




TECH  
pedia



VYUŽÍVÁNÍ  
SILNOPROUDÝCH VEDENÍ  
PRO PŘENOS ZPRÁV  
(PLC, BPL)

JAROSLAV SVOBODA

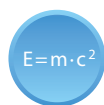
**Název díla:** Využívání silnoproudých vedení pro přenos zpráv (PLC, BPL)  
**Autor:** Jaroslav Svoboda  
**Vydalo:** České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická  
**Kontaktní adresa:** Technická 2, Praha 6  
**Tel.:** +420 224352084  
**Tisk:** (pouze elektronicky)  
**Počet stran:** 27  
**Edice (vydání):** 1. vydání, 2017  
**ISBN** 978-80-01-06276-0

**TechPedia**  
European Virtual Learning Platform for  
Electrical and Information Engineering  
<http://www.techpedia.eu>



Tento projekt byl realizován za finanční podpory Evropské unie.  
Za obsah publikací odpovídá výlučně autor.  
Publikace (sdělení) nerepresentují názory Evropské komise a Evropská komise neodpovídá za použití informací, jež jsou jejich obsahem.

## VYSVĚTLIVKY



Definice



Zajímavost



Poznámka



Příklad



Shrnutí



Výhody



Nevýhody

---

## ANOTACE

Modul popisuje různé způsoby a přístupy využívání silnoproudých vedení a sítí pro přenos zpráv. Obsahuje popis jednotlivých telekomunikačních technologií, které realizují přenos prostřednictvím silnoproudých vedení a sítí. Dále popisuje možné uplatnění těchto systémů v rámci inteligentní energetické sítě Smart Grid.

## CÍLE

Student získá základní pohled na rozdíly mezi přenosovými vlastnostmi sdělovacích a silnoproudých vedení. Zároveň se seznámí s principy a užitím úzkopásmových i širokopásmových telekomunikačních technologií, které se provozují prostřednictvím energetických vedení a sítí (hromadné dálkové ovládání, vysokofrekvenční sdělovací systémy – tzv. elektrárenská telefonie, lokální systémy pro přenos dálkového měření, dálkové signalizace i dálkového ovládání a širokopásmových systémů pro přenos dat). Tyto znalosti mohou pomoci studentům při jejich nasazování v rámci transportních a zejména přístupových sítí. Studenti získají základní přehled o vývoji energetických sítí a zavádění inteligentních energetických sítí Smart Grid. Na tomto základě se naučí zhodnotit úlohu a výhodnost systémů PLC a BPL při realizaci konkrétních telekomunikačních sítí.

## LITERATURA

- [1] SVOBODA, Jaroslav, Širokopásmový telekomunikační systém po silnoproudém vedení, Přenosové 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 silnoproudých 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>	<b>Úvod</b> .....	<b>6</b>
1.1	Historický vývoj .....	6
1.2	Power Line Communication - parametry .....	8
<b>2</b>	<b>Hromadné dálkové ovládání (HDO)</b> .....	<b>9</b>
2.1	Přístupová část sítě .....	10
2.2	Aplikace.....	12
<b>3</b>	<b>Vysokofrekvenční elektrárenská telefonie (VET)</b> .....	<b>13</b>
3.1	Elektrárenské telefonie v ČR.....	15
<b>4</b>	<b>Úzkopásmové PLC systémy pro lokální telematiku</b> .....	<b>16</b>
4.1	Vývoj v oblasti služeb .....	17
4.2	Normy pro PLC, kmitočtová pásma .....	19
<b>5</b>	<b>Širokopásmové PLC systémy pro přenos dat</b> .....	<b>20</b>
5.1	Varianty BPL systémů v praxi .....	21
5.2	Parametry BPL .....	22
<b>6</b>	<b>Postavení PLC systémů v procesech konvergence teleinformatických sítí a služeb a budování Smart Grids</b> .....	<b>24</b>
6.1	Smart Grids.....	25
6.2	Alternativní zdroje energie .....	26
<b>7</b>	<b>Závěr</b> .....	<b>27</b>

# 1 Úvod

## 1.1 Historický vývoj

V roce 1866, patentoval německý inženýr Ernst Werner von Siemens (1823 – 1883) dynamo s vlastním buzením, které vytvořilo základ pro počáteční rozvoj elektroenergetiky, neboť umožňovalo přeměnu mechanické či tepelné energie na elektrickou energii v zařízení o tehdy relativně velkém elektrickém výkonu. Od původního lokálního užití elektrické energie se přikročilo i k přenosu energie na vzdálenost. Francouzský elektrotechnik Marcel Deprez (1843 - 1918) byl jedním z prvních, kteří prakticky zrealizovali stejnosměrný přenos na větší vzdálenost. V roce 1873 předváděl přenos mezi dynamem a motorem, a to po již vybudovaném telegrafním vedení, na vzdálenost 1 km.

V té době pak začaly vznikat první stejnosměrné elektroenergetické sítě. Ty sloužily k tomu, aby se místa spotřeby elektrické energie mohla vzdálit od míst výroby, která byla zpravidla jen tam, kde byly k dispozici významné energetické zdroje (vodní toky, naleziště uhlí apod.). A již od samého počátku stejnosměrných sítí se přemýšlelo i o tom, jak tato pracně vybudovaná vedení využít i pro přenos zpráv. Nejprve vznikl požadavek na možnost přenosu zpráv pro řízení a kontrolu energetických přenosů. Ke stejnosměrné energetické složce se přikládala střídavá napětí, která umožňovala vytvoření jednoduchého signalizačního systému. K tomu musela být zároveň vyřešena vazba slaboproudé ovládací části na silnoproudou stejnosměrnou síť, včetně bezpečnosti zařízení i obsluhy.



---

Přenos informace ve střídavé elektroenergetické síti mohl pak být v lokální úrovni naopak realizován pomocí impulsů stejnosměrného proudu. Tyto aplikace však vyžadovaly přídatné stejnosměrné zdroje a byly velmi těžkopádné i z hlediska vazby zařízení a vedení. Proto byly brzy nahrazeny systémy s přenosem signálů střídavých proudů o frekvencích vyšších, než byla nominální frekvence sítě. Šlo nejprve znovu o jednoduchou signalizaci sloužící pro řízení provozu těchto sítí. Později pak vznikaly i jednoduché systémy pro dálkové ovládání např. síťových úsekových odpojovačů. Vždy se jednalo buď o adresní dálkovou signalizaci stavu určitého objektu, nebo o adresní ovládání vybraného jediného objektu ze vzdáleného povelového místa, popř. o obousměrné spřažení těchto systémů. Pro tyto účely se nejčastěji využívalo sítí nn, výjimečně i vn sítí.

---

Současně s tím se však, zhruba od 30. let minulého století, v energetice začaly zavádět i systémy hromadného dálkového ovládání (HDO), které naopak z jediného centrálního místa vysílaly signál do rozvětvené silnoproudé sítě, na který pak reagovaly celé skupiny dálkově ovládaných zařízení, vyvolávající buď smluvený signál, nebo spínací funkci.

Výstavba robustních a mechanicky náročných dálkových silnoproudých vedení vn a vvn lákala hned na počátku rozvoje energetiky k myšlence využít je i pro přenos telefonie. To odstartovalo i první pokusy využít tohoto principu i u silnoproudých vedení ve formě tzv. vf elektrárenské telefonie. V ČR začala výroba těchto zařízení

již před druhou světovou válkou v podniku Telegrafia Praha (předchůdce závodu Tesla Strašnice). Po válce výroba těchto zařízení pokračovala.



---

V současné době však stále více narůstá podíl vzdušných trojfázových vedení vvn, u kterých je do ochranného metalického lana vestavěn speciální optický kabel, pomocí kterého je možno takovýmto vedením přenést relativně velké datové toky, které jsou obvyklé v klasických telekomunikačních sítích s optickými kabely.

---

Další vývoj telekomunikační techniky pak umožnil aplikace, využívající i nn distribučních částí energetických sítí pro vytváření úzkopásmových systémů, sloužících pro účely lokálního ovládní, signalizace a dálkového měření (např. odečty stavů elektroměrů). Pokročilé přenosové technologie, vyvinuté zejména pro přenos telekomunikačních signálů v rádiových prostředích s vysokou hladinou rušení však umožnily i realizaci širokopásmových datových systémů s vysokými přenosovými rychlostmi v relativně velmi nepříznivém elektromagnetickém prostředí distribučních elektroenergetických sítí.

## 1.2 Power Line Communication - parametry

Název pásma	Podhovorové	Hovorové	Středofrekvenční	vysokofrekvenční
Rozsah pásma	$f < 300$ Hz	$f = 0,3 - 4$ kHz	$f = 4 - 150$ kHz	$f > 150$ kHz
Užití	HDO	HDO	DS, DO, DM Telefonní a úzkopásmové datové služby	Telefonní a širokopásmové datové služby
Příklady užívaných kmitočtů	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

Pro všechny tyto systémy se začal používat termín Power Line Communication (PLC), Power Line Telecommunication (PLT) nebo Power Line (PL) – ty však v sobě zahrnují jak širokopásmové, tak i úzkopásmové telekomunikační systémy na energetických vedeních. Jako přesnější označení pro širokopásmové systémy se začal používat termín Broadband Power Lines (BPL).

PLC systémy bývají svými odpůrci nejvíce kritizovány právě kvůli elektromagnetické interferenci, kterou produkují při svém provozu. Datový signál, který je injektován do energetického vedení se tedy může jevit pro ostatní sdělovací systémy jako zdroj rušení. U systémů PLC se samozřejmě v průběhu jejich vývoje projevovaly různé problémy v oblasti vzájemného ovlivňování s jinými sdělovacími prostředky. Problematika elektromagnetické kompatibility (EMC) musí být tedy i v oblasti PLC přísně sledována. Širokopásmový BPL signál, vyzařovaný do okolí silnoproudého rozvodného vedení, často překračuje přípustné meze současně platných mezinárodních EMC standardů. Ty však vznikly v určité historické době, a to zejména s ohledem na ochranu radiového příjmu od parazitních rušivých zdrojů. Kromě toho mohou mít PLC systémy různých generací a různých firem z hlediska rušivého vyzařování signálu značně rozdílné vlastnosti.



**Z podstaty přenosu širokopásmových signálů po metalických vedeních** však také vyplývá, že každé z nich může jistým způsobem vyzařovat určitý podíl energie signálu do okolního prostoru, a že do něj naopak může vstupovat určitý podíl signálů z jej obklopujícího elektromagnetického prostředí. Velikost těchto podílů je pak závislá především na konstrukci jednotlivých typů vedení a možnosti způsobů vazby signálů na vedení. Rušivé vyzařování širokopásmových signálů přenášených po metalickém vedení je tedy fyzikální skutečností, která platí jak pro silnoproudá, tak i pro slaboproudá vedení, a také i pro různé, relativně nové, telekomunikační systémy (např. ADSL a VDSL).

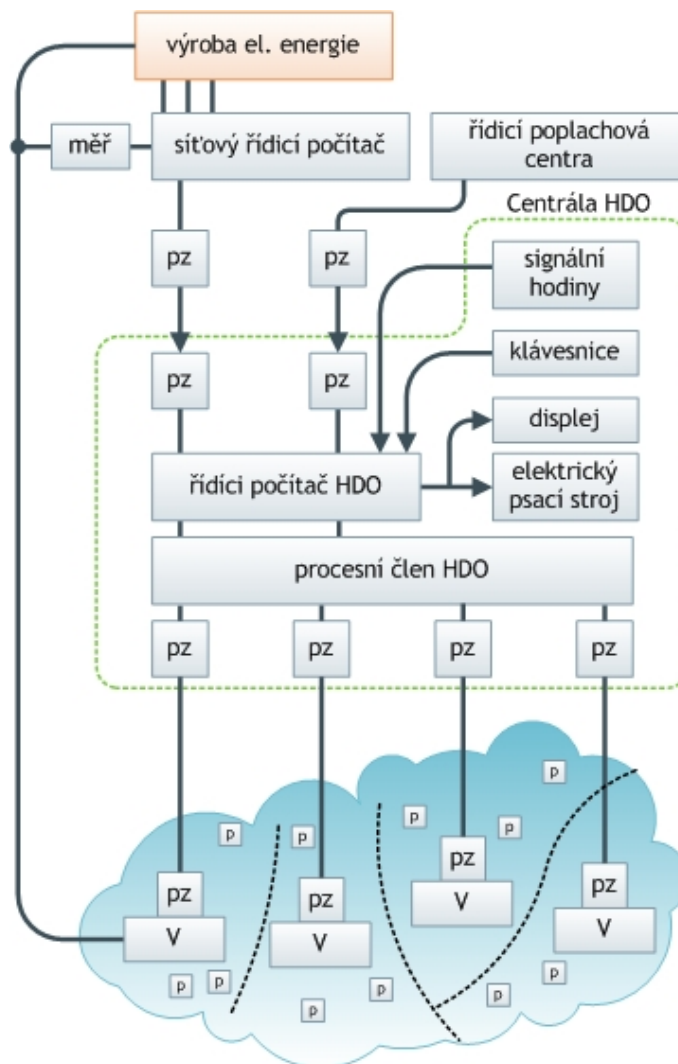


## 2 Hromadné dálkové ovládání (HDO)

Z hlediska klasifikace telekomunikačních služeb lze HDO zařadit do skupiny tzv. služeb dálkových operací. Sem patří např. systémy dálkového ovládání (DO), dálkové signalizace (DS), dálkového měření (DM), dálkové regulace (DR), dálkového sledování (Tele-Watching), GPS navigace aj. Podle typu přenosu je HDO systémem jednosměrným (distribučním). Uspořádání systému HDO je znázorněno na Obr. 1, kde pz – přenosové zařízení, V – lokální vysílač HDO, p – přijímač HDO.

$E=m \cdot c^2$

Zatímco DO je systémem adresním, který mezi ovládacím a jedním ovládaným místem má k dispozici samostatně vyhrazený obousměrný okruh, je HDO systémem hromadným, který z jediného centra vysílá signál po společné jednosměrné přenosové cestě současně k mnoha ovládaným místům. Výsledným efektem nemusí však být jen ovládání, ale též signalizace určitých stavů a událostí.

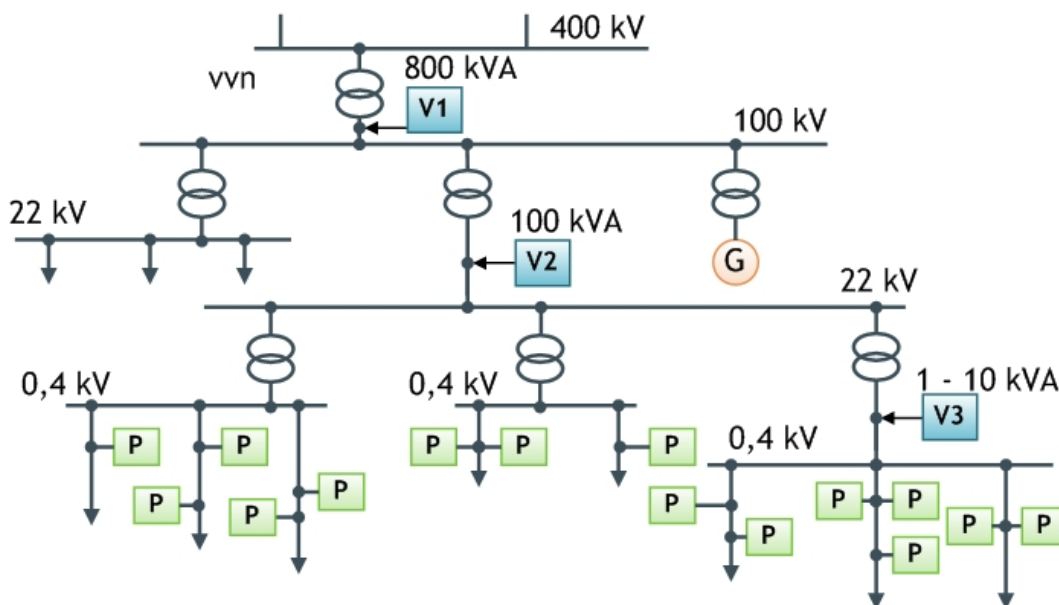


Obecné uspořádání moderního systému HDO.

## 2.1 Přístupová část sítě



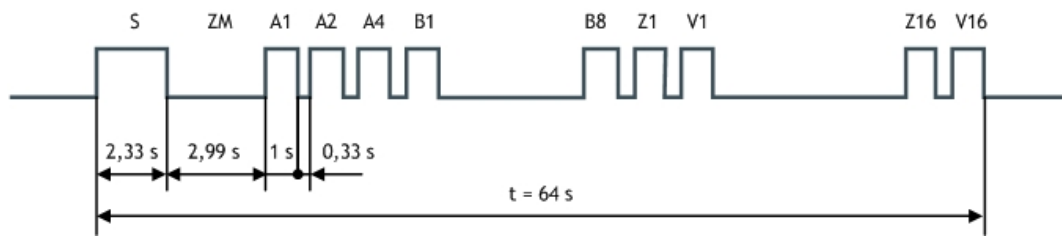
Přístupovou část sítě pak podrobněji zobrazuje další obrázek. Z něho je zřejmé, že vysílače HDO (V1, V2, V3) mohou být připojeny na sekundární stranu transformátoru  $v_{vn}/v_n$ ,  $v_n/v_n$  i  $v_n/n_n$ . Z toho pak vyplývá velikost ovládané oblasti a výkon zdroje signálu (řádově jednotky až stovky kVA). Používané ovládací kmitočty jsou v rozsahu 217Hz – 1050Hz.



Přístupová část sítě.

K přenosu signálu HDO silnoproudou sítí je třeba mít k dispozici poměrně velmi mohutné výkonové zdroje nízkofrekvenčního střídavého signálu, s výkonem řádově od jednotek až do stovek kVA. Ty se též zjednodušeně nazývají měniče kmitočtu. Nejprve byly vytvářeny měniče kmitočtu pomocí elektromechanických točivých strojů. V současnosti se však jako výkonové zdroje signálu HDO užívají výhradně tzv. statické měniče kmitočtu (SMK), realizované výkonovým tyristorovým střídačem. Zdroje jsou k síti připojovány nejčastěji pomocí tzv. sériové vazby.

Potřeba rozlišení většího počtu skupin ovládaných objektů a vyššího zabezpečení provozu vedla k vytvoření moderních typů povelových kódů **HDO**. Povelový kód se sériovým vyjádřením dvojpovelu (viz obrázek) obsahuje startovací impuls (S) a zabezpečovací mezeru (ZM). Dále je to tzv. adresová část (A, B), která umožňuje vytvořit podmínky pro zvětšení počtu možných dvojpovelů systému (až do řádů stovek). Pak následuje povelová část se 16 dvojpovelů.



Povelový kód se sériovým vyjádřením dvojpovelu.

Z původního účelu HDO, kterým byla podpora provozu elektroenergetické sítě, se v průběhu jeho rozvoje značně rozrostl počet možných aplikací, které je možno rozdělit do třech hlavních aplikačních skupin.

## 2.2 Aplikace

- První skupinou je řízení odběru elektrické energie a zrovnoměnění celkové spotřeby elektrické energie. Přiřazení jednotlivých dvojpovelů užívaných v této oblasti představují např. ovládání zásobníků horké vody v domácnosti, průmyslu a zemědělství, ovládání elektrických akumulacích kamen, ovládání elektricky vytápěných kotlů, klimatizačních zařízení a tepelných čerpadel, ovládání průmyslových a pekárenských pecí, ovládání zásobníkových a závlahových čerpadel, ovládání elektromotorů, regulace odběrových diagramů elektřiny a páry uvnitř velkých závodů aj.
- Druhou skupinu aplikací HDO představují tzv. spínací funkce. V těchto případech jde např. o přepínání dvoutarifních elektroměrů, ovládání elektroměrů pro měření maxima odběru, ovládání omezovačů příkonu, ovládání spínačů podružných silnoproudých vedení a podružných transformačních stanic, ovládání spínačů pro zkoušení zemních spojení, spínání geograficky rozptýlených měřících bodů pro statistické účely energetiky, spínání kondenzátorových baterií pro kompenzaci účinnosti, ovládání různých režimů veřejného osvětlení, ovládání osvětlení dopravních značek, světelných reklam a výkladních skříní aj.
- Třetí skupinu pak tvoří signály pro informační, svolávací a varovné funkce. Jde např. o veřejné časové signály, synchronizaci veřejných hodin, svolávání údržbových a poruchových pracovníků, dobrovolných hasičů, příslušníků horské služby, poplachy pro příslušníky záchranných a pohotovostních složek, policie a armády, ovládání funkce veřejných sirén, vyhlásování poplachů v systému civilní ochrany, živelních událostí či při zvýšení radiace v okolí jaderných elektráren aj.

Současné moderní přijímače HDO je nutno považovat za velmi sofistikovaná telekomunikační zařízení, konstruovaná na bázi moderních elektronických součástek.



---

S příchodem nových telekomunikačních technologií se sice oslabil význam systémů HDO, ale přesto zůstává HDO jedním z potřebných systémů i pro další rozvoj elektroenergetiky.

---

### 3 Vysokofrekvenční elektrárenská telefonie (VET)

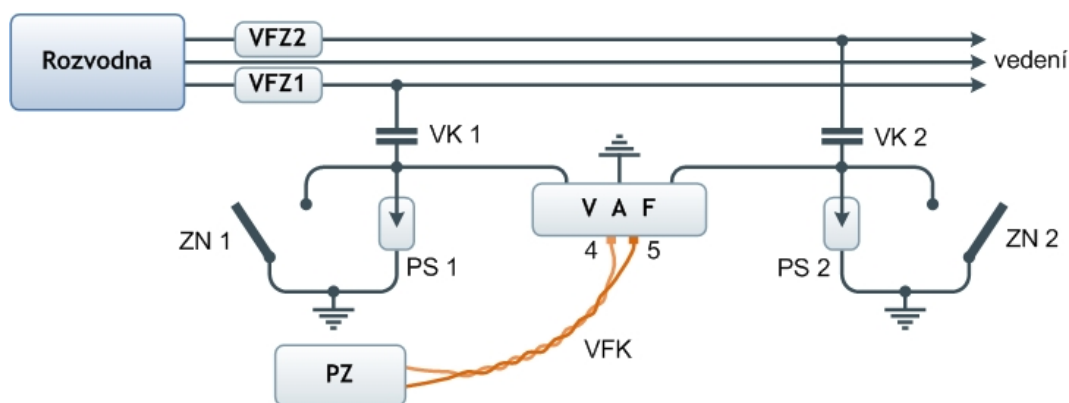
$E = m \cdot c^2$

Přenosová zařízení byla vytvořena na principu známého z vf nosných telefonních systémů. Používala se amplitudové modulace s předmodulací nebo též frekvenční modulace. Tuzemská norma ČSN 33 4640 umožňovala, na základě výjimky z Telekomunikačního zákona, realizovat služební přenosy pro účely energetiky v pásmu 30 – 750 kHz a šířkou jednotlivých kanálů 2,5 kHz či 4 kHz. Zároveň definovala parametry vazebního zařízení a bezpečnostní požadavky.

Vazební zařízení pro připojení sdělovacího zařízení na silnoproudá vedení musí zajišťovat několik základních parametrů. Především musí mít velký útlum pro technický kmitočet energetické sítě 50 Hz a co nejmenší útlum pro pásmo telekomunikačního signálu. Dále musí v sobě obsahovat prvky, které zajišťují bezpečnost obsluhy i zařízení, a to nejen před nominálním napětím fází, ale i před možnými přepětovými jevy, resp. i před nominálními a zkratovými proudy. Často též musí obsahovat prvky pro směrování signálu (např. velký útlum pro směr k silnoproudému transformátoru a malý útlum ve směru k vedení). Během vývoje vznikla tak celá řada druhů vazebních zařízení.

*i*

Blokově-principiální uspořádání příkladu nejužívanější mezifázové kapacitní vazby vf zařízení na silnoproudé vedení vvn znázorňuje obrázek.



Blokově-principiální uspořádání příkladu nejužívanější mezifázové kapacitní vazby vf zařízení na silnoproudé vedení vvn.

Vazební kondenzátory venkovního provedení VK1 a VK2 (řádově nF) jsou připojeny na vazební filtr VAF a tvoří s ním pásmovou propust laděnou na pásmo telekomunikačního signálu. Jako vnitřní přepětová ochrana slouží doutnavka. Vazební filtr kromě toho též impedančně přizpůsobuje impedanci těchto vazebních prvků na impedanci vf symetrického kabelu VFK, který je přiveden až k vlastnímu přenosovému zařízení PZ.

Směrování signálu směrem na dálkové vedení vvn resp. z vedení na přenosové zařízení zajišťují vysokofrekvenční pásmové zádrže VFZ1 a VFZ2. Tyto zádrže

(slangově zvané „tlumivky“) jsou laděny na přenášené vf pásmo v okolí nosné a tedy zamezují ztrátám signálu v transformátoru rozvodny a omezují přeslechy do jiných vedení. Technologicky nejnáročnější částí zádrže je silová tlumivka  $L_s$ , která musí být dimenzována až na zkratový proud dané fáze, jež činí řádově až stovky ampérů. Bezpečnostní funkce vazby zajišťují při provozu přepěťové svaděče (bleskojistky) PS1, PS2 reagující i při poruše vazebních kondenzátorů. Při manipulaci na vazebním zařízení zabezpečují pracovní podmínky sepnuté zemní nože ZN1 a ZN2.



---

I když realizace úzkopásmových vf systémů tzv. elektrárenské telefonie byla velmi náročná z hlediska technologického i ekonomického, bylo jejich nasazení velmi účelné. Vf systémy se však nepoužívaly jen pro telefonii, ale také pro přenos dat, dálkopis a telemetrii. Jednotlivé vf trasy na našem území byly postupně propojovány do rozsáhlé robustní sítě, sloužící pro dispečerské řízení provozu energetické soustavy. Ke konci minulého století u nás tedy existovala po energetických vedeních celostátní dispečerská síť, spojující prakticky všechny elektrárny a důležité rozvodny.

---



---

Nový prvek dálkových venkovních energetických sítí – optický kabel technologicky zabudovaný do zemního (ochranného) ocelového lana venkovních tras vvn a vn, vytvořil technicky a ekonomicky výhodnou přenosovou cestu s obrovskými širokopásmovými přenosovými možnostmi. Jedná se tedy o náhradu původních metalických zemních lan (Re, AlFe) speciálními tzv. kombinovanými zemními lany (KZL), ve kterých jsou do kostry z vodivých lanek vpleteny optické telekomunikační kabely, sloužící k realizaci širokopásmových telekomunikačních kanálů na běžných principech užívaných v dálkové telekomunikační přenosové technice.

---

## 3.1 Elektrárenské telefonie v ČR

---



Zatímco v ČR byla tedy již prakticky všechna klasická zařízení „vf elektrárenské telefonie“ zlikvidována a nahrazena přenosovými technologiemi, užívajícími kombinovaná zemní lana s vestavěnými optickými kabely, je tato změna v zemích s rozsáhlými energetickými sítěmi, zejména z důvodů ekonomických, otázkou postupného řešení. V těchto sítích se tedy předpokládá několikaleté „přechodné období“ k přechodu na optické přenosové systémy. Proto je v těchto zemích (Např. Ruská federace, Ukrajina, Čína, Indie aj.) aktuálním problémem optimalizace klasických vf přenosových zařízení směrem k digitalizaci vf přenosových kanálů.

---

## 4 Úzkopásmové PLC systémy pro lokální telematiku

Úzkopásmové PLC služby lze rozdělit do tří skupin a to na:

- Hovorové
- Rozhlasové
- Nehovorové



---

Hovorové služby představují analogový přenos služební či standardní telefonie.

---



## 4.1 Vývoj v oblasti služeb

Během rozvoje PLC aplikací byla však prováděna řada experimentů i s PLC audio službami. Přenos rozhlasových pořadů s pomocí amplitudové modulace do dlouhovlnného nebo středofrekvenčního pásma pro lokální potřeby větších objektů (např. studentských kolejí) byl závislý zejména na „čistotě energetické sítě“, tj. na úrovni rušení v použitém pásmu.



Mnohem větší byla životnost služebních telefonních přenosů, realizovaných prostřednictvím trakčních energetických vedení. Nejčastější aplikace se provozovaly po elektrických trakčních vedeních v hlubinných uhelných dolech, kde sloužily pro dorozumívání pracovních čet.



V některých případech se však takovéto systémy experimentálně nasazovaly i na trakčních vedeních drážních systémů pro spojení drážních dispečerů s osádkou lokomotiv. V obou případech byla však hlavním omezením rušení, způsobovaná pohybem trolejových napáječů elektrických hnacích vozidel po trakčním vedení (jiskření na spojovacích přechodech).



Daleko většího uplatnění však dosáhly PLC nehovorové služby, zahrnující dálkové měření, dálkové ovládání a dálkovou signalizaci, a již zmíněné hromadné dálkové ovládání. V poslední době se pak objevily i aplikace pro dálkový odečet bytových měřičů. Někdy též vznikl požadavek na implantaci těchto přenosů i do infrastruktury zabezpečovacích systémů.



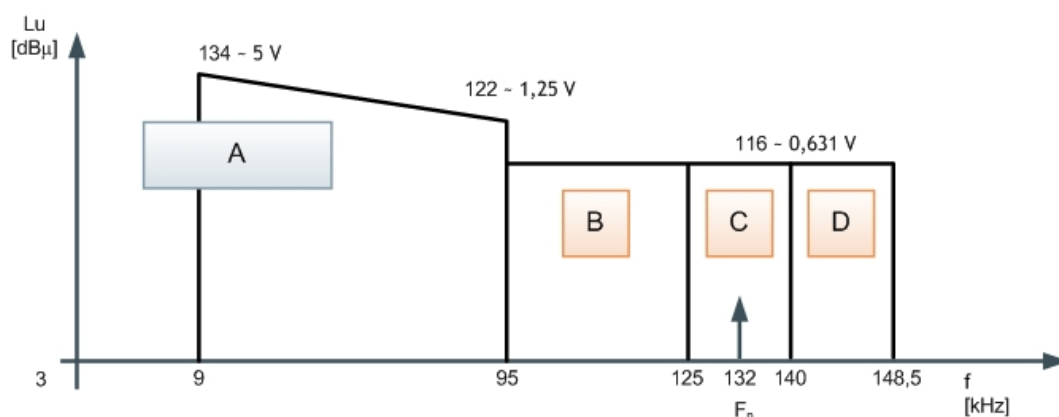
Úzkopásmová PLC technologie má samozřejmě i svá omezení, která pramení z komunikace ve stávajících energetických rozvodech. Nejvýznamněji ovlivňuje PLC signál útlum, který je závislý na kmitočtu, odbočkách na rozvodnicích, indukčnosti vedení, konfiguraci vedení a charakteru i rozložení odběrových zátěží, počtu odboček (zásuvek), typu spotřebičů, přemostujících kapacit (např. pro odrušení spotřebičů). Dále pak na nedostatečné vazbě mezi fázemi, jestliže se vysílač a přijímač nacházejí na různých fázích rozvodu. Další překážkou úspěšného přenosu je vysoká úroveň rušivých napětí, které nejčastěji generují zpět do sítě samotné spotřebiče. Jde zejména o osvětlovací tělesa řízená střídavým měničem, beztransformátorové síťové napájecí zdroje, elektromotory s tyristorovou regulací (vrtačky, vysavače, mixéry aj.), případně i domácí síťové telefony (intercoms), které pracují ve stejných frekvenčních pásmech. Kromě toho může docházet i ke zkreslení vlastního PLC signálu vlivem nelinearit frekvence a fáze nebo časově proměnných impedancí. Proti těmto přenosovým překážkám úzkopásmových systémů lze bojovat pomocí vhodné volby modulace, potlačovači ozvěn, omezovači impulsních hluků aj. Dnes se uvažuje pro typické distribuční rozvody realizovat úzkopásmové přenosy dat ve vzdálenostním pásmu od stovek metrů až do cca 5 km.

V současné době se objevuje stále více aplikací, které využívají úzkopásmových PLC kanálů v nn síti pro lokální účely. Jde především o systémy dálkového sběru dat zejména z měřičů různých distribuovaných médií (el. energie, voda, plyn, teplá voda, chlad atd.). Tyto systémy poskytují přesné a spolehlivé informace bez nutnosti osobní návštěvy měřícího místa. Tím se omezují lidské chyby odečtu a snižují se osobní náklady. Kromě elektroenergetických podniků tedy mohou využívat tyto možnosti i distributoři dalších médií.

## 4.2 Normy pro PLC, kmitočtová pásma

$E=m \cdot c^2$

Pro oblast úzkopásmových systémů PLC byla v ČR převzata norma EN 50065-1 platná od r. 1991. Název této normy je „Signalizace v instalacích nízkého napětí v kmitočtovém rozsahu od 3 kHz do 148,5 kHz“. Norma stanovuje zejména kmitočtová pásma a meze koncového výstupního napětí, jak ukazuje obrázek.



Kmitočtová pásma a meze koncového výstupního napětí.

*i*

K jednotlivým frekvenčním dělicím bodům lze z obrázku vyčíst pro příslušné kmitočty amplitudové meze, vyjádřené jednak „sílu signálu, která se vztahuje k velikosti elektrického pole v referenčním místě“ v jednotkách [dBμ], anebo v absolutních hodnotách napětí ve [V]. Ve světě však existují i další standardy pro aplikaci úzkopásmových PLC.

## 5 Širokopásmové PLC systémy pro přenos dat



---

Podobně jako v klasické telekomunikační technice vzrostla poptávka po širokopásmových kanálech a okruzích v přístupových sítích, projevil se tento trend i v přenosových prostředcích využívajících jako přenosovou cestu distribuční silnoprůdové vedení.

---



---

Silnoprůdové distribuční síť však také představuje infrastrukturu, která je z hlediska možné přenosové kapacity velmi málo využita. Přitom představuje přístupovou síť přivedenou až k jednotlivému spotřebiteli elektrické energie a umožňující přenos digitálních signálů o přenosové rychlosti řádově jednotek až stovek Mbit/s.

---

Poslední desetiletí minulého století proto přineslo požadavek na využití částí silnoprůdových sítí i pro přenos širokopásmových vysokorychlostních datových signálů. Tento požadavek byl vyvolán zejména masovým rozšířením sítě Internet a vznikla myšlenka použít energetické vedení i pro přístup k této informační technologii. Počátky tohoto přístupu sahají do devadesátých let minulého století.

## 5.1 Varianty BPL systémů v praxi

---



Přenosy v této distribuční síti se v praxi obvykle rozdělují na dva typy BPL systémů.

---

- Vnější (outdoor nebo access) BPL systémy používají buď vn vedení nebo nn vedení od transformátoru k napájeným objektům, tj. veřejných částí energetické sítě.
  - Vnitřní (indoor nebo in-house) BPL systémy pak užívají vnitřních rozvodů budov, které jsou obvykle v soukromém majetku. Přitom pro aplikace outdoor se používá nejčastěji pásmo 1 – 18 MHz a pro aplikace indoor pak pásmo 18 – 30 MHz. Přímý dosah signálu je však relativně velmi malý, a podle způsobu vazby a konfigurace distribuční sítě činí nejčastěji řádově desítky až stovky metrů a dosahované rychlosti se většinou pohybují v jednotkách až stovkách Mbit/s.
- 



Mechanismus šíření sdělovacího signálu po silnoproudých vedeních tím složitější a nepřehlednější, čím je signálová frekvence vyšší, a tedy k ní příslušná délka vlny je srovnatelnější s geometrickými délkami dílčích úseků (např. odboček). Dochází zde totiž často ke vzniku paralelních a sériových rezonancí. Dále je pak, kromě nehomogenity dílčích úseků, nutno uvažovat změny přenosových parametrů vyvolaných změnami konfigurace a okamžitými změnami zátěží a samozřejmě relativně vysokou hladinu hluků vytvářenou různorodými zdroji rušení. K tomu je nutné uvažovat i přenosové vlastnosti potřebných vazebních členů.

---

K úspěšnému vyřešení problémů v agresivním přenosovém prostředí energetických sítí významně pomohly zkušenosti, které výrobci telekomunikačních zařízení nashromáždili již při vývoji a provozu distribučních systémů kabelové televize a moderních radiokomunikačních systémů. Proto je v konkrétních řešeních BPL systémů využito nejnovějších modulačních a přístupových metod. Současný vývoj zařízení PLC je zaměřen zejména na dva typy modulací. Direkt Sequence Spread Spectrum Modulation (DSSSM) – modulace s tzv. rozprostřeným spektrem (Spread Spectrum) a OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) – modulace s přenosem v dělených subpásmech.

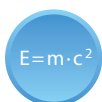
## 5.2 Parametry BPL

Z hlediska přenosu BPL signálu nás zajímají dva hlavní parametry:

- přenosová rychlost
- chybovost



Jak již bylo uvedeno, představuje elektrická rozvodná síť, jakožto přenosové médium, velmi obtížné prostředí z hlediska elektromagnetické kompatibility. Navíc se podmínky pro přenos v energetické síti mění každým okamžikem (vlivem provozních manipulací i připojováním různorodých spotřebičů). Proto je třeba pro BPL systémy pečlivě volit nejen modulační metody, (ale též způsoby kódování a metody detekce a korekce chyb. Tím se však zvyšuje potřebný počet služebních bitů, čímž vlastně klesá efektivní přenosová rychlost vlastních uživatelských dat.



Obecně se dá říci, že čím větší přenosová rychlost, tím větší náchylnost na chyby, a tím více přenosové kapacity musí být vyhrazeno na detekci a korekci chyb. V případě systémů s menšími přenosovými rychlostmi je poměr mezi užitečnými a redundantními daty asi 1:1. U systémů s přenosovou rychlostí 200 Mbit/s je tento poměr až 1:3 (tedy pouze asi 30 % z přenosové kapacity připadá na užitečná data). Maximální dosažitelná vzdálenost mezi dvěma BPL modemy závisí hlavně na výstupním výkonu BPL signálu, jeho útlumu a též na úrovni rušení na přijímací straně. Bez opakovačů může tato vzdálenost dosahovat řádově stovek metrů, ale jen ve veřejných elektrických sítích s venkovními nebo podzemními vodiči. Pro vnitřní část sítě s množstvím různých interferenčních zdrojů a spotřebičů neposkytuje jakákoliv průměrná hodnota překlenutelné vzdálenosti užitečnou informaci, protože různé typy instalací ovlivňují přenosovou vzdálenost o desítky metrů oběma směry. Ve vnitřních systémech se obvykle uvažuje o dosažitelné vzdálenosti okolo 100 m.



BPL modem může být navázán do energetické sítě buď přímo, nebo induktivně. Přímé vodivé připojení BPL modemu výstupním připojovacím kabelem samozřejmě předpokládá, že kapacitní vazba umožňující připojení modemu na vedení 230 V, je přímo jeho vnitřní součástí.



Zatímco pro úzkopásmové PLC systémy jsou vytvořeny jednoznačné mezinárodní normy, je normalizace pro širokopásmové BPL systémy dosud mezinárodně nedořešena.

Významnou roli hraje též skutečnost, že elektrorozvodná síť ve vyspělejších zemích nabízí prakticky stoprocentní pokrytí všech stavebních objektů, tj. domácností i firem. V méně rozvinutých zemích naopak může BPL suplovat chybějící telekomunikační infrastrukturu.

Jedním z výsledků jednání mezi výrobci, elektrorozvodnými společnostmi jednání byl také zrod projektu s názvem *Open PLC European Research Alliance* (**OPERA**), jehož hlavním sponzorem se stala Evropská Komise. Do projektu OPERA se zapojilo 37 firem a univerzit z deseti evropských zemí. Projekt OPERA byl pak oficiálně spuštěn na počátku roku 2004 u příležitosti dalšího evropského setkání na téma BPL, které se konalo v Madridu.

*i*

V průběhu vývoje BPL systémů se ve světě vyskytl relativně velký počet jejich výrobců. Jednotlivé výrobky je však možno řadit k určitým výrobním generacím, které se liší zejména druhem modulace a dosažitelnou přenosovou rychlostí přenášených dat. V Evropě většina moderních BPL modemů 3. generace užívá čipů firmy **DS2** (*Design of Systems on Silicon*) pracujících s modulací OFDM. Takové BPL systémy se tak stávají konkurenceschopnými vzhledem ke klasickým telekomunikačním technologiím užívaných v přístupových sítích.

Ačkoliv se technologie BPL stále rozvíjejí, nelze přehlížet skutečnost, že i po řadě let technického vývoje a testování se praktické nasazení obvykle omezuje pouze na relativně malé pilotní projekty, z nichž jen některé mají ambice přerůst do mnohem většího rozsahu. Pravděpodobně dosud největší projekt s aplikací PLC/BPL systémů byl realizován ve státě Texas v USA firmami ONCOR Texas a CURRENT Group, LLC. Šlo o implantaci těchto technologií do rámce projektu Smart Grid.

V současné době tedy mohou být BPL systémy komerčně nabízeny např. pro oblasti: průmyslové komunikační sítě menšího rozsahu, internetová připojení pro poskytovatele připojení sídlištního typu, doplnění stávajících pevných sítí do prostor, kde doposud sítě nebyly realizovány, dočasná řešení pro výstavy, semináře, školení či presentace, výstavba datových sítí v oblastech omezené výstavby či přestavby – např. historické budovy, muzea, galerie, realizace domovní sítě LAN (např. propojení PC, tiskárny, telefonu, faxu), přístupové sítě kombinované s použitím dalších telekomunikačních systémů (pevné telefonní a datové sítě, rádiové sítě GSM, GPRS, WiFi aj.), a konečně i použití v zemích s méně rozvinutou komunikační infrastrukturou v Asii, Africe a Jižní Americe.

*i*

Z dosavadního vývoje systémů BPL je zřejmé, že se tyto již zařadily do používaných prostředků přístupových telekomunikačních sítí, a že jejich další rozvoj souvisí s problematikou jejich standardizace, z níž vyplývá snižování jejich ceny v důsledku větších výrobních sérií, a tedy zvyšování efektivity jejich nasazení. Důležitý je i budoucí přístup k problematice jejich nasazování do elektromagnetického prostředí nových inteligentních budov i moderních systémů řízení, zejména pak do soustav Smart Grids.

## 6 Postavení PLC systémů v procesech konvergence teleinformatických sítí a služeb a budování Smart Grids



Budování širokopásmového distribučního přístupu po již vybudovaném energetickém rozvodu se samozřejmě řadí k ekonomicky výhodným variantám. Přitom moderní modulační a zabezpečovací postupy, zejména u moderních zařízení umožní významně redukovat jejich rušivé vlivy na okolní teleinformatické systémy. Je však zřejmé, že výhodnost nasazení BPL systémů pro širokopásmovou distribuci může být velmi rozdílná v závislosti na geografické poloze, infrastruktuře energetické distribuční sítě, telekomunikační vyspělosti dané země, hustotě osídlení i dalších aspektech. Jedním z nich je též např. výhodnost použití BPL systémů pro přístup k Internetu, rozvodu audio a video pořadů či budování lokálních datových sítí v budovách, kde jsou omezené možnosti stavebních úprav při pokládání nových kabelových rozvodů (historické budovy, muzea, výstavní síně a areály, staré školní budovy aj.). Na druhé straně mohou být moderní systémy PLC/BPL důležitou složkou i při realizaci určitých služeb v nových tzv. „inteligentních budovách.“ Některé takové aplikace již byly v různých částech světa realizovány.



I přes značný potenciál, který v sobě zahrnují BPL přístupové sítě je však, ve srovnání se širokopásmovými prostředky x-DSL a CATV, jejich současný procentní podíl na světovém telekomunikačním trhu relativně velmi malý. K tomu je navíc třeba vzít v úvahu stále silnější nástup technologií pro rychlý bezdrátový přístup, ať už fixní či mobilní. V globálním měřítku tak technologie PLC/BPL budou jen postupně dohánět náskok některých konkurenčních teleinformačních technologií.

Přesto však BPL systémy mají stále svou šanci na svém masovějším rozšíření. Kromě již vybudovaného základního přístupu k prakticky všem potenciálním zákazníkům ve vyspělých zemích, totiž většina elektrorozvodných společností disponuje s relativně značnými prostředky, na investice do nových služeb i efektivního marketingu.

I když systémy PLC/BPL mohou najít uplatnění ve všech těchto oblastech, mají největší perspektivní uplatnění právě při realizaci tzv. inteligentních energetických sítí – Smart Grids (SG).



## 6.1 Smart Grids

---



$E=m \cdot c^2$

SG představuje integrální spojení energetických a telekomunikačních sítí, které směřuje k efektivnímu řízení výroby a spotřeby energie v reálném čase jak v lokální, tak i v globální oblasti. Princip fungování těchto sítí je založen na obousměrné interaktivní komunikaci mezi dílčími provozními body sítě na straně výroby, rozvodu i spotřeby energie. Teleinformatické prostředky v síti umožňují v reálném čase jednak sběr informací, diagnostiku jednotlivých částí sítě a operativní řízení na straně výroby a rozvodu, ale i rozšíření možností v oblasti prodeje, a také volbě tarifních možností na straně spotřeby, podle programovaných či okamžitých požadavků spotřebitelů. Pod pojmem „energetická síť“ se však skrývá nejen elektroenergetická síť, ale i sítě pro výrobu a rozvod plynu i tepla, vodárenská distribuční soustava aj.

---



Největší nástup sítí SG je však dnes zaznamenáván právě v elektroenergetických sítích. Řídicí systém by zde měl neustále monitorovat provoz sítě a zajišťovat i tzv. „self healing“, tj. proces kdy se po vzniku mimořádného provozního stavu dokáže síť automaticky uvést do původní rovnováhy. K tomu by měla napomoci i nepřetržitá diagnostika změn provozních parametrů rozvoden, transformátorů a distribučních vedení a zejména okamžitá indikace poruchových stavů.

---

Většina současných elektroenergetických sítí je vybudována s koncepcí budování relativně menšího počtu klasických energetických zdrojů (tepelné, vodní a jaderné elektrárny) s velkými výkony (řádově stovky a tisíce MW), od kterých úrovnově dělená (vvn, vn, nn) distribuční síť přenáší energii k relativně velkému počtu spotřebitelských míst. Toto uspořádání sice umožňuje poměrně snadnou synchronizaci sítě, ale její převážně hvězdicová struktura může, v případě výpadku zdroje či poškození vedení, vyvolat značné problémy.

## 6.2 Alternativní zdroje energie

V současnosti však dochází k významným změnám v oblasti nových alternativních energetických zdrojů, které mohou být i relativně malovýkonové a jsou rozptýleny po celém distribučním území. Některé z těchto zdrojů (např. malé fotovoltaické systémy) jsou dokonce detašovány až do úrovně jednotlivých budov, ale přitom mohou i svými malými výkony přispívat do veřejné energetické sítě. Vzniká tedy potřeba zásadní rekonfigurace elektroenergetických sítí, která je spojena s budováním SG. Tato struktura však přináší problémy např. se stabilitou provozu a synchronizací společné sítě. Aby energetická síť vlivem velkého množství různých zdrojů nezkolabovala, je nutné zavést do sítě velmi sofistikované a efektivní řízení, které umožní ovládat energetickou síť až na úrovni těchto jednotlivých zdrojů. Účinnost úspěšného řízení Smart Grids sítě, která je tvořena velkým počtem zdrojů (stovky) a několikanásobně větším počtem odběrných míst (stovky tisíc), je kriticky závislá na typu a množství dodaných informací ze zdrojů a spotřebičů energie. To by právě měla zařídit realizace sítě Smart Grids, která by především měla umožnit optimálně využít všechny její zdroje. Řízení by též mělo umožnit, na základě podrobných informací o aktuální spotřebě, rekonfiguraci sítě tak, aby bylo dosaženo co nejmenších ztrát při přenosu energie. Kromě toho by však rozptýlenost jednotlivých zdrojů a inteligentní řízení mělo zajistit i rychlé a efektivní řešení kritických stavů, které nastávají při poruchách rozvodné sítě vlivem výpadků zdrojů nebo poškozením vedení.



---

Důležitý aspekt, zejména pro budoucnost, představuje i určitý návrat ke stejnosměrnému energetickému rozvodu a budování napájecích stanic pro elektromobily. Rozvíjí se i procesy výstavby tzv. inteligentních budov (Intelligent Buildings), které by měly zajišťovat ekologicky-ekonomické provozní parametry a vysoký stupeň automatizace provozních procesů, včetně rozvinutí tzv. komunálních služeb.

Sítě SG tedy představují pro současné i budoucí elektroenergetické sítě řadu dalších provozních i ekonomických výhod. Umožňují vyšší stupeň automatizace rozveden a transformátorů, což se mj. projevuje snížením provozních ekonomických nákladů.

---

## 7 Závěr



Všechny tyto skutečnosti jednoznačně umocňují potřebu budování sítí Smart Grids. Aby však bylo možné zajistit efektivní řízení, je nutné vytvořit dostatečně dimenzovanou datovou infrastrukturu mezi jednotlivými zdroji a spotřebiči, datovým centrem a řídicím dispečinkem. Z tohoto popisu však také zřejmě vyplývá, že budování SG vyvolá nejen velké náklady, ale i značné nároky na problematiku elektromagnetické kompatibility spolupracujících i sousedních systémů.



Telekomunikační operátoři i výrobci informačních a telekomunikačních zařízení, v současné situaci relativního nasycení klasických telekomunikačních trhů ve většině teleinformaticky vyspělých zemí pochopili, že právě nezbytná potřeba rozvoje sítí SG se může stát velmi perspektivní i pro jejich současné a budoucí podnikání.



Souhrnně lze tedy říci, že pro zajištění efektivního řízení je nutné vytvořit dostatečně dimenzovanou teleinformatickou infrastrukturu mezi jednotlivými energetickými zdroji a spotřebiči, datovým centrem, řídicím dispečinkem i některými dalšími složkami energetických podniků. V této infrastruktuře je z technických i ekonomických důvodů nutno začleňovat i různorodé systémy PLC. Důležitým aspektem pro aplikaci PLC/BPL prostředků je i možnost jejich kombinace s dalšími teleinformatickými technologiemi. Přitom systémy PLC/BPL mohou zajišťovat nejen úsek „poslední míle“, ale i přístup k této koncové distribuci.