

SISTEMAS DE PROTEÇÃO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO

Cristiano Ramos Lopes

Graduando em Engenharia Elétrica,
Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

Fabício Petruco Inácio

Graduando em Engenharia Elétrica,
Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

Rodrigo Andrade Pereira

Mestre em Letras – UFMS;
Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

Jair Antônio Longo Júnior

Mestre em Engenharia Elétrica – UNESP;
Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

Thiago Raniel

Mestre em Engenharia Elétrica (Automação) – UNESP;
Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

Resumo

Os sistemas de proteção em redes de distribuição visam garantir a proteção dos equipamentos que o compõem e principalmente a segurança das pessoas que estão envolvidas direta ou indiretamente com o sistema. Projetar um sistema confiável não é tarefa fácil, pois ele tem que garantir resposta rápida para qualquer tipo de falta, seja ela transitória ou permanente, de ordem natural como raios, temporais; materiais como falhas na isolação; humanas como vandalismo, abalroamento de postes, etc. Para isso tem que ser feito um estudo criterioso de proteção e garantir que o sistema interromperá a falha o mais próximo do curto, permanecendo isolado apenas o trecho com defeito, e com isso mostrar que o sistema é rápido, eficaz, seletivo e seguro.

PALAVRAS-CHAVE: rede de distribuição; proteção; seletividade; segurança.

1 INTRODUÇÃO

O sistema elétrico brasileiro sofre grandes alterações. Apesar de as hidrelétricas serem o principal gerador de energia elétrica (cerca de 90%) pode-se notar um aumento na geração por meio de fontes alternativas (limpas) como eólica e solar.

Toda essa energia tem que ser transmitida e distribuída aos consumidores finais (indústrias, comércio e residências) e esta fica por conta das distribuidoras de energia elétrica, que tem que garantir que a mesma chegue com qualidade. O que se pode notar é que o perfil dos consumidores vem mudando a cada ano, além de

ter aumentado o poder de aquisição, nota-se que os clientes ficaram exigentes em relação à prestação de serviços recebida pelas concessionárias. Por praticamente tudo funcionar com energia elétrica, cabe as distribuidoras garantir o fornecimento sem interrupção.

Para que isto aconteça é necessário que as empresas responsáveis pelo setor adotem sistemas de proteção eficazes e seletivos que garantam o bom funcionamento do sistema. Como a maioria do sistema de distribuição são de redes aéreas (postes) estas estão a mercê de vários intemperes como descargas como descargas atmosféricas, ventos fortes, vegetação, queimadas, vandalismo entre outras, é inevitável que uma falta (falha no fornecimento) aconteça, para isso que existem as proteções, para garantir que desligue (isole) apenas o trecho com defeito, garantindo proteção e continuidade do resto do sistema. Isso tudo é possível através de dispositivos como chaves fusíveis, seccionadores, religadores, para-raios; e como funcionam, como devem ser instalados e empregados no sistema serão descritos neste artigo.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar os tipos de proteção em redes de distribuição, as vantagens e desvantagens de cada equipamento, os modos de ajustes e operação e a importância de manter o sistema ligado e em caso de interrupção que esta seja rápida e com menor número de clientes possível, garantindo uma melhora no sinal de eficiência e lucro para a distribuidora de energia elétrica.

1.1 Características do Sistema de Distribuição de Energia Elétrica

1.1.1 Níveis de Tensão

As tensões primárias e secundárias das redes de distribuição urbanas ou rurais mais utilizadas são 13,8KV e 34,5KV, 220/127V e 380/220V respectivamente. Com este nível de tensão é possível atender todos os tipos de clientes de modo satisfatório (ELEKTRO, 2014).

1.1.2 Transformadores

1.1.2.1 Transformadores de Potência

Os transformadores de força da fonte têm a ligação triângulo ou estrela aterrada do lado primário, e estrela aterrada do lado secundário (13,8 KV e 34,5 KV).

Tipicamente, encontramos nas subestações de distribuição, transformadores com as seguintes ligações, (i) triângulo (estrela aterrada, em subestações de 88 KV, 69 KV e 34,5 KV); (ii) estrela aterrada (estrela aterrada com terciário em triângulo, em subestações de 138 KV e 34,5 KV) e (iii) estrela aterrada (estrela aterrada, em subestações de 138 KV) (ELEKTRO, 2014).

1.1.2.2 Transformador de Distribuição

Os transformadores de distribuição podem ser trifásico, bifásico e monofásico.

O transformador trifásico é o transformador mais utilizado no sistema de distribuição das distribuidoras de energia elétrica, sendo que na tensão de 13,8 KV, utiliza-se o tipo de ligação triângulo – estrela aterrada e na tensão de 34,5 KV do tipo estrela aterrada – estrela aterrada com núcleo de cinco colunas *shell type*. O transformador bifásico contém um enrolamento no lado primário para ser ligado entre fases. Utilizado apenas na tensão de 13,8 KV. O transformador monofásico contém um enrolamento no lado primário para ser ligado entre fase e terra. É utilizado no atendimento de cargas rurais em sistema monofilar com retorno por terra (MRT) e no sistema elétrico de Ilhabela (ELEKTRO, 2014).

1.1.3 Sistemas de Proteção

Consiste em um conjunto de relés, dispositivos de proteção, sistemas de fontes auxiliares, circuitos de comandos, disjuntores, transformadores de corrente(TCs), transformadores de potência(TPs), dentre outros; que associados tem a finalidade de proteger componentes ou partes do sistema elétrico sob os efeitos das falhas que provocam insuportabilidade termodinâmica, por sobrecorrentes ou sobretensões, transitórias ou permanentes (ELETROPAULO, 2004).

1.1.3.1 Proteção Seletiva

Para este tipo de proteção, o ajuste é feito de tal forma que, para qualquer tipo de falta, ocorra apenas a atuação do dispositivo de proteção mais próximo ao local da falta, isolando o trecho defeituoso. A opção pela utilização de uma proteção com característica seletiva reduz a frequência de interrupções, mas eleva a duração das interrupções (CEMIG, 2017).

1.1.3.2 Proteção Coordenada

Esta proteção é projetada e ajustada com a finalidade de eliminar as faltas transitórias através da operação (religamento automático) do dispositivo de proteção de retaguarda e eliminar as faltas sustentadas (permanentes), através da operação do dispositivo mais próximo ao ponto de falta, garantindo continuidade do circuito ao longo do sistema (CEMIG,2017).

1.1.3.3 Proteção Combinada

A proteção combinada é muito utilizada, pois aproveita as melhores características da proteção seletiva e da proteção coordenada. Esta filosofia é utilizada, prioritariamente, em alimentadores que possuem características urbanas e rurais (CEMIG, 2017).

1.1.4 Chave Fusível/Elo fusível

A chave fusível é um equipamento que tem por finalidade proteger circuitos de média tensão contra sobrecorrentes causadas por curto-circuitos, sobrecargas e outros.

As características predominantes das chaves fusíveis/elos fusíveis utilizados nos sistemas de distribuição são: (i) formadas por uma base, porta fusível e elo fusível; (ii) agem interrompendo o circuito de forma monofásica independente, ou seja, para um defeito fase terra a interrupção será de apenas uma fase; (iii) interrompem o circuito automaticamente, porém não consegue diferenciar a origem do defeito, se é permanente ou transitório; (iv) o porta fusível determina a maior corrente capaz de interromper uma chave fusível, que através gases criados no seu interior acabam decompondo sua fibra isolante; (v) o elo fusível é formado de elemento metálico, que ao ser submetido à uma sobrecorrente, se funde causando o rompimento e (vi) os elos fusíveis mais encontrados nos sistemas de distribuição são do tipo H e K (ELEKTRO,2014).

1.1.5 Seccionalizadores Trifásicos

São equipamentos de interrupção automática que operam em conjunto com religadores dentro de sua zona de proteção. Esta interrupção acontece de acordo com o ajuste de um número predeterminado de operações automáticas do religador provocado por uma falta fase-terra ou entre fases à frente do seccionalizador.

O seccionalizador não interrompe correntes de curto-circuito, tendo capacidade apenas para interromper correntes de carga. Este equipamento não possui curvas características tempo x corrente, interrompem simultaneamente as três fases e, após a interrupção, eles precisam ser rearmados manualmente (ELEKTRO, 2014).

2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo apresentar os tipos de proteção em redes de distribuição, as vantagens e desvantagens de cada equipamento, os modos de ajustes e operação e a importância de manter o sistema ligado e em caso de interrupção que esta seja rápida e com menor número de clientes possível, garantindo isso é sinal de eficiência e lucro para a distribuidora de energia elétrica.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os religadores (RLs) tem dispositivos de proteção que abrem e fecham seus contatos repetidas vezes na ocasião de facha do circuito por ele protegido, tendo como principal função abrir em caso de defeito e religar novamente em um número de operações x tempo predeterminados, e se mantendo fechado (caso defeito for sanado) garantindo continuidade do sistema.

Para fiscalizar a continuidade do sistema elétrico existem dois principais indicadores que são:

- DEC – Duração equivalente por unidade consumidora. Seu cálculo é obtido através da expressão (1).

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^n Ca(i)x(i)}{Cs} \quad (1)$$

Sendo:

n: Número de interrupções no período de observação;

i: Contador do número de interrupções, variando de 1 a n;

Ca(i): Número de consumidores, do conjunto considerado, atingidos na interrupção (i);

t(i) = Tempo de duração da interrupção (i), em horas;

Cs = Número total de consumidores do conjunto considerado.

- FEC – Frequência equivalente por unidade consumidora. Seu cálculo é obtido através da expressão (2).

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^n Ca(i)}{Cs} \quad (2)$$

Sendo:

n: Número de interrupções no período de observação;

i: Contador do número de interrupções, variando de 1 a n;

t(i): Tempo de duração da interrupção (i), em horas;

Cs: Número total de consumidores do conjunto considerado.

Estes são os dois principais indicadores, e tudo o que uma concessionária quer é se manter dentro da meta preestabelecida pela ANEEL e investir em tecnologia e inovação é o que irá garantir esse sucesso, e se tratando de DEC e FEC, os religadores são excelentes na melhora desses indicadores.

Essa comunicação pode ser feita através de modem (onde possuir sinal de celular), fibra óptica, *wifi*, via rádio (nas áreas urbanas) e se for em áreas rurais distantes onde não for possível nenhuma destas, pode ser feita via satélite onde se instala uma antena e um modem de comunicação (está é bem mais cara, mais muito eficiente).

Alguns equipamentos conhecidos como retrofitados (com extinção de arco à óleo) mesmo mais antigos e que seu painel possuía um relé pextron (um dos primeiros relés digitais), já eram capazes de receber comunicação via remota como era o caso dos modelos SEV, KF, ESV entre outros. Todos possuem esta tecnologia (bem mais avançada) e cada concessionária utiliza os modelos que melhor satisfaça suas necessidades e os mais utilizados foram dos fabricantes Schnaider, Cooper, Noja, Artech, etc.

Todo equipamento precisa de alimentação externa para funcionar e esta não pode ser direta da rede em que foram instalados (geralmente em 13,8 KV e 34,5 KV) foi necessário instalar um transformador de potência (TP) que transforma a energia em um nível adequado de consumo (115 V). Todo painel possui bateria para no caso de falta de energia na rede, possa garantir por um período a comunicação e funcionamento do equipamento, podendo receber comandos via local ou remoto.

Toda concessionária possui seu centro de operação da distribuição (COD) responsável por monitorar o sistema o tempo todo, quando um equipamento

desligava, principalmente na área rural o operador via o destino das ocorrências e só assim vinculava o desligamento a um determinado equipamento e após esta confirmação acionava uma equipe para ir até o local.

Com os novos religadores, dotados de supervisão via remota, o desligamento de um equipamento foi identificado no mesmo momento pelo operador, antes da primeira reclamação de falta de energia a equipe mais próxima já foi acionada para o local e além disso o operador recebeu as informações através do relé da causa que originou o desligamento, como por exemplo curto-circuito fase-terra, fase-fase, entre outros.

Outra grande vantagem foi a otimização de recursos onde era necessário menor número de equipes para restabelecer a rede onde os comandos de fechamentos do RL foram feitos pelo próprio operador na central, não necessitando que uma equipe fique parada esperando no equipamento.

Para este estudo de caso foram utilizados como base três alimentadores, um alimentador na área urbana e dois destes na parte rural do sistema, foram mostrados duas maneiras de operação, Self – Healing e COD – Healing.

3.1 Sistema *Self-Healing*

O termo *self-healing* (auto regenerável) consiste na capacidade do equipamento restabelecer de forma automática parte do sistema afetado.

Por exemplo, um bairro alimentado por uma determinada subestação (SE), sendo que na entrada deste bairro possui um RL (contatos fechados) como proteção, no outro lado do bairro existe outro religador (contatos abertos) tendo como fonte outra SE ou outro alimentador. Quando a subestação que alimentava o bairro desligou, o RL abriu os contatos após um intervalo de tempo preestabelecidos em energia na fonte, o outro equipamento que já passou o tempo limite sem energia no seu lado carga, fechou os contatos energizando todo o bairro, tudo isso de forma automática, sem intervenção de ninguém.

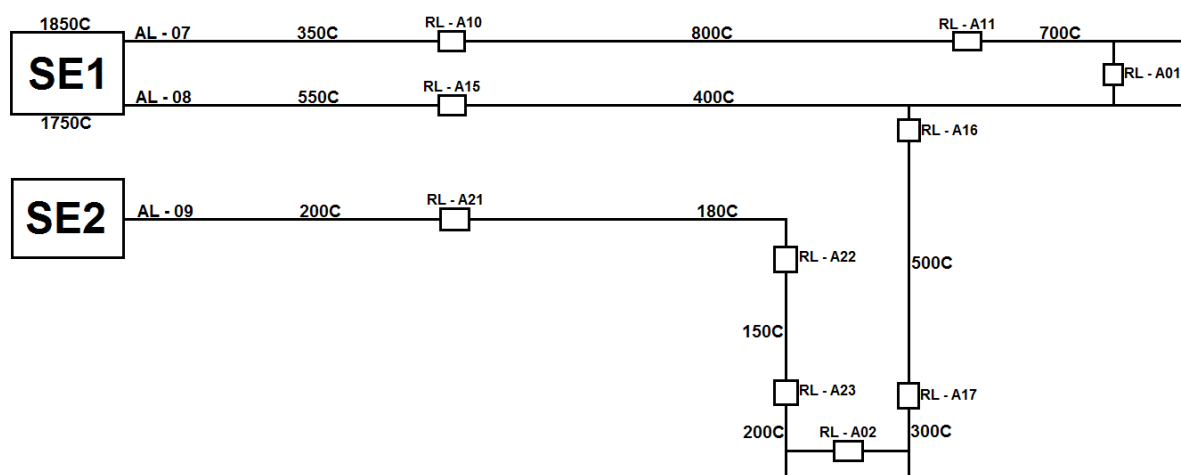
3.2 Sistema *COD-Healing*

Com este sistema foi possível fazer a mesma operação através do COD e que necessitou que o operador verificasse os pontos de manobras e efetuasse tais comandos.

Este modo não foi rápido como o *self-healing*, mas pode ser mais seguro, levando em conta que foi feita uma pré análise antes de ser tomado qualquer decisão.

A Figura 1 representa o diagrama unifilar de duas subestações com saída de três alimentadores demonstrando os pontos de proteção e interligação dos religadores.

Figura 1. Diagrama unifilar dos circuitos SE1 e SE2.



Fonte: Elaborado pelos próprios autores

Analisando o esquema unifilar e as características dos alimentadores, foi possível entender como este sistema pode operar em caso de defeito.

3.3 1º Caso – Defeito na saída do AL – 07

Neste caso, o relé de proteção da SE desligou, deixando 1850 clientes sem energia. Se não houvesse ponto de manobra e nem comunicação via remota com os religadores, o COD teria que entrar em contato com a equipe mais próxima para se deslocarem até o ponto de manobra.

Como se trata de RL com comunicação, imediatamente após o ocorrido o operador abriu o RL – A10 e fechou o RL – A01, energizando 1500 clientes, ficando apenas 350 desligados.

3.4 2º CASO – Defeito à frente do RL – A15

Com este desligamento ficaram apenas 550 consumidores ligados, e para melhorar isto o operador abriu o RL – A16 e fechou o RL – A02, assim energizou

mais 800 clientes, ficando apenas 400 desligados, assim direcionou com mais rapidez a equipe para o trecho com defeito.

3.5 3º Caso – Defeito à frente do RL-A22

De início 350 consumidores ficaram sem energia, bastou abrir o RL – A23 e fechar o RL – A02, assim ficaram 150 clientes sem energia e equipe direcionada ao trecho correto da falta.

Analisando o circuito foi fácil constatar que seja onde for o defeito foi possível manobrar o sistema de forma rápida, eficaz e segura deixando o menor número de consumidores interrompidos.

Para comprovar a eficiência dos religadores foi utilizado a metodologia da matriz SWOT que demonstrou as vantagens do emprego dos religadores nos sistemas de distribuição.

A matriz SWOT é uma ferramenta na qual se permite montar de forma esquemática uma tabela de quatro quadrantes onde serão listadas as forças e fraquezas, as ameaças e oportunidades que podem abater sobre uma empresa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o presente trabalho será demonstrado na Tabela 1 os resultados de estudos através da matriz SWOT.

Tabela 1. Matriz SWOT.

Ambiente Interno	Forças	Fraquezas
	<ul style="list-style-type: none"> • Equipamento confiável • Eficiente • Retorno do investimento • Longa vida útil • Deixa o sistema mais seguro • Opera de várias maneiras 	<ul style="list-style-type: none"> • Investimento alto • Manutenção preventiva
Ambiente Externo	Oportunidades	Ameaças
	<ul style="list-style-type: none"> • Investir em novos equipamentos • Possuir 100% dos equipamentos supervisionados • Criar um sistema totalmente automatizado 	<ul style="list-style-type: none"> • Surgimento de novas tecnologias • Menores custos

Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

Através dos resultados obtidos pela matriz, ficou fácil identificar o quanto foi vantajoso investir neste equipamento, ele se demonstrou confiável para o sistema,

fez operações automáticas garantindo continuidade do sistema em casos de defeitos passageiros, deixou o sistema mais seguro, pode operar de várias maneiras dependendo do ajuste aplicado. Seu investimento pode parecer alto, mais quando se compara os resultados, foi fácil notar o ganho que se têm em questão de deslocamento de equipe, rapidez porque o operador pode tomar uma decisão e efetuar um comando à distância.

Uma rede elétrica de distribuição, sem religadores ou com poucos, deixaria o sistema vulnerável e pouco confiável, pois um simples defeito desligaria muitos clientes e para localização do mesmo demandaria várias equipes e muito mais tempo.

A cada ano que passa novos modelos e religadores mais modernos foram lançados pelos fabricantes, isso não significa que o investimento feito no passado tenha sido em vão, pois mesmo modelos mais antigos se demonstram eficientes, e se algum equipamento não suportou operações mais complexas bastou realocar para outro ponto, como por exemplo sistemas radiais. Independente do seu tempo de uso estando em boas condições os religadores sempre garantiram eficiência e principalmente segurança para o sistema.

5 CONCLUSÃO

Como foi visto neste artigo, a proteção de um sistema de distribuição é composta por vários dispositivos, como por exemplo a chave fusível, que é largamente utilizada, tanto em áreas rurais como urbanas e são indispensáveis mesmo com grande necessidade de manutenção, pois seria inviável um religador para cada ramal e cliente. O que o artigo pretendeu mostrar é que mesmo sendo um investimento alto a aquisição dos religadores automáticos se torna viável e vantajoso, pois o ganho com essa tecnologia é excepcional com vida útil acima de 20 anos, e pelo fato que em caso de defeitos passageiros ele possa restabelecer automaticamente, não sendo necessário deslocamento de equipe até o local, apenas para o rearme, já é outro grande ganho.

Mas, a grande vantagem desse equipamento é a possibilidade de automação e funções que ele suporta, sendo possível fazer manobras e isolar trechos com defeitos de forma automática ou remota (basta comando do operador). Com isso, os religadores tornam o sistema mais robusto e confiável, e se, as

concessionárias buscam menos desligamentos e mais rapidez no restabelecimento, os RLs foram o melhor investimento.

Sendo assim, além da eficiência e rapidez no atendimento, a utilização dos religadores preserva a integridade física da equipe, pois a mesma não precisa se deslocar até o ponto em que houve o seccionamento, eliminando vários riscos de acidentes no SEP (Sistema Elétrico de Potência) e em suas proximidades.

REFERÊNCIAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica – PRODIST – Módulo 8 – Seção 8.2 – QUALIDADE DO SERVIÇO – Indicadores de Continuidade. Disponível em <https://http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo_8-Rev%C3%A3o_10/2f7cb862-e9d7-3295-729a-b619ac6baab9>. Acesso em 21 ago. 2018.

ID – 3.020 – Critérios de Aplicação de Sistemas de Proteção de Redes de Distribuição Aérea em Tensão Primária (ELETROPAULO). Disponível em <<https://www.aeseletropaulo.com.br/padroes-e-normas-tecnicas/manuais-normas-tecnicas-e-de-seguranca/Documents/Padões%20e%20Normas%20Técnicas/ID-3020.pdf>>. Acesso em 22 abr. 2018.

ND – 3.001 – Proteção de Redes de Distribuição Aérea Primária (ELETROPAULO). Disponível em <<https://www.aeseletropaulo.com.br/padroes-e-normas-tecnicas/manuais-normas-tecnicas-e-de-seguranca/Documents/Padões%20e%20Normas%20Técnicas/ND-3001.pdf>>. Acesso em 18 mar. 2018.

ND – 4.15 – Proteção de Sobrecorrentes do Sistema de Distribuição de Média Tensão (CEMIG). Disponível em <https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Clientes/Documents/nd_4_15_000001p.pdf>. Acesso em 18 mar. 2018.

ND – 78 – Proteção de Redes Aéreas de Distribuição (ELEKTRO). Disponível em <<https://www2.elektro.com.br/IsoSystemDoc/Download.aspx?fileID=12218>>. Acesso em 27 abr. 2018