

AUTOMAÇÃO NA CENTRAL GERADORA HIDRELÉTRICA LIMOEIRO

WALTER M. VALENTE

ELT 554 – Trabalho de Conclusão de Curso
Dep. Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Viçosa - UFV
E-mails: walter.valente@ufv.br

Resumo_ As Centrais de Geração Hidráulica e Pequena Central Hidrelétrica, trabalham com uma infinidade de variáveis que influenciam na produção, manutenção e qualidade da energia elétrica. Monitorar e automatizar usinas é necessário do ponto de vista econômico e de segurança. Este trabalho tem a finalidade de demonstrar duas automações que reduzem o desgaste de peças e melhoram e reduzem gastos com manutenções. Para tais automações, foi utilizado o relé de proteção SEL751A na CGH Limoeiro.

Palavras-chave_ Automação, PCH, CGH, SCADA, Supervisório,

1 Introdução

Desde o apagão ocorrido no ano de 2001 no Brasil, diversos tipos de políticas vieram sendo tomadas para aumentar a produção de energia elétrica, aumentando os investimentos e diminuindo os custos. Uma destas políticas foi a criação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA, através da lei nº 10.438, art. 3º [1]. O objetivo do programa é aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos concebidos com base em fontes eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH) no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN).

Desde então, houve um aumento no número de Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH e Centrais Geradoras Hidráulicas – CGH, contabilizando 453 PCH's e 586 CGH's no final do ano de 2016, totalizando 5431 MW instalados [2]. Estas usinas são conectadas próximas aos consumidores finais, este tipo de *layout* é chamado de Geração Distribuída – GD. Na GD os pequenos produtores de energia dependem do funcionamento das grandes usinas, o que reduz a complexidade do projeto, da operação e da manutenção.

Com os incentivos e com as vantagens construtivas, houve um crescente número de empreendimentos e também a necessidade de regulamentação para o setor. O Operador Nacional de Energia Elétrica – ONS regulamenta o setor de energia elétrica no país, impondo as condições necessárias para o produtor de energia acessar o SIN. Uma condição básica para acessar o sistema, é não intervir de forma instável no mesmo, e isto se faz monitorando e controlando os parâmetros que envolvem a geração de energia.

Para manter todos os parâmetros de geração de energia dentro dos limites adequados de

funcionamento, são necessários diversos tipos de equipamentos, com as mais variadas finalidades.

A automação e controle dos processos de produção melhora a qualidade e aumenta a produção de energia, reduzindo custos operacionais. Em muitos casos onde a vazão de água em um rio é baixa, não se justifica altos investimentos [3]. Nas CGHs a produção de energia é baixa (menor que 1 MW), portanto deve-se ficar atento para que os custos de implementação não sejam maiores que o retorno esperado, mas com os avanços tecnológicos já é possível encontrar equipamentos que concentram várias funcionalidades em um único invólucro, e esta facilidade reduz os custos com projeto, instalação e manutenção, e pode viabilizar um empreendimento.

2 Objetivo

O presente trabalho tem a finalidade de apresentar, a automação de um sistema antidisparo da máquina e um sistema que evita a sobre-excitação do gerador. Utilizou-se para isto o relé de proteção SEL751A.

3 Principais grandezas medidas, controladas e equipamentos da CGH Limoeiro

São muitas variáveis que podem ser medidas e controladas nas CGH's, e elas podem variar de acordo com o projeto da usina. A CGH Limoeiro é de pequeno porte, fio d'água, gerador síncrono de 250 kW, turbina Francis e queda d'água de 15 metros aproximadamente. A usina Limoeiro abastece a UFV, através da linha de transmissão da Usina do Casquinha, sendo responsável por aproximadamente 5% da energia mensal consumida pela universidade.

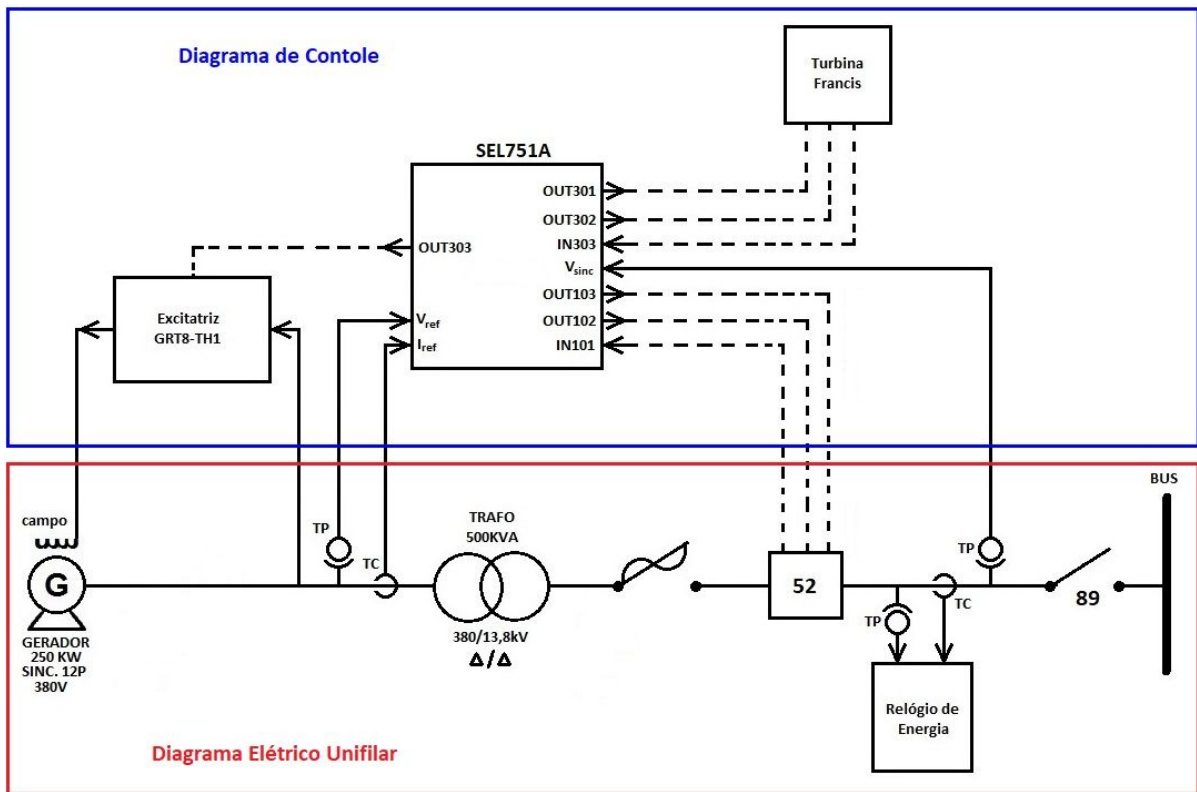


Figura 1 - Esquema elétrico unifilar e de Controle

A transmissão é feita em média tensão - 13,8 kV, e percorre aproximadamente 22 km de linha de transmissão até o Campus Universitário de Viçosa. O transformador elevador é de 500 KVA, com o primário em 380 V e fechamento das bobinas triângulo/triângulo.

O diagrama elétrico unifilar simplificado da instalação pode ser apreciado na Figura 1.

Nestas condições, as principais grandezas medidas e controladas são:

- Corrente de campo do gerador;
- Tensão e corrente a montante do disjuntor da linha;
- Tensão a jusante do disjuntor da linha;
- Altura da água na barragem;
- Posição das pás diretrizes da turbina;
- Estado do disjuntor da linha (aberto ou fechado);

Também é necessário medir outras grandezas, porém não causam danos instantâneos a produção de energia, são eles:

- Temperatura de mancais;
- Tensões do banco de bateria (sistema UPS);
- Pressão do óleo de refrigeração;
- Nível de óleo.

3.1 Excitatriz

É possível fazer o controle de energia reativa através da corrente de campo do gerador síncrono, mas o objetivo final de uma CGH é a produção de

energia ativa, e por isso não se faz necessário monitorar este processo continuamente. Assim, a Usina Limoeiro conta apenas com uma excitatriz estática GRT8-TH1 - GRAMEYER (Figura 2). Esta excitatriz mantém a tensão estabilizada em 220 volts e com fator de potência sempre muito próximo de 1. As bobinas do gerador síncrono são fechadas em estrela aterrada, e a tensão de linha é 380 volts, mas a referência de tensão usada pela excitatriz para controlar a tensão de saída é a tensão de fase, logo 220 volts. A excitatriz tem uma entrada de controle que é utilizada para habilitar/desabilitar a excitação. Na Figura 1 é possível notar que a excitatriz faz a leitura da tensão na saída do gerador e faz a compensação sobre o enrolamento de campo, controlando assim a tensão do gerador. Quando há algum tipo de problema e o relé de proteção desarma o disjuntor, o controlador desabilita a excitação da máquina, conseqüentemente cortando a tensão do gerador.



Figura 2 - Excitatriz GRT8-TH1 Grameyer

3.2 Transformadores de Corrente e Potencial

A informação de tensão a montante do disjuntor é feita na baixa tensão de forma direta, ou seja, sem TP. A leitura de corrente é feita através de transformadores de corrente com relação de transformação 600/5. Observa-se na Figura 3a o TC do tipo janela, comumente usados para medir correntes em baixas tensões.

A leitura de tensão e corrente a jusante do disjuntor da linha é feita na média tensão com TC's 50/5 e TP's que possuem constante igual a 70. Na Figura 3b e 3c mostra o TC e TP respectivamente.

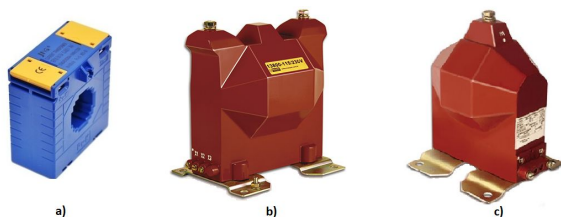


Figura 3 - a) TC tipo janela; b) TC de média tensão; e c) TP de média tensão.

Os TCs e TPs existentes na média tensão tem a função de medir a energia injetada na rede com o propósito de faturamento. Um destes TPs também é usado para se estabelecer a sincronia entre o gerador e a rede da concessionária.

3.3 Unidade Hidráulica

É possível controlar a vazão de água que passa pela turbina Francis. Este controle é feito através da abertura e fechamento das pás diretrizes da mesma. Com este recurso é possível controlar a potência injetada na rede elétrica, e também a velocidade da máquina quando se está colocando-a em sincronismo com a rede. O acionamento das pás diretrizes é feita através da Unidade Hidráulica que recebe informação do controlador e aciona as pás abrindo ou fechando. A Figura 5 mostra uma unidade hidráulica semelhante.



Figura 5 - Unidade Hidráulica

A unidade hidráulica funciona com sinais analógico de 4-20 mA para abrir e fechar. O comando elétrico da unidade possui intertravamento das entradas, para que nunca sejam acionados os dois comandos simultaneamente.

3.4 Disjuntor de Média tensão

O disjuntor da linha é instalado na média tensão. Na Figura 1 ele está representado pela Função ANSI 52. É do tipo a óleo, possui motorização para carregamento da mola e contatos para indicação do estado Aberto/Fechado. O disjuntor pode ser visto na Figura 6.



Figura 6 - Disjuntor de média tensão a óleo

3.5 Manutenções

Para o funcionamento de longo prazo da CGH é necessário manter um plano de manutenção preventiva e preditiva. É necessário ainda monitorar várias grandezas que podem indicar que um problema está se iniciando. Deve-se monitorar a temperatura dos mancais onde o eixo da máquina é apoiado, o aquecimento anormal justifica a interrupção da produção para verificação de possíveis problemas.

Os sistemas de proteção devem ser alimentados por sistema de energia ininterrupta (UPS), para que em uma pane os controles possam atuar normalmente.

A refrigeração e lubrificação das partes móveis da máquina é feita através de óleo que circula pela bomba de óleo e dissipadores de calor. As grandezas que devem ser monitoradas são o nível de óleo e pressão do óleo.

Existem várias outras grandezas que podem ser monitoradas, mas para cada variável a mais no sistema, o projeto se torna mais complexo e caro. O monitoramento destes sistemas evitam grandes prejuízos, sendo necessários para o planejamento das manutenções.

4 Relé de Proteção

A concessionária de energia impõe as condições para que o produtor de energia acesse a rede de distribuição. Dentro das condições imposta pela CEMIG às CGH'ss, está a obrigatoriedade de instalação dos seguintes relés de proteção [4]:

- Função 27
- Função 59
- Função 81
- Função 25
- Função 32
- Função 50/51
- Função 50/51N

No mercado existem várias opções de equipamentos que contempla todas essas funções em um único equipamento, dentre eles está o relé SEL751A da empresa SCHWEITZER. Este relé é desenvolvido especificamente para proteção de linhas de transmissão.

4.1 Protetor do Alimentador SEL 751A

O relé SEL751A (Figura 7) possui toda a parte de proteção de sistemas elétricos em seu sistema, e incluem também, funcionalidades que podem ser usadas para automatizar e controlar processos sem a necessidade de outros hardware complementares [5].

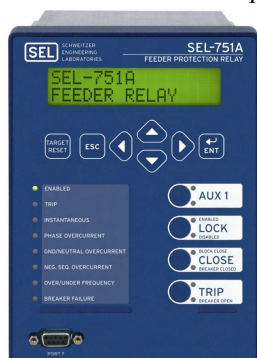


Figura 7 - Relé SEL751A

Na parte traseira encontra-se os bornes de conexões do relé. Existem bornes fixos, que são necessários para o funcionamento básico do relé, como por exemplo, a entrada de alimentação, as entradas de referência de tensão e corrente, comunicação, 2 chaves NA, 1 chave NA/NF e 2 entradas analógicas. Existem também bornes que são opcionais, estes são definidos pelo usuário na hora da compra.

É possível escolher o valor de tensão de alimentação entre 24-48 Vcc, 110-230 Vca ou 110-250 Vcc. Existem opções também para comunicação que pode ser Ethernet, Modbus TCP, IEC 61850, DNP3 LAN/WAN, DNP3 Serial, Modbus RTU, SNTP, Telnet, FTP e DeviceNet, e as portas de conexão física podem ser DB9, RJ45 ou fibra óptica.

As conexões de tensão podem ser estrela aterrada (Wye) ou delta aberto (open-delta).

As placas adicionais dependerá do projeto do qual o relé fará parte. As opções são:

- 1 placa para monitorar 10 sensores de temperatura tipo RTD (ex. PT100);
- 4 entradas digitais e 4 saídas digitais;
- 3 entradas digitais, 1 saída analógica e 3 saídas digitais;
- 4 entradas digitais e 3 saídas digitais;
- 8 entradas analógicas;
- 4 entradas analógicas e 4 saídas analógicas;
- 8 entradas digitais.

Os botões e leds da parte frontal do relé tem funções predeterminadas de fábrica, mas é possível configurá-los para se adaptarem melhor ao projeto.

4.2 Software acSELeRator QuickSet SEL-5030

Os equipamentos da SCHWEITZER sempre vem acompanhado do software acSELeRator QuickSet SEL-5030. O software SEL-5030 é utilizado para comunicar e configurar qualquer equipamento da marca SCHWEITZER. No software é configurado os parâmetros da rede elétrica, as funções dos leds e botões, lógica das funções de proteção e funções das portas I/O [6].

No SEL-5030 é possível monitorar todos os parâmetros do sistema através de sua Interface-Homem-Máquina - IHM. A IHM do software não é intuitiva como deve ser as interfaces de sistemas complexos, mas para CGH's, o monitoramento é viável.

O software também conta com a tecnologia SELogic®, que é útil para se fazer lógicas complexas na operação do relé. Com essa tecnologia é possível fazer pequenas automações sem a necessidade de equipamentos dedicados. Seu funcionamento se baseia em portas lógicas NOT, AND e OR, também blocos de contadores, temporizadores, detectores de bordas, latches, funções matemáticas de adição, subtração, divisão e multiplicação, e lógicas matemáticas do tipo maior que, menor que, igual, diferente, maior ou igual e menor ou igual.

As automações são feitas utilizando como entradas os parâmetros medidos e/ou entradas dos bornes físico do relé, e a saída pode ser os atuadores do relé, funções matemáticas, relatórios de funcionamento etc.

5 Automação básica de uma CGH

Nas CGH e PCH os momentos mais críticos em que se exige total atenção dos operadores da usina são os *trip's* de emergência. *Trip* é o nome dado ao desligamento do sistema devido a atuação de quaisquer função de proteção do relé. Na condição de

operação a plena carga, quando há *trip*, a máquina dispara devido a energia potencial hidráulica sobre a turbina. O disparo pode atingir altas rotações do eixo, e um pequeno desbalanceamento do eixo pode provocar danos a estrutura da máquina e até mesmo acidentes. A melhor forma de evitar os disparos em caso de *trip*, é automatizar o processo de recolhimento das pás diretrizes logo após o *trip*.

A Figura 8 ilustra a comunicação entre o controlador e a turbina francis. O controlador lê a posição das pás diretrizes através da porta IN303 e aciona a abertura e fechamento das pás através das portas de saídas OUT301 e OUT302 respectivamente.

5.1 Automação antidisparo da turbina

No software acSELeRator QuickSet SEL-5030, na página *grafical logic 1*, é feito a lógica utilizando portas lógicas e comparadores, como mostra a Figura 9. Observa-se na Figura, que é necessário dois blocos comparadores e um bloco lógico AND. Os blocos comparadores “GT” e “LT” são respectivamente “maior que” e “menor que”.

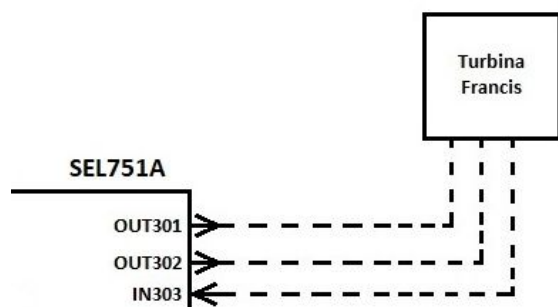


Figura 8 - Comunicação de controle da turbina Francis

No bloco “GT”, quando o valor da primeira entrada é maior que o valor da segunda entrada, a saída do bloco é posta em nível lógico 1. No bloco “LT” acontece o oposto, sua saída é posta em nível lógico 1 quando a primeira entrada é menor que a segunda entrada.

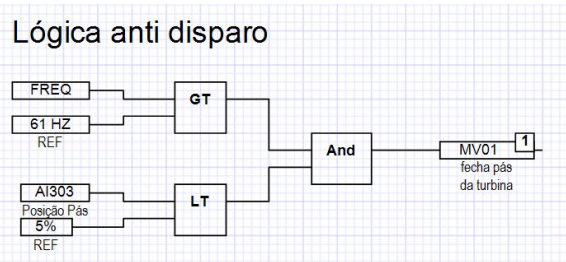


Figura 9 - Lógica programada no software SEL-5030

O bloco “AND” da Figura 9, faz a lógica booleana entre suas entradas, ou seja, a saída do bloco é verdadeiro quando as duas entradas estão em nível lógico 1 simultaneamente. Desta forma os comparadores verificam se o valor da frequência da

máquina está acima da referência fixa de 61 HZ, sobrefrequência, e o bloco “LT” compara se as pás estão abertas. Se as saídas dos comparadores estiverem em nível lógico 1.

A saída do controlador, que aciona o fechamento das pás, é do tipo sinal analógico 4-20 mA. A saída do bloco “AND”, da Figura 9, simplesmente aciona ou desaciona a saída analógica. Para se obter o valor que será repassado para a porta de saída analógica é necessário uma equação que associe uma entrada qualquer a valores de 4 a 20. Neste exemplo a entrada utilizada foi a posição da pá diretriz IN303, que são valores de 0 a 10. A equação (1) associa os valores de entrada da pá diretriz e gera saída de 4 a 20.

$$1.6 * AI303 + 4 \quad (1)$$

A equação (1) é configurada na *math variables* MV01 e associada a saída OUT301 que é a porta física para fechar as pás da turbina.

A associação da informação de entrada da pá com a saída de fechamento foi necessário neste caso, pois, a inércia das pás diretrizes é muito grande e isto afeta a precisão do movimento das pás. Quando as pás estão totalmente abertas, a tensão que o sensor de posição repassa para o controlador é de aproximadamente 10 V, e diminui até 0 V a medida que as pás vão se fechando. A equação (1) transforma a entrada de tensão da posição das pás na informação para fazer o fechamento das pás. Esta estratégia faz com que o movimento seja mais ágil no início e mais sutil no final do curso do movimento.

5.2 Automação da Subfrequência

Outra automação necessária em CGH's é a implantação de um sistema que não permite ligar a excitação da máquina em baixas rotações. A excitatriz controla a tensão de saída da máquina para que esta não varie. A tensão de saída de um gerador é proporcional a rotação da máquina, assim quando a máquina está desacelerando, a tensão também diminui, fazendo com que a excitatriz aumente a corrente de campo a fim de compensar a queda de tensão. Se não for identificado o problema a tempo, ocorre a sobre-excitação do gerador, e isto pode levar a danos no enrolamento de campo ou a queima da excitatriz.

Para a automação de subfrequência, é necessário somente um comparador do tipo menor ou igual. É necessário um valor de referência de frequência e o valor instantâneo da frequência. O valor da frequência é conseguido no parâmetro FREQ do equipamento. O diagrama de blocos foi feito na aba *grafical logic 1*, e pode ser observado na Figura 10. O bloco “GE” é o comparador do tipo “maior ou igual”, quando a primeira entrada do bloco é maior ou igual a segunda entrada a saída é posta em nível lógico 1.

Sub-frequência

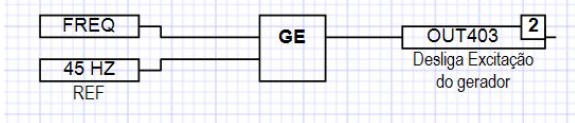


Figura 10 - Lógica de subfrequência programada no software SEL-5030

A saída do bloco GE é verdadeira quando o valor da frequência é maior ou igual a 45 HZ, nesta condição a excitatriz está habilitada. Quando o valor da frequência cai abaixo de 45HZ, o bloco “GE” é falso, desabilitando a excitatriz e evitando a sobre-excitação da máquina.

Note que a saída neste caso é apenas digital, ou seja, quando em nível lógico 0 a saída OUT303 se comporta como uma chave seca aberta, e quando a saída do diagrama da Figura 10 está em nível lógico 1, a saída OUT 303 se comporta como uma chave fechada.

6 Conclusão

Este trabalho apresentou duas automações que podem reduzir custos de manutenções corretivas de uma CGH. Evitar o disparo da máquina é necessário para prolongar a vida útil dos mancais, e evitar a sobre-excitação prolonga a vida útil da excitatriz e do enrolamento de campo do gerador.

O relé SEL751A atende as exigências de proteção imposta pela legislação para produção de energia elétrica, e também pode ser usado para automatizar processos. Com um único equipamento, que é obrigatório nas CGH's, é possível automatizar processos, isto traz um excelente custo/benefício para o equipamento.

É possível criar automações complexas com o relé de proteção, mas para tal, é necessário um profundo conhecimento acerca do sistema como um todo.

Referências Bibliográficas

- [1] Brasil. Lei nº 10.438 de 26 de abril de 2002. Art.3º, Criação do PROINFA.
- [2] ANEEL. Atlas de energia elétrica no Brasil. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/09+-+Capacidade+Instalada+de+Gera%C3%A7%C3%A3o+El%C3%A9trica+-+ano+ref.+2016+%28PDF%29/ef977c63-24e2-459f-9e5b-d2c67358633?version=1.0> de maio de 2017. Art.3º, Criação do PROINFA. Acesso em 19 de abril de 2019.
- [3] Pereira, G. M.; Projeto de usinas hidrelétricas passo a passo. São Paulo; Ed. Oficina de Textos, 2015.
- [4] CEMIG. Requisitos Para Conexão de Acessantes Produtores de Energia Elétrica ao Sistema de Distribuição da Cemig D – Média Tensão. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Cientes/Documents/Normas%20T%C3%A9cnicas/ND.5.31.pdf>. Acesso em 01 de maio de 2019.
- [5] SCHWEITZER. Data sheet Relé de Proteção do Alimentador. Disponível em: https://cdn.selinc.com/assets/Literature/Product%20Literature/Data%20Sheets/751A_DS_20181109.pdf?v=20181217-184524. Acesso em: 02 de março de 2019.
- [6] SCHWEITZER. Data sheet Software SEL-5030 acSELeator QuickSet. Disponível em: <https://selinc.com/products/5030/>. Acesso em: 19 de abril de 2019.