

# Sistemas de Protecção

---

Coordenação de Relés de Máxima Intensidade

**De 02/11/2009 a 01/11/2010**

BII

Paulo Alexandre Alves Félix  
Victor Augusto Rodrigues Veloso

# Índice

1 – Termos e Definições .....	3
2 – Introdução .....	4
3 – Revisão de literatura .....	4
4 – Testes e Resultados .....	5
4.1 Protecção Amperimétrica .....	6
4.2 Tempo inverso .....	7
5 – Conclusão.....	10

# 1 – Termos e Definições

- ✓ SEE – Sistema Eléctrico de Energia;
- ✓ CC – Curto-Circuito;
- ✓ TPU – *Terminal and Protection Unit*;
- ✓ CEI – Comissão Electrotécnica Internacional ;
- ✓ IEEE – Instituto de Engenheiros Electrotécnicos e Electrónicos;
- ✓ Fiabilidade – Requisito que garante o bom funcionamento da protecção, isto é, nos tempos definidos para proteger os equipamentos definidos;
- ✓ Selectividade – Requisito que garante a minimização da perda de operação do SEE, isto é, o sistema de protecções deve apenas isolar o equipamento defeituoso;
- ✓ Sensibilidade – Requisito que garante a máxima fiabilidade nas condições mínimas de defeito na sua zona de actuação e permanece estável em condição de máxima carga.
- ✓ Rapidez – Requisito que garante a actuação dos equipamentos de protecção num tempo mínimo;
- ✓ Protecção primária – Um equipamento de protecção deve cobrir várias zonas. Este quando efectua protecção primária deve actuar em primeiro e o mais rapidamente na zona em que é activo;
- ✓ Protecção secundária (*backup*) – Uma protecção além de proteger a sua zona principal deve assistir zonas periféricas. Esta protecção de *backup* deve actuar no caso de a protecção primária falhar por qualquer motivo.

## 2 – Introdução

Os curto-circuitos que ocorrem num SEE podem provocar danos sérios nos equipamentos da rede devido às altas temperaturas atingidas. É por isso fundamental eliminar estes defeitos o mais rapidamente possível, minimizando os tempos de interrupções do serviço bem como o número de equipamentos isolados. Estas condições devem ser garantidas por forma a cumprir os critérios de selectividade, fiabilidade, rapidez e sensibilidade.

A coordenação de relés assume um papel fundamental na área de sistemas de protecção. Pois, para eliminar um defeito afastado de uma subestação pode utilizar-se o disjuntor colocado à saída dessa subestação deixando uma grande zona fora de serviço no caso de se tratar de uma área populacional importante. Os prejuízos provocados por esta não continuidade de serviço tornam-se ser muito elevados, porque é preciso eliminar o defeito verificado com a substituição da linha por exemplo (tarefa de complexidade elevada e morosa). Com a coordenação de relés é possível ter vários pontos de interrupção do serviço, distribuídos estrategicamente pela rede, de modo a que quando haja algum defeito se consiga eliminar rapidamente o defeito através das protecções primárias ou das protecções secundárias.

Este trabalho pretende focalizar-se na coordenação de relés de máxima intensidade. Para isso, foram desenvolvidos alguns testes no laboratório se sistema de protecções para perceber melhor este tipo de coordenação de relés. Apresentam-se a seguir os resultados obtidos nestes testes, bem como alguma explicação teórica.

## 3 – Revisão de literatura

Antes de expor o que foi realizado no laboratório apresenta-se a seguir um breve exemplo teórico para melhor perceber a importância dos sistemas de protecção e da coordenação de relés:

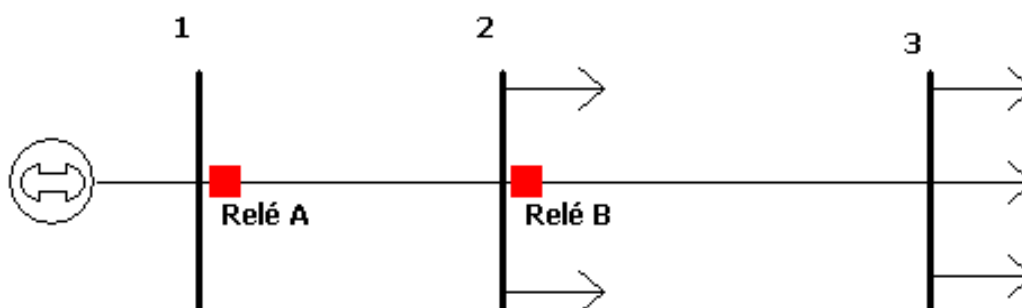


Figura 1. Esquema de uma rede eléctrica com dois relés e três barramentos

Considerando o esquema apresentado na figura 1, pode-se facilmente analisar o funcionamento da coordenação de relés. Havendo um defeito entre os barramentos 2 e 3, ou a jusante de 3, o relé que deverá actuar em primeiro lugar (protecção primária), deverá ser o relé B, que caso detecte uma corrente superior a um determinado limite definido (por exemplo 1.1 ou 1.2 vezes superior à corrente nominal), durante um período de tempo estimado, o relé deverá dar ordem de disparo ao disjuntor mais próximo fechando os seus contactos no caso de um relé electromecânico ou enviando um sinal eléctrico no caso de um relé digital. Se por algum motivo o relé B não estiver em boas condições de funcionamento e falhar, a protecção da rede fica a cargo do relé A (protecção secundária), que apesar de também ter detectado o defeito, demora mais tempo a actuar que o relé B (por exemplo o relé B demora 1 segundo a actuar e o A 1,3 segundos), para que o defeito possa ser eliminado pela actuação do relé que se encontra mais perto do mesmo.

Caso haja um defeito entre os barramentos 1 e 2 o relé A terá de detectar esse defeito e por conseguinte dar a ordem de abertura ao disjuntor associado à zona protecção.

## 4 – Testes e Resultados

No trabalho desenvolvido no laboratório foram utilizados relés de máxima intensidade cuja função consiste em monitorizar as correntes a veicular na linha, dando ordem de disparo aos órgãos de protecção caso essas grandezas ultrapassem valores pré-definidos. Utilizaram-se dois relés de máxima intensidade, sendo eles de dois tipos diferentes.

O primeiro é electromecânico (analógico) e é designado por ISM21. É um relé temporizado de máxima corrente fabricado pela BBC (agora ABB). Podemos salientar que estes relés eram muito utilizados nas redes de alta e média tensão pela EDP Distribuição, sendo agora de uso pouco corrente.

O segundo é digital e designado por TPUS420. Trata-se de um relé de tecnologia mais recente fabricado pela EFACEC e actualmente utilizado para protecção e supervisão de linhas aéreas e cabos subterrâneos de média tensão. O relé efectua medidas de várias grandezas com grandes precisões. Permite também um leque de funções de protecção.

Foi montado o seguinte circuito monofásico no laboratório de sistemas de protecção para realizar testes sobre coordenação de relés:

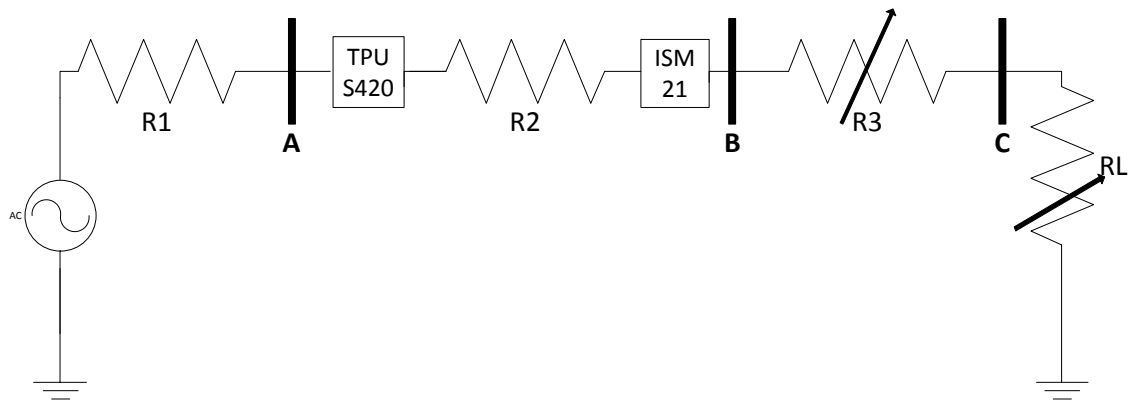


Figura 2. Circuito utilizado para simular a coordenação de relés de máxima intensidade

Antes de provocar curto-circuitos em diferentes pontos do circuito montado para analisar a actuação dos relés, foi preciso determinar alguns parâmetros como a corrente prevista.

Sabemos que  $R1 = 2.3 \, \Omega$ ,  $R2 = 2.4 \, \Omega$ ,  $R3 = 2.0 \, \Omega$  e  $RL = 2.0 \, \Omega$  (pelas medidas efectuadas).

A corrente que irá transitar no circuito será  $I = \frac{U}{R} = \frac{22}{2.3+2.4+2+2} = 2.5 \, A$ . Como iremos simular curto-circuitos apenas em B e C (utilizando para o efeito um interruptor ligado entre o barramento de defeito e a terra), determinou-se as correntes de curto-circuito previsíveis para os dois casos:

$$I_B^{cc} = \frac{U}{R1 + R2} = \frac{22}{2.3 + 2.4} = 4.681 \, A$$

$$I_C^{cc} = \frac{U}{R1 + R2 + R3} = \frac{22}{2.3 + 2.4 + 2.0} = 3.284 \, A$$

Como se pode verificar quando ocorrer um curto-circuito em B a corrente será superior do que quando este ocorrer em C.

## 4.1 Protecção Amperimétrica

Em primeiro lugar foi programado o valor de actuação dos relés, isto é, a máxima corrente admissível antes de dar ordem de disparo. Para o relé ISM21 o valor programado foi o seguinte:

$$I_{op} = 1.2 \times I_n = 1.2 \times 2.5 = 3 \, A$$

Foram também programados os relés para actuarem em tempos diferentes no sentido de perceber melhor o funcionamento da coordenação de relés. O relé ISM21 foi programado de modo a actuar ao fim de 1 segundo após ter ultrapassado o valor da corrente admissível. Por sua vez, o relé TPU S420 foi programado de modo a actuar após terem passados 2 segundos. Garante-se assim a selectividade da rede, isto é, minimiza-se as perdas de operação de certos equipamentos. Pois é fundamental o ISM21 disparar antes do TPU S420 porque em caso de

falha por parte do sistema no barramento C, ainda se consegue garantir a alimentação do barramento B se o ISM21 actuar. Caso fosse o TPU S420 a actuar num caso idêntico perdia-se uma parte mais significativa da rede pelo que iríamos aumentar fortemente a factura de custos associados à não continuidade de serviço.

Após aplicar tensão na rede em estudo (sem provocar curto-circuito nenhum), verificou-se uma tensão de 22V como era de esperar e uma corrente um pouco acima dos 2,5A. Os relés, como era de esperar, não actuaram pois a corrente admissível não foi ultrapassada.

Quando provocado um curto-circuito no ponto C do circuito observa-se uma corrente de 3.1 A, um bocado inferior ao valor previsto nos cálculos prévios, pois as resistências utilizadas não eram muito fiáveis. Nesta situação verificou-se o disparo do relé analógico após 1 segundo e o disparo do relé digital passados 2 segundos. Conclui-se que os relés actuaram correctamente e como previsto. Salientou-se acima a importância neste caso (CC no ponto C) do relé ISM disparar antes do TPU. Podemos também confirmar que em caso de falha por parte do relé mais perto do defeito, isto é, o relé ISM21, o relé TPU S420 que corresponde à protecção *backup* neste caso actuou e portanto houve correcta coordenação dos relés de máxima intensidade.

Por outro lado, quando provocado um curto-circuito no barramento B verifica-se uma corrente de 3,85 A circulando na rede. Ou seja, temos uma corrente superior à corrente admissível pelas protecções, logo verificou-se disparo nos tempos correspondentes dos dois relés.

## 4.2 Tempo inverso

Também foram efectuados ensaios para relé em modo de tempo inverso. O critério de coordenação dos relés de tempo inverso é igual ao dos relés de tempo definido. Neste trabalho foram utilizados os tempos de actuação definidos na norma CEI 60255-3, sendo que a TPU S420 também nos permitia a utilização dos tempos de actuação correspondentes à norma IEEE 37.112.

Na norma CEI 60255-3 as características tempo vs corrente são obtidas pela seguinte expressão:

$$t_{op} = \frac{a}{\left(\frac{I_{cc}}{I_a}\right)^b - 1} \times TMS \text{ [seg]}$$

sendo que:

- $t_{op}$  é o tempo de operação do relé;
- $a$  e  $b$  são constantes;
- $TMS$  é o *Time Multiplier Setting*, ou seja, a selectividade de tempo;
- $I_a$  é o valor da corrente de arranque, e vale  $1.2I_{op}$ ;
- $I_{cc}$  é o valor da corrente de curto-circuito.

Os valores das constantes **a** e **b** são indicados na norma utilizada, e variam consoante o tipo de curva em questão, *Standard Inverse*, *Very Inverse* ou *Extremely Inverse*, e são apresentados na tabela seguinte:

Tabela 1. Características a e b segundo a norma CEI 60255-3

Tipo de Curva	a	b
<i>Standard Inverse</i>	0.14	0.02
<i>Very Inverse</i>	13.5	1
<i>Extremely Inverse</i>	80	2

Apresentamos agora as curvas correspondentes a cada tipo, adaptadas a este circuito, considerando o valor mínimo para o TMS, valendo este 0,05 e a corrente de arranque sendo de 2,5 A, enquanto que  $I_{op}$  tem aproximadamente 2,1 A.

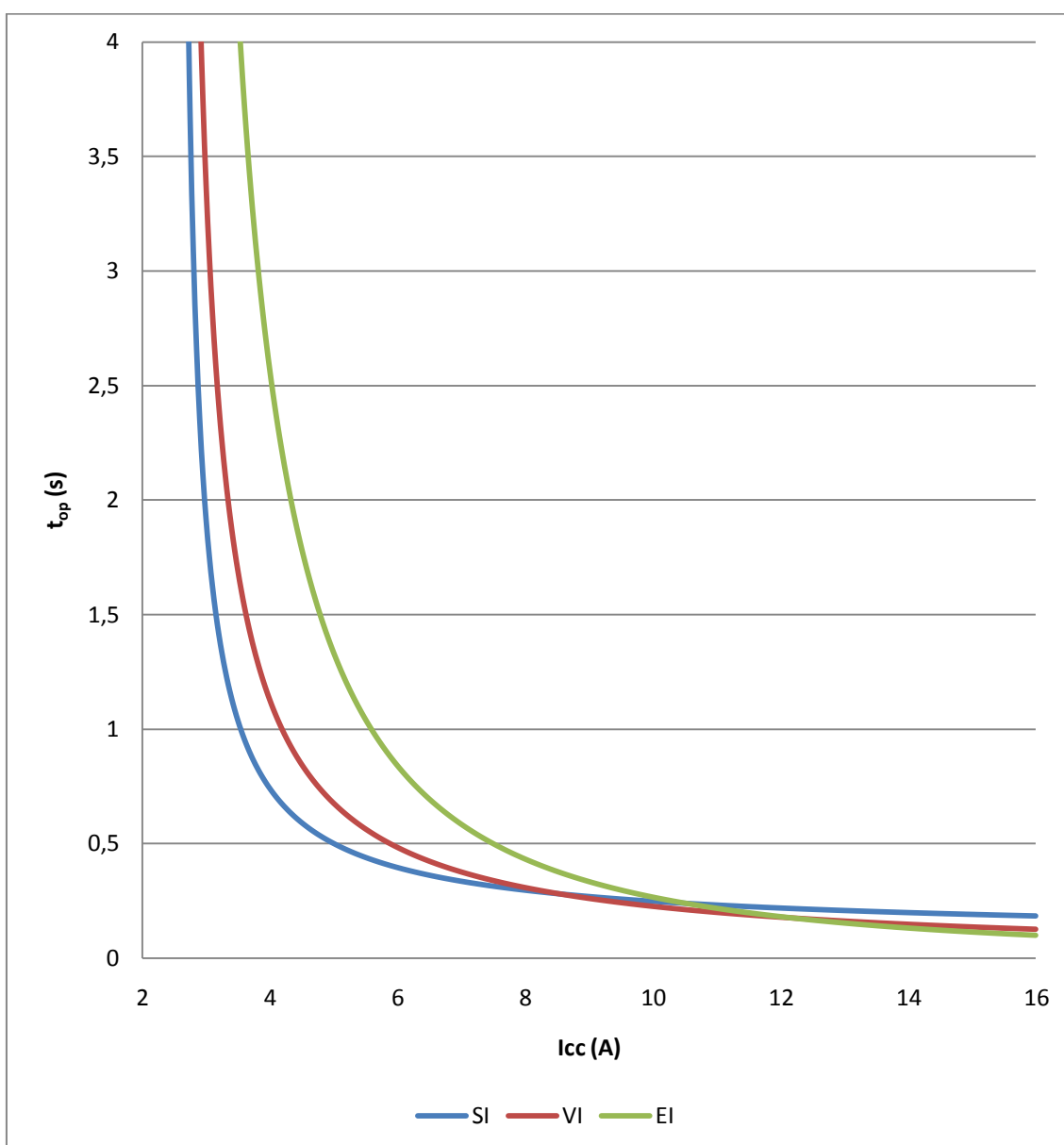


Figura 3. Curvas de tempo de actuação para relés com características tempo inverso



Observa-se na figura 3 que até um pouco mais de 8 A, a curva EI é a que apresenta o maior tempo de actuação, seguida da VI e por fim a SI, mas a partir desse ponto a curva VI tem um tempo de operação inferior a SI, e por volta dos 11 A, a curva SI é a que apresenta o maior tempo de operação. Caso a corrente de curto-circuito continue a aumentar, será a curva EI a que terá o menor tempo de operação.

Ou seja, para correntes mais elevadas, os dispositivos de protecção têm uma actuação mais rápida, portanto, os relés configurados com o tempo inverso são mais versáteis porque permitem uma larga gama de configurações, para tornar a coordenação de relés entre diversas protecções, isto é, num sistema de grande dimensão, viável.

Passando agora para a parte prática, utiliza-se o mesmo circuito que anteriormente, já que vão ser realizados testes em tudo semelhantes aos já realizados. Há apenas que alterar as configurações da TPU S420 de modo que funcione em tempo inverso. Inicialmente vai-se utilizar a curva SI ou NI, para depois comparar com os resultados obtidos com a curva VI ou MI.

Aplicando tensão na rede, e ainda sem defeito na mesma, confirma-se se a corrente se situa nos 2,5 A. Depois provoca-se um curto-circuito em C, e a corrente de curto-circuito obtida é de aproximadamente 3,5 A. Observando a curva SI acima representada, facilmente se repara que o tempo de operação é de aproximadamente 1 segundo, no entanto o relé deu ordem de abertura aos disjuntores cerca de 0,8 segundos depois do início do defeito.

Sabendo que o relé ISM21 dispara passado 1 segundo, a TPU S420 terá de disparar pelo menos passado 1,4 segundos, convém por isso alterar o TMS para 0,15, de modo a garantir selectividade.

Alterando então o valor do TMS na TPU S420, aplicando tensão na rede e provocando novamente um defeito em C, a actuação dos relés já vai ser coordenada, de modo a que tal como anteriormente actue primeiro o relé que se encontra mais perto do defeito e só depois outro que se encontre a montante deste.

Provocando agora um curto-circuito em B, a corrente de curto-circuito é de aproximadamente 4,7 A. Observando novamente a figura 3, pode-se reparar que o tempo de actuação da curva SI para uma corrente de curto-circuito desta intensidade se situa perto dos 0,5 segundos. Deve-se por isso alterar o TMS para garantir a selectividade. Para passar esses 0,5 segundos para aproximadamente 2 segundos, é necessário que o TMS seja maior ou igual a 0,2.

Alterado o valor do TMS na TPU S420, e provocando novamente um curto-circuito em B, as protecções já actuam de acordo com os esperados.

Utilizando agora a curva VI, ou MI, vai-se voltar a provocar um curto-circuito em C. Com um valor de 0,1 para o TMS deverá esta garantida a selectividade. Provocando então um defeito em C, observa-se, efectivamente, a coordenação dos relés, já que o relé mais perto do defeito actua primeiro do que o outro que se encontra a montante.

Para um defeito em B, um TMS de 0,15 já assegurará selectividade. Provoca-se então um curto-circuito em B, e tal como anteriormente se garante o bom funcionamento das protecções.

O TMS tem de ser actualizado para cada caso, pois com um TMS que assegure a selectividade em todas as situações, por exemplo, um TMS de 0,25, poderá permitir que as correntes de curto-circuito durem durante muito tempo e possam danificar o equipamento.

Também se verificou que os tempos de operação teóricos são um pouco diferentes dos práticos. Em algumas situações eram valores muito próximos, no entanto, numa ou noutra havia diferenças que não podiam ser desprezáveis.

## 5 – Conclusão

Vimos através dos testes realizados no âmbito laboratorial que a coordenação de relés tinha de ser correctamente implementada para garantir selectividade na rede eléctrica. É essencial garantir essa selectividade para assegurar a protecção dos equipamentos bem como da própria rede e assim evitar custos elevados associados a possíveis danos.

Sabe-se que em 99% do tempo os equipamentos de protecção ficam em estado passivos, no entanto a qualquer momento pode ocorrer um defeito na rede e então provocar a actuação do sistema de protecção. É por isso garantido o retorno do investimento nesses equipamentos, pois podem evitar danos graves e custos muito maiores.