Aumento da confiabilidade de esquemas de proteção e controle em IEC 61850 com o uso de Message Quality

Paulo Franco, Carlos Oliveira e Geraldo Rocha - Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.

***Sumário* - A introdução da norma IEC 61850 em sistemas elétricos de potência e industriais possibilita a troca de informações entre relés via rede Ethernet. Novas capacidades surgem visando a redução de cabos convencionais e o tempo de comissionamento em subestações e possibilitando a utilização de esquemas de controle e proteção mais elaborados e adaptados para diversas aplicações.**

Através da utilização das funções de proteção com troca de informações através de mensagens GOOSE (*Generic Object Oriented Substation Event*) entre os IEDs (Intelligent Electronic Devices), redes Ethernet ganham papel importante nos esquemas de proteção e controle e torna-se necessário que a mesma tenha alta disponibilidade e confiabilidade tornando o seu monitoramento obrigatório em subestações.

Alguns recursos como portas Ethernet dual nos IEDs e redes de switches em anel garantem a redundância de comunicação, aumentando a disponibilidade do sistema de automação e proteção da subestação, assim como IEDs com monitoramento dos links de comunicação nas portas Ethernet.

Ao utilizar-se a norma IEC 61850 para projetos de automação de subestações, faz-se necessário revisar as lógicas e esquemas de proteção contemplando o monitoramento da comunicação pelo IED.

Este artigo relata uma visão das principais lógicas e esquemas de proteção em uma SE.

I. Introdução

A norma IEC 61850 estabelece as funcionalidades dos protocolos de comunicação vertical e horizontal, permitindo a interoperabilidade entre os sistemas e a troca rápida de múltiplos tipos de mensagens entre os equipamentos de proteção, controle, supervisão e medição da subestação.

Um dos maiores benefícios da norma IEC 61850 é a comunicação ponto-a-ponto através de mensagens IEC 61850 GOOSE para troca de informações entre os diversos IEDs e o uso dessas informações nas lógicas de proteção, automatismo e intertravamento, possibilitando o desenvolvimento de um sistema de automação descentralizado, distribuído através de diversos IEDs.

A melhoria das condições operativas da subestação — com uso de automatismos para manobras, antes executadas pelos operadores — permitiu aumento da confiabilidade, segurança e disponibilidade do sistema, que reflete diretamente na diminuição do tempo de interrupções.

Além dos aspectos operacionais e econômicos, a decisão pela adoção desta nova filosofia das subestações, fazendo uso dos protocolos de comunicação da norma IEC 61850, baseia-se também nos seguintes fatores:

- Comunicação de alta velocidade em rede Ethernet;
- Interoperabilidade de equipamentos de diferentes fabricantes;
- Significativa redução da quantidade de cabos utilizados;
- Agilidade no comissionamento e menor probabilidade de falhas;
- Alta confiabilidade e disponibilidade do sistema, com projeto mais simples e arquitetura mais eficiente;
- Menor possibilidade de obsolescência no futuro próximo, garantindo o retorno do investimento realizado;
- Garantia de fácil expansibilidade.

II. Sistema de Automação De Subestações Com Base na Norma IEC 61850

Um Sistema de Automação de Subestação (SAS) é composto por relés de proteção, controladores, redes de comunicação, gateways para facilitar a integração com o sistema de supervisão e aquisição de dados (SCADA), registradores de perturbação, medidores, unidades de medição sincronizada de fasores, estações de engenharia local e remota e uma IHM (Interface Homem-Máquina) local [1].

As subestações de energia elétrica projetadas para utilizar as funcionalidades dos protocolos da norma IEC 61850 podem usufruir de mensagens padronizadas para o sistema supervisório, troca de dados em tempo real entre os IEDs e coleta das informações de monitoramento dos equipamentos, reduzindo significativamente o número de equipamentos usados para proteção, controle, medição e automação.

Assim, a arquitetura do SAS torna-se modular e distribuída, onde os equipamentos são instalados em painéis específicos para cada bay: entrada de linhas, transformadores e alimentadores.

A comunicação com o centro de controle e com a IHM é normalmente efetuada através de um gateway de comunicação que coleta os dados dos IED's através do protocolo IEC 61850 MMS, concentrando toda informação na SE e, em seguida,

converte-os em protocolos como DNP3 LAN/WAN, IEC 61870- 104, Modbus, entre outros.

Um exemplo de arquitetura da rede de comunicação de uma subestação de distribuição baseada na norma IEC 61850 está mostrada na Fig. 1.

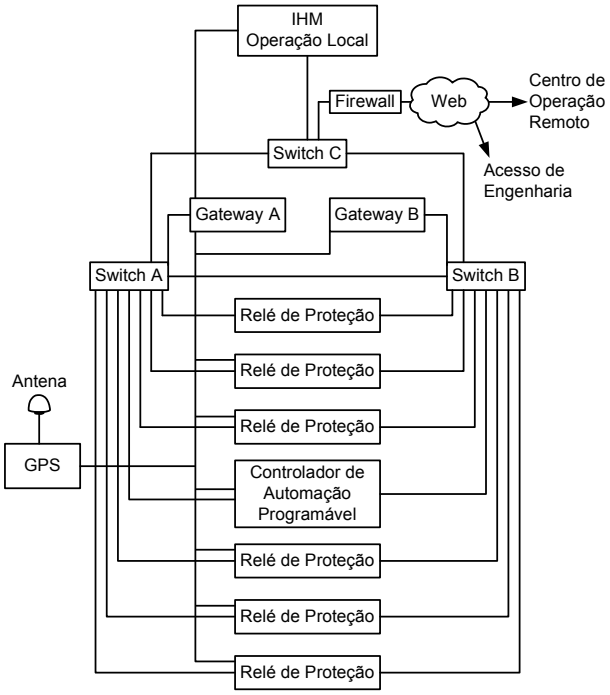

Fig. 1. Rede de comunicação de dados

III. Arquitetura e Monitoramento de Redes de Comunicação Ethernet

A. *Arquitetura e Monitoramento do link de comunicação*

Com a utilização de esquemas de proteção dependentes de informações que trafegam em redes de comunicação [1], torna-se imprescindível que a arquitetura de comunicação utilizada na subestação, para a troca de informações entre os IEDs, seja analisada levando em consideração a confiabilidade e disponibilidade da rede. As principais arquiteturas de rede Ethernet são: Estrela Simples, Anel e Estrela Dupla.

- Estrela Simples: Utiliza uma única rota para comunicação entre os elementos da rede. Nesta topologia, a falha em uma conexão ou switch pode ocasionar desde interrupções localizadas ou até mesmo desativação de toda a rede. Na Fig. 2, temos um exemplo onde os IEDs se comunicam apenas através de uma única porta Ethernet, onde a porta de comunicação Ethernet "A" esta ativa e a porta B não é utilizada.

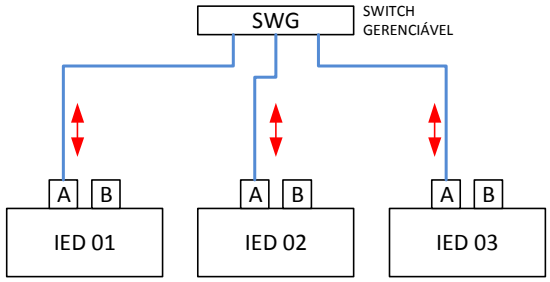

Fig. 2. Arquitetura em Estrela Simples

- Anel: A rota de comunicação tem o fluxo em um único sentido enquanto o anel estive integro, caso ocorra uma falha que interrompa o anel, o switch abre duas rotas em sentidos opostos. Nesta arquitetura de comunicação há redundância de cabos e switches. O sistema é suscetível a N-1 falhas. A Fig. 3 ilustra esta topologia.

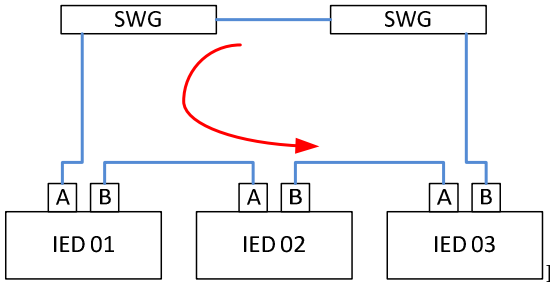

Fig. 3. Arquitetura em Anel

- Estrela Dupla: Dispõe de duas rotas independentes para comunicação entre os IEDs. A comunicação é estabelecida através da porta primária (ex: porta Ethernet "A"), deixando a segunda porta em espera (porta Ethernet "B"). Nesta arquitetura há redundância dos cabos de comunicação e switches. O sistema é suscetível a N-2 falhas. A Fig. 4 ilustra um exemplo desta arquitetura.

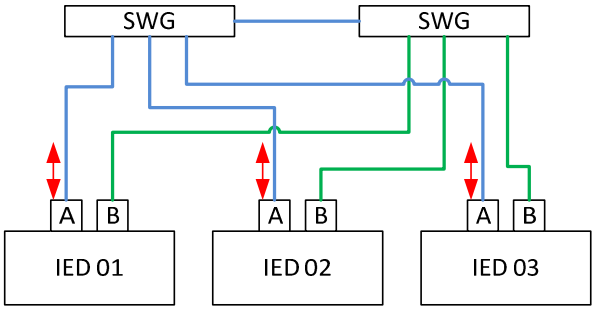

Fig. 4. Arquitetura em Estrela Dupla

B. *Configuração dos IEDs de Proteção e Controle*

Para flexibilizar o uso das arquiteturas de comunicação, o hardware dos IEDs pode ser concebido tendo uma interface de

rede com duas portas de comunicação. Estas portas na verdade são apenas interfaces fisicas duplicadas com endereços MAC (Media Access Control) distintos, porém existe apenas uma das camadas OSI superiores. Ou seja, apenas um endereço IP (Internet Protocol) é configurado. Através de software de configuração (ver Fig. 5), três modo de operação podem ser escolhido para adequar o IED à arquitetura de comunicação selecionada. Estes modos de operação são:

- Fixed: Força o IED a utilizar somente uma porta de rede, deixando a segunda porta de rede desabilitada (Arquitetura em estrela simples, Fig. 2).
- Switched: Força o IED a comunicar em ambas as portas de rede simultaneamente (Arquitetura em anel, Fig. 3).
- Failover: Força o IED a iniciar a comunicação através da porta de rede principal e coloca a segunda porta de rede em espera. Quando detecta perda de link de dados pela porta principal, o IED muda automaticamente a comunicação para a porta de rede que estava em espera. (Arquitetura em dupla estrela, Fig. 4).

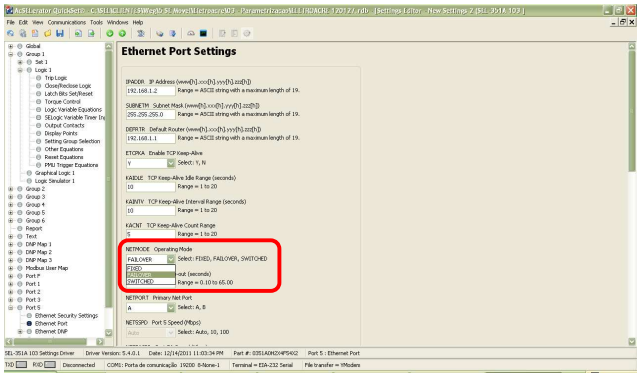

Fig. 5. Configuração do modo de operação da placa de rede

Analisando a flexibilidade das arquiteturas apresentadas é possível identificar que o monitoramento da porta de comunicação ativa é importante para manter a rede íntegra e possibilitar manutenção preditiva/preventiva.

O IED deve possuir variáveis binárias internas (Fig. 6) que identificam e monitoram o link de dados. Estas variáveis binárias podem ser utilizadas em lógicas internas e disponibilizam informações sobre o estado da rede para o sistema de supervisão e controle. Alarmes neste sistema podem disparar equipes de manutenção para ações na rede de comunicação evitando situações de defeito na rede, o que possibilita o aumento da disponibilidade e da confiabilidade da rede Ethernet da subestação, aumentando, por consequência, a disponibilidade e a confiabilidade do sistema de proteção e controle.

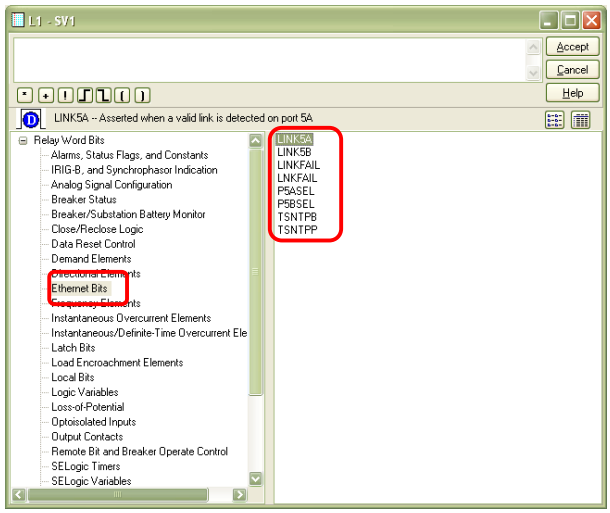

Fig. 6. Monitoramento do link de dados

C. *Monitoramento das Mensagens GOOSE*

O comissionamento e manutenção dos IEDs tradicionais são feitos utilizando medidores de grandezas elétricas, tais como multimedidores, osciloscópios, etc.

Nos sistemas de automação que utiliza a norma IEC 61850, as ferramentas tradicionais de manutenção e comissionamento são substituídas por ferramentas desenvolvidas pelos fabricantes dos IEDs. A Fig. 7 mostra um exemplo de IED que permite o monitoramento das mensagens GOOSE publicadas e subscritas e que disponibiliza vários dados referentes às mesmas.

Este monitoramento indica quais as mensagens que o IED está transmitindo e recebendo e se há alguma falha na rede que impossibilite a comunicação entre os IEDs.

```
=>>GOOSE <Enter>

GOOSE Transmit Status

   MultiCastAddr   Ptag:Vlan  StNum     SqNum     TTL    Code
-------------------------------------------------------------------------------
SEL_421_OtterCFG/LLN0$GO$GooseDSet13
   01-0C-CD-01-00-10  4:1      1         166       457
   Data Set: SEL_421_OtterCFG/LLN0$DSet13

GOOSE Receive Status

   MultiCastAddr   Ptag:Vlan  StNum     SqNum     TTL    Code
-------------------------------------------------------------------------------
SEL_421_1CFG/LLN0$GO$GooseDSet13
   01-0C-CD-01-00-04   :       0         0         0      TTL EXPIRED
   Data Set: SEL_487B_1CFG/LLN0$DSet13

SEL_2440_1CFG/LLN0$GO$GooseDSet13
   01-0C-CD-01-00-0A  4:0      1         98531     120
   Data Set: SEL_2440_1CFG/LLN0$DSet13

SEL_487E_1CFG/LLN0$GO$GooseDSet13
   01-0C-CD-01-00-10   :       0         0         0      TTL EXPIRED
   Data Set: SEL_487E_1CFG/LLN0$DSet13

SEL_787_1CFG/LLN0$GO$NewGOOSEMessage1
   01-0C-CD-01-00-01  4:0      1         96412     190
   Data Set: SEL_787_1CFG/LLN0$DSet03
```

Fig. 7. Monitoramento das mensagens GOOSE

Os campos e os dados que o monitoramento das mensagens GOOSE disponibiliza são extraídos das informações contidas nas mensagens publicadas e subscritas e que são padronizadas pela norma IEC 61850. Esta funcionalidade auxilia a equipe

técnica a identificar falhas de conexão e configuração. Os principais campos são:

- MultiCastAddr: Indica o endereço multicast MAC da mensagem GOOSE, para um monitoramento adequado das mensagens é importante que o mesmo seja único em toda a rede;
- Ptag: Representa qual o valor da prioridade da mensagem;
- Vlan: Identifica a VLAN (Virtual Local Area Network) a qual a mensagem se destina;
- Code: Indica a presença de erros e falhas na rede ou na mensagem caso exista. Os códigos (Tabela 1) devem ser analisados caso a caso para identificar as possíveis causas da falha.

CODE	DESCRIÇÃO
OUT OF SEQUENC	Mensagem fora de seqüência
CONF REV MISMA	Perda da versão de configuração
NEED COMMISSIO	Necessidade de comissionamento
TEST MODE	IED em modo teste
MSG CORRUPTED	Mensagem corrompida
TTL EXPIRED	Mensagem não recebida dentro do tempo esperado
HOST DISABLED	IED desabilitado

Tabela 1. Códigos de erro

D. Message Quality

O grande motivo de falha nos esquemas de proteção e automação dos sistemas tradicionais é a não possibilidade de monitorar a integridade do cabo metálico que transfere a informação entre os IEDs. No SAS que utiliza a norma IEC 61850, a falha de comunicação entre os IEDs é monitorada e tratada em tempo real (Message Quality) e esta informação pode ser utilizada pelos IEDs para executar bloqueios e/ou mudar esquemas de proteção/automação para impedir atuações incorretas.

O monitoramento é realizado constantemente, mesmo quando não há mudança no valor de nenhuma variável dentro do DataSet, isto é possível pelo fato da mensagem GOOSE ser transmitida periodicamente seguindo o ajuste “Max. Time (ms)”, que é mostrado na Fig. 8.

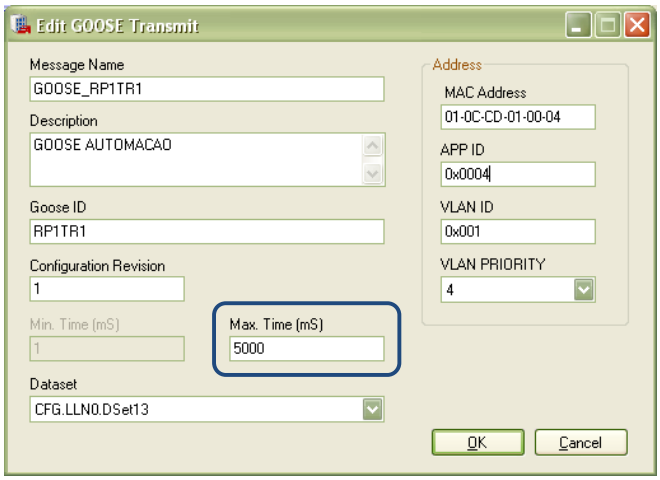

Fig. 8. Programação mensagem GOOSE

Caso o IED assinante da mensagem (Subscriber IED) detecte que a mensagem GOOSE não foi recebida dentro do tempo esperado, a variável Message Quality acusará nível lógico “1”, indicando a falha de comunicação entre os IEDs.

A Fig. 9 exemplifica o uso da Message Quality da mensagem GOOSE publicada pelo IED AL10 (Alimentador 10) associada com a variável CCIN048 do IED RP1TR1 (Transformador 1). As variáveis CCINnn representam entradas binárias virtuais que podem ser utilizadas nas lógicas internas do IED.

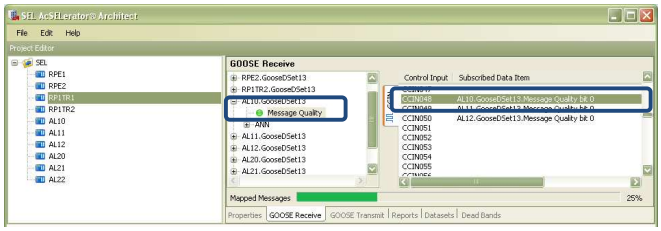

Fig. 9. Programação mensagem GOOSE

IV. Esquemas e Lógicas Revisados com Uso de Message Quality

Tradicionalmente os engenheiros de proteção e automação buscam os melhores e mais seguros esquemas lógicos. Visando a segurança nas aplicações com a norma IEC 61850 é utilizada nos esquemas lógicos a supervisão dsa mensagens GOOSE.

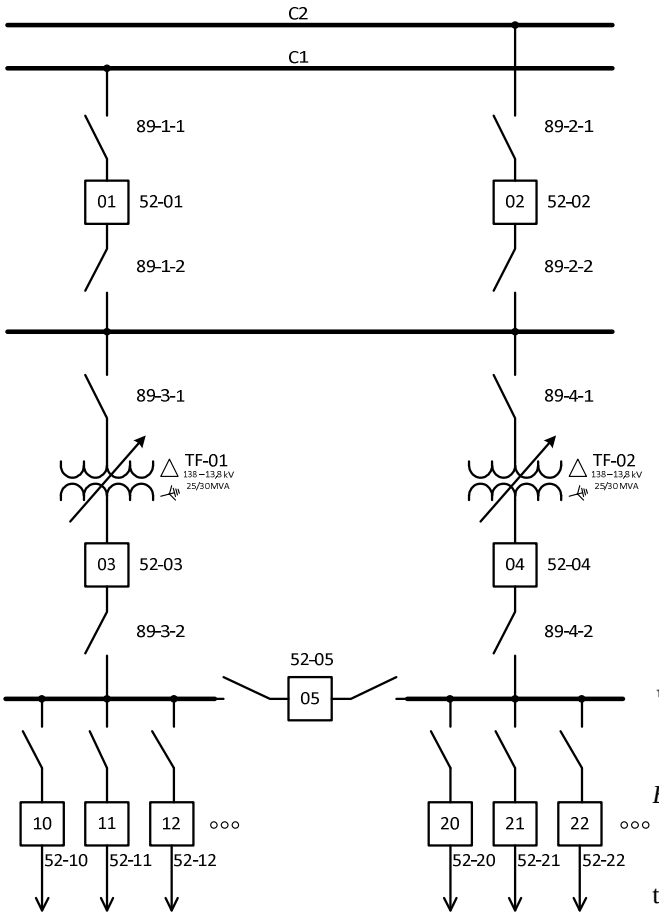

Fig. 10. Unifilar típico

Analisando um unifilar típico de uma subestação (Fig. 10), é possível identificar alguns esquemas lógicos, tais como, seletividade lógica, esquema de falha disjuntor – 50/62BF, transferência automática de linha - TAL, entre outros, com aplicação da supervisão da mensagem GOOSE. Na sequência são apresentados alguns destes esquemas com a aplicação do monitoramento da mensagem GOOSE baseados no unifilar da figura 10.

A. Seletividade Lógica

Tem como objetivo proporcionar a atuação rápida, segura e seletiva do sistema de proteção.

A Fig 11 apresenta a recepção da partida de proteção proveniente do relé dos alimentadores e a supervisão da comunicação no relé localizado na baixa do transformador.

No caso de falha de comunicação com o relé dos alimentadores, o relé da baixa do trafo executa o bloqueio da seletividade lógica (Fig. 12), garantindo a atuação seletiva do sistema de proteção.

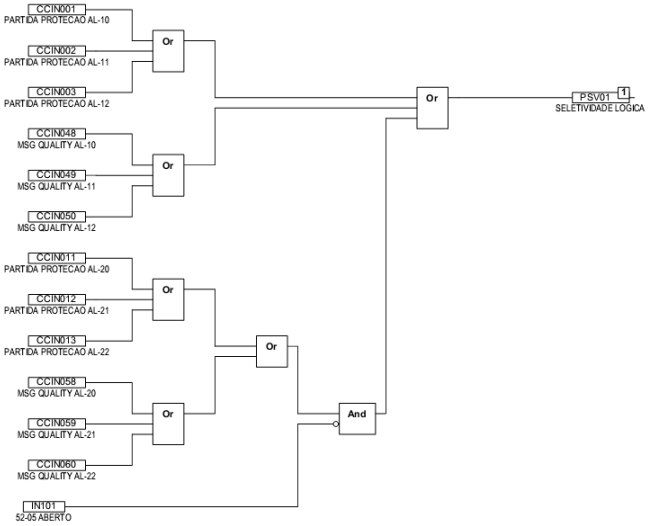

Fig. 11. Seletividade lógica

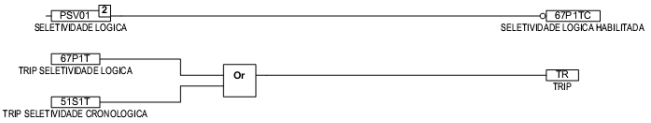

Fig. 12. Bloqueio seletividade lógica

B. Falha de Disjuntor

Este esquema visa garantir a extinção do defeito no menor tempo possível através do disjuntor a montante.

O esquema de falha de disjuntor é inicializado pelo relé que está à jusante do sistema. A Fig 13 apresenta um diagrama lógico com aplicação da supervisão da comunicação. Outros esquemas podem ser feitos dependendo da filosofia de operação da subestação.

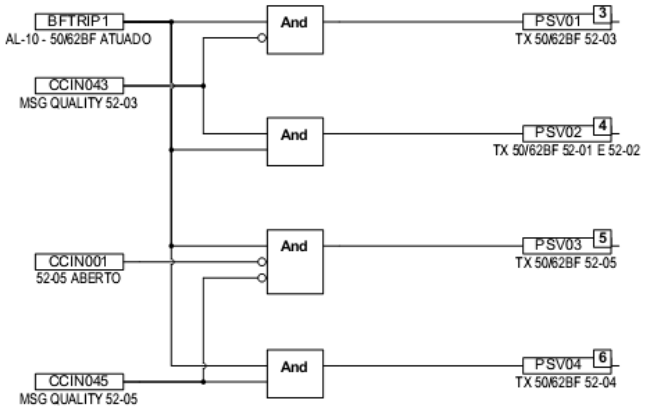

Fig. 13. Esquema falha disjuntor

Nesta lógica observa-se que a supervisão da comunicação permite o encaminhamento do sinal de 50/62BF para o disjuntor disponível para eliminar a falha, garantindo assim a correta e segura operação do sistema.

C. Transferência Automática de Linha - TAL

Transferência entre linhas de forma automática quando ocorre o desligamento da linha em operação, restabelecendo o fornecimento de energia no consumidor pela linha retaguarda.

O relé instalado na entrada da subestação monitora a tensão da linha em operação (Fig. 14). Na ausência da tensão ocorre a transferência para a outra linha sadia (Fig. 15). Outros esquemas podem ser feitos dependendo configuração da subestação.

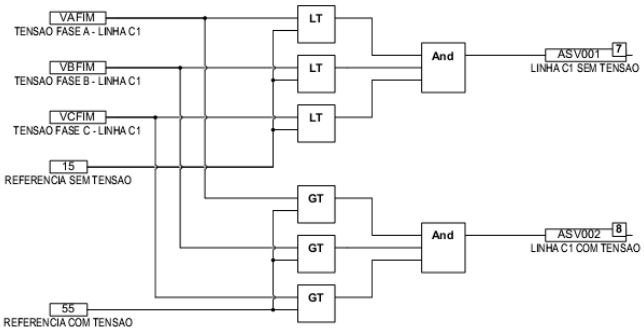

Fig. 14. Monitoramento da tensão – Vão C1

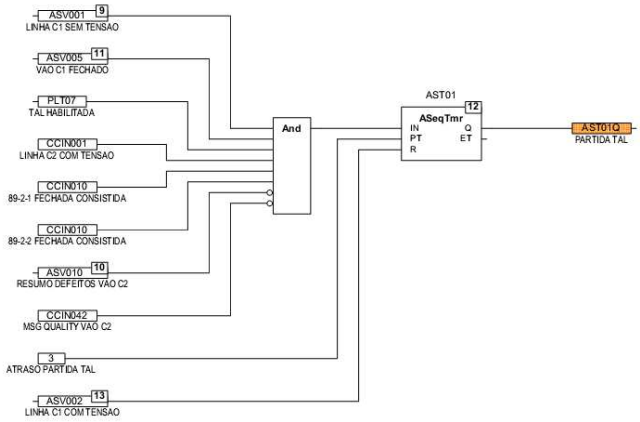

Fig. 15. Partida da TAL

D. Restabelecimento Automático da Subestação - RASE

O automatismo RASE-D executa a transfêrencia entre disjuntores ao detectar algum defeito no vão ativo.

A Fig 16 apresenta algumas condicões que bloqueiam a RASE-D. A falha de comunicação é utilizada para garantir a perfeita execução da lógica.

Entre os automatismos de reestabelecimento automático da subestação é aplicado também a RASE-T, que segue o mesmo princípio da RASE-D, diferenciando nas condições de partida da lógica que é feito após detectar algum defeito interno no transformador.

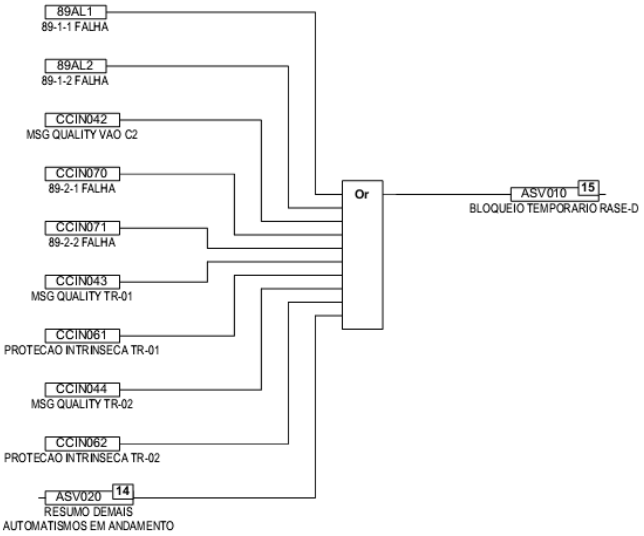

Fig. 16. Bloqueio temporário da RASE-D

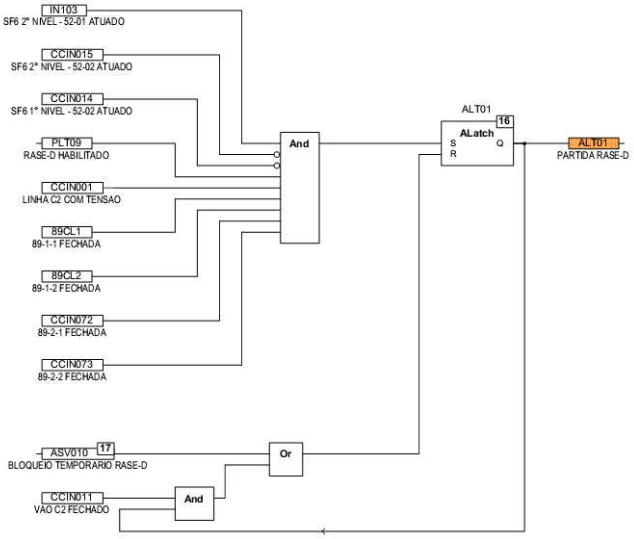

Fig. 17. Partida da RASE-D

Inúmeros outros automatimos utilizando a supervisão da comunicação podem ser realizados para manter a confiabilidade do sistema de automação.

V. DOCUMENTAÇÃO DE PROJETOS EM IEC 61850

Para melhorar a documentação de projetos de SAS com a utilização da norma IEC 61850, fez-se uma analogia com um cabo metálico convencional, onde uma mensagem GOOSE será vista como cabo virtual com diversas vias virtuais.

Cada cabo virtual GOOSE é identificado por um endereço MAC virtual (Multicast MAC Address) e recebe um “nome” (Message Name) e uma breve descrição de seu conteúdo (Description). As informações dentro do Dataset da mensagem GOOSE representam as vias desse cabo virtual com informações de estados e medições analógicas.

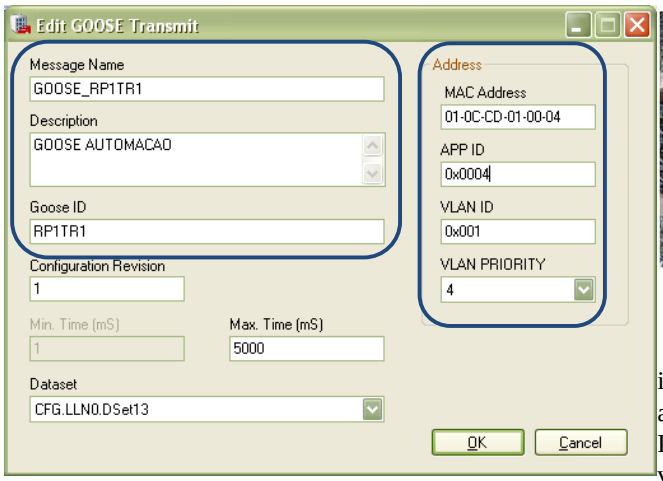

Fig. 18. Programação mensagem GOOSE

A configuração de LAN's Virtuais (VLAN ID) é analogamente representada por uma bandeja de cabos virtuais GOOSE, que permite que switches direcionem o cabo virtual somente para as portas habilitadas com os IEDs que utilizarão informações contidas nele.

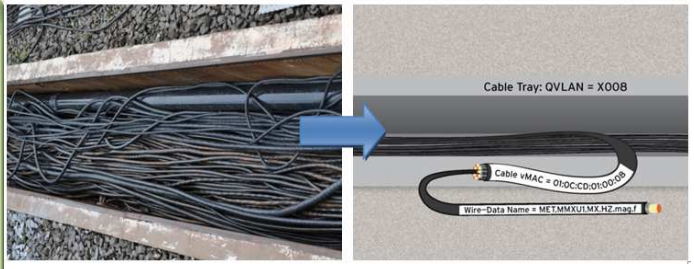

Fig. 19. Analogia Cabo x GOOSE

Seguindo esse conceito, uma ferramenta de fundamental importância para a documentação de projetos em IEC 61850 é a Lista de Pontos Recebidos via GOOSE - Goose Receive Point List. Esta lista documenta todo o projeto de "fiação virtual" entre os IEDs de proteção e controle da Subestação, substituindo o tradicional diagrama de fiação convencional.

Esta ferramenta permite identificar a bandeja de cabo VLAN ID e quais os cabos virtuais GOOSE presentes nela. Além disso, identifica as informações publicadas por IED em cada cabo virtual GOOSE e para quais IEDs estas informações estão sendo "fiadas", identificando a entrada virtual utilizada para esse fim. Essa lista pode ser impressa ou salva e constitui um documento importante para o projeto em IEC 61850.

GOOSE Receive Point List

Drag a column header here to group by that column

Subscriber IED Name	Control Input	Subscribed Data Item	Publisher IEDName	Mutlicast MACAddress	App ID	VLAN ID	VLAN Priority	Goose ID
Bus_Relay_01	VB001	Feeder1_Relay_01.GooseDSet13.Message Quality bit 0	Feeder1_Relay_01	01-0C-CD-01-00-09	1009	009	4	Sub2Bay3
Bus_Relay_01	VB002	Feeder1_Relay_01.GooseDSet13.PRO.BK1XCBR1.Pos.stVal bit 0	Feeder1_Relay_01	01-0C-CD-01-00-09	1009	009	4	Sub2Bay3
Bus_Relay_01	VB003	Feeder1_Relay_01.GooseDSet13.PRO.BK1XCBR1.Pos.stVal bit 1	Feeder1_Relay_01	01-0C-CD-01-00-09	1009	009	4	Sub2Bay3
Bus_Relay_01	VB004	Feeder2_Relay_01.GooseDSet13.Message Quality bit 0	Feeder2_Relay_01	01-0C-CD-01-00-03	0003	003	4	Sub2Bay3
Bus_Relay_01	VB005	Feeder2_Relay_01.GooseDSet13.PRO.BK1XCBR1.Pos.stVal bit 0	Feeder2_Relay_01	01-0C-CD-01-00-03	0003	003	4	Sub2Bay3
Bus_Relay_01	VB006	Feeder2_Relay_01.GooseDSet13.PRO.BK1XCBR1.Pos.stVal bit 1	Feeder2_Relay_01	01-0C-CD-01-00-03	0003	003	4	Sub2Bay3
Bus_Relay_01	VB007	Feeder3_Relay_01.GooseDSet13.Message Quality bit 0	Feeder3_Relay_01	01-0C-CD-01-00-04	0004	004	4	Sub2Bay3
Bus_Relay_01	VB008	Feeder3_Relay_01.GooseDSet13.PRO.BK1XCBR1.Pos.stVal bit 0	Feeder3_Relay_01	01-0C-CD-01-00-04	0004	004	4	Sub2Bay3
Bus_Relay_01	VB009	Feeder3_Relay_01.GooseDSet13.PRO.BK1XCBR1.Pos.stVal bit 1	Feeder3_Relay_01	01-0C-CD-01-00-04	0004	004	4	Sub2Bay3
Bus_Relay_01	VB010	Areva_P141_Relay.gcb01.Message Quality bit 0	Areva_P141_Relay	01-0C-CD-01-00-00	0020	000	4	P141GOOSE
Bus_Relay_01	VB011	Areva_P141_Relay.gcb01.Protection.OcpPTOC1.Str.general bit 0	Areva_P141_Relay	01-0C-CD-01-00-00	0020	000	4	P141GOOSE
Bus_Relay_01	VB012	ABB_670_Relay.ABB_T_DIST.Message Quality bit 0	ABB_670_Relay	01-0C-CD-01-00-01	0001	1	6	ABB
Bus_Relay_01	VB013	ABB_670_Relay.ACK_GOOSER.LD0.SP16GGIO3.Ind.stVal bit 0	ABB_670_Relay	01-0C-CD-01-01-FF	01FF	001	6	ABB ACK GOOSER
Bus_Relay_01	VB014	GE_D60_Relay.gcb01.Message Quality bit 0	GE_D60_Relay	01-00-00-12-34-56	000A	000	4	GOOSEOut_1
Bus_Relay_01	VB015	GE_D60_Relay.gcb01.LDInst.GGIO1.Ind1.stVal bit 0	GE_D60_Relay	01-00-00-12-34-56	000A	000	4	GOOSEOut_1

Fig. 20. Lista de Pontos Digitais

VI. Conclusões e Resultados

A norma IEC 61850 tornou-se um método eficiente de comunicação entre IEDs, possibilitando a transmissão de informações de estados, medições e proteções entre IEDs.

O estudo da arquitetura de comunicação utilizada entre os IEDs deve ser feito levando em consideração a confiabilidade e disponibilidade da rede, aliado ao custo/beneficio.

Requisitos mínimos de confiabilidade devem ser levados em consideração em aplicações em tempo real. As possíveis falhas de comunicação necessitam ser tratadas e monitoradas pelos IEDs para executar bloqueios e/ou mudar esquemas de proteção/automação para impedir atuações incorretas. Além de gerar alarmes na IHM indicando falha na comunicação horizontal, possibilitando executar manutenção preventiva.

VII. Referências

[1] S. Kimura, A. Rotta, R. Abboud, R. Moraes, E. Zanirato, and J. Bahia, "Applying IEC 61850 to Real Life: Modernization Project for 30 Electrical Substations," proceedings of the 10th Annual Western Power Delivery Automation Conference, Spokane, WA, April 2008.