



# DESENVOLVIMENTO DE PROTEÇÃO ADAPTATIVA PARA RELIGAMENTO MONOPOLAR



Fabio Pereira de Souza\* (fabio.unicamp@gmail.com)  
 Profª Dra. Maria Cristina Dias Tavares\*\* (cristina@dsce.fee.unicamp.br)  
 \*Bolsista PIBIC-CNPq, \*\*Orientadora PIBIC-CNPq



Engenharia Elétrica / FEEC  
 Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP  
 Departamento de Sistemas de Controle de Energia  
 Campinas – São Paulo, Brasil.

**Palavras-chave:** Religamento Monopolar – Proteção – Linhas de Transmissão.

## INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, vem surgindo uma preocupação cada vez maior por parte das concessionárias de energia elétrica em aumentar a confiabilidade do sistema e reduzir as interrupções de energia elétrica. Desta forma, uma política de análise dos defeitos para o desenvolvimento de novas alternativas e métodos de proteção faz-se necessária.

A maioria das faltas encontradas em linhas de transmissão é do tipo monofásica e de característica transitória, ou seja, são faltas que ocorrem em apenas uma fase na linha de transmissão e o agente causador não é permanente. Nestes casos, a utilização de um método denominado religamento monopolar poderia resultar em uma melhora na estabilidade transitória do sistema, quando comparado ao chaveamento tripolar.

Quando ocorre uma falta entre uma fase e o terra, ocorre a formação de um arco elétrico, gerando um curto-circuito no sistema. Este arco é chamado de arco primário e sua extinção se dá com a abertura dos disjuntores da respectiva fase em falta. Porém, através de um efeito não muito óbvio, proveniente do acoplamento capacitivo e indutivo das fases energizadas, mesmo após a abertura dos disjuntores da fase o arco elétrico continua existindo por um determinado período. Este arco que permanece após a abertura da fase dá-se o nome de arco secundário. O arco secundário é responsável pela manutenção do curto-circuito na fase em falta, sendo assim apenas após sua extinção um religamento pode ser efetuado de forma segura.

Uma vez que a maioria das faltas que ocorrem nas linhas de transmissão é do tipo monofásica (aproximadamente 96% delas) é interessante uma resposta rápida do sistema, reduzindo as perturbações geradas pelo defeito.

## OBJETIVO

Este trabalho teve como objetivo estudar os fenômenos envolvidos na manobra de abertura/religamento monopolar e identificar as condições necessárias para utilização desta técnica a fim de eliminar as faltas monofásicas na linha de transmissão. Além disso, através de dados obtidos em laboratório sobre o conteúdo harmônico do arco secundário seria desenvolvida uma metodologia para identificação da extinção do mesmo, de forma a propiciar um religamento monopolar mais seguro.

Por fim, os dados e conceitos obtidos neste trabalho servirão como base para o desenvolvimento de um novo método de proteção para o religamento monopolar.

## METODOLOGIA

Ao longo do projeto foi realizada uma extensa revisão bibliográfica, utilizando artigos técnicos tradicionais e teses desenvolvidas pelo grupo de trabalho da Profª Dra. Maria Cristina Dias Tavares sobre a manobra monopolar.

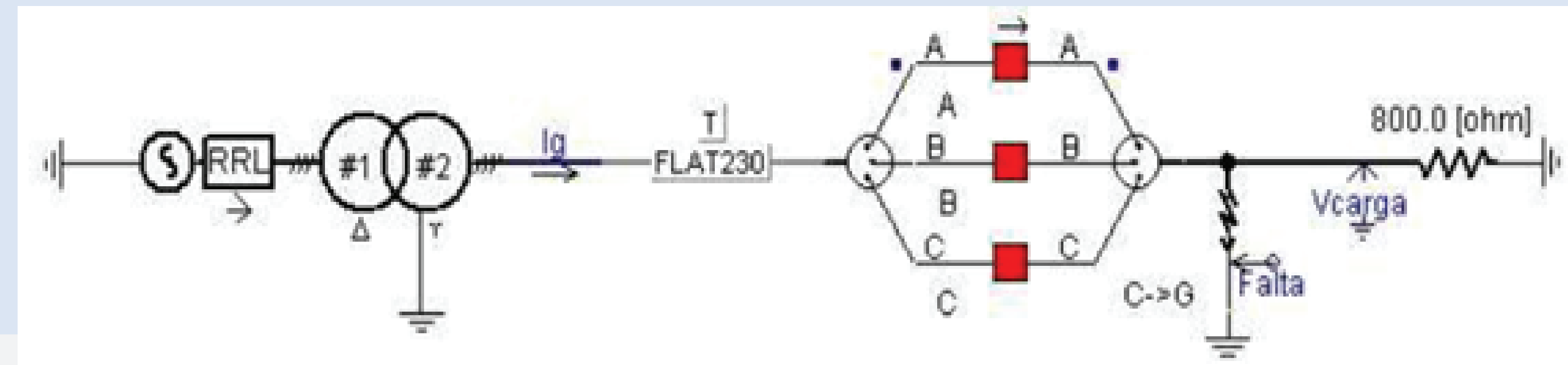
Após esta fase de contato com o tema foi utilizado o simulador digital PSCAD/EMTDC para representar a ocorrência de falta monofásica em diferentes sistemas de transmissão e efetuar a manobra de abertura monopolar. Foram obtidos vários níveis de corrente de arco secundário variando-se o comprimento da linha, o local do defeito e o nível de compensação do sistema. Posteriormente, foi estudado o transformador de potencial e utilizado um modelo de TP nas simulações do PSCAD.

## RESULTADO E DISCUSSÃO

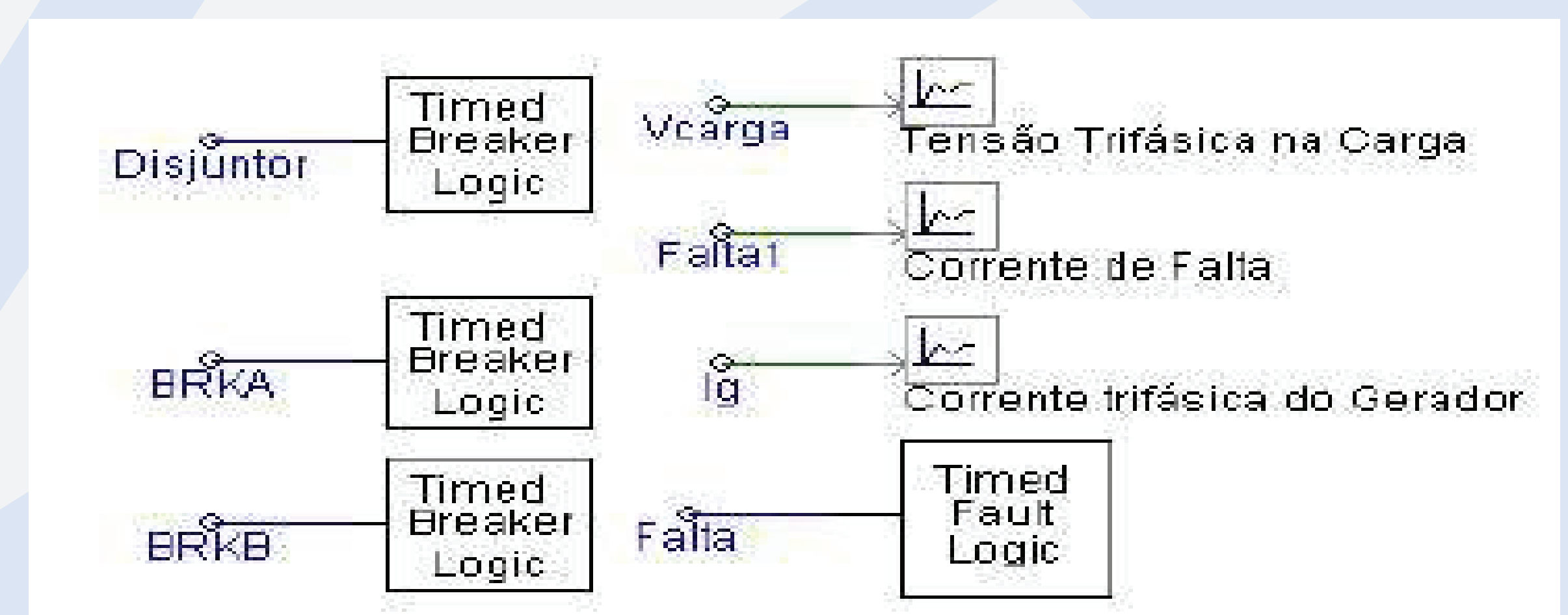
Os estudos bibliográficos versaram sobre:

- Utilização de capacitores de acoplamento para eliminação da corrente de arco secundário;
- Utilização de chaves de alta velocidade para desligamento de fases em falta no caso de circuitos duplos;
- Utilização de chaves de alta velocidade para aterramento de fases em falta, e;
- Esquema de compensação da linha com reatores no caso de linhas de transmissão não transpostas.

Foi implementado através do software PSCAD uma falta monofásica e sua respectiva manobra monopolar. Para a simulação foi utilizado uma linha de transmissão de 440 kV, 200 m de comprimento com 1 condutor por fase e perfil do tipo flat. A LT utilizada é idealmente transposta e sem compensação. Os geradores foram conectados em uma extremidade, onde também foi alocado um transformador elevador  $\Delta / Y$  e na outra extremidade uma carga de 800  $\Omega$ .



Neste teste foi aplicada uma falta monofásica do tipo FT (fase-terra) com incidência no tempo 0.20s com duração de 0.04 s. O disjuntor abre o circuito no instante 0.21 s e restabelece a normalidade no tempo 0.25 s. Este procedimento foi adotado a fim de obter uma boa visualização do comportamento da linha quando submetida a uma falta. Para simular a falta foi introduzida uma resistência de 0.01 $\Omega$  da fase em análise pro solo. Para obter as respostas acima mencionadas, um controle da imposição da falta e abertura/religamento dos disjuntores foi realizado. A falta foi introduzida próxima a carga.



Lógicas de controle da falta - disjuntores e blocos de output.

A falta gera distorções tanto na tensão da carga como na corrente. O conteúdo harmônico gerado por essas distorções podem ser utilizado para inferir análises a respeito da extinção do arco secundário.

Nas simulações foi possível comprovar que mesmo após a abertura do disjuntor no tempo de 0.21s, permanece uma corrente significativa na fase em falta, porém distorcida. Este efeito é originado pelo acoplamento entre as fases.

Para melhor verificar a existência da corrente de arco secundário e de sua influência no tempo morto do circuito, a carga foi retirada deixando o terminal receptor em aberto e foi inserido um disjuntor no começo da linha de transmissão. Desta forma, conseguimos analisar de forma coerente o efeito do acoplamento indutivo e capacitivo existentes entre as linhas. Além disso, a resistência de falta foi alterada para 1  $\Omega$  a fim de se obter valores de fácil visualização.

Nesta LT a falta foi implementada através de uma resistência de 1  $\Omega$  entre a fase em interesse e o terra. Além disso, a falta foi de caráter permanente e inserida no tempo 0.20s. O disjuntor foi configurado para atuar em 0.21s e permanecer aberto. O interesse neste teste é verificar a existência e comportamento do arco secundário.

É possível verificar que mesmo após a abertura do disjuntor, permanece uma tensão na linha em aberto, que é proveniente de um acoplamento capacitivo e indutivo com as fases sadias. O valor do período observado é de aproximadamente 16,66 ms, compatível com a rede, isto demonstra que a frequência fundamental da tensão induzida é a mesma que das fases sadias.

Outra verificação importante é que no momento da atuação do disjuntor a tensão no receptor possui uma ordem elevada e esta tensão não decai instantaneamente ao valor residual. Desta forma, podemos inferir que este é uma das características que agravam a duração do tempo morto.

## CONCLUSÃO

Através deste primeiro estudo é possível depositar um certo otimismo no objetivo real do projeto, obter uma proteção adaptativa para o religamento monopolar através da análise do conteúdo harmônico da tensão nas extremidades da LT. Esta proteção poderá propiciar uma maior confiabilidade ao sistema e impactar de maneira significativa os interesses na utilização do religamento monopolar.