



Estudo sobre o sistema elétrico de potência: função de sobrecorrente

Palavras-Chave: SEP, Proteção, Sobrecorrente

Autores(as):

Vitor Gonçalves Costa, FEEC

Prof. Dr^a. Maria Cristina Tavares DSE- FEEC

Luis Guzman Garcete Alderete

INTRODUÇÃO:

Um sistema elétrico de potência (SEP) consiste em uma rede interligada de componentes elétricos que fornecem, transmitem e distribuem energia elétrica de fontes de geração para consumidores em larga escala. Esses componentes incluem geradores, transformadores, linhas de transmissão, subestações, equipamentos de controle, proteção e monitoramento, além de consumidores industriais e residenciais. O SEP é responsável por garantir o fornecimento contínuo de energia elétrica com qualidade e confiabilidade para atender à demanda crescente da sociedade moderna. Ele também desempenha um papel fundamental na integração de fontes de energia renovável, como a energia eólica e a solar.

Inicialmente, o sistema elétrico tinha uma característica mais radial, o que significa que a energia elétrica fluía em uma direção única, a partir de uma única fonte de alimentação principal ou subestação, para várias subestações secundárias e consumidores finais. O sistema radial tem a característica de ser simples e fácil de operar e manter. No entanto, o fato da transmissão de energia elétrica ser unidirecional tornava o sistema menos flexível e menos confiável em caso de falha em uma subestação ou linha de transmissão. Com o objetivo de superar essa deficiência, passou-se a utilizar a configuração em anel, também chamada de malha fechada. Nessa nova filosofia são integradas múltiplas fontes geradoras tal que a distribuição de energia ocorra através de vários caminhos, sendo assim possível contornar eventuais falhas na rede por rotas alternativas até o consumidor final.

O sistema de proteção do sistema elétrico existe para minimizar os danos causados por eventuais falhas que ocorrem no SEP e manter a continuidade da transmissão de energia. O sistema de proteção é composto por relés de proteção, disjuntores, transformadores de corrente (TCs), transformadores de potencial (TPs), entre outros. Esses equipamentos trabalham em conjunto por meio de procedimentos previamente implementados para isolar eventuais defeitos da rede elétrica que possam pôr em risco os equipamentos do SEP ou a integridade física das pessoas. O método de atuação desses relés de proteção varia conforme a função de proteção desejada e a filosofia de proteção adotada pela empresa responsável.

O relé em específico a ser abordado neste estudo é o SEL-421 na função de sobrecorrente temporizada e de tempo definido. Esse dispositivo é utilizado para realizar a proteção de retaguarda de outros equipamentos, ou seja, quando a função principal de proteção não atuar no regime de falta, o relé de sobrecorrente identificará uma corrente elétrica anormal e acionará os disjuntores responsáveis por isolar a região em que se encontra o defeito. Para que seja possível identificar esse defeito e atuar de maneira que não perturbe os demais equipamentos, é vital que haja coordenação entre os equipamentos, delimitando zonas de proteção, assim como o tempo para que cada aparelho seja sensibilizado. Dessa forma, o relé de sobrecorrente possui uma função temporizada na qual o engenheiro define o tempo de operação para cada valor de corrente que passa pelo transformador de corrente.

Para a presente pesquisa foi utilizado um sistema teste, referência [1], formado por 9 barramentos em anel com duas unidades geradoras e 5 centros de carga para simular uma região de transmissão do Sistema Elétrico de Potência (SEP) brasileiro. O sistema elétrico foi modelado no programa para cálculo de curto-circuito ANAFAS. O

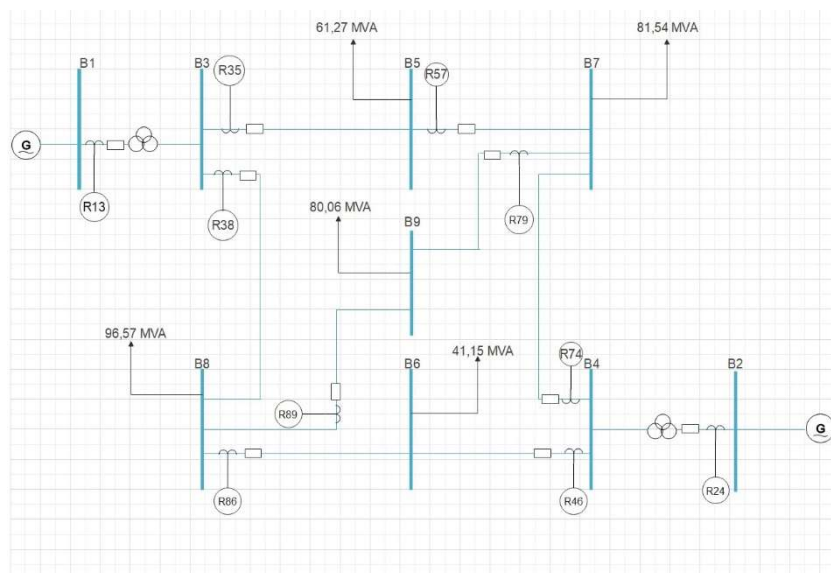
programa é largamente utilizado na área de proteção no Brasil, sendo importante o aprendizado do uso da ferramenta. A partir das simulações é possível realizar a correta parametrização dos relés, além de projetar boa seletividade entre os equipamentos. Esse processo inicial de adaptação a conceitos básicos sobre a proteção da rede elétrica, assim como o uso do ANAFAS caracteriza a primeira metade deste estudo.

MATERIAIS:

Para realizar esse estudo, primeiramente, foi utilizado o software Anafas com o auxílio da referência [2] Esse software permite a implementação do sistema de 9 barras da figura 1, referência [1], para realizar a simulação de curto-circuito em linhas de transmissão ou barramentos. No caso deste estudo foram feitas simulações de faltas monofásicas e trifásicas em cada uma das 9 barras. Em seguida foi utilizado o software *SMath Solver* que permitiu realizar diversos cálculos necessários para a coordenação das curvas obtidas na figura 2 (apresentadas na seção metodologia e resultados) Para traçar as curvas de coordenação foi utilizado um programa python escrito pelo autor com auxílio das bibliotecas *matplotlib.pyplot* e *pandas*.

Em uma segunda etapa, para obter mais proximidade com a realidade trabalhada, foi feito o estudo e a implementação do sistema equivalente supracitado no equipamento que condiz com o estado da arte desta área de estudo: o RTDS (*Real Time Digital Simulator*)¹. Com esse equipamento, mediado por seu software RSCAD, e com o auxílio da mala de amplificação *Doble F6350 Current/Voltage Amplifier*, foi possível realizar uma comunicação com o relé SEL-421 e verificar sua atuação como ocorreria em campo.

Figura 1: Diagrama do sistema de 9 barras



METODOLOGIA E RESULTADOS

Em uma primeira etapa, foi observada a corrente nos pontos com TC para a condição de regime permanente e então foram calculados os valores de corrente de linha em cada trecho da rede. Em posse desses valores, foi possível realizar o dimensionamento dos transformadores de corrente. Esses parâmetros são essenciais para o ajuste dos relés de proteção. É importante destacar que a numeração utilizada, tanto para os relés quanto para os

¹ Simulador digital em tempo real

TCs, se baseia na posição em que ele se encontra, isto é, o relé 13 está situado entre as barras 1 e 3, assim como o TC 35 está situado entre as barras 3 e 5.

Tabela 1: Contribuições de curto-circuito

Em seguida, foram realizadas simulações de falta monofásica e falta trifásica em cada uma das 9 barras para se obter as correntes de contribuição de cada caminho possível, conforme os dados presentes na tabela 1. É importante notar que faltas monofásicas superaram, em magnitude, as faltas trifásicas. Tal observação consta na referência [1], na página 226, onde é explicado que transformadores elevadores ligados em delta-estrela podem provocar esse tipo de inversão não intuitiva em razão da menor impedância vista pelo defeito. Serão utilizados os dados obtidos no RTDS tendo em vista sua maior precisão.

Tendo posse dos dados do regime de falta e do regime permanente, tornou-se possível delimitar um intervalo para a corrente mínima de atuação da proteção, também conhecida como corrente de pick up, a partir da inequação 1. A corrente $I_{nominal}$ é obtida do passo anterior na tabela 2, sendo F_{SC} um fator de sobrecarga normalmente ajustado para 1,2, ou seja, o sistema tem uma tolerância de 20% sobre a condição normal de operação. Esse valor irá acomodar o caso em que uma linha se torna inoperante e sobrecarrega outra para que a alimentação do centro de carga não seja comprometida. Por fim, salienta-se que a divisão por R_{TC} é feita para converter o valor primário da corrente medida pelo TC que alimenta o relé em valor secundário da corrente. Já como um limitante superior para a corrente mínima de atuação, utiliza-se a corrente de curto da zona de proteção seguinte como premissa.

Barramento	Tipo de falta	RTDS [kA]
B1	AG	22,609
	ABCG	27,535
B2	AG	25,426
	ABCG	29,626
B3	AG	2,379
	ABCG	1,698
B4	AG	2,3
	ABCG	1,675
B5	AG	1,278
	ABCG	1,291
B6	AG	1,438
	ABCG	1,407
B7	AG	1,446
	ABCG	1,416
B8	AG	1,491
	ABCG	1,44
B9	AG	1,018
	ABCG	1,135

Tabela 2: Corrente nominal

TC	13	35	38	57	79
Corrente nominal [A]	8000	200	300	100	150
TC	74	24	46	86	89
Corrente nominal [A]	250	7000	200	100	100

$$\frac{I_{nominal} \cdot F_{SC}}{R_{TC}} < I_{pickup} < \frac{I_{CCjusante}}{R_{TC}} \quad (1)$$

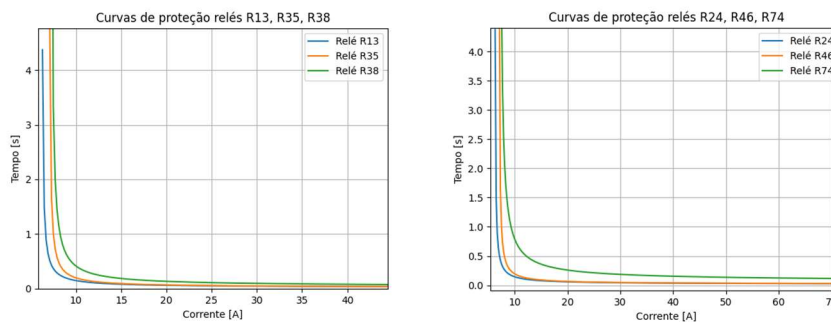
Para garantir a seletividade entre dispositivos, escolheu-se um par de relés, por exemplo, o relé R35 e o R57. Foi arbitrado um ponto, tendo sido escolhido, de forma geral, o triplo da corrente mínima para determinar se os tempos de atuação seriam coerentes com a hipótese de que o R57 atuaria como relé de retaguarda do R35. As etapas apresentadas abaixo exemplificam o passo a passo a ser seguido:

1. Calcula-se o triplo da corrente mínima de atuação;
2. Calcula-se a corrente no primário do TC do relé de retaguarda;
3. Calcula-se qual seria a corrente no secundário do TC da proteção principal com base no passo anterior;

4. Calcula-se qual o tempo de atuação da proteção principal para a corrente de secundário encontrada no passo 3;
5. Com base no tempo encontrado no passo anterior, estipula-se um acréscimo para o tempo de atuação da proteção de retaguarda, por exemplo: $t_{57} = t_{35} + 0,4 \text{ s}$
6. Com base nesses dados calcula-se o *tms* isolando esse termo na equação (2).

$$t = \frac{tms \cdot \beta}{\left(\frac{I}{I_{pickup}}\right)^\alpha} - 1 \quad (2)$$

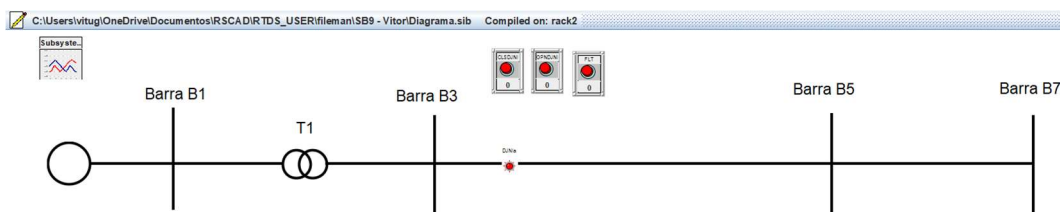
Figura 2: Curvas de proteção



Em seguida, para reproduzir o que ocorreria em campo, os sinais obtidos no RTDS foram externalizados para o relé em laboratório. Para isso, o relé passou por ajustes com o uso do software nativo *ACCELERATOR QuickSet* para que fosse possível monitorar o sistema simulado. Então, foi realizada a ligação das placas GTA0 do RTDS diretamente na mala de amplificação (para amplificar os sinais de baixo valor para magnitudes coerentes com o esperado pelo relé) para então realizar a conexão com o relé. Após essa etapa, foi possível observar os fasores de tensão e corrente detectados pelo relé.

Após essa etapa, foi feito no software do RTDS o arranjo para atuação do disjuntor conforme pode ser observado na figura 3. Em razão da disponibilidade de equipamentos, essa etapa foi feita para se observar a atuação do relé R35. Na figura 3 o ponto vermelho entre B3 e B5 representa o disjuntor e os botões imediatamente acima representam, respectivamente, o comando de abrir o disjuntor, de fechar e de causar uma falta no barramento.

Figura 3: Esquema de externalização



CONCLUSÕES:

Ao fim deste estudo foi possível aprender sobre as dinâmicas do setor de potência da rede elétrica brasileira, assim como sobre seus componentes tais como uma visão básica da arquitetura de subestações, acionamento de disjuntores de potência e como se preparar para seus defeitos mais comuns, constituição e operação de

transformadores de instrumentos, além de todo o maquinário que envolve a implementação e uso de relés, os quais foram o foco do estudo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ALVES, Waschington Fernandes. Proposição de sistemas-teste para análise computacional de sistemas de potência. **Niterói, Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense, 2007.**
- [2] SOUZA JÚNIOR, Sérgio Gonçalves de et al. Apresentação e aplicação do software ANAFAS em estudo de curto-circuito. 2018.
- [3] MAMEDE FILHO, João; MAMEDE, Daniel Ribeiro. **Proteção de sistemas elétricos de potência.** Grupo Gen-LTC, 2000.