SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

GPC 12
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO V
GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO E CONTROLE EM SISTEMAS DE POTÊNCIA.

A UTLIZAÇÃO DA BOBINA DE "ROGOWSKI" E DO DIVISOR DE TENSÃO EM PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS COM A SUA MONITORAÇÃO

Wagner de Oliveira*	Alexandre Piatniczka	Francimario Bezerra	David Paloma
ABB-Brasil	ABB-Brasil	ABB-Brasil	ABB-Finlândia

RESUMO

Os transformadores de instrumentos convencionais são usados extensamente em redes de distribuição, transformando altas correntes em um nível apropriado para a sua medição e proteção [3] e cujos valores são dimensionados de acordo com as exigências das normas para garantir a segurança operacional.

Com a introdução da tecnologia digital, podemos medir e proteger os sistemas de distribuição com o auxilio dos novos Sensores e detectores, em função do "burden" reduzido e da não saturação do sensor em função da corrente de falta, da redução do tamanho do equipamento e da bitola dos cabos.

Com a nova tecnologia, os níveis de sinais de entrada analógicos para medição e a proteção estão sendo reduzidos significativamente, comparados ao nível para sistemas convencionais de corrente em 5 A e potencial em 115 V.

O presente artigo descreve a utilização da Bobina de "Rogowski" e dos divisores de tensão [1] indutivo e capacitivo junto com os modernos relés digitais e a sua característica baseada em escalas dinâmicas maiores do que os transformadores convencionais. A ABB introduziu uma nova escala de sensores tipo "KEVCD" com base na Bobina de "Rogowski" que cumprem uma nova maneira de se trabalhar, com as exigências de funções diferentes nos equipamentos secundários.

PALAVRAS-CHAVE

Sensor, Bobina, "Rogowski", Divisor, Proteção

1.0 - INTRODUÇÃO

Os equipamentos elétricos de um sistema de potência devem ser especificados para permanecer em serviço por um período de tempo que seja suficiente para compensar os custos de sua aquisição e a instalação além de permitir a exploração lucrativa da planta.

Conseqüentemente, devem ser dimensionados para suportar as eventuais ampliações que ocorrerem no sistema, durante esse período de tempo os estudos de planejamento do sistema fornecem os subsídios necessários para a definição das características nominais desses equipamentos.

(*) Tel: (+55 11) 64648348 – Email: WAGNER.OLIVEIRA@BR.ABB.COM

As exigências técnicas e econômicas solicitadas na distribuição tem [5] aumentado em anos recentes e as solicitações mais pedidas são:

-Redução das dimensões;

-Planejamento e execuções mais rápidos das instalações;

-Flexibilidade em permitir as ampliações futuras;

-Equipamentos reduzidos e com novas tecnologias

-Melhoria das funções da proteção, controle e de monitoração;

-Melhoria dos sistemas de comunicação;

-Confiabilidade elevada através da compatibilidade eletromagnética;

-Necessidade de minimizar os serviços para a manutenção.

As novas tecnologias podem proporcionar novas exigências no mercado e fornecer características de [1,3] Integração das funções e dos componentes em uma extensão máxima permitida pelo estado da arte com soluções padronizadas é pré-fabricadas.

Os sensores discutidos neste trabalho são baseados no princípio da bobina de “Rogowski” para a medição de corrente, seus benefícios principais são:

-Tamanho reduzido, no qual ajuda em otimizar o uso do espaço nos cubiculos e nas subestações

Um peso reduzido de material de ferro e cobre

Aumento do ciclo de vida

Escala dinâmica superior

Melhoria de algumas funções de medição e proteção combinadas

Confiabilidade e segurança elevadas.

Perdas mais baixas, significa uma redução da ascensão da temperatura em um cubiculo, reduzindo o tamanho dos cubiculos na subestação.

O custo mais baixo destes sensores criam uma vantagem em relação aos transformadores de instrumento convencionais e com os sensores os relés númericos de proteção terão um “burden” menor, a não saturação dos sensores de corrente e com isso a redução da componente “dc”, de forma que a informação dos sinais das correntes e tensões serão usados pelos algoritmos das proteção e funções de controle com mais eficiência.

É uma tendência em longo prazo nos projetos de distribuição a instalação [5,6] de sensores, uma vez que os transformadores de corrente “TC´s” e de potencial indutivo “TPI´s” fazem parte significativa do volume total dos cubículos de média tensão e o tamanho dos sensores corresponde a um terço do volume do transformador de instrumento convencional.

Para especificar um transformador de instrumentos, a informação da carga atual e em sua tendência futura, a relação de tensão, os “burdens” secundários, a classe da exatidão deve ser conhecida.

A variedade de diferentes combinações, que na prática, esses transformadores de instrumentos são de fabricação individualmente, de acordo com a ordem e o projeto. As exigências técnicas e econômicas ajustaram-se na área de distribuição de potência nos últimos anos e têm aumentado em anos recentes.

Desta forma a aplicação de sensores de corrente e tensão apresentam grande vantagem, visto que a faixa dinãmica de trabalho é elevada e desta maneira deixam de ser equipamentos feito sob encomenda e passam a ser ítem de estoque, assim tem-se um ganho expressivo no tempo da execução do projeto resultando em custos reduzidos para o cliente final.

2.0 - SENSOR DE CORRENTE BASEADO NO PRINCÍPIO DA BOBINA DE "ROGOWSKI"

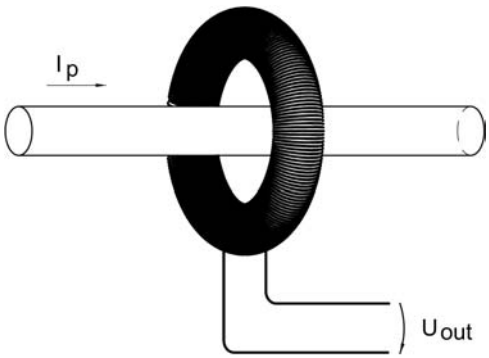
A bobina de "Rogoski" é um dispositivo elétrico para medir a corrente alternada ou pulsos de alta velocidade que consiste em uma bobina toroidal sem um núcleo de ferro e cujo fio é enrolado de uma extremidade a outra e retorna através do centro da bobina do toróide à outra extremidade, de modo que ambos os terminais estejam na mesma extremidade da bobina.

O conjunto inteiro é envolvido em torno de um mastro reto, cuja corrente deve ser medida conforme as figuras 2 e 3, sendo que L_i corresponde a indutância distribuida da bobina, R_i a resistência Intrínseca da bobina e C_i a capacitância intrínseca da bobina na qual será induzida uma tensão secundária proporcional à derivada da corrente di_p/dt que conseqüentemente é linear, sendo que o fator de proporcionalidade depende da geometria da bobina.

Um dispositivo similar [8] a Bobina de "Rogowski" foi descrito por "A.P. Chattock da "Bristol University" em 1887, "Chattock" usou o principio para medir o campo magnético com relação a corrente. A descrição definitiva foi elaborada por "Walter Rogowski" e "W. Steinhaus" na "Die Messung der Magnetishen Spannung", Archiv fur Elektrotechnik, 1912, conforme figura 1.

Fig.1 - Bobina Elaborada por "Walter Rogowski"

Fig. 2 – Bobina de "Rogowski"



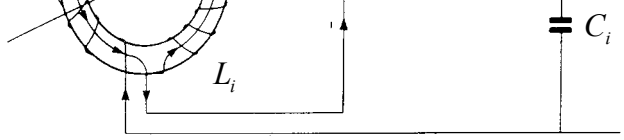
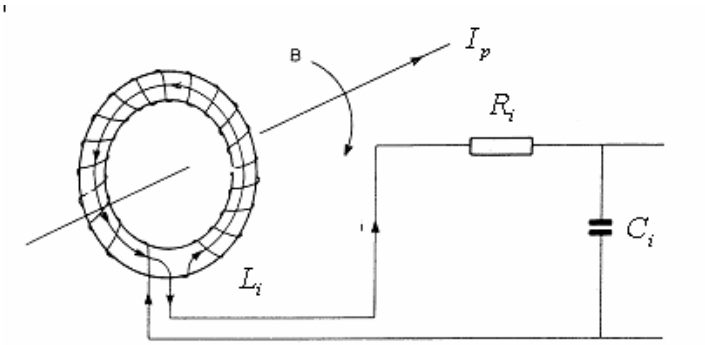


Fig. 3 – Modelo da Bobina de "Rogowski" com os seus componentes intrínsecos



O método baseia-se na indução da tensão da bobina que deve ser [6,7] proporcional à taxa de mudança da derivada da corrente no condutor reto e cuja saída da bobina de "Rogowski" corresponde a variação do fluxo "ϕ" do campo magnético criado pela corrente "I_p" a ser medida através da Lei de "Faraday".

Dessa forma, a tensão induzida no sensor é dada pela equação:

$$e = -\frac{d\phi}{dt} = -\mu_0 . N . A . \left(\frac{dI_p}{dt} \right) \tag{01}$$

$$B = \frac{\mu_0}{2.\pi} . \frac{I_p}{r} \tag{02}$$

O Sinal na Saída do Sensor é dado por:

$$U_{OUT} = M . \frac{dI_P}{dt} \tag{03}$$

$$M = \mu_0 . \frac{N}{l} . A \tag{04}$$

Onde M corresponde a indutância mútua da bobina, μ_0 a permiablidade do ar, A área da bobina, N número de espiras por unidade de comprimento e l comprimento médio do toroide.

O Sinal da Corrente Senoidal [3,6] na Saída do Sensor em regime é proporcional a corrente de entrada, logo:

$$U_{OUT} = M . j . \omega . I_p \tag{05}$$

O sinal é uma tensão senoidal é proporcional à corrente com deslocamento de fase [06] adiantada de 90º, cujo sensor consiste em um enrolamento do núcleo de ar, dessa forma é imune a todos o risco de saturação porque não tem núcleo ferromagnético e possui escala linear de medição inteira.

As escalas para a medição e proteção de corrente nos níveis de tensão de 12...25 kV variam de 80….1600 A para uma tensão secundária de 0...150 mV na freqüência de 60 Hz.

A figura 4 demonstra a construção interna do "KEVCD" que é a combinação de um sensor de corrente e tensão no mesmo equipamento e a figura 5 o encapsulamento da bobina de "Rogowski".

Fig. 4 - Combi Sensor Interno – Modelo “KEVCD”

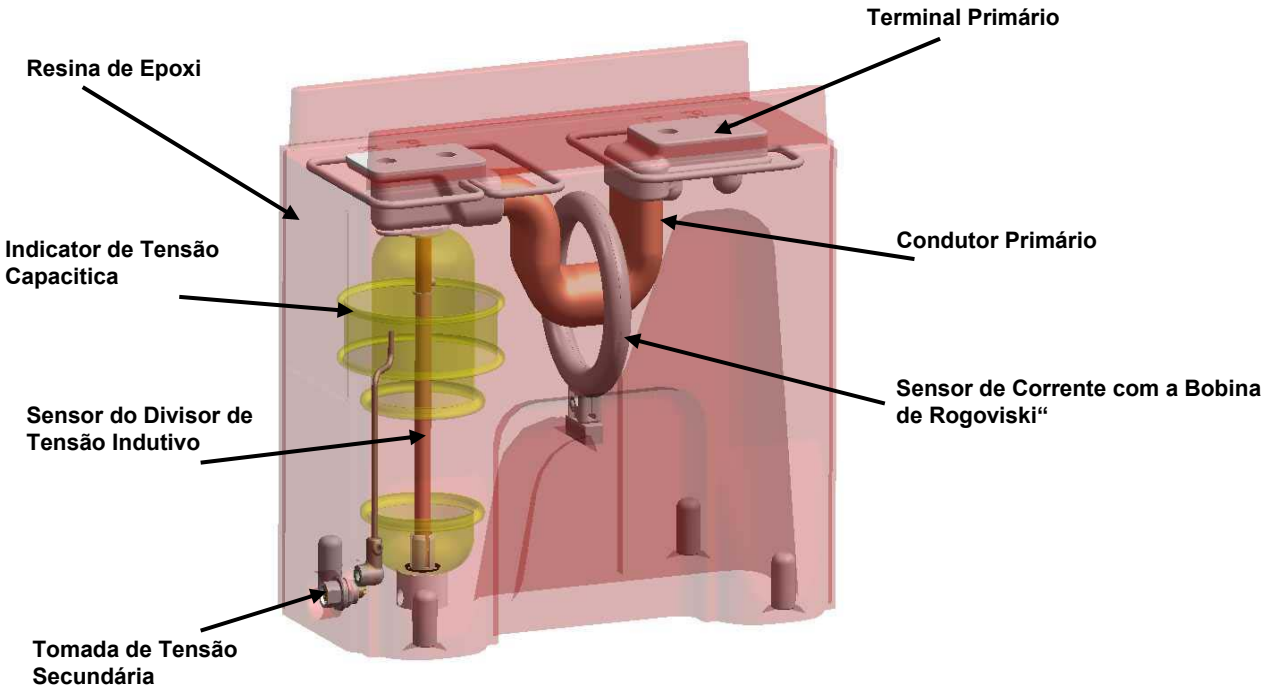


Fig 5 – Encapsulamento da Bobina de “Rogowski”

A combinação dos Relés de Proteção com entradas para os Sensores de Corrente “KEVCD” proporcional alto nível de segurança o sistema de distribuição dos cubículos. Nas figuras 6, 7, 8 e 9 temos a comparação da Corrente de Curto-Circuito de um Transformador de Corrente Convencional com o Sensor.

Fig 6 – Corrente de Curto-Circuito no Lado de Alta Tensão de um TC Convencional com Saída Saturada

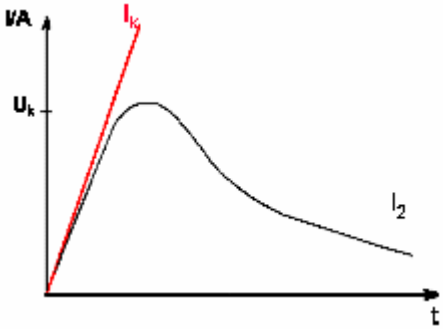


Fig 7 – Corrente de Curto-Circuito no Lado de Alta Tensão com Saída Linear utilizando a Bobina de “Rogowski”

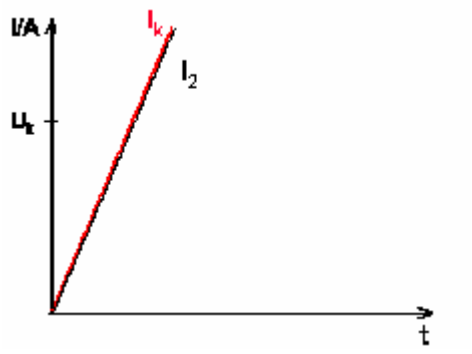


Fig. 8 – Corrente Primária e Secundária de um Transformador de Corrente Convencional

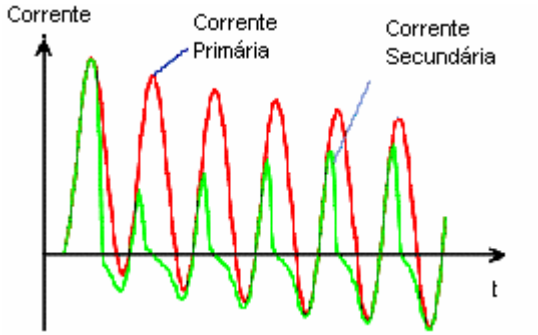
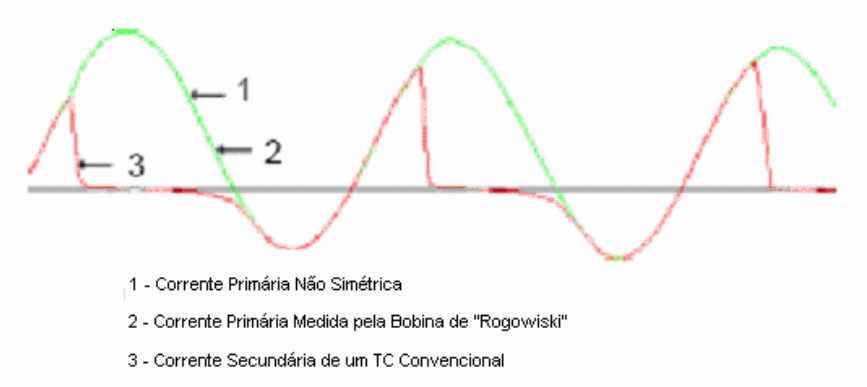


Fig. 9 – Comparação da Corrente Secundária de um Transformador de Corrente Convencional versus a Corrente Primária da Bobina de “Rogowski”

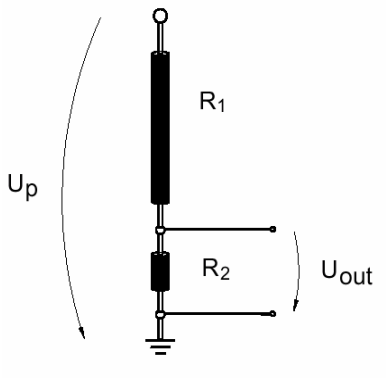


2.1 Sensores de Tensão

A nova tecnologia de sensores de medição da tensão incluí os divisores resistivos e capacitivos conectados com níveis de tensa ode 0.. 2V diretamente aos “IEDs” [3,5]. Este sensor produz um sinal da tensão através de um divisor de tensão que é proporcional à tensão nominal fase-terra e este princípio conduz a características inerentes boas nos termos da escala dinâmica e de linearidades elevadas.

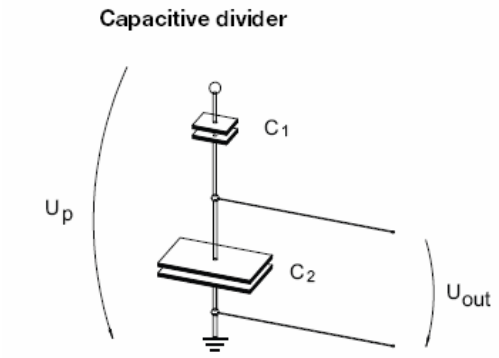
Uma outra solução é o divisor capacitivo para a medida da tensão que tem basicamente as mesmas propriedades que o divisor resistivo, porém com aplicações diferenciadas conforme figuras 10 e 11.

Fig. 10 – Divisores Resistivos – Princípio do Sensor de Tensão



$$U_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}.U_p \qquad (6)$$

Fig. 11 - Divisor Capacitivo – Princípio do Sensor de Tensão

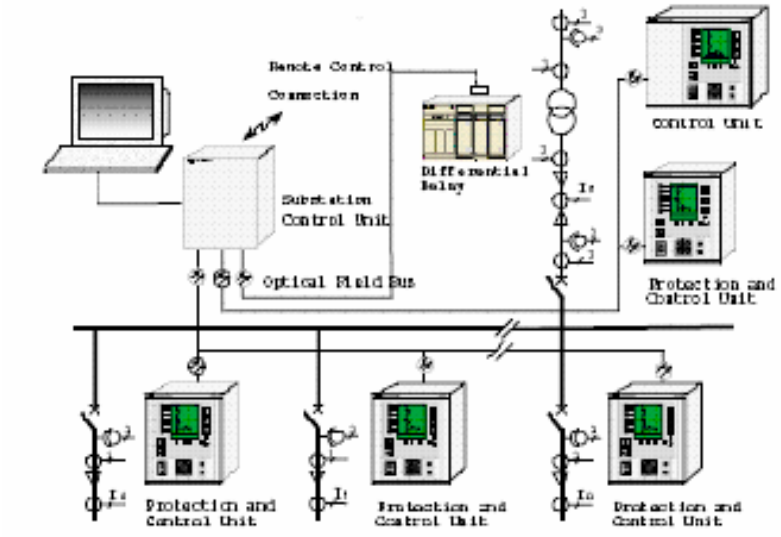


$$U_{out} = \frac{C_1}{C_1 + C_2}.U_p \qquad (7)$$

2.2 Sensores conectados as Proteções

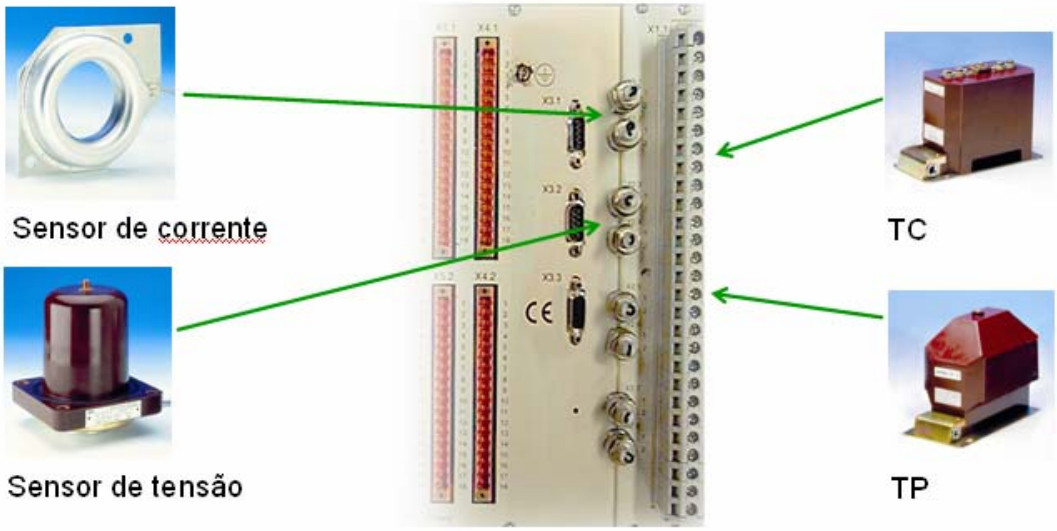
Conseqüentemente estes sensores beneficiam a arquitetura com a Nova Tecnologias, incluindo [1,3,5] a escala linear de medição e a exatidões para valores elevados, integrando-se as funções da proteção e de medição no "IED´s" modernos, já são preparados para o uso com a interface da Bobina de "Rogowski", conforme figuras 12 e 13.

Fig. 12 – Sistema de Relés Conectados a Relés e Terminais e Proteção



Como os Sensores não saturam, a proteção será eficiente para as funções desejadas, conforme a figura 13 que mostra a Interface Traseira do Relé para conexão com o “Sensor”.

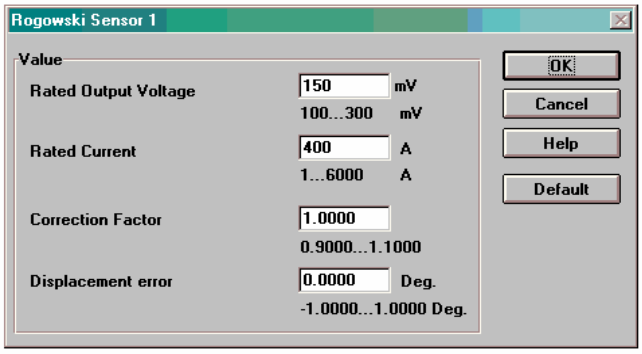
Fig. 13 – Interface Traseira dos Relés e Terminais de Proteção



2.3 Interface dos Sensores com os “IED´s”

A interface gráfica do “IHM” via programa “Windows” para calibração e o ajuste do “IED´s”, conforme figura 14.

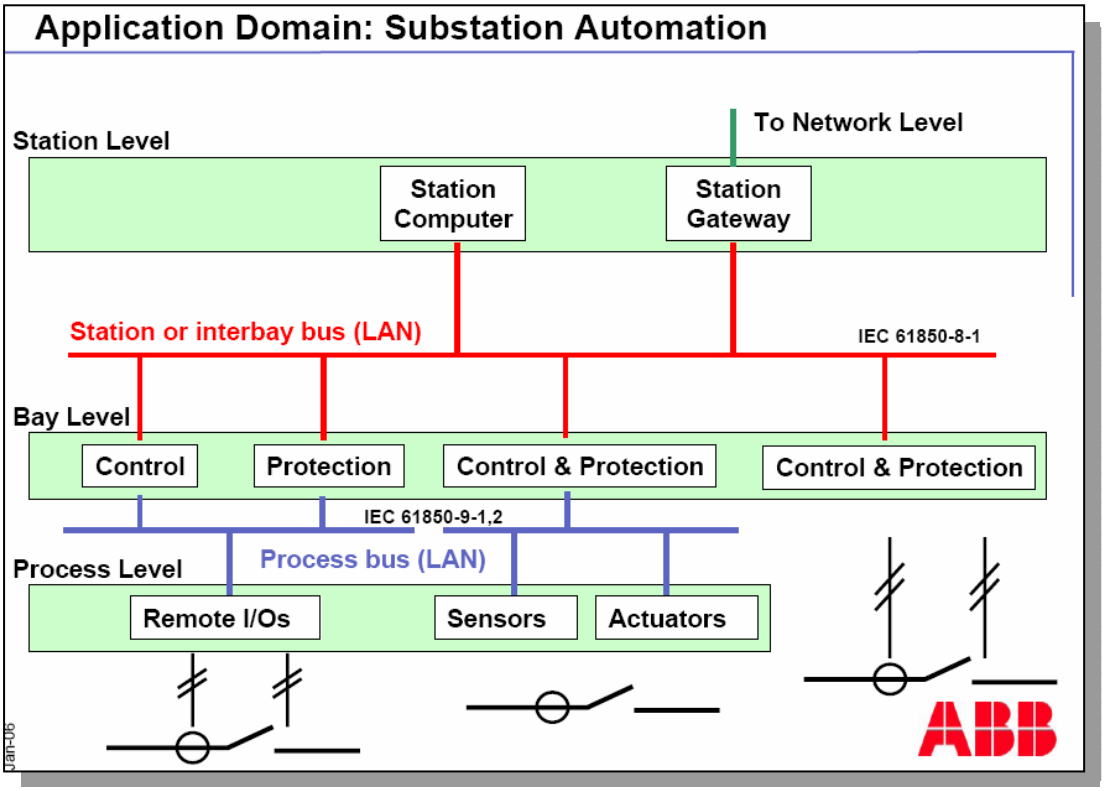
Fig. 14 – Tela de Ajuste dos Sensores através da Bobina de “Rogowski” e do equipamento “KEVCD”.



2.4 Interface de Comunicações dos "IED´s" com o padrão "IEC 61850"

Os sensores em conjunto com os relés e terminais de proteção já estão enquadrados com [2,5] o nível hierárquico superior do Protocolo de Comunicação do "IEC 61850-9-1/2", que permite ter o desempenho elevado e rápido com um supervisório "SCADA", conforme figura 15.

Fig. 15 – Arquitetura de "Substation Automation"



3.0 - CONCLUSÃO

Os sensores têm um impacto positivo na confiabilidade dos cubículos de distribuição e o risco de acidentes e danos pelo erro humano são reduzidos pelos seguintes fatores das instalações fáceis, tamanhos e peso reduzido, nenhuns danos diretos causados pela fiação incorreta, abertura e curto-circuito dos circuitos secundários do sensor são possíveis, não saturam, sem problemas com ferrorresonância, sem problemas com sobretensões ou superaquecimentos seguros, tensões em escalas menores ao contrário do transformador de potencial indutivo, os divisores da tensão não causam problemas de ferrorresonância.

Conseqüentemente estes sensores beneficiam a tecnologia com medições em escala linear e exatidão elevada, integrando-se as funções da proteção e de medição.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Resolution in Measuring Techniques enables Superior Protection Performance
ABB Substation Automation Oy
FIN-65101, Vaasa, Finland, Electricity International, oct-2001, page 01-03

[2] eVM1 – Medium Voltage Circuit Breaker Combines Interruption, Measuring and Protection Capability with Rogowski Sensor
Christian Reuber, Paolo Gritti, Marco Tellarini and Markus Heimbach
ABB Review – 1/2004, page 17-21

[3] Sensor Technology with Modern Protection and Control IEDs
ABB S.R.0 – Videnska, Czech Republic
Doc. 1MRS 752201-MDS, page 01-02

[4] MV Instrument Transformers and Sensors
ABB S.R.0 – Videnska, Czech Republic
Doc. 1VL000572 – Rev. 1, en,ru, 2005.08.31, page 01-11

[5] The "Rogowski" Coil and the Voltage Divider in Power System Protection and Monitoring
Pentti Mahonen and Vesa Virtanen – ABB Transmitid Oy, Vaasa, Finland
Tapio Hakola – ABB Substation Automation Oy, Vaasa, Finland, page 01-12

[6] Sensor Technology – Application for Medium Voltage
ABB Oy – Medium Voltage Products, Vaasa, Finland
Doc. SENSOR 1-GB-02-04, page 01-12

[7] Clean Breaker – Manufacturing Medium Voltage Products
IPG International – Power Generation, Transmission & Distribution, Business and Finance
Vol 29, No. 4, July 2006, page 01-04

[8] MV Sensors – Principle, Application & Advantages
Jaroslav Jesely - ABB USA
Nov. 2006, ABB, page 01-54

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Wagner de Oliveira, nascido em São Paulo, SP em 1960.
Engenharia Elétrica: UMC – Mogi da Cruzes
Empresas: ELETROMON,CELG, FURNAS Centrais Elétricas, de 1980..1989 e ABB desde 1989..
Engenheiro de Aplicação de Proteção, Controle e Automação de Subestações com Serviços de Campo, Comissionamento e Estudos Elétricos em Sistemas de Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica.
Atualmente trabalhando como Engenheiro Consultor de Aplicação em Proteção para Sistemas de Distribuição

Alexandre Piatniczka
Nascido em São Paulo, SP em 1978.
Engenharia Eletro/Eletrônica: FESP São Paulo
Empresa: ABB Brasil desde 1999
Engenheiro de Aplicação de Sistemas de Proteção, Controle e Automação de Subestações com Serviços de Campo e Comissionamento de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica
Atualmente trabalhando como Engenheiro de Aplicação em Proteção para Sistemas de Distribuição

Francimario Bezerra
Nascido em Santo André, SP em 1981.
Técnico Eletro/Eletrônica: Escola Técnica SENAI - Centro Nacional de Tecnologia e Automação
Empresa: ABB Brasil desde 1999
Técnico de Aplicação de Proteção, Controle e Automação de Subestações de Distribuição de Energia Elétrica

David Paloma
Nascido na Colômbia em 1972
Engenharia Elétrica: Universidade da Colômbia
Empresa: ABB Finlândia desde 1993..
Gerente Regional da América Latina para Sistemas de Proteção, Controle e Automação de Subestações.