

**Sistema de Proteção Digitais:  
Mudanças no Projeto, Instalação e Operação de Sistemas Elétricos**

Alexandre S. Vasconcellos  
Coordenador de Projetos  
asv@figener.com.br

José Carlos M. V. Júnior  
Engenheiro Eletricista  
[jcarlos@figener.com.br](mailto:jcarlos@figener.com.br)

**FIGENER S/A Engenheiros Associados**

Av. Paulista, 2644 – cj.32  
01310-300 – São Paulo – SP  
tel.: 11 256-6999  
fax: 11 3120-3754

## Resumo

**Apesar de os sistemas de proteção, medição e controle digitais já serem empregados em larga escala em sistemas elétricos de potência, muitos dos critérios empregados nos sistemas elétricos ainda são os mesmos do tempo dos equipamentos eletromecânicos, não possibilitando o aproveitamento de todos os benefícios que este tipo de equipamento pode trazer ao sistema elétrico como um todo. O trabalho é conduzido de forma a apresentar os benefícios dos sistemas de proteção digitais, bem como os novos paradigmas trazidos por eles no projeto, nas instalações, na operação e na manutenção de sistemas elétricos de potência. O foco do trabalho será a proteção de sistemas elétricos industriais, sendo que muitos dos itens discutidos neste artigo podem ser estendidos a sistemas elétricos de potência em geral.**

# **Sistemas de proteção digitais: Mudanças no projeto, instalação e operação de sistemas elétricos**

Alexandre S. Vasconcellos

José Carlos M. V. Júnior

FIGENER S/A Engenheiros Associados

## **1. Histórico**

As primeiras pesquisas em aplicação de computadores digitais em sistemas elétricos de potência (SEPs) remontam ao final dos anos 60, onde se vislumbrava a possibilidade de concentrar todas as operações e proteções de uma subestação em um único computador de grande porte (1).

Os avanços na tecnologia de sistemas digitais e na teoria de tratamento digital de sinais permitiram realizar a primeira instalação piloto de proteção de linha logo em 1972 pela Westinghouse e Pacific Gas & Electric (2).

A tecnologia eletromecânica estava bem estabelecida e sempre teve um reputação de durabilidade e confiabilidade (desde que bem mantidos), porém vislumbrou-se com a aplicação de sistemas digitais uma maior flexibilidade de aplicação, maior compactação dos equipamentos, uma melhor performance dos sistemas e a exploração de um novo nicho pelos fabricantes destes sistemas.

O grande desafio da tecnologia digital tem sido se igualar à tecnologia eletromecânica em termos de durabilidade e obsolescência dos equipamentos uma vez que para os sistemas digitais estima-se uma vida útil média de 10 anos, enquanto que os sistemas eletromecânicos têm uma vida útil média verificada de 30 anos (3). Para tal, investimentos maciços vêm sendo realizados para o aperfeiçoamento destes sistemas, de modo que hoje a tecnologia digital já conquistou definitivamente o seu espaço nos SEPs e é aplicada em larga escala.

A aplicação desta tecnologia porém é muitas vezes tratada como um elemento a parte do sistema de potência em si, uma vez que todo o seu potencial, não apenas como sistema de proteção mas também como ferramenta para análise de energia, não é aproveitado adequadamente para prover todos os benefícios possíveis a um sistema elétrico.

## **2. Engenharia e Projeto**

Os engenheiros de proteção talvez tenham sido os mais beneficiados com o advento da proteção digital. Padronização de equipamentos, novas funções, maior flexibilidade de aplicação e facilidades de comunicação estão entre as principais mudanças sentidas. Porém, tudo isso requer uma gama muito maior de itens a serem analisados e especificados e um número muito maior de ajustes e parametrizações a serem realizadas.

Dentre as novas características de projeto da proteção digital, podem ser citadas para os sistemas industriais as seguintes:

- Padronização de curvas de atuação e adaptação a sistemas existentes: a padronização de equipamentos trouxe esta facilidade, sendo que hoje, por exemplo, encontram-se programadas em um relé de sobrecorrente todas as funções dos padrões ANSI/IEEE e IEC e funções de relés eletromecânicos não padronizadas (p.ex., linhas GE-IAC e Westinghouse-CO). Alguns chegam à sofisticação de permitir a programação da curva de atuação ponto a ponto.
- Novos critérios de ajuste para maior sensibilidade da proteção: o tratamento mais refinado dos sinais recebidos pelos relés e a utilização de alguns sinais lógicos adicionais permitem, por exemplo, filtrar a corrente de inrush de transformadores e a componente contínua das correntes de curto-circuito e reconhecer a corrente de partida de motores de indução de forma que não são mais necessárias as temporizações e aumentos de ajuste comumente utilizados para evitar as atuações indevidas nestes casos.
- Intertravamentos lógicos para composição de esquemas de proteção especiais: as entradas e saídas digitais dos relés digitais permitem a composição quase aleatória de relés de proteção para, por exemplo, montar um esquema de seletividade lógica entre relés de sobrecorrente e conseguir

indiretamente a proteção diferencial de barra do painel (Figura 1). Além disso, relés multifunção podem ter suas funções internas combinadas aleatoriamente por meio de programação própria para compor esquemas completos de proteção de equipamentos.

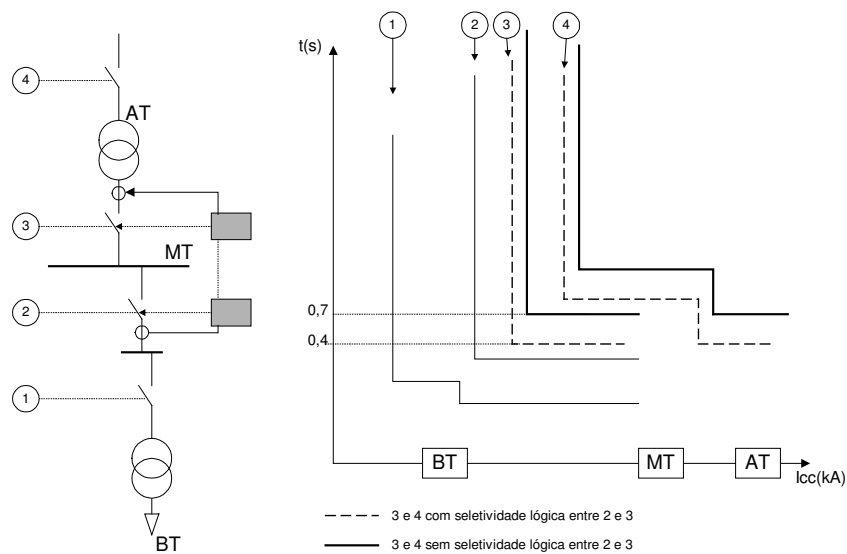


Figura 1 – Seletividade lógica entre relés de sobrecorrente

- Auto-monitoramento dos equipamentos e circuitos: as novas tecnologias de circuitos integrados, circuitos “watch-dog” por exemplo, permitem que se faça o auto-monitoramento das funções internas do relé e também do circuito de trip do disjuntor. Isto, aliado à facilidade de substituição destes equipamentos, aumenta consideravelmente a confiabilidade e a disponibilidade do sistema de proteção (valor típico de disponibilidade com auto-monitoramento: 99,97 % (3)), além de amenizar a necessidade de redundância de sistemas de proteção em aplicações críticas.
- Medição, comando e comunicação integrados à proteção: os relés hoje são praticamente multi-medidores e mini-CLPs integrados que, aliados à facilidades de comunicação em rede e integração com sistemas supervisores, praticamente eliminam a necessidade de estações remotas e outros equipamentos de medição e comando e permitem realizar funções tais como mudança automática de ajustes (de acordo com a configuração de fontes) e religamento automático de circuitos.

O principal resultado destas mudanças é o aumento da confiabilidade de um SEP (danos e tempos de restabelecimento de faltas menores) pelo fato destes novos conceitos permitirem a maior sensibilidade e o menor tempo de atuação das proteções. Porém, para se atingir tais benefícios, as equipes envolvidas devem ter uma qualificação diferenciada, que envolve além dos conhecimentos em SEPs, conhecimentos básicos de sistemas digitais e redes de computadores.

### 3. Instalações

As instalações de SEPs também foram bastante beneficiadas, principalmente pela menor dimensão dos equipamentos de proteção e pelo surgimento dos relés multifunção. Na Figura 2 é mostrado um exemplo de um painel de proteção e excitação típico de geradores industriais para exemplificar esta mudança.



*Figura 2 – Painel de proteção e excitação de geradores*

Abaixo são citadas as principais mudanças na instalação introduzidas pela proteção digital em sistemas industriais:

- Compactação e simplificação das instalações: a menor dimensão dos equipamentos e os relés multifunção ocupam menos espaço físico e simplificam o cabeamento do sistema.
- Baixo consumo e menor solicitação de carga de TCs e TPs: pelo baixíssimo consumo de potência do circuito de sinal dos relés digitais, e pela integração entre proteção e medição, os requisitos de carga principalmente sobre os TCs são bastante reduzidos, permitindo assim a utilização de TCs de núcleo reduzido e de baixa corrente nominal mesmo em instalações com nível de curto-circuito elevado. Por exemplo, para um TC de relação 100:5, classe 10B100, impedância do enrolamento 0,065 ohms, alimentando um relé IAC-53 de impedância 0,27 ohms, existe precisão para correntes simétricas de até 5,97 kA; o mesmo TC alimentando um relé digital típico de impedância 0,022 ohms é preciso para correntes simétricas de até 23 kA. Ressalvas devem ser feitas quando na presença de componente contínua na corrente de curto-circuito (esta satura o TC independente da carga do seu circuito secundário).

Contudo, a proteção digital possui requisitos de instalação antes inexistentes na tecnologia eletromecânica:

- Cabeamento de comunicações: necessário para a interligação entre relés e com o sistema supervisor, possui um grau de dificuldade de instalação maior por utilizar infra-estrutura sofisticada (fibras óticas, interfaces opto-eletrônicas) e por se estender em muitos casos por toda a instalação.
- Fonte de alimentação estabilizada e ininterrupta: necessária para a alimentação do sistema de proteção, requer um sistema “no-break” de retificador/ inversor e bancos de baterias dedicados. Existem relés auto-alimentados pelos TCs e TPs, porém a prática tem sido prover uma fonte independente do circuito principal para maior confiabilidade.
- Aterramento: os relés digitais, por serem equipamentos sensíveis e por muitas vezes estarem interligados com equipamentos distantes, requerem uma série de cuidados no seu aterramento (4) que devem ser respeitados sob pena de falha de atuação e/ou atuação indevida do equipamento.

Em comparação com os benefícios trazidos pelos relés digitais, os novos requisitos não devem ser encarados como empecilho para a sua aplicação.

#### **4. Operação e Manutenção**

A simplificação da manutenção e as novas possibilidades de aquisição de dados operacionais dos relés digitais são fatores adicionais nas mudanças introduzidas por eles.

Do ponto de vista da manutenção, os relés digitais possuem recursos como ajuste e aferição local, isto é, diretamente em interfaces nos painéis frontais ou traseiros, programas especiais e recursos de auto-monitoramento que reduzem drasticamente o tempo gasto nestas operações. Além disso, é eliminada a necessidade de calibração como nos relés eletromecânicos.

Do ponto de vista da operação do sistema de potência como um todo, as novas possibilidades de aquisição de sinais, registro de eventos, oscilografias e até localização de faltas permitem a correta identificação do tipo de falta e da sua origem e localização, acelerando a implantação de medidas mitigatórias e o restabelecimento do sistema. Devem ser implantadas novas rotinas operacionais para não serem desperdiçadas tais informações.

Além disso, recentemente tem-se discutido muito a aplicação de relés digitais na análise de qualidade de energia do sistema elétrico (5). Em resumo, apesar dos relés digitais possuírem filtros para o tratamento dos sinais e para a sua utilização nos algoritmos de cálculo, pode-se aproveitá-los para registrar os principais eventos de interesse das indústrias, como interrupções momentâneas do fornecimento de energia, curtos-circuitos, sub e sobretensões, e a partir daí realizar um diagnóstico do sistema elétrico de forma rápida e confiável. A grande vantagem desta aplicação é que os relés digitais estão instalados por todo o sistema elétrico e permanecem permanentemente ligados a ele, dispensando a necessidade da aquisição de equipamentos adicionais para análise de energia e contribuindo para a localização rápida dos eventos.

Aqui, mais do que nos outros itens, é exigido das equipes envolvidas uma qualificação superior abrangendo noções de sistemas de potência, de parametrização de relés, de operação de software dedicado e de redes de computadores.

#### **5. Conclusões**

Relés de proteção digitais trazem benefícios significativos em todos os aspectos dos sistemas de potência. Porém eles requerem maior sofisticação das instalações e principalmente uma qualificação diferenciada dos profissionais envolvidos nas várias etapas do projeto até a manutenção destes sistemas.

O uso de relés eletromecânicos não foi abandonado por eles não atenderem aos requisitos de proteção dos sistemas elétricos de potência, mas apenas pela disponibilidade de equipamentos mais sofisticados no mercado. E afinal, em termos de funções de proteção propriamente ditas, os relés digitais não fazem outra coisa senão tentar reproduzir o funcionamento dos eletromecânicos se utilizando de algoritmos matemáticos. Hoje existem funções e facilidades adicionais com a vantagem de prover o comando e monitoramento do sistema elétrico, desde que exista a infra-estrutura necessária para isso.

#### **Bibliografia**

- (1) "Fault Protection with a Digital Computer", Rockefeller, G.D., IEEE Power Apparatus and Systems, 1969.
- (2) "High Speed Distance Relaying using a Digital Computer", Rockefeller, G.D.; Udren, E.A., IEEE Power Apparatus and Systems, 1972.
- (3) "Proteção Digital", Senger, E. C., Apostila do curso ministrado no programa de pós-graduação na Escola Politécnica da USP, 1998
- (4) "Grounding of Computers and Other Similar Sensitive Equipment", Ralph H. Lee, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-23, May/June 1987.
- (5) "Tapping Protective Relays for Power Quality Information", David G. Hart et al., IEEE Computer Applications in Power, Vol. 13, No. 1, January 2000.

## **Currículo Resumido dos Autores**

### **Alexandre S. De Vasconcellos**

Engenheiro eletricitista graduado pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP) em 1994, e mestrando em Sistemas de Potência pela mesma entidade, desenvolveu dentre outras atividades vários estudos de sistemas de proteção para indústrias de diversos setores. Os principais tópicos de interesse são o comportamento dinâmico de sistemas de potência e sistemas de proteção e controle de equipamentos elétricos. É Coordenador de Projetos da área de Sistemas de Potência da FIGENER S/A Engenheiros Associados.

### **José Carlos M. V. Júnior**

Engenheiro eletricitista graduado pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU) em 1996 e Mestre pela Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) em maio de 1999. Os principais tópicos de interesse são simulação digital e automação de sistemas elétricos de potência envolvendo os tópicos de fluxo de carga, curto-circuito, estudo de transitórios eletromecânicos, proteção e seletividade. Engenheiro eletricitista da FIGENER S/A Engenheiros Associados desde agosto de 1999.