



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**

IVO D'HÁ SANTOS RAÚL

**PROTEÇÃO EM SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS: RELÉS E SUAS
APLICAÇÕES EM SUBESTAÇÕES**

Guaratinguetá
2012

IVO D'HÁ SANTOS RAÚL

PROTEÇÃO EM SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS: RELÉS E SUAS
APLICAÇÕES EM SUBESTAÇÕES

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Rubens Alves Dias

Santos Raúl, Ivo D'há

S23 Proteção em sistemas elétricos industriais: relés e suas aplicações em
7p subestações / Ivo D'Há Santos Raúl – Guaratinguetá : [s.n], 2012.

87 f : il.

Bibliografia: f. 82

Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012.

Orientador: Prof. Dr. Rubens Alves Dias

1. Relés elétricos I. Título

CDU 621.318.5

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

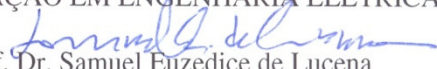
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

**PROTEÇÃO EM SISTEMAS ELÉTRICOS INDÚSTRIAS: RELÉS E SUAS
APLICAÇÕES EM SUBESTAÇÕES**

IVO D'HÁ SANTOS RAÚL

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA”

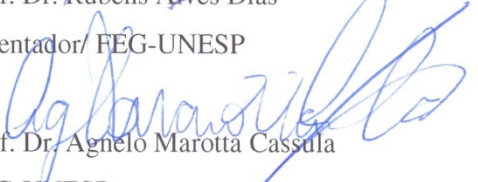
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA


Prof. Dr. Samuel Euzedice de Lucena
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Rubens Alves Dias

Orientador/ FEG-UNESP


Prof. Dr. Agnelo Marotta Cassula

FEG-UNESP


Prof. Dr. José Feliciano Adami

FEG-UNESP

Dezembro de 2012

Em memória de meus pais Nzinga e Cláver, pela
educação e incentivo e de minha irmã Nilda.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, fonte de toda graça e vida. Agradeço pela minha vida, minha família, meus amigos, colegas e por tudo e todos que Ele colocou em minha vida e fizeram parte dessa caminhada;

aos meus pais, *Cláver e Nzinga*, pela educação, incentivo por quanto foi possível,

aos meus irmãos (*Navita, Nilda, Nireidy, Yahvé e Kajy*),

a Minha “Mboa” *Anabela Goreth Ndesiafela Hilinganye*, pela companhia, paciência, atenção, dedicação e compreensão principalmente durante essa trajetória.

aos meus Ndengues “*Beba, Saddy e Q.nya*”, fontes de inspiração,

ao meu caríssimo orientador *Prof. Dr. Rubens Alves Dias*, pela paciência principalmente, por me incentivar e oferecer a oportunidade de realizar esse trabalho.

ao *Prof. Dr. Agnelo Marotta Cassula*, pela confiança, incentivo, amizade e puxões de orelha, em um dos momentos mais difíceis da minha vida, que sem os quais não seria possível este acontecimento.

a Caríssima *Prof. Dr.ª Paloma da Silva*, pela ajuda, amizade e orientação quando da minha chegada no Brasil

aos membro da bancada *Prof. Dr. Agnelo Marotta Cassula* e *Prof. Dr. José Feliciano Adami*, por permitirem e aceitarem avaliar esta obra que retrata minha vida acadêmica.

aos meus amigos, *Aderito da Purificação, José Munguengue, Edilson Oletu Hilinganye, Francisco Katengue, D. Bela*, que sem a ajuda eu já mais estaria aqui,

a minha madrinha *Ana Paula Inês Luiz Ndala Fernando*, pela ajuda incondicional.

aos meus queridos amigos do G-9 (*Aristides “cabeça” da Silva, Fabio Chaves de “Kaxinde”, Denery Mafuca, Nilton Moçambique, Nilton Chitanga, “Z’mmas” José Manuel Antônio Matheus, José Lenda e Roger Claudio “Mangalhas”*) que de certa forma foram importantes para minha formação,

ao convênio *FESA*, pela oportunidade de ter uma formação,

a *ESSO*, por me fornecer a bolsa para formação,

á *Alcelétrica Materiais Elétricos Ltda*, em particular na pessoa do *Sr. Alcir de Sousa Pedro*, pelos dados utilizados no estudo de caso e principalmente pelo apoio material.

aos colegas da *Alfabetização da provincial da Huila*,

a todos colegas e funcionários da faculdade de engenharia de *Guaratinguetá*,

a todos Professores da *UNESP- de Guaratinguetá* em especial do Departamento de *Engenharia Elétrica*, o meu muito obrigado.

“Nosso medo mais profundo não é que sejamos inadequados. Nosso medo mais profundo é que sejamos poderosos demais. É nossa sabedoria, não nossa ignorância, o que mais nos apavora. Perguntamo-nos: 'Quem sou eu para ser brilhante, belo, talentoso, fabuloso?' Na verdade, por que você não seria? Você é um filho de Deus. Seu medo não serve ao mundo. Não há nada de iluminado em se diminuir para que outras pessoas não se sintam inseguras perto de você. Nascemos para expressar a glória de Deus que há em nós. Ela não está em apenas alguns de nós; está em todas as pessoas. E quando deixamos que essa nossa luz brilhe, inconscientemente permitimos que outras pessoas façam o mesmo. Quando nos libertamos de nosso medo, nossa presença automaticamente liberta as outras pessoas.”

Nelson Mandela

SANTOS RAÚL, I. D. **Proteção em instalações elétricas industriais: Relés e suas aplicações em subestações.** 2012. 87f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

RESUMO

As instalações elétricas em indústrias envolvem correntes e tensões consideradas elevadas. Por outro lado é comum o aparecimento de falhas elétricas, originadas por erro humano, defeitos nos equipamentos elétricos ou envelhecimento da instalação elétrica. Essas falhas são variadas, as que têm maior índice de ocorrência e causam muitos danos às instalações elétricas são sobrecorrentes e sobretensões. Por esse motivo existe a necessidade de se projetar um sistema capaz de detectar e minimizar os efeitos causados pelas falhas elétricas nas instalações indústrias. Os sistemas de proteção elétrica em indústrias surgem como uma alternativa de se controlar as grandezas tensão e corrente. Um equipamento capaz de proteger as instalações elétricas de sobrecorrentes e sobretensões indesejadas é o relé. Projetados com base nas funções dos relés, os sistemas de proteção são uma ferramenta indispensável para qualquer subestação industrial. Porém, o projeto de tais sistemas se torna cada vez mais complexo, devido ao desenvolvimento tecnológico. Os equipamentos elétricos não evoluem na mesma velocidade que os dispositivos de proteção (relés), fazendo com se torne indispensável o conhecimento da integração de tecnologias.

PALAVRA-CHAVE: Proteção, Subestação, Relés, Aplicações.

SANTOS RAÚL, I.D. **Protection in Electrical Industrial Installations: Relay and Substation Application.** 2012. 87f. Graduate Work (Graduate in Eletrical Engineering) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

ABSTRACT

Electrical installations in industries involving high currents and voltages considered. On the other side is the common appearance of electrical failures, caused by human error, defects in electrical equipment or electrical installation aging itself. These failures are varied, those with the highest rate of occurrence and cause much damage to electrical installations, are overcurrent and overvoltage. Therefore there is a need to project a system that can detect and minimize possible effects caused by faults in electrical installations industries. Protection systems in electric industries emerge as an alternative to control especially voltage and current magnitudes. Engineered based on the functions of the relays, protection systems are an indispensable tool for any industrial substation. But the project of such systems becomes increasingly more complex, due to technological development. Electrical equipment not develop at the same speed that the protective devices (relays), making it indispensable knowledge of integration of technologies.

KEYWORDS: Protection, Substation, Relay, Applications

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Barramento simples.....	26
Figura 3.2 – Barramento simples seccionado.....	26
Figura 3.3 – Barramento com um disjuntor e meio.....	27
Figura 3.4 – Barramento duplo com um disjuntor.....	28
Figura 3.5 – Barra principal e transferência.....	29
Figura 3.6 – Arquitetura do relé digital.....	35
Figura 3.7 – Relé de indução tipo disco.....	39
Figura 3.8 – Conjugado desenvolvido no disco do relé.....	39
Figura 3.9 – Conjugado máximo do relé.....	41
Figura 3.10 – Curva de tempo definido do relé.....	48
Figura 3.11 – Tempo inverso do relé.....	49
Figura 3.12 – Famílias de curvas de tempo inverso.....	50
Figura 4.1 – Diagrama unifilar da subestação em questão.....	55
Figura 4.2 – Diagrama unifilar esquematizado da subestação.....	56
Figura 4.3 – Vista frontal do relé URPE 7104.....	58
Figura 4.4 – Relé eletromecânico CO-9 da Westinghouse.....	60
Figura 4.5 – Curva de tempo muito inverso relé digital.....	68
Figura 4.6 – Família de curvas muito inversa relé eletromecânico.....	73
Figura 4.7 – Coordenograma de fase dos relés eletromecânicos.....	77
Figura 4.8 – Coordenograma de neutro dos relés eletromecânicos.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Corrente Nominal de Acordo com as Faixas.....	44
Tabela 4.1 – Características do Relé.....	56
Tabela 4.2 – Valores Calculados para o Ajuste.....	68
Tabela 4.3 – Derivação do Relé.....	69
Tabela 4.4 – Característica da Unidade Instantânea.....	70
Tabela 4.5 – Dados para o Ajuste do Relé para R2.....	72
Tabela 4.6 – Dados para o Ajuste do Relé para R3.....	75

SUMÁRIO

1	PROTEÇÃO EM SUBESTAÇÕES INDUSTRIAIS.....	10
1.1	Desenvolvimento do trabalho.....	10
2	SISTEMAS DE PROTEÇÃO EM SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS: GENERALIDADES.....	12
2.1	Relés Numéricos – Sistemas <i>experts</i> em proteção de sistemas elétricos industriais.....	13
2.2	Lógica <i>fuzzy</i> na proteção de subestações elétricas de potências.....	14
2.3	Redes neurais para diagnóstico de falhas em subestação dos sistemas de potência....	15
2.4	Sistema de vigilância remota de vídeo para subestações (RVSS).....	15
2.5	Proteção e controle via <i>ethernet</i>	16
2.6	Lógica fuzzy em sistemas de proteção de subestações elétricas industriais.....	17
2.7	Utilização mensagens <i>goose</i> para funções seletividade lógica.....	18
2.8	Estimativa de secção de faltas utilizando algoritmos de otimização imune.....	18
2.9	Automatizações das subestações elétricas industriais: Norma IEC 61850.....	19
2.10	Dispositivos e técnicas convencionais de proteção de subestações elétrica.....	20
3	SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS: CONCEITOS GERAIS.....	22
3.1	Classificações das subestações elétricas.....	22
3.2	Topologias convencionais de uma subestação.....	25
3.3	Equipamentos de uma subestação.....	29
3.4	Tipos de falta em subestações industriais.....	30
3.5	Classificação dos relés de proteção.....	31
3.6	Algumas funções dos relés segundo a norma ASA.....	38
3.7	Relés de proteção princípio de funcionamento.....	38
3.7.1	Relés de sobrecorrente (50-51).....	43
3.7.2	Relé diferencial de corrente (87).....	51
3.7.3	Outros relés.....	51
3.9	Coordenação e seletividade.....	53
4	ESTUDO DO CASO: SELETIVIDADE NA PROTEÇÃO DE UMA SUBESTAÇÃO ELÉTRICA INDUSTRIAL.....	55
4.1	Apresentação do estudo do caso.....	55
4.2	Descrições dos relés.....	56
4.2.1	Relé Pextron URPE 7104.....	56
4.2.2	Ajuste nos relés eletromecânicos.....	59

4.3	Conceituação de seletividade.....	61
4.4	Ajustes dos relés.....	61
4.4.1	Ajuste do relé R1.....	61
4.4.2	Ajuste do relé eletromecânico.....	68
4.4.3	Ajuste relé R2.....	68
4.4.4	Ajuste relé R3 eletromecânico.....	73
4.4.5	Coordenograma dos relés (gráficos).....	76
5	CONCLUSÃO.....	77
6	REFERÊNCIAS.....	79

1. PROTEÇÃO EM SUBESTAÇÕES INDUSTRIAIS

Nas instalações elétricas industriais existem vários pontos que requerem significativa atenção em função dos recursos materiais e humanos envolvidos, dentre os quais encontram-se as subestações. A proteção de circuitos e equipamentos depende da coordenação e seletividade dos relés, dos quais, destacam-se as funções de sobrecarga e curto circuito, são apresentados tanto do ponto de vista conceitual quanto operacional.

Os sistemas de proteção elétricos são sistemas constituídos com equipamentos e dispositivos, tais como, relés, disjuntores, transformadores de correntes e potenciais, fusíveis, chaves seccionadoras e religadores. Esses equipamentos têm como objetivo detectar e proteger as instalações elétricas contra anomalias ou qualquer outra falha.

As características operacionais da subestação elétrica são semelhantes às subestações existentes nas grandes indústrias brasileiras, por esse motivo, o estudo realizado permite estender os benefícios obtidos a futuros projetos de sistemas de proteção elétrica que poderão ser desenvolvido na área industrial, o trabalho tem o intuito de colaborar e levar informações úteis às pessoas envolvidas com o projeto de sistemas de proteção, uma vez que é uma ferramenta indispensável para qualquer área que lida com energia elétrica.

1.1 Desenvolvimento do trabalho

O foco do trabalho encontra-se na proposta de se desenvolver uma maneira aplicativa de se entender a operação do relé de proteção em sistemas elétricos, contextualizado através das funções de sobrecarga e curto circuito. Inicialmente, no capítulo 1, são apresentados os objetivos e justificativas do trabalho, no capítulo 2 foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os sistemas de proteção elétrica, fazendo uma busca sobre os estudos e conhecimentos específicos que vem sendo desenvolvidos no Brasil e em outros países de modo a contribuir para o complexo mundo da proteção em sistemas de potência. Também é abordado um assunto, considerado uma ciência por muitos autores, que é a modernização das subestações elétricas industriais, que esta ligada diretamente com a modernização dos sistemas de proteção elétrica em subestações industriais.

Na sequência, capítulo 3, é feita uma conceituação do conteúdo a ser utilizado. Aqui se apresenta os dispositivos estudados e suas características principais. Faz-se uma abordagem dos componentes do sistema de proteção. Também se faz um resumo das topologias de subestações, apresentando algumas características e os equipamentos que a compõem.

No capítulo 4, apresentam-se os cálculos de ajustes dos relés eletromecânicos e digitais. Nesse capítulo, apresentam-se simplesmente os cálculos para os ajustes dos relés eletromagnéticos e digitais, a escolha das curvas de operação. Por último faz-se um breve comentário sobre a inserção dos dados de ajuste nos dois tipos de relé.

No capítulo 5, é feita algumas considerações sobre a importância do presente trabalho. São feitas algumas considerações e advertências do cuidado que deve se ter ao quando se trabalha com a energia elétrica, a necessidade e importância dos sistemas de proteção elétrica em subestações.

2 SISTEMAS DE PROTEÇÃO EM SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS: GENERALIDADES.

Em sistemas elétricos industriais é comum o aparecimento de falhas elétricas. Estas falhas podem ser originadas por erro humano, defeitos nos equipamentos elétricos, sobrecarga nos equipamentos elétricos, envelhecimento do material elétrico, ausência de manutenção preventiva nos equipamentos e materiais elétricos ou causas externas.

A má operação de um equipamento, dispositivo ou qualquer deficiência no sistema elétrico pode provocar danos, que vão desde um acidente de rotina, prejuízo na produção, danificação da instalação elétrica ou mesmo a perda de vidas humanas. Por este motivo, existe a necessidade de se projetar um sistema capaz de proteger e prever possíveis irregularidades nas instalações elétricas.

A proteção de subestações elétricas no passado era feita com base em relés eletromecânicos. Com desenvolvimento da eletrônica surgiram os relés de estados sólido (estáticos) fabricados através de componentes discretos, transístores, resistências e capacitores. Com a invenção dos microprocessadores começaram a surgir os primeiros relés digitais, onde os princípios de medição saíram de analógicos para digitais.

No final da década de 1960 foi introduzida a tecnologia digital para proteção de sistemas elétricos de potência. Significou o início de uma era marcada por um grande desenvolvimento de algoritmos aplicados na proteção de sistemas elétricos, desde a geração até a distribuição. Mas, este período teve uma estagnação, porque os microprocessadores não haviam alcançado o estágio necessário, principalmente nos aspectos referente à capacidade de computação, velocidade e custo. Na década de 1990, atingiram um nível que foi decisivo para o desenvolvimento dos relés digitais (JUNIOR, 2009).

A seguir apresenta-se um resumo da evolução dos dispositivos de proteção eletromecânicos para os digitais (JUNIOR, 2009).

- 1880 Proteção através de fusíveis;
- 1890 Relé de sobrecorrente com disco de indução;
- 1920 Relé de sobrecorrente diferencial;
- 1923 Relé de impedância com disco de indução;
- 1928 Relés de impedância direcional com disco de indução;
- 1930 Relé de impedância de alta velocidade, esquema com 3 zonas;
- 1933 Relé de reatância e *mho*, esquema com 3 zonas;
- 1944 Esquema *carrier*;

- 1956 Comparador de fase utilizando transistores;
- 1965 Comparador de fase para característica quadrilateral;
- 1966 Relé de distância quadrilateral com 3 zonas;
- 1969 Proposta de utilização de computador para proteção de linha;
- 1979 Relé polifásico utilizando circuitos lógicos (flip-flop);
- 1990 Difusão dos relés digitais numéricos;
- 2000 Popularização dos relés microprocessados e Redução do uso das tecnologias eletromecânica e estática.

No contexto geral, a proteção em sistemas elétricos de potência, tem registrado grandes avanços, não só na evolução dos dispositivos de proteção e na seletividade, mas principalmente nas variadas técnicas e metodologias utilizadas, o que vem mudando a metodologia de execução dos projetos e a concepção dos sistemas de proteção.

2.1 Relés Numéricos - sistemas *experts* em proteção de sistemas elétricos industriais.

Sistemas *experts* são sistemas que utilizam conhecimento humano, adquirido a partir de um computador, para resolver problemas que normalmente requerem a experiência humana. É uma parte do vasto campo de Inteligência Artificial (ARONSON, 2003).

Os relés que estão associados a microprocessadores e trabalho com números representando valores instantâneos de sinais de tensão, corrente, frequência e fator de potência, são chamados relés numéricos, relés digitais, relés computarizados, ou relés microprocessados (PANWAR; KHANDELWAL, 2012). Os sistemas *experts* oferecem um potencial para melhorar a operação do sistema de proteção da subestação, na identificação de situações complexas que acontecem. Por exemplo, como uma avaria na rede de transmissão ou inoperação de um equipamento da subestação elétrica, podendo assim determinar a ação necessária em tempo suficiente para impedir danos maiores no sistema elétrico de potência. A confiabilidade e a seletividade dos relés de proteção descrevem a capacidade do relé para identificar eventos e operar adequadamente. A confiabilidade e seletividade de relés de proteção eram limitadas no passado, por métodos convencionais e limitações da tecnologia. Com as aplicações dos microprocessadores e o desenvolvimento paralelo de sistemas *experts*, obteve-se uma significativa mudança nos dispositivos, principalmente quanto ao tempo de resposta, para implementar sistemas de proteção que possam analisar os dados mais complexos e manter o alto grau de confiabilidade. Estas características implicam que os circuitos e sistemas que são protegidos pelos novos modelos de relés podem ser operados com

maior capacidade de carga, maior eficiência e confiabilidade. No entanto, um relé que implementa um sistema *expert* pode ser programado de tal forma que reconheça quando mudar a função de *relaying* para um algoritmo operacional extremamente rápido (KEZUNOVIC; WATSON; RUSSEL, 1990).

2.2 Lógica *fuzzy* na proteção de subestações elétricas de potências.

Nas duas últimas décadas têm surgido grandes avanços na aplicação de tecnologias de inteligência artificial em sistemas *experts*, aplicados em sistemas de proteção proporcionaram maior confiabilidade e eficiência para o sistema, devido a sua capacidade elevada na detecção de falhas e rápidas respostas.

A detecção de faltas em sistemas de potência é um dos principais objetivos da aplicação dos sistemas *experts*. Utilizando lógica *fuzzy* para diagnosticar falhas que podem ocorrer em uma rede de transmissão e nas subestações elétricas industriais.

O sistema tem a capacidade de identificar várias falhas que ocorrem em diversas subestações da rede de transmissão usando lógica *fuzzy*. O sistema pode diagnosticar todas as falhas em de frações de segundo, mesmo nos casos mais complexos. A utilização de lógica *fuzzy* demonstrou um alto desempenho na detecção de falhas nos sistemas elétricos com tempos de respostas muito pequenos (LEE et al. 2000).

Ainda segundo Lee et al. (2000), no que diz respeito á proteção de subestações elétricas industriais, no geral, o desempenho de sistemas *experts* utilizando lógica *fuzzy*, é avaliado concentrando-se em três aspectos importantes: confiabilidade, generalidade e eficiência. Um diagnóstico de uma falha numa subestação industrial pode ser facilmente aplicado em outras que têm a mesma estrutura, sem modificar a “regra-base”. Isto independentemente do número de transformadores, alimentadores de distribuição ou qualquer outro dispositivo de proteção. Uma das principais vantagens da utilização de lógica *fuzzy* em vez de algoritmos dedutivos e numéricos é que a lógica *fuzzy* é fiel a estas três características, o que não se verifica com os algoritmos dedutivos e numéricos, principalmente no que concerne a generalidade, mesmo para subestações com estruturas semelhantes, pois dependem do número de equipamentos e dispositivos. Na lógica *fuzzy*, as funcionalidades dos dispositivos de proteção são classificadas em quatro categorias: operação correta, falsa operação, operação incorreta, e nenhuma operação. A detecção de uma falsa ou a não operação de um relé pode ser determinada com base no pressuposto de que uma ou mais falhas foram detectadas. Porém a possibilidade de não operação do relé é compensada pela operação do disjuntor disparado

pelo relé, e a possibilidade de não funcionamento de um disjuntor é suportada pela operação do *backup* do correspondente relé de proteção.

2.3 Redes neurais para diagnóstico de falhas em subestação dos sistemas de potência

Nos centros de controle de sistemas de potência se tem aplicado um número significativo de alarmes para comunicar falhas ou condições anormais aos dispositivos de proteção. É necessário fazer uma análise correta nos alarmes para identificar o problema e restaurar o sistema o mais rápido possível. Atualmente nos centros modernos de controle são instalados acima de 10 mil alarmes.

Segundo Ranaweera (1994), a grande quantidade de alarmes instalados faz com que uma perturbação mínima no sistema provoque uma sobrecarga operacional no dispositivo, isto conduz a tempos de respostas mais lentos e a possibilidades de ações incorretas e stress dos operadores. As redes neurais são utilizadas para proporcionar uma melhor análise dos alarmes nos centros de controle, identificando as falhas e também devido a sua capacidade de aprender a partir dos exemplos anteriores sem grandes esforços extras. Também devido à capacidade de funcionar com entradas ruidosas (mau funcionamento dos relés e outros dispositivos), capacidade de identificar falhas em um curto espaço de tempo e a facilidade com que podem ser adaptados para outros sistemas de utilitários com estruturas semelhantes.

2.4 Sistema de vigilância remota de vídeo para subestação (RVSS)

Um sistema de proteção RVSS, pode fornecer imagem em tempo real dos equipamentos do sistema elétrico de potência em uma subestação industrial e melhorar a confiabilidade e a segurança operacional da subestação.

O RVSS tem se tornado um item indispensável na construção de subestações. Desde que em que a técnica de comunicação, evento de subestação generalizado orientado a objeto (GOOSE) é utilizada como serviço principal de transferência de dados em uma subestação digitalizada. Para o controle dos dispositivos primários de bloqueio e ligação entre os dispositivos secundários, o *GOOSE* serve para realizar o controle de ligação entre o RVSS e o relé de proteção. A informação de uma ação de proteção é obtida por análise da mensagem *GOOSE* em rede de comunicação da subestação e o sistema de vídeo é então acionado, (SU; WANG, 2010).

O RVSS tornou-se progressivamente o item necessário na construção de subestações elétricas. A informação por meio de vídeo em tempo real de todo o equipamento na subestação pode ser recolhida por RVSS e enviada para o centro de controle remoto. A confiabilidade e a segurança operacional da subestação elétrica podem ser melhoradas com a utilização de um sistema de RVSS, uma vez que pode registrar acidentes e informações importantes que podem ajudar na referida análise. Uma das utilizações mais importantes do sistema RVSS é a ligação do sistema de controle do Sistema de Automação de Subestação (SAS) (SU; WANG, 2010).

2.5 Proteção e controle via ethernet

As subestações elétricas garantem a operação correta e a estabilidade das grandes redes dos sistemas de potência geograficamente distribuídas. Delas dependem fundamentalmente, a confiabilidade e o bom funcionamento dos sistemas de geração, transmissão e distribuição. O Sistema de Automação de Subestação (SAS) é dedicado à monitorização controle e proteção de todos os equipamentos, disjuntores, transformadores, barramentos da subestação e todos alimentadores associados. A comunicação dentro SAS é crucial, porque as operações em uma subestação exigem um tempo determinado para troca de dados.

Segundo Ali e Thomas (2006), a implementação de um protocolo ethernet é feita em função de tempo-crítico, relacionado com o controle, monitorização e proteção da SAS. Principalmente no caso de subestações elétricas de concessionárias de energia elétrica que desejam uma rede de comunicação de dados com uma certa velocidade. A justificação para o uso de protocolo ethernet são as características de desempenho da rede Ethernet, que é adequada em termos da manipulação do pior caso de tráfego de dados da subestação, rede de Ethernet baseada em arquiteturas específica.

Nota-se que em grande parte das pesquisas que vêm sendo realizadas, é predominante a automação das subestações que é caracterizada pela digitalização das subestações elétricas. Isto que faz com que os sistemas de proteção de subestações elétricas de indústrias se tornem cada vez mais inteligíveis e eficientes. O protocolo ethernet é caracterizado pela alta velocidade, que conseqüentemente traria uma melhora nas subestações elétricas nos tempos de respostas, bem como na intercomunicação entre os dispositivos de proteção de uma subestação.

No Brasil, devido à complexidade dos sistemas elétricos de potência, surgiu à necessidade de dispositivos de proteção cada vez mais fiéis aos projetos de sistemas de proteção com lógicas operacionais mais eficientes que possam atender a necessidade do sistema elétrico. A necessidade de proteção do sistema elétrico industrial, a modernização das subestações, o surgimento de novas tecnologias utilizadas para o aperfeiçoamento de dispositivos de proteção, foi decisivo para uma série de estudos nas metodologias de projetos e técnicas de execução.

Pesquisas tem se realizado no sentido de melhorar os dispositivos de proteção, destinados à proteção de equipamentos elétricos em subestações industriais. Partindo dos métodos convencionais e adotando o processo de digitalização das subestações, com novos métodos e técnicas utilizando relés cada vez mais sofisticados.

2.6 Lógica fuzzy aplicada em sistemas de proteção de transformadores em subestações elétricas.

Os transformadores de potência são equipamentos essenciais para a operação e a integração do sistema elétrico. Tal condição implica na necessidade de sistemas de monitoramento e proteção eficientes. Estes devem ser capazes de detectar as ocorrências de defeitos e/ou condições anormais que podem comprometer o funcionamento adequado ou a continuidade no fornecimento da energia elétrica. Dentre as diversas proteções elétricas aplicáveis aos transformadores de potência, a função diferencial percentual de corrente é a mais utilizada, uma vez que permite a discriminação entre faltas internas de outras condições operativas, além da tomada de decisões de abertura de um disjuntor ou disjuntores associados. Normalmente, os relés diferenciais percentuais baseiam-se no princípio de comparação das correntes nos terminais do equipamento protegido com limiares predeterminados. Assim, quando existe uma ocorrência de defeito interno, os disjuntores associados são acionados e o equipamento é desconectado do sistema de suprimento. Todavia, tal procedimento pode ser indevidamente sensibilizado por algumas situações de operação, oferecendo então, algumas limitações em sua aplicação. São utilizados Algoritmos para a proteção diferencial de transformadores de potência baseado na lógica fuzzy, que permite um aprimoramento na análise das correntes passantes nestes equipamentos e consequentemente uma melhora no desempenho e um aumento no percentual do enrolamento protegido pelo sistema (BARBOSA et al., 2011).

2.7 Utilização de mensagens *goose* para funções de seletividade lógica.

A melhora das condições operativas da subestação elétrica, com a utilização de automação nas manobras que antes eram executadas pelos operadores, resultou no aumento da confiabilidade, da segurança e da disponibilidade do sistema e uma grande diminuição no tempo de interrupção.

A seletividade lógica, num sistema de proteção é um esquema de comunicação entre relés de sobrecorrente instalados em cascata em diferentes pontos de um mesmo circuito. Com o intuito de possibilitar a utilização de suas unidades instantâneas de proteção sem perda da seletividade, diminuindo assim os tempos dos *steps* (passo) de proteção e, por conseguinte, o tempo de eliminação de faltas. Na prática, esta função traduz-se no envio de um sinal discreto de um determinado relé sensibilizado por uma corrente de falta a um relé a montante, o qual também está sentindo uma falta suficiente para sensibilizar qualquer uma de suas unidades instantâneas. O relé a montante tão logo percebe através de uma entrada lógica, que o relé a jusante está sensibilizado para atuação, retardará em um tempo suficiente (milissegundos) o trip (disparo) de suas funções instantâneas. A redução no tempo de eliminação da falta contribui para a qualidade de energia, pois reduz o tempo de diminuição da tensão e também contribui para um aumento na vida útil dos equipamentos em uma subestação, especialmente dos transformadores (ZENIRATO, 2008).

2.8 Estimativa da seção de falta utilizando algoritmos de otimização imune

Um sistema de controle de supervisão e aquisição de dado (SCADA) é um sistema que possibilita a manipulação de informações remotamente, inclusão de interfaces gráficas para os usuários conectados em rede, verificar alarmes, gravar informações em banco de dados, gerar relatórios e principalmente, trocar informações entre diversos softwares e componentes (BOARETTO, 2005).

Utilizando uma metodologia baseada no modelo de Programação Binária Irrestrita (UBP) e um Algoritmo imune de otimização (IA) é possível estimar seções de falhas em sistemas elétricos de potência. O modelo de UBP é formulado usando o conjunto que abrange a teoria parcimoniosa para associar os alarmes das funções do relé protetor informado pelo SCADA e do esperado estado das funções do relé de proteção. O IA é desenvolvido para minimizar o modelo UBP e estimar as seções de falhas de maneira confiável e o mais rápida possível. Os parâmetros de controle do IA são ajustados para atingir a máxima eficiência

computacional e redução do tempo de processamento (LEÃO; PEREIRA; MANTOVANI, 2010). Os resultados mostraram que esta técnica apresenta melhorias para estimar seções de falhas em centrais e subestações do sistema elétrico de potência em tempo real.

2.9 Automações das subestações elétricas industriais: Norma IEC 61850

As técnicas e metodologias de proteção de subestações elétricas industriais referidas até ao momento, são técnicas que requerem e envolvem as subestações elétricas na adesão da digitalização dos dispositivos de proteção, em detrimento dos métodos e técnica baseados em tecnologia analógica, caminhando para a automação das subestações elétricas indústrias. De maneira geral, as subestações elétricas de potência, passam por um processo de transformação, isto é, uma migração no que concerne a tecnologia utilizada. A digitalização das subestações elétricas de potência já é uma realidade, consequência da automação das centrais de controle e proteção das subestações elétricas de potência.

A automação das subestações elétricas está abrigada pela norma IEC 61850 que no futuro introduzirá tecnologias de comunicação comerciais no sistema de automação de subestações elétricas. Ela está na base para novas aplicações de suporte, não só na operação, mas também na manutenção das subestações. As novas tecnologias utilizadas nos equipamentos primários exigem novas interfaces. Isto vai permitir uma redução significativa de fios de cobre nas subestações e melhorar no diagnóstico de equipamentos (ANDERSSON; BRUNNER; ENGLER, 2002).

A IEC 61850 é uma norma internacional destinada a aplicações em geração, transmissão e distribuição de energia, monitoramento e controle distribuído ponto-a-ponto. Diferentemente dos protocolos SCADA anteriores, esse protocolo é rico na semântica e padronização de modelo de dados. Adicionalmente aos tipos básicos dados para pontos comuns, os modelos do protocolo são orientados por objeto e também definem como os dados são organizados em agrupamentos funcionais sob uma rigorosa padronização de nomenclatura. O IEC 61850 vai muito além das funcionalidades básicas do SCADA e também, fornece um padrão de comunicação que permite intertravamentos de alta velocidade incluindo sinais de disparo e transmissão de sinais digitais de transformadores de correntes (TC) e transformadores de potenciais (TP) em redes Ethernet. Proporciona redução de custos de integração e de ciclo de vida permitindo, desta forma, que os usuários se concentrem em estruturas que suportem dispositivos e aplicações de última geração, o que antes não era possível com o uso de protocolos proprietários. Pode ser considerado por seus usuários como

um protocolo tanto para comunicações internas quanto externas à subestação. O escopo de aplicabilidade inclui geração e troca de informações entre geração e subestações. Os usuários podem, inclusive, considerar o IEC 61850 para aplicações em sistemas de geração distribuídas, por exemplo, hidroelétricas, geração distribuída e energia eólica, uma vez que a norma foi recentemente estendida para cobrir tais sistemas. Este protocolo está sendo mundialmente utilizado devido a significativa redução de custos e benefícios que seu uso proporciona, (ON TIME AUTOMAÇÃO E PROTEÇÃO, 2010).

2.10 Dispositivos e técnicas convencionais de proteção de subestações elétricas industriais.

Com o grande avanço da tecnologia e o desenvolvimento de novos softwares aplicados aos relés digitais, tornando-os cada vez mais rápidos, eficientes e de certa forma multifuncionais, fez com que a substituição de dispositivos eletromecânicos e analógicos por dispositivos digitais, nas subestações elétricas, fosse uma necessidade.

Mostrando inúmeras vantagens, a proteção de subestações utilizando dispositivos digitais reflete sem dúvida, uma grande inovação no ramo tecnológico e científico que veio melhorar sobremaneira a proteção das subestações elétricas em indústrias. A modernização das subestações implicou na melhoria do desempenho do sistema elétrico como um todo através da substituição dos equipamentos “obsoletos”, como relés eletromecânicos, para relés multifunção microprocessados (SOUTO; FONSECA, 2007). É fato, já que possibilitou o monitoramento detalhado de grandezas elétricas, devido a melhoras significativas registradas no sistema de supervisão e controle do sistema de proteção de subestações, viabilizando a supervisão em tempo real de cada dispositivo, detecção da fonte e causa das falhas. Isto, utilizando tecnologias, software e hardware, consagrados no mercado da automação de subestações elétricas. Além dos já citados, a digitalização de subestações elétricas trás também benefícios como: custo do equipamento normalmente menor em relação os relés eletromecânicos e analógicos; capacidade de auto-diagnose, com consequência na melhora do aumento de confiabilidade; compatibilidade com tecnologia digital existente na subestação; flexibilidade funcional, agregando funções como medições, controle e supervisão; sistema de proteção adaptativo, cujos parâmetros de atuação modificam-se automaticamente com as condições do sistema elétrico; oscilografia de funções intermediárias, tais como: partidas de proteção, ciclo de religamento e muitas outras; redução de homem / hora na

manutenção periódica da proteção; proteção não segregada, minimizando o número de pontos e elementos sujeitos a falha; flexibilidade na elaboração de lógicas de parametrização.

Além das inúmeras vantagens dos dispositivos digitais que, num olhar pouco atento poderiam fazer crer que os dispositivos eletromecânicos e analógicos estariam obsoletos, mostram que tal conclusão seria um equívoco. Os dispositivos eletromecânicos, longe de serem rápidos e precisos em relação aos digitais, ainda impõem sua permanência, mesmo em subestações mais modernas. Além de serem robustos e podendo ser instalados em ambientes rústicos, sua aplicabilidade reside na desvantagem da aplicação dos dispositivos digitais: a grande quantidade de parâmetros para ajustes nos dispositivos digitais; sub-aproveitamento das potencialidades oferecida pelos relés de proteção digitais; a dificuldade de controle no banco de dados, devido aos inúmeros ajustes; a necessidade de treinamento especializado para cada tipo de relé e outros dispositivos digitais; instalação em ambiente com controle de umidade e temperatura; frequentes mudanças de *firmware*, métodos utilizados para corrigir erros nos algoritmos; dificuldade de assistência técnica do fabricante sobre os algoritmos, principalmente durante ocorrências indevidas de funções novas de proteção, como exemplo diferencial de linha, fechamento sobre falta (SOFT), oscilação de potência, perda de sincronismo e algoritmos com finalidade de detectar faltas mais rápidas; fazem com que os dispositivos eletromecânicos ainda permaneçam e por certo tempo.

3. SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS: CONCEITOS GERAIS

Nos sistemas elétricos de potência são necessárias subestações para a mudança de tensão (para cima ou pra baixo) entre sistema de geração, transmissão, distribuição primária e secundária e para fornecer comutação para controle da rede, tanto sob condições de avaria como normais. Em casos, nos quais não ocorre mudança de tensão a subestação é usualmente denominada de estação de comutação. Nas secções que se seguem far-se-á uma abordagem detalhada sobre os equipamentos de uma subestação bem como de seus dispositivos de proteção.

O local destinado à instalação do conjunto de equipamentos e acessórios elétricos com a função de transformação de potência elétrica denomina-se subestação elétrica (CESP, 1986).

3.1 Classificação das subestações elétricas.

Quanto ao tipo de construção, as subestações são classificadas da seguinte forma:

a) Subestações ao ar livre

São construídas ao ar livre, muitas vezes denominada por subestações universais, construída principalmente em áreas rurais. São, no entanto, sujeitas a poluição atmosférica, avarias devidas ao mau tempo (por exemplo, relâmpagos), vandalismo e problemas paisagístico. Podem ser montadas ao nível do solo ou em postes (SAY, 2004). A montagem em solo é considerada apropriada para todos os níveis de tensão e regime.

Ainda segundo Say (2004) os itens principais da instalação são montados em fundações separadas com barramentos ou isoladores, apoiados em pilares de concreto ou de aço. Para simplificar a manutenção do equipamento, todos os itens devem estar tão próximos da superfície quanto à segurança o permitir, deve existir iluminação fixa ou portátil para trabalho noturno. O local deve ser rodeado por uma cerca intransponível. A paisagem pode ser melhorada localizando a subestação num vale ou encobrindo entre as árvores. Para tensões menores que 33 kV é economicamente mais prático a utilização de cabos subterrâneos de forma não evidente. Exceto em subestações muito pequenas, é utilizada uma construção convencional de tijolo para guardar o equipamento de proteção, controle e para os meios de manutenção. Por vezes, também para os aparelhos de distribuição de baixa tensão.

A montagem em postes para subestações de distribuição secundária em áreas rurais dispensa a cerca e talvez a dificuldade de saída e assim minimiza o custo. Os transformadores

de até 50 kVA e 11 kV podem ser montados num poste simples e de até 200 kVA, 33 kV, num poste em H ou numa pequena plataforma.

b) Subestações abrigadas

Usuais em áreas urbanas, geralmente por causa da menor área exigida. De acordo com construção podem ser do tipo convencional, como parte da construção, compactas e em poços.

As construções convencionais podem ter de dois ou mesmo três andares, para economizar espaço são de tijolo ou concreto sólido. Em subestações grandes deve ser feita uma provisão para a drenagem do óleo do transformador, montando um pavimento com ranhuras com uma ligeira inclinação.

As subestações compactas e subterrâneas são utilizadas principalmente para poupar espaço e despesas por isso são de pequenas dimensões. Os transformadores e aparelhos de distribuição podem ser montados em caixas de folha de aço resistente ao mau tempo, sendo o acesso para manutenção obtido por painéis laterais removíveis. Embora montadas em fundações preparadas, às próprias unidades são construídas na fábrica de modo que é possível uma rápida instalação e a remoção pode ser facilmente efetuada.

Quando a maresia é um fato, como em regiões litorâneas, a melhor escolha é a subestação ao ar livre com um leve cercado. Neste tipo de subestações os transformadores também podem ser montados ao ar livre. Como parte da construção, é muitas vezes conveniente localizar uma subestação como parte integrante de uma grande construção tal como um bloco de escritórios. Um dos principais requisitos é que, a presença da subestação não aumente o risco de fogo na construção. Devem-se providenciar paredes resistentes ao fogo, à ventilação da subestação deve ser totalmente separada da construção é conveniente, sempre que possível, ter disponível equipamento automático de extinção do fogo. Também são construídas em poços, geralmente, são utilizados em áreas densamente habitadas, onde locais disponíveis são extremamente difíceis de encontrar e o espaço deve ser obtido em subsolos ou em câmeras de tijolos ou concreto situados abaixo do pavimento da rua. Deve-se dar atenção a possibilidades de enchentes. A ventilação é feita através de gradeamentos ou tubos respiradouros. É pratica recente, enterrar o transformador diretamente no solo, com o pilar de distribuição de baixa tensão acima do nível do solo. Existe a possibilidade de problemas térmicos, mas pode se limitar a elevação da temperatura do tanque cerca de 50 °C para um transformador de 15 kVA.

c) Subestação blindada

Os equipamentos são completamente protegidos e isolados em óleo, em SF6 ou ar comprimido.

Segundo Say (2004), as subestações devem ser planejadas obedecendo aos seguintes requisitos:

Segurança pessoal: deve obedecer a regulamentação do Ministério do trabalho, para fábricas e oficinas e à Regulamentação do abastecimento de eletricidade.

Precauções contra o fogo: isolamento da instalação por paredes à prova de fogo, saídas para fugas de óleo, equipamento auto extingüível (manual automático) deve ser providenciados em todas, exceto em subestações menores de distribuição secundária.

- Manutenção: acesso fácil e seguro à instalação deve ser possíveis sem a necessidade de parada prolongada.
- Instalação: prever a possibilidade de conexão com futuras usinas.
- Extensão: deve ser usualmente prevista.
- Flexibilidade de comutação: máxima flexibilidade, consistente com o custo razoável deve ser fornecida.
- Avarias: deve ser tomado cuidado para se salvaguardar contra possíveis avarias especialmente em barramentos.
- Paisagens- alterações na paisagem devem ser evitadas e o ruído do transformador reduzido mínimo.

É de ressaltar que com exceção de grandes subestações principais, a instalação não possui pessoal permanente. Os disjuntores são operados a partir de uma sala de controle remoto ou por um técnico visitante.

Classificação quanto à função.

- a) Subestação de manobra: permite manobrar partes do sistema, inserindo e retirando-as de serviço em um mesmo nível de tensão.
- b) Subestação elevadora: localizam-se nas saídas das usinas geradoras e elevam a tensão para os níveis de transmissão e subtransmissão

- c) Subestação abaixadora: localizada nas periferias da cidade, tem a função de diminuir os níveis de tensão evitando problemas como radiofrequência, campos magnéticos intensos e faixas de passagens muito largas.
- d) Subestação de distribuição: tem como finalidade diminuir a tensão para os níveis de distribuição primária (13,8 kV– 34,5 kV).
- e) Subestação reguladora: utilizada para regular a tensão através do emprego de compensação por reatores, capacitores e compensadores estáticos.
- f) Subestação conversora: converte de CC para CA e vice versa.

Classificação quanto ao nível de tensão.

- a) Subestação de alta tensão (AT): abaixo de 230 kV.
- b) Subestação de extra-alta tensão (EAT): acima de 230 kV.

Classificação quanto à forma de operação.

- a) Subestação com operador:
- b) Semiautomática:
- c) Automatizadas: São supervisionadas a distância por computadores e SCADA.

3.2 Topologias convencionais de uma subestação.

As principais ligações em subestações elétricas devem ser feitas de tal modo que possam fornecer um máximo de flexibilidade de operação, mínimo de parada do circuito devido à avaria no barramento, facilidades para a manutenção com o mínimo de desenergização do circuito e posicionamento apropriado dos transformadores de tensão e corrente para mecanismos de proteção.

Segundo Say (2004), algumas topologias convencionais para montagens de subestações são:

a) Barramento duplo simples:

É o tipo de montagem mais comum, proporciona a máxima flexibilidade e facilidade na mudança para qualquer um dos esquemas de montagem. Muito utilizada quando se requer alta confiabilidade para cargas essenciais, como em hospitais, hotéis ou indústrias. Mas em contrapartida é de alto custo.

b) Barramento simples ou singelo:

Barata em relação às outras topologias, muito comum em pequenas e médias instalações, mas a sua manutenção interrompe todos os circuitos e não existe flexibilidade na comutação. Pode ser melhorada seccionando os barramentos por meio de um ou mais disjuntores de seção coletora, também ligando os extremos de uma barra em secções para formar um barramento em anel, uma de suas desvantagens é a baixa confiabilidade. A figura 3.1, ilustra o esquema de montagem barramento simples.

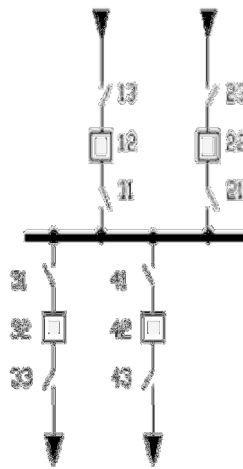


Figura 3.1 – Barramento simples (Mamede filho, 2011).

a) Barramento simples seccionado:

Oferece uma maior continuidade de fornecimento de energia, em caso de falhas na barra são desligados somente os consumidores ligados a ela, flexíveis para manobras e manutenção. Na figura 3.2 é mostrado o barramento seccionado, cuja sua principal desvantagem é que durante a manutenção de um disjuntor deixa fora a linha correspondente.

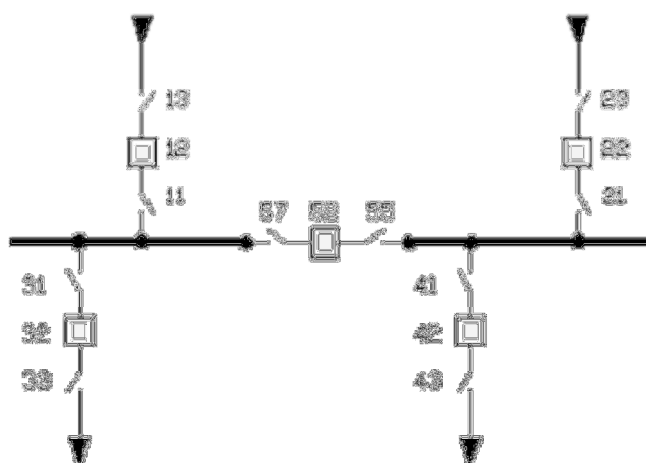


Figura 3.2 – Barramento simples seccionado (Mamede filho, 2011).

b) Barramento com um disjuntor e meio.

Neste tipo de topologia requer três disjuntores para dois circuitos, mas não necessita de interruptores de seção coletora nem de acoplador coletor. Possui a vantagem de que numa avaria do barramento não interrompe o circuito de saída e qualquer interruptor pode ser desligado para manutenção sem provisão de reservas. Equivalente ao barramento duplo, mais utilizando somente um disjuntor e meio para cada circuito, mas econômico com praticamente mesma confiabilidade. Possui a desvantagem de possuir um alto numero de operações de chaveamento. Na figura 3.3 pode-se observar a topologia com barramento com um disjuntor e meio.

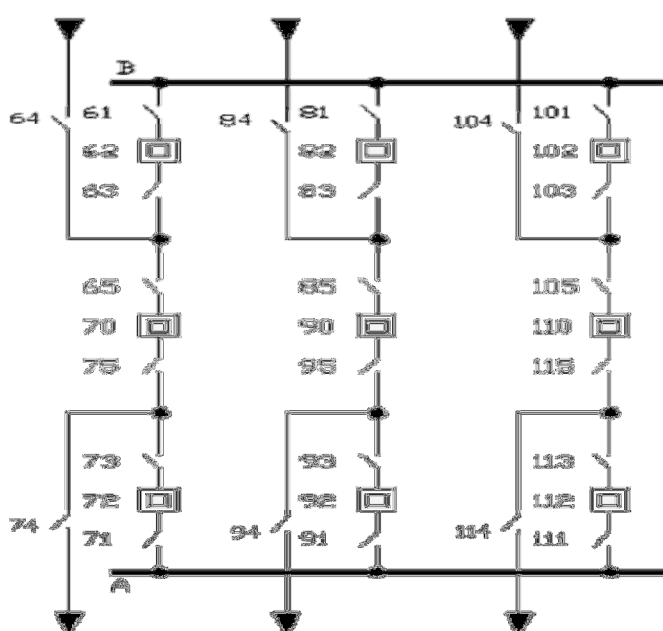


Figura 3.3 – Barramento com um disjuntor e meio (Mamede filho, 2011).

c) Barramento duplo com um disjuntor:

É um arranjo para instalações de grande porte, a manutenção é feita sem a perda dos circuitos de linha, cada linha pode ser conectada a qualquer barra. Mas requer um disjuntor extra, quatro chaves por circuito, uma falha no disjuntor de transferência pode colocar a subestação fora de serviço. a figura 3.4, ilustra o barramento duplo com um disjuntor.

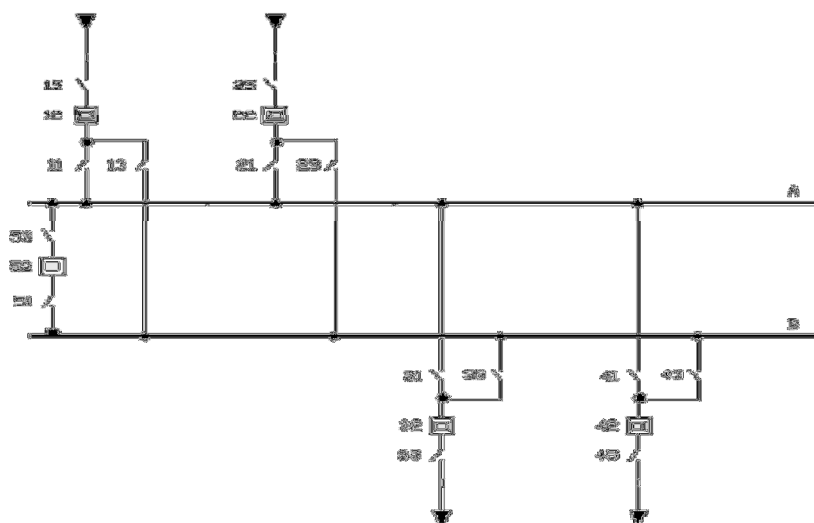


Figura 3.4 – Barramento duplo com um disjuntor (Mamede Filho, 2011).

d) Topologia em Malha:

Os disjuntores (um em cada circuito) são ligados nos barramentos, de modo que qualquer interruptor possa ser atendido sem interromper circuitos ativos e sem a necessidade de meio de reserva. Uma falha no barramento causa a perda apenas de um circuito e não precisa proteção para o barramento; no entanto, a proteção do alimentador é ligeiramente mais complexa e requer dois conjuntos de transformadores de corrente em cada terminação do circuito. Nesta topologia a extensão é mais difícil que nas anteriores.

e) Unidade de linha em anel:

A simplicidade e a economia são predominantes nesta topologia, principalmente para subestações de distribuição secundárias alimentadas por uma linha em anel. É usualmente fornecido um transformador simples e um disjuntor simples. As desvantagens desta topologia são que, se uma falha ocorre durante a manutenção de um disjuntor o anel pode ser separado em duas seções, possui religamento automático e o circuito de proteção apresenta maior complexidade.

f) Configurações com barra principal e barra de transferência:

Tem como característica disjuntores de transferência cuja finalidade é garantir a proteção de um vão (entrada ou saída da linha), quando o equipamento de disjunção principal (disjuntores e religadores) associados a este vão é religado por falha ou manutenção. A falha no barramento principal resulta no desligamento da subestação elétrica. esta topologia é ilustrada na Figura 3.5, e pode se observar que é uma topologia cujas manobras são complexas.

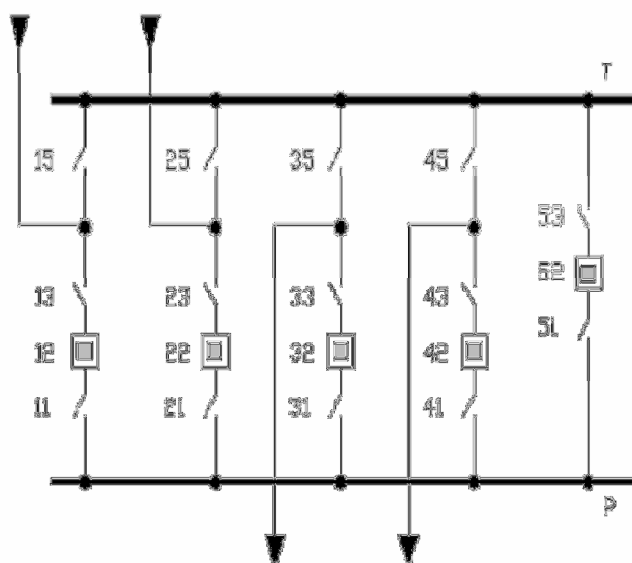


Figura 3.5 – Barra principal e transferência (Mamede filho, 2011).

São várias as modificações que podem ser feitas nas topologias convencionais, mas é conveniente manter um diagrama físico simples além para garantir facilidade de manutenção e também proporcionar maior facilidade na mobilidade dos funcionários na presença de mau tempo e/ou em condições de avaria.

3.3 Equipamentos de uma subestação.

As subestações são compostas pelos seguintes componentes:

- a) Barramentos
- b) Linhas e alimentadores.
- c) Equipamentos de disjunção.
 - Disjuntores.
 - Religadores.

- Chave.
- d) Equipamentos de transformação.
- Transformadores de potência.
 - Transformadores de instrumentos.
 - Transformadores de potencial.
 - Transformadores de corrente.
 - Transformadores de serviço.
- e) Equipamentos de proteção.
- Relés,
 - fusíveis,
 - para-raios,
 - malha de terra.
- f) Equipamentos de compensação.
- Reatores,
 - capacitores,
 - compensadores síncronos,
 - compensadores estáticos

3.4 Tipos de falta em subestações industriais.

De um modo geral os sistemas elétricos estão sujeitos frequentemente a perturbações que podem ser resumidamente agrupadas em:

a) Curto - circuito;

Curto-circuito são as perturbações mais severas admitidas num sistema elétrico. São ocorrências resultantes de uma falha na isolação de um ponto qualquer sobtensão da rede considera, ou de uma ação involuntária sobre o sistema. Como consequência direta, são obtidos valores de corrente extremamente elevados, capazes de implicar danos irreparáveis às instalações se não houver uma correta interferência do sistema de proteção. Os curtos circuitos podem se dar entre as três fases, entre duas fases quaisquer compreendendo ou não a terra e entre uma fase qualquer e a terra.

b) Sobrecargas;

As sobrecargas são caracterizadas pela elevação moderada da corrente, acima dos valores admitidos em projeto, ao contrário do curto-circuito, as sobrecargas não constituem uma falha de instalação, mas sim o resultado de um procedimento muitas vezes incorreto de sua operação, seja pela introdução de uma nova carga no circuito, seja pelo aumento da carga mecânica admitida no eixo dos motores ou outros equipamentos. Enquanto os curtos circuitos são de curta duração, as sobrecargas em geral são prolongadas.

c) Variações do nível de tensão.

As variações de nível de tensão constituem uma perturbação que afeta demasiadamente o desempenho de qualquer instalação e resulta frequentemente em falha num ponto qualquer do sistema. A sua duração pode ser curta, de ordem de alguns ciclos, ou prolongada. Essas variações podem ser para cima ou para baixo do nível de tensão tomado como o fornecimento pela concessionária ANEEL (+5% e -5%).

3.5 Classificação dos relés de proteção

Todo e qualquer sistema elétrico está sujeito a um defeito transitório ou permanente, apesar das precauções tomadas durante a elaboração do projeto e a execução das instalações, mesmo seguindo normas mais severas e as recomendações existentes. Esses defeitos poderão ter consequências irrelevantes ou desastrosas, dependendo do sistema de proteção preparado para aquela instalação em particular (MAMEDE FILHO, 2011). De uma maneira geral, a proteção de um sistema de baixa ou alta tensão é projetada tomando como base os fusíveis e os relés.

Os dispositivos de proteção são identificados nos diagramas elétricos através de uma numeração normalizada pela American Standard Association (ASA), aceita internacionalmente.

Para Mamede Filho (2011), o nome relé representa uma numerosa gama de equipamentos e dispositivos, com as mais diferentes formas de construção e operação, para aplicações diversas, dependendo da importância, do porte e da segurança de determinada instalação.

Segundo Caminha (1977), o relé é um dispositivo por meio do qual um equipamento elétrico é operado quando se produzem variações nas condições deste equipamento ou do circuito em que ele está ligado ou em outro equipamento ou circuito associados.

Pode-se dizer que um relé de proteção é um dispositivo que se destina a detectar anormalidades no sistema elétrico atuando, através de disjuntores, diretamente sobre um equipamento ou sistema fazendo com que haja mudança no estado dos contatos e também atua no acionamento de circuitos de alarmes quando necessário.

Podem ser classificados:

Classificação quanto ao tipo construtivo

a) Relé Fluidodinâmico

Os relés fluidodinâmicos utilizam os líquidos, normalmente o óleo de vaselina como elemento temporizador. Normalmente são construídos para ligação direta com a rede e montados nos polos de alimentação do disjuntor de proteção. Foram os relés mais utilizados em pequenas e médias instalações industriais, principalmente em subestações de até 1000 kVA, atualmente a NBR 14039, não mais admite o seu uso. No entanto existem milhares de desses relés instalados nas subestações de prédios residenciais, comerciais e industriais. A sua rejeição, deve-se ao facto de que foi em virtude da sua estreita possibilidade de coordenação com os elos dos fusíveis de proteção da rede e a inaplicabilidade de sua instalação ao tempo.

b) Relés Eletromagnéticos:

Constituído basicamente de uma bobina envolvendo um núcleo magnético, cujo entreferro é formado por uma peça móvel na qual é fixado um contato elétrico que atua sobre um contato fixo, permitindo a continuidade do circuito elétrico de acionamento do disjuntor. Existem outras formas de construção de relés eletromagnéticos, existem uns providos de êmbolo móvel que é deslocado pela força eletromagnética desenvolvida por uma bobina. Antes do advento dos relés fluidodinâmicos para proteção de pequenas subestações, eram largamente utilizados.

c) Relés Eletrodinâmicos:

Também chamados de eletromecânicos, funcionam dentro do princípio básico de atuação de duas bobinas, sendo um móvel, interagindo dentro de um campo formado por uma bobina fixa, tal como se constroem os instrumentos de mediada de tensão e corrente, conhecidos como os de bobina móvel. Na verdade ele não tem notável aplicação como elementos de proteção de circuitos primários, apesar de sua grande sensibilidade e ainda apresentam um custo superior em relação aos citados anteriormente. Seu princípio de funcionamento esta baseado na passagem de uma corrente contínua ou alternada retificada,

através do circuito da bobina móvel, que esta imersa em campo magnético criado pela bobina fixa, podendo, no entanto, ser substituída por um ímã permanente.

d) Relés Indução:

Conhecido como relé secundário, sendo largamente empregados em subestações industriais de potência e de concessionárias de serviço público, na proteção de equipamentos de grande valor econômico. Seu princípio de funcionamento é baseado na construção de dois magnetos, um superior e outro inferior, entre os quais está fixado, em torno do seu eixo, um disco de indução. Esses núcleos magnéticos permitem a formação de quatro entre ferros, cada um sendo responsável pelo torque de acionamento do disco. O disco superior é dotado de dois enrolamentos. O primeiro é ligado diretamente ao circuito de alimentação, no caso de um transformador de corrente, enquanto o outro é responsável pela alimentação do núcleo inferior. O disco de indução possui um contato denominado contato móvel, que, com o movimento de rotação, atua sobre um contato fixo, fechando o circuito de controle. Uma mola de restrição força o retorno do disco de indução à sua posição original, responsável pela frenagem eletromagnética, e seu ajuste é feito na instalação através de parafusos de ajuste.

e) Relés Eletrônicos

São frutos do desenvolvimento tecnológico da eletrônica dos sistemas de potência. São fabricados para atender todas as necessidades de proteção dos sistemas elétricos, competindo em preço e desempenho com os modelos eletromecânicos, exceto em pequenos sistemas, quando se podem utilizar os relés convencionais de ação direta, dispensando-se os transformadores de medida e as fontes auxiliares de alimentação. A tecnologia estática apresenta como vantagens adicionais aos sobre os relés convencionais a compacticidade, a precisão nos valores ajustados e facilidade de modificação de curvas de operação em uma mesma unidade.

f) Relés Digitais

Baseados em técnicas de microprocessadores mantêm os mesmos princípios e guardam os mesmos requisitos básicos aplicados aos relés eletromecânicos ou de indução e a aos estáticos ou eletrônicos. Porém além das funções dos seus antecessores oferecem novas funções, adicionando maior velocidade, melhor sensibilidade, interfaceamento amigável, acesso remoto e armazenamento de informações. Enquanto os relés anteriores utilizam grandezas analógicas de tensão e corrente, com contato externos de bloqueio, denominados eventos, os relés digitais utilizam técnicas de microprocessamento, operando segundo uma

programação inteligente e poderosa, com capacidade de realizar operações lógicas e aritméticas. E apresenta como, pequeno consumo de energia, elevada confiabilidade, auto-supervisão, comunicação com o sistema supervisor, ajuste à distância, elevada precisão, amplas faixas de ajustes e um display para mostrar os dados alfanuméricos.

- a) Auto-monitoramento (autodiagnóstico);
- b) Detecção e diagnóstico de faltas;
- c) Permite o desenvolvimento de novas funções e métodos de proteção;
- d) Compartilha dados através das redes de comunicação;
- e) Proporciona melhor interface homem x máquina;
- f) Permite redução das interferências do meio ambiente sobre as condições
- g) Operativas dos equipamentos;
- h) Os custos estão baixando.

Porém os relés digitais também apresentam desvantagens, que fazem os modelos mais antigos prevalecerem.

- Vida útil reduzida (10 a 15 anos), enquanto os convencionais possuem vida longa (acima de 30 anos);
- Interferências eletromagnéticas;
- O hardware dos relés digitais avança rapidamente, tornando-os obsoletos precocemente e complexos no seu manuseio.

A arquitetura do relé digital é mostrada com o apoio de um diagrama de blocos. Ao relé de sobrecorrente são aplicados sinais analógicos provenientes dos transdutores primários de corrente e potencial (para o caso do relé ser direcional) e sinais discretos que refletem o estado de disjuntores, chaves e outros relés. Estes sinais recebem um processamento nos subsistemas correspondentes antes de sua aplicação ao microcomputador que constitui o elemento principal do relé. Os sinais analógicos passam por um conversor analógico-digital antes de entrar na unidade central de processamento (CPU). Os sinais discretos de saída do relé recebem processamento no subsistema de saídas discretas e que geralmente inclui relés eletromecânicos auxiliares para provê-los de saídas do tipo contato. O relé realiza também a função de sinalização de sua operação e de seu estado funcional mediante dispositivos de sinalização. A maioria dos relés digitais dispõe também de capacidade de comunicação com outros equipamentos digitais, mediante portas serial e paralela.

A seguir s apresenta-se as função de cada bloco que compõe o relé digital, ilustrado na Figura 3.6.

1) Funções do subsistema entradas analógicas

- Condicionar os sinais de tensão e corrente provenientes dos transdutores primários (TCs e TPs) a valores adequados para conversão analógicas-digital;
- Isolar eletricamente os circuitos eletrônicos do relé dos circuitos de entrada;
- Proteger o relé contra sobretensões transitórias;
- Realizar a filtragem “anti-aliasing” dos sinais analógicos de entrada. Este filtro é necessário para limitar o espectro de frequência desses sinais a uma frequência não maior do que a metade da frequência de amostragem utilizada pelo relé.

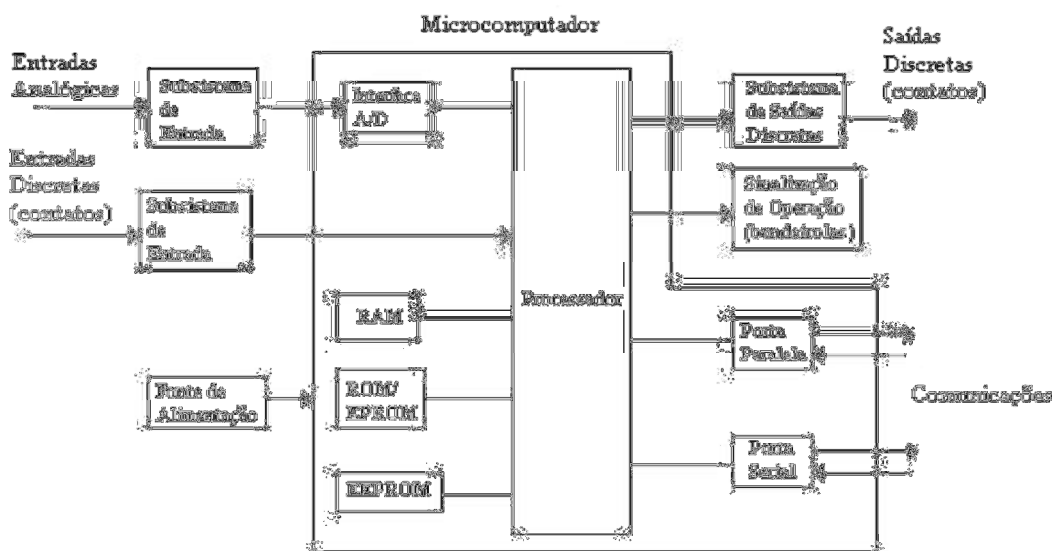


Figura 3.6 Arquitetura do relé digital

2) Funções do subsistema de entradas discretas

- Condicionar os sinais para sua aplicação ao processador (o que pode incluir uma fonte de alimentação auxiliar para verificação do estado dos contatos).
- Prover o isolamento elétrico necessário entre as entradas e os circuitos eletrônicos e proteger o relé contra sobre tensões transitórias.

3) Interface analógico-digital

Na interface analógico-digital se levam em conta os processos de amostragem e de conversão analógico-digital dos sinais analógicos. O relógio de amostragem gera pulsos de curta duração e de certa frequência que marcam os instantes de amostragem. Em cada um

deles, se faz a conversão do valor instantâneo do sinal analógico para uma palavra digital que é aplicada ao processador.

Existem diferentes formas para amostragem de sinais analógicos. Nos relés digitais, a mais utilizada consiste em tomar amostras com espaçamentos uniformes durante todo o ciclo do sinal. A frequência de amostragem é da ordem de 240 Hz a 2 kHz.

4) Processador digital

O processador do relé digital é encarregado de executar os programas de proteção, controlar diversas funções de tempo e realizar tarefas de autodiagnóstico e de comunicação com os periféricos.

O processador trabalha auxiliado pelas seguintes memórias:

- RAM (Memória de Acesso Aleatório): é necessária como “buffer” para armazenar temporariamente os valores das amostras de entrada, para acumular resultados intermediários dos programas de proteção e para armazenar dados que serão guardados posteriormente em memória não volátil.

- ROM (Memória somente de leitura, tipo não programável) ou PROM (Memória somente de leitura): são usadas para guardar os programas do relé. Estes programas são executados diretamente nestas memórias ou são carregados nas memórias RAM para posterior execução.

Com a utilização de relés digitais, ficou facilitada a aplicação da teleproteção exercida através dos sistemas de comunicação entre relés. Existem modelos com comunicação através de fibras óticas.

A utilização de relés digitais possibilitou a disponibilidade de uma infinidade de facilidades para promover mais qualidade à tarefa de proteção dos sistemas de potência, possibilitando aumento da confiabilidade ao sistema, redução das taxas de interrupção de energia e outras vantagens.

Classificação quanto ao desempenho

- a) Sensibilidade;
- b) Rapidez;
- c) Confiabilidade;

Classificação quanto às grandezas elétricas

Basicamente uns relés são sensibilizados pelas grandezas de frequência, da tensão da corrente a que esta submetida. Porém tomando-se como referência esses valores básicos podem-se construir relés que sejam ajustados para outros parâmetros elétricos da rede, tais como impedância, potência relação entre grandezas as grandezas anteriores.

- a) Relés de Corrente.
- b) Relés de tensão
- c) Relés frequência
- d) Relés direcionais de corrente e potência,
- e) Relés de impedância.

Classificação quanto à forma de acionamento.

Os relés podem acionar os dispositivos de interrupção de dois modos distintos, pelos quais são comumente conhecidos.

- a) Relés de ação direta

Que são empregados na proteção de pequenas e até de médias instalações indústrias, apresentam a vantagem de dispensar a utilização de TC's e TP's, pois estão ligados diretamente ao circuito que protegem, também não precisam de fonte auxiliar para acionar o circuito de disparo.

- b) Relés de ação indireta

Os relés de ação indireta conhecido também como relés secundários têm largo emprego na proteção dos transformadores de potências das instalações de médios e grandes portes. Apresentam custos sensivelmente mais elevados e necessitam de transformadores redutores como fonte de alimentação e também de fontes auxiliares de CC ou CA ou ainda de unidades capacitivas. Essas unidades auxiliares tornam o custo de proteção mais elevado.

Classificação quanto à temporização.

- a) Relés instantâneos;

Os relés instantâneos, como sugere o nome, não apresentam nenhum retardo intencional no tempo de atuação. O retardo existente é função de suas características construtivas implicando certa inércia natural do mecanismo, temporizando assim sua atuação.

- b) Relés temporizados com retardo dependente

Este tipo de relé é o mais utilizado em sistemas elétricos em geral, são caracterizados por uma curva de temporização normalmente inversa, cujo retardo é funções do valor da grandeza que o sensibiliza. Esses relés apresentam uma família de curvas com diversos declives em razão das variadas aplicações requeridas na prática dos projetos de proteção.

c) Relés temporizados com retardo independente.

O relé temporizado com retardo independente, ao contrário do anterior, é caracterizado por uma atuação constante independente da magnitude da grandeza que o sensibiliza. Podem ser ajustados para vários tempos de atuação, dependendo da necessidade de cada projeto.

3.6 Algumas funções dos relés segundo a norma ASA

A norma ASA classifica as funções dos relés utilizando um código numérico, (MAMEDE FILHO, 2011).

Função 50: proteção de sobrecorrente instantânea de fase.

Função 50N: proteção de sobrecorrente instantânea do neutro.

Função 51: proteção de sobrecorrente temporizada de fase.

Função 51N: proteção de sobrecorrente temporizada de neutro.

Função 51G: proteção contra sobrecorrente de terra temporizada.

Função 59: proteção contra sobretensão.

Função 64: proteção de terra.

Função 27: proteção contra subtensão.

Além das funções listadas acima, existem relés com funções de proteção de outras grandezas, por exemplo, frequência, nível do óleo (no caso de transformadores), presença de gás e pressão.

Ainda com a utilização do relé, deve-se fazer a utilização de pára-raios para proteção contra as descargas atmosféricas e fusíveis quando na presença de um curto circuito.

3.7 Relés de proteção princípio de funcionamento

Existem variados modelos de relés e que desempenham funções de proteção diferentes em subestações elétricas industriais e comerciais de média tensão, variando de tipo, forma construtiva e tecnologia. Nesta seção serão apresentados os ajustes de relés de sobrecorrente, sobretensão e diferencial, modo a garantir a proteção mínima e adequada de uma subestação.

A origem dos relés ocorreu com modelos eletromecânicos ou de indução, por este motivo é de se esperar que os relés mais modernos, relés digitais, tivessem que incorporar as

principais características dos relés de indução, de maneira a facilitar a migração. Portanto é importante entender o princípio de funcionamento dos relés eletromecânicos, que será feito com o relé de disco de indução.

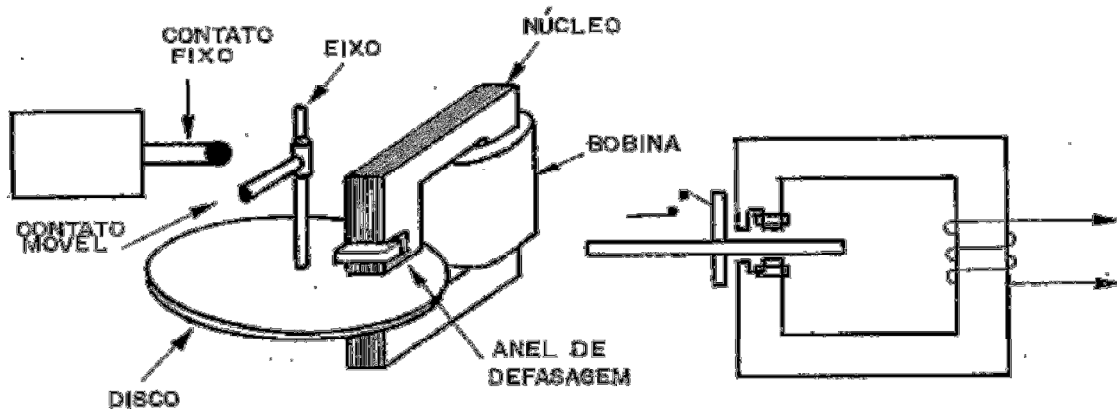


Figura 3.7 - Relé de indução tipo disco(Caminham 1977)

A bobina auxiliar (conhecida também como espira de sombra) tem como objetivo gerar um fluxo ϕ_2 defasado do fluxo principal ϕ_1 , conforme a Figura 3.8.

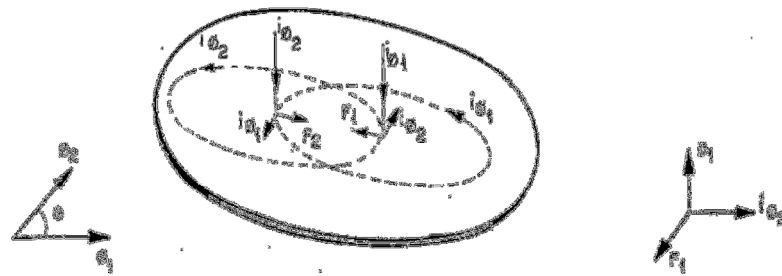


Figura 3.8- Conjugado desenvolvido no disco do relé. (Caminha 1977)

O sistema funciona de forma semelhante a um motor de indução monofásico em que não se conseguiu parti-lo ao meio se não houver um capacitor, que provoca o desfasamento angular entre os fluxos para gerar o torque.

Então teremos as equações:

$$\phi_1 = \text{sen}(\omega t) \quad (3.1)$$

$$\phi_2 = \text{sen}(\omega t + \Theta) \quad (3.2)$$

Q

De acordo com lei de Faraday, dada pela equação (3.3)

$$e = -Kn \frac{d\phi}{dt} \quad (3.3)$$

Ao se aplicar a equação (3.3), lei de Faraday ao disco metálico de resistência R, teremos a equação(3.4).

$$i = \frac{e}{R} = -\frac{kn}{R} \cdot \frac{d\phi}{dt} \quad (3.4)$$

Tendo em conta as trajetórias assinaladas, utilizando a regra da mão esquerda é evidente o aparecimento de uma força, definida pela equação (3.5)

$$F \cong \phi \cdot i \quad (3.5)$$

Cuja resultante é dada pela expressão da equação (3.6)

$$F = (F_2 - F_1) \approx \phi_1 \phi_2 - \phi_1 \phi_2 \approx \phi_2 \cdot \frac{d\phi_1}{dt} - \phi_1 \cdot \frac{d\phi_2}{dt} \quad (3.6)$$

Substituindo as equações (3.1) e (3.2), na equação (3.6), da resultante da força gerada pelos fluxos magnéticos e fatorizando, a resultante será dada pela equação (3.7)

$$\begin{aligned} F &= \phi_1 \phi_2 [\text{sen}(\omega t + \theta) \cdot \cos \omega t - \text{sen} \omega t \cdot \cos(\omega t + \theta)] \\ &= \phi_1 \phi_2 \cdot \text{sen}[(\omega t + \theta) - \omega t] = \\ F &= \phi_1 \cdot \phi_2 \cdot \text{sen} \theta. \end{aligned} \quad (3.7)$$

A força resultante F, atua na direção de F₁ para F₂, de modos a fazer girar os discos e como consequência os contatos se fecham.

Na pratica, considera-se que a estrutura magnética é simétrica e o fluxo de dispersão nulo, assim o fluxo magnético (φ) é proporcional a corrente (I), conforme q equação (3.8).

Substituindo na equação(3.9), do conjugado a equação (3.10) do ângulo, obtêm-se a equação(3.11).

$$C = I_L \times I_R \times \text{sen}(\theta + 90 - \tau) = I_L \times I_R \times \text{sen}(\theta - \tau + 90) \quad (3.11)$$

Então para o conjugado teremos a equação (3.12).

$$C = I_L \times I_R \times \cos(\theta - \tau) \quad (3.12)$$

Assim para relés de sobrecorrente (tipo charneira) a equação do conjugado pode ser escrita:

$$C = K_1 \times I^2 \quad (3.13)$$

Considerando que se aplica uma tensão em um resistor de valor $1/K$, gera-se uma corrente dada por $I = U / (1/K)$, ou seja, $I = KU$. Dessa forma a equação (3.14) será do conjugado para um relé de tensão.

$$C = K_2 \times U^2 \quad (3.14)$$

Para relés que manipulam tensão e corrente (direcional e impedância), substitui-se I_L por U na equação do relé de disco de indução a equação do conjugado fica definida pela equação(3.15)

$$C = K_3 \times U \times I \times \cos(\theta - \tau) \quad (3.15)$$

A partir das definições apresentadas pelas equações do conjugado e lembrando que os relés possuem também uma constante de mola K_4 , daí a equação (3.16) conhecia como equação universal do relé.

$$C = K_1 \times I^2 + K_2 \times U^2 + K_3 \times UI \times \cos(\theta - \tau) + K_4 \quad (3.16)$$

Para os relés de corrente existem apenas as parcelas um e quatro da equação.

Paras os relés de tensão existe apenas dois e quatro da equação.

Para os relés que necessitam de medição de ângulo apena as expressões e três e quatro.

As grandezas de atuação apresentam parcela positiva e as de restrição parcela negativas.

Segundo Kindermann (2005), antes de abordar sobre o ajuste dos relés, é importante conhecer termos técnicos relativos a este ajuste:

Pick-up do relé - o termo genérico utilizado para designar a menor corrente possível que faz o relé operar, ou seja, a menor de todas as correntes que deixam o relé no limiar da operação.

Drop out – é o termo genérico que se refere à desoperação do relé, ou seja, é a maior corrente que produz a desativação do relé.

Limiar de operação - o lugar geométrico de todas as correntes que deixam o relé na condição de operação.

Os ajustes nesses dois tempos, só garantem a segurança se:

$I < I_{pick-up}$, o relé em hipótese alguma deverá fechar o seu contato, NA isto é o relé não opera.

$I > I_{drop-out}$ o relé em hipótese alguma deverá desconectar (abrir) seu contato NA, que no caso está fechado.

3.7.1 Relés de sobrecorrente (50-51)

A proteção mínima que se deve garantir em qualquer sistema é a de sobrecorrente. E existe uma grande diversidade de relés que desempenham esta função. Existem os eletromagnéticos com pouco uso em subestações elétricas indústrias de potência, devido ao sua dificuldade de coordenação com elos fusíveis e com os demais relés; estáticos que por sua vez dispensam alimentação auxiliar, bastante utilizado em subestações comerciais e indutarias de pequeno e médio porte, em tensão inferior a 38 kV; de indução, que apresentado uma razoável precisão, sensíveis, não necessitam de manutenção, e não utilizam fonte auxiliar.

Relés de sobrecorrente de ação direta

Existem basicamente dois tipos de relés de sobrecorrente de ação direta de uso rotineiro. São os relés fluidodinâmicos, relés eletromagnéticos e também podem ser do tipo estático ou eletrônico. O princípio de funcionamento desses relés tem como base a ação eletromagnética de um campo formado por uma bobina de corrente. Diferem, porém quanto ao princípio de retardo ou temporização.

Relé de sobrecorrente Estático.

A Tabela 3.1 mostra a faixa de ajuste do relé com base na corrente máxima admitida para o sistema, adota-se o relé com corrente nominal.

Tabela 3.1- corrente nominal de acordo com as faixas

Intervalo	Corrente nominal (I_n)
6 A – 10 A	5 A
22 A – 40 A	20 A
43 A – 80 A	40 A
88 A – 160 A	80 A
176 A – 320 A	160 A

O relé de sobrecorrente estático de ação direta é dotado de unidades de atuação instantânea (50) e temporizado (51).

O Ajuste da unidade temporizada é feito com base na equação (3.18).

$$k_r = \frac{I_{at}}{I_{nr} \times k} \quad (3.18)$$

Sendo:

I_{at} – corrente do acionamento desejado da unidade temporizada.

I_{nr} – corrente nominal do relé.

k_r – constante de multiplicação ajustada no potenciômetro relé variando de 1 a 2, em incrementos de 0.2.

k- fator de sobrecarga permanente do relé: 1 a 1,2 (adota-se o valor de k normalmente igual a 1);

O ajuste do tempo de disparo é função do estudo de coordenação que se deseja com os demais dispositivos de proteção, localizados a jusante ou a montante. Seu ajuste é dado pela equação (3.19)

Ajuste da unidade instantânea:

$$k_i = \frac{I_{ai}}{I_{nr} \times k \times k_r} \quad (3.19)$$

O conjunto das equações (3.20) e (3.21), fornecem os valores limites de ajustes da corrente instantânea

$$I_{ima} < I_{ai} \quad (3.20)$$

$I_{imi} = 4 \times I_{at}$	(3.21)
-----------------------------	--------

A corrente de acionamento de unidade instantânea é dada em múltiplo da corrente ajustada para unidade temporizada.

Sendo:

I_{imi} – ajuste mínimo da corrente da unidade instantânea

I_{ima} – ajuste máximo da corrente da unidade instantânea

I_{ai} – corrente de acionamento desejado da unidade instantânea

A corrente de acionamento da unidade instantânea é dada em múltiplo da corrente ajustada para a unidade temporizada.

OBS.: devido à impossibilidade de se formar uma proteção de neutro (50/51) com o uso de relés de ação direta, NBR 14039, veda o uso desses relés, independente do tipo de construção.

Relés de sobrecorrente de ação indireta

Também conhecidos como relés secundários, são fabricados em unidades monofásicas e alimentados por transformadores de correntes ligados ao circuito que se quer proteger. São utilizados na proteção de subestações industriais de médios e grandes portes, na proteção de motores e geradores de potência elevada. Por precisarem de fontes auxiliares e transformadores de correntes, sua utilização apresenta custo elevado. Quanto à construção eles podem ser: de indução, eletrônico e digital.

Relés de sobrecorrente de indução

Esse tipo de relé opera com precisão razoável e dispensa a manutenção frequente, robusto quanto a condições climáticas. Apresenta grande facilidade durante a manutenção, sem ter necessidade de se desligar o disjuntor associado a ele. Porém perderam o mercado

para os relés digitais. Embora que o tempo de vida de um relé de indução seja dez vezes o tempo de vida de um relé digital, é considerado obsoleto, mesmo existindo ainda milhares instalados nos sistemas elétricos.

a) Unidade temporizada

Os ajustes desta unidade devem satisfazer as condições descritas a seguir:

O relé não deve operar para a condição de máxima admitida.

Nestas condições, o carregamento máximo permissível é de 150%. Na proteção de transformadores todos os ajustes devem permitir certa sobrecarga deste equipamento, cujo valor define a corrente de tape.

A partir da condição requerida escolhe-se o valor da corrente de tape de pela equação (3.22).

$$I_{tut} = \frac{I_c \times K_f}{RTC} \quad (3.22)$$

Sendo:

I_{tut} – corrente de tape da unidade temporizada, em Ampères.

K_f – valor da sobrecarga admissível;

I_c - corrente nominal do equipamento ou corrente do circuito a ser protegido, em amperes.

RTC- relação de transformação do transformador de corrente.

A determinação do tempo do tempo de ajuste do relé é função do plano de coordenação previsto. Porém deve-se manter uma diferença mínima de 0,4 segundos entre os tempos de dois relés.

A escolha da curva de atuação é feita com base no múltiplo da corrente de acionamento segundo a equação (3.23).

$$M = \frac{I_m}{RTC \times I_{tut}} \quad (3.23)$$

Sendo:

M- múltiplo de corrente de acionamento;

I_m – corrente máxima admitida no circuito, que pode ser uma corrente de sobrecarga ou de curto-circuito.

A corrente de acionamento deve ser no máximo, igual à corrente térmica do TC.

d) Unidade instantânea

Para o ajuste desta unidade, devem-se satisfazer os seguintes requisitos:

A corrente mínima de acionamento deve ser inferior a menor corrente simétrica de curto circuito no trecho protegido pelo disjuntor.

A corrente mínima de acionamento deve ser superior a corrente de magnetização do transformador.

Os relés de indução, como elementos do de proteção, são dotados de características de definidas a fim de se ajustarem às varias condições impostas pelo sistema de proteção. Uma destas caraterísticas são as curvas de temporização.

A partir do declive e do tempo de operação em função da grandeza de corrente de atuação, pode-se especificar o relé adequadamente para o esquema de proteção desejado, são varias as curvas e os tempos estabelecidos para cada unidade de relé:

d) Relés de temporização inversa curta:

Caraterizado por uma família de curvas que permite um baixo tempo de operação da unidade temporizada, eliminando possíveis danos nos equipamentos e circuitos que protegem;

e) Relés de temporização inversa longa

Caraterizado por uma família de curvas que permite uma longa temporização, eliminando a atuação do disjuntor em sobrecargas elevadas, como na partida de motores de indução, para os quais são apropriadamente utilizados como elementos de proteção.

f) Relés de temporização moderadamente inversa;

Apresenta uma família de curvas apropriada para sistemas com elevados valores de sobrecorrente. Através de mudança do tape, se desloca a curva para que a atuação se proceda qualquer valor de tempo desejado.

g) Relés de temporização muito inversa;

Caraterizados por apresentarem uma família de curvas com temporização baixa para elevados níveis de corrente de curto-circuito

h) Relés de temporização muito inversa;

Caraterizados por apresentar uma família de curvas extremamente rápidas para elevadas correntes de curto circuito.

Relé sobrecorrente digital

Geralmente comercializados em unidades trifásicas, da mesma forma que os relés de indução, são dotados das funções de sobrecorrente instantânea (50) e temporizados (51). Como as funções são trifásicas, o relé atua quando pelo menos uma das correntes de fase

atinge o valor ajustado. Para a função temporizada são normalmente definidas cinco famílias de curvas de atuação, com suas respectivas equações que representa suas características.

a) Curva de tempo definido;

Normalmente utilizada na proteção contra curto-circuito é definida apenas por um ponto no sistema cartesiano, onde a abscissa $x = I_s$, expresso em ampères e $Y = T$, corresponde ao retardo de tempo no funcionamento da proteção. Esta ilustrada na Figura 3.10.



Figura 3.10– curva de tempo definido do relé (Schneider)

O ajuste da curva de tempo definido é feito através da equação (3.24).

$$T = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{ma}}{I_s}\right)^{0,02} - 1} \times T_{ms} \quad (3.24)$$

Sendo:

I_{ma} – sobrecorrente máxima definida;

I_s - corrente do ajuste do relé;

T_{ms} – multiplicador de tempo ou índice de tempo;

b) Curva de tempo normalmente inverso;

As curvas de tempo inverso são normalmente utilizadas para proteção contra sobrecargas, sua característica permite diminuir o tempo de operação conforme o aumento da corrente. Como ilustrado na Figura 3.11.

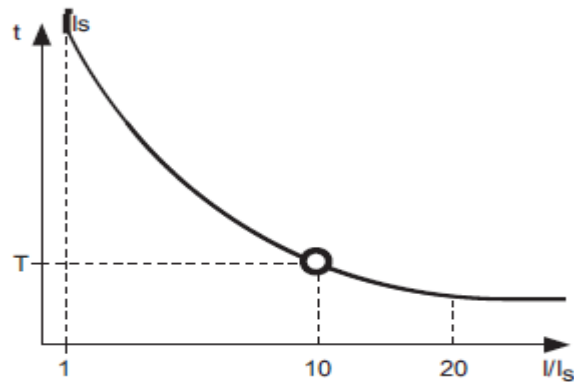


Figura 3.11 – tempo inverso do relé (Schneider, 2011).

O ajuste da curva de tempo inverso é feito segundo a equação(3.25).

$$T = \frac{13,5}{\left(\frac{I_{ma}}{I_s}\right)^{-1}} \times T_{ms} \quad (3.25)$$

O ajuste de I_s corresponde à assíntota vertical da curva, isto significa que qualquer corrente acima irá sensibilizar o relé. Mas o tempo de disparo do relé depende da curva utilizada.

c) Curva de tempo muito inverso;

O ajuste da curva de tempo muito inverso é feito com base na equação(3.26)

$$T = \frac{80}{\left(\frac{I_{ma}}{I_s}\right)^2 - 1} \times T_{ms} \quad (3.26)$$

d) Curva de tempo extremamente inverso;

A equação (3.27) é para o ajuste da curva de tempo extremamente inverso.

$$T = \frac{120}{\left(\frac{I_{ma}}{I_s}\right)^{0,02} - 1} \times T_{ms} \quad (3.27)$$

e) Curva de tempo ultra inverso;

A equação (3.28), traduz o ajuste da características de tempo ultra-inverso do relé digital.

$$T = \frac{0,05}{\left(\frac{I_{ma}}{I_s}\right)^{0,04} - 1} \times T_{ms} \quad (3.28)$$

Na figura 3.12 apresenta-se o gráfico com a família de curvas de um relé digital.

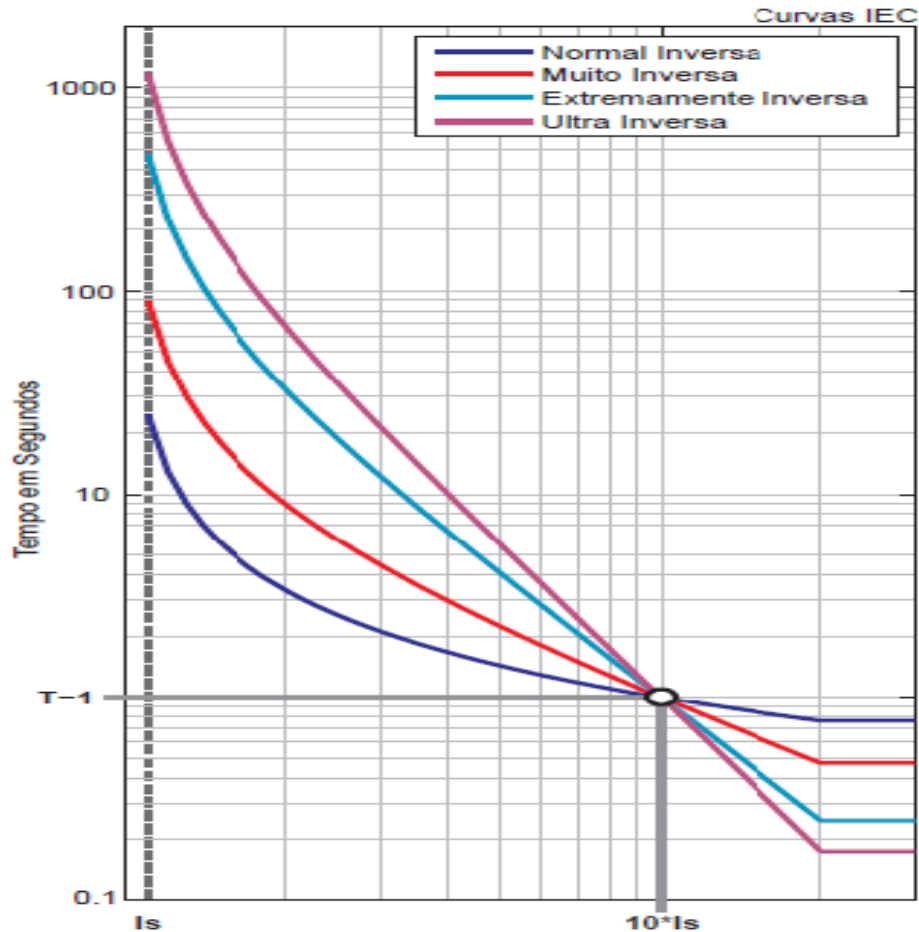


Figura 3.12- famílias de curvas de tempo inverso (Schneider)

Os relés digitais de sobrecorrente dispõem normalmente das seguintes funções:

- Proteção de sobre corrente em tempo definido ou tempo inverso;
- Intertravamento reverso utilizado na proteção da barra;
- Proteção da falha do disjuntor;
- Indicação dos valores de corrente de carga;
- Oscilografia de falhas;
- Disparo com rearme elétrico;
- Sinalização por fase e neutro;
- Entradas e saídas programáveis;
- Funções programáveis, indicação de correntes e registro de eventos;

- Auto-supervisão e comunicação serial;

Os relés digitais também possuem unidades instantâneas e unidades temporizadas.

A unidade temporizada opera de acordo com a corrente eficaz que chega aos seus terminais de entradas, ocorrendo à medida ou arranque quando o valor supera a 1,05 vezes o valor da corrente ajustada e voltando ao estado normal e uma vez o seu valor.

A unidade instantânea, geralmente admite um temporizador ajustável, o relé atua quando o valor eficaz for superior a 5% do valor ajustável.

3.7.2 Relé diferencial de corrente (87)

Quando se deseja proteger um transformador, gerador ou barramento contra curto-circuito interno por falhas entre as espiras ou defeito entre a parte ativa e terra, pode-se aplicar um esquema de proteção diferencial, em que o relé nele inserido faz atuar o disjuntor designado para operar o circuito de do transformador. Os relés diferenciais são a mais importante forma de proteção de transformadores de potência, e podem estar sujeitos a diversos fatores que propiciam uma atuação indesejada do disjuntor:

- Correntes de magnetização transitória do transformador
- Desfasamentos angulares;
- Diferenças de corrente em função dos introduzidos pelos transformadores de corrente;
- Diferenças de correntes no circuito de conexão do relé em função dos taps dos transformadores de potência.

Os relés aplicados na proteção diferencial são:

- Relé diferencial de indução;
- Relés de sobrecorrente.
- Relés diferenciais com restrição percentual
- Relés diferenciais com restrição percentual e por harmônica
- Relés diferenciais digitais;

3.7.3 Outros relés

Relé direcional

Utilizados nas redes de transmissão, quando alimentados pelas suas extremidades ou apresentam configuração em anel, surge à necessidade de implementar relés de sobrecorrente temporizados incorporados a elementos direcionais, isto é, que são sensibilizados ou não pelo sentido em que flui a corrente. Dessa forma pode-se dizer que o relé direcional tem a função de reconhecer em que sentido esta fluindo a corrente ou a potência numa determinada parte do sistema.

Podem ser classificados como se segue abaixo, dependendo da grandeza elétrica que quer controlar:

- Relé direcional de corrente de fase.
- Relé direcional de sobrecorrente de terra;
- Relé direcional de potência

Quanto à construção podem ser:

- Relé de Indução
- Relé Digital

Relés de distância

Como é sabido, o valor da corrente de curto-circuito varia de acordo com a impedância medida desde a fonte até o ponto de defeito. Quando se trata de linhas longas, a proteção de sobrecorrente pode ser difícil de aplicar. Caso o defeito ocorra no final da linha se estaria prejudicando o circuito, ao se estabelecer a atuação do relé para sobrecorrente nas proximidades da linha. Em função dessa dificuldade, devem-se empregar os relés de distância cujo tempo de atuação é proporcional a distância entre o ponto de instalação do relé e o ponto de defeito.

Os relés de distância podem ser eletromecânicos ou digitais. Alguns relés baseados nesse princípio são os relés de distância à admitância (MHO), relé de distância à Reatância e relés de distância à impedância;

Relés de tensão (27/59)

Os relés de tensão podem ser temporizados ou instantâneos. São aplicados tanto em instalações industriais como em sistemas de potência. Podem ter tecnologia eletromecânica,

eletrônica ou digital. Existem relés de tensão fabricados para operar tanto na subtensão como na sobretensão e outros apenas com uma função.

Relés de religamento

Para reduzir as perturbações no fornecimento de energia elétrica ao consumidor, torna-se necessário ter-se um ciclo de religamento com o tempo de extinção do arco, denominado ciclo rápido, que fica geralmente em 0,3 segundos. Esses relés são encontrados nas tecnologias eletromecânicas, eletrônicas e digital.

O relé de religamento não deve ser empregue em instalações comerciais e industriais, porque nestes tipos de instalação os defeitos são normalmente persistentes, evitando-se desse modo, o fechamento do disjuntor devido a faltas constantes que se verificam

Relés de gás

Conhecido como relé de buchholz, é aplicado somente na proteção de transformadores de potência equipados com conservadores de óleo e sem nenhum espaço de gás dentro do tanque do equipamento. É instalado no tubo que liga o tanque principal ao vaso conservador de óleo. A principal função do relé é a proteção do transformador quando ocorre um defeito entre as espiras, entre as partes vivas e terra, queima do núcleo, vazamento do óleo no tanque ou no seu sistema de resfriamento. Este tipo de relé atua perante a formação de gases onde há súbita variação do nível de óleo, em virtude de operação anormal do transformador. É capaz de detectar a presença de pequenos volumes de gases no interior do óleo, donde se pode concluir que capaz de detectar arcos de baixa energia ou simplesmente descargas parciais.

Além destes relés e funções, existem vários, construídos com base nas tecnologias eletromecânica, eletrônica ou digital, tais como: relé de tempo, de bloqueio e de frequência, que são empregados de acordo com as grandezas que se deseja controlar.

3.8 Coordenação e seletividade

Na proteção de subestação industrial e não só, a aquisição dos melhores equipamentos ou dispositivos de proteção, não é garantia de que o sistema estará protegido adequadamente, para o bom funcionamento do sistema de proteção é necessário que exista uma coordenação dos dispositivos de proteção, isto é, atuarem no tempo certo e colocar fora de serviço apenas a parte com defeito, onde ocorreu a falha. Por coordenação, pode-se entender que é uma estratégia utilizada pelo projetista, de maneira que, qualquer anomalia no sistema, exista uma escala crescente de tempos de operação no sentido dos relés principais para os relés de

retaguarda, de modo que se permita uma seletividade no desligamento do sistema. Uma vez que o próprio sistema de proteção também está sujeito a falhas na sua operação, e em casos de falhas no relé principal é necessário que o relé de retaguarda atue.

Caso o sistema de proteção falhe, podem-se utilizar os seguintes esquemas de proteção de retaguarda:

Duplicação da proteção primária, de forma que se houver falha de um sistema de proteção de sobrecorrente, outro, igual ao primeiro, atuará. Neste caso, só se recorre à coordenação quando a falha for no sistema de abertura do disjuntor.

Proteção secundária, geralmente adotada em sistema de porte modesto, de forma que a ação de proteção, em caso de falha do sistema de proteção primária, é garantida pela proteção de retaguarda (a montante) e obedecendo a respectiva regra de coordenação.

Tempo de coordenação é a menor diferença de tempo que dois relés mais próximos da cadeia de proteção devem ter para garantia de coordenação de ação de suas proteções. Entenda-se por coordenação correta a garantia de que a proteção mais próxima a montante da proteção primária, em caso de falha desta última, eliminará a falha.

4. ESTUDO DO CASO: SELETIVIDADE NA PROTEÇÃO DE UMA SUBESTAÇÃO ELÉTRICA INDUSTRIAL.

Desde o estabelecimento de uma estratégia de proteção e seleção dos respectivos dispositivos de atuação até a determinação dos valores de calibração dos relés, a seletividade é um dos requisitos fundamentais de um sistema de proteção, que deve se ter atenção durante o projeto de qualquer sistema de proteção. A característica do sistema elétrico, que na presença de uma falta desenergiza exclusivamente a parte afetada é uma condição fundamental para que o sistema de proteção atinja sua finalidade.

4.1 Apresentação do estudo de caso

A Figura 4.1 mostra o diagrama unifilar de um sistema de energia elétrica, alimentado por uma tensão nominal de 13,2 KV. Os retângulos destacam os equipamentos de proteção da subestação.

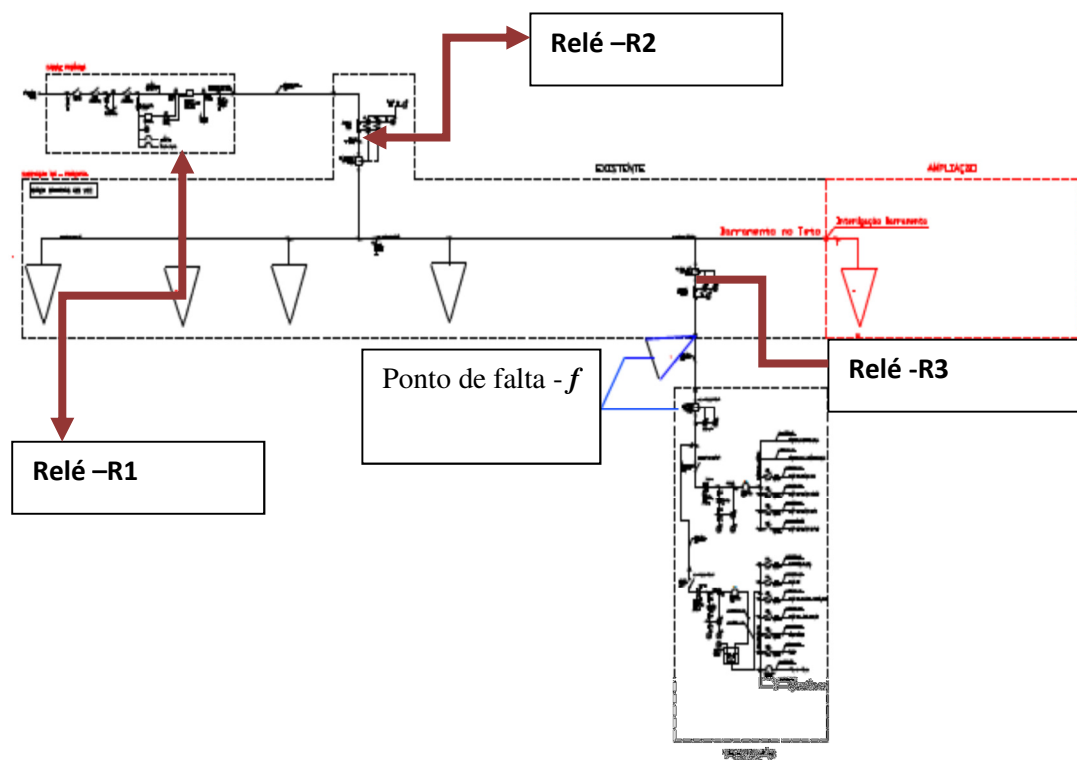


Figura 4.1 - Diagrama unifilar da subestação em questão.

A Figura 4.2, ilustra o diagrama unifilar da subestação em estudo, para melhor se observar os equipamentos adas subestações.

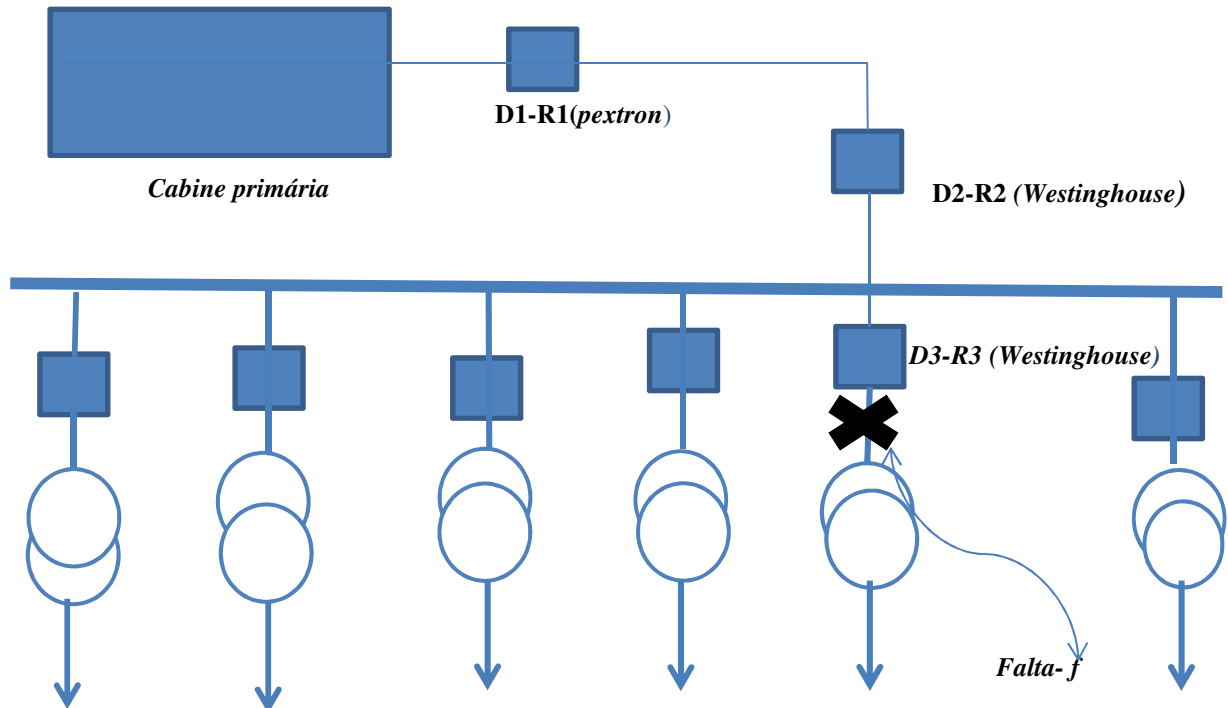


Figura 4.2 - Diagrama unifilar da subestação esquematizada.

Partindo-se da ocorrência um curto-circuito trifásico no ponto indicado por f , a referida falta f deveria ser isolada pela atuação do relé **R3** e consequentemente abertura do disjuntor associado a ele. A falta de coordenação provocou a atuação do relé **R1** e a abertura do relé associado a ele. Isso provocou a falta de energia elétrica para outras subestações ligadas nos alimentadores indicado pelas setas, o que é sempre indesejável. O sistema de proteção compostos pelos dispositivos e equipamentos TC2, **R2** e seu disjuntor, atua como proteção de retaguarda, também conhecida como proteção de *back-up*.

Diante do exposto, seguem-se a descrição e os cálculos para a coordenação e seletividade dos relés **R1**, **R2** e **R3**, considerando um curto circuito trifásico em f , na saída do disjuntor associado ao relé **R3**.

A Tabela 4.1 mostra as relações dos TCs e caraterísticas dos relés de sobrecorrente instalados.

Tabela 4.1- Características dos Relés.

Característica dos Relés						
	TC1	R1	TC2	R2	TC3	R3
TCs	200-5		400-5-5		250-5-5	
Fabricante		Pextron		West.		West.
Tape						5
Exatidão			10H100		A10F20C25	

Com atuação do relé **R1** as subestações indicadas no diagrama por setas também deixaram de funcionar. Pela ordem de proteção esperava-se atuação do relé **R3**, que é a proteção à jusante logo acima do ponto onde ocorreu a falta. Desse modo pode-se concluir o seguinte:

1. Trata-se de um erro de coordenação entre os relés o que originou a ausência de seletividade.
2. A falta é de curto-circuito que gerou uma sobrecorrente.
3. A função ANSI do relé para sobrecorrente é 50/51 e 50/51 N.

4.2 Descrições dos relés

Os relés de proteção já alcançaram um nível de desenvolvimento tecnológico considerável, em relação aos desenvolvidos em décadas atrás. Porém, mesmo com o desenvolvimento tecnológico, ainda existem milhares de relés considerados em fora de uso pelos fabricantes, mas desempenham bem suas funções. Por esse motivo, a compreensão do funcionamento de um conjunto de tecnologias diferentes, ou seja moderna e obsoleta, em um mesmo esquema de proteção é muito comum. Isso requer uma atenção extra, uma vez que muda a concepção do projeto de sistemas de proteção.

4.2.1 Relé pextron.

O relé pextron URP 7104 é um relé de proteção microprocessado com conexão serial, com quatro entradas de medição e de corrente trifásica (A, B, C e N) independente. Tem aplicação na proteção de cabines primárias de instalações industriais e comerciais, motores elétricos, geradores, redes de distribuição e transmissão. Por ser multifunção, pode substituir quatro relés de sobrecorrente do tipo eletromecânico e estático. A seguir serão descritas as principais partes componentes do relé URPE 7104. A Figura 4.3 apresenta uma vista frontal do relé.

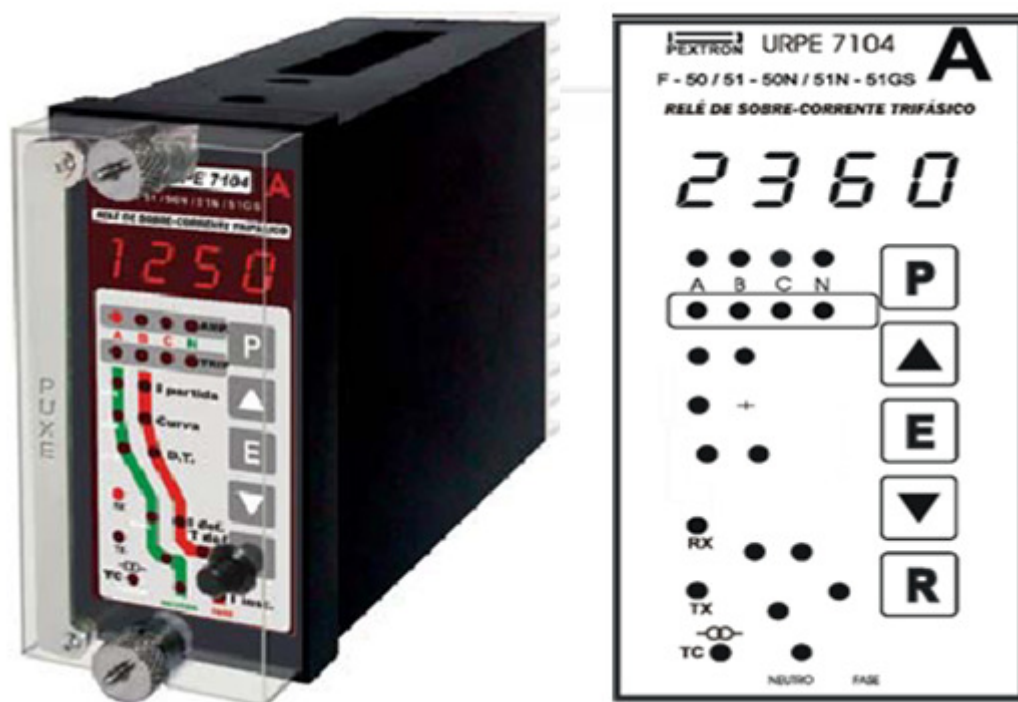


Figura 4.3- vista frontal do relé URPE 7104 (PEXTRON, 2010).

O relé URP 7104 pode executar as seguintes funções:

- 50 instantâneo de fase.
- 50N instantâneo de neutro.
- 51 temporizado de fase.
- 51N temporizado de neutro
- 51GS temporizado de sensor de terra

O relé URPE 7104 pode ser plicado na proteção principal ou de retaguarda como proteção monofásica, bifásica, trifásica, neutro, podendo ser utilizado à proteção de sobrecorrente em linhas de transmissão. Este relé pode ser ajustado de acordo as seguintes curvas, normalmente inversa (**NI**), muito inversa (**MI**) e Extremamente inversa (**EI**).

Possui um display de quatro dígitos utilizado para indicar a corrente secundária ou primária e o registro do valor máximo de corrente que circulou no relé no trip ou em operação normal. Ajustando-se a relação de transformação dos TCs as correntes lidas serão multiplicadas por esta relação, podendo ser lidas diretamente no amperímetro as correntes primárias do circuito protegido. Para o relé é importante saber o seguinte:

- 1- Correntes inferiores a 0,1 A no secundário dos TCs não são exibidas pelo amperímetro. Considera-se esta caraterística do relé para interpretação do amperímetro com relações elevadas.

- 2- O valor da relação de transformação do TC deve ser um número inteiro. Valores fraccionários serão arredondados pra menos. Com relação de TC < 1,0 o relé não exibe corrente no amperímetro.
- 3- Para que o amperímetro apresente uma determinada fase ou neutro continuamente, pressionar simultaneamente as teclas de incremento [Δ] e decremento [∇]. Para retornar o amperímetro à varredura de todas as fases e neutro pressionar [E].

As informações de ajustes são concentradas em uma memória não volátil, isto é, que não perde os valores após longos períodos sem alimentação. A introdução dos valores determinados para a proteção, são feitos através de um padrão de comunicação chamado de PEXNET que interliga o relé a um microcomputador. O sinal é transmitido em RS485 permitindo ligar ate 30 relés a um computador.

No painel frontal existem dois *leds* de sinalização de comunicação serial. Um denominado RX que indica que um bloco de dados foi recebido pelo relé e outro denominado TX que indica que o relé respondeu a um pedido de programação. O *led* TX só acende quando a programação de ajuste termina.

O conjunto de *leds* está dividido em três grupos:

Bandeiras do amperímetro; estão localizadas abaixo do display e identificadas como AMP. Indicam qual a fase que se refere á corrente que está sendo exibida no display do relé. Quando uma destas bandeiras está acesa indica a corrente medida na respectiva fase ou neutro. Se o led está piscando indica a corrente máxima registrada para a respectiva fase ou neutro;

Bandeiras de trip: estão localizadas entre as bandeiras do amperímetro e as de sinalização de curva. Os led's são identificados com "TRIP". Indica qual fase provocou desligamento (trip) do disjuntor. Quando o led está piscando indica que a fase provocou trip e o tipo de ocorrência está sinalizada na curva do painel do relé: trip através de temporização curva inversa / trip por tempo definido / trip instantâneo;

Bandeiras de programação / sinalização: possuem dupla função:

- a) em operação normal indicam o tipo de trip ocorrido e
- b) ao pressionar a tecla [P] sinaliza na curva de operação qual o parâmetro que está sendo programado. As sinalizações do motivo do comando de trip (Bandeiras de trip) ficam armazenadas enquanto permanecer a alimentação auxiliar do relé (memória volátil);

Conforme já mencionado existe um led para fase e um para neutro indicado no painel

I Inst. (curva verde - NEUTRO e curva vermelha - FASE). A sinalização possui memória.

A programação do URPE 7104 é extremamente fácil e adaptada para aproximar-se ao máximo possível dos dados usualmente manuseados em campo através dos engenheiros que trabalham com circuitos de proteção elétrica. Para facilitar a programação do relé estão desenhadas no painel as curvas de operação para FASE e NEUTRO. Nas curvas existem leds nos pontos principais das mesmas que possuem a função de sinalizar a atuação e especificar o parâmetro que está sendo programado no URPE 7104. O led TC indica a relação do transformador de corrente. Ao configurar este parâmetro, o relé automaticamente ajusta todos os outros valores de corrente do relé. Desta forma o relé é programado em corrente primária do TC.

4.2.2 Ajuste nos relés eletromecânicos.

O ajuste nos relés eletromecânicos é feito de maneira mais simples em relação aos digitais e estáticos. Para cada relé é especificado o ajuste para uma curva de atuação, se haver necessidade de mudar o tipo de curva é necessário trocar o relé.

A Figura 4.4 Apresenta a parte interna com seus respectivos botões de ajustes

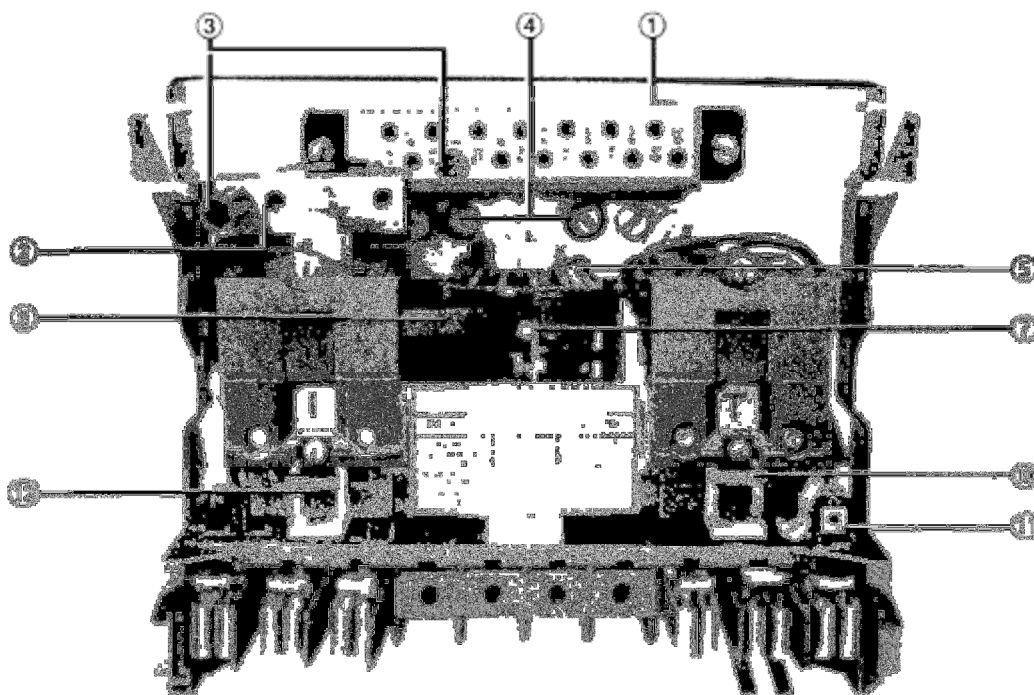


Figura 4.4 – Relé eletromecânico CO-9 da Westinghouse (ABB, 1990).

O relé CO-9, faz parte de uma família de relés Hi -Lo CO, muito semelhantes entre si, eles era produzidos pela Westinghouse, empresa americana, que mais tarde vendeu os direitos de fabricação a ABB, empresa suíça.

Conforme ilustrado na figura 4.3, o relé eletromecânico com suas opções de botões para o seu ajuste.

1 - bloco de *tapes* para a unidade temporizada

Este bloco indica os *tapes* disponiveis tanto para a fase como para o neutro aqui se seleciona o *tape* desejado, de acordo com os calculos realizados.

2 - Bloco de *tapes* para unidade instantanea

De maneira análoga é neste bloco que se seleciona os *tapes* instantaneos.

3 - *Tapes* de parafuso

Depois do ajuste aperi-se o parafuso, de modos não desajustar.

4 -Plugues magneticos

Esses *plugs* podem ser parafusados dentro ou fora do circuito magnético servem para controlar a saturação e ajustar a calibração para latas correntes.

5- *Dial* de tempo

Dial de tempo serve para calibramos o tempo de coordenação do relé é obtido em função da curva de ajuste do relé.

6 - Contato fixo

Este botão aciona fechamento e abertura rápida dos contatos do relé.

7 - Contato móvel

Ele serve para fechar os contatos do relé para altas voltagens acima da que o relé foi projetado.

8 - Disco de indução (não consta na figura)

Nele tem um conjunto de mola que permitem a coordenação entre as correntes de *pick-up* e *tapes*

9- Amortecedores magnéticos (não conta na figura)

10 – Contatos do interruptor

11-ISC selecionador de *tape*: Serve para selecionar o *tape* da unidade instantânea. É a partir dele que é selecionado o trip do relé, para o ajuste instantâneo.

12- Indicador do *trip* instantâneo: ajusta-se a corrente de trip para instantâneo.

4.3 Conceituação de seletividade.

No projeto de sistemas de proteção existem três tipos de seletividade considerar: amperimétrica, cronológica e lógica (MAMEDE FILHO, 2009).

A seletividade amperimétrica fundamenta-se no princípio de que as correntes de curto-circuito cresce à medida que o ponto de defeito aproxima-se da fonte de suprimento. Geralmente aplicado aos sistemas de baixa tensão, nas quais as impedâncias dos condutores são significativas a curta distância e as correntes de defeito não apresentam grandes variações o que dificulta esse procedimento.

A seletividade cronológica é baseada no princípio de que a temporização intencional do dispositivo de proteção próximo ao ponto de defeito seja inferior à temporização intencional do dispositivo de proteção a montante. É o mais aplicado em instalações industriais.

A seletividade lógica é mais recente e surgiu em função dos novos dispositivos de proteção que o mercado oferece. Os relés digitais multifunção possibilitaram a aplicação desse novo conceito. Aplica-se em unidades de sobrecorrente de fase e de neutro ou terra, tanto em sistemas primários como secundários.

Para esse caso específico vai se utilizar a seletividade cronológica, na qual são coordenados os ajustes dos relés.

4.4 Ajustes dos relés.

A diferença de tempos de disparo entre duas proteções consecutivas deve corresponder ao tempo de abertura do disjuntor acrescido da incerteza. Essa diferença denomina-se tempo de coordenação.

Para que se consiga a coordenação esperada é necessário ajustar convenientemente a relação dos TCs, o *tape* (escala de corrente que deve se escolher no relé) e o *dial* (índice da curva, que se utiliza como múltiplo para determinação do tempo de acionamento do relé) de tempo dos relés. Neste caso a escolha dos TCs já está satisfeita. É importante observar que o relé **R1** é microprocessado e **R2** e **R3** são relés eletromecânicos e os cálculos de ajustes diferem em alguns aspectos, embora seguindo a mesma metodologia.

- **Dados do sistema:**

I_{cc3f} 1,77 kA

I_{cc1f-t} 0,91 kA

V_s13,2 kV
 1x transformador 3000 kVA;
 6x transformadores 1500 kVA;
 2x transformadores.....1000 kVA;
 3x transformadores.....750 kVA;
 2x transformadores.....500 kVA;
 S_{ntotal} **14,25 MVA.**
Subestação onde ocorreu a falta:
 2x transformadores.....1500 kVA
 S_n **3000 kVA.**

4.4.1 Ajuste relé R1.

Para o ajuste do relé seguem-se os seguintes passos.

1- Cálculo da corrente nominal

Para o cálculo da corrente nominal, é utilizada a equação (4.1).

$$I_n = \frac{S_n(\text{MVA})}{\sqrt{3} \times V_n(\text{kV})} \quad (4.1)$$

Sendo:

I_n – corrente nominal da instalação, [A];

S_n - potência total da SE [MVA];

V_n – tensão nominal do transformador no lado de media tensão, [kVA]

De acordo com a equação (4.1) a corrente nominal é:

$$I_n = \frac{14,25}{\sqrt{3} \times 13,2}$$

$$I_n = 623,3 \text{ A}$$

2- Cálculo do ajuste unidade temporizada de fase (ANSI 51)

Para determinar a corrente de ajuste utiliza-se a equação (4.2)

$$I_a = \frac{K \times I_n}{RTC} \quad (4.2)$$

Sendo:

I_a – corrente mínima de ajuste da unidade temporizada, [A];

I_n - corrente nominal da instalação, [A];

K- fator de sobrecarga, para fase varia de 1,3 a 1,5;

RTC- relação de transformação da corrente do transformador de corrente.

De acordo com equação (4.2) o valor do *tape* é:

$$I_a = \frac{1.5 \times 623,3}{40} = 23,37 \text{ A}$$

O ajuste do *tape* da unidade temporizada na fase será:

$$I_{TF} = 12 \text{ A}$$

Sendo:

I_{TF} - corrente ajustada na unidade temporizada de fase.

O múltiplo da corrente é dado pela equação (4.3):

$$Mf = \frac{I_{CC}}{RTC \times I_{TF}} \quad (4.3)$$

$$Mf = \frac{1,77}{40 \times 12} =$$

Sendo:

I_{cc} – corrente de curto circuito, [A];

Mf – múltiplo de ajuste da corrente de fase.

Escolhe-se em função do múltiplo, no gráfico $T_{ms} = 0,2$.

De acordo com equação (3.25), o tempo operação do relé é:

$$T = \frac{13,5}{\left(\frac{I_{cc}}{I_{ac}}\right) - 1} \times T_{ms}$$

Onde:

T_{ms} – dial de tempo

I_{ac} - corrente de ajuste para o acionamento do relé.

Corrente de acionamento ou corrente de trip do relé é:

$$I_{ac} = RTC \times I_{TF} = 40 \times 20 = 800 \text{ A}$$

Aplicando a equação (3.25)

$$T = \frac{13,5}{\left(\frac{1770}{800}\right) - 1} \times 0,3$$

$$T = 3,35 \text{ segundos.}$$

3- Cálculo do ajuste da unidade instantânea de fase (ANSI 50)

O ajuste da corrente da unidade instantânea deve ser menor que a razão entre a corrente de curto-circuito e a relação de transformação do transformador de corrente.

$$I_i < \frac{I_{ac}}{RTC} = \frac{I_{cc}}{RTC} \rightarrow \frac{1770}{40} = 44,25 \text{ A}$$

Geralmente o valor adotado é inferior 5 a 15% do valor calculado. Corrente ajustada: 40A (cerca de 10 % inferior á I_i permitindo uma atuação segura do relé). Faixa de ajuste do relé é 1A a 100 A.

Verificação do acionamento do relé em função da corrente de magnetização do transformador.

A corrente de magnetização é calculada com equação (4.4).

$$I_{mg} = 8 \times I_{nT} \quad (4.4)$$

Sendo:

I_{mag} – corrente de magnetização, [A];

I_{nt} – corrente nominal do transformador, [A];

A corrente *inrush* do sistema equivale a corrente durante a partida do maior transformador da planta considerando os outros transformadores trabalhando em regime e dado pela equação (4.5)

$$I_{mg} = 8 \times I_{nT} \text{ do maior Transf.} + I_{nT} \text{ dos Transf. Restantes.} \quad (4.5)$$

De acordo com equação (4.5) I_{mg} é:

$$I_{mg} = 8 \times 65,6 + 5 \times 65,6 + 2 \times 21,86 + 2 \times 43,7 + 3 \times 32,8$$

$$I_{mg} = 1082,3 \text{ A}$$

A corrente de trip da unidade instantânea é dada pela equação (4.6)

$$I_{aci} = I_{ai} \times RTC \quad (4.6)$$

Então de acordo com a equação (4.6) a corrente de acionamento é:

$$I_{aci} = I_{ai} \times RTC = 40 \times 40 = 1600 \text{ A}$$

A corrente de magnetização do transformador circula durante sua energização nos enrolamentos (I_{inrush}). Portanto, apesar de ser bem maior que a corrente nominal, não caracteriza sobrecarga ou curto-circuito. Logo, o relé não deve atuar para este valor de corrente, e sim, para os valores de corrente de curto-circuito bifásico e trifásico, ou seja: $I_{aci} > I_{mg}$, esta condição deve satisfeita.

4- Cálculo da corrente de ajuste, unidade temporizada de neutro (ANSI 51N).

Utilizando a equação (4.2) e procedendo de maneira análoga para o ajuste de fase tem-se:

$$I_{an} = \frac{K \times I_n}{RTC}$$

Sendo:

I_{an} - corrente de ajuste para o neutro, [A];

K- fator de sobrecarga, para o neutro pode variar de 0,20 a 0,30.

De acordo com equação (4.2) o valor do *tape* é:

$$I_{an} = \frac{0,3 \times 623,3A}{40} = 4,67A$$

$$I_{TN} = 5 A$$

Sendo:

I_{TN} - corrente de ajustada na unidade temporizada de neutro, [A];

O múltiplo de ajuste do relé para o neutro é calculado utilizando a equação (4.3).

$$Mn = \frac{I_{CC}}{RTC \times I_{TN}} = \frac{0,91}{40 \times 5} = 4,55 \cong 5$$

Escolhe-se com $T_{ms} = 0,3$

De acordo com equação (3.25), o tempo operação do relé é:

$$T = \frac{13,5}{\left(\frac{I_{ma}}{I_s}\right) - 1} \times T_{ms} = 1,14 s$$

A corrente de acionamento é:

$$I_{ac} = RTC \times I_{TN} = 40 \times 5 = 200 A$$

5- Cálculo do ajuste da unidade instantânea de neutro (ANSI 50 N)

Aqui se utiliza o mesmo procedimento empregado para unidade instantânea de fase.

$$I_i < \frac{I_{ac}}{RTC} < \frac{I_{CCN}}{RTC} < \frac{910}{40} < 22,75 A$$

Sendo:

I_{CCN} - corrente de curto-circuito fase terra, [A];

Faixa de ajuste do relé: 0,15 a 50 A

Corrente ajustada: 20 amperes.

$$I_{aci} = I_{ai} \times RTC = 40 \times 20A = 800 A$$

$I_{aci} < I_{cc}$, condição satisfeita,

Com base no gráfico mostrado na Figura 4.1 e em função dos múltiplos de ajustes calculados, escolhe-se o *dial* e o tempo de atuação. Com os valores determinados dos

múltiplos de corrente, fixou-se o valor e refletiu-se a mesmo para o eixo das ordenadas. Determinando assim o tempo de atuação do relé. Vale lembrar que pra uma boa seletividade os tempos devem estar coordenados. A coordenação de tempos dos três relés é fundamental. Os dados normalmente não se ajusta por cima da curva, escolhendo-se nestes casos a curva mais próxima do referido ponto.

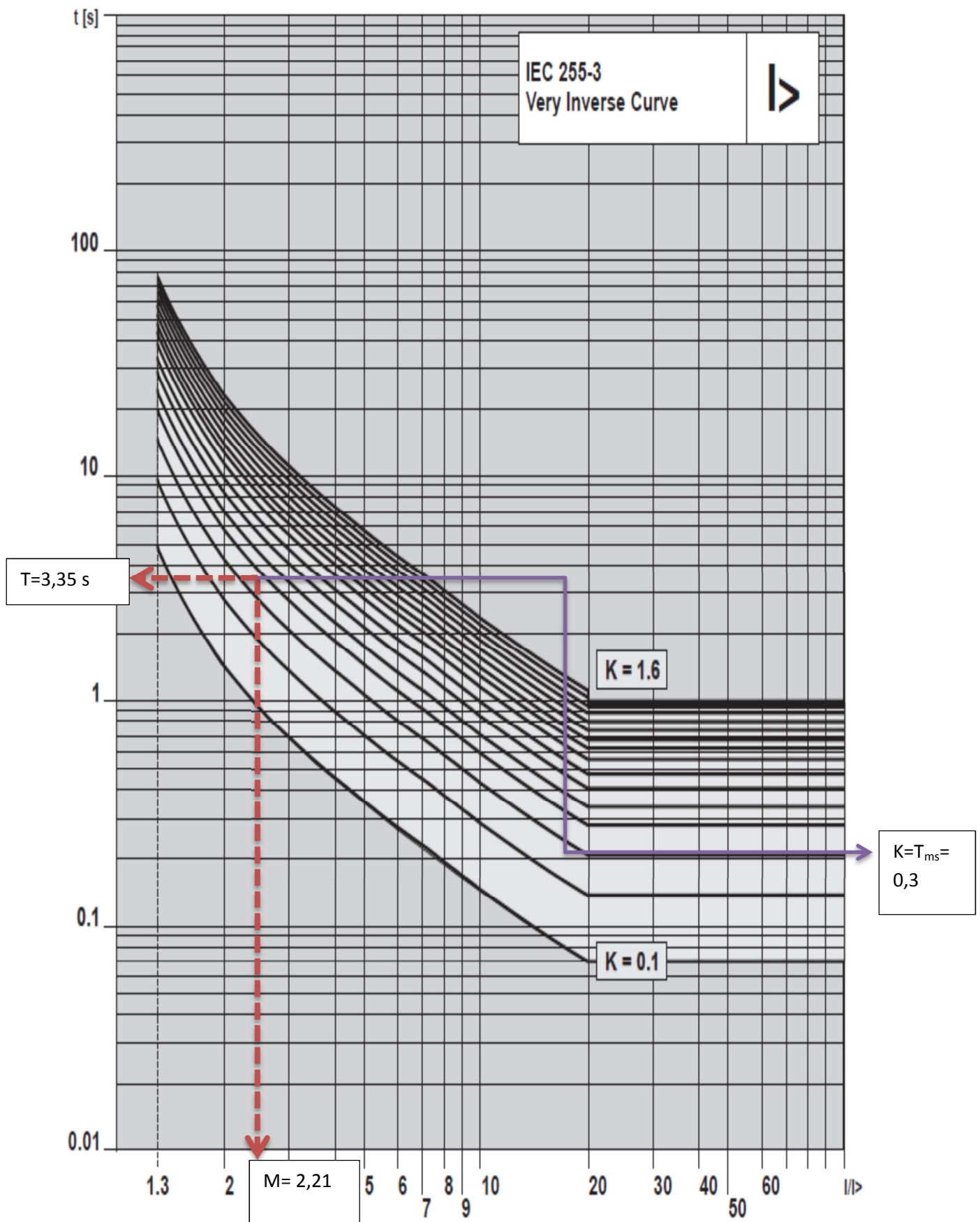


Figura 4.5 – Curva de tempo muito inverso relé digital (ABB, 2005).

A Tabela 4.2 mostra os valores para os ajustes e coordenação do relé.

A Tabela 4.2 Valores calculados para o ajuste.

Valores Calculados para o ajuste		
RELÉ - R1	Relé Microprocessado- Pextron	
	Fase	Neutro
Múltiplo de ajuste	2,21	4,55
Dial	0,3	0,3
Tempo de acionamento (51)	3,35 s	1,14s
Ajuste do Instantâneo (50)	40	20

4.4.2 Ajuste do relé eletromecânico

Nos relés **eletromecânicos** as características são fixas, portanto, se em um determinado sistema, os relés de sobrecorrente utilizados tiverem uma característica muito inversa e necessitar mudar para uma característica normal inversa a única solução é a substituição dos relés. Isto não acontece com os relés **de estado sólido** e **digital**, pois, um único relé engloba mais características, que podem ser selecionadas conforme a necessidade.

4.4.3 Ajuste relé R2

1 - Cálculo da corrente nominal

O cálculo da corrente nominal é feito de acordo com a equação (4.1):

$$I_n = \frac{14,25}{\sqrt{3} \times 13,2}$$

$$I_n = 623,3 \text{ A}$$

2 – Cálculos do ajuste da corrente da unidade temporizada de fase (ANSI 51)

Para o cálculo da corrente de ajuste do *tape* do relé, utiliza-se a equação (4.2).

$$I_{TF} = \frac{K \times I_n}{RTC}$$

Sendo:

I_{TF} — corrente de *tape* da unidade temporizada, [A];

K- fator de sobrecarga, para fase pode variar de 1,3 a 1,5.

De acordo com equação (4.2) o valor do *tape* de fase é:

$$I_{tf} = \frac{1,3 \times 623,3\text{A}}{80} = 10,13\text{A} \rightarrow I_{TF} = 10 \text{ A (tabela 4.2)}$$

Considerando os modelos CO de fabricação da westinghouse/ABB, a Tabela 4.3 fornece a faixa de variação dos *tapes* da unidade de indução temporizada, bem como os valores definidos das correntes de derivação, ou seja a escolha de tapes é determinada de acordo com a faixa de valores do relé.

Tabela 4.3- Derivação do Relé

Derivação do Relé															
Faixa (A)	Tapes disponíveis														
0,5- 2,5	0,5	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5								
1,0-12,0	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10	12

Corrente de trip do relé é dada pela equação (4.5)

$$I_{\text{trip}} = \text{RTC} \times I_{TF}$$

Sendo:

I_{trip} – corrente de trip, acionamento do relé, [A];

De acordo com equação 4.5 a corrente o ajuste do trip do relé é:

$$I_{\text{trip}} = 80 \times 10 = 800 \text{ A}$$

O múltiplo de corrente de acionamento é calculado através equação (4.3)

$$M = \frac{I_{CC}}{\text{RTC} \times I_{TF}}$$

$$M = \frac{I_{CC}}{\text{RTC} \times I_{TF}} = \frac{1,77 \text{ kA}}{80 \times 10} = 2,21$$

Sendo:

M – múltiplo da corrente de acionamento

I_{a_trip} – corrente de acionamento, [A];

I_{cc} - corrente de curto circuito, [kA];

3 - Cálculo do ajuste da unidade instantânea de fase (50)

A corrente de curto-circuito assimétrica é dada pela equação (4.7)

$$I_{as} = F_a \times I_{CC} \quad (4.7)$$

Sendo:

I_{as} – corrente de curto circuito assimétrica, valor eficaz, [kA];

$F_a = 1,30$ (fator de assimetria).

De acordo com a equação (4.7).

$$I_{as} = 1,3 \times 1,77 = 2,30 \text{ kA}$$

Para determinar a corrente de ajuste, o *tape* do relé, utiliza-se Tabela (4.3).

$$F < \frac{I_{as}}{I_a} < \frac{2300 \text{ A}}{80 \times 10} < 2,87$$

$$I_i = F \times I_{TF} = 2,28 \times 12 = 27,40 \text{ A. Valor adotado 25.}$$

A bobine da unidade instantânea é alimentada em corrente alternada, pois está em série com a unidade de indução. Ao contrário desta, a unidade instantânea é sensível ao componente contínuo da corrente de curto-circuito de valor assimétrico, que deve ser considerada na determinação do seu ajuste. A Tabela 4.4 fornece a Tabela de ajuste das unidades instantâneas do relé de fabricação da Westinghouse/ABB, bem como os *tapes* disponíveis.

Tabela 4. 4 Característica da unidade instantânea

Faixas das bobinas	Tapes disponíveis	Corrente nominal	Corrente de curta duração
2,0- 48,0	2,0-7,0	2,1	70,0
	7,0-14,0	7,0	140,0
	14,0-18,0	10,0	185,0
6,0-144,0	6,0-20,0	7,0	88,0
	20,0-40,0	16,0	280,0
	40,0-144,0	25,0	460,0

Faixa de ajuste (2 – 48)

$$I_{i_trip} = 25 \times 80 = 2.000 \text{ A}$$

$$I_{i_trip} < I_{as} \rightarrow 2000 \text{ A} < 2.300 \text{ A} - \text{condição satisfeita.}$$

4 - Cálculo de ajuste do relé, unidade temporizada de neutro (ANSI 51N).

Para determinar a corrente de ajuste utilizamos a equação (4.2).

$$I_{TN} = \frac{K \times I_n}{RTC} = \frac{0,20 \times 623,3}{80} = 1,56 \text{ A}$$

Sendo:

I_{TN} – corrente de *tape* do neutro na unidade temporizada, [A];

I_n - corrente nominal presumida do sistema, [A];

K- fator de sobrecarga, para neutro pode variar de 0,1 a 0.3.

RTC- relação de transformação da corrente do transformador de corrente.

De acordo com equação (4.2) o valor do *tape* de fase é:

$$I_{TN} = 2 \text{ A (Tabela 4.2), valor adotado}$$

$$I_{N_trip} = RTC \times I_{tN} = 80 \times 2 = 160A$$

Cálculo do múltiplo de ajuste

$$Mn = \frac{I_{NCC}}{RTC \times I_{TN}} = \frac{0,91}{80 \times 2} = 5,56$$

Escolheremos a curva EI com *dial* = 4

5 - Cálculo do ajuste da unidade instantânea de neutro (50N).

$$I_{N_as} = Fa \times I_{NCC}$$

$$I_{N_as} = 1,3 \times 0,910 = 1.183A$$

$$F < \frac{I_{N_as}}{I_a} < \frac{1.183 A}{80 \times 2} < 7,39 \rightarrow \text{adotado } F = 7.$$

$$I_{Ni} = F \times I_{tN} = 7 \times 2 A = 14 A$$

Faixa de ajuste (14 A á 48 A) de acordo com a tabela.

A corrente de acionamento da unidade instantânea é dada pela equação (4.6)

$$I_{Ni_trip} = RTC \times I_{Ni}$$

$$I_{Ni_trip} = 14 \times 80 = 1.120A$$

$$I_{Ni_trip} < I_{as} \rightarrow 1.120 A < 1.183 A - \text{condição satisfeita.}$$

Sendo:

I_{Ni} - corrente de tape do neutro na unidade da instantânea, [A];

I_{Ni_trip} – corrente de acionamento do neutro na unidade instantânea, [A];

Com base no gráfico mostrado na Figura 4.3 e em função dos múltiplos de ajustes calculados, escolhe-se o *dial* e o tempo de coordenação de maneira análoga ao relé **R1**, Esses valores são escolhidos de acordo com a necessidade de projeto de modos a garantir a seletividade nos dispositivos de proteção.

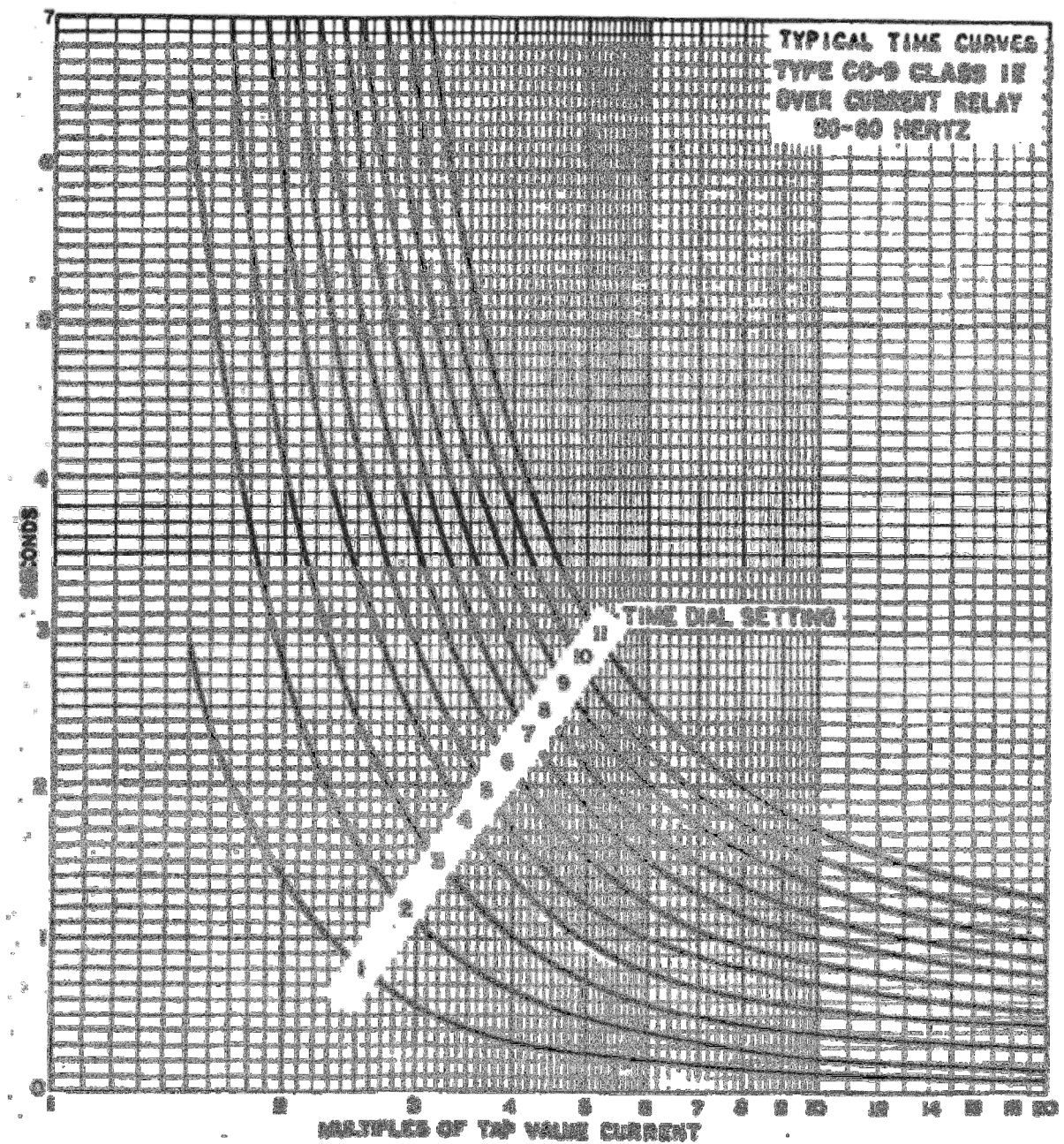


Figura 4.6 - Família de curvas muito inversa relé eletromecânico (ABB, 2009).

A Tabela 4.5 mostra os valores para os ajustes e coordenação do relé.

A Tabela 4. 5 Dados para o ajuste do relé.

Dados para o ajuste do relé		
Relé	R2	Relé eletromecânico - westinghouse
		Fase Neutro
Múltiplo de ajuste		2,21 5,56
Dial		2,0 4,0
Tempo de acionamento (51)		1,7 0,7
Ajuste do Instantâneo (50)		25 14

4.4.4 Ajuste relé R3 eletromecânico.

1- Cálculo da corrente nominal

$$I_n = \frac{S_n(\text{MVA})}{\sqrt{3} \times V_n(\text{kV})}$$

Sendo:

I_n – corrente nominal da instalação, [A];

S_n – potência nominal dos transformadores da instalação, [MVA];

V_n – tensão nominal, [kV].

De acordo com a equação (4.1) a corrente nominal é:

$$I_n = \frac{3}{\sqrt{3} \times 13,2}$$

$$I_n = 131,2 \text{ A}$$

2- Cálculo de ajuste do relé, unidade temporizada de fase (ANSI 51).

Para determinar a corrente de ajuste utilizamos a equação (4.2)

$$I_{TF} = \frac{K \times I_n}{RTC}$$

Sendo:

I_{TF} – corrente de tape da unidade temporizada, [A];

I_n - corrente nominal da instalação, [A];

K- fator de sobrecarga, para fase pode variar de 1,3 a 1,5.

RTC- relação de transformação da corrente do transformador de corrente.

De acordo com equação (4.2) o valor do tape de fase é:

$$I_{TF} = \frac{1,3 \times 131,2 \text{ A}}{50} = 3,41 \text{ A} \rightarrow I_{TF} = 4 \text{ A (Tabela 4.3)}$$

Corrente de ajuste é dada pela equação (4.5)

$$I_{a_trip} = RTC \times I_{TF}$$

Sendo:

I_{a_trip} – corrente de ajuste, trip do relé, [A];

De acordo com equação (4.5), a corrente o ajuste do trip do relé é:

$$I_{a_trip} = 4 \times 50 = 200 \text{ A}$$

O múltiplo de corrente de acionamento é calculado através equação (4.6)

$$Mf = \frac{I_{cc}}{RTC \times I_{tf}}$$

De acordo com a equação (4.6), o múltiplo é:

$$M_f = \frac{I_{CC}}{RTC \times I_{tf}} = \frac{1,70 \text{ kA}}{50 \times 4} = 8,5$$

Sendo:

M_f – múltiplo da corrente de acionamento

I_{a_trip} – corrente de acionamento, [A];

I_{cc} - corrente de curto circuito, [kA];

3 - Cálculo do ajuste da unidade instantânea de fase (ANSI 50)

$$I_{as} = F_a \times I_{CC}$$

Sendo:

I_{as} – corrente de curto-circuito assimétrica, valor eficaz, [A];

$F_a = 1,30$ (fator de assimetria).

De acordo com a equação (4.3)

$$I_{as} = 1,3 \times 1,7 \text{ kA} = 2,21 \text{ kA}$$

$$F < \frac{I_{as}}{I_a} < \frac{2,21 \text{ kA}}{50 \times 4} < 11,05$$

$$I_i = F \times I_{tf} = 11,05 \times 4 = 44,2 \text{ A (valor adotado 40)}$$

Faixa de ajuste (2 – 48)

$$I_{i_trip} = 40 \times 50 = 2.000 \text{ A}$$

$$I_{i_trip} < I_{as} \rightarrow 2000 \text{ A} < 2.210 \text{ A} - \text{condição satisfeita.}$$

4- Cálculo do ajuste do relé, unidade temporizada de neutro (ANSI 51N)

De acordo com equação (4.2) o valor do *tape* de neutro é:

$$I_{TN} = \frac{K \times I_n}{RTC} = \frac{0,20 \times 131,2}{50} = 2,62 \text{ A}$$

De acordo com a Tabela 4.3 o valor adotado é:

$$I_{TN} = 3 \text{ A}$$

Sendo:

I_{TN} – corrente de *tape* do neutro na unidade temporizada, [A];

I_n - corrente nominal presumida do sistema, [A];

K- fator de sobrecarga, para neutro pode variar de 0,1 a 0.3.

$$I_{N_trip} = RTC \times I_{tN} = 50 \times 3 \text{ A} = 150$$

Cálculo do múltiplo de ajuste

$$M_n = \frac{I_{Ncc}}{RTC \times I_{tN}} = \frac{0,91}{50 \times 3} = 6,1$$

Escolhe-se a curva EI com $T_s = 4$

5- Cálculo do ajuste da unidade instantânea de neutro (ANSI 50N).

$$I_{as} = Fa \times I_{Ncc}$$

$$I_{as} = 1,3 \times 0,910 \text{ kA} = 1.183 \text{ A}$$

$$F < \frac{I_{as}}{I_a} < \frac{1.183 \text{ A}}{50 \times 3} < 7,88 \rightarrow \text{adotado } F = 7.$$

$$I_{Ni} = F \times I_{TN} = 7 \times 3 = 21 \text{ A}$$

Faixa de ajuste (14 A a 48 A) (MAMEDE FILHO, 2011).

A corrente de acionamento da unidade instantânea a é dada pela equação (4.6)

$$I_{Ni_trip} = RTC \times I_{Ni}$$

$$I_{Ni_trip} = 21 \times 50 = 1.050 \text{ A}$$

$$I_{Ni_trip} < I_{as} \rightarrow 1.050 \text{ A} < 1.183 \text{ A} - \text{condição satisfeita.}$$

Sendo:

I_{Ni} - corrente de *tape* do neutro na unidade da instantânea, [A];

I_{Ni_trip} -corrente de acionamento do neutro na unidade instantânea, [A];

Com base no gráfico mostrado na Figura 4.3, e em função dos múltiplos de ajustes calculados, escolhe-se o *dial* e a partir da curva determina-se o tempo de atuação. Procedendo-se da mesma forma que no relé **R1**. A tabela 4.6 mostra os valores para os ajustes e coordenação do relé.

Tabela 4.6- Dados para o Ajuste do relé.

Dados para o Ajuste do Relé		
RELÉ - R3	Relé eletromecânico - westinghouse	
	Fase	Neutro
Múltiplo de ajuste	8,5	6,1
Dial	1,0	1,0
Tempo de acionamento (51)	0,2 s	0,18 s
Ajuste do Instantâneo (50)	40	21

4.4.5 Coordenograma dos relés (gráficos)

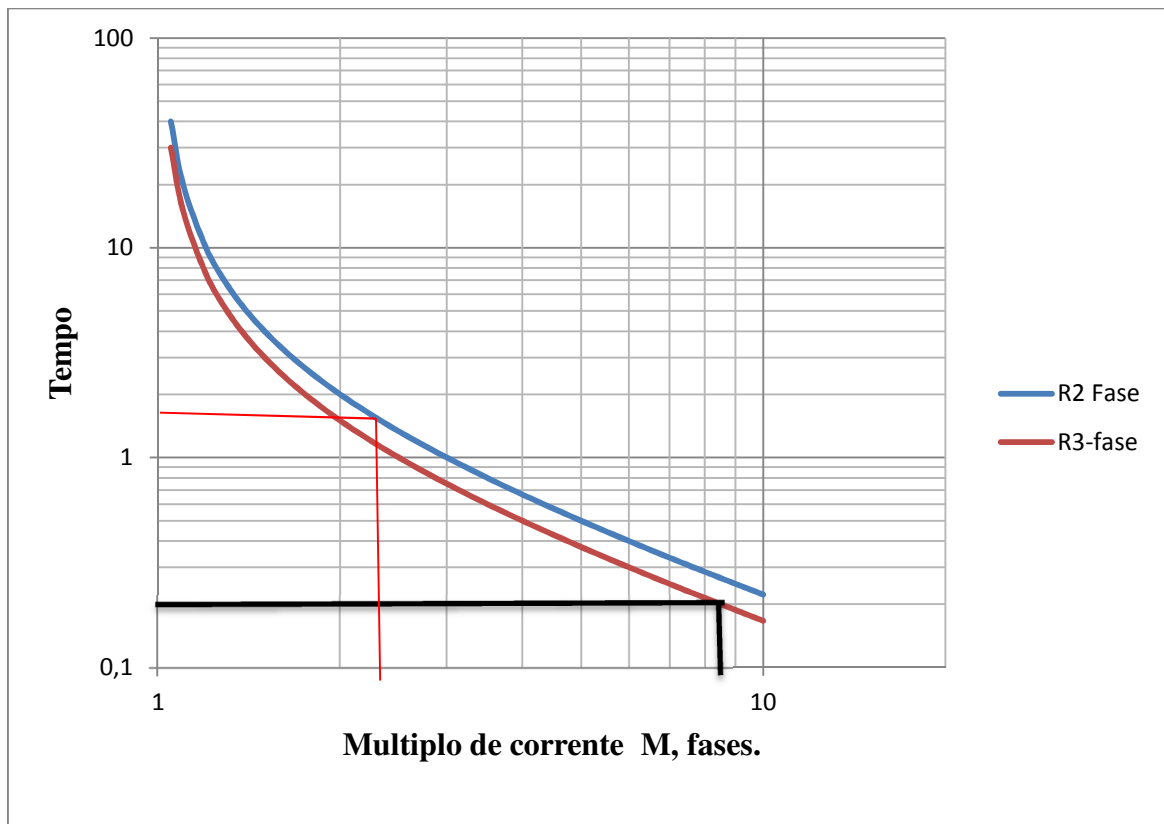


Figura 4.7 – Coordenograma de fase dos relés R2 e R3

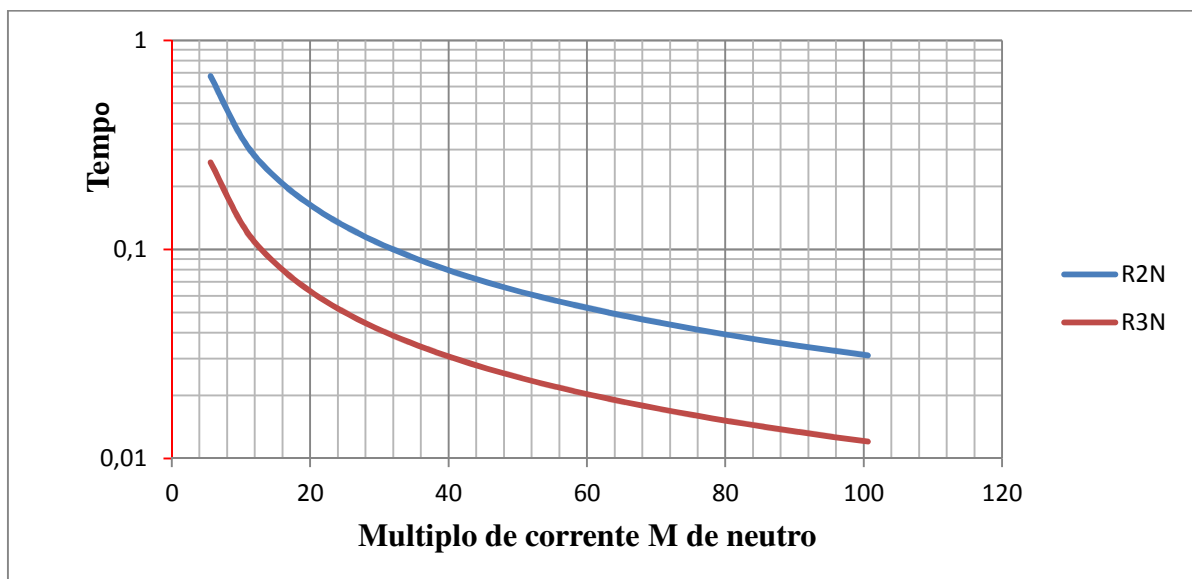


Figura 4.8 – Coordenograma de neutro dos relés R2 e R3

Este trabalho resolve um problema de seletividade e coordenação do sistema de proteção. Ao ocorrer a falta era de se esperar que o relé **R3** detecta-se e acionasse a abertura do disjuntor. O que não aconteceu, foi sensibilizado o relé **R1**, que acionou o seu respectivo disjuntor, colocando toda a subestação fora de serviço.

Anteriormente a subestação funcionava com os relés ajustados em curvas diferentes, ou seja, o relé microprocessado da entrada estava configurado para curva de tempo extremamente inverso, diferente dos relés eletromecânicos, que estavam configurados para uma curva muito inversa. Ajustado dessa maneira o sistema de proteção pode funcionar, mas, para um sistema de proteção cumprir com o requisito a que foi proposto, os relés devem estar configurados para a mesma curva de tempo inverso, o que facilita a coordenação e é possível observar isso graficamente.

O relé digital por estar configurado para uma curva de tempo extremamente inversa torna-se muito rápida e também pela sensibilidade dos relés digitais, o disjuntor do relé **R1** era acionado antes que o relé **R3** percebesse a ocorrência da falta. Este problema fez com que a fabrica toda fosse desligada, trazendo grandes prejuízos financeiros e materiais.

Para solucionar o problema, o primeiro passo foi verificar os ajustes dos relés e alterar as curvas de atuação dos relés. As curvas dos relés **R1** e **R2** são fixas, não podendo ser alteradas, a não ser que se troquem os relés. Como o relé digital, da pextron é multifunção, alterou-se a configuração do relé para a mesma curva de tempo inverso que os relés eletromecânicos, neste caso, para curva de tempo muito inversa. Posteriormente fez-se o cálculo dos ajustes dos relés. Finalmente a coordenação do relé, que é feita tendo em conta os tempos de abertura de cada disjuntor, os tempos de atuação dos relés eletromecânicos e também tendo em conta o tempo de uso, ou seja, a idade dos relés eletromecânicos. A coordenação é feita iniciando-se do relé que se encontra mais afastado da cabine de entrada, nesse caso o **R3**, que é escolhido primeira da curva da família de curvas de tempo muito inverso, em seguida o relé **R2**, que no seu tempo de atuação deve ser adicionado o tempo de abertura do disjuntor, que normalmente é 0,4 segundos, o tempo tendo em conta o atraso de resposta do relés eletromecânicos e mais um tempo devido a idade do equipamento, que fica a critério do projetista, mas geralmente varia entre 0,3 a 0,6 segundos. Para o tempo de coordenação do relé de entrada **R1**, procede-se de maneira análoga em relação ao tempo do **R2**. Feito isso, os equipamentos podem ser entalados. Mas para uma visão clara de coordenação, aconselha-se o coordenograma gráfico, como mostrado nas figuras 4.8 e 4.9. nelas se pode observar, pelas curvas plotadas que o relé **R3** sensibilizado antes do relés **R2**. Primeiro pela posição das curvas, é fundamental que a curva que atua primeiro apareça

sempre mais a esquerda, e em nenhum momento elas devem cruzar. O cruzamento de duas curvas de ajustes implicaria a escolha de curvas de tempo inverso diferentes. E no caso deve-se projetar para que os relés acionem antes do cruzamento das respectivas curvas.

As curvas do relé Pextron, **R1**, não foram plotadas, por ele ser digital, obedece a um multiplicador de tempo diferente, o que incorreria em erros ao apresentá-los no mesmo gráfico.

Findo este trabalho, foram instalados os referidos relés e os respectivos disjuntores. Garantiu-se a integridade da instalação elétrica bem como o funcionamento da indústria. Com estes ajustes a seletividade foi realizada evitando que no futuro faltas semelhantes no sistema elétrico ponham em causa a produção, evitou-se deste modo a perda de somas avultadas de valores monetários, tendo em conta o tamanho e estrutura da referida indústria.

5 CONCLUSÃO.

A energia elétrica é um bem indispensável para as sociedades, e é massiva aplicação da energia elétrica em todos seus setores tais como, lares, comércio e principalmente na indústria. A operação de um sistema de energia elétrica visa manter um abastecimento segundo padrões adequados de continuidade, qualidade e comodidade. Paralelamente, estão as ocorrências de falhas e faltas que podem comprometer o desempenho do sistema elétrico. Para que os índices de desempenho do sistema possam ser mantidos é imprescindível uma estrutura que permita o funcionamento do sistema elétrico, para detectar e corrigir no menor tempo possível as falhas que ocorrem e garantir o funcionamento durante as operações rotineiras, quer sejam de manobras ou manutenção.

Os sistemas de proteção na indústria desempenham um papel fundamental, além de proteger as instalações elétricas de falhas ou qualquer anomalia que possa ocorrer. Uma boa proteção garante não só a segurança dos equipamentos e dispositivos instalados, mas também, assegura o funcionamento adequado de qualquer processo industrial garantindo à continuidade de fornecimento de energia e, no caso de falhas, selecionando e isolando corretamente a área atingida e não interrompendo a área fora da região afetada. Por outro lado, a energia elétrica é um bem que requer controle de acordo com o fim determinado, ao contrário pode acarretar grandes prejuízos materiais, ambientais e pessoais.

Durante a elaboração do presente trabalho se observou alguns itens que foram decisivos na escolha da metodologia utilizada na realização do projeto. A escolha das curvas de ajustes foi induzida, uma vez que os equipamentos já estavam instalados. No caso dos relés eletromecânicos a alteração do tipo de curva implicaria na troca dos dispositivos, uma vez que eles atendem a especificação de uma única curva. Para o relé digital a curva foi escolhida em função da curva dos relés eletromecânicos, recomendação de projeto, as curvas dos relés envolvidas em um determinado projeto devem ter a mesma inclinação de modo facilitar a coordenação. Os TCs e TPs também já estavam instalados e não foram substituídos, já que seus parâmetros, exatidão e saturação, estavam de acordo com as exigências requeridas para o sistema de proteção. Nos cálculos de ajuste evitou-se o arredondamento, já que os relés eletromecânicos apresentam um tempo de vida considerável, que poderia afetar o desempenho do sistema de proteção. Os cálculos de ajustes foram realizados de acordo com recomendações de normas e com base na literatura de autores especializados no assunto, o que permitiu observar alguns métodos e técnicas similares para solucionar o problema. E

ainda, consultaram-se profissionais do ramo e se estudou alguns trabalhos similares, o que foi decisivo na escolha do procedimento utilizado nos ajustes dos dispositivos de proteção.

Em geral, o sistema de proteção compreende basicamente um conjunto de fatores e critérios que visa solucionar, controlar e prever onde o recurso de manutenção preventiva será prioridade. Com base neste trabalho, um estudo de comparação poderá ser feito, comparando os dados já existentes anteriormente calculados com os novos dados calculados, o procedimento utilizado, em relação a outros métodos. Também podem ser realizados testes de ajustes nos dispositivos com base nos cálculos de ajustes determinados no presente trabalho, observando a coordenação entre relés eletromecânicos e digitais numa mesma instalação.

6 REFERÊNCIAS

- ALI, I.; THOMAS, M. S. **Ethernet enabled fast and reliable monitoring, protection and control of electric power substation**. NEW DELHI: IEEE, 2006. 6 P.
- ABB N2: Manual operativo para unidades de proteção a microprocessadores. SÃO PAULO. 2005.
- ABB N2: Type CO Overcurrent relay. SÃO PAULO. 2009.
- ANDERSSON, L.; BRUNNER, C.; ENGLER, F. **Substation Automation based on IEC 61850 with new process-close Technologies**. ZURICH: IEEE, 2002. 6 P.
- ARONSON, J. E. **Encyclopedia of information systems: Experts Systems**, 1ed. GEORGIA: Elservier Science, 2003.
- BARBOSA, D. et al., **Lógica fuzzy aplicada a proteção diferencial de Transformadores de potência**. SÃO PAULO: IEEE 2011. 12 P.
- BOARETTO, N. **Tecnologia de comunicação em sistema SCADA, Enfoque em comunicação Wireless com espalhamento espectral**. 2005. 96 f. Dissertação(Mestrado em Engenharia de produção) Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Unidade de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2005.
- CAMINHA, A. C. **Introdução proteção dos sistemas elétricos**. SÃO PAULO: Edgar blucher Lta, 1977. 210 p.
- COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO (CESP). **N2: Instalações consumidoras em tensão primária de distribuição de energia elétrica**. SÃO PAULO. 1986.
- CONPROVE N2 : Padronização da nomenclatura de dial de tempo do relé Pextron. SÃO PAULO. 2007
- JUNIOR, N. J. F., **Proteção digital - impacto nas atividades de cálculo de ajustes, manutenção e análise de perturbações**. SAO PAULO: 2009.
- KEZUNOVIC, M.; WATSON, K.; RUSSELL B. D., **Expert System Applications to protection, substation control and related monitoring functions**. TEXAS: IEEE, 1990. 16 P.
- KINDERMANN, G. **Proteção de sistemas elétricos de potência**. 2 ed. FLORIANÓPOLIS: ED. AUTOR. 2005. 148 p.
- LEÃO, F. B., PEREIRA, R. A. F., MANTOVANI, J. R. S., **Fault section estimation in electric power systems using an optimization immune algorithm**. SÃO PAULO: IEEE, 2010. 12 p.
- LEE H. et al. **Fuzzy Expert System for the Integrated Fault Diagnosis**. 2nd. KOREA: IEEE, 2000. v.15, 6 p.

MAMEDE FILHO, J. **Manual de equipamentos elétricos.** 3 ed. RIO DE JANEIRO: LTC, 2011. 788 p.

MAMEDE FILHO, J. **Proteção de sistemas elétricos de potência.** RIO DE JANEIRO: LTC, 2011.

MARDEGAN, C. **Dispositivos de proteção.** Disponível em http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed50_marco_protecao_seletividade_capIII.pdf> Acesso em 10 de outubro de 2012. 10:36

ON TIME AUTOMAÇÃO E PROTEÇÃO. **Curso de introdução ao protocolo iec 61850:** Introdução ao protocolo IEC 618501. Rio de Janeiro, 2010. 2 p.

PANWAR A.; KHANDELWAL A., **Modern Numerical Relay For Power System Protection.** 1. ed. JAIPUR: IEEE. 2012. v. 2, 5 p.

RANAWEERA, D. K. **Comparison of neural network models for fault diagnosis of power systems,** ARIZONA: Elsevier Sequoia, 1994. 6p.

SAY, M.G **Electrical engineer's reference book.** 13 ed. LONDON: Butterworth & co.(publishers) Ltd. 2004. Xxxp.

SCHNEIDER ELETRIC, **Boletim técnico PMC:** Parametrizando a função de sobrecorrente de fase nos relés SEPAM. SÃO PAULO 2008.

SOUTO, A. O.; FONSECA, M.O., Automação em Subestações Industriais. **Tecnologia em Metalurgia e Mineração.** SÃO PAULO: v. 3, n. 3, p. 41-45, mar, 2007.

SU Y. C.; WANG X., **Video System Linkage Control with Relay Protection in Digital Substation,** JIANG XI (CHINA): IEEE, 2010. 4 p.

ZENIRATO, E., **Modernização das funções seletividade lógica e falha do disjuntor com a utilização da norma IEC - 61850 (mensagens GOOSE) – caso real.** São Paulo: IEEE, 2008. 6 p.