



**XXIV SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GPC/11

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO -IV**

**GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO EM SISTEMAS DE POTENCIA-  
GPC**

**UTILIZAÇÃO DE MPLS ( MULTI PROTOCOL LABEL SWITCH) PARA TROCA DE DADOS ENTRE RELÉS EM  
SUBESTAÇÕES DIFERENTES.**

**Oswaldo Foroni Junior  
SIEMENS**

**André Luis Franceschett  
SIEMENS**

**Rodrigo Alves Benes Ferreira  
SIEMENS**

**RESUMO**

Esse documento tem como finalidade demonstrar uma alternativa viável para se fazer comunicação de dados necessários em uma teleproteção entre duas ou mais subestações distintas. Para comunicação entre duas subestações, atualmente tem-se usado ou um sistema de comunicação via fibra direta ou um sistema de comunicação via SDH ( Synchronous Digital Hierarchy). A utilização de fibra direta requer um sistema dedicado de canais de fibra ótica onde esses geralmente são de valor bem mais elevado do que meios de comunicação multiplexados. Além desse valor mais alto, temos também limitação de distância, já que a utilização de fibras comunicando diretamente consegue alcançar normalmente uma distancia de no máximo 150 quilômetros sem se utilizar repetidores. Já a utilização do sistema SDH de comunicação é um sistema mais barato, porém esse necessita de todo um sistema de teleproteção envolvido, além de que esse tipo de equipamento tem vida útil baixa e fica obsoleto em um curto espaço de tempo. Uma alternativa então que surge para se substituir esses meios de comunicação seria a utilização do sistema onde utilizamos o MPLS (Multi Protocol Label Switch). Esse sistema será explicado no decorrer desse documento.

**PALAVRAS-CHAVE**

MPLS, Subestação, Teleproteção, SDH, fibra óptica.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Existem algumas situações no qual necessitamos fazer comunicação entre subestações, e dentre elas podemos priorizar dois desses casos, em primeiro a comunicação para se fazer teleproteção ( principalmente quando se tem função de proteção 87L diferencial de linha), a segunda seria quando se quer fazer troca de dados (como GOOSE por exemplo) onde esses dados podem ser utilizados para teleproteção da função 21, 67N, ou aplicações onde se tem transferência de trip TDD.

Existem duas formas conhecidas como convencionais para se fazer essa troca de dados entre subestações que é o sistema utilizando fibra direta entre as subestações e o sistema que se utiliza o SDH fazendo multiplexação de dados. Uma alternativa então que surge para se substituir esses meios de comunicação seria a utilização do sistema onde utilizamos o MPLS (Multi Protocol Label Switch). Esse sistema permite que os dados de teleproteção como pacotes da função 87L diferencial de linha, troca de GOOSE entre subestações, sejam feitos utilizando o mesmo meio de troca de dados de voz, de vídeo, de supervisão, de SCADA, etc... da subestação.

A intenção da utilização do MPLS em sistemas de energia, ou em subestações é organizar o sistema de forma que todos os meios de comunicação que hoje são separados como canais de voz, vídeo, dados e teleproteção possam ser organizados todos em um mesmo sistema funcionando juntos adequadamente de acordo com as necessidades de cada um sem comprometimento do funcionamento de nenhum dos sistemas. Iremos focar no funcionamento

especificamente do pacote de dados utilizados para teleproteção como função 87L, 21, 67N, e também dados trocados entre subestações como GOOSE por exemplo. Mostraremos como esses dados trafegam em uma rede com MPLS onde também estão trafegando outros tipos de informação como canais de dados, voz, e troca de demais informações entre as subestações sem que haja dano no transporte desses dados de teleproteção. No decorrer desse documento iremos detalhar melhor como funciona esse sistema de MPLS.

## 2.0 - DESCRIÇÃO DO MPLS

O MPLS é uma tecnologia comprovada e amplamente implantada em todo o mundo, e esta já está sendo utilizada no setor de energia e em outros setores. As redes IP / MPLS podem proporcionar melhorias significativas na flexibilidade da rede, na eficiência e na facilidade de gerenciamento e de uma maneira econômica. Por exemplo, a qualidade do serviço e a gestão do tráfego dos dados asseguram que os serviços críticos da rede, tais como a proteção, possam ser priorizados em relação a outro tráfego, como de voz e vídeo, e fornecidos com largura de banda suficiente. Além disso, o IP / MPLS suporta o transporte tradicional de circuitos comutados e o tráfego baseado em pacotes mais moderno.

O intuito desse documento é demonstrar e analisar o uso de IP / MPLS para suportar as funções de proteção do sistema de energia usando múltiplos protocolos: IEEE C37.94 [10], IEC 61850-9-2 Sampled Values (SV), e IEC 61850-8-1 evento genérico de subestação orientada a objetos (GOOSE).

Esse sistema consiste em uma tecnologia de envio e recepção de pacotes de dados utilizando "rótulos" na informação. O controle de fluxo de dados da rede é feito no Layer 2 (Frame) e Layer 3 (IP). Esse fluxo de dados percorre entre as subestações utilizando caminho estipulado pelos roteadores que estão sendo utilizados em cada subestação. Esses roteadores são usados de forma que sempre encontram o menor caminho para informação graças aos rótulos que são dados a cada pacote de dados, tornando o transparente para o fluxo de dados e fazendo parecer que a comunicação é feita via caminho direto. A velocidade dessa comunicação é boa o suficiente para conseguir fazer uso para a função de proteção 87L (proteção diferencial de linha) tanto para comunicação utilizando IEEE 37.94 como para comunicação utilizando X21 ou G703.6/E1. A utilização de troca de GOOSE entre relés de subestações diferentes também pode ser feita graças a velocidade de troca de dados do sistema.

Para que esse sistema funcione veremos que ele tem que atender a alguns pré requisitos do sistema, como por exemplo possuir um sincronismo de tempo específico com precisão alta (PTP). Os equipamentos que são utilizados nessas comunicações também tem que ter características próprias que atendam esses pré requisitos de funcionamento, sendo assim pode-se perceber que para se montar o sistema temos que utilizar equipamentos específicos que devem ser homologados para tais funcionamentos.

Como foi dito na introdução o MPLS deverá proporcionar ferramentas necessárias para que a rede possa ser organizada de forma que vários serviços que normalmente são distribuídos aleatoriamente na rede sejam organizados de forma a priorizar cada um deles. Abaixo podemos ver uma figura que exemplifica isso:

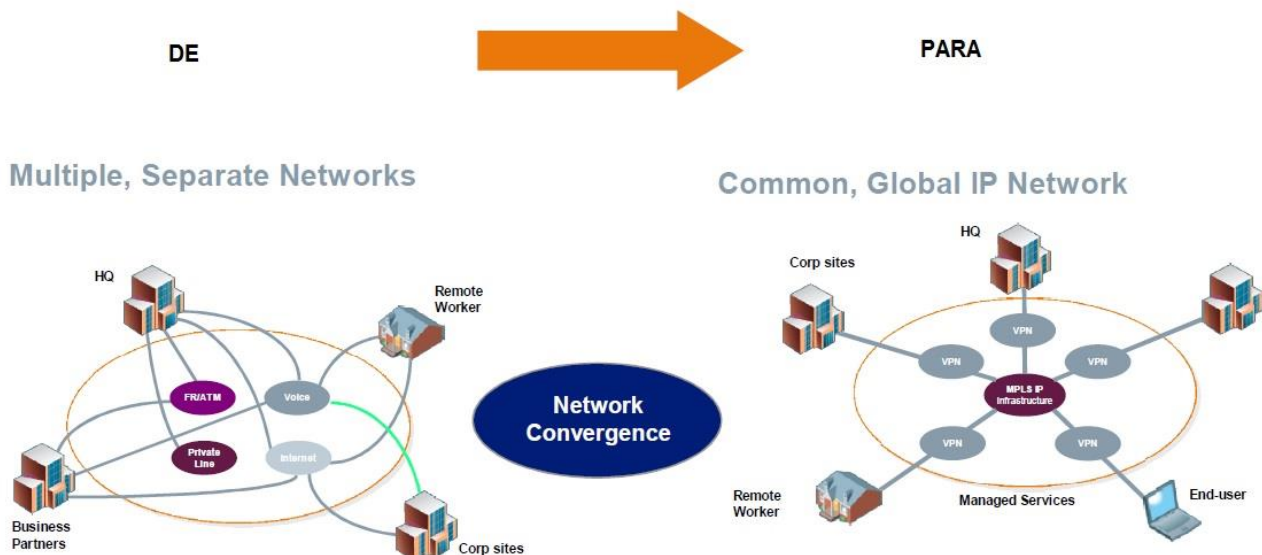


FIGURA – 1

Pudemos ver na figura acima como um sistema de redes separadas pode ser agrupado em um sistema único utilizando a infraestrutura do MPLS.

## 2.1- Comparação do MPLS com os demais métodos de troca de dados entre subestações

Como foi demonstrado anteriormente normalmente faz-se a troca de dados de proteção entre as subestações utilizando a comunicação com fibra óptica diretamente ou utilizando SDH (Tecnologia TDM). Como essas duas são as mais comuns iremos fazer essa comparação somente com entre o MPLS e essas duas separadamente.

### 2.1.1- MPLS e Fibra óptica direta

A teleproteção utilizando fibra óptica direta é amplamente difundido nos sistemas de comunicação. Esse sistema fornece confiabilidade a troca de informação entre os equipamentos de proteção, porém possui algumas limitações. A primeira limitação é que esse sistema é caro se comparado aos sistemas concorrentes. Se utilizar de um sistema de fibra óptica dedicada somente para troca de informação entre subestações quase nunca é viável. Uma outra limitação é que a distância entre as subestações que utilizam a comunicação via fibra óptica direta não pode exceder a 150km, para sistemas mais distantes que esse há a necessidade de utilizar repetidores. A vantagem do MPLS sobre a utilização de fibra óptica direta é que ela se torna mais barata quando se tem a necessidade de se utilizar teleproteção em conjunto com outros serviços de rede.

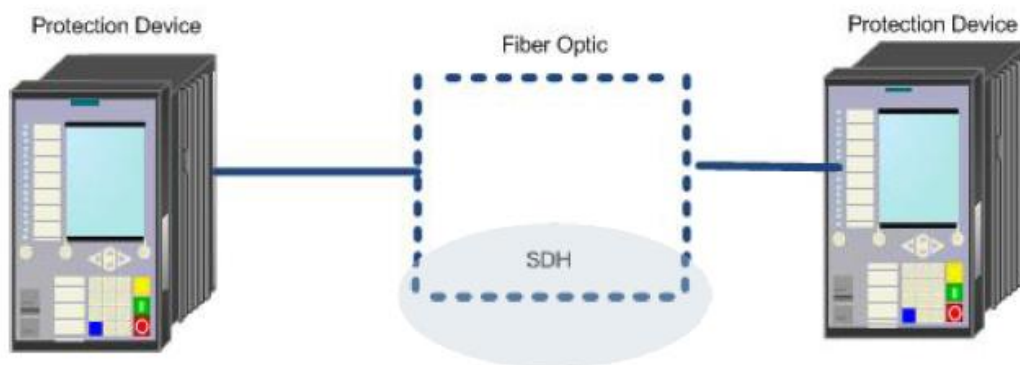


FIGURA – 2

### 2.1.2- MPLS e SDH (TDM)

Nos sistemas de teleproteção utilizados atualmente, a tecnologia Time Division Multiplexing (TDM) é amplamente aplicada, sendo sua performance já comprovada para cenários de missão crítica, como a proteção diferencial de linha. No entanto, com a definição do Multiprotocol Label Switching (MPLS) em 2001, nota-se atualmente um crescimento no uso desse tipo de sistema de telecomunicação, pois do ponto de vista da implementação, apresenta alta confiabilidade e boa performance.

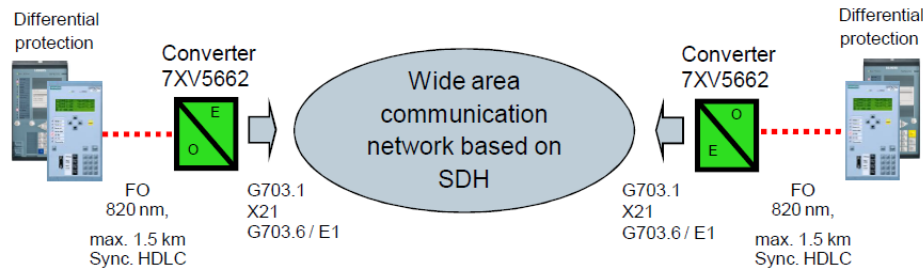
Os sistemas de proteção do setor elétrico têm requisitos muito rigorosos para as comunicações, especificamente baixa latência, latência simétrica e baixo jitter. Convencionalmente, a multiplexação por divisão de tempo (TDM) tem sido utilizada para minimizar o jitter e para proporcionar largura de banda dedicada. Estes sistemas tipicamente também oferecem resiliência para falha de ligação. No entanto, os sistemas TDM são intrinsecamente inflexíveis e tornam a utilização ineficiente da largura de banda disponível, especialmente quando são necessários múltiplos serviços tais como dados de unidade de medida do fasor (PMU), controle de supervisão e aquisição de dados (SCADA), telefonia vocal, videovigilância, etc. Para os casos então onde se há a necessidade de mesclar a teleproteção nos mesmos meios dos outros serviços de comunicação o MPLS se torna uma ferramenta poderosa. Outros exemplos de eficiência do MPLS sobre o TDM podem ser descritos a seguir:

- Uma teleproteção cria o efeito de um link dedicado time-division multiplexing (TDM), usando o Pseudo Wire Emulação Edge-to-Edge (PWE3). Um pseudo-wire TDM emulado sobre IP / MPLS não sofre da potencial ineficiência de largura de banda que pode ser associada ao TDM. O IP / MPLS só usa a largura de banda quando os dados têm de ser enviados, ao contrário de TDM onde um canal de tempo é reservado em todos os momentos.
- O IP / MPLS oferece flexibilidade operacional significativamente melhor do que a tecnologia TDM: provisionar um novo serviço de proteção ou modificar um serviço existente é uma tarefa simples em uma rede IP / MPLS. Em um ambiente TDM, é mais complicado devido à atribuição estática dos intervalos de tempo.

- Várias redes podem ser combinadas em uma única rede IP / MPLS unificada, em vez de operar redes separadas para proteção e para outras funções. Isso reduz os custos

A figura abaixo fornece um exemplo de utilização de SDH

#### Connection via electrical interfaces (converter) - G703.1 / X.21 / G703.6 (E1)



#### Connection via optical interface (direct) - IEEE C37.94

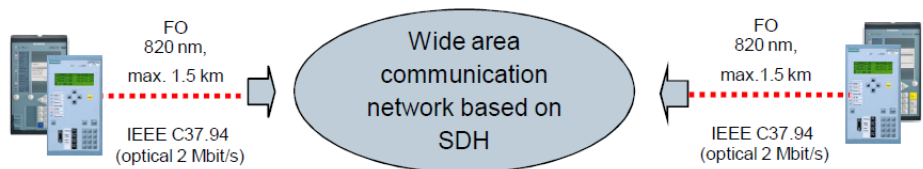


FIGURA – 3

#### 2.2- Tipos de conexão para MPLS e fluxo de informação

O sistema que utiliza o MPLS pode utilizar de diversos tipos de meios de comunicação, e isso vai depender da disponibilidade de cada estrutura já formada, do custo ou filosofia de aplicação que será adotada no meio de comunicação.

Abaixo alguns exemplos desses sistemas que podem ser adotados:

- Conexão via interface elétrica utilizando por exemplo o G 703.6/E1;
- Conexão via interface óptica utilizando IEEE C37.94;
- Conexão direta via interface internet integrada.

O fluxo da informação será estabelecido de acordo com a ordem de prioridade dos pacotes. Esses pacotes recebem uma etiqueta com dados que são fornecidos aos equipamentos durante o envio dos pacotes. Quando os equipamentos recebem os pacotes de dados eles verificam a etiqueta e então prioriza ou não aquele pacote de dados. Isso faz com que os roteadores que são utilizados no sistema gastem o menor tempo possível na transmissão dos pacotes, minimizando o caminho a ser percorrido, criando os "pseudo-wires" que tem esse nome porque o sistema faz com que sejam criados caminhos que funcionam como se fossem uma única linha ligando os dois pontos que estão se comunicando.

No exemplo que será mostrado a seguir o pacote de dados sai do equipamento, como por exemplo o relé fazendo uma proteção diferencial de linha, vai via protocolo de comunicação que pode ser o C37.94. Após isso é encaminhado para um roteador chamado de LER (Label edge router). Esse LER coleta os pacotes de dados em C37.94 dentro do MPLS e os envia via LSP (Label Switch Path). Esse por sua vez irá percorrer a rede e sairá do outro lado em um outro LER coletor que recolherá os dados e disponibilizará ao relé da outra ponta já no protocolo C37.94. Durante o transporte esse pacote de dados poderá passar por diversos caminhos porém os LSR (Label Switch Routers) irão identificar os pacotes e sempre o encaminharão ao menor caminho possível até a outra ponta criando um pseudo-wire. O LER do lado da saída executa o de-jitter de pacotes MPLS recebidos. A saída de linha são E1 ou C37.94 retirados da rede e fornecidos ao relé.

Os MPLS LSPs fornecem fluxo de pacotes determinístico através da rede em ambas as direções (simetria).

Abaixo segue uma figura que exemplifica a situação:

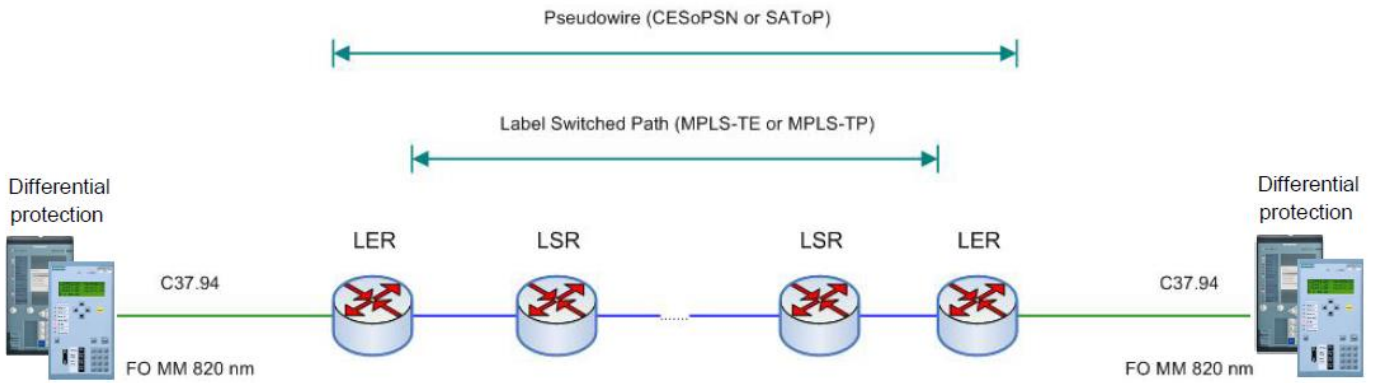


FIGURA – 4

A figura abaixo também exemplifica o fluxo da informação. Note que a cor vermelha no pacote exemplifica que ele foi identificado de forma que durante o processo os roteadores o identificam e escolhem para ele o menor caminho com o menor tempo de transmissão. A sequência é conforme abaixo:

- IP Backbone MPLS habilitado
- Clientes Edge Router passa pacotes IP para provedores de rede
- Provedores Edge Router aplica o rótulo MPLS ao pacote
- O caminho completo para o endereço de destino é determinado através da rede principal. (LSP - Label Switch Path)
- Pacotes individuais são encaminhados através da rede com base no MPLS Label e Label Switch Path.
- Provedores Edge Router tira o rótulo MPLS e encaminha o pacote IP para a borda do cliente de destino.

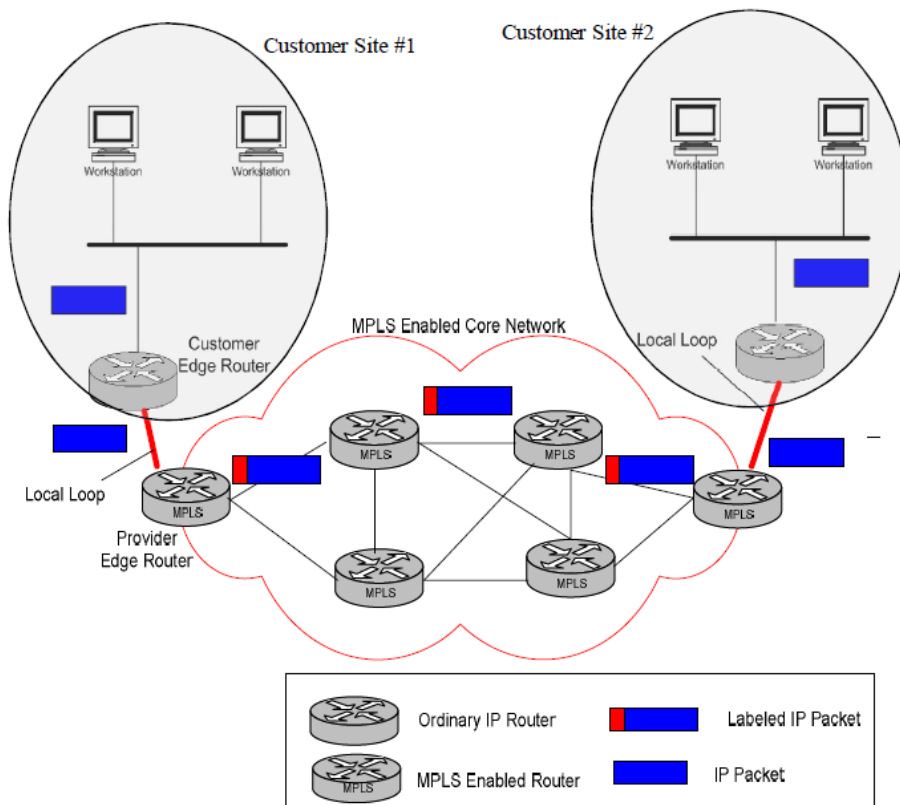


FIGURA – 5



### 2.3- Sincronismo de tempo do sistema

O sistema que se utiliza do MPLS necessita de uma fonte de sincronismo de tempo muito confiável e precisa. Esse sincronismo confiável se deve a necessidade de alguns serviços de não permitir alto escorregamento temporal durante o tráfego de informação. Por exemplo a função diferencial não permite que o sistema demore a entregar o pacote de dados e este tem-se que estar em sincronia com o sistema. O escorregamento total na rede para uma proteção diferencial não pode passar de 5ms. O mecanismo de pseudo-wire (pacotização / de-jittering / de-pacotização) requer uma sincronização de tempo precisa de ambos os pontos de extremidade de pseudo-fio (LERs). Essas devem ser feitas de duas maneiras, utilizando sincronização de rede a partir de um relógio central via Synchronous Ethernet ou IEEE 1588. A sincronização de tempo pode ser obtida por sincronização GPS de alta precisão ou por sincronização baseada em canal. No caso do último, é necessário que o tempo de transmissão e de recepção dos sinais medidos seja igual ou dentro de uma tolerância de ajuste, e que o jitter esteja dentro de uma tolerância aceitável. Uma diferença alta esperada entre o tempo de envio e de recebimento implicará que o relé será ajustado para compensar essa tolerância, reduzindo assim a sensibilidade da proteção. Além disso, o tempo que leva do valor medido para ser transmitido para a outra extremidade será adicionado ao tempo de operação do dispositivo. A figura abaixo exemplifica como pode ser feito o sincronismo do sistema.

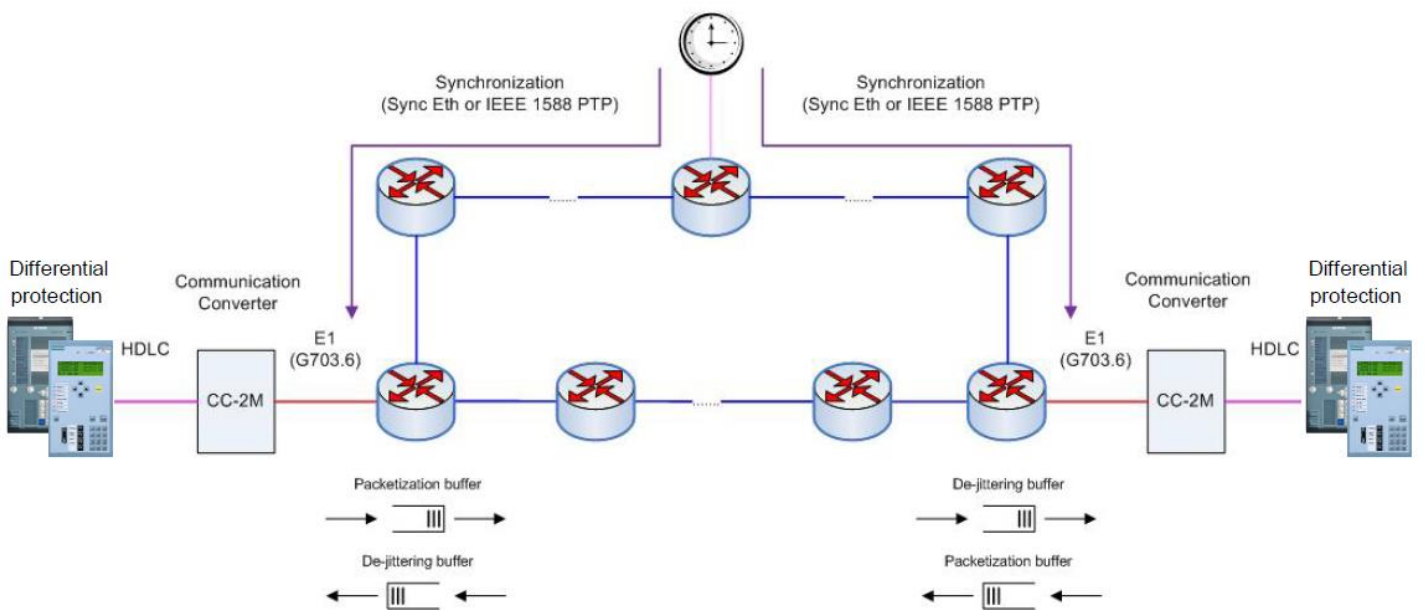


FIGURA – 6

### 2.4- MPLS utilização em sistemas de teleproteção

Esse documento tem por finalidade demonstrar que o MPLS pode ser utilizado na troca de informação entre subestações principalmente entre relés tanto para teleproteção como troca de dados em forma de GOOSE por exemplo. Om relação a teleproteção, a função da qual mais se tem a necessidade de uma comunicação mais avançada entre relés de duas subestações diferentes é a função 87L que é a proteção diferencial de linha. Outras funções também utilizam a troca de dados entre subestações com a 85-21, 85-67N, TDD, etc. Essas últimas por sua vez admitem que o tempo gasto na transmissão seja um pouco maior que a função diferencial de linha.

Na troca de informação do tipo GOOSE por exemplo, esse necessita que o tempo gasto no transporte dos dados seja baixo, principalmente para casos onde a aplicação utilizando esses GOOSEs requeiram velocidade. Um exemplo é a aplicação de GOOSE entre subestações para fazer esquema especial de proteção. O trip de uma das subestações tem que ser transmitido as outras no menor tempo possível para que o sistema funcione de acordo com o desejado. A seguir iremos demonstrar a utilização do MPLS para essas aplicações de teleproteção e GOOSE. Iremos priorizar a função 87L pois esse é o caso em que o MPLS é mais exigido já que o tempo gasto na comunicação entre as duas pontas para essa função tem que ser baixo além de ter que cumprir algumas outras exigências.

#### 2.4.1- Função 87L utilizando MPLS

O canal de comunicação é parte integrante de qualquer esquema de proteção de unidade de linha de energia que exija interação entre dois ou mais relés em diferentes subestações separadas por grandes distâncias. Os requisitos que um determinado tipo de regime de proteção impõe ao canal de comunicações dependem do seu princípio de funcionamento. Os critérios de desempenho de canal para aplicações de 87L no contexto de redes de comunicação

SDH baseadas em TDM são bem compreendidas. Aqui, enfocamos as características do canal de comunicação MPLS como aplicável às aplicações 87L. É importante notar que enquanto as características do canal, como latência, taxa de erro de bits, largura de banda e disponibilidade, se aplicam a todos os esquemas de proteção. A simetria de canais e a variação no atraso de pacote são apenas relevantes para os esquemas de 87L implementados usando a sincronização baseada em canal. A seguir alguns requisitos para a transmissão de dados da proteção diferencial:

- Transmissão de telegramas constante e sem erros através de ligação de dados e conversão de dados
- Os distúrbios são supervisionados pelos relés diferenciais (porcentagem Erro / minuto ou erro / hora). Indicação de alarme se a taxa de erro for alta.
- Retardo de transmissão total na rede de área ampla <5 ms
- tempo médio de atraso será medido pelo relé diferencial
- Atraso de transmissão aumenta o tempo de disparo
- Tempo de transmissão igual no sentido de recepção e transmissão
- Retardo assimétrico para uma corrente diferencial
- Atraso não-simétrico força um ponto de ajuste diferencial maior
- Utilização da sincronização GPS externa (PPS) com assimetria permanente na rede de comunicações (indesejável devido ao elevado esforço e custo)
- Recepção de telegramas com diferença de tempo constante
- Máx.  $\pm 300 \mu s$  -> Maior valor leva a 'Indicação de salto de tempo de atraso' no registro operacional
- Devido ao jitter de tempo de atraso, a proteção diferencial torna-se insensível por meio do algoritmo de auto-adaptação interno
- Distância para o enlace de comunicação máx. 500 km (311 milhas) FO - cabo (modo único) e máx. 15 roteador na rede
- Manter o tempo total de atraso <5 ms para essa conexão

#### 2.4.2- Troca de GOOSE entre subestações

O uso de telegramas Ethernet em sistemas de automação de energia é uma realidade, devido à norma IEC-61850, o que faz do MPLS uma opção aderente ao cenário de Proteção e Controle em subestações.

Sendo assim, a norma IEC-61850 (Communication Networks and Systems for Power Utility Automation) se tornou o padrão mundial para sistemas de automação de energia. Seu objetivo é garantir um único padrão de comunicação, engenharia, modelamento de dados, etc para assim:

- Permitir interoperabilidade entre IEDs de diferentes fabricantes;
- Otimizar a engenharia e configuração de sistemas;
- Garantir atendimento às necessidades de sistemas de energia;

Uma grande característica foi a adoção do meio de comunicação baseado em pacotes Ethernet, que rompeu com os protocolos seriais comumente utilizados em sistemas de proteção e controle em subestações de energia.

Com a criação do capítulo na norma IEC-61850 nomeado IEC-61850-90-1 - "Use of IEC-61850 for The Communication Between Substations". Seu objetivo é definir as necessidades básicas na troca de dados entre subestações, para sistemas de automação de energia.

Com esse avanço começou-se a utilizar o MPLS para fazer a comunicação entre relés de subestações diferentes, podendo a partir daí desenvolver soluções do tipo SEP (esquemas especiais de proteção).

### 3.0 - CONCLUSÃO

Pudemos avaliar que o uso de redes Ethernet comutadas por pacotes para proteção promete os mesmos avanços em confiabilidade e custos reduzidos experimentados em sistemas de telecomunicações. Nesse documento mostramos o que é e como funciona o MPLS avançando em suas aplicações em teleproteção como no uso da função 87L, que tem os requisitos mais rigorosos de um canal de comunicação entre todos os esquemas de proteção neste novo ambiente. Levando em consideração os dados levantados nesse documento podemos concluir também que as redes comutadas por pacotes podem ser confiavelmente projetadas para atender às restrições impostas pelas aplicações de funções de proteção como as funções diferenciais de corrente de linha no canal de comunicação por exemplo. As condições de simetria de trajetória exigidas pelas aplicações diferenciais de corrente de linha implantadas usando a sincronização baseada em canais podem ser satisfeitas usando técnicas de engenharia de tráfego MPLS.

Verificamos que o uso do MPLS possui vantagens com relação aos outros meios de comunicação como a fibra óptica direta ou SDH quando o sistema exigir troca de dados entre subestações e mesclar além dos serviços de teleproteção também os serviços de rede, voz, etc dentro do mesmo meio de comunicação.

O IP / MPLS tem o potencial de melhorar significativamente a eficiência das comunicações do sistema de energia em comparação com as soluções TDM legadas, sem sacrificar o desempenho ou a confiabilidade. A tecnologia MPLS já está sendo adotada em vários sistemas além do de energia.

O documento destacou também como podemos aplicar o MPLS para transmissão de GOOSE entre relés de subestações diferentes.

#### 4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Struth, C., "AltaLink Canada IP/MPLS Program – One Year Later", unpublished. Presented at UTC Region 9 Fall Technical Conference, 2011. [Online]. Available Utilities Telecom Council web site:[http://www.utc.org/sites/default/files/public/UTC\\_Public\\_files/AltaLink\\_MPLS\\_Program-Clint\\_Struth.pdf](http://www.utc.org/sites/default/files/public/UTC_Public_files/AltaLink_MPLS_Program-Clint_Struth.pdf)

[2] B. Kasztenny, N. Fischer, K. Fodero, and A. Zvarych, "Communications and Data Synchronization for Line Current Differential Schemes," proceedings of the 38th Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, WA, October 2011.

[3] IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems, IEEE Std 1588-2008, July 24 2008.

[4] Oliver Lippert, Product Lifecycle Manager, Line Differential Protection EM DG PRO LM PR Humboldtstr. 59 90459 Nuremberg



## 5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Osvaldo Foroni Junior**, nasceu em Indaiatuba, São Paulo em 1979. Gradou-se em Engenharia Elétrica pela EFEI – Escola Federal de Engenharia de Itajubá (12/2004) e atualmente trabalha na SIEMENS EM DG (Energy Management – Digital Grid) em projetos de proteção e controle de sistemas de energia de concessionárias e Indústrias. Áreas de interesse: Proteção de Sistemas Elétricos, Automação de subestações e usinas de Geração de Energia.



**André Luis Franceschett**, nasceu em Campinas, São Paulo em 1983. Gradou-se em Engenharia Elétrica pela Universidade do Estado de São Paulo (UNESP Bauru – 2007) possui pós-graduação em Redes de Computadores pela Universidade de Campinas (UNICAMP –2009) e atualmente trabalha na SIEMENS EM DG (Energy Management – Digital Grid) em projetos de proteção e controle de sistemas de energia de concessionárias e Indústrias. Áreas de interesse: Segurança Cibernética, Protocolos de Comunicação e Sistemas SCADA (SAGE).



**Rodrigo Alves Benes Ferreira**, nasceu em Volta Redonda, Rio de Janeiro em 1982. Gradou-se em Engenharia Elétrica pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ – 01/2008) possui pós-graduação em Proteção de Sistemas Elétricos pela Universidade Santa Cecília (UNISANTA – 12/2010) e atualmente trabalha na SIEMENS EM DG (Energy Management – Digital Grid) em projetos de proteção e controle de sistemas de energia de concessionárias e Indústrias. Áreas de interesse: Proteção de Sistemas Elétricos, Estabilidade Eletromecânica e Inteligência computacional.