

# MELHORE A CONFIABILIDADE DO SISTEMA DE POTÊNCIA USANDO RELÉS DE PROTEÇÃO MULTIFUNÇÃO

---

Armando Guzmán  
Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.  
Pullman, WA 99163

Um sistema de potência confiável mantém as excursões de tensão e frequência dentro de limites aceitáveis sob condições normais e anormais de operação, sem ultrapassar os limites térmicos dos componentes do sistema de potência (linhas, transformadores, geradores, etc.). Os limites típicos de frequência são  $f_{NOM} \pm 0.1$  Hz; os limites típicos de tensão são  $V_{NOM} \pm 5$  %.

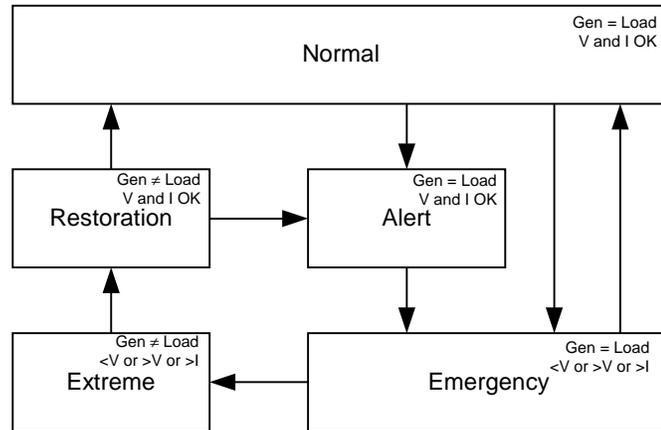
Fink e Carlsen [1] identificaram cinco estados de operação do sistema (Normal, Alerta, Emergência, Extremo e Restabelecimento), conforme ilustrado na Figura 1. O sistema de potência opera no estado normal se as tensões e a frequência do sistema estiverem próximas dos respectivos valores nominais e se houver reserva suficiente de geração e transmissão.

O sistema passa para o estado de alerta quando as margens das reservas de geração e transmissão estiverem reduzidas ou forem eliminadas, ou se existir um problema em um ou diversos componentes do sistema (uma ou várias linhas estão com sobrecarga). No estado de alerta, os controles manual e automático do sistema operam para efetuar o restabelecimento do mesmo, retornando ao estado normal. A monitoração e medição adequadas do sistema de potência são necessárias para detectar rapidamente problemas no sistema e agilizar o restabelecimento do mesmo.

Quando os limites térmicos ou de tensão são ultrapassados, ou quando ocorre uma falta, o sistema passa para o estado de emergência. No caso de uma falta, a detecção e a eliminação da mesma, e o restabelecimento do sistema, devem provocar distúrbios mínimos no sistema. Relés de proteção e disjuntores de alta velocidade são necessários; a execução rápida e apropriada de ações corretivas é essencial para evitar que o sistema passe para o estado extremo. Por exemplo, a proteção de linhas de transmissão de alta velocidade com abertura monopolar e com funções de religamento adaptáveis [2] minimiza o distúrbio no sistema. Se o sistema passar para o estado de emergência sem que tenha ocorrido uma falta no mesmo, o controle automático (regulagem rápida de velocidade, compensação estática de VAR) é desejável para restabelecer a operação do sistema no estado normal ou de alerta, evitando que o mesmo passe para o estado extremo.

Se o sistema não puder manter o equilíbrio geração-carga, ele vai passar para o estado extremo. No estado extremo, o esquema de rejeição de cargas, rejeição de geração ou ilhamento do sistema é ativado para equilibrar a geração e a carga. Os esquemas de rejeição de carga por subfrequência operam para restaurar o equilíbrio carga-geração ao longo do sistema; os esquemas de rejeição de carga por subtensão operam para evitar o colapso de tensão no sistema. Os esquemas com ações corretivas [3] que monitoram os fluxos de potência, a configuração do sistema, os níveis de tensão, etc. atuam dividindo o sistema em ilhas ou rejeitando geração para manter o equilíbrio carga-geração e evitar o colapso total do sistema.

Após a rejeição de cargas e/ou de geração, o sistema passa para o estado de restabelecimento. Nesse estado, ocorre a reinserção automática ou manual da carga e da geração. A Figura 2 identifica as tarefas que os relés de proteção multifunção podem executar para melhorar a confiabilidade do sistema em cada um dos estados de operação do mesmo.



**Figura 1** Diagrama de Fink e Carlsen Mostrando Todos os Estados de Operação Possíveis do Sistema de Potência e as Transições dos Estados Normal/Emergência

## ESTADOS NORMAL E DE ALERTA

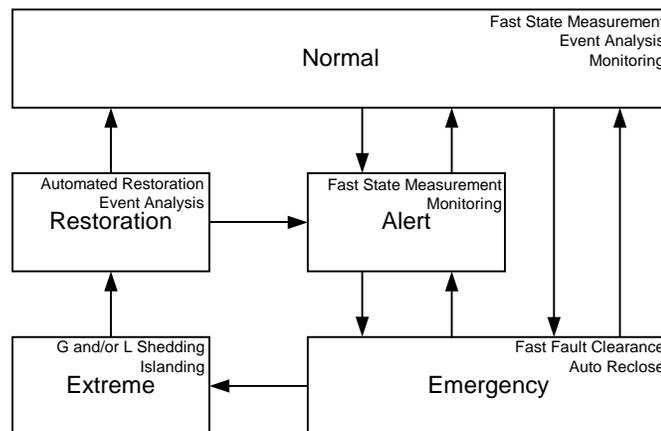
Nos estados normal e de alerta, os relés multifunção propiciam a monitoração do sistema. Esses dispositivos obtêm amostras das correntes e tensões do sistema de potência sincronizadas dentro de 1  $\mu$ s. Podemos usar esse recurso para avaliar o estado do sistema em tempo real ao invés de efetuar tentativas para estimar o estado do sistema usando os sistemas SCADA e os de estimação de estado tradicionais [4]. Os recursos de monitoração adicionais incluem o seguinte:

- A monitoração rápida de linhas abertas detecta rapidamente as alterações na configuração do sistema.
- Modelos térmicos completos de transformadores, motores e linhas [5] [6] indicam as condições de operação perigosas dos componentes do sistema.
- A monitoração dos canais de comunicação em tempo real melhora a disponibilidade do sistema de comunicação e informa a ocorrência de erros na comunicação.
- A definição da região de Transgressão do Limite de Carga (“*Load Encroachment region*”) evita a operação incorreta dos relés de proteção de linhas durante condições de carga pesada.
- O rastreamento da frequência do sistema permite que os relés se adaptem às alterações nas condições de operação do sistema.
- A detecção de perda de sincronismo evita aberturas desnecessárias de linhas de transmissão.
- A monitoração dos disjuntores inclui o seguinte:
  - Alarme de supervisão das bobinas de trip
  - Desgaste dos contatos do disjuntor
  - Tempos de operação elétrica e mecânica
  - Discordância de pólos
  - Corrente interrompida
  - Tempo de funcionamento do motor
  - Tempo de inatividade do disjuntor

- A monitoração da alimentação DC inclui o seguinte:
  - Detecção de terra DC
  - Alarme do nível de tensão
- Detecção de transformador de corrente aberto
- Monitor do transformador de tensão

## ESTADO DE EMERGÊNCIA

No estado de emergência, a execução apropriada de ações corretivas é fundamental para a restauração do sistema, retornando para os estados normal ou de alerta. São necessárias ações que causem mínimos distúrbios no sistema. Os relés multifunção são capazes de detectar faltas no sistema em menos de um ciclo do sistema de potência [7] e restabelecer automaticamente o sistema logo que a falta tiver sido eliminada. Uma vez que as faltas monofásicas constituem a maioria das faltas no sistema de potência, a abertura e religamento monopolares maximizam a capacidade de transmissão de potência da linha através da abertura somente da fase em falta. A abertura e o fechamento de uma única fase minimizam o distúrbio no sistema. O sistema de comunicação rápida [8] diminui os tempos de eliminação da falta e agiliza as ações de controle.



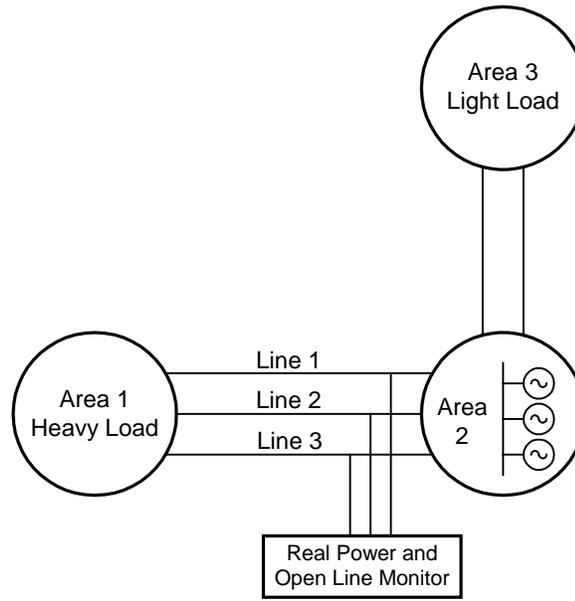
**Figura 2** Tarefas que os Relés de Proteção Multifunção Podem Executar para Melhorar a Confiabilidade do Sistema

## ESTADO EXTREMO

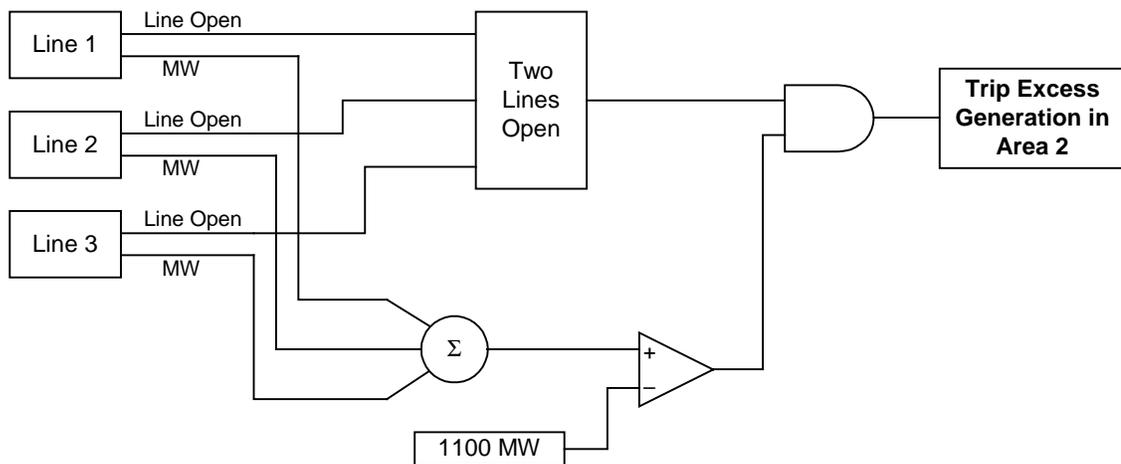
No estado extremo, os esquemas com ações corretivas podem operar para restabelecer o equilíbrio geração-carga. Os relés multifunção possuem recursos lógicos programáveis e elementos de proteção rápidos para a implementação de esquemas complexos com ações corretivas. Leon *et al.* [3] descrevem um esquema com ações corretivas para contingência dupla que evita a operação do sistema em níveis próximos aos de colapso de tensão. Nessa descrição, o sistema de potência é constituído de três áreas (ver Figura 3):

- Área 1: Concentração de cargas pesadas
- Área 2: Concentração de geração elevada
- Área 3: Concentração de cargas leves

As Áreas 1 e 2 estão interconectadas por três links de transmissão; as Áreas 2 e 3 estão interconectadas por dois links de transmissão. O esquema com ações corretivas para evitar o colapso de tensão é ativado quando a potência transmitida da Área 2 para a Área 1 for maior do que 1.100 MW, conforme mostrado na Figura 4. Se duas linhas forem abertas sob essas condições, o esquema rejeita a geração excedente na Área 2 no tempo adequado (em menos de um segundo). Os relés multifunção podem executar essas tarefas para evitar que o sistema entre em colapso.



**Figura 3** A Geração da Área 2 Depende da Capacidade de Transmissão de Potência do Sistema em Tempo Real



**Figura 4** Esquema com Ações Corretivas para Rejeição da Geração Excedente na Área 2 Se Duas Linhas de Transmissão entre a Área 1 e a Área 2 Forem Abertas e a Potência Transmitida da Área 2 para a Área 1 For Maior do que 1.100 MW

## ESTADO DE RESTABELECIMENTO

O restabelecimento rápido do sistema é essencial para minimizar a duração do *blackout*. Esquemas de restabelecimento automático e localização precisa de faltas podem agilizar o processo de restabelecimento. Os relés multifunção incluem recursos de emissão de relatórios que indicam a localização das faltas, o estado dos disjuntores, a operação dos elementos de proteção, etc. Esses relatórios fornecem um sumário do evento que pode ser usado pelo operador do sistema para agilizar o restabelecimento do mesmo. A capacidade de sincronização dos eventos em 1  $\mu$ s facilita e acelera a análise dos eventos.

## CONCLUSÕES

O sistema de potência passa pelos estados de alerta e/ou emergência antes de entrar em colapso. A transição de um estado para o outro não é instantânea; com informações precisas e oportunas, há tempo suficiente para ativar os sistemas de controle apropriados para operar de forma eficaz o sistema de potência. Os relés de proteção multifunção possuem recursos abrangentes de monitoração que podem detectar os estados de alerta e de emergência, minimizar os distúrbios no sistema e evitar o colapso do mesmo.

## REFERÊNCIAS

- [1] L. H. Fink e K. Carlsen, “Operating Under Stress and Strain”, IEEE Spectrum, Vol. 15, pp. 48-53, março de 1978.
- [2] A. Guzmán, J. B. Mooney, G. Benmouyal, N. Fisher, “Transmission Line Protection for Increasing Power System Demands”, 55th Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, Texas, 8-11 de abril de 2002.
- [3] J. Leon, A. Jarquin, E. Mora, E. Godoy, “Reliability Analysis for a Generation Shedding Scheme on the CFE Main Transmission Network”, 29th Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, Washington, 22-24 de outubro de 2002.
- [4] G. Benmouyal, E. O. Schweitzer, A. Guzmán, “Synchronized Phasor Measurement in Protective Relays for Protection, Control, and Analysis of Electric Power Systems”, 29th Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, Washington, 22-24 de outubro de 2002.
- [5] G. Benmouyal, M. Bryson, M. Palmer, “Implementing a Line Thermal Protection Using Programmable Logic”, 30th Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, Washington, 21-23 de outubro de 2003.
- [6] S. E. Zocholl e A. Guzmán, “Thermal Models in Power System Protection”, 26th Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, Washington, 25-28 de outubro de 1999.
- [7] D. Hou, A. Guzmán, J. B. Roberts, “Innovative Solutions Improve Transmission Line Protection”, 24th Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, Washington, 21-23 de outubro de 1997.
- [8] K. C. Behrendt, P.E., “Relay-To-Relay Digital Logic Communication for Line Protection, Monitoring, and Control”, 51st Annual Georgia Tech Protective Relaying Conference, Atlanta, Georgia, 30 de abril a 2 de maio de 1997.

© SEL 2003  
(Todos os direitos reservados)  
20030916