

GRUPO - V

GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO EM SISTEMA DE POTÊNCIA

UMA NOVA PLATAFORMA IEC 61850 BASEADA EM SINCROFASORES PARA SISTEMAS ESPECIAIS DE PROTEÇÃO

RICARDO LIRA
GE Grid Solutions, Brasil

RENAN GIOVANINI
GE Grid Solutions, UK

DENYS LELLYS
GE Grid Solutions, Brasil

RESUMO

Esse informe técnico descreve a utilização de uma nova abordagem para implantação de Sistemas Especiais de Proteção (SEP), agora denominados de WAPACS (*Wide Area Protection and Control System*). Esta nova geração de SEPs baseia-se em sincrofasores e para tal uma plataforma de hardware foi desenvolvida com intuito de aliar a tecnologia de sincrofasores com as vantagens e facilidades trazidas pela norma IEC 61850. Como introdução ao tema, abordam-se os benefícios da implementação de aplicações WAMS no sistema elétrico e sua natural evolução para WAPACS. Diferentes filosofias de esquemas especiais de proteção são apresentadas, onde explicita-se as vantagens de SEPs baseados em sincrofasores ao invés da implementação tradicional baseada em eventos, caminhando-se assim para esquemas inerentemente adaptativos. A descrição da plataforma implementada é apresentada com exemplos de projetos de WAPACS já implementados e em funcionamento.

PALAVRAS-CHAVE

WAMS, WAMPAC, SEP, PMU, IEC 61850, Proteção Sistemica, Sistemas Especiais de Proteção, Teleproteção

1.0 INTRODUÇÃO

Sistemas tradicionais de controle e aquisição de dados, denominados SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), coletam medidas escalares de tensão, corrente, potência e frequência, além de status de equipamentos de potência através de RTUs (*Remote Terminal Units*) instaladas em usinas e subestações. Tais medidas possuem características de baixa taxa de atualização (>1 segundo) e não-sincronização entre medidas (medições realizadas em instantes distintos e com ausência de estampa de tempo). Estas medidas são posteriormente associadas ao modelo elétrico da rede e processadas por aplicativos baseados na Estimativa de Estados. Estes aplicativos são denominados de EMS (*Energy Management System*) (1). No entanto, o monitoramento e avaliação das condições de segurança dinâmica utilizando tecnologias convencionais, tais como dados do SCADA/EMS e estudos de planejamento, estão tornando-se mais complexos e desafiadores para a operação dos Sistemas de Potência, dada a inerente limitação do SCADA/EMS em prover observabilidade das condições dinâmicas da rede. Com avanços nos sistemas de comunicações, na capacidade de processamento e armazenamento de dados, agora é possível trazer a visibilidade das condições dinâmicas da rede através do uso de WAMS (*Wide Area Monitoring System*).

1.1 Benefícios da Introdução de WAMS no Gerenciamento de Sistemas de Potência

WAMS já se encontram em funcionamento há pelo menos 20 anos e tem sido cada vez mais utilizada como tecnologia de suporte a análise off-line dos Sistemas de Potência (ex. análise de perturbações e validação de modelos) e aplicações em tempo-real em salas de controle (ex. monitoração de oscilações). A utilização de sincrofasores para aplicações “*man in the loop*” já está presente na maioria dos Operadores do Sistema e Agentes. Porém deve-se ressaltar que esta tecnologia se encontra ainda em diferentes níveis de adoção e maturidade dentro destas empresas – desde iniciativas de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) até utilização em tempo-real para tomada de decisão.

O reconhecimento de que os aplicativos baseados na tecnologia WAMS podem contribuir para melhorar a visibilidade da dinâmica da rede baseia-se no fato que as novas medidas oriundas de PMUs (*Phasor Measurement Units*) são

tipicamente 300 vezes mais rápidas que as convencionais (60 fasores por segundo ao invés de 1 medida a cada 5 segundos) e sincronizadas com precisão de microssegundos, enquanto que RTUs tradicionais não possuem nenhum tipo de sincronização.

Aplicações inteligentes baseadas em dados fasoriais já estão em pleno funcionamento em diversas salas de controle, tendo provado sua contribuição nas seguintes áreas:

- **Avaliação da segurança dinâmica do sistema:** monitoramento precoce de oscilações instáveis, monitoramento da “distância” do ponto operativo em relação ao colapso de tensão, e impacto das novas fontes de energias renováveis na estabilidade devido a introdução de gerações com menor inércia;
- **Otimização do uso dos sistemas de geração e transmissão:** melhor aproveitamento dos limites operacionais de corredores de transmissão limitados por transitórios dinâmicos através da avaliação e predição em tempo-real das diferenças angulares máximas permitidas;
- **Gerenciamento da estabilidade:** avaliação da estabilidade e detecção de fontes de oscilação durante mudanças na topologia do sistema ou perfil de geração (ângulo/instabilidade transitória) e detecção de ilha e assistência aos operadores durante processo de recomposição.

Sincrofasores estão instalados extensivamente ao redor do mundo, sendo utilizados para análise de distúrbios e, progressivamente, adotados no suporte para tomada de decisão em salas de controle. No Brasil, os dados provenientes de PMUs já são utilizados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) como uma das fontes de informações para relatórios de análise de perturbação. Vários Agentes de Geração e Transmissão já dispõem da infraestrutura de comunicação e PMUs instaladas. Porém de maneira geral, tanto Operadores quanto Agentes ainda se utilizam apenas de um PDC (*Phasor Data Concentrator*) para a coleta dos sincrofasores, sendo que esta tecnologia é em muitos aspectos equivalente a um SCADA pois apenas disponibiliza visualização das medidas “cruas” realizadas por PMUs. Apenas com a adoção efetiva de aplicações avançadas pelo Operador e Agentes é que o potencial dos sincrofasores poderá ser compreensivamente utilizado e aproveitado.

No contexto brasileiro, as vantagens vistas pelo Operador já são bem difundidas (1). Por outro lado, os interesses dos agentes, ainda estão sendo investigados. As empresas de transmissão e geração e distribuição visam principalmente a confiabilidade e disponibilidade dos ativos, onde indisponibilidades causadas por causas não previstas resultam em multas à empresa. Dessa forma, aplicações WAMS voltadas a melhoria da supervisão da rede e a extensão da capacidade para acompanhamento do uso de ativos podem trazer benefícios a estas empresas desde que bem implementadas (1).

1.2 Evolução dos Esquemas Especiais de Proteção

Observa-se que, de uma forma geral, os sistemas de energia estão evoluindo para incorporar recursos de geração mais diversos, como novos recursos de energia renovável (e.g. energia eólica) e geração distribuída (e.g. painéis solares conectados à rede através do sistema de distribuição). A crescente complexidade da gestão da rede devido à evolução mais rápida da oferta e da procura, a necessidade de reduzir os custos através de melhorias na utilização das instalações e a redução da inércia trazida pelas novas fontes de energia, exige uma nova geração de sistemas de proteção capazes de manter a integridade da rede e evitar a descontinuidade do abastecimento de energia. Aplicações WAMS tem provado sua eficácia em salas de controle e, mais recente, estão migrando para as subestações para fins de proteção e controle, se tornando agora WAMPACs.

Os sistemas de proteção convencionais permitem o isolamento rápido de falhas, mas são desafiados ao confrontarem instabilidades da rede devido à mudança substancial de carga, geração ou capacidade de transporte para condições não pré-estabelecidas. SEPs tradicionais, são implementados através da associação de sinais de teleproteção em um único bloco funcional, coletando condições binárias (“eventos”) provenientes de uma parte observada da rede, tal como um corredor de transmissão. Estes eventos são então combinados com medições da rede (tensão, corrente, potência, etc) através de funções lógicas simples e geram comandos apropriados para abrir uma ou mais disjuntores em pontos críticos da rede. Entretanto, tais esquemas são projetados apenas para garantir a proteção de uma parte do sistema dentro de condições específicas. Sistemas Especiais de Proteção (SEP) são esquemas de ações corretivas baseadas em eventos simples ou múltiplos (tipicamente alterações topológicas ou desconexão de geração ou carga) associados (ou não) a medidas da rede (tensão, corrente, potência, etc). Sua função básica não é preservar a integridade física de equipamentos como na proteção clássica de equipamentos (linhas de transmissão, transformadores, barras, geradores, etc) mas sim preservar a integridade do sistema de potência.

Já os esquemas baseados em medições sincronizadas (WAMS), os quais recolhe informações em tempo-real do estado dinâmico do sistema, conseguem desempenhar algoritmos adaptativos para detectar anomalias na dinâmica do sistema elétrico as quais podem levar à instabilidade da rede. Tal tecnologia contribui para a evolução da atuação dos SEPs em sistemas de potência. A tecnologia de sincrofasores foi introduzida há em torno de 20 anos e tem sido cada vez mais utilizada como tecnologia de suporte a análise off-line dos SEPs (ex. análise de perturbações e validação de modelos) e aplicações em tempo-real na sala de controle (ex. monitoração de oscilações). A utilização de sincrofasores para aplicações com “*man in the loop*” já está presente em diversos operadores do sistema e agentes ao redor do globo. Porém deve-se ressaltar, que esta tecnologia se encontra ainda em diferentes níveis de adoção dentro destas empresas – desde iniciativas de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) até utilização em tempo-real para tomada de decisão. A Figura 1 ilustra os diferentes domínios de cada tecnologia no contexto da proteção e controle de sistemas de energia. Nota-se que esquemas baseados em WAMS não focam em proteção de atuação rápida (proteção de equipamentos) mas sim na proteção de fenômenos que envolvem grandes áreas do sistema.

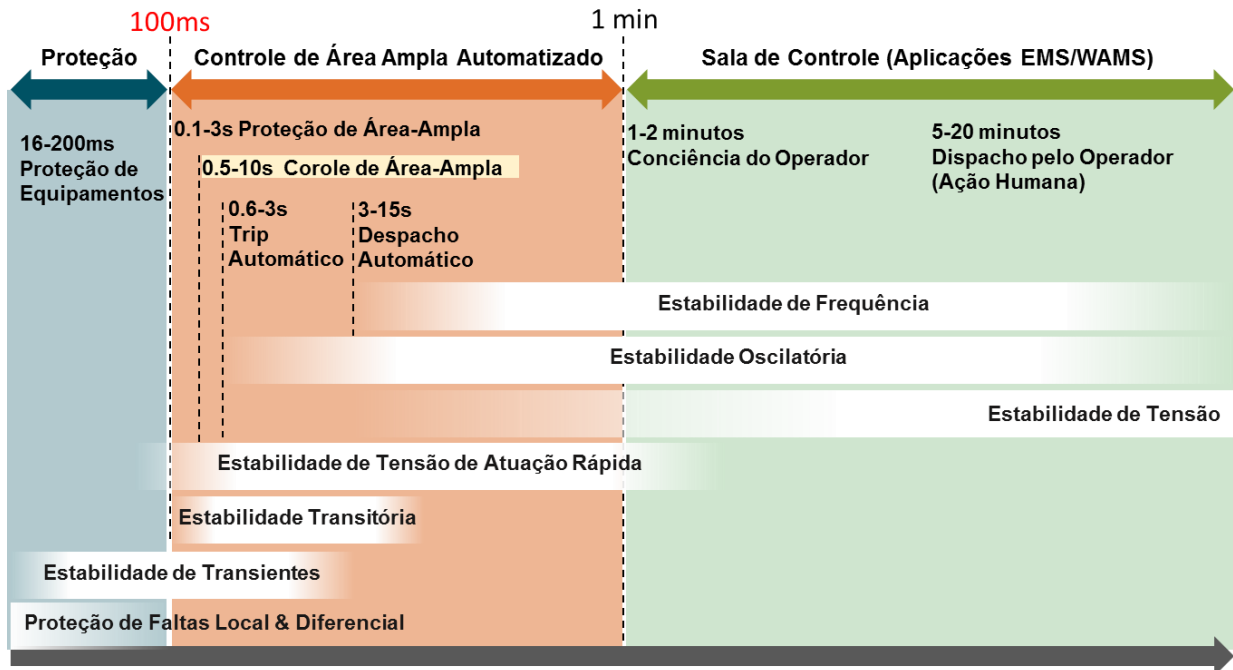


Figura 1: Esquemas WAMPAC podem ser utilizado como uma “ponte” entre esquemas de proteção local (equipamentos), dos quais devem atuar de forma rápida, i.e. < 100ms, e sistemas centralizados de segurança (EMS), os quais atuam na ordem de minutos.

Após a utilização de sincrofasores com sucesso por várias empresas, estas passaram a considerar seu uso para aplicações automáticas de proteção e controle sem a presença humana para tomada de decisões (*Closed Loop Control*). Mas como estes esquemas diferem dos esquemas tradicionais?

2.0 NOVOS CONCEITOS DE SISTEMAS ESPECIAIS DE PROTEÇÃO

A expansão da velocidade e quantidade de dados possibilitada pelas telecomunicações de banda larga nos sistemas de potência abriu novas oportunidades para a evolução da eficiência de atuação dos SEPs. A migração contínua da automação de subestação para uma arquitetura em rede (subestações digitais – IEC 61850) neste contexto pode ser estendida além do perímetro da subestação, levando ao necessário repensar de certos conceitos arquitetônicos historicamente enraizados no paradigma de proteção e controle.

Atualmente podemos identificar as seguintes categorias de SEPs:

- 1) Baseados em Eventos e Medidas de RTUs (SEPs tradicionais)
- 2) Baseados exclusivamente em sincrofasores e na resposta sistêmica ao evento
- 3) Esquemas Híbridos baseados em eventos, sincrofasores e resposta sistêmica ao evento

Estes esquemas são brevemente discutidos abaixo.

2.1 Esquemas Baseados em Eventos e Medidas de RTUs (SEPs Tradicionais)

Os SEPs clássicos baseiam-se na aquisição de eventos (sinais binários) sobre uma determinada parte da rede, tal qual um conjunto de linhas de transmissão pertencentes a um corredor de transmissão, enviam estes eventos a uma unidade de processamento central (muitas vezes denominada como “Master”) que realiza uma série de lógicas simples (lógicas AND, OR, NOR, etc) tomando decisões tais como corte de carga ou geração e/ou isolamento de outras partes da rede através de abertura de disjuntores. Todas estas ações são baseadas em condições pré-definidas em estudos de planejamento. Os comandos para abertura de disjuntores são tipicamente enviados através de canais de comunicação dedicados. Tais esquemas possuem a vantagem de serem de menor complexidade de projeto/implementação como também a velocidade de resposta (tipicamente menor que 100 ms). Entretanto, SEPs clássico normalmente carecem de adaptabilidade quando confrontado a cenários não-previstos e/ou condições de múltiplas contingências.

2.2 Esquemas Baseados na Resposta do Sistema (WAMPAC)

Sistemas WAMPAC coletam informações de fase e amplitude sincronizadas em toda a rede através da porção de rede monitorada para construir uma matriz de medição e executar algoritmos adequados para detectar anomalias que potencialmente levem a instabilidade de rede e falha no suprimento de energia.

Com o recurso de monitorar em tempo-real a dinâmica do sistema de potência é possível implementar ações que, diferentemente dos esquemas baseados na lógica simples de eventos, observem o estado real do sistema

independentemente da condição de operação e dispare uma ação remedial proporcional à necessidade para mitigar a contingência. Sob esse ponto de vista, essencialmente não há necessidade de atrelar condições pré-estabelecidas para este tipo de esquema, já que o mesmo toma métricas diretas da condição do sistema.

Arelados a estes esquemas, diferentes recursos podem ser comandado por estes esquemas para conduzir rapidamente o sistema para uma zona segura de operação, incluindo:

- **Cargas controladas variáveis:** uso de cargas controladas por tiristores para o “rampeamento” rápido da carga e por um curto período de tempo (e.g. plantas de fundição de alumínio)
- **Corte rápido de carga:** resposta rápida de demanda por processos industriais interrompíveis
- **Despacho rápido de gerador:** uso de reguladores acionados para a aceleração/desaceleração das máquinas visando o rebalanceamento de área ou ilha
- **Ilhamento inteligente:** ilhamento de áreas da rede quando os recursos anteriores de controle de geração e carga não forem suficientes para manter o equilíbrio da rede. Linhas de divisão apropriadas são criadas mantendo a menor disrupção possível no abastecimento de energia.

Os recursos disponíveis apresentam diferentes características de resposta, mas uma abordagem baseada em resposta permite que diferentes recursos proporcionem uma resposta proporcional correspondente à sua localização.

2.3 Esquemas Híbridos

Uma arquitetura de controle distribuído baseado na resposta do sistema apresenta vantagens em relação a uma abordagem SEP convencional (2), principalmente pelo fato de distribuir a resposta em muitas unidades e fornecer uma resposta proporcional em vez de uma resposta excessiva.

Esquemas baseados na resposta sistêmica não podem reagir tão rapidamente quanto aos esquemas baseados em eventos, pelo simples fato que necessitam aguardar até que a direção do movimento do sistema seja observável. Quanto mais grave for o evento, mais cedo um esquema baseado em resposta será operado, mas não é possível atingir a escala de tempo muito rápida de um esquema impulsionado por evento. A abordagem orientada a resposta pode ser suficientemente rápida para a maioria das aplicações, mas pode haver situações em que há uma necessidade de iniciação mais rápida. Já a detecção de uma lógica baseada em eventos precisa apenas detectar o status de um disjuntor na subestação, por exemplo, o que é muito mais simples e rápido.

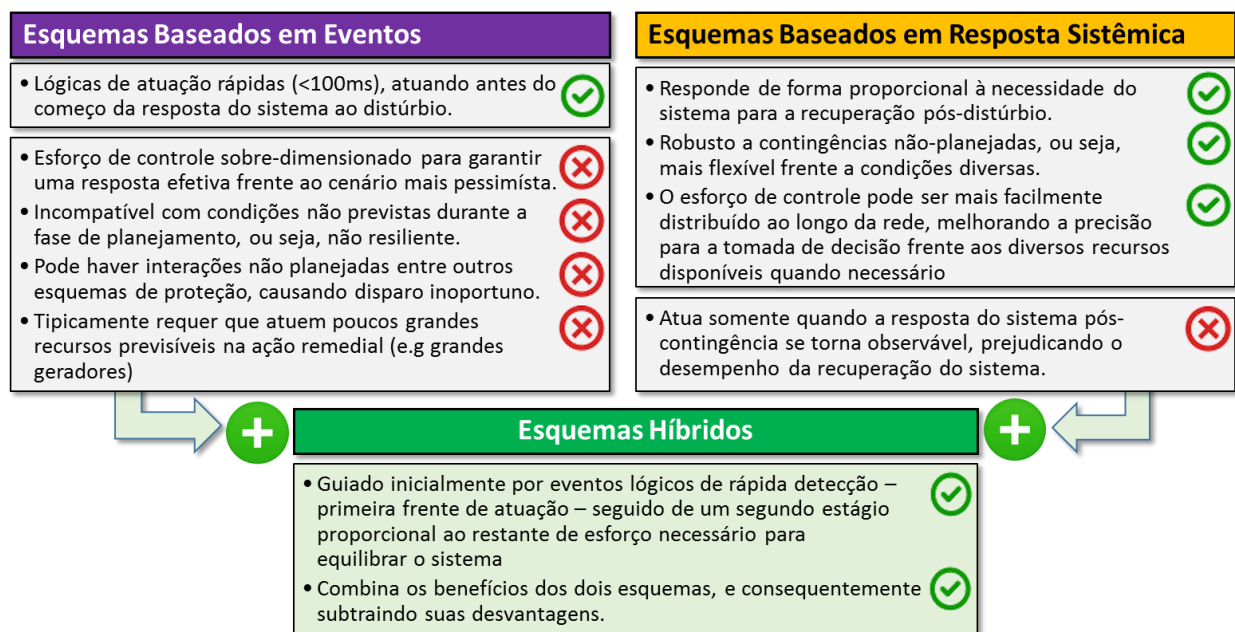


Figura 2: Vantagens relativas de esquemas de proteção baseados em “eventos” e “resposta do sistema” no contexto do planejamento de proteção sistêmica (2).

Nota-se então que, a combinação destes esquemas mostra-se atrativa para esquemas especiais de proteção adaptativos. Em contraste com a abordagem totalmente orientada a eventos, o esquema híbrido visa implantar apenas parte do esforço de controle dos esquemas rápidos (lógicos) – garantindo-se assim uma maior margem de segurança para a tomada de decisão mais flexível orientada por resposta.

Podemos citar como vantagens na aplicação destes sistemas híbridos:

- Redução de blackouts identificando instabilidades de rede e desencadeando respostas mais precisas que SEPs tradicionais;
- Aumento da utilização dos ativos existentes por redução das restrições nos corredores de transmissão através de ações remediais proporcionais ao “tamanho” do distúrbio;
- Redução das reservas necessárias para atender às restrições de rede existentes/futuras através da detecção

automática de restrições e desencadeamento das respectivas medidas de reparação

- Ativação de ações locais com base em informações de área ampla, por exemplo, controle automático de carga/geração com base na avaliação de segurança dinâmica em tempo-real da rede

As vantagens relativas de cada esquema são resumidas no diagrama da Figura 2.

Com todas estas informações em mão, uma nova plataforma de hardware foi desenvolvida capaz de receber informações lógicas (eventos) e sincrofasores, processar estas informações utilizando um ambiente tipo PLC (*Programmable Logic Controller*), e disparar sinais de controle e proteção locais e remotos. Esta plataforma será discutida nas próximas seções.

3.0 SOBRE A IEC 61850 PARA SINCRÓFASORES

Lançada em 2004 (primeira edição) e complementada em 2010 (edição 2), a norma IEC 61850 permite a interoperabilidade de equipamentos de controle e supervisão, ou em última análise, a comunicação aberta entre IED de fabricantes distintos, substituindo os diversos protocolos de comunicação proprietários existentes como por ex. *profibus*, *courier*, etc. A norma IEC 61850 está baseada em redes Ethernet que permite transmissão e recepção de mensagens tipo MMS (alarmes, relatórios, etc.) quanto mensagens SV (*sample value* – corrente/tensão) em alta velocidade (100 Mbps a 1 Gbps) inclusive a capacidade de envio e recepção de comando de trip e inter-travamento através de mensagens GOOSE (*Generic Object Oriented Substation Event*).

No cenário mundial a norma IEC 61850 tem se tornado a referência em todas as concessionárias para automação das subestações e em todos os setores desde a transmissão, distribuição, geração e tem se expandido para outros setores como por exemplo para a indústria.

Neste aspecto, existe uma vantagem desta padronização da norma IEC61850 para outras aplicações, além da automação local da subestação, como por exemplo a comunicação entre subestações e entre centros de controle especificada na parte IEC 61850-90-1 e a IEC 61850-90-5 (5) para transmitir sincrofasores em conformidade com a norma IEEE C37.118, tendo em vista a integração já existente destes dados e disponível no barramento de processo da rede Ethernet local e a possibilidade de transmissão para realização de proteção sistêmica como por exemplo esquemas regional de alívio de cargas (ERAC), esquemas de controle de emergência (ECE), corte de carga, condição de perda de sincronia de geradores síncronos (*out-of-step*) entre outros.

4.0 UMA NOVA PLATAFORMA IMPLEMENTADA PARA ESQUEMAS ESPECIAIS DE PROTEÇÃO

Com base na filosofia de proteção e controle discutido, uma plataforma comum para essas aplicações foi desenvolvida. Esta plataforma, nomeada de *PhasorController*, é constituída de hardware e software concebidos especificamente para satisfazer uma procura crescente de uma plataforma de controlador programável flexível com um tempo de resposta garantido adequado para aplicações WAMPAC, capaz de evoluir ao longo de toda a sua vida útil para responder a desafios cada vez mais complexos.

Esta plataforma oferece suporte a esquemas baseados em eventos e em resposta para melhorar a resiliência do sistema de potência durante distúrbios. Aplicações típicas incluem (com ou sem uso de sincrofasores):

- Esquemas de disparo remoto baseados na detecção de restrições de rede ou risco de instabilidade;
- Resposta de frequência sensível à localização de acção rápida para evitar ilhamentos ou limitar as consequências de ilhamentos em condições de baixa inércia;
- Controle de amortecimento de amplas áreas através de funções de amortecimento de potência de SVC/HVDC ou modulação dos PSS (*Power System Stabilizer*) de usinas geradoras

Para atender a este requisito, tal plataforma fornece um ambiente PLC IEC 61131-3 capaz de nativamente consumir dados em IEC 60870-104, GOOSE e sincrofasores (IEEE C37.118), executar diversas operações lógicas pré-definidas ou definidas pelo usuário, e disparar sinais de proteção GOOSE. Além disso, é compatível com diferentes drivers de hardware correspondentes para suportar as interfaces de comunicação de protocolos diversificados. Do ponto de vista físico, a plataforma é modular e distribuída por funções. Modular pois a aquisição de dados se dá através de módulos de entrada/saída convencionais com suporte a uma variedade de interfaces de comunicação (digital e analógica). Na Figura 3, descreve-se os blocos de construção de tal plataforma de hardware e software (2).

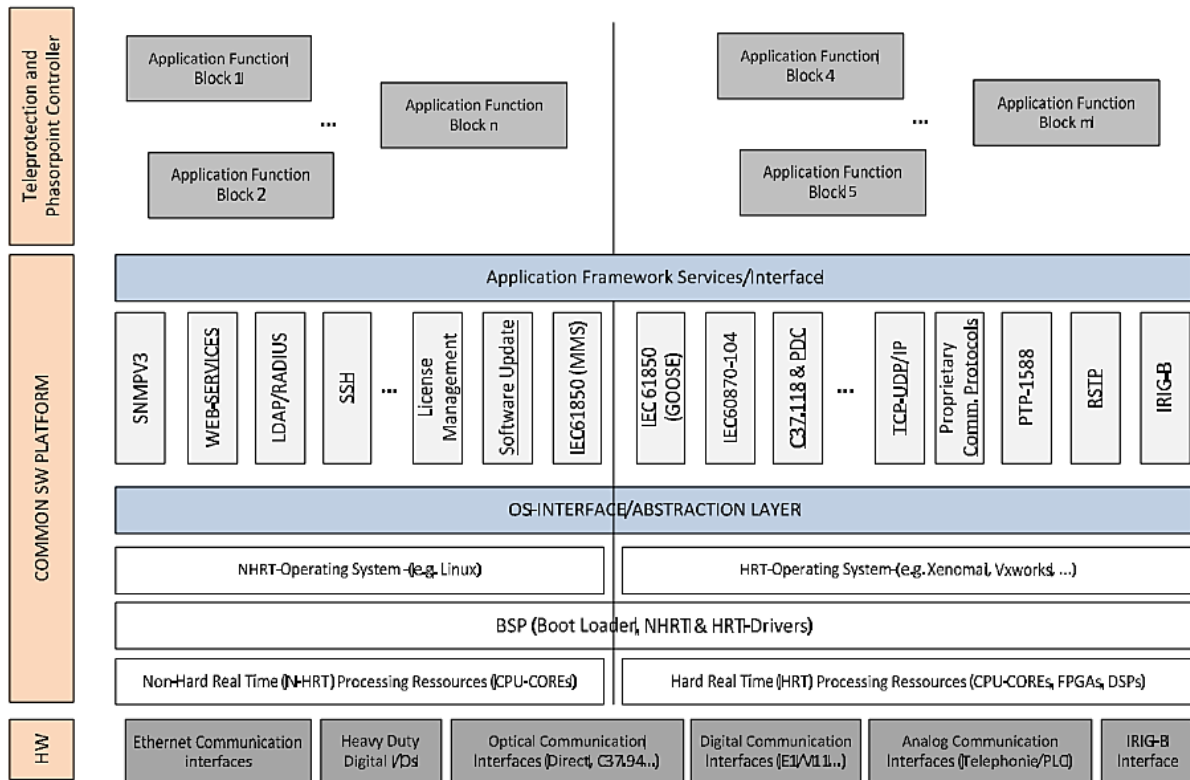


Figura 3: Blocos funcionais da plataforma implementada especialmente para desempenhar esquemas WAMPACs.

As principais vantagens desta plataforma são listadas abaixo:

- Capacidade de baixa latência com tempo real, execução totalmente determinística com ciclos de execução de 4ms até 20ms (16ms para 60Hz);
- Criação de lógicas complexas de várias fontes de dados diferentes simultaneamente em um esquema (IEEE C37.118.2 2005 & 2011, IEC 61850 (MMS & GOOSE), IEC 60870-5-104, DMP3, Modbus, IO Digital, IO analógico);
- Uso de plataforma PLC IEC 61131-3 com suporte a projetos FBD, LD, ST e IL;
- Blocos de Automação (AFBs – *Automation Function Blocks*) projetados por especialistas em WAMS: blocos de função PLC especificamente projetados para algoritmos WAMS além dos blocos padrões PLC;
- "Degradação Graciosa" devido à utilização e propagação incorporada de meta-dados de sinal, permite o ajuste dinâmico do desempenho do controlador com base na qualidade dos dados;
- Configuração de configurações remotas através de clientes padrões IEC61850 permitindo o controle do operador, configuração e monitoramento e comunicação com outros Dispositivos Eletrônicos Inteligentes (IEDs) e sistemas (como o EMS);
- Totalmente integrado ao WAMS (**e-terraphasorpoint™**) para armazenamento, análise e visualização através de saídas de fluxos IEEE C37.118 personalizáveis.

5.0 CASOS DE APLICAÇÕES

Nesta seção exemplos de aplicações de campo utilizando a plataforma desenvolvida são apresentados. Apesar do emprego destas aplicações apenas satisfazerem a desafios particulares de cada sistema, tais exemplos ilustram de forma clara o potencial do emprego de WAMPACs na proteção sistêmica frente a diferentes desafios.

5.1 Prevenção de Perda de Sincronia do Sistema Interligado

A Islândia tem uma capacidade total de menos de 2,5 GW com grandes cargas de fundição de alumínio que compõem a maior parte da demanda - esta condição leva a grandes desvios de frequência que ocorrem relativamente rápidos devido à baixa inércia do sistema. Este problema é agravado pelo fato de que as partes oriental e ocidental da malha estão fracamente acopladas e a separação (ilhamento) dessas regiões frente a perdas de carga/geração é comum. No passado, a carga perdida na região Oeste levava frequentemente geradores na mesma região a acelerar mais rapidamente do que os geradores no Leste. Como consequência, a diferença angular de tensão entre estas regiões excedia o limiar pré-definido, provocando disparos sequenciais de dispositivos de proteção ao longo do anel de 132 kV e finalmente a separação entre as duas regiões. Esta separação provocava perda de cargas importantes do sistema.

Nesse cenário, a necessidade de recursos de atuação rápida de reserva de frequência tornou-se essencial para o equilíbrio do sistema durante o transitório. Durante fases de estudos e implementação de protótipos, foi provado que esquemas baseados em sincrofasores são apropriados para resolver este tipo problema, uma vez que permite a comparação de sinais de diferentes regiões geográficas para determinar a melhor ação de controle.

Como solução para garantir uma maior estabilidade ao sistema frente a perda de grandes cargas (e.g. trip de uma cadeia de fundição de alumínio), a plataforma foi utilizada em vários esquemas baseados em sincrofasores que remontam ao início de 2013. Medições fasoriais monitoram a excursão de frequência/ângulos entre tais áreas as quais são utilizadas para determinar a extensão da resposta necessária e a área da rede onde a resposta (esforço no disparo de recursos que atuam na frequência instantânea do sistema) deve ser aplicada. Quando a separação do sistema torna-se inviável, o esquema indica a melhor maneira de despachar recursos (modulação de cargas controladas por tiristores, "rampeamento" rápido de geradores, corte de geração etc) para criar um melhor equilíbrio das regiões ilhadas e, portanto, maior probabilidade de sobrevivência das ilhas.

Estes esquemas de defesa WAMPAC são projetados para impedir a separação de rede evitando a diferença de ângulo de tensão entre as duas regiões que excedem o limiar de disparo. Para conseguir isso, caso for detectada perda de carga, os geradores selecionados são disparados sequencialmente para diminuir o crescimento da diferença de ângulo entre as regiões. Estudos foram realizados para determinar o valor limite para cada tipo de variável. Os valores limites são cruciais para distinguir entre um evento perdido e um evento de falha, bem como quando acionar o esquema de defesa. Uma vez que todos os limites são excedidos, o esquema é então disparado para disparar os geradores. O esquema foi testado contra eventos de separação de dados históricos (análise estatística).

Destaca-se que a implementação destes esquemas precisa endereçar os seguintes desafios técnicos:

- O esquema precisa ter uma resposta rápida, uma vez que a separação ocorre normalmente entre 800ms e 1s após a primeira perturbação.
- O esquema precisa distinguir os eventos entre perda de carga e falhas, isto é, nenhum disparo de geração se não houver perda de carga seguida de falha.

Para fins ilustrativos, a Figura 4 mostra o resultado de um estudo de caso contra um evento de separação em que foram perdidas cargas de 800 MW. Nesse caso, ocorreu uma falha no Sudoeste em 95.05s, seguida por perda de carga, e depois a separação em 95.7s (diferença angular entre Leste/Oeste maior que 80 graus). Se o esquema fosse aplicado ao sistema, ele seria disparado em 95.5s quando o limiar de diferença de ângulo de 50 graus - o último entre todos os limiares - fosse excedido (3).

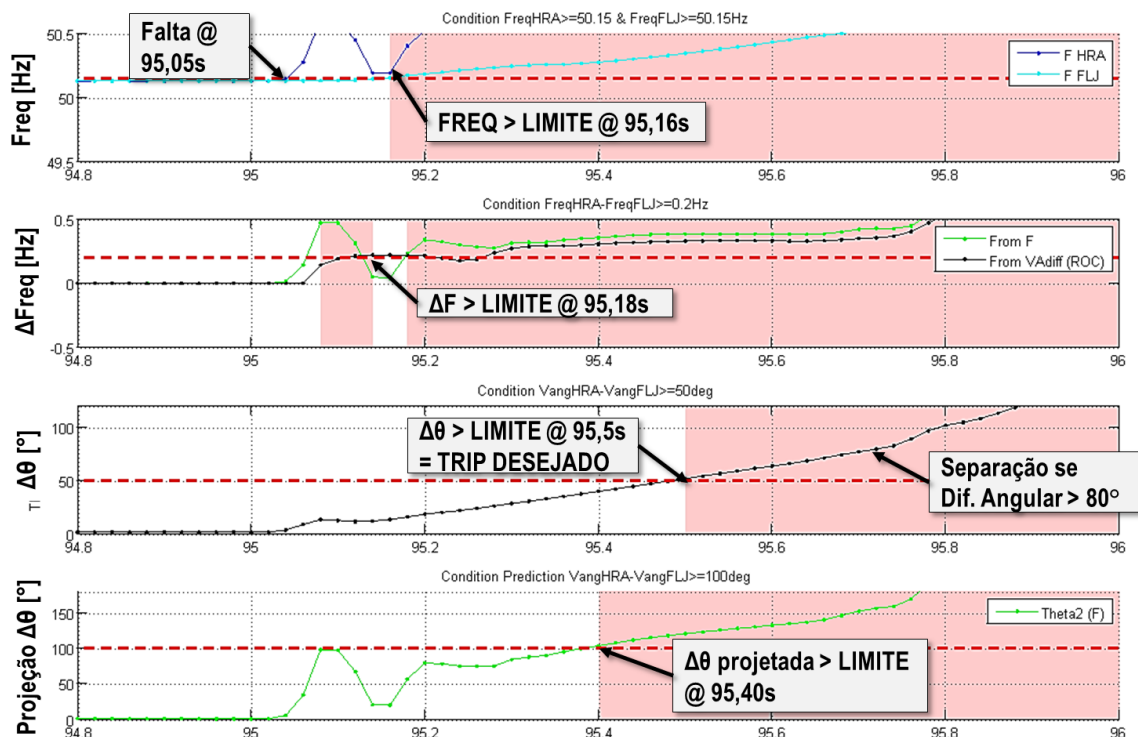


Figura 4: Ilustração em modo estudo da implementação de esquema WAMPAC em um evento real de separação do sistema islandês. Destaca-se o momento em que o disparo deve ser realizado para que a excursão angular seja revertida e, assim, evitar a separação do sistema.

5.2 Controle Rápido de Frequência

Um dos grandes desafios que os operadores do sistema da Grã-Bretanha (GB) estão enfrentando é a redução da inércia do sistema devido aos grandes investimentos realizados na incorporação de energias renováveis baseadas em plantas eólicas no sistema. Uma das características básicas deste tipo de geração é a baixa inércia dos geradores, o que infelizmente não contribui com a estabilidade do sistema frente a transitórios. Isto significa que, no futuro próximo, mesmo grandes sistemas podem experimentar quedas mais aceleradas na frequência, causando grandes desvios que levam a um aumento significativo dos requisitos de reservas primárias e custos operacionais. Esta redução afeta em particular a Escócia, onde observa-se grande concentração destes investimentos (4).

Em qualquer sistema, durante uma perturbação, a frequência instantânea muda a taxas diferentes de acordo com a localização da perturbação na rede. A frequência em uma área de baixa inércia mudam a taxas mais rápidas, e, consequentemente, as diferenças de frequência em todo o sistema passam a refletirem ângulos divergentes. Essa excursão em frequência (ou angular) pode resultar em perda de sincronia do sistema interligado, levando a potenciais *blackouts*.

Visando a diminuição da aceleração da excursão angular frente a estes tipos de distúrbios, adotou-se a estratégia de utilizar recursos que possam contribuir de forma rápida no equilíbrio de frequência destas regiões a partir de várias tecnologias, que podem ser pequenas unidades geradoras espalhadas ao longo do sistema ligadas a tensões de distribuição. Portanto, o sistema de controle é projetado para atuar como um sistema de controle distribuído, com recursos respondendo a uma visão de medição compartilhada do sistema, em proporção à escala do impacto no sistema de energia mais largo e priorizado através do uso de ângulos para agir primeiro na área da perturbação.

Este projeto, batizado de “*Smart Frequency Control (SFC)*”, está em andamento no sistema interligado do Reino Unido e envolve a implantação de várias unidades *PhasorController* ao redor da rede, os quais são utilizados para controlar a geração de energia e/ou a demanda de recursos relacionados (4). Este esquema é baseado em controle distribuído (Figura 5) utilizando-se de reservas de energia de resposta rápida (ou seja, com tempos de resposta de menor que 1 segundo). Nota-se que neste contexto o controle de frequência não pode mais negligenciar os efeitos da resposta sobre a estabilidade transitória do sistema (estes tempos de resposta rápidos estão dentro do “primeiro balanço” da perturbação onde o risco de instabilidade transitória está no seu nível mais elevado).

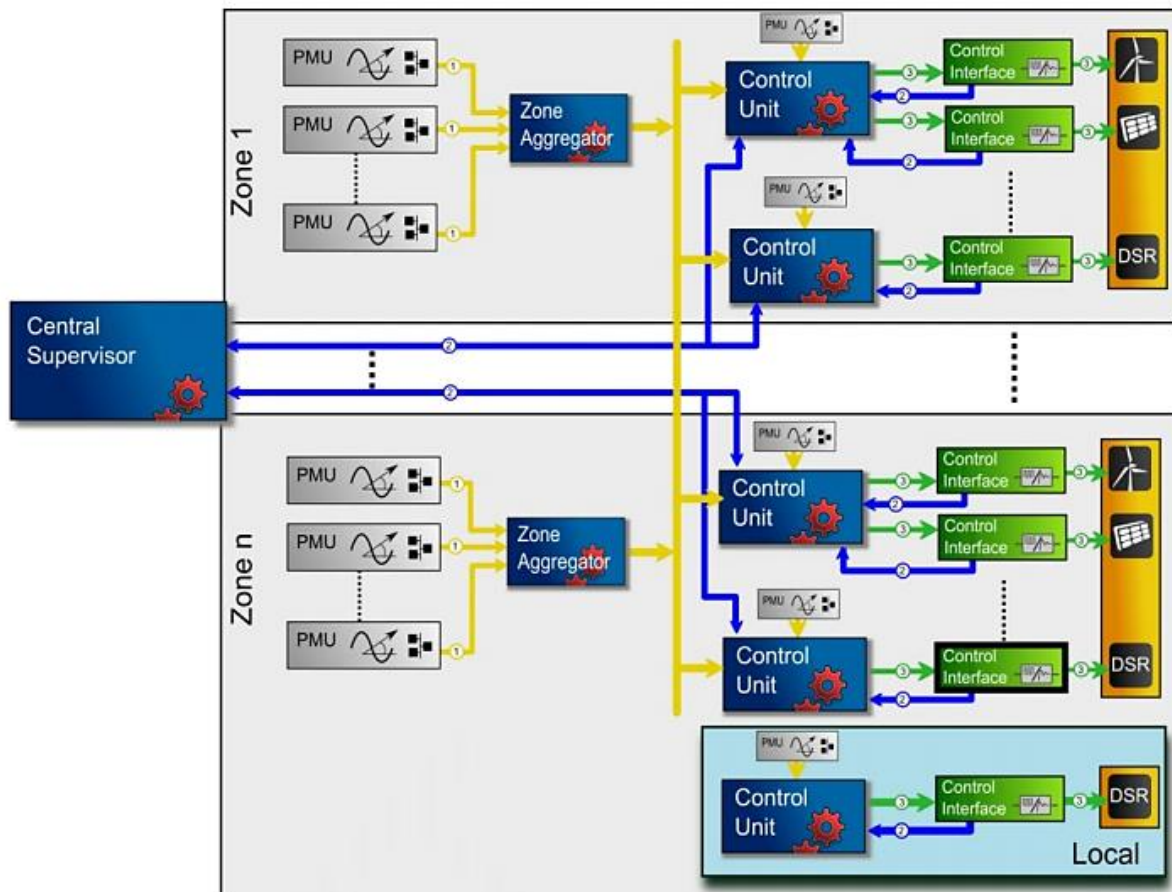


Figura 5: Múltiplas unidades da plataforma estão sendo utilizadas pela National Grid UK no escopo do projeto “*Smart Frequency Control*” que tem como objetivo mitigar o decaimento de frequência excessivo causado pela decrescente perda de inércia do sistema devido a alta penetração de usinas eólicas.

6.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente, o setor de energia elétrica está testemunhando a introdução de tecnologias baseadas em sincrofasores para a implantação de uma nova geração de Sistemas Especiais de Proteção. Apesar do seu caráter em estágio inicial, com diversos projetos de Pesquisa e Desenvolvimento acontecendo mundialmente, algumas empresas já estão coletando os benefícios desta nova tecnologia. Os esquemas de proteção baseados na IEC61850 estão apenas começando a ser implantados e a transição completa ainda está por vir.

Proteger a rede de forma centralizada, desde segmentos de linha até regiões do sistema, com diferentes requisitos de tempo, pode ser executada de forma mais eficiente com um projeto coordenado de proteção de linha convencional e novos esquemas de proteção de integridade do sistema. A proteção ótima da rede contra instabilidades também pode ser obtida combinando esquemas mais rudimentares, mas mais rápidos, com esquemas baseados em resposta a sincrofasores mais elaborados. A associação de esquemas de proteção e controle (esquemas híbridos) também pode evoluir no tempo de acordo com a complexidade da grade e a evolução do padrão de geração/carga. Uma plataforma especialmente desenvolvida para este fim é um primeiro passo para uma abordagem mais flexível e eficiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) LIRA, R.; GIOVANINI, R.; PARASHAR, M. "Aumento da Eficiência e Segurança Operacional Proporcionado pela Integração ao EMS de Soluções Baseadas na Medição Fasorial Sincronizada (WAMS)". XI Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos. Campinas (SP). 2015.
- (2) MESBAH, M.; BULJORE, S.; ALEMAN, P.; BAGLEYBTER, O.; WILSON, D. "A Common Platform for IEC61850-based Teleprotection and System Protection Schemes". International Colloquium "Building Smarter Substations". Cigre 2016.
- (3) LIRA, R.; WANG, D.; WILSON, D.; SALTER, P. "WAMS Applications for Improving Stability and Security of Electrical Networks Incorporating Renewable Generation". The 19th Conference on Electric Power Supply Industry – CEPSI 2012 – Bali, Indonesia.
- (4) WILSON, D.; CLARK, S.; NORRIS, S.; MOHAPATRA, J.; GRANT, C.; ASHTON, P.; WALL, P.; TERZIJA, V. "Advances in Wide Area Monitoring and Control to address Emerging Requirements related to Inertia, Stability and Power Transfer in the GB Power System". Cigre Conference, Paris, 2016.
- (5) IEC 61850, part 90-5 – Use of IEC 61850 to transmit synchrophasor information according IEEE C37.118.

DADOS BIOGRÁFICOS



Ricardo Lira, Engenheiro de Projetos Sênior da GE Grid Solutions Brasil, responsável técnico pelas soluções baseadas em sincrofasores para a América Latina. Em 2010 ingressou no Centro de Excelência em WAMS da GE Grid Solutions em Edimburgo (Reino Unido) na área de Pesquisas e Desenvolvimento de Aplicações Fasoriais, desempenhando em âmbito global atividades envolvendo pesquisas em novas aplicações, testes em PMUs, desenvolvimento do programa de treinamento e suporte técnico à vendas. No início de 2015 foi transferido para a o Brasil com o objetivo de reforçar a atuação da empresa da área de WAMS na América Latina. Ricardo recebeu seu título de Mestre em Energia Elétrica em 2010 pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), com especialização na área de Medição Fasorial Sincronizada.



Renan Giovanini é atualmente Gerente Mundial da GE Grid Solutions UK para soluções WAMS. Ele tem trabalhado com a tecnologia de sincrofasores por mais de 15 anos. Começou a investigar o uso de sincrofasores para proteção sistêmica durante seu PhD. Após isso, Renan iniciou sua vida profissional junto ao Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, Brasil), inicialmente como membro do time responsável pelo projeto do Sistema de Medição de Sincrofasores do Sistema Interligado Nacional – SMSF-SIN. Posteriormente, Renan se tornou o líder técnico do Operador para WAMS. Na GE, Renan é responsável pelo desenvolvimento estratégico da tecnologia WAMS, gerenciando a linha completa de produtos da empresa para este segmento.



Denys Lellys é gerente de aplicações técnica sênior na GE Grid Solutions na área de Proteção e Automação com mais de 30 anos de experiência na América Latina. Sua carreira profissional iniciou na CHESF em 1983 e depois na Alstom, Areva e atualmente na GE Grid. É membro do CIGRÉ Brasil desde 1998 e autor de vários artigos técnicos em seminários no Brasil tais como: SNPTTE, STPC, SIMPASE, etc. além de internacionais ERIAC, CIGRÉ-Paris. Graduação e pós-

graduação na Universidade Federal da Paraíba em 1981 e especialização em sistema de proteção em Stafford U.K.

.