

PEA5918 – Redes Elétricas Inteligentes e Microrredes (*Smart Grids* e *Microgrids*) Sistemas de Comunicação para Automação e Controle

Giovanni Manassero Junior

Depto. de Engenharia de Energia e Automação Elétricas
Escola Politécnica da USP

6 de junho de 2017

Introdução

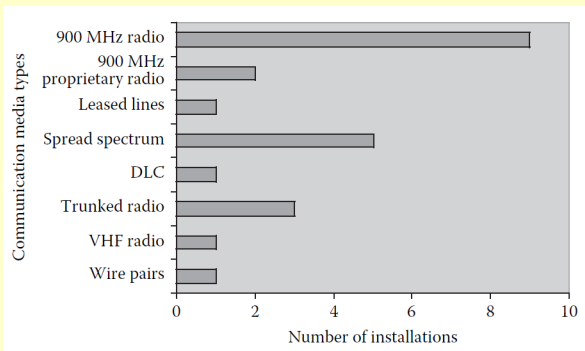
Sistemas de comunicação para automação e controle

- Os sistemas de comunicação são os componentes vitais para automação e controle de sistemas elétricos;
- Sistemas de automação local normalmente utilizam critérios elétricos para iniciar operações de abertura/fechamento de chaves e disjuntores, porém, são necessários sistemas de comunicação para permitir a operação remota das redes elétricas;
- Sistemas de comunicação têm sido amplamente empregados para automação e controle de sistemas elétricos;
- Várias tecnologias foram utilizadas: rádio 900 MHz, linha telefônica dedicada, *carrier*, rádio troncalizado, rádio VHF, par trançado, rádios de espalhamento espectral, etc.).

Sistemas de comunicação para automação e controle

Tecnologias

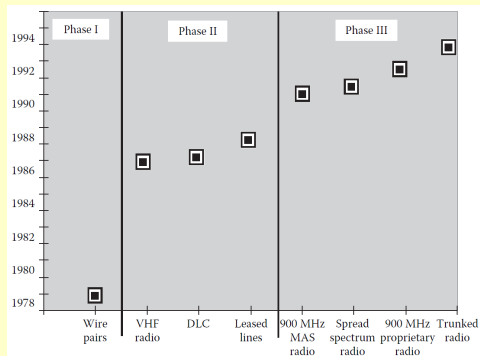
- Em 1996 foi feita uma pesquisa com algumas concessionárias de distribuição.



Sistemas de comunicação para automação e controle

Fases de desenvolvimento e utilização

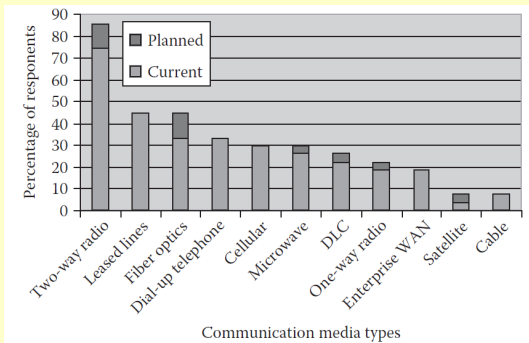
- A mesma pesquisa notou que a utilização das diversas tecnologias de comunicação foram empregadas em fases bastante distintas.



Sistemas de comunicação para automação e controle

Sistemas tipicamente empregados em automação da distribuição

- A figura ilustra os sistemas atualmente utilizados pelas concessionárias e quais se pretende utilizar no futuro.



Automação e controle da distribuição

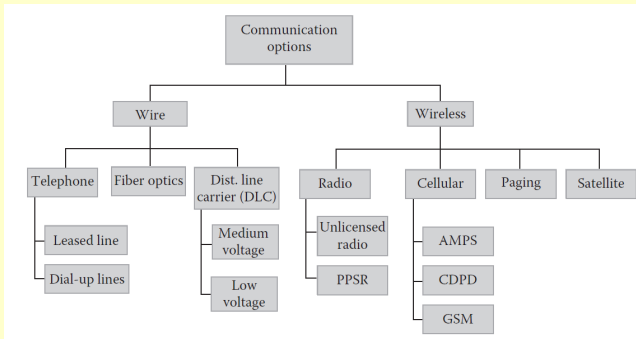
Sistemas de comunicação

- Os componentes dos sistemas de comunicação normalmente são referenciados ao modelo de sete camadas da ISO – OSI (Open System Interconnection);
- Essas camadas são: aplicação, apresentação, sessão, transporte, rede, enlace (ou ligação de dados), e física;
- Nem sempre essas as camadas estão presentes em todos os sistemas de comunicação desenvolvidos para automação e controle da distribuição;
- A seguir são apresentadas as tecnologias de comunicação empregadas, em termos da camada física, bem como os protocolos normalmente utilizados.

Tecnologias de comunicação

Camada física

- A figura a seguir apresenta as tecnologias de comunicação empregadas.



Comunicação sem fio

Introdução

- Historicamente, os sistemas de gerenciamento da distribuição utilizavam linhas telefônicas dedicadas para as tarefas de automação e controle;
- Porém, os recentes avanços tecnológicos viabilizaram tecnicamente e economicamente os sistemas de comunicação sem fio;
- Uma vez que a ausência de conexões físicas entre transmissores e receptores pode apresentar vantagens econômicas, transmissões de dados via satélite, celular, ou outros sistemas de comunicação *wireless* se tornaram interessantes.

Comunicação sem fio

Tecnologias de comunicação

- As tecnologias disponíveis para automação e controle dos sistemas de distribuição são:
 - Rádio de espalhamento espectral (*Spread Spectrum Radio*);
 - Rádio VHF/UHF de banda estreita (*VHF/UHF Narrow Bandwidth Packaged Data Radio*);
 - Rádio troncalizado (*Public Packet-Switched Radio*);
 - Celular;
 - *Paging*;
 - Comunicações via satélites de baixa órbita;

Comunicação sem fio

Spread Spectrum Radio

- Espalhamento espectral é uma técnica de codificação para a transmissão digital de sinais;
- Foi originalmente desenvolvida pelos militares durante a segunda guerra mundial, com o objetivo de transformar as informações a serem transmitidas num sinal parecido com um ruído;
- Consiste em codificar e modificar o sinal de informação executando o seu espalhamento no espectro de frequências;
- O sinal espalhado ocupa uma banda maior que a informação original, porém possui baixa densidade de potência;

Comunicação sem fio

Spread Spectrum Radio

- Portanto, apresenta uma baixa relação sinal/ruído. Para os receptores convencionais esta comunicação pode até ser imperceptível;
- Ocupa as bandas ISM (*Instrumentation, Scientific & Medical*) definidas nas faixas de 900 [MHz], 2.4 [GHz] e 5.8 [GHz].

Comunicação sem fio

VHF/UHF Narrow Bandwidth Packaged Data Radio

- Essa tecnologia possibilita uma área de cobertura de aproximadamente 100 [km];
- Caso seja possível obter a concessão de uso da banda de comunicação, há um aumento da confiabilidade do sistema de comunicação;
- A velocidade é pequena, tipicamente da ordem de 19.2 [kbps].

Comunicação sem fio

Rádio troncalizado

- Os sistemas de rádio troncalizado são empregados quando há uma grande quantidade de transmissores e receptores;
- Essencialmente é um sistema de comutação de pacotes;
- Todos os usuários do rádio troncalizado monitoram um canal de controle, quando em modo de espera;
- Quando há a necessidade de comunicação entre dois ou mais rádios, o canal de controle os coloca em uma determinada frequência e, ao término da comunicação, esses rádios voltam a monitorar o canal de controle.

Comunicação sem fio

Celular

- A tecnologia de comunicação celular oferece vários serviços que podem ser utilizados para a transmissão e recepção de dados: CDPD/AMPS, GPRS/GSM, SMS, etc.;
- O serviço CDPD é um serviço de transferência de dados, descontinuado, normalmente empregado em conjunto com a tecnologia dos celulares analógicos (AMPS);
- O serviço GPRS é um serviço de transferência de dados, empregado em conjunto com celulares de tecnologia GSM;
- Além desses serviços de transferência de dados, pode-se empregar o serviço SMS para troca de mensagens curtas entre dois dispositivos. Entretanto, cabe ressaltar que o serviço SMS é do tipo *best effort*, isto é, não há garantia que a mensagem será entregue.

Comunicação sem fio

Paging

- A tecnologia de *paging* utiliza uma infraestrutura de antenas de comunicação ou satélite para o envio de mensagens de texto;
- Normalmente, a tecnologia é do tipo *one way*, porém há alternativas do tipo *two way*;
- Assim como o serviço SMS, pode-se utilizar a tecnologia de *paging* para o envio de comandos do centro de operação para o equipamento a ser controlado.

Comunicação sem fio

Satélites de baixa órbita

- A comunicação via satélites tem a capacidade de prover uma solução global para as concessionárias de energia elétrica;
- Normalmente, essa comunicação é empregada quando há necessidade de velocidade e confiabilidade;
- As tecnologias de satélites de baixa órbita consistem em conjuntos de satélites, que orbitam a terra em alturas que variam de 750 [km] e 1200 [km].

Comunicação cabeada

Introdução

- A comunicação cabeada ainda é amplamente empregada para automação e controle dos sistemas elétricos, porém tem sofrido concorrência da comunicação sem fio;
- Historicamente, os sistemas de gerenciamento da distribuição utilizavam linhas telefônicas dedicadas para essas tarefas;
- Além dessa tecnologia há também:
 - Linhas telefônicas convencionais;
 - Fibras ópticas;
 - Infraestrutura de TV a cabo;
 - *Carrier*.

Comunicação cabeada

Linhas telefônicas

- Linhas telefônicas para automação e controle de sistemas elétricos foram amplamente empregadas pelas concessionárias;
- Existem duas alternativas distintas: linhas dedicadas (*leased lines*) e públicas (PSTN - *public switched telephone network*);
- Linhas telefônicas dedicadas são linhas que conectam os equipamentos e subestações diretamente aos centros de controle, em tempo integral;
- É uma tecnologia consagrada, porém apresenta custos de manutenção e operação elevados;

Comunicação cabeada

Linhas telefônicas

- Linhas telefônicas públicas são linhas que conectam os equipamentos e subestações aos centros de controle, por meio da arquitetura dos sistemas públicos de telefonia;
- Normalmente, a transmissão de dados é efetuada por um mecanismo de *dial-up*;
- Portanto, não é utilizada para aplicações em tempo real.

Comunicação cabeada

Fibras ópticas

- O emprego de fibras ópticas tem aumentado ao longo dos anos, principalmente em ambientes com elevado grau de interferência eletromagnética (p. ex. subestações);
- Além da imunidade às interferências eletromagnéticas, as fibras ópticas apresentam a vantagem de velocidade de transmissão e largura de banda;
- Porém, o custo elevado dessa solução ainda limita seu uso em larga escala.

Comunicação cabeada

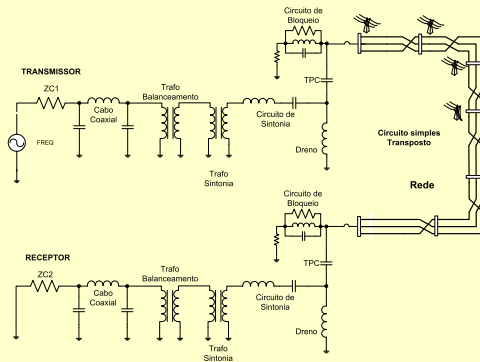
Carrier

- A tecnologia *carrier* permite a utilização da infraestrutura da rede elétrica para a transmissão de dados aos sistemas de automação e controle;
- A transmissão de dados via *carrier* é uma tecnologia bastante antiga e é amplamente utilizada em linhas de transmissão para a troca de informações entre dispositivos de proteção;
- Em redes de distribuição, a utilização dessa tecnologia é limitada devido à configuração das redes e suas características elétricas.

Comunicação cabeada

Carrier

- A seguir é ilustrada a arquitetura típica desse sistema para redes aéreas (acoplamento capacitivo).



Comunicação cabeada

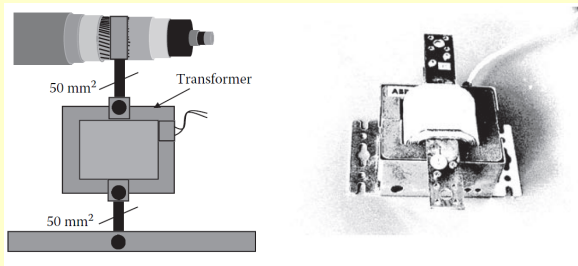
Carrier

- Em redes subterrâneas, pode-se efetuar o mesmo acoplamento (acoplamento capacitivo) no núcleo do condutor. Entretanto, pode-se fazer também o acoplamento indutivo;
- O acoplamento indutivo pode ser efetuado de duas maneiras: na blindagem ou no núcleo;
- O acoplamento indutivo na blindagem pode ser feito de maneira intrusiva ou não intrusiva;
- O acoplamento indutivo no núcleo é feito de maneira não-intrusiva.

Comunicação cabeada

Carrier

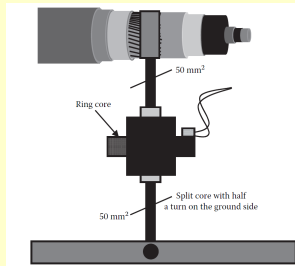
- Acoplamento indutivo na blindagem, de maneira intrusiva.



Comunicação cabeada

Carrier

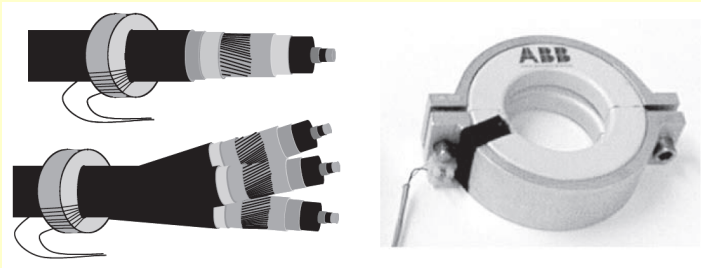
- Acoplamento indutivo na blindagem, de maneira não-intrusiva.



Comunicação cabeada

Carrier

- Acoplamento indutivo no núcleo, de maneira não-intrusiva.



Protocolos de comunicação

Introdução

- Os protocolos de comunicação definem as regras para as trocas de informação entre transmissores e receptores;
- De uma maneira bastante simplificada, um protocolo de comunicação é uma linguagem de comunicação entre transmissores e receptores;
- Existem inúmeros protocolos proprietários e não-proprietários, normalizados ou não e, dentre aqueles empregados em automação e controle de sistemas elétricos pode-se destacar:
 - Modbus;
 - DNP3.0;
 - IEC 60.870-5;
 - IEC 61.850.

Protocolos de comunicação

Modbus

- O protocolo Modbus foi desenvolvido pela empresa Modicon (**Modular Digital Controler**);
- O protocolo Modbus define a estrutura da mensagem, independentemente do meio de comunicação;
- Existem alguns tipos de Modbus:
 - RTU: os dados são armazenados na mensagem no formato binário;
 - ASCII: os dados são armazenados na mensagem no formato ASCII;
 - TCP/IP: a mensagem é encapsulada em um *frame Ethernet* e utiliza o protocolo TCP/IP para a comunicação;
 - UDP, Plus, PEMEX.

Protocolos de comunicação

DNP3.0

- O protocolo DNP3.0 (*Distributed Network Protocol*) é um conjunto de protocolos de comunicação desenvolvido pela empresa Westronic (atualmente GE Harris);
- Foi desenvolvido para comunicação entre os vários tipos de equipamentos de automação, controle e aquisição de dados (centros de controle, RTU's, IED's, etc.);
- Este protocolo derivou, em parte, do protocolo IEC 60.870-5;
- Amplamente utilizado no setor elétrico dos Estados Unidos.

Protocolos de comunicação

IEC 60.870-5

- A IEC 60.870 (*Telecontrol equipment and systems*) é um conjunto de normas que define os sistemas utilizados para automação e controle de redes elétricas. Essa norma tem seis partes;
- A IEC 60.870-5 fornece um perfil de comunicação para envio de mensagens entre dois sistemas para automação, proteção, controle e aquisição de dados;
- Essa parte da norma é dividida em quatro documentos que tratam da:
 - Padronização da comunicação entre RTU's e centros de controle;
 - Padronização da comunicação de dados de proteção;
 - Protocolos para comunicação em redes TCP/IP.

Protocolos de comunicação

IEC 61.850 - Motivação

- A utilização de protocolos proprietários e a consequente dificuldade em promover alterações e ampliações futuras demonstrou a necessidade do desenvolvimento de protocolos baseados em normas;
- Inicialmente, a ideia era garantir a interoperabilidade entre IED's de diversos fabricantes;
- Interoperabilidade é a habilidade de um determinado equipamento de compartilhar um mesmo canal de comunicação com o objetivo de trocar informações e comandos com outros equipamentos.

Protocolos de comunicação

IEC 61.850 - Motivação

- Posteriormente, a ideia era permitir a intercambiabilidade entre equipamentos;
- Intercambiabilidade é a possibilidade de trocar um equipamento de um determinado fabricante, por um equipamento similar, de outro fabricante, sem a necessidade de proceder com modificações nos equipamentos presentes na indústria.

Objetivos da Norma IEC 61.850

Normatização da automação de subestações

- O objetivo da norma é garantir um padrão de comunicação que possua os requisitos funcionais e de desempenho atualmente empregados, mas que permita o acompanhamento da evolução tecnológica de modo a salvaguardar os investimentos;
- A norma permite a implantação das funções de proteção, automação e controle das subestações. Portanto, deve considerar os requisitos operacionais de tais funções, sem limitar, em hipótese alguma, o surgimento de novas funções ou a alteração de funções já existentes.

Requisitos da Norma IEC 61.850

Descrição

- O perfil de comunicação é baseado nas normas IEC/IEEE/ISO/OSI já existentes, caso disponíveis;
- Os protocolos utilizados são abertos e devem suportar dispositivos autodescritivos. É possível adicionar novas funcionalidades à norma;
- A norma é baseada em *data objects*, relacionados com as necessidades da indústria de energia elétrica.

Requisitos da Norma IEC 61.850

Descrição

- A sintaxe e a semântica empregadas pela norma são baseadas nos *data objects* comuns da indústria de energia elétrica;
- A norma de comunicação considera as implicações de se permitir que cada subestação seja apenas um nó da rede elétrica, e que o SA seja apenas um elemento do *Wide Area Protection an Control*.

Elaboração da IEC 61.850

Generalização para garantir aplicabilidade

- A metodologia utilizada para a elaboração da norma consistiu na utilização conjunta de três métodos distintos:
 - Decomposição funcional: utilizada para descrever a relação lógica entre os componentes de uma determinada função (proteção, automação e/ou controle);
 - Fluxo de dados: empregado para descrever as interfaces de comunicação que devem suportar a troca de informações entre componentes distribuídos, bem como para descrever seus requisitos funcionais;
 - Modelagem de informação: utilizada para definir a sintaxe e a semântica da informação trocada pelos componentes distribuídos.

Elaboração da IEC 61.850

Decomposição funcional

- É apresentada em termos de *logical nodes* (nós lógicos) que descrevem funções, sub-funções e interfaces funcionais;
- A alocação de funções aos IED's e Centros de Controle não é fixa, isto é, a IEC 61.850 prevê qualquer tipo de alocação de funções;
- Uma vez que a alocação de funções não é fixa, a IEC 61.850 prevê a interoperabilidade entre funções que podem residir em IED's de diversos fabricantes.

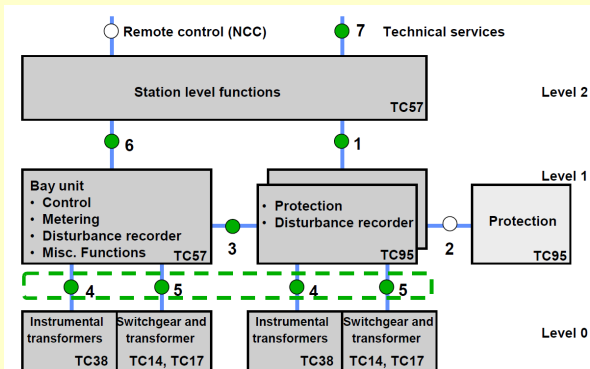
Decomposição funcional

Descrição

- As funções podem ser divididas em partes e implementadas em diferentes IED's que se comunicam entre si. Portanto, o comportamento dessas partes, denominadas *logical nodes*, suporta o requisito de interoperabilidade entre IED's;
- As funções podem ser alocadas a três níveis distintos: *station level*, *bay level* e *process level*;
- Desta forma, a figura que inicialmente descrevia a interface de comunicação no SA deve incluir a comunicação entre o *station level* e diferentes *bays* para representar corretamente a Decomposição Funcional prevista pela IEC 61.850.

Decomposição funcional

Modelo de interface de um sistema de automação de subestações



Decomposição funcional

Definições

- *Process level*
 - Tipicamente são os equipamentos que estão conectados diretamente ao sistema de potência, bem como entradas e saídas dos IED's, sensores, atuadores, etc.
- *Bay level*
 - São as unidades de controle, automação e proteção dos *bays* das subestações.
- *Station level*
 - Consiste nos computadores dos operadores, as interfaces para comunicação remota, as bases de dados do sistema, etc.