

# Aplicações de Relés Microprocessados em Linhas de Transmissão

Joe Mooney  
*Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.*

Apresentado na  
American Public Power Association's Engineering & Operations Workshop  
Salt Lake City, Utah  
25–28 de março de 1996

Traduzido para o português em julho de 2017

# Aplicações de Relés Microprocessados em Linhas de Transmissão

Joe Mooney  
Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.  
Pullman, WA USA

## RESUMO

Por muitos anos, empresas de energia elétrica têm usado relés eletromecânicos para proteção de sistemas de potência. O resultado do uso de relés eletromecânicos tem sido manutenção e execução extensivas do projeto. Ambos, o projeto e a manutenção dos esquemas de proteção usando esses relés, são dispendiosos e consomem muito tempo de trabalho.

Durante os últimos dez anos, relés microprocessados se tornaram um grande sucesso. Eles oferecem muitas vantagens sobre relés eletromecânicos. Esse *paper* compara um esquema típico de proteção de uma linha de transmissão em termos de custo, projeto de engenharia e manutenção. As informações apresentadas nesse *paper* mostram que os relés microprocessados oferecem uma significativa economia no custo, projeto de engenharia e manutenção.

O *paper* conclui mostrando várias aplicações de proteção de linhas de transmissão para os relés microprocessados.

## INTRODUÇÃO

Os relés de proteção desempenham um papel crítico na operação dos sistemas elétricos de potência. Eles são designados para atuar quando condições anormais ocorrem no sistema de potência. Essas condições anormais podem ser curtos circuitos, condições de sobrecarga, e perda de sincronismo do sistema.

Esquemas de proteção elaborados têm sido desenvolvidos para detectar essas diversas condições, usando a técnica de tentativa e erro bem como a experiência na operação do sistema. Os esquemas de proteção têm sido tipicamente constituídos de componentes distintos tais como relés de sobrecorrente, relés de distância, relés auxiliares, e relés de religamento. Todos os equipamentos devem estar conectados entre si, para que se tenha um esquema completo e funcional, o que significa tempo e dinheiro no processo de elaboração, desenvolvimento e instalação do projeto.

Devido ao número de componentes que constituem esses esquemas de proteção, testes detalhados de instalação e programas para a manutenção de rotina devem ser executados, para assegurar que os esquemas estejam funcionando corretamente. Mais uma vez, isto requer um significativo investimento em tempo, dinheiro e potencial humano. Por exemplo, num típico esquema de proteção de distância de linhas de transmissão com zonas de atuação temporizadas, a manutenção deve ser efetuada com periodicidade de um a três anos, para assegurar que o mesmo esteja funcionando dentro dos padrões especificados.

Os relés microprocessados oferecem muitas vantagens sobre os esquemas que utilizam componentes distintos. O esquema total ocupa um menor espaço no painel. O número de componentes é enormemente reduzido. O projeto e a fiação são mais simples e a implementação é menos dispendiosa. Testes de instalação e testes de manutenção podem ser enormemente reduzidos. Os relés microprocessados também oferecem muitas características e outras funções, além das básicas de proteção.

Os relés microprocessados podem ser usados em todas as aplicações de relés eletromecânicos. Os benefícios adicionados por um esquema simples e pela confiabilidade melhorada fazem deles uma opção muito atrativa.

Os relés microprocessados também tornam acessíveis novas aplicações e filosofias de proteção. Nós podemos implementar esquemas de proteção mais flexíveis, reduzir a manutenção, obter mais informações para aumentar o nosso entendimento do sistema de potência, e melhorar a confiabilidade do sistema de proteção; tudo isso sob um custo menor do que com os relés eletromecânicos convencionais.

## **COMPARANDO ESQUEMAS DE PROTEÇÕES ELETROMECÂNICAS E MICROPROCESSADAS**

### **Requisitos de Espaço e Hardware**

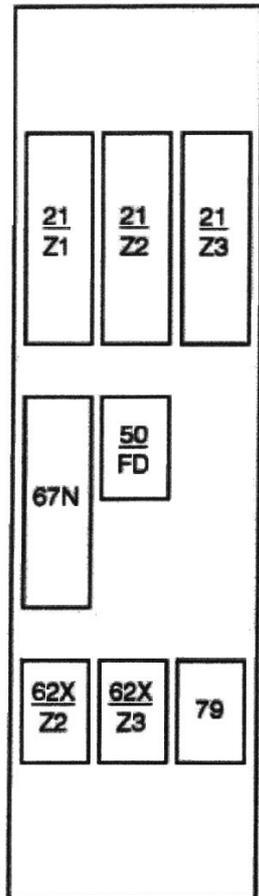
Um típico esquema de distância com três zonas temporizadas consiste de elementos de trip instantâneos, dois níveis de elementos de trip temporizados para faltas envolvendo a fase e um elemento de trip instantâneo, e um elemento de sobrecorrente temporizado para faltas a terra. Para esse exemplo, nós devemos admitir que a proteção de distância com zonas temporizadas utiliza elementos de distância de fase e de sobrecorrente direcional de terra. Faltas envolvendo a fase são detectadas usando três zonas dos relés de distância de fase. Faltas à terra são detectadas usando um relé de sobrecorrente direcional de terra, que inclui um elemento de sobrecorrente temporizado e um elemento de sobrecorrente instantâneo. O esquema de proteção também inclui um religador que efetue somente uma tentativa de religamento, para restabelecimento automático da linha após a falta ter sido eliminada.

O esquema com relés eletromecânicos utiliza relés de distância trifásicos. Esses relés podem cobrir todos os tipos de falta através de um elemento por zona ou todas as três zonas através da combinação dos elementos das fases. Isso depende do fabricante dos relés de distância. Entretanto, em qualquer caso, são necessários três relés de distância. Um temporizador é também requerido para os elementos de retaguarda temporizados. Tipicamente, o retardo é fornecido por temporizadores separados, de modo que se um temporizador falha, o esquema total de distância com zonas temporizadas não é prejudicado. Um único relé de sobrecorrente direcional de terra será usado para a detecção de faltas a terra. Um relé de religamento com somente uma tentativa também deverá ser requerido para o restabelecimento da linha. Um relé de sobrecorrente não direcional será utilizado para supervisionar os relés de distância.

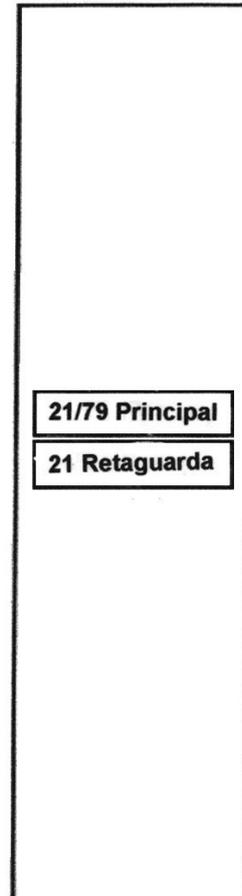
O *layout* do painel de um esquema com relés eletromecânicos é mostrado na Figura 1. Observe que o esquema eletromecânico requer quase todo o espaço contido no painel de 213,36 cm por 48,26 cm.

O esquema microprocessado consistirá de um relé multifunção que forneça as três zonas de uma proteção de distância com zonas temporizadas, três níveis de proteção de sobrecorrente direcional de terra instantânea ou com tempo definido, uma função de sobrecorrente direcional de terra temporizada, e um religador que efetue três tentativas de religamento. O esquema microprocessado também incluirá um relé microprocessado com uma única zona, para retaguarda no caso de falha do relé de distância principal.

A Figura 2 mostra o *layout* do painel para o esquema com relés microprocessados. O espaço necessário para o esquema com relés microprocessados é muito menor do que para o esquema com relés eletromecânicos.



**Figura 1: Layout do Painel de um Esquema Típico com Relés Eletromecânicos**



**Figura 2: Layout do Painel de um Esquema Típico com Relés Microprocessados**

Supondo-se que o custo de todos os relés para o esquema eletromecânico é 1 por unidade (p.u.), o custo do esquema com relés microprocessados é 0,35 p.u.

### **Requisitos do Projeto**

Os circuitos AC e DC do esquema eletromecânico são mais complexos do que os do esquema com relés microprocessados. A Figura 3 mostra um diagrama esquemático AC característico, e a Figura 4 mostra um diagrama esquemático DC característico do esquema com relés eletromecânicos. Cada relé deve ser ligado aos outros relés para desenvolver o esquema de proteção requerido. Os custos do projeto e da instalação podem ser elevados, devido ao número de pontos de conexão e à relativa complexidade de todo o esquema.

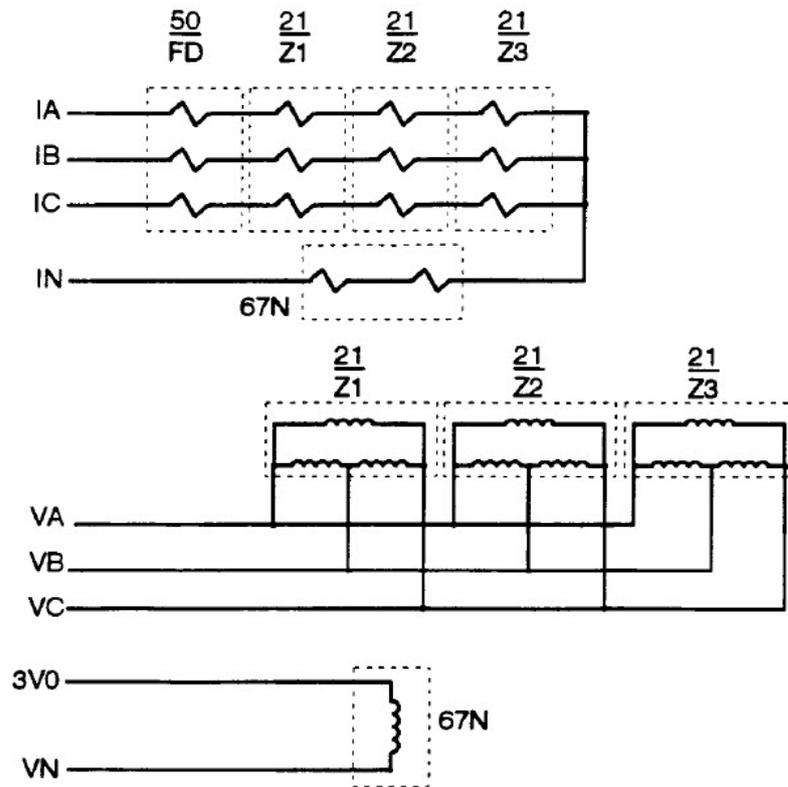


Figura 3: Diagrama Esquemático AC Característico de um Relé Eletromecânico

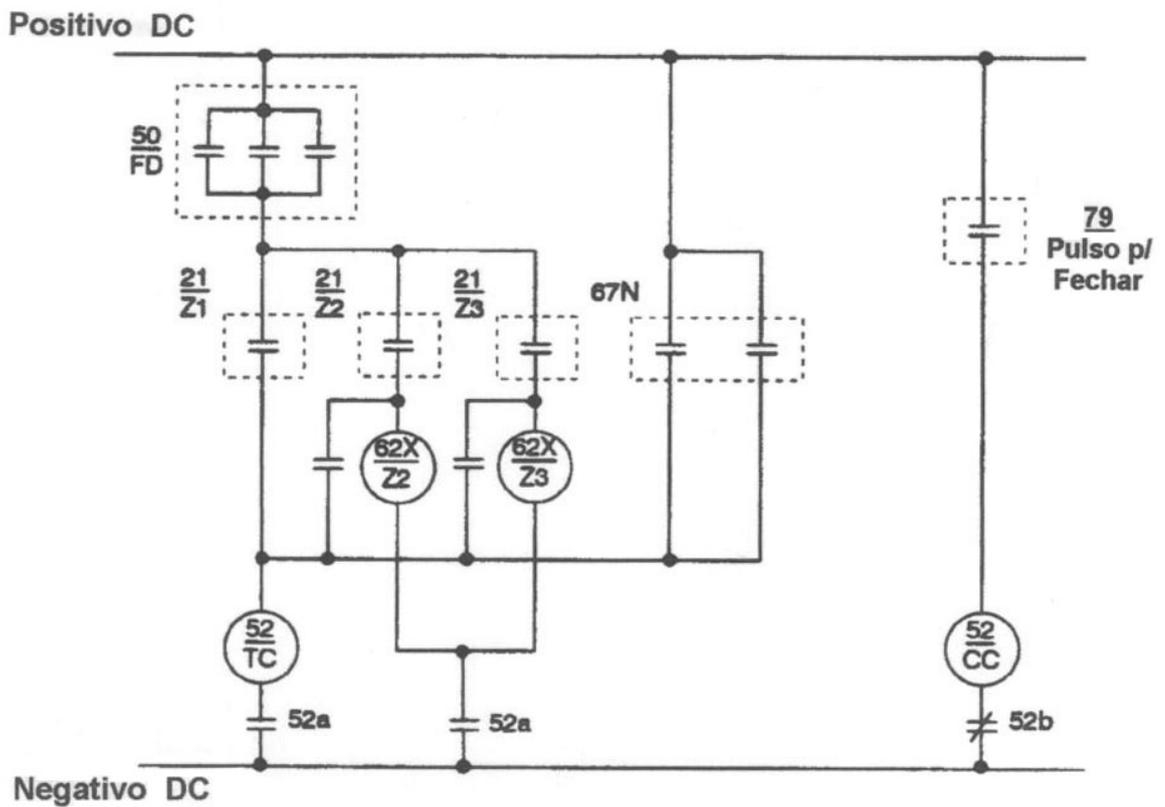


Figura 4: Diagrama Esquemático DC Característico de um Relé Eletromecânico

A Figura 5 e a Figura 6 mostram os circuitos AC e DC de um esquema com relés microprocessados. Observe que mesmo com a redundância de um relé usado para proteção de retaguarda, o número de conexões e a complexidade são muito pequenos. Em consequência, os custos do projeto e da instalação são significativamente reduzidos.

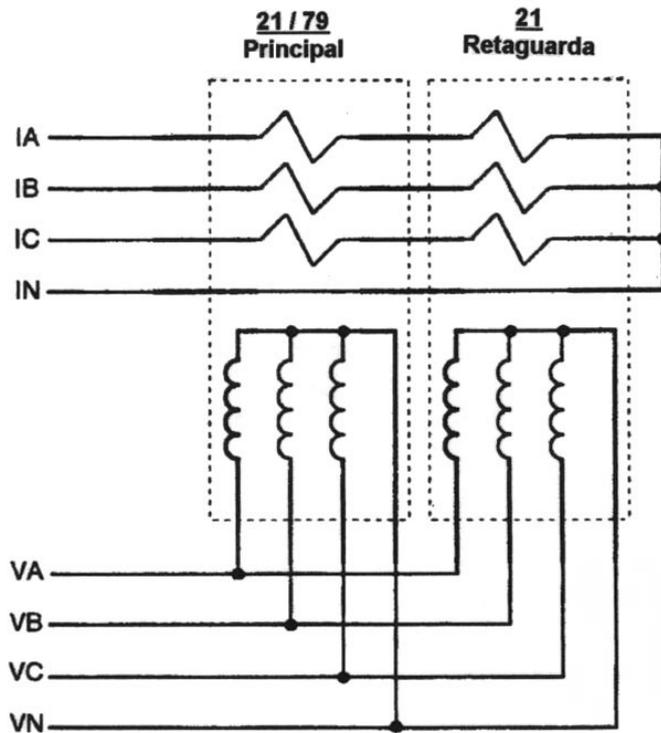


Figura 5: Diagrama Esquemático AC Característico de um Relé Microprocessado

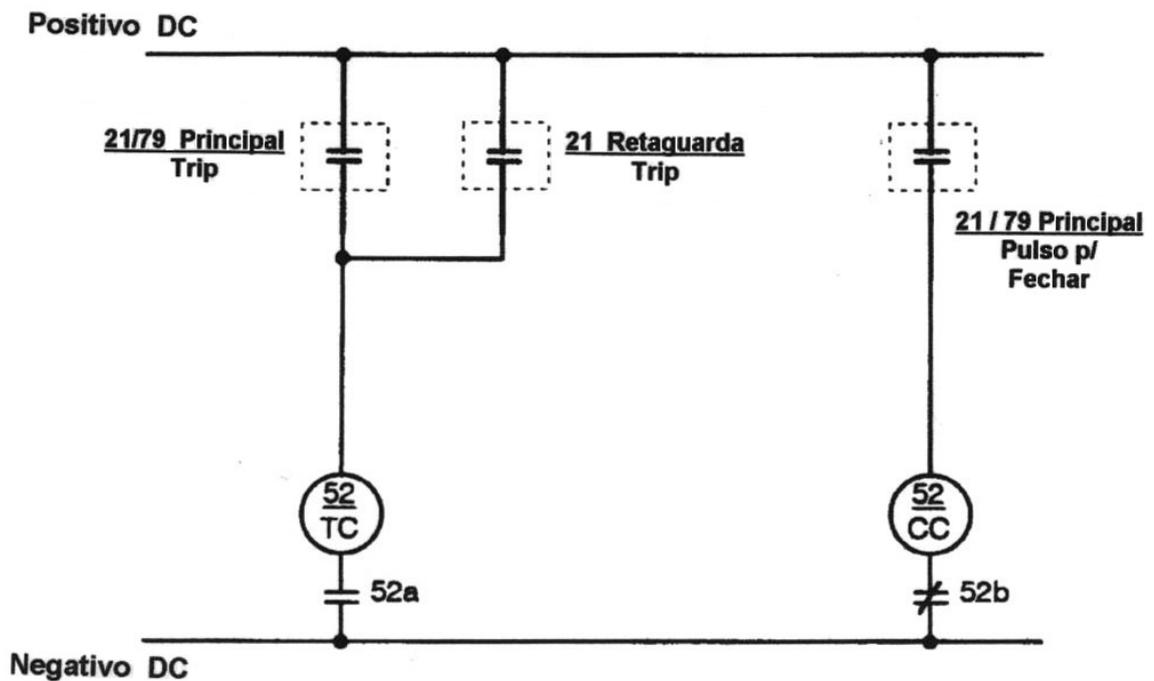


Figura 6: Diagrama Esquemático DC Característico de um Relé Microprocessado

Supondo-se que o custo do projeto e instalação do esquema com relés eletromecânicos é 1 p.u., o custo do projeto e instalação do esquema com relés microprocessados é aproximadamente 0,5 p.u.

### **Testes de Instalação**

Testes de instalação são usados para verificar se os relés estão ajustados corretamente, e se o esquema está executado corretamente para a aplicação projetada. Testes de rotina são realizados para assegurar que os relés estejam funcionando dentro das especificações definidas.

Um esquema executado com relés eletromecânicos requer um grande número de testes durante a instalação, para verificar se todo o esquema está funcionando corretamente. Cada relé deve ser testado e calibrado separadamente.

Para o exemplo do esquema de distância com zonas temporizadas, pelo menos sete relés distintos devem ser testados. O teste de cada relé requer que o mesmo seja conectado a um equipamento de testes, vários ajustes sejam efetuados, e então o relé é testado por uma rotina de testes pré-estabelecida. Se os resultados dos testes no relé estiverem fora dos padrões estabelecidos, o relé tem que ser calibrado. A rotina de calibração pode consumir muito tempo de trabalho.

Após cada relé ter sido testado, devem ser executados testes funcionais no esquema (“trip-checked”), para assegurar que toda a fiação e os circuitos de trip estejam corretos. Muitas vezes, verificar os circuitos de trip em um esquema eletromecânico é uma simples questão de fechar manualmente um contato de saída. Em consequência, a verificação dos circuitos de trip pode ser bem simples. Porém, como são muitos os equipamentos utilizados no esquema, a verificação dos circuitos de trip pode consumir muito tempo e, no caso de um projeto incorreto ou de um erro de fiação, podem ser necessárias muitas horas de testes com o propósito de detectar e corrigir o problema.

Um esquema com relés microprocessados é muito simples de testar e verificar. Um relé microprocessado opera usando um programa de software. A operação das várias funções e lógicas foi completamente verificada e testada pelo fabricante do relé. Em muitos casos, a empresa de energia elétrica também testou o relé para verificar se o mesmo estava de acordo com as especificações apresentadas pelo fabricante. Uma vez que o relé foi completamente testado, o software que define as suas características de operação foi verificado. Logo, não é preciso testar completamente cada relé, admitindo-se que os relés são do mesmo tipo e versão de software.

Os testes de instalação de um relé microprocessado devem ser executados para verificar se os ajustes do mesmo foram parametrizados corretamente. As séries de testes devem ser executadas para confirmar os valores de atuação do relé (“pick up”) nos pontos críticos. Por exemplo, o elemento de distância deve ser testado no ângulo de máximo torque, e em  $\pm 30$  graus do mesmo. Estes pontos de teste verificam os ajustes do elemento de distância. Elementos de sobrecorrente devem também ser testados usando uma rotina de testes muito simples.

A verificação dos circuitos de trip (“trip-check”) usando relés microprocessados é muito simples devido ao fato de que existe um número menor de contatos para checar e menos fiação para verificar. Em muitos casos, um comando através do software pode ser usado para fechar contatos de saída específicos. Usar um comando através de software para fechar os relés de saída é mais simples do que conectar fontes de tensão e corrente de testes no relé para executar as simulações de faltas.

### **Testes de Rotina**

Testes de rotina têm que ser executados em relés eletromecânicos para verificar se eles estão operando dentro dos padrões especificados. Esses testes podem ser efetuados em intervalos de um a três anos para relés de distância, baseando-se na prática da empresa em particular. Os testes de rotina executados em um relé eletromecânico são muito similares àqueles efetuados durante o processo de instalação. Os relés devem ser completamente testados para verificar se todos os componentes internos

estão operando dentro das tolerâncias especificadas. Testes de rotina também confirmam se todos os contatos e circuitos externos estão funcionando corretamente.

A maioria dos relés microprocessados executa autotestes de rotina (“routine self-checks”) para assegurar que os circuitos críticos do relé estejam funcionando corretamente. Dois *papers* anteriores [1] [2] descrevem filosofias de testes de relés microprocessados e a eficácia do autoteste.

Os relés microprocessados executam continuamente as mesmas rotinas do software. Logo, se o relé está funcionando corretamente, os algoritmos do relé irão operar corretamente. A manutenção de rotina num relé microprocessado consiste em verificar se as entradas, as saídas, e o sistema de aquisição de dados estão funcionando corretamente. Se o relé estiver medindo corretamente as correntes e tensões analógicas, e se os resultados dos autotestes mostram que o relé está bom, o relé funcionará corretamente. As únicas outras verificações necessárias são as de verificar se os contatos de saída e os contatos de entradas lógicas estão operando corretamente.

Admitindo-se que o relé microprocessado contenha autotestes suficientes e que um sistema comum de aquisição de dados é usado para a proteção assim como para a medição, a manutenção de rotina pode ser significativamente reduzida. Muitas empresas têm prolongado o ciclo de manutenção de rotina de relés microprocessados, de uma e uma e meia para três vezes o ciclo usado nos relés eletromecânicos.

### **Outras Características dos Relés Microprocessados**

Os relés microprocessados fornecem outras funções que os relés eletromecânicos não têm, como localização da falta, registro dos eventos, funções de medição avançadas e capacidade de controle.

Localização de faltas tem se tornado uma característica padrão em quase todos os relés microprocessados. A informação da localização da falta reduz o tempo de verificação das linhas, quando de ocorrência de faltas permanentes, e também pode ser usada para avaliar as áreas com problemas nas linhas de transmissão.

O registro de eventos fornece dados da operação dos elementos internos do relé e das formas de onda das correntes e tensões no instante de uma ocorrência no sistema. Isto é similar à existência de um registrador de faltas em cada disjuntor onde exista um relé microprocessado instalado. Os dados dos eventos constituem uma valiosa ferramenta na avaliação da performance do relé e do sistema.

O relé microprocessado também fornece um grande número de medidas analógicas como correntes trifásicas, tensões, megawatts, e megavars. Em muitos casos, transdutores analógicos não são necessários. Os dados digitalizados podem ser diretamente interfaceados com o sistema SCADA RTU (Supervisory Control And Data Acquisition Remote Terminal Unit). Você também pode enviar as informações do localizador de faltas para o centro de controle do sistema, para que se efetue o envio de uma equipe para verificações.

## **APLICAÇÕES DOS RELÉS MICROPROCESSADOS**

Os relés microprocessados podem ser usados em todas as aplicações onde relés eletromecânicos são usados. Esta seção apresenta muitas dessas aplicações.

### **Modernização (“Retrofit”) de Esquemas de Relés mais Antigos**

Quando os relés eletromecânicos estiverem falhando ou necessitando de uma manutenção intensiva, sua substituição pode ser economicamente justificada. Os relés microprocessados são perfeitos para substituir sistemas de proteção existentes. O relé microprocessado utiliza muito menos espaço no

painel do que os relés eletromecânicos existentes. Os esquemas e os princípios de operação são quase idênticos. A fiação é simplificada e pode ser facilmente modificada para acomodar o novo relé. O custo da substituição é também muito baixo com relação à substituição de todos ou, em alguns casos, até de um relé eletromecânico.

Uma vez que o relé microprocessado utiliza os mesmos princípios de operação que os relés eletromecânicos, existe a opção de substituir somente um terminal da linha de transmissão. Você pode considerar esta opção quando a linha é conectada a uma outra empresa, ou quando os relés de uma extremidade estão falhando, porém os relés do outro terminal ainda estão bons.

### **Novas Instalações**

Quando da construção de novas subestações ou de linhas de transmissão, é muito fácil a justificativa do uso de relés microprocessados. Eles são muito atrativos no que se refere ao custo e podem ser integrados em qualquer esquema ou filosofia de proteção. Reduzir a fiação do painel e a necessidade de espaço pode também resultar na economia do custo quando da construção de novas subestações.

Em muitos casos, quando novas linhas de transmissão são construídas em subestações existentes, o espaço disponível para o painel é muito limitado. Novamente, uma vez que relés microprocessados aprovacionam um esquema de proteção completo usando muito pouco espaço, eles são perfeitos para esta aplicação.

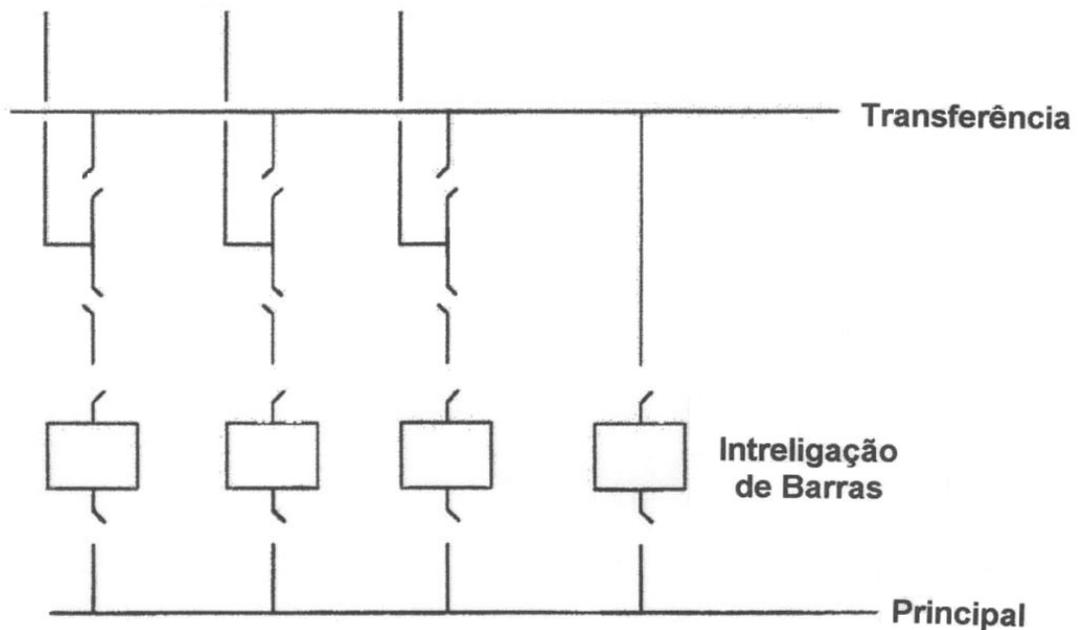
### **Esquemas com Auxílio da Comunicação**

Muitos relés microprocessados incluem um esquema lógico de comunicação. Em muitos casos, os relés incluem toda a lógica requerida para operar um esquema específico com o suporte da comunicação. Isso economiza os custos do projeto e do material, uma vez que relés auxiliares externos não são necessários para a operação do esquema. O relé microprocessado também inclui muito da lógica que estaria aprovacionada no equipamento de comunicação. Utilizar a lógica interna do relé pode reduzir o custo do equipamento de comunicação, uma vez que módulos extras podem não ser necessários.

O relé também oferece uma seleção de diferentes esquemas de abertura usando a comunicação. Isso significa que você pode padronizar um relé para todas as aplicações.

### **Disjuntor Substituto da Linha**

Em muitas aplicações envolvendo tensões menores, não é justificada a aplicação de esquemas de disjuntores múltiplos. Quando o disjuntor é removido para manutenção, é desejado que a linha permaneça em serviço. Em muitos casos, a barra da subestação é configurada de forma a permitir que um disjuntor substituto opere no lugar do disjuntor principal da linha [3]. A Figura 7 mostra um típico arranjo de barras principal e de transferência, onde o disjuntor de interligação de barras (“bus-tie breaker”) pode ser usado como um substituto para os três disjuntores das linhas de transmissão mostrados no diagrama.



**Figura 7: Barra Principal e de Transferência**

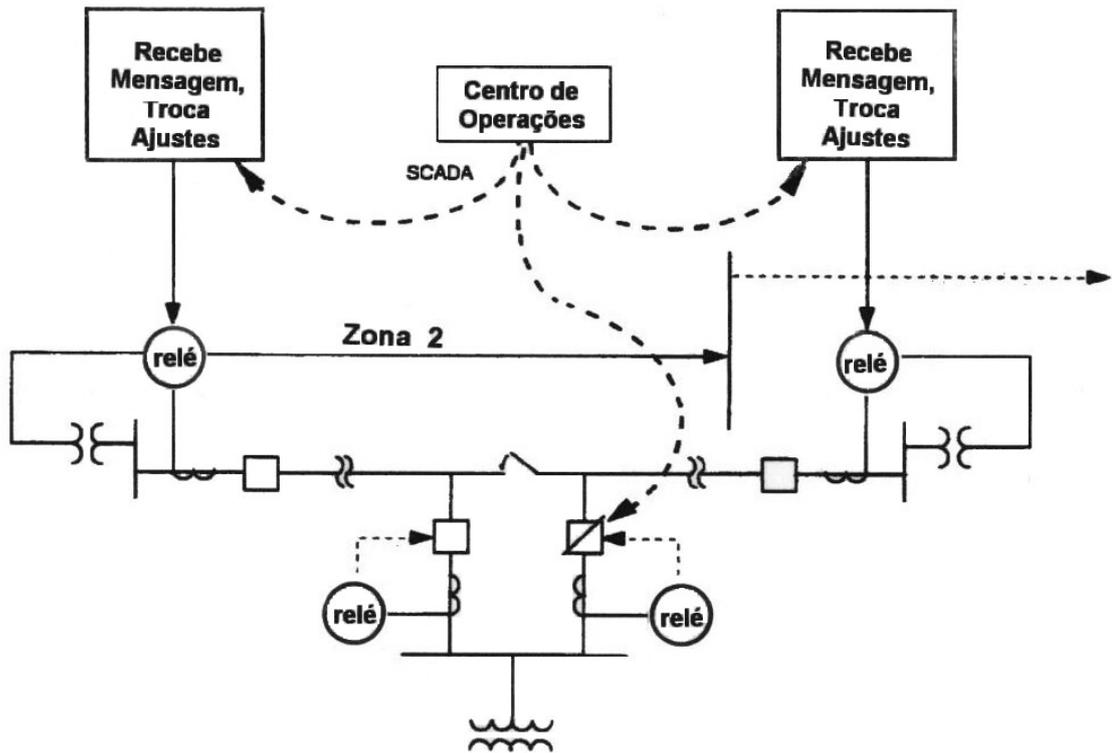
Com relação à Figura 7, parece que relés independentes devem ser usados no disjuntor de interligação de barras para cada linha. Uma outra opção é o uso de um conjunto de relés com ajustes comuns, e trocar a relação da tensão fornecida aos mesmos, usando-se uma chave seletora para a troca da relação [3]. Entretanto, essa chave é cara e nem sempre resulta no melhor ajuste para a linha.

Alguns relés microprocessados oferecem grupos de ajustes múltiplos em um único equipamento. Os relés permitem um número de ajustes independentes para aplicações como, por exemplo, no disjuntor de interligação de barras. A filosofia de grupos de ajustes múltiplos significa que você tem vários relés independentes dentro de um único relé. Portanto, um único relé pode ser aplicado no disjuntor de interligação de barras e cada ajuste de uma única linha pode ser parametrizado no mesmo. A proteção da linha não é comprometida usando o disjuntor de interligação de barras, desde que os ajustes combinem com aqueles dos relés primários da linha.

### **Trocando os Ajustes do Relé Baseando-se na Configuração do Sistema**

Em todos os esquemas de proteção com relés de distância, deve existir um elemento de sobrealcance para proteger quando de faltas na seção da linha que não é coberta pelo elemento de trip instantâneo. Em algumas configurações de linhas, a impedância da linha pode mudar sob certas condições de chaveamento.

A Figura 8 mostra uma linha de transmissão que tem uma estação de distribuição de carga conectada em anel. Normalmente os dois disjuntores da mesma estão fechados. Em algumas situações, um disjuntor pode ser retirado de serviço, e a chave bypass da estação é fechada. A mudança na impedância da linha impede agora que o elemento da Zona 2, na estação de alimentação, cubra toda a seção da linha.



**Figura 8: Alterando os Ajustes do Relé para Acomodar as Mudanças de Configuração**

Com relés que oferecem grupos de ajustes múltiplos, os ajustes podem ser trocados nas estações de alimentação sem o envio de um técnico ou operador. Os ajustes para ambas as configurações da linha são parametrizados em dois grupos de ajustes do relé separados. Sob configurações normais (todos os disjuntores fechados), os relés são selecionados para o Grupo de Ajustes 1. Quando a chave bypass da estação em anel é fechada, os relés nas estações de alimentação mudam para o Grupo de Ajustes 2. A troca dos ajustes pode ser feita através de um comando do centro de operações, ou pode ser feita automaticamente [4].

### **Ampla Aplicação no Sistema**

Os relés microprocessados oferecem lógicas programáveis. A lógica programável permite que o usuário defina a operação do relé, e crie esquemas especiais de proteção. Os relés também oferecem uma enorme variedade de esquemas e elementos de proteção. A flexibilidade oferecida por esses relés permite a sua aplicação em muitos níveis de tensão. Em muitos casos, as empresas têm padronizado um único relé para todas as aplicações em tensões de 69 kV até 500 kV.

### **Análise do Sistema de Potência**

A maioria dos relés microprocessados registra as condições do sistema quando os elementos de proteção operam ou quando da ocorrência de condições definidas pelo usuário. A ferramenta do registro de eventos é valiosa para a análise da performance do relé e do sistema de potência.

Os dados dos eventos devem ser utilizados para avaliar a performance do relé. Rever os dados dos eventos é uma ferramenta valiosa para a manutenção. O registro de eventos mostra os sinais AC e DC que o relé mede durante a perturbação, e também mostra quando o relé fecha o contato de trip do circuito de comando do disjuntor [2].

Analisar os dados dos eventos é mais proveitoso e preciso do que testes simulados, pois o relé está respondendo a uma falta real no sistema. Logo, a verdadeira performance do relé pode ser mais bem avaliada. O registro de eventos pode também mostrar problemas nas entradas e saídas de controle. Analisar os registros de eventos pode também fornecer valiosas informações na condução de se efetuar melhorias em todo o esquema de proteção [5].

## **CONCLUSÃO**

Os relés microprocessados oferecem muitas vantagens e benefícios sobre os relés eletromecânicos.

1. Custos de instalação reduzidos
2. Custo de manutenção reduzido
3. Flexibilidade de aplicação
4. Funções de controle e monitoração aprimoradas

O uso de relés microprocessados tem se tornado muito comum. Muitas empresas estão tirando vantagens das novas características e das inovações apresentadas nos mesmos.

Novos desenvolvimentos nos relés microprocessados oferecem benefícios agregados a uma redução maior nos custos, através da melhoria das características e das funções do relé.

## **REFERÊNCIAS**

1. John J. Kumm, Mark S. Weber, E.O. Schweitzer, III, Daqing Hou, "Philosophies for Testing Protective Relays," 48th Annual Geórgia Tech Protective Relaying Conference, Atlanta, Geórgia, 4-6 de maio, 1994.
2. John J. Kumm, Edmund O. Schweitzer, III, Daqing Hou, "Assessing the Effectiveness of Self-Tests and Other Monitoring Means in Protective Relays," PEA Relay Committee Spring Meeting, Matamoras, Pennsylvania, 25-26 de maio, 1995.
3. Demetrios A. Tziouvaras, William D. Hawbaker, "Novel Applications of a Digital Relay with Multiple Setting Groups," 17th Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, Washington, 23-25 de outubro, 1990.
4. Kenneth C. Behrendt, Michael J. Dood, "Substation Relay Data and Communication", 22nd Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, Washington, 24-26 de outubro, 1995.
5. Jeff Roberts, Edmund O. Schweitzer, III, "Analysis of Event Reports", 16th Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, Washington, 24-26 de outubro, 1989.