkonu signálu BPL, jeho tlmenia a tiež od úrovne rušenia na prijímacej strane. Bez opakovačov môže táto vzdialenosť dosahovať rádovo stovky metrov ale len vo verejných elektrických sieťach s vonkajšími alebo podzemnými vodičmi. Pre vnútornú časť siete s množstvom rôznych interferenčných zdrojov a spotrebičov neposkytuje akákoľvek priemerná hodnota prekľuteľnej vzdialenosti užitočnú informáciu, lebo rôzne typy inštalácií ovplyvňujú prenosovú vzdialenosť o desiatky metrov obidvomi smermi. Vo vnútorných systémoch sa obyčajne uvažuje o dosiahnuteľnej vzdialenosti okolo 100 m.



Modem BPL môže byť naviazaný do energetickej siete buď priamo alebo induktívne. Priame vodivé pripojenie modemu BPL výstupným pripojovacím káblom samozrejme predpokladá, že kapacitná väzba umožňujúca pripojenie modemu na vedenie 230 V je priamo jeho súčasťou.



Kým pre úzkopásmové systémy PLC sú vytvorené jednoznačné medzinárodné normy, je normalizácia pre širokopásmové systémy BPL doteraz medzinárodne nedoriešená.

Významná je aj skutočnosť, že elektrorozvodná sieť vo vyspelejších krajinách ponúka prakticky stopercentné pokrytie všetkých stavebných objektov, t.j.

domácností aj firiem. V menej rozvinutých krajinách naopak môže BPL suplovať chýbajúcu telekomunikačnú infraštruktúru.

Jedným z výsledkov jednaní medzi výrobcami a elektrorozvodnými spoločnosťami bol tiež zrod projektu s názvom *Open PLC European Research Alliance (OPERA)*, ktorého hlavným sponzorom sa stala Európska komisia. Do projektu OPERA sa zapojilo 37 firiem a univerzít z desiatich európskych krajín. Projekt OPERA bol potom oficiálne spustený na začiatku roka 2004 pri príležitosti ďalšieho európskeho stretnutia na tému BPL, ktoré sa konalo v Madride.

i

V priebehu vývoja systémov BPL sa vo svete vyskytol relatívne veľký počet ich výrobcov. Jednotlivé výrobky je však možné zaradiť do určitých výrobných generácií, ktoré sa líšia hlavne druhom modulácie a dosiahnuteľnou prenosovou rýchlosťou prenášaných dát. V Európe väčšina moderných modemov BPL 3. generácie používa čipy firmy DS2 pracujúce s moduláciou OFDM. Takéto systémy BPL sa tak stávajú schopnými konkurencie vzhľadom na klasické telekomunikačné technológie používané v prístupových sieťach.

Hoci sa technológie BPL stále rozvíjajú nie je možné nebrať do úvahy skutočnosť, že aj po mnohých rokoch technického vývoja a testovania sa praktické nasadenie obyčajne obmedzuje len na relatívne malé pilotné projekty, z ktorých len niektoré majú ambície prerásť do omnoho väčšieho rozsahu. Pravdepodobne doteraz najväčší projekt s aplikáciou systémov PLC/BPL bol realizovaný v štáte Texas v USA firmami ONCOR Texas a CURRENT Group, LLC. Jednalo sa o implantáciu týchto technológií do rámca projektu Smart Grid.

V súčasnej dobe teda môžu byť systémy BPL komerčne ponúkané napríklad pre oblasti: priemyslové komunikačné siete menšieho rozsahu, internetové pripojenia pre poskytovateľov pripojení na sídliskách, doplnenie existujúcich pevných sietí do priestorov, kde doteraz siete neboli realizované, dočasné riešenia pre výstavy, semináre, školenia alebo prezentácie, výstavba dátových sietí v oblastiach obmedzenej výstavby alebo prestavby – napr. historické budovy, múzeá, galérie, realizácia domácej siete LAN (napr. prepojenie PC, tlačiarne, telefónu, faxu), prístupové siete kombinované s použitím ďalších telekomunikačných systémov (pevné telefónne a dátové siete, rádiové siete GSM, GPRS, Wi-Fi a iné) a nakoniec aj použitie v krajinách s menej rozvinutou komunikačnou infraštruktúrou v Ázii, Afrike a Južnej Amerike.

i

Z doterajšieho vývoja systémov BPL je zrejmé, že sa tieto už zaradili medzi používané prostriedky prístupových telekomunikačných sietí. Ich ďalší rozvoj súvisí s problematikou ich štandardizácie. Z nej vyplýva znižovanie ceny v dôsledku väčších výrobných sérií a teda aj zvyšovanie efektívnosti ich nasadenia. Dôležitý je aj budúci prístup k problematike ich nasadzovania do elektromagnetického prostredia nových inteligentných budov a moderných systémov riadenia, predovšetkým do sústav inteligentných sietí (Smart Grids).

## 6 Postavenie systémov PLC v procesoch konvergenencie teleinformatických sietí a služieb a budovania inteligentných sietí

+

Budovanie širokopásmového distribučného prístupu po už vybudovanom energetickom rozvode sa samozrejme radí k ekonomicky výhodným variantom. Pritom moderné modulačné a zabezpečovacie postupy, predovšetkým moderných zariadení, umožnia významne redukovat' rušivé vplyvy na okolité teleinformatické systémy. Je zrejme, že výhodnosť nasadenia systémov BPL pre širokopásmovú distribúciu môže byť veľmi rozdielna v závislosti od geografickej polohy, infraštruktúry energetickej distribučnej siete, telekomunikačnej vyspelosti danej krajiny, hustoty osídlenia a ďalších aspektov. Jedným z nich je tiež napr. výhodnosť použitia systémov BPL pre prístup na Internet, rozvod audio a videoprogramov alebo budovanie lokálnych dátových sietí v budovách, kde sú obmedzené možnosti stavebných úprav pri budovaní nových káblových rozvodov (historické budovy, múzeá, výstavné siene a areály, staré školské budovy a iné). Z druhej strany môžu byť moderné systémy PLC/BPL dôležitou zložkou aj pri realizácii určitých služieb v nových tzv. „inteligentných budovách.“ Niektoré takéto aplikácie už boli v rôznych častiach sveta realizované.

-

Aj napriek značnému potenciálu, ktorý prístupové siete BPL predstavujú, je však v porovnaní so širokopásmovými prostriedkami x-DSL a CATV, ich súčasný percentuálny podiel na svetovom telekomunikačnom trhu relatívne veľmi malý. Okrem toho je navyše potrebné zobrať do úvahy stále silnejší nástup technológií pre rýchly bezdrôtový prístup, či už pevný alebo mobilný. V globálnom merítku tak technológie PLC/BPL budú len postupne doháňať náskok niektorých konkurenčných teleinformačných technológií.

Napriek tomu však systémy BPL majú stále svoju šancu na masovejšie rozšírenie. Okrem už vybudovaného základného prístupu k prakticky všetkým potenciálnym zákazníkom vo vyspelých krajinách totiž väčšina elektrorozvodných spoločností disponuje relatívne veľkými prostriedkami na investície do nových služieb a efektívneho marketingu.

Aj keď systémy PLC/BPL môžu nájsť uplatnenie vo všetkých týchto oblastiach, majú najväčšie perspektívne uplatnenie práve pri realizácii tzv. energetických inteligentných sietí – Smart Grids (SG).



## 6.1 Inteligentné siete - Smart Grids

---



$E=mc^2$

SG predstavuje integrované spojenie energetických a telekomunikačných sietí, ktoré smeruje k efektívnemu riadeniu výroby a spotreby energie v reálnom čase ako v lokálnej, tak aj v globálnej oblasti. Princíp fungovania týchto sietí je založený na obojsmernej interaktívnej komunikácii medzi jednotlivými prevádzkovými bodmi siete na strane výroby, rozvodu a spotreby energie. Teleinformatické prostriedky v sieti umožňujú v reálnom čase jednak zber informácií, diagnostiku jednotlivých častí siete a operatívne riadenie na strane výroby a rozvodu. Tiež umožňujú rozšírenie v oblasti predaja a voľbe tarifných možností na strane spotreby podľa programovaných či okamžitých požiadaviek spotrebiteľov. Pod pojmom „energetická sieť“ sa však skrýva nielen elektroenergetická sieť, ale aj siete na výrobu a rozvod plynu a tepla, vodárenská distribučná sústava a iné.

---



Najväčší nástup sietí SG je dnes zaznamenávaný práve v elektroenergetických sieťach. Riadiaci systém by tu mal neustále monitorovať prevádzku siete a zaisťovať aj tzv. „samoliečenie“ (self healing), t.j. proces, keď sa po vzniku mimoriadneho prevádzkového stavu dokáže sieť automaticky uviesť do pôvodnej rovnováhy. Tomu by mala pomôcť aj nepretržitá diagnostika zmien prevádzkových parametrov rozvodní, transformátorov a distribučných vedení a hlavne okamžitá indikácia poruchových stavov.

---

Väčšina súčasných elektroenergetických sietí je vybudovaná s koncepciou budovania relatívne menšieho počtu klasických energetických zdrojov (tepelné, vodné a jadrové elektrárne) s veľkými výkonmi (rádovo stovky a tisícky MW), od ktorých úrovňovo delená (vvn, vn, nn) distribučná sieť prenáša energiu do relatívne veľkého počtu spotrebiteľských miest. Toto usporiadanie siete umožňuje pomerne ľahkú synchronizáciu siete, ale jej prevažne hviezdicová štruktúra môže v prípade výpadku zdroja alebo poškodenia vedenia, vyvolať značné problémy.

## 6.2 Alternatívne zdroje energie

V súčasnosti dochádza k významným zmenám v oblasti nových alternatívnych energetických zdrojov, ktoré môžu byť relatívne málo výkonové a sú rozptýlené po celom distribučnom území. Niektoré z týchto zdrojov (napr. malé fotovoltické systémy) sú dokonca detašované až do úrovne jednotlivých budov, ale pritom môžu svojimi malými výkonmi prispievať do verejnej energetickej siete. Vzniká teda potreba zásadnej rekonfigurácie elektroenergetických sietí, ktorá je spojená s budovaním SG. Táto štruktúra prináša problémy napr. so stabilitou prevádzky a synchronizáciou spoločnej siete. Aby energetická sieť vplyvom veľkého množstva rôznych zdrojov neskolabovala, je nutné zaviesť do siete veľmi sofistikované a efektívne riadenie, ktoré umožní ovládať energetickú sieť až na úrovni týchto jednotlivých zdrojov. Účinnosť úspešného riadenia inteligentnej siete SG, ktorá je tvorená veľkým počtom zdrojov (stovky) a niekoľkonásobne väčším počtom odberných miest (stovky tisíc), je kriticky závislá od typu a množstva dodaných informácií zo zdrojov a spotrebičov energie. To by práve mala zabezpečiť realizácia sietí SG, ktorá by predovšetkým mala umožniť optimálne využitie všetkých jej zdrojov. Riadenie by tiež malo na základe podrobných informácií o aktuálnej spotrebe umožniť rekonfiguráciu siete tak, aby sa dosiahli čo najmenšie straty pri prenose energie. Okrem toho by však rozptýlenosť jednotlivých zdrojov a inteligentné riadenie malo zaistiť aj rýchle a efektívne riešenie kritických stavov, ktoré nastávajú pri poruchách rozvodnej siete vplyvom výpadkov zdrojov alebo poškodením vedení.



---

Dôležitý aspekt, hlavne pre budúcnosť, predstavuje aj určitý návrat k jednosmernému energetickému rozvodu a budovanie napájacích staníc pre elektromobily. Rozvíjajú sa tiež procesy výstavby tzv. inteligentných budov (Intelligent Buildings), ktoré by mali zaisťovať ekologické aj ekonomické prevádzkové parametre a vysoký stupeň automatizácie prevádzkových procesov, vrátane rozvinutia tzv. komunálnych služieb.

Siete SG teda predstavujú pre súčasné i budúce elektroenergetické siete rad ďalších prevádzkových i ekonomických výhod. Umožňujú vyšší stupeň automatizácie rozvodní a transformátorov, čo sa okrem iného prejavuje znížením prevádzkových ekonomických nákladov.

---

## 7 Záver



Všetky tieto skutočnosti jednoznačne umocňujú potrebu budovania sietí SG. Aby však bolo možné zaistiť efektívne riadenie, je nutné vytvoriť dostatočne dimenzovanú dátovú infraštruktúru medzi jednotlivými zdrojmi a spotrebičmi, dátovým centrom a riadiacim dispečingom. Z tohto popisu však vyplýva, že budovanie SG vyvolá nielen veľké náklady, ale aj značné nároky na problematiku elektromagnetickej kompatibility spolupracujúcich a susedných systémov.



Telekomunikační operátori aj výrobcovia informačných a telekomunikačných zariadení v súčasnej situácii relatívneho nasýtenia klasických telekomunikačných trhov vo väčšine teleinformaticky vyspelých krajín pochopili, že práve nevyhnutná potreba rozvoja sietí SG sa môže stať veľmi perspektívnou aj pre ich súčasné a budúce podnikanie.



Súhrnne je teda možné povedať, že pre zaistenie efektívneho riadenia je nutné vytvoriť dostatočne dimenzovanú teleinformatickú infraštruktúru medzi jednotlivými energetickými zdrojmi a spotrebičmi, dátovým centrom, riadiacim dispečingom a niektorými ďalšími zložkami energetických podnikov. Do tejto infraštruktúry je z technických i ekonomických dôvodov potrebné začleňovať aj rôznorodé systémy PLC. Dôležitým aspektom pre aplikáciu prostriedkov PLC/BPL je možnosť ich kombinácie s ďalšími teleinformatickými technológiami. Pritom systémy PLC/BPL môžu zaisťovať nielen úsek „poslednej míle“, ale aj prístup k tejto koncovej distribúcii.