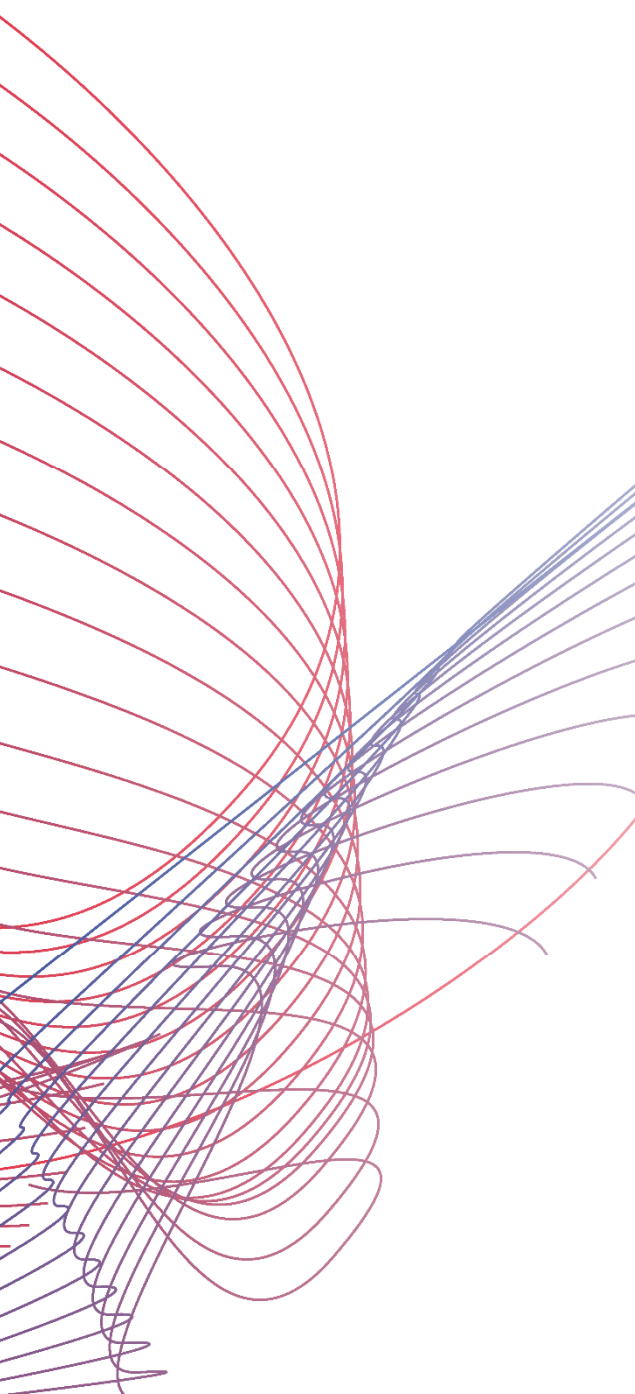




TECH
pedia



USO DE LÍNEAS
ELÉCTRICAS PARA LA
TRANSMISIÓN DE
MENSAJES (PLC, BPL)

JAROSLAV SVOBODA

Título: Uso de líneas eléctricas para la transmisión de mensajes (PLC, BPL)
Autor: Jaroslav Svoboda
Traducido por: Jorge Salazar
Publicado por: České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Dirección de contacto: Technická 2, Praha 6, Czech Republic
Número de teléfono: +420 224352084
Print: (only electronic form)
Número de páginas: 28
Edición: Primera edición, 2017

ISBN 978-80-01-06279-1

TechPedia

European Virtual Learning Platform for
Electrical and Information Engineering

<http://www.techpedia.eu>



El presente proyecto ha sido financiado con el apoyo de la Comisión Europea.

Esta publicación (comunicación) es responsabilidad exclusiva de su autor. La Comisión no es responsable del uso que pueda hacerse de la información aquí difundida.

NOTAS EXPLICATIVAS



Definición



Interesante



Nota



Ejemplo



Resumen



Ventajas



Desventajas

ANOTACIÓN

Este módulo describe los métodos y enfoques para el uso de líneas eléctricas y redes para la transmisión de mensajes. Incluye la descripción de las tecnologías de telecomunicaciones que implementan la transmisión a través de líneas eléctricas y redes. También se describen las posibles aplicaciones de estos sistemas dentro de las redes inteligentes de energía, también conocidas como Smart Grid.

OBJETIVOS

Los estudiantes adquirirán una visión básica sobre las diferencias entre las propiedades de transmisión de las líneas de telecomunicación y de las líneas eléctricas. Aprenderán los principios de las tecnologías de telecomunicaciones de banda estrecha y de banda ancha que operan en las líneas eléctricas y redes (control remoto de masas, sistemas de transmisión de alta frecuencia, telefonía a través de red eléctrica, sistemas locales para la transmisión de medición remota, señalización a distancia, sistemas de banda ancha para la transmisión de datos). El conocimiento de estos tópicos puede ayudar a los estudiantes a tratar con las redes de datos y de acceso. Los estudiantes adquirirán conocimientos básicos sobre el desarrollo de las redes de energía eléctrica y el despliegue de las redes eléctricas "inteligentes", también conocidas como Smart Grids. Sobre esta base, un estudiante debería ser capaz de evaluar los objetivos y los beneficios de los sistemas PLC y BPL, mientras implementan redes de telecomunicaciones específicas.

LITERATURA

- [1] SVOBODA, Jaroslav, Širokopásmový telekomunikační systém po silnoprúdém 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. et al. Telekomunikační technika – 3. díl. Praha. Sdělovací technika. 1999
- [4] SVOBODA, Jaroslav Využívání silnoprúdých vedení a sítí pro přenos zpráv, České vysoké učení technické v Praze 2012, 230 stran, ISBN 978-80-01-05168-9

Indice

1	Introducción	6
1.1	Desarrollo histórico	6
1.2	Comunicaciones a través de líneas eléctricas - parámetros.....	8
2	Control Remoto de Masas (MRC)	10
2.1	Acceso a la red	11
2.2	Aplicación	13
3	Telefonía de alta frecuencia a través de líneas eléctricas	14
3.1	Telefonía a través de red eléctrica en la República Checa	16
4	Sistemas PLC de banda estrecha para telemática local	17
4.1	Desarrollo de Servicios	18
4.2	Recomendaciones para PLC, bandas de frecuencia	20
5	Sistemas PLC de banda ancha para transmisión de datos	21
5.1	Opciones de BPL en la práctica	22
5.2	Parámetros de BPL	23
6	Sistemas PLC en convergencia de redes y servicios de telecomunicaciones y del desarrollo de <i>Smart Grids</i>	25
6.1	Redes eléctricas inteligentes (<i>Smart Grids</i>)	26
6.2	Fuentes alternativas de energía.....	27
7	Conclusión	28

1 Introducción

1.1 Desarrollo histórico

En 1866, el ingeniero alemán Ernst Werner von Siemens (1823-1883) patentó la dinamo. Fue la base para el desarrollo inicial de la industria eléctrica, ya que permitió la conversión de energía mecánica o térmica a energía eléctrica en dispositivos con un consumo relativamente bajo. Desde el inicio del uso de la energía eléctrica, ha habido un enorme progreso hacia la transferencia de energía a distancia. El ingeniero eléctrico francés, Marcel Deprez (1843 - 1918), fue uno de los primeros que llevaron a cabo la transmisión de corriente continua (DC – *Direct Current*) sobre una gran distancia. En 1873, demostró la transmisión entre un motor y una dinamo a una distancia de 1 km utilizando una línea de telégrafo.

En ese momento, se construyeron las primeras redes eléctricas de corriente continua. Fueron utilizadas para permitir la producción de electricidad en ríos, las reservas de carbón, etc., lejos de la ubicación donde es consumida. Desde el principio, se consideró cómo utilizar las líneas eléctricas para la transmisión de mensajes. Primero, hubo la necesidad de hacer posible la transmisión de mensajes de control y de gestión de la transferencia de energía. La componente de corriente alterna (AC – *Alternating Current*) se adjuntó a la tensión de corriente continua, lo que permitió la creación de un sistema simple de señalización. También se requirió hacer compatible la parte de control de baja tensión con la red de corriente continua de alta tensión, incluidos los equipos de seguridad y de gestión.



La transmisión de información en una red eléctrica de AC podría ser desplegada de forma local con el uso de pulsos de corriente continua. Sin embargo, estas aplicaciones requieren de fuentes adicionales de DC y eran muy problemáticas en términos de interconexiones de equipos y de compatibilidad con las líneas. Por esta razón, pronto fueron sustituidas por sistemas de transmisión de señales de corriente alterna con frecuencias superiores a la frecuencia nominal. El objetivo era proponer una señalización sencilla para controlar el funcionamiento de estas redes. Más tarde, había sistemas simples para el control remoto, por ejemplo, los interruptores seccionadores de red. Siempre referidos a hacer frente a la señalización a distancia de objetos en particular o a un único objeto desde un punto de mando remoto, o a una combinación bidireccional de estos sistemas. A estos efectos, las redes de baja tensión fueron involucradas mayoritariamente; las redes de alta tensión - excepcionalmente.

Al mismo tiempo, sin embargo, desde los años 30 del siglo pasado, existían los sistemas de *control remoto de masas* (**MRC** - *Mass Remote Control*), que eran utilizados para enviar una señal desde una ubicación central a la red ramificada de alta tensión, en el que el grupo de dispositivos controlados remotamente respondían masivamente enviando una señal común o una función de conmutación.

La construcción de líneas de muy alta y alta tensión de larga distancia, robustas y mecánicamente exigentes, atrajo la idea de utilizarlas para la transmisión de telefonía. Los primeros intentos comenzaron a emplear este principio también en

las líneas eléctricas en forma de la llamada telefonía de alta frecuencia por líneas eléctricas. En la República Checa, la fabricación de estos dispositivos se inició incluso antes de la Segunda Guerra Mundial en la empresa "Telegrafía Praga" (el predecesor de *Tesla Strašnice*). Después de la guerra, la producción de estos dispositivos continuó.



Actualmente, sin embargo, hay un crecimiento de líneas trifásicas libres de alta tensión, donde un cable óptico especial se incorpora a una cuerda metálica de protección, lo que permite la transmisión de un flujo de datos relativamente enorme, comparable con los que son comunes en las redes de telecomunicaciones convencionales con cables de fibra óptica.

Un mayor desarrollo de la tecnología de telecomunicaciones permitió a las aplicaciones que utilizaban componentes de distribución de baja tensión de las redes de energía crear sistemas de banda estrecha, que se utilizan para el control local, señalización y mediciones a distancia (por ejemplo, la lectura remota de contadores de electricidad). Una tecnología avanzada de transmisión, desarrollada especialmente para la transmisión de señales de telecomunicación vía radio en entornos con altos niveles de interferencia, también permitió la implementación de los sistemas de datos de banda ancha con velocidades elevadas de transferencia de datos en el entorno electromagnético de las redes de distribución de electricidad.

1.2 Comunicaciones a través de líneas eléctricas - parámetros

Nombre de la banda	Sub-banda de voz	Banda de voz	Banda media	Alta frecuencia
Ancho de banda	$f < 300 \text{ Hz}$	$f = 0,3 - 4 \text{ kHz}$	$f = 4 - 150 \text{ kHz}$	$f > 150 \text{ kHz}$
Aplicación	MRC	MRC	RS, RO, RM Teléfono y servicios de datos de banda ancha	Teléfono y servicios de datos de banda ancha
Ejemplos de frecuencias	0 Hz, 50 Hz 166 Hz, 217 Hz	300 Hz - 2500Hz 300 Hz - 3400 Hz 316 Hz, 425 Hz 1050 Hz	3 - 95 kHz 9 - 95 kHz 95 - 148,5 kHz	40 kHz - 750 kHz 1 MHz - 30 MHz

Hay términos comunes que se utilizan en todos estos sistemas: Comunicaciones a través de líneas eléctricas (**PLC** - *Power Line Communications*), Telecomunicaciones a través de líneas eléctricas (**PLT** - *Power Line Telecommunication*) o Línea eléctrica (**PL** - *Power Line*) - sin embargo, estos incluyen tanto los sistemas de telecomunicaciones de banda ancha como de banda estrecha a través de líneas eléctricas. Un término más preciso para los sistemas de banda ancha sería Líneas Eléctricas de Banda Ancha (**BPL** - *Broadband Power Lines*).

Los sistemas PLC son criticados por sus competidores debido a la interferencia electromagnética que se origina durante su funcionamiento. La señal de datos que se inyecta en una línea eléctrica, puede aparecer por tanto, para otros sistemas de comunicación como una fuente de interferencia. En el desarrollo de sistemas PLC, hubo varios problemas con su interacción con otros medios de comunicación. La *compatibilidad electromagnética (EMC)* debe ser estrictamente vigilada en PLC. En BPL, la señal de banda ancha emitida alrededor de las líneas eléctricas a menudo excede los límites permisibles establecidos en las normas internacionales de EMC. Estos, sin embargo, fueron formulados en un período histórico específico, en particular para proteger la recepción de radio de la interferencia de las fuentes espurias. Además, las diferentes generaciones de sistemas PLC o de sistemas de diferentes empresas pueden exhibir propiedades muy diferentes en términos de emisión de señales espurias.

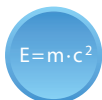


A partir de los principios de la transmisión de señales de banda ancha a través de líneas de cobre, se puede concluir que cada uno de ellos puede irradiar de alguna manera una cierta parte de la energía de la señal, y que cierta radiación procedente del entorno electromagnético que le rodea pueda también entrar en ella. La cantidad de esta radiación depende de la construcción de determinados tipos de línea y del ligero acoplamiento de las líneas. Por lo tanto, la emisión espuria de señales de banda ancha transmitidas a través de líneas de cobre es un hecho, y se refiere tanto

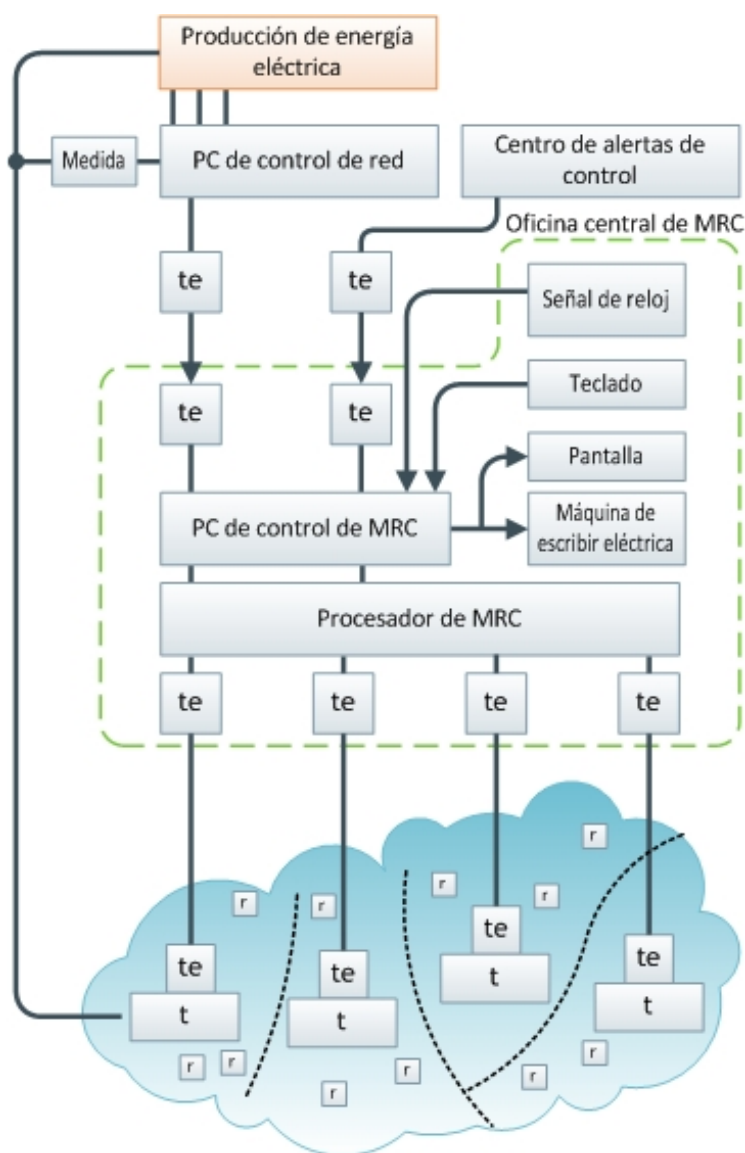
a la transmisión de energía eléctrica como a las frágiles instalaciones actuales, incluyendo sistemas de telecomunicaciones relativamente nuevos (por ejemplo, ADSL y VDSL).

2 Control Remoto de Masas (MRC)

En términos de clasificación de servicios de telecomunicación, MRC puede ser considerado como uno de los servicios remotos. También se pueden incluir los sistemas de control remoto (RCS), la señalización remota (RS), la medida remota (RM), la regulación remota (RR), la tele-vigilancia y la navegación GPS. Teniendo en cuenta el tipo de transmisión, MRC es un sistema de distribución unidireccional.



Aunque MRC es un sistema basado en la dirección que tiene un circuito bidireccional dedicado independiente entre el control y el único punto controlado, el sistema MRC es un sistema masivo que envía una señal a muchos lugares desde un solo centro a través del camino común de transmisión unidireccional. El resultado no es sólo gestión, sino también la señalización para ciertas condiciones y eventos.

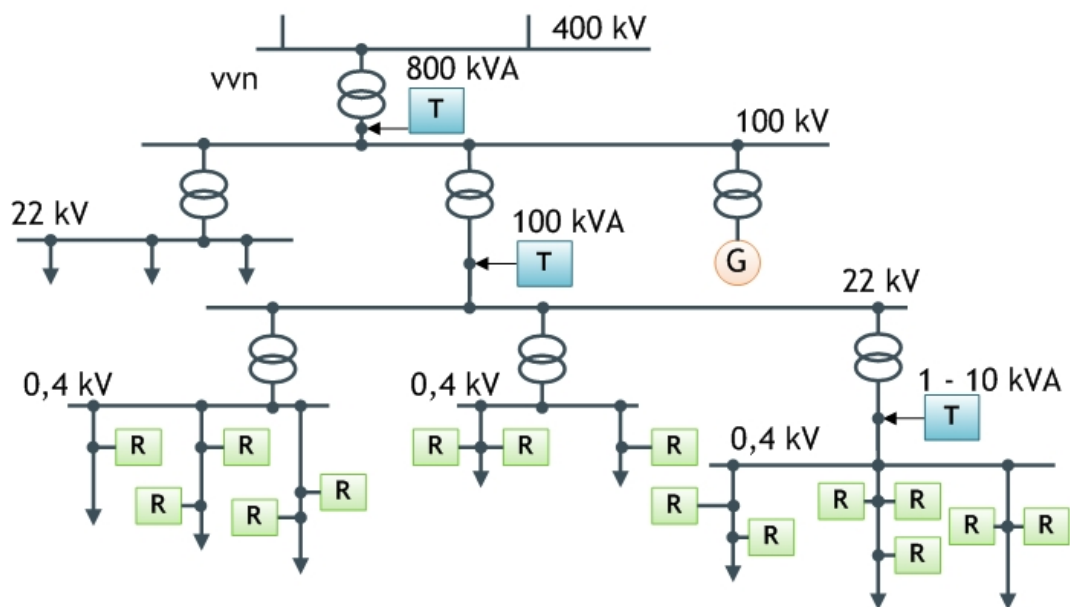


Disposición general de un MRC moderno; te - equipos de transmisión, t - transmisor MRC local, r - receptor MRC.

2.1 Acceso a la red



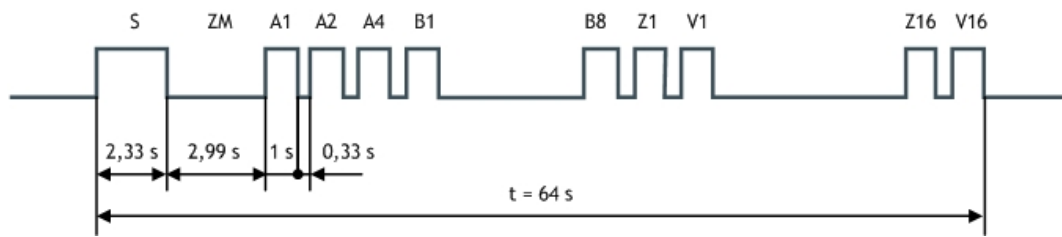
La parte correspondiente al acceso a la red se muestra en la figura siguiente. En la figura, los transmisores MRC se pueden conectar en el secundario de los transformadores de AT/MT (alta tensión/media tensión), AT/AT (alta tensión/alta tensión) y AT/BT (alta tensión/baja tensión). Se asocia con las dimensiones de la zona controlada y de la potencia de la fuente de señal (en un rango de cientos de kVA). Las frecuencias de operación están en el rango de 217 Hz - 1050 Hz.



Acceso a la red.

Para transmitir señales MRC en una red eléctrica, es necesario tener una señal relativamente potente de la fuente de energía AC de baja frecuencia con salida de cientos de kVA. Estas también son conocidas como convertidores de frecuencia. Los primeros convertidores de frecuencia se construyeron usando máquinas rotativas electromecánicas. En la actualidad, sin embargo, las fuentes de energía para MRC se construyen como convertidores estáticos de frecuencia, implementados utilizando un inversor de tiristores. Las fuentes, en su mayoría, están conectadas a la red mediante los llamados enlaces serie.

La necesidad de distinguir entre una serie de objetos y de mejorar la seguridad de operación condujo a la creación de tipos modernos de códigos de comando para MRC. Un código de comando en formato serie de comandos dobles (ver figura) incluye un impulso de inicio (S) y una brecha de seguridad (SG). Además, es la parte de dirección (A, B) la que permite la creación de las condiciones para aumentar el número de posibles comandos dobles (hasta cientos). La parte de comandos incluye 16 comandos.



Código de comando en formato serie de un comando doble.

El propósito original de MRC, que fue soportar la operación de las redes de energía eléctrica durante su desarrollo, exhibió un crecimiento considerable en cuanto a la cantidad de aplicaciones posibles, que se pueden dividir principalmente en tres grupos de aplicación.

2.2 Aplicación

El primer grupo es la gestión del consumo de energía eléctrica y el equilibrio del consumo total de electricidad. La asignación de comandos individuales en esta área extiende la gestión, a por ejemplo, los depósitos de agua caliente en los hogares, la industria y la agricultura, el control de los calentadores eléctricos, las calderas eléctricas, los acondicionadores de aire y bombas de calor, el control de hornos industriales y de productos de panadería, las bombas de riego, los motores eléctricos, los diagramas de control de consumo de electricidad o de vapor en grandes fábricas, u otros.

El segundo grupo de aplicaciones MRC representa las denominadas funciones de conmutación. Aquí se trata con la conmutación entre electricidad de dos tarifas, puntos de medición de picos de consumo, el control de los limitadores de potencia, interruptores de las líneas secundarias de potencia y estaciones transformadoras secundarias, interruptores de control para comprobar la toma de tierra, la conmutación con fines estadísticos entre puntos de medida distribuidos geográficamente, la conmutación de bancos de condensadores, el control de los diversos modos de alumbrado público, señales de tráfico, señales de neón y escaparates, etc.

- El tercer grupo se compone de señales para funciones de información, de recuerdo y de advertencia. Se trata de señales de tiempo, sincronización de la hora, convocatorias de trabajadores de mantenimiento y de fallo, bomberos voluntarios, miembros del Servicio de Rescate de Montaña, alarmas para los miembros de los servicios de rescate y de emergencia, policía y ejército, control de sirenas públicas, anuncio de alarmas en el sistema de protección civil, desastres naturales o aumento de la radiación alrededor de las plantas de energía nuclear, y otros.

Los receptores MRC modernos deberían ser considerados como equipos de telecomunicaciones muy sofisticados que han sido diseñados utilizando componentes electrónicos avanzados.



Con las nuevas tecnologías de telecomunicaciones, la importancia de los sistemas MRC se hizo menos importante, sin embargo, siguen siendo uno de los sistemas más necesarios para un mayor desarrollo de la industria eléctrica.

3 Telefonía de alta frecuencia a través de líneas eléctricas

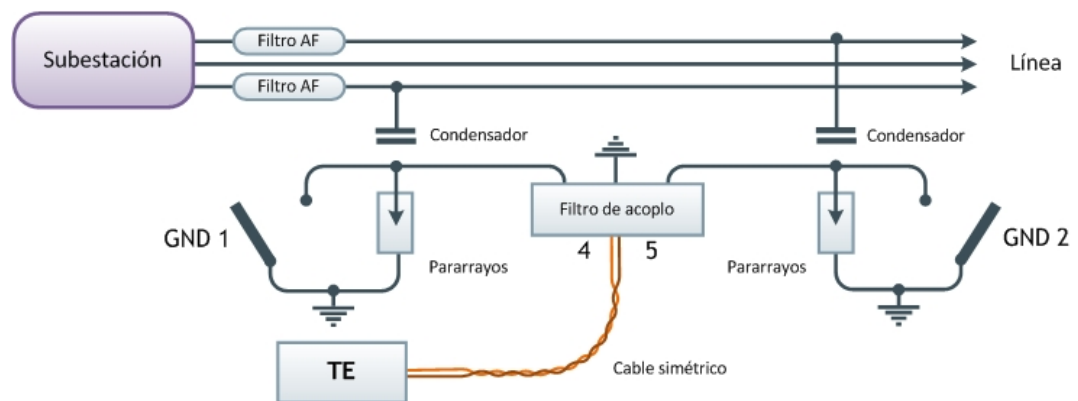
$E=m \cdot c^2$

Los equipos de transmisión fueron creados basándose en los sistemas de telefonía de alta frecuencia. Se utilizaron con ambas modulaciones, de amplitud y de frecuencia. El estándar doméstico CSN 33 4640 permitió, sobre la base de una exención de la Ley de Telecomunicaciones, implementar la transmisión de servicios con fines energéticos en la banda de 30-750 kHz y con ancho de cada canal de 2,5 kHz y 4 kHz. Al mismo tiempo, la recomendación especificó los parámetros de los separadores y los requisitos de seguridad.

Los dispositivos de acoplamiento para la conexión de equipos de comunicaciones a las líneas eléctricas deben proporcionar varios parámetros básicos. En primer lugar, deben exhibir una alta atenuación a la frecuencia de 50 Hz y la atenuación más pequeña posible para la banda de comunicaciones. Deben contener componentes que garantizan una manipulación segura, no sólo hasta la tensión y la fase nominales, sino también a las condiciones de sobretensión o de cortocircuito. También deberían contener componentes para el direccionamiento de la señal (es decir, debe haber gran atenuación en la dirección a un transformador de potencia y pequeña atenuación en la dirección a una línea eléctrica).

i

En la siguiente figura se muestra como ejemplo la disposición esquemática más ampliamente utilizada de acoplamiento capacitivo interfase de dispositivos de alta frecuencia para líneas eléctricas de alta tensión.



Disposición esquemática más ampliamente utilizada de acoplamiento capacitivo interfase de dispositivos de alta frecuencia para líneas eléctricas de alta tensión.

Los condensadores de acoplamiento para uso exterior (del orden de nF) se conectan a un filtro de acoplamiento y crean un filtro paso banda sintonizado en la banda de la señal de comunicaciones. Un tubo incandescente se utiliza como protección interna contra sobretensiones. El filtro de acoplamiento también proporciona una adaptación entre las impedancias de los elementos de acoplamiento y la impedancia del cable simétrico de alta frecuencia que es llevado a un dispositivo de transmisión.

El camino de la señal hacia la línea de alta tensión o de la línea hacia las instalaciones de transmisión proporciona filtros de banda eliminada de alta frecuencia. Estos filtros están sintonizados con la banda de alta frecuencia transmitida alrededor de la portadora y así evitar la pérdida de señal en la estación transformadora, y reducir la interferencia con otras líneas. La parte del filtro más desafiante a nivel tecnológico es el de la reactancia que debe ser dimensionada para la corriente de cortocircuito y una determinada fase, que puede ser del orden de cientos de amperios. La seguridad está garantizada por pararrayos, trabajando incluso en el caso de fallo de los condensadores de acoplamiento. Cuando se opera con un dispositivo de acoplamiento, se aseguran las condiciones de trabajo apropiadas mediante la puesta a tierra.



Aunque la implementación de sistemas de alta frecuencia de banda estrecha fue muy exigente desde el punto de vista tecnológico y económico, su despliegue se realizó con mucha determinación. Los sistemas de alta frecuencia se utilizaron no sólo para la telefonía, sino también para la transmisión de datos, télex y telemetría. Las líneas individuales de alta frecuencia en la República Checa estaban interconectadas gradualmente para crear una vasta y robusta red, utilizada para el control de la operación de un sistema de energía. Al final del siglo pasado, por lo tanto, había una red de transporte a nivel nacional, que conectaba todas las centrales y estaciones de conmutación importantes.



Un nuevo componente de la red de energía externa, un cable de fibra óptica incorporado en el cable de acero de protección en los enlaces exteriores de alta y de muy alta tensión, una puerta abierta para una vía de transmisión ventajosa técnica y económicamente con una variedad de opciones de transmisión de banda ancha. Se sustituyen los cables de cobre originales (R, AlFe) por cables especializados de puesta a tierra combinados (CGC - *combined grounding cables*), en el que los cables ópticos se combinan con los hilos conductores. Los cables ópticos son para canales de comunicaciones de banda ancha utilizados por la tecnología de transmisión de comunicaciones de larga distancia.

3.1 Telefonía a través de red eléctrica en la República Checa



Mientras que los dispositivos convencionales de telefonía de alta frecuencia de planta de energía eléctrica prácticamente se desinstalaron en la República Checa y fueron sustituidos por tecnologías de transmisión utilizando cables de tierra combinados con cables ópticos, este cambio está aún en curso, principalmente por razones económicas, especialmente en países con vastas redes de energía eléctrica. En estas redes, por tanto, se espera introducir varios períodos temporales para pasar a sistemas de transmisión óptica. Por eso, en estos países (por ejemplo, la Federación de Rusia, Ucrania, China, India, etc.) la optimización de dispositivos de alta frecuencia convencional es tema de actualidad. Se evoluciona hacia la digitalización de los canales de transmisión de alta frecuencia.

4 Sistemas PLC de banda estrecha para telemática local

Los servicios PLC de banda estrecha se pueden dividir en tres grupos:

- Voz
- Difusión
- No voz



Los servicios de voz son servicios analógicos o de telefonía estándar.

4.1 Desarrollo de Servicios

Durante el desarrollo de aplicaciones PLC, hubo una serie de experimentos con servicios PLC de audio. La transmisión de programas de radio utilizando modulación de amplitud en las bandas de onda larga o media para necesidades locales (por ejemplo, residencias de estudiantes) estaba supeditado principalmente a "redes de energía limpia", es decir, al nivel de interferencia en la banda utilizada.



La transmisión telefónica de negocios era mucho más duradera, cuando se implementaba a través de las líneas eléctricas de tracción. Las aplicaciones más comunes operaban en las líneas eléctricas de tracción en minas subterráneas de carbón, siendo utilizadas para la comunicación de los equipos de trabajo.



En algunos casos, sin embargo, tales sistemas se llevaron a cabo experimentalmente en las líneas eléctricas del ferrocarril (catenarias) para conectar los expedidores de ferrocarril con el equipo de la locomotora. En ambos casos la interferencia (ruido) fue la principal limitación, causado por los pantógrafos bajo la línea eléctrica en la que se deslizan, es decir chispas en las líneas.



Una aplicación mucho más amplia se refiere a los servicios PLC que no son de voz, incluida la teleobservación, la señalización y el control a distancia, y el mencionado control remoto de masas. Últimamente, ha habido aplicaciones para la lectura remota de contadores de electricidad en los hogares. También existen requisitos para implantar la transmisión en la infraestructura de los sistemas de seguridad.



La tecnología PLC de banda estrecha viene limitada por la propia comunicación por las líneas eléctricas existentes. PLC está influenciada significativamente por la atenuación, que es función de la frecuencia, depende de los separadores utilizados, la inductancia de las líneas, la configuración de las líneas y la distribución de la carga, el número de tomas, tipo de dispositivos y condensadores de desacoplo (por ejemplo, para la supresión de ruido en los dispositivos). También, una relación deficiente entre las fases, esto es, si el transmisor y el receptor están en diferente fase de distribución. Otro problema, que evita una transmisión satisfactoria, es un alto nivel de tensión interferente consecuencia de un retorno de los propios dispositivos conectados a ella. Esto es particularmente así en sistemas de iluminación controlados por inversores de corriente alterna, en fuentes de alimentación sin transformadores, en motores eléctricos con control de tiristores (taladros, aspiradoras, batidoras, etc.), o incluso en teléfonos de la red doméstica (intercomunicadores) que operan en una misma banda de frecuencia. Además, una señal PLC puede ser distorsionada debido a una frecuencia y fase no lineales o debido a una impedancia variable en el tiempo. Para mejorar los sistemas de transmisión de banda ancha se puede utilizar una modulación apropiada, un cancelador de eco, la supresión de ruido, etc. En la actualidad, se considera la

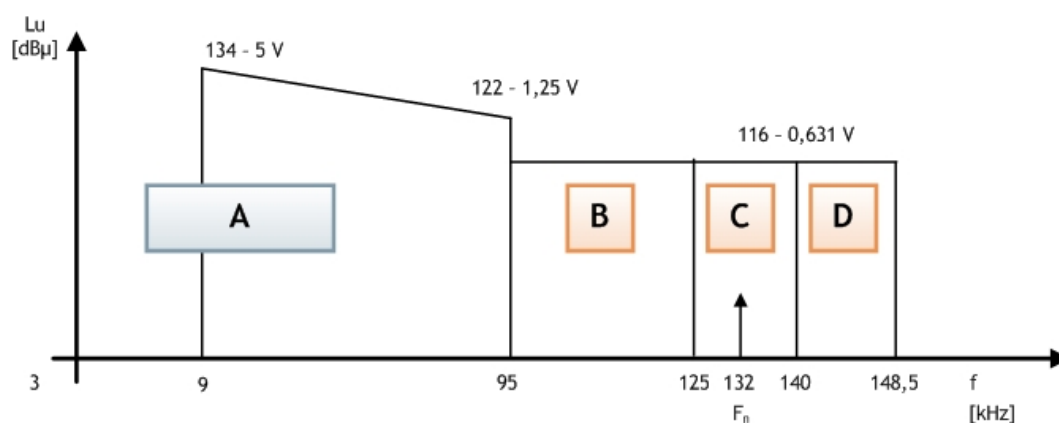
implementación de la transmisión de datos de banda estrecha en una red de distribución típica a la distancia de unos cientos de metros hasta alrededor de 5 km.

Actualmente, hay más aplicaciones que utilizan canales de banda estrecha en una red PLC de BT a efectos locales. Se trata de sistemas de recolección de datos remotos que recogen principalmente las señales de varios metros de medios distribuidos (energía eléctrica, agua, gas, agua caliente, frío, etc.). Estos sistemas proporcionan información precisa y fiable sin la necesidad de visitar el punto de medida. Esto reduce los costos de mano de obra y los errores humanos de lectura. Otros medios distribuidos pueden también beneficiarse de ella.

4.2 Recomendaciones para PLC, bandas de frecuencia

$E=m \cdot c^2$

Para el área de sistemas PLC de banda ancha en la República Checa existe una recomendación, EN 50065-1, válida desde el año 1991. El nombre de esta norma es "Señalización en instalaciones eléctricas de baja tensión en el rango de frecuencias de 3 kHz a 148,5 kHz". La recomendación especifica determinadas bandas de frecuencia y limita la tensión de salida, tal y como se muestra en la siguiente figura.



Bandas de frecuencia y valores límite de tensión de salida.

i

De la figura se pueden leer los niveles de tensión absolutos de estrés $[\text{dB}\mu]$ y los valores de tensión en $[\text{V}]$ correspondientes a los intervalos de frecuencia. Sin embargo, en todo el mundo se utilizan unas cuantas normas más para la aplicación de PLC de banda estrecha.

5 Sistemas PLC de banda ancha para transmisión de datos



i

En la tecnología de telecomunicaciones clásica, hay una mayor demanda de canales y circuitos de banda ancha en redes de acceso. Esta tendencia también se refleja en los recursos de transmisión que utilizan las líneas eléctricas de distribución como una vía de transmisión.



+

Las redes de distribución de energía eléctrica también muestran una infraestructura que está muy poco explotada en términos de capacidad de transmisión. Sin embargo, representa la red de acceso llevada a los consumidores individuales de energía eléctrica y permite la transmisión de señales digitales a la velocidad de transmisión en el intervalo de decenas a cientos Mbps.

La última década del siglo anterior ha traído la necesidad de utilizar una parte de las redes de transmisión de alta tensión también para señales de datos de alta velocidad y de banda ancha. Esta necesidad fue causada principalmente por la expansión masiva de Internet y la idea de utilizar las líneas de eléctricas para el acceso a esta tecnología de la información. Los inicios de este enfoque se remontan a los años 90 del siglo XX.

5.1 Opciones de BPL en la práctica



Según la transmisión en la red de distribución, se pueden considerar dos tipos de sistemas BPL.

- Sistemas BPL *Outdoor* o de acceso. Utilizan líneas tanto de alta como de baja tensión desde los transformadores a los objetos suministrados, es decir, las partes públicas de las redes eléctricas.
 - Sistemas BPL *Indoor* o de interior. Utilizan el cableado interior de los edificios que suele ser de propiedad privada. La banda más utilizada para aplicaciones en exteriores es de 1 a 18 MHz y para aplicaciones en interiores de 18 a 30 MHz. El alcance es relativamente pequeño y dependiente de la configuración de la red, situándose entre decenas y cientos de metros con velocidades de transmisión de hasta cientos de Mbps.
-



El mecanismo de propagación de señal utilizando las líneas de energía eléctrica es cada vez más difícil y confuso cuando la frecuencia de la señal es alta, siendo por lo tanto la longitud de onda correspondiente comparable con las longitudes geométricas de las sub-secciones. La resonancia en paralelo y en serie surge muy a menudo. Además de la falta de homogeneidad de secciones concretas, es necesario tener en cuenta los parámetros de transmisión, provocados por cambios de configuración y por cambios instantáneos de la carga, y por supuesto, por un nivel relativamente alto de ruido generado por las diferentes fuentes. También es necesario tener en cuenta las propiedades de transmisión de los separadores y las uniones.

Para resolver con éxito los problemas en un ambiente agresivo de líneas de alta tensión, se podría utilizar las experiencias que fabricantes de equipos de telecomunicaciones han acumulado durante el desarrollo y el funcionamiento de la televisión por cable y de sistemas modernos de comunicación vía radio. Es por ello que las soluciones específicas para sistemas BPL utilizan los últimos métodos de modulación y de acceso. En la actualidad, el desarrollo de sistemas PLC se centra en dos tipos de modulación: *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) y OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*).

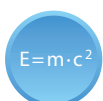
5.2 Parámetros de BPL

Desde un punto de vista de transmisión de señal, los dos parámetros importantes son BPL:

- Velocidad de transmisión
- Tasa de error



Como ya se ha indicado, una red de distribución eléctrica, considerada como un medio de transmisión, representa un ambiente muy problemático en términos de compatibilidad electromagnética. Por otra parte, las condiciones para la transferencia de energía eléctrica varían a cada momento (debido a un manejo operacional y a la conexión/conmutación de equipos o aparatos). Por tanto, es necesario seleccionar cuidadosamente las modulaciones adecuadas en BPL, (pero también los métodos de codificación de y los métodos para la detección y corrección de errores). Esto, sin embargo, aumenta el número necesario de bits (*overhead*) que en realidad disminuye la velocidad de transmisión efectiva de datos de usuario.



En términos generales, cuanto mayor es la velocidad de transmisión, menor es la inmunidad a los errores, y por tanto más capacidad de transmisión debe ser reservada para la detección y corrección de errores. En los sistemas con velocidades de transmisión más bajas, la relación entre datos útiles y redundantes es de aproximadamente 1:1. En sistemas con velocidad de transmisión de 200 Mbps, esta relación es de aproximadamente 1:3 (por tanto, sólo aproximadamente el 30% de la capacidad de transmisión se dedica a datos útiles). La distancia máxima alcanzable entre dos módems BPL depende principalmente de la potencia de salida de la señal de BPL, su atenuación y también del nivel de interferencia en el lado receptor. Sin repetidores, se puede llegar a la distancia de cientos de metros, pero sólo en redes eléctricas públicas con cables al aire libre o bajo tierra. Para la parte interior de la red, con una gran variedad de fuentes de interferencia, cualquier valor promedio del tramo no proporciona información útil, porque una instalación distinta afecta al alcance en decenas de metros en ambas direcciones. En sistemas de interior, la distancia alcanzable es de unos 100 m.



Un módem BPL se puede conectar a la red de energía eléctrica ya sea directamente o por inducción. La conexión directa del módem BPL mediante el cable de alimentación de red, por supuesto, supone que el acoplamiento capacitivo que permite conectar el módem a 230 V sea su parte interna.



Mientras que los sistemas PLC de banda estrecha están diseñados en base a las normas internacionales, la estandarización de sistemas BPL de banda ancha sigue sin resolverse a nivel internacional.

La red eléctrica en los países más desarrollados ofrece una cobertura del 100% a edificios, tanto a hogares como a empresas. En los países menos desarrollados, BPL puede sustituir la falta de infraestructura de telecomunicaciones. Uno de los resultados de las negociaciones entre los fabricantes y empresas de servicios eléctricos, es el proyecto *Open PLC European Research Alliance (OPERA)*, siendo su principal patrocinador la Comisión Europea. El proyecto OPERA implica a 37 empresas y universidades de diez países europeos. OPERA fue lanzado oficialmente en 2004 durante la reunión europea de BPL celebrada en Madrid.

i

Durante el desarrollo de los sistemas BPL había un gran número de fabricantes. Los productos se pueden clasificar en función de generaciones de producción específicas, que difieren principalmente en términos del tipo de modulación y de la tasa de bits alcanzable de datos transmitidos. En Europa, la mayoría de los módems BPL modernos de tercera generación utilizan chips DS2 con modulación OFDM. Dichos sistemas BPL son competitivos frente a las tecnologías de telecomunicaciones convencionales utilizadas en las redes de acceso.

Aunque la tecnología BPL está aún en desarrollo, no se puede ignorar el hecho de que incluso después de muchos años de desarrollo técnico y de ensayo, el uso práctico de BPL se limita generalmente a proyectos piloto relativamente pequeños, de los cuales sólo algunos tienen la ambición de desarrollarse a una escala mucho más grande. Probablemente el proyecto más grande sobre el sistema PLC/BPL se llevó a cabo en Texas en la empresa estadounidense de ONCOR Texas, CURRENT Group, LLC. El objetivo era implantar estas tecnologías en el marco del proyecto *Smart Grid*. En la actualidad, los sistemas BPL pueden ofrecerse comercialmente en áreas de aplicación, como por ejemplo: redes industriales de zonas bajas, conectividad a Internet para proveedores locales, complementando a las redes fijas en aquellas zonas en las que todavía no están implementadas, soluciones temporales para exposiciones, seminarios, formación o presentaciones, construcción de redes de datos en áreas con posibilidades de construcción o reconstrucción limitadas - por ejemplo, edificios históricos, museos, galerías; LAN domésticas (por ejemplo, conectar ordenadores, impresoras, teléfonos, fax), redes de acceso combinadas con el uso de otros sistemas de telecomunicaciones (redes de telefonía fija y datos, GSM, GPRS, redes de radio Wi-Fi, etc.), y finalmente, utilización en los países con una infraestructura de comunicaciones poco desarrollada en Asia, África y América del Sur.

i

Al observar el desarrollo actual de los sistemas BPL, se puede concluir que estos sistemas ya son parte de las redes de acceso de telecomunicaciones, y su ulterior desarrollo está relacionado con cuestiones de estandarización, lo que sugiere una reducción de sus precios debido a una producción en serie más grande, aumentando así la eficacia de su despliegue. Se considera que es muy importante el futuro enfoque al problema de su despliegue en entornos electromagnéticos de nuevos edificios inteligentes y sistemas de gestión modernos, especialmente en el caso de las *Smart Grids*.

6 Sistemas PLC en convergencia de redes y servicios de teleinformática y del desarrollo de *Smart Grids*



+

La construcción de un acceso de distribución de banda ancha al sistema existente de distribución de líneas eléctricas es por supuesto un beneficio económico. Los procedimientos avanzados de modulación y señalización permiten reducir significativamente su interferencia con los sistemas de teleinformática vecinos. Sin embargo, está claro que la rentabilidad del despliegue de sistemas BPL para la distribución de banda ancha puede ser muy diferente en función de la ubicación geográfica, la infraestructura, la red eléctrica, el avance de las telecomunicaciones del país, la densidad de población y otros aspectos.

Uno de ellos es el beneficio del uso de los sistemas BPL para acceder a Internet, distribuir audio, programas de vídeo o la construcción de redes de área local en edificios en los que están limitadas las posibilidades de las obras de construcción, la instalación de un nuevo cableado (edificios históricos, museos, salas de exposiciones, viejos edificios escolares, etc.). Por otro lado, los modernos sistemas PLC/BPL pueden ser un componente importante durante la implementación de determinados servicios en "edificios inteligentes". Algunas de estas aplicaciones ya han sido implementadas en diversas partes del mundo.



-

A pesar del gran potencial que incorporan las redes de acceso BPL, sin embargo, en comparación con las tecnologías de banda ancha x-DSL y CATV, su porcentaje actual del mercado mundial de las telecomunicaciones es relativamente pequeño. También es necesario tener en cuenta la sucesión cada vez más fuerte de las tecnologías para el acceso inalámbrico rápido, fijas o móviles. A escala global, la tecnología PLC/BPL alcanzará gradualmente a algunas tecnologías competitivas de la teleinformación.

Los sistemas BPL todavía tienen su oportunidad de ser explotados a escala masiva. Además del ya construido acceso básico a todos los clientes potenciales en los países desarrollados, la mayoría de las compañías de energía eléctrica posee recursos relativamente importantes que pueden ser invertidos en nuevos servicios y en publicidad eficaz. Aunque los sistemas PLC/BPL pueden encontrar aplicación en todas estas áreas, las más prometedoras son la implementación de las llamadas redes inteligentes de energía, conocidas como redes inteligentes (SG - Smart Grids).

6.1 Redes eléctricas inteligentes (*Smart Grids*)



$E=m \cdot c^2$

La *Smart Grid* (SG) es una conexión integral de redes de energía eléctrica y de telecomunicaciones, lo que conduce a una gestión eficiente de la producción y el consumo de energía en tiempo real en zonas locales y globales. El principio de funcionamiento de estas redes se basa en la comunicación bidireccional interactiva entre puntos de funcionamiento parcial de la red en el lado de la producción, distribución y consumo de energía. Los recursos teleinformáticos permiten la recogida en tiempo real de información, el diagnóstico de partes individuales de la red y la gestión operativa en el lado de la producción y la distribución, así como oportunidades de expansión en las ventas, la elección de opciones de tarifas en el lado del consumidor de acuerdo a requerimientos programados o inmediatos de los consumidores. El término "red de energía" puede ser entendido no sólo como la red de distribución de electricidad, sino también como la red de producción y distribución del sistema de distribución de gas y calor, suministro de agua y otros.



La llegada de la SG se puede observar en las redes eléctricas. El sistema de control debe vigilar constantemente el tráfico de la red y garantizar así la llamada "autocuración" (*self-healing*), es decir, el proceso por el cual una red puede configurar automáticamente las condiciones de origen después de cualquier operación anormal. El diagnóstico continuo de los parámetros de operación (parámetros de subestaciones, transformadores y líneas de distribución) debe evitarlo, junto con una indicación inmediata de los estados de fallo.

La mayoría de las actuales redes de electricidad se basa en el concepto de un número relativamente pequeño de fuentes convencionales de energía (térmica, hidráulica y nuclear) de alta potencia (cientos y miles de MW), desde las cuales una red de distribución (AT, MT, y BT) transmite energía a un número relativamente grande de consumidores. Si bien esta disposición permite una relativamente fácil sincronización de una red, es sobre todo una topología en estrella la que puede causar problemas importantes en caso de fallo de la fuente de energía por daños en líneas eléctricas.

6.2 Fuentes alternativas de energía

En la actualidad, sin embargo, podemos observar nuevas fuentes de energía alternativas que pueden ser fuentes de baja potencia repartidas por todo el área de distribución. Algunas fuentes (por ejemplo, pequeños sistemas fotovoltaicos) están aisladas a nivel de edificios individuales; sin embargo, pueden suministrar energía a la red eléctrica pública. Por tanto, existe la necesidad de una importante reconfiguración de las redes eléctricas, las cuales están asociadas con la expansión de la SG. Esta estructura provoca problemas con el funcionamiento estable y la sincronización de una red común. Para evitar que una red colapse debido a una variedad de fuentes, es necesario establecer una red con una gestión altamente sofisticada y eficiente que permita el control de la red eléctrica a nivel de las fuentes individuales. La eficiencia de la gestión eficaz de una red de SG, que consiste en un gran número de fuentes (cientos) y de varias veces un número superior de puntos de suministro (cientos de miles), depende del tipo y la cantidad de las fuentes de información y de consumidores de energía eléctrica. Esto debería ayudar al despliegue de la SG permitiendo una utilización óptima de todos sus recursos. Además, sin embargo, la distribución dispersa de fuentes individuales y la gestión inteligente debería también proporcionar soluciones rápidas y eficaces a condiciones críticas que se produzcan durante los fallos de la red de distribución por fallos en las fuentes o daños en las líneas eléctricas.



Un aspecto importante, sobre todo para el futuro, tiene que ver con retomar la cuestión de la distribución de energía continua y la construcción de estaciones de servicio para coches eléctricos. Una tendencia actual es la construcción de edificios inteligentes, los cuales deben garantizar parámetros de funcionamiento ecológicos y económicos y un alto grado de automatización de los procesos operativos, incluyendo el desarrollo de servicios comunitarios. La SG representa tanto para redes eléctricas actuales como futuras un gran número de ventajas operacionales y económicas. Permiten un mayor grado de automatización de las subestaciones y los transformadores, lo que resulta en una reducción de gastos de explotación.

7 Conclusión



Todos estos hechos claramente hacen hincapié en la necesidad de construir *Smart Grids*. Con el fin de garantizar una gestión eficaz, es necesaria la creación de una infraestructura de datos suficientemente dimensionada entre la fuente y el dispositivo, el centro de datos y el control de distribución. A partir de esta descripción, se puede concluir que la construcción de la SG genera no sólo altos costes, sino también considerables exigencias en materia de compatibilidad electromagnética de los sistemas vecinos y cooperantes.



Los operadores de telecomunicaciones y fabricantes de dispositivos de información y de las telecomunicaciones, en la situación actual de relativa saturación de los mercados de telecomunicación tradicionales, ya han comprendido que existe una necesidad esencial para el desarrollo de la SG. Puede llegar a ser muy prometedor para su negocio actual y futuro.



Se puede concluir que, para garantizar una gestión eficaz, es necesario crear una infraestructura teleinformática lo suficientemente dimensionada entre las diferentes fuentes de energía y el dispositivo, centros de datos, el control de distribución y algunos otros componentes de las compañías de energía. En esta infraestructura, por razones técnicas y económicas, se deben incorporar varios sistemas PLC. Un aspecto importante para la aplicación de los recursos PLC/BPL es la posibilidad de combinación con otras tecnologías teleinformáticas. Los sistemas PLC/BPL pueden proporcionar no sólo la sección de la "última milla", sino también el acceso a la distribución final.
