




TECH
pedia



NUTZUNG VON
STARKSTROMLEITUNGEN ZUR
NACHRICHTENÜBERTRAGUNG
(PLC, BPL)

JAROSLAV SVOBODA

Titel der Arbeit: Nutzung von Starkstromleitungen zur Nachrichtenübertragung (PLC, BPL)
Author: Jaroslav Svoboda
Übersetzt (von): Alena Dvořáková
Veröffentlicht (von): České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Kontaktadresse: Technicka 2, Prague 6, Czech Republic
Tel.: +420 224352084
Drucken: (nur elektronisch)
Anzahl der Seiten: 28
Ausgabe: 1. Ausgabe, 2017
ISBN 978-80-01-06278-4

TechPedia

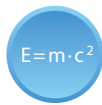
European Virtual Learning Platform for
Electrical and Information Engineering

<http://www.techpedia.eu>



Dieses Projekt wurde mit Unterstützung der Europäischen Kommission finanziert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung (Mitteilung) trägt allein der Verfasser; die Kommission haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

ERLÄUTERUNG



Definition(en)



Interessantheit (Interessantes)



Bemerkung



Beispiel



Zusammenfassung



Vorteile



Nachteile

ZUSAMMENFASSUNG

Das Modul beschreibt verschiedene Verfahren, Methoden und Technologien zur Nachrichtenübertragung mittels Starkstromleitungen und Stromnetzen. Desweiteren werden hier mögliche Anwendungen dieser Systeme im Rahmen eines intelligenten Energienetzes (Smart Grid) beschrieben.

ZIELE

Den Studenten werden grundlegende Unterschiede zwischen Übertragungseigenschaften der Telekommunikations- und Starkstromleitungen vermittelt. Es werden auch Prinzipien und Anwendungen von Schmal- und Breitband-Telekommunikationstechnologien vorgestellt, die mit Hilfe von Energieleitungen und -netzen betrieben werden (Rundsteuertechnik, Hochfrequenz-Übertragungssysteme, Kraftwerktelefonie, lokale Systeme zur Übertragung von Fernmessung, -signalisierung und -steuerung, Breitbandsysteme zur Datenübertragung). Diese Kenntnisse können bei der Einführung dieser Systeme im Rahmen von Transport- und insbesondere Zugangsnetzen helfen. Für die Studenten wird ein allgemeiner Überblick über die Entwicklung von Energienetzen und die Implementierung von intelligenten Stromnetzen gegeben. Sie werden lernen, die Aufgaben und Vorteile der PLC- und BPL-Systeme bei der Realisierung von konkreten Telekommunikationsnetzen zu beurteilen.

LITERATUR

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

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Historische Entwicklung	6
1.2	Power Line Communication - Parameter	8
2	Rundsteuertechnik (MRC)	9
2.1	Zugangsteil des Netzes	10
2.2	Anwendungen.....	12
3	Hochfrequenz-Kraftwerktelefonie	13
3.1	Kraftwerktelefonie in der Tschechischen Republik	15
4	PLC-Schmalbandsysteme für lokale Telematik	16
4.1	Entwicklung der Dienste	17
4.2	PLC-Normen, Frequenzbänder	19
5	PLC-Breitbandsysteme für die Datenübertragung	20
5.1	Varianten von Breitband-Powerline-Systemen in Praxis	21
5.2	Parameter von Breitband-Powerline-Systemen.....	22
6	PLC-Systeme in Konvergenzprozessen der Teleinformatiknetze und -dienste und Aufbau von Smart Grids	25
6.1	Smart Grids.....	26
6.2	Alternative Energiequellen.....	27
7	Schlussfolgerung	28

1 Einleitung

1.1 Historische Entwicklung

1866 ließ der deutsche Ingenieur Ernst Werner von Siemens (1823–1883) einen elektrischen Generator patentieren. Er schuf damit eine Grundlage für die Entwicklung der Elektroenergie-technik, weil damit die Umwandlung der mechanischen oder thermischen Energie in elektrische Energie in einem Gerät mit einer damals ziemlich hohen elektrischen Leistung möglich wurde. Von der anfangs lokalen Ausnutzung der elektrischen Energie gab es einen großen Fortschritt bei der Übertragung der Energie. Der französische Elektrotechniker Marcel Depréz (1843–1918) war einer der Ersten, der die Gleichstromübertragung über eine längere Entfernung praktisch realisierte. 1873 zeigte er eine Übertragung mittels einer Telegrafentelefonleitung. Die Entfernung zwischen dem Generator und dem Motor betrug 1 km.

Damals wurden die ersten Gleichstrom-Elektrizitätsnetze gebaut. Sie ermöglichten die Nutzung der elektrischen Energie, unabhängig vom Ort der Erzeugung (Fließgewässer, Kohlelagerstätte usw.). Von Anfang an wurde in Betracht gezogen, wie Gleichstromnetze auch für die Nachrichtenübertragung genutzt werden könnten. Am Anfang stand die Anforderung, Steuerungs- und Kontrollbefehle für die Übertragung der Energie zu übermitteln. Dann wurde der Gleichstromkomponente die Wechselspannung beigefügt, was den Einsatz eines einfachen Signalisierungssystems ermöglichte. Dafür mussten auch Fragen des Zusammenspiels von Schwachstrom-Steuerteilen mit dem Starkstrom-DC-Netz, einschließlich der Sicherheit der Einrichtungen und der Bedienung, gelöst werden.



Die Übertragung der Informationen im Wechselstrom-Elektrizitätsnetz konnte dann auf einer lokalen Niederspannungsebene mittels Pulsen des Gleichstroms verwirklicht werden. Diese Anwendungen erforderten jedoch zusätzliche Gleichstromquellen und waren auch aus der Sicht der Anknüpfung der Einrichtungen an die Leitung problematisch. Daher wurden sie bald durch Systeme ersetzt, die bei der Übertragung von Wechselstromsignalen höhere Frequenzen als die Nennfrequenz des Netzes verwendeten. Es handelte sich um eine einfache Signalisierung zur Steuerung des Netzbetriebes. Später wurden auch einfache Systeme zur Fernbedienung z. B. von Netzstreckentrennern geschaffen. Es handelte sich entweder um eine adressierte Fernsignalisierung des Zustandes von Objekten bzw. um die adressierte Bedienung eines einzigen Objektes vom entfernten Steuerungspunkt oder um die bidirektionale Kombination dieser Systeme. Hierfür wurden am häufigsten Niederspannungs-, ausnahmsweise auch Hochspannungsnetze verwendet.

Zur gleichen Zeit, etwa um die dreißiger Jahre des vorigen Jahrhunderts, wurden in der Energietechnik auch Rundsteuertechniksysteme eingeführt, die von einer einzigen zentralen Stelle ein Signal ins verzweigte Starkstromnetz sendeten. Darauf reagierten dann ganze Gruppen von fernbedienten Einrichtungen, entweder mit einem vereinbarten Signal oder einer Schaltfunktion.

Der Aufbau von robusten und mechanisch anspruchsvollen Starkstrom-Fernleitungen in der Hochspannungs- und Höchstspannungsausführung war bereits zu Beginn der Entwicklung der Energietechnik auch für die Nutzung der Telefondienste eine attraktive Idee. Es gab erste Versuche zur Ausnutzung dieses Prinzips auch bei Starkstromleitungen in Form der HF-Kraftwerktelefonie. In der Tschechischen Republik wurden diese Einrichtungen schon vor dem zweiten Weltkrieg im Unternehmen Telegrafia Prag (Vorgänger des Unternehmens Tesla Strašnice) hergestellt. Nach dem Krieg wurde die Herstellung dieser Einrichtungen fortgeführt.



Aktuell steigt der Anteil der dreiphasigen Freiluft-Höchstspannungsleitungen immer mehr, in denen ein spezieller Lichtwellenleiter ins schützende metallische Seil eingebaut wird. Dank dessen können relativ große Datenflüsse übertragen werden, die in klassischen Telekommunikationsnetzen mit Lichtwellenleitern üblich sind.

Die weitere Entwicklung der Telekommunikationstechnik ermöglichte dann Anwendungen, die auch die Niederspannungs-Verteilungssektionen der Energienetze zur Schaffung von Schmalbandsystemen zum Zwecke der lokalen Bedienung, Signalisierung und Fernmessung (z. B. Ablesen von Stromzählern) nutzen. Fortgeschrittene Übertragungstechnologien, die insbesondere zur Übertragung von Telekommunikationssignalen in Funkumgebungen mit einer hohen Störungsebene entwickelt wurden, ermöglichten auch die Realisierung von Breitband-Datensystemen mit hohen Übertragungsraten in einer relativ ungünstigen elektromagnetischen Umgebung der Elektrizitätsverteilnetze.

1.2 Power Line Communication - Parameter

Name des Bands	Sub-Sprachband	Sprachband	Mittelfrequenz	Hochfrequenz
Bandbreite	$f < 300 \text{ Hz}$	$f = 0,3\text{--}4 \text{ kHz}$	$f = 4\text{--}150 \text{ kHz}$	$f > 150 \text{ kHz}$
Anwendung	Rundsteuertechnik	Rundsteuertechnik	FS, FB, FM Telefondienste und Schmalband- Datendienste	Telefondienste und Breitband- Datendienste
Beispiele der verwendeten Frequenzen	0 Hz, 50 Hz 166 Hz, 217 Hz	300–2500 Hz 300–3400 Hz 316 Hz, 425 Hz 1050 Hz	3–95 kHz 9–95 kHz 95–148,5 kHz	40–750 kHz 1–30 MHz

Für alle diese Systeme werden die englischen Begriffe Power Line Communication (PLC), Power Line Telecommunication (PLT) oder Power Line (PL) verwendet – darin sind sowohl Breitband- als auch Schmalband-Telekommunikationssysteme in Energieleitungen eingeschlossen. Die exaktere Bezeichnung dieser Breitbandsysteme ist der Begriff Broadband Power Lines (BPL).

PLC-Systeme werden von ihren Gegnern wegen der elektromagnetischen Interferenz kritisiert, die bei ihrem Betrieb entsteht. Das Datensignal, das in die Energieleitung eingespeist wird, könnte für andere Telekommunikationssysteme eine Störquelle sein. Bei der Entwicklung der PLC-Systeme gab es verschiedene Probleme im Bereich der gegenseitigen Beeinflussung mit anderen Medien. Die Problematik der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) muss daher auch auf dem Gebiet der PLC beachtet werden. Ein Breitband-Powerline-Signal, das in die Umgebung der Starkstromleitung ausgestrahlt wird, überschreitet oft die zulässigen Grenzwerte der zurzeit gültigen internationalen EMV-Standards. Sie entstanden jedoch in einer spezifischen historischen Phase, und zwar im Hinblick auf den Schutz des Funkempfangs vor unerwünschten Störquellen. Darüber hinaus können PLC-Systeme verschiedener Generationen und Hersteller aus der Sicht der störenden Signalausstrahlung ganz unterschiedliche Eigenschaften haben.



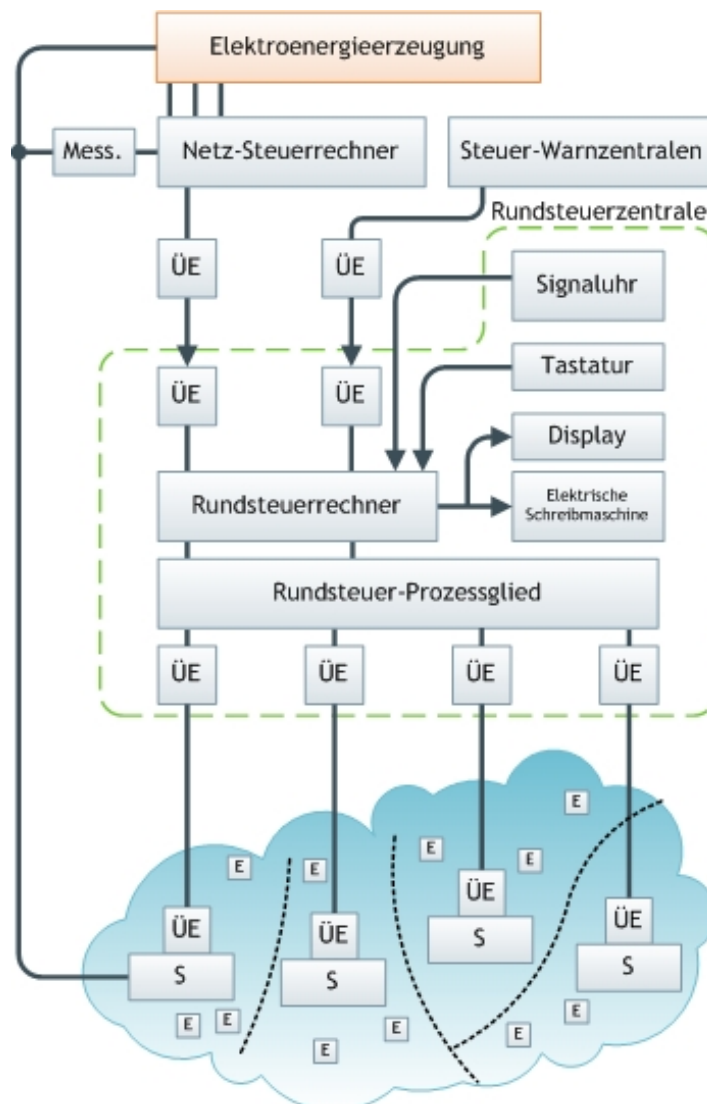
Aus dem Prinzip der Übertragung der Breitbandsignale über metallische Leiter ergibt sich, dass jeder dieser Leiter irgendwie einen gewissen Anteil der Signalenergie in den Umgebungsraum ausstrahlen und andererseits auch ein gewisser Anteil der Signale aus der elektromagnetischen Umgebung eindringen kann. Die Größe dieser Anteile hängt vor allem vom Leitungstyp und der Möglichkeit der Signalanknüpfung an die Leitung ab. Die störende Ausstrahlung der über metallische Leitungen übertragenen Breitbandsignale ist daher eine physikalische Tatsache und betrifft sowohl Starkstrom- als auch Schwachstromleitungen, einschließlich relativ neuer Telekommunikationssysteme (z. B. ADSL und VDSL).

2 Rundsteuertechnik (MRC)

Mit der Klassifikation der Telekommunikationsdienste kann Rundsteuertechnik in die Gruppe der Ferndienste eingeordnet werden. Dazu gehören z. B. Systeme der Fernbedienung (FB), Fernsignalisierung (FS), Fernmessung (FM), Fernregelung (FR), Fernüberwachung (Tele-Watching) und die GPS-Navigation. In Hinsicht auf den Übertragungstyp handelt es sich bei Rundsteuersystemen um eindirektionale Verteilersysteme.

$E=m \cdot c^2$

FB ist ein adressiertes System, das zwischen der bedienenden und der bedienten Stelle einen separaten reservierten Zweirichtungskreis bildet. Rundsteuersysteme sind Massensysteme, die von einem einzigen Zentrum das Signal über einen gemeinsamen Einrichtungs-Übertragungsweg zugleich an viele Orte senden. Das Ergebnis dient nicht nur dem Management, sondern auch der Signalisierung von Zuständen und Ereignissen.

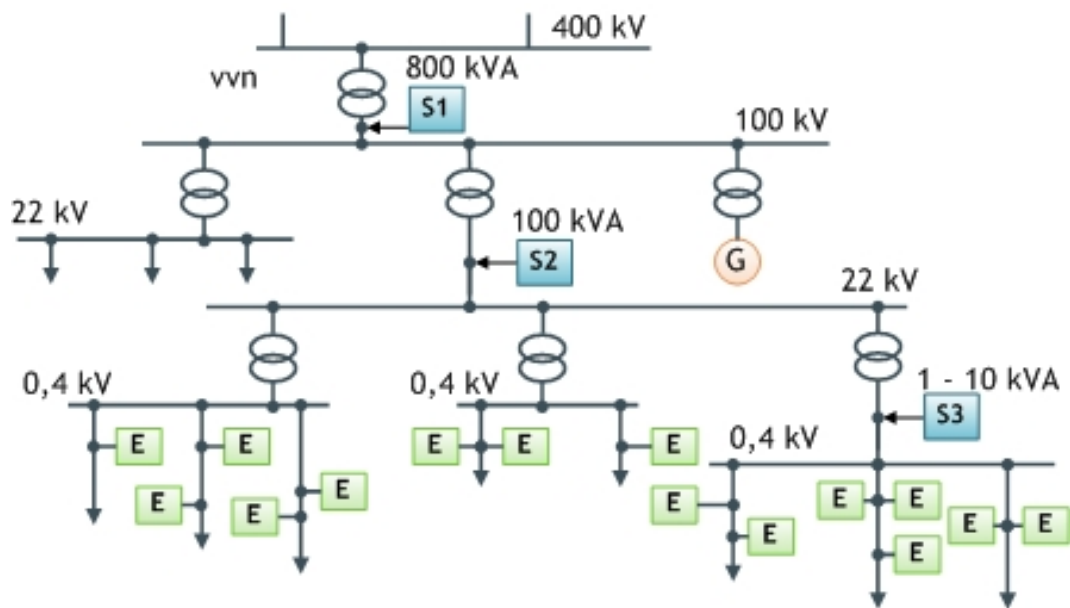


Allgemeine Anordnung eines modernen Rundsteuersystems; ÜE – Übertragungseinrichtung, S – lokaler Rundsteuer-Sender, E - Rundsteuer-Empfänger.

2.1 Zugangsteil des Netzes



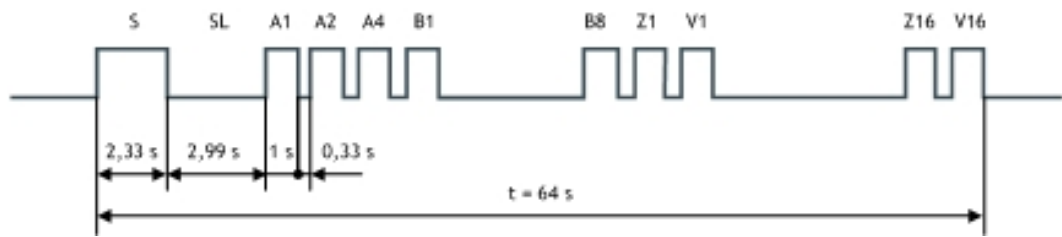
Der Zugangsteil des Netzes wird auf dem folgenden Bild angezeigt. Es zeigt, dass die Rundsteuersender (S1, S2, S3) an die sekundäre Seite des HöS/HS-, HS/HS- und HS/NS-Transformators angeschlossen werden können. Daraus ergibt sich die Größe des gesteuerten Gebietes und die Leistung der Signalquelle (in der Größenordnung von einigen kVA bis einigen hundert kVA). Die verwendeten Steuerfrequenzen liegen im Bereich von 217–1050 Hz.



Zugangsteil des Netzes.

Für die Übertragung eines Rundsteuersignals über Starkstromnetze sind relativ robuste Leistungsquellen eines Niederfrequenz-Wechselstromsignals notwendig, die eine Leistung von einigen kVA bis einigen hundert kVA besitzen. Sie werden auch Frequenzumrichter genannt und wurden für elektromechanische rotierende Maschinen geschaffen. Gegenwärtig werden als Leistungsquellen des Rundsteuersignals ausschließlich statische Frequenzumrichter eingesetzt, die mit einem leistungsfähigen Thyristorwechselrichter implementiert werden. Oft werden die Quellen mittels einer seriellen Verbindung an das Netz angeschlossen.

Weil die Notwendigkeit zur Unterscheidung von Objekten und eine größere Betriebssicherheit erforderlich waren, führte das zur Entwicklung moderner Arten von Befehlscodes für die Rundsteuertechnik. Ein Befehlscode mit seriellen Doppelbefehlen (siehe Bild) schließt einen Startimpuls (S) und eine Sicherheitslücke (SL) ein. Danach folgt der Adressenteil (A, B), der es möglich macht, die Anzahl von Doppelbefehlen des Systems (bis zu einigen hundert) zu erhöhen. Der Befehlsteil enthält 16 Doppelbefehle.



Befehlscode mit seriellen Doppelbefehlen.

Der ursprüngliche Zweck der Rundsteuertechnik lag in der Unterstützung des Betriebs eines Elektrizitätsnetzes und erweiterte sich im Verlauf seiner Entwicklung um viele Anwendungen, die in drei Hauptgruppen eingeteilt werden können.

2.2 Anwendungen

- Zur ersten Gruppe gehören die Steuerung des Stromverbrauchs und das Ausbalancieren des Gesamt-Stromverbrauchs. Die Zuordnung der einzelnen in diesem Bereich verwendeten Doppelbefehle stellen die folgenden Beispiele dar: Steuerung von Heißwasserspeichern in Haushalten, Industrie und Landwirtschaft; Steuerung von elektrischen Nachtspeicheröfen, elektrisch geheizten Kesseln, Klimaanlage und Wärmepumpen; Steuerung von Industrie- und Bäckereiöfen, Speicher- und Bewässerungspumpen; Steuerung von Elektromotoren; Strom- und Dampfverbrauchssteuerung in großen Betrieben.
- Die zweite Gruppe der Anwendungen in der Rundsteuertechnik stellen Schaltfunktionen dar. In diesen Fällen handelt es sich um: die Umschaltung von Doppeltarifstromzählern; die Steuerung von Stromzählern zum Messen des Verbrauchsmaximums; die Steuerung von Leistungsaufnahmebegrenzern, Schaltern der sekundären Starkstromleitungen und Transformatorstationen; die Steuerung von Schaltern zur Prüfung des Masseanschlusses; die Schaltung von geographisch verteilten Messpunkten für statistische Zwecke in Energietechnik; die Schaltung von Kondensatorbatterien; die Steuerung von verschiedenen Betriebsarten für die Straßenbeleuchtung; die Steuerung der Beleuchtung von Verkehrszeichen, Lichtwerbungen und Schaufenstern u. ä.
- Die dritte Gruppe umfasst Signale für Informations-, Alarm- und Warnfunktionen. Dies sind beispielsweise: öffentliche Zeitsignale; die Synchronisierung von öffentlichen Uhren; der Alarm von Wartungs- und Servicemitarbeitern, freiwilligen Feuerwehrleuten, Bergrettern; Alarmer für Rettungs- und Bereitschaftsdienste, Polizei und Armee; die Steuerung öffentlicher Sirenen; das Auslösen von Alarmen in Systemen der Zivilverteidigung, bei Naturkatastrophen oder bei erhöhter Radioaktivität in der Umgebung von Kernkraftwerken.

Moderne Rundsteuerempfänger sind hochentwickelte Telekommunikationsanlagen auf der Basis moderner elektronischer Teile.



Mit den neuen Telekommunikationstechnologien sank die Bedeutung der Rundsteuersysteme, aber sie sind immer noch für die Weiterentwicklung der Elektroenergietechnik erforderlich.

3 Hochfrequenz-Kraftwerktelefonie

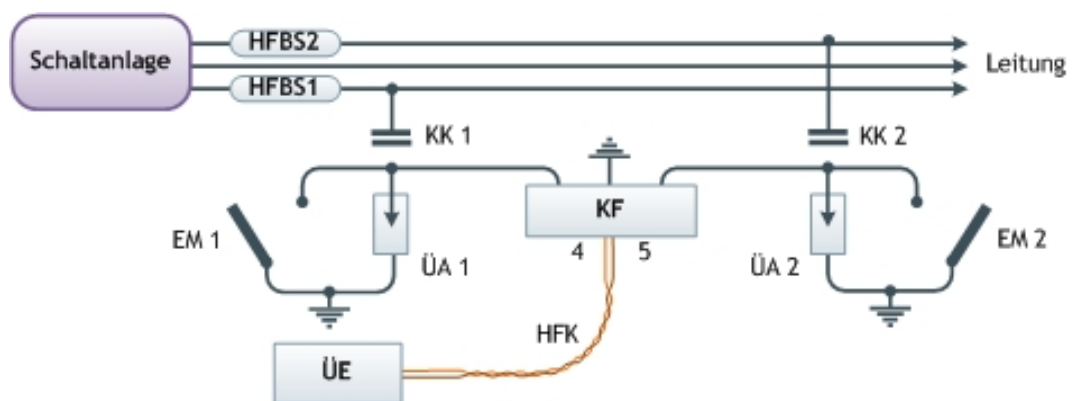
$E = m \cdot c^2$

Die Übertragungseinrichtungen arbeiten nach dem Prinzip der HF-Träger-Telefonsysteme. Man verwendet die Amplitudenmodulation mit einer Vormodulation oder Frequenzmodulation. Die tschechische Norm ČSN 33 4640 ermöglichte, aufgrund einer Ausnahme vom Telekommunikationsgesetz, Dienstübertragungen für Zwecke der Energietechnik im Band 30–750 kHz und der Breite der einzelnen Kanäle von 2,5 kHz oder 4 kHz zu realisieren. Zugleich definierte sie die Parameter von Kopplungseinrichtungen und Sicherheitsanforderungen.

Die Kopplungseinrichtungen zum Anschluss der Telekommunikationsanlagen an Starkstromleitungen müssen einige grundlegende Parameter sicherstellen. Vor allem müssen sie eine hohe Dämpfung für die technische Frequenz des Energienetzes von 50 Hz und eine kleinstmögliche Dämpfung für das Band des Telekommunikationssignals haben. Sie müssen auch Elemente einschließen, welche die Sicherheit sowohl der Bediener als auch der Anlagen garantieren, nicht nur vor Nennphasenspannung, sondern auch vor eventuellen Überspannungsereignissen und Kurzschlussströmen. Häufig beinhalten sie auch Teile zur Signalweiterleitung (z. B. eine hohe Dämpfung in die Richtung des Starkstrom-Transformators und eine niedrigere Dämpfung hin zur Leitung). Im Laufe der Entwicklung entstand so eine ganze Reihe von verschiedenen Kopplungseinrichtungen.

i

Das Blockschaltbild eines Beispiels der meistverwendeten kapazitiven Zwischenphasenkopplung der HF-Einrichtungen an HöS-Starkstromleitung ist auf dem Bild dargestellt.



Blockschaltbild eines Beispiels der meistverwendeten kapazitiven Zwischenphasenkopplung der HF-Einrichtungen an HöS-Starkstromleitung.

Kopplungskondensatoren in der Freiluftausführung KK1 und KK2 (einige nF) werden an Kopplungsfilter VAF angeschlossen und stellen gemeinsam einen Bandpass für das Band des Telekommunikationssignals dar. Als ein interner Überspannungsschutz wird hier eine Glimmlampe eingesetzt. Darüber hinaus passt der Kopplungsfilter die Impedanz dieser Kopplungselemente der Impedanz des

symmetrischen HF-Kabels HFK an, das zu der Übertragungseinrichtung ÜE geführt wird.

Die Signalführung zur HöS-Fernleitung, bzw. von der Leitung zur Übertragungseinrichtung wird von HF-Bandsperren HFBS1 und HFBS2 sichergestellt. Diese Sperren werden auf das übertragene HF-Band um den Träger eingestellt und verhindern Signalverluste im Transformator der Schaltanlage und begrenzen das Nebensprechen in anderen Leitungen. Der technologisch anspruchsvollste Teil der Sperre ist die Drossel L_s , die bis auf den Kurzschlussstrom der gegebenen Phase dimensioniert werden muss, der einige Ampere bis einigen hundert Ampere beträgt. Die Sicherheitsfunktionen der Kopplung werden beim Betrieb durch Überspannungsableiter ÜA1, ÜA2 sichergestellt, welche auch bei einer Störung der Kopplungskondensatoren eingreifen. Bei der Handhabung mit einer Kopplungseinrichtung werden Arbeitsbedingungen von geschalteten Erdungsmessern EM1 und EM2 garantiert.



Obwohl die Abwicklung von Schmalband-HF-Systemen in der Kraftwerktelephonie sehr anspruchsvoll sowohl aus der technologischen als auch aus der wirtschaftlichen Sicht war, war ihr Einsatz sinnvoll. HF-Systeme wurden jedoch nicht nur für die Telephonie, sondern auch für die Datenübertragung, Telex und Telemetrie angewendet. Die einzelnen HF-Strecken in der Tschechischen Republik wurden schrittweise in ein umfangreiches robustes Netz eingebunden, das zur Leitstandsteuerung des Energienetzbetriebes diente. Am Ende des vorigen Jahrhunderts bestand ein landesweites Leitstandnetz für Energieleitungen, die praktisch alle Kraftwerke und wichtige Schaltanlagen verband.



Ein neues Element der Fern-Energienetze ist ein Glasfaserkabel, das in einen schützenden Stahlmantel in den Freiluft-HöS- und HS-Leitungen eingebunden ist und einen technisch und wirtschaftlich vorteilhaften Übertragungsweg mit riesigen Breitband-Übertragungsmöglichkeiten erlaubt. Es handelt sich um einen Ersatz der ursprünglichen metallischen Kabel (Re, AlFe) durch spezielle kombinierte Erdkabel. Darin werden optische Telekommunikationskabel in ein Gerippe aus leitfähigen Seilen eingeflochten, die zur Realisierung von Breitband-Telekommunikationskanälen der Telekommunikations-Übertragungstechnik verwendet werden.

3.1 Kraftwerktelefonie in der Tschechischen Republik



Während in der Tschechischen Republik fast alle klassischen Einrichtungen der HF-Kraftwerktelefonie durch Übertragungstechnologien ersetzt wurden, welche Erdkabel mit eingebauten Lichtwellenleitern kombinieren, wird diese Änderung in Staaten mit umfangreichen Energienetzen vor allem aus ökonomischen Gründen nur schrittweise vollendet. In diesen Netzen wird eine mehrjährige Übergangsperiode zur Einführung optischer Übertragungssysteme erwartet. Deshalb gibt es in diesen Ländern (z. B. Russische Föderation, Ukraine, China, Indien) ein aktuelles Problem bei der Optimierung von klassischen HF-Übertragungseinrichtungen zur Digitalisierung von HF-Übertragungskanälen.

4 PLC-Schmalbandsysteme für lokale Telematik

Die PLC-Schmalbanddienste können in drei Gruppen eingeteilt werden:

- Sprachdienste
- Funkdienste
- Nicht-sprachgebundene Dienste



Die Sprachdienste entsprechen den Standard-Telefondiensten.

4.1 Entwicklung der Dienste

Während der Entwicklung der PLC-Anwendungen wurde auch eine Reihe von Experimenten mit PLC-Audiodiensten durchgeführt. Die Übertragung von Rundfunksendungen mittels Amplitudenmodulation in Langwellen- oder Mittelfrequenzband für den lokalen Bedarf größerer Objekte, z. B. Studentenwohnheime, hing vor allem von der „Reinheit des Energienetzes“, d. h. von der Störungsebene im verwendeten Band ab.

+

Die Übertragungen von dienstlichen Telefongesprächen, die mittels Traktionsenergieleitungen realisiert wurden, hatten eine viel längere Lebensdauer. Die häufigsten Anwendungen wurden über elektrische Traktionsleitungen in Untertage-Kohlenbergwerken betrieben, wo sie zur Verständigung zwischen den Arbeitsgruppen genutzt wurden.

i

In einigen Fällen wurden solche Systeme experimentell auch in Traktionsleitungen von Bahnsystemen eingesetzt, um eine Verbindung zwischen Bahndisponenten und Lokomotivbesatzung herzustellen. In beiden Fällen stellten Störungen, die durch die Bewegung der Stromabnehmer an elektrischen Triebwagen über Traktionsleitung verursacht wurden (Funkenbildung auf Übergängen), die größte Einschränkung dar.

+

Viel häufiger wurden jedoch nicht-sprachgebundene PLC-Dienste angewendet, die Rundsteuertechnik, Fernmessung, -steuerung und signalisierung einschließen. Neu ist auch das Fernablesen von Messgeräten in Wohnungen. Dies erfordert manchmal auch die Einbindung der Übertragung in die Infrastruktur von Sicherheitssystemen.

-

Die PLC-Schmalbandtechnologie hat ihre Grenzen, die ihre Ursache in der Kommunikation mit bestehenden Energieverteilung hat. Am meisten werden PLC-Signale von der Dämpfung beeinflusst, die von der Frequenz, den Verteilern, der Induktivität und Konfiguration der Leitungen, dem Charakter und der Verteilung der Verbrauchslasten, der Anzahl von Verzweigungen (Steckdosen), der Art der Verbraucher, der Überbrückungskapazitäten (z. B. zur Entstörung von Verbrauchern) abhängig ist. Sie wird auch von einer mangelhaften Kopplung zwischen den Phasen beeinflusst, falls Sender und Empfänger auf unterschiedlichen Verteilungsphasen angeordnet sind. Ein weiteres Hindernis der erfolgreichen Übertragung ist ein häufiges Auftreten von Störspannungen, die oft von den Verbrauchern zurück ins Netz wirken. Es handelt sich insbesondere um Beleuchtungskörper mit einem Wechselstromumrichter, Netzgeräte ohne Transformatoren, Elektromotoren mit Thyristorregelung (Bohrmaschinen, Staubsauger, Mixer u. ä.), gegebenenfalls auch Sprechanlagen (Intercom), die auf gleichen Frequenzbändern arbeiten. Darüber hinaus kann das PLC-Signal wegen einer Nichtlinearität der Frequenz und Phase oder zeitveränderlichen Impedanzen verzerrt werden. Zur Verbesserung der Schmalbandsysteme können eine geeignete Modulation, die Echounterdrückung bzw. die Unterdrückung von Störimpulsen

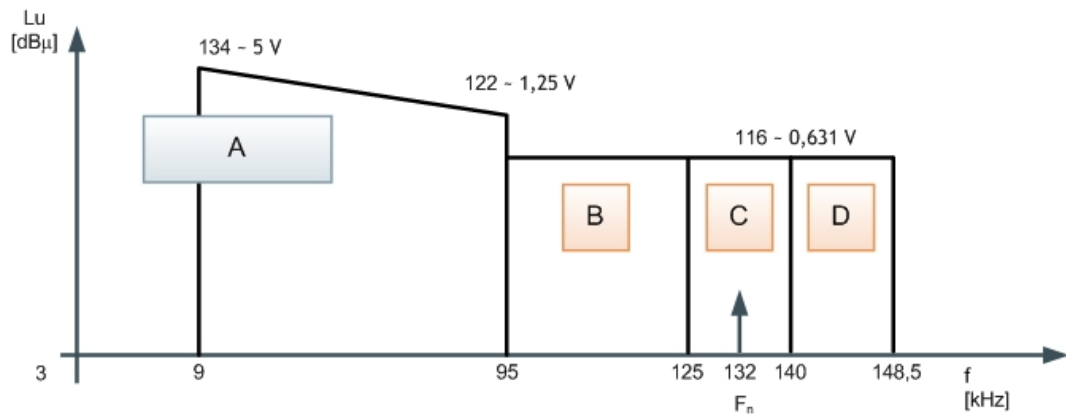
eingesetzt werden. Heutzutage werden Schmalband-Datenübertragungen in typischen Verteilnetzen für Entfernung von hundert Metern bis ca. 5 km angestrebt.

Zurzeit gibt es immer mehr Anwendungen, die PLC-Schmalbandkanäle in lokalen Niederspannungsnetzen nutzen. Es handelt sich vor allem um Ferndatenerfassungssysteme diverser Messgeräte (elektrische Energie, Wasser, Gas, Heizwasser, Kälte usw.). Diese Systeme liefern genaue und zuverlässige Informationen, ohne dass eine persönliche Inspektion der Messstelle notwendig ist. Damit werden menschliche Fehler beim Ablesen eingeschränkt und Personalkosten reduziert. Neben Elektrizitätsunternehmen können diese Möglichkeiten auch von anderen Medienanbietern verwendet werden.

4.2 PLC-Normen, Frequenzbänder

$E=m \cdot c^2$

Für den Bereich der PLC-Schmalbandsysteme gilt seit 1991 in der Tschechischen Republik die Norm EN 50065-1. Die Bezeichnung dieser Norm lautet „Signalübertragung auf elektrischen Niederspannungsnetzen im Frequenzbereich 3 kHz bis 148,5 kHz“. Diese Norm legt vor allem Frequenzbänder und Grenzwerte der Ausgangsspannung fest (siehe nachfolgendes Bild).



Frequenzbänder und Grenzwerte der Ausgangsspannung.

i

Für die einzelnen Frequenzen kann man dem Bild die Amplitudengrenzwerte entnehmen, die einerseits mit der absoluten Spannungsebene in $\text{dB}\mu$ und andererseits mit der Spannung in V ausgedrückt werden. Es gibt jedoch auch weitere weltweit geltende Standards für Anwendungen von Schmalband-PLC.

5 PLC-Breitbandsysteme für die Datenübertragung



i

In der klassischen Telekommunikationstechnik stieg die Nachfrage nach Breitbandkanälen und schaltungen in Zugangsnetzen. Dieser Trend zeigt sich auch in der Nutzung von Starkstromleitungen als Übertragungsmedium.



+

Starkstromverteilnetze bieten eine Infrastruktur, die aus der Sicht der möglichen Übertragungskapazität sehr wenig genutzt werden. Dabei handelt es sich um ein Zugangsnetz, das bis zu den Verbrauchern der elektrischen Energie führt und die Übertragung von digitalen Signalen mit einer Übertragungsrates in der Größenordnung von einigen Mbit/s bis einigen hundert Mbit/s ermöglicht.

Das letzte Jahrzehnt des vorigen Jahrhunderts machte die Nutzung eines Teils der Starkstromnetze für die Übertragung von Breitband-Hochgeschwindigkeits-Datensignalen erforderlich. Das wurde insbesondere von der Entwicklung des Internets verursacht. Die Idee Energieleitungen auch für den Zugriff an diese Informationstechnologie zu nutzen wurde erstmals in den neunziger Jahren des vorigen Jahrhunderts versucht.

5.1 Varianten von Breitband-Powerline-Systemen in Praxis



Die Übertragung in Verteilnetzen mit Breitband-Powerline-Systemen wird in zwei Typen eingeteilt.

- Externe Breitband-Powerline-Systeme (outdoor, access) verwenden entweder HS- oder NS-Leitungen vom Transformator zu den Verbrauchern, d. h. im öffentlichen Teil des Energienetzes.
- Interne Breitband-Powerline-Systeme (indoor, in-house) nutzen die interne Verteilung von Gebäuden, die üblicherweise im Privatbesitz sind. Externe Anwendungen verwenden oft ein Band von 1–18 MHz und interne Anwendungen ein Band von 18–30 MHz. Die direkte Reichweite des Signals ist relativ gering und in Abhängigkeit von der Kopplungsart und Konfiguration des Netzes liegt sie zwischen zehn und mehreren hundert Metern. Dabei werden Datenraten von bis zu hundert Mbit/s erreicht.



Je höher die Signalfrequenz ist und deshalb die entsprechende Wellenlänge mit geometrischen Längen der Teilabschnitte (z. B. in Zweigen) vergleichbar ist, desto komplizierter und unübersichtlicher ist der Mechanismus des Signalflusses über Starkstromleitungen. Hier treten häufig parallele und serielle Resonanzen auf. Desweiteren müssen neben Inhomogenitäten der Teilabschnitte auch Änderungen der Übertragungsparameter, die durch Änderungen der Konfiguration und aktueller Lasten verursacht werden, und ein hohes Niveau des Rauschens diverser Störquellen beachtet werden. Hier müssen auch Übertragungseigenschaften der erforderlichen Verteiler in Betracht gezogen werden.

Bei der Problemlösung in einer aggressiven Übertragungsumgebung der Energienetze halfen Erfahrungen, welche die Hersteller der Telekommunikationsanlagen schon bei der Entwicklung und dem Betrieb der Verteilungssysteme von Kabelfernsehen und modernen Funkkommunikationssystemen gesammelt haben. Deshalb werden in den konkreten Breitband-Powerline-Systemen die neuesten Modulations- und Zugangsverfahren eingesetzt. Zurzeit konzentriert sich die Entwicklung der PLC-Einrichtungen insbesondere auf zwei Modulationstypen: Direct Sequence Spread Spectrum Modulation (DSSSM) – Spreizspektrummodulation und Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM) – Modulation mit Übertragung in getrennten Subbändern.

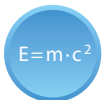
5.2 Parameter von Breitband-Powerline-Systemen

Aus der Sicht der Übertragung des BPL-Signals sind zwei Hauptparameter interessant:

- Übertragungsrate
- Fehlerrate



Wie schon festgestellt wurde, stellt ein elektrisches Verteilnetz als Übertragungsmedium eine sehr komplizierte Umgebung im Hinblick auf elektromagnetische Verträglichkeit dar. Darüber hinaus ändern sich die Bedingungen der Übertragung im Energienetz fortwährend (bedingt durch die betriebliche Handhabung/Umschaltung verschiedener Verbraucher). Deshalb müssen für die Breitband-Powerline-Systeme nicht nur Modulationsverfahren, sondern auch Codierungsverfahren und Methoden der Fehlerkorrektur und -erkennung sorgfältig ausgewählt werden. Damit erhöht sich die Anzahl der erforderlichen Dienstbits, wobei die effektive Übertragungsrate der Benutzerdaten sinkt.



Allgemein kann man sagen: Je höher die Übertragungsrate ist, desto fehleranfälliger ist das System und desto mehr Übertragungskapazität für Fehlerkorrektur und -erkennung muss reserviert werden. Bei Systemen mit niedrigeren Übertragungsraten ist das Verhältnis zwischen nutzbaren und redundanten Daten ungefähr 1:1. Bei Systemen mit der Übertragungsrate von 200 Mbit/s ist es etwa 1:3 (deshalb stehen nur 30 % der Übertragungsrate für Daten zur Verfügung). Die maximale erreichbare Entfernung zwischen zwei BPL-Modems hängt hauptsächlich von der Ausgangsleistung des BPL-Signals, seiner Dämpfung und Störungen auf der Empfängerseite ab. Ohne Repeater kann diese Entfernung einige hundert Meter betragen, aber nur in öffentlichen Elektrizitätsnetzen mit externen oder Erdkabeln. Für den internen Teil des Netzes mit einigen verschiedenen Interferenzquellen und Verbrauchern liefert der Wert der durchschnittlichen Reichweite keine nützliche Information, weil unterschiedliche Installationstypen die Übertragungsrate um einige zehn Meter in beiden Richtungen ändern können. In internen Systemen wird üblicherweise die Entfernung von 100 m erreicht.



Ein BPL-Modem kann in Energienetz entweder direkt oder induktiv angeschlossen werden. Ein direkter leitfähiger Anschluss des BPL-Modems mit einem Ausgangsverbindingskabel setzt selbstverständlich voraus, dass die kapazitive Kopplung zur 230V-Leitung ein integraler Bestandteil ist.



Während für PLC-Schmalbandsysteme eindeutige internationale Normen existieren, wurde die internationale Normalisierung für Breitband-Powerline-Systeme noch nicht vollendet.

Eine wichtige Rolle spielt auch die Tatsache, dass Elektrizitätsverteilnetze in hoch entwickelten Staaten praktisch hundertprozentig in allen Gebäuden vorhanden sind, d. h. sowohl in privaten Haushalten als auch in Firmen. In weniger entwickelten Ländern könnte ein Breitband-Powerline-System die fehlende Telekommunikationsinfrastruktur ersetzen.

Ein Ergebnis der Verhandlungen zwischen Herstellern und Elektrizitätsverteilunternehmen ist das Projekt *Open PLC European Research Alliance (OPERA)*, dessen Hauptsponsor die Europäische Union wurde. Am Projekt OPERA nahmen 37 Firmen und Universitäten aus zehn europäischen Ländern teil. OPERA wurde 2004 anlässlich eines europäischen Treffens zu BPL in Madrid offiziell gestartet.



Viele Hersteller bieten Breitband-Powerline-Systeme an. Die einzelnen Produkte kann man in spezifische Produktgruppen einteilen, die sich insbesondere im Modulationsverfahren und in der erreichbaren Übertragungsrate unterscheiden. In Europa verwenden die meisten modernen BPL-Modems der 3. Generation die Chips der Firma DS2 mit der OFDM-Modulation. Solche Breitband-Powerline-Systeme werden dann gegenüber den klassischen Telekommunikationstechnologien in Zugangsnetzen wettbewerbsfähig.

Obwohl sich die BPL-Technologien immer noch in Entwicklung befinden, kann die Tatsache nicht ignoriert werden, dass sich die praktische Anwendung auch nach Jahren der technischen Entwicklung und Tests üblicherweise nur auf kleine Pilotprojekte beschränkt und nur wenige eine Vergrößerung anstreben. Das wahrscheinlich größte Projekt mit PLC/BPL-Systemen wurde in Texas, USA von Gesellschaften ONCOR Texas und CURRENT Group, LLC realisiert. Es handelte sich um eine Implementierung dieser Technologien im Rahmen eines Smart Grid Projektes.

Zurzeit können Breitband-Powerline-Systeme beispielsweise für die folgenden Bereiche eingesetzt werden: kleinere industrielle Kommunikationsnetze; Internetanschlüsse für Zugangsanbieter in Großwohnsiedlungen; Ergänzung der bestehenden Festnetze für Gebiete, in denen sie bisher nicht verfügbar waren; temporäre Lösungen für Ausstellungen, Seminare, Schulungen oder Präsentationen; Aufbau von Datennetzen in Gebieten mit eingeschränkten Bau- oder Umbaumöglichkeiten – z. B. historische Gebäude, Museen, Galerien; Realisierung von Netzen LAN (z. B. die Verbindung zwischen PC, Drucker, Telefon, Fax); Zugangsnetze mit weiteren Telekommunikationssystemen (Festtelefonnetze und Festdatennetze, Funknetze GSM, GPRS, WiFi); Anwendungen in Ländern mit einer weniger entwickelten Kommunikationsinfrastruktur in Asien, Afrika und Südamerika.



Die bisherige Entwicklung der Breitband-Powerline-Systeme zeigt, dass sie schon in den Telekommunikationszugangsnetzen verwendet werden und dass ihre weitere Entwicklung von der Standardisierung abhängt. Der Preis wird durch größere

Herstellungsserien sinken und infolge dessen wird ihre Verbreitung zunehmen. Ein wichtiges zukünftiges Anwendungsgebiet werden neue intelligente Gebäude und moderne Steuersysteme, in Verbindung mit den Smart Grids, darstellen.

6 PLC-Systeme in Konvergenzprozessen der Teleinformatiknetze und -dienste und Aufbau von Smart Grids



+

Die Ergänzung von Breitbandverteilungszugängen in ein schon vorhandenes Energiesystem ist sicher ökonomisch vorteilhaft. Dabei ermöglichen moderne Modulations- und Sicherungsverfahren, vor allem bei hochentwickelten Einrichtungen, eine erhebliche Verringerung seiner Störeinflüsse auf benachbarte Teleinformatiksysteme. Es ist jedoch klar, dass die Vorteile von Breitband-Powerline-Systemen für die Breitbandverteilung in Abhängigkeit von der geografischen Lage, der Infrastruktur des Energieverteilnetzes, dem Telekommunikationsentwicklungsstand des gegebenen Landes, der Besiedlungsdichte und weiteren Aspekten sehr unterschiedlich sein können. Ein Vorteil des Einsatzes von Breitband-Powerline-Systemen für den Internetzugang ist die Verteilung von Audio- und Videosendungen oder der Aufbau von lokalen Datennetzen in Gebäuden, wo es eingeschränkte Möglichkeiten für Umbauarbeiten bzw. eine neue Verkabelung gibt (historische Gebäude, Museen, Ausstellungssäle und -areale, alte Schulgebäude u. ä.). Andererseits können moderne PLC/BPL-Systeme eine wichtige Komponente bei der Realisierung von spezifischen Diensten in neuen intelligenten Gebäuden darstellen. Solche Anwendungen wurden schon in verschiedenen Teilen der Welt realisiert.



-

Trotz des erheblichen Potenzials der BPL-Zugangsnetze ist ihr gegenwärtiger prozentualer Anteil am Telekommunikationsmarkt der Welt, im Vergleich zu den Breitbandsystemen x-DSL und CATV, relativ klein. Hierzu muss man noch den starken Einstieg von Technologien des schnellen drahtlosen, festen oder mobilen Zugangs in Betracht ziehen. Global werden die PLC/BPL-Technologien nur stufenweise den Vorsprung einiger konkurrierender Teleinformationstechnologien einholen.

Trotzdem haben Breitband-Powerline-Systeme immer noch die Chance für eine breite Anwendung. Außer den schon vorhandenen Zugängen zu praktisch allen potenziellen Kunden in entwickelten Ländern verfügen die meisten Elektrizitätsverteilunternehmen über bedeutende Finanzmittel für Investitionen sowohl in neue Dienste als auch für effektives Marketing.

Auch wenn die PLC/BPL-Systeme in allen diesen Bereichen eingesetzt werden können, liegt ihre größte Chance in der Realisierung von intelligenten Energienetzen – den Smart Grids.

6.1 Smart Grids



$E=m \cdot c^2$

Ein Smart Grid ist eine integrale Kombination von Energie- und Telekommunikationsnetzen, die auf eine effiziente Steuerung von Energieerzeugung und -verbrauch in Echtzeit sowohl lokal als auch global zielt. Das Prinzip beruht auf einer gegenseitigen interaktiven Kommunikation zwischen Betriebspunkten des Netzes bei der Energieerzeugung, -verteilung und dem Verbrauch. Die Teleinformatikmittel im Netz ermöglichen Informationserfassung und Diagnostik der einzelnen Teile des Netzes in Echtzeit. Dies betrifft auch eine operative Steuerung der Erzeugung und Verteilung und die erweiterten Möglichkeiten beim Verkauf bzw. der Tarifwahl durch den Verbraucher passend zu den programmierten oder aktuellen Anforderungen der Konsumenten. Unter dem Begriff „Energienetz“ versteht man jedoch nicht nur Elektrizitätsnetze, sondern auch Netze zur Erzeugung und Verteilung von Gas, Wärme und Wasser u. ä.



Der größte Zuwachs von Smart Grids wird heutzutage jedoch gerade in Elektrizitätsnetzen registriert. Das Steuersystem soll ständig den Netzbetrieb überwachen und auch ein sogenanntes „self healing“ sicherstellen, d. h. einen Prozess der automatischen Wiederherstellung des ursprünglichen Gleichgewichts nach einem außerordentlichen Betriebszustand. Dabei soll auch eine ununterbrochene Diagnostik der geänderten Betriebsparameter von Schaltanlagen, Transformatoren und Verteilern und hier besonders ein sofortiges Erkennen von Störungen helfen.

Die meisten gegenwärtigen Elektrizitätsnetze wurden mit der Konzeption des Aufbaus einer niedrigeren Anzahl von klassischen Energiequellen (Wärme-, Wasser- und Kernkraftwerke) mit hohen Leistungen (einigen hundert bis zu tausend MW) gebaut. Davon überträgt ein (HöS-, HS-, NS-) Verteilnetz die Energie an relativ viele Verbraucher. Diese Anordnung ermöglicht zwar eine ziemlich einfache Synchronisierung des Netzes, aber seine überwiegende Sternstruktur kann bei einem Ausfall der Stromerzeugung oder bei einer Beschädigung der Leitung große Probleme hervorrufen.

6.2 Alternative Energiequellen

Gegenwärtig werden neue alternative Energiequellen eingesetzt, die auch eine relativ niedrige Leistung haben können und auf dem ganzen Verteilungsgebiet zerstreut sind. Einige dieser Quellen (z. B. kleine photovoltaische Systeme) sind sogar in einzelnen Gebäuden installiert und können auch mit ihren kleinen Leistungen in das öffentliche Energienetz einspeisen. Deshalb entstand ein Bedarf an einer grundsätzlichen Rekonfiguration der Elektrizitätsnetze, die mit der zunehmenden Verbreitung von Smart Grids verbunden ist. Diese Struktur verursacht jedoch Probleme z. B. bei der Stabilität des Betriebes und die Synchronisation des Netzes. Um einen Kollaps des gesamten Energienetzes aufgrund einer großen Anzahl verschiedener Quellen zu vermeiden, wird eine hochentwickelte und effiziente Steuerung benötigt, die das Energienetz bis auf die Ebene jeder einzelnen Quelle steuern kann. Die Wirksamkeit einer erfolgreichen Steuerung von Smart Grids, die aus einer großen Anzahl von Quellen (einige hundert) und einer noch größeren Anzahl an Verbrauchern (einige hundert tausend) gebildet wird, hängt vom Typ und der Menge der gelieferten Informationen ab. Dies und vor allem eine optimale Ausnutzung aller Quellen soll durch Smart Grids sichergestellt werden. Die Steuerung soll auch aufgrund detaillierter Informationen über den aktuellen Verbrauch Rekonfiguration des Netzes ermöglichen, so dass die kleinstmöglichen Verluste bei Energieübertragung erreicht werden können. Darüber hinaus soll die verteilte Anordnung der einzelnen Quellen und eine intelligente Steuerung die schnelle und effiziente Lösung kritischer Zustände sicherstellen, die bei Störungen des Verteilnetzes bzw. Ausfällen bei der Energieerzeugung oder durch Beschädigungen der Leitungen auftreten können.



Ein wichtiger Aspekt, insbesondere für die Zukunft, stellt auch die Rückkehr zur Gleichstromverteilung und der Aufbau von Ladestationen für Elektromobile dar. Ein aktueller Trend ist die Schaffung intelligenter Gebäude (Intelligent Buildings), die umweltfreundliche und wirtschaftliche Betriebsparameter mit einem hohen Automatisierungsgrad, einschließlich sogenannter kommunaler Dienstleistungen umfassen.

Smart Grids haben sowohl für gegenwärtige als auch für künftige Elektrizitätsnetze eine Reihe von weiteren betrieblichen und ökonomischen Vorteilen. Sie ermöglichen eine höhere Automatisierungsstufe von Schaltanlagen und Transformatoren, was zu reduzierten Betriebskosten führt.

7 Schlussfolgerung



Alle diese Tatsachen betonen den Bedarf für den Aufbau von Smart Grids. Um eine effiziente Steuerung sicherzustellen, bedarf es einer ausreichend dimensionierten Dateninfrastruktur zwischen den einzelnen Quellen und Verbrauchern, dem Datenzentrum und Leitstand. Aus dieser Beschreibung ergibt sich auch, dass der Aufbau von Smart Grids nicht nur hohe Kosten sondern auch erhebliche Ansprüche an die elektromagnetische Kompatibilität sowohl von zusammenarbeitenden als auch benachbarten Systemen benötigt.



Telekommunikationsoperatoren und Hersteller von Informations- und Telekommunikationseinrichtungen erkannten in einer Zeit der relativen Sättigung der klassischen Telekommunikationsmärkte, dass der Bedarf an Smart Grids, sowohl für ihre gegenwärtigen als auch künftigen Geschäfte, sehr erfolgsversprechend sein kann.



Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass für eine effiziente Steuerung eine ausreichend dimensionierte Teleinformatikinfrastruktur zwischen den einzelnen Energiequellen und Verbrauchern, dem Datenzentrum, dem Leitstand und weiteren Organen der Energieunternehmen geschaffen werden muss. In diese Infrastruktur müssen aus technischen und ökonomischen Gründen auch verschiedene PLC-Systeme einbezogen werden. Ein wichtiger Aspekt der PLC/BPL-Anwendungen ist auch die Möglichkeit ihrer Kombination mit anderen Teleinformatiktechnologien. Dabei können die PLC/BPL-Systeme nicht nur „die letzte Meile“, sondern auch den Zugang zur Endverteilung sicherstellen.
