



## GRUPO V - GPC

### GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA

#### ANÁLISE DA COORDENAÇÃO ESTÁTICA E DINÂMICA ENTRE OS LIMITADORES DO REGULADOR DE TENSÃO E AS PROTEÇÕES DE MÁQUINAS SÍNCRONAS

Rafael B. de Paiva (\*)  
REIVAX S/A

Paulo Márcio da Silveira  
UNIFEI

## RESUMO

Os limitadores do regulador de tensão possuem como finalidade manter a máquina síncrona dentro do seu limite operacional. Dinamicamente deve haver uma coordenação entre os limitadores do regulador de tensão com certas funções de proteção, pois transitoriamente os limites operativos da máquina podem ser extrapolados, e essas transgressões podem sensibilizar o pickup de determinadas funções de proteção da máquina síncrona. É a coordenação dinâmica que garantirá que o limitador está atuando de forma seletiva, fato que evitará um possível bloqueio desnecessário da unidade pelo sistema de proteção.

O informe técnico investigará a diferença entre a coordenação estática e dinâmica entre os limitadores do regulador de tensão com certas funções de proteção de máquina síncrona, e metodologias para assegurar a coordenação dinâmica.

## PALAVRAS-CHAVE

Limitadores do Regulador de Tensão, Proteção de Máquina, Coordenação Dinâmica, Estudos de Transitórios Eletromecânicos.

### 1.0 - INTRODUÇÃO

A análise da coordenação entre um dispositivo de controle com uma função de proteção não é algo trivial. A análise tradicional entre relés de proteção são realizadas de forma estática através de gráficos de coordenação do tipo variável x tempo. Esta metodologia não é suficiente para garantir a coordenação entre um dispositivo de controle com a proteção. De fato a coordenação estática é o primeiro passo para a coordenação, todavia, quem determinará se os dispositivos estão realmente coordenados é a análise dinâmica. Podemos ter casos onde os limitadores estão estaticamente coordenados com as proteções, mas dinamicamente não.

Existem algumas técnicas para verificar a coordenação dinâmica:

- Testes em campo: são testes restritos a ensaios típicos de comissionamento, como o degrau na referência de tensão para a sensibilização dos limitadores. Porém, testes em campo não garantem uma coordenação plena em virtude de que os transitórios mais severos não são factíveis de serem feitos. São justamente nesses transitórios que a coordenação é posta em prova. Outro problema é que, dependendo das características da máquina e da rede, o ponto real da operação de um limitador de subexcitação ou sobre-excitação podem não ser atingidos. A alternativa nesses casos é diminuir a referência de atuação destes limitadores. Essa solução é válida para testar a resposta do limitador, mas não trará o resultado esperado para a avaliação da coordenação;
- Estudos de transitórios eletromecânicos: essa metodologia já vem sendo recomendada por diversos autores [3], e é o método explorado no informe. Através destes estudos é possível analisar os eventos mais severos. Para o sucesso desse tipo de estudo é fundamental que a modelagem da unidade que está sendo analisada seja resultado de um modelo validado com curvas de campo [4]. A utilização de modelos matemáticos validados nos programas computacionais de transitórios eletromecânicos é fundamental para obter resultados com a precisão exigida para a correta avaliação da coordenação dinâmica da proteção e limitadores. Modelos típicos ou não validados podem levar as análises errôneas.

A *Figura 1* apresenta a simulação da atuação do UEL (Limitador de Subexcitação) de um modelo validado comparado com a resposta de campo. Com esse grau de refinamento de modelagem que é possível a avaliação da coordenação entre as proteções e os limitadores.

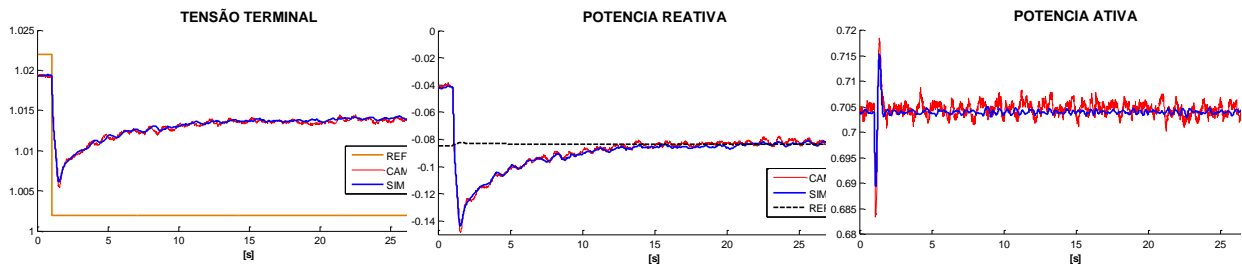


Figura 1 - Exemplo de Validação de um Modelo - Resposta do UEL

Para os estudos de transitórios eletromecânicos é necessário ter os modelos validados de todos os componentes da unidade geradora. Essa modelagem deve contemplar o processo controlado, proteções e controladores, onde:

- Processo: representado pela máquina síncrona e seus parâmetros, conduto forçado, turbina, atuadores, conversor de potência e excitatriz;
- Controle: regulador de velocidade e regulador de tensão, representado pelo controle automático de tensão, PSS (Estabilizador de Sistemas de Potência) e limitadores;
- Proteção: representações matemáticas das principais funções de proteção. Funções 40, 24, 50/51, etc.

Através dos estudos de transitórios com modelos validados é possível avaliar as mais diversas coordenações, entre elas destacam-se:

- UEL x 40 (Limitador de subexcitação x relé de perda de excitação);
- OEL x 50/51 do TEX (Limitador de máxima corrente de excitação x sobrecorrente do transformador de excitação);
- VHSL x 24 (Limitador de sobreexcitação x relé volts por hertz);
- SCL x 49 (limitador de corrente estatórica x relé térmico).

Será detalhada a coordenação dinâmica entre o UEL x 40. As demais serão brevemente discutidas.

## 2.0 - COORDENAÇÃO UEL X 40

A coordenação do UEL x 40 será apresentada através de um exemplo, onde o foco é a coordenação de uma máquina síncrona (MS) de polos saliente com as características da *Tabela 1*. A proteção 40 é do tipo MHO e o critério de ajuste desta função segue a recomendação típica dessa função.

Tabela 1 - Parâmetros de Máquina e Característica do Relé 40

Parâmetro MS	Valor	Relé 40 - Característica MHO
Potência Nominal	100 MVA	
Tensão Nominal	13,8 kV	
$X_d$	1,20 pu	
$X_q$	0,90 pu	
$X'_d$	0,30 pu	
$X''_d = X''_q$	0,20 pu	
$X_I$	0,12 pu	
$T'_{do}$	5,00 s	
$T''_{do}$	0,05 s	
$T'''_{qo}$	0,15 s	
$2H (M)$	7,00 s	

A próxima etapa é plotar a curva da função 40 no plano da potência ativa (P) x potência reativa (Q) do gerador junto com a característica da curva do UEL para análise da coordenação estática. Para isso, deve-se avaliar a estrutura da topologia do UEL. A IEEE [1] apresenta os mais diversos modelos de UEL. O modelo que será utilizado no exemplo é a versão simplificada do UEL2 da IEEE apresentado na *Figura 2*. Esse modelo é interessante por possuir os parâmetros configuráveis K1 e K2 relativos ao valor da exponencial da tensão terminal ( $V_t$ ) que alteram a característica do deslocamento da curva do UEL no plano PxQ. Os parâmetros K1 e K2 podem assumir os seguintes valores:

- $K1=K2=0$ : curva do UEL fixa no plano PxQ;
- $K1=K2=1$ : curva do UEL com característica de corrente, deslocamento proporcional ao inverso de  $V_t$ ;
- $K1=K2=2$ : curva do UEL com característica de impedância, deslocamento proporcional ao inverso do quadrado de  $V_t$ .

A maioria dos modelos do UEL pode ser simplificada em um caso particular do modelo apresentado.

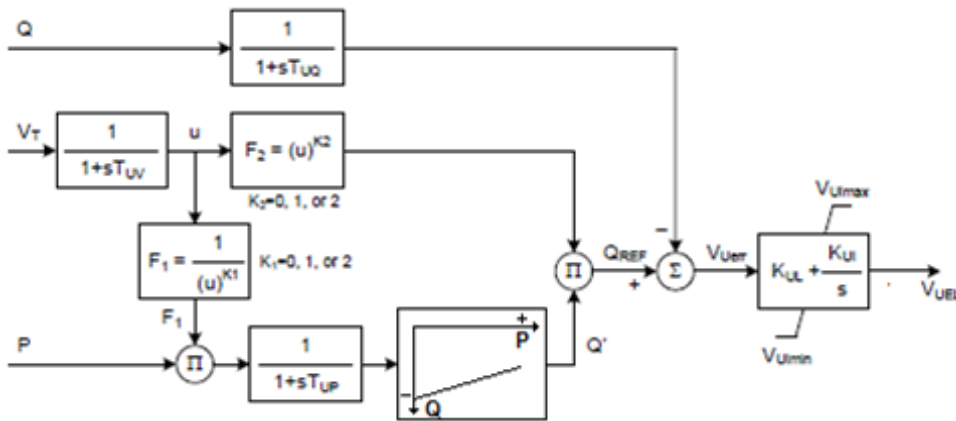


Figura 2 - Modelo Simplificado do UEL2 IEEE [1]

### 2.1 Análise da coordenação estática

A coordenação estática do UEL basicamente consiste no ajuste da curva PxQ tal que ela fique a direita da curva da zona 2 do relé 40. A

Tabela 2 apresenta um método simples e prático para o cálculo do primeiro ponto da curva do UEL em função da sua característica e em relação ao ajuste da zona 2 do relé 40:

Tabela 2 – Critério para Ajuste do Primeiro Ponto Q do UEL para P = 0pu

K1 e K2 (UEL2 – IEEE[1])	Característica do UEL	Ajuste do ponto Q para P = 0 pu
0	Potência	$Q(P = 0) = \frac{Vmin^2}{xd + x'd/2} + folga$
1	Corrente	$Q(P = 0) = \frac{Vmin}{xd + x'd/2} + folga$
2	Impedância	$Q(P = 0) = \frac{1}{xd + x'd/2} + folga$

Ressalta-se que:

- Vmin é a tensão mínima de operação da máquina em pu. Tipicamente varia de 0,9pu até 0,95pu;
- A folga é o ajuste para coordenação estática. Um valor típico de 0,1pu está adequado;
- O ajuste do primeiro ponto de Q para P=0 utiliza os mesmos critérios do cálculo da zona 2 do relé 40. Observe que o denominador da equação é equivalente ao ponto em que a curva do relé 40, traçado no plano da impedância (XR), cruza o eixo X na região negativa para R igual a zero. Essa equação pode ser facilmente adaptada caso o projetista da proteção utilize outro critério de ajuste da função 40.

A Figura 3 apresenta o relé 40 coordenado estaticamente para os três tipos de características do UEL tanto para a condição operativa nominal de Vt = 1pu e para Vt= Vmin=0,9pu. Para a determinação dos pontos de atuação UEL foi utilizado um valor da folga de 0,1pu e um ângulo de 85° de inclinação no plano PxQ.

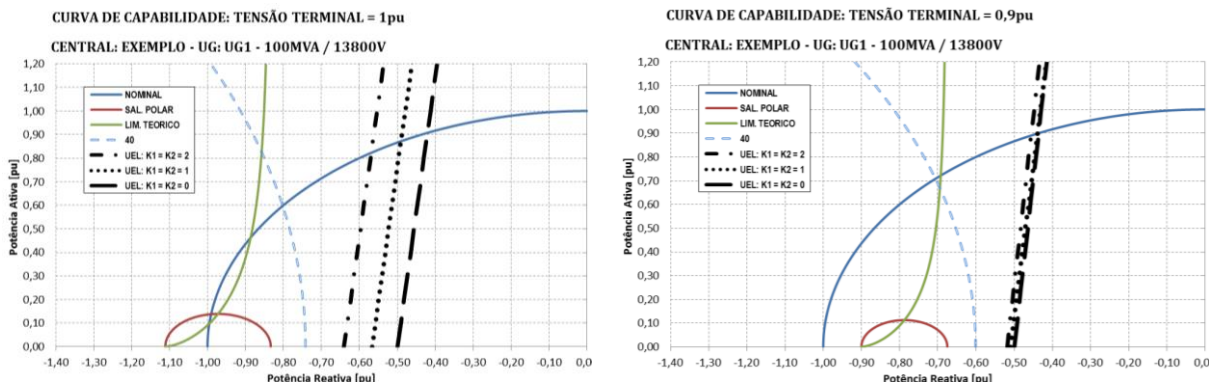


Figura 3 – Curva PxQ para Vt = 1pu (esquerda) e para Vt = 0,9pu (direita)

Observa-se que:

- Com o critério da
- Tabela 2 é possível coordenar estaticamente as curvas no plano PxQ na região de operação para tensão nominal e tensão mínima;

- Para a tensão mínima de operação as curvas do UEL estão praticamente no mesmo ponto de operação, enquanto que para tensão nominal elas estão bem afastadas;
  - A característica do UEL do tipo potência restringe mais a operação da máquina para tensões nominais
  - A característica do UEL do tipo impedância é que melhor coordena com o relé 40;
- Analogia semelhante pode ser adotada para coordenação estática do UEL com a proteção 40 do tipo reatância.

## 2.2 Análise da Coordenação Dinâmica

É comum que a análise da coordenação do UEL com o relé 40 termine na etapa estática, todavia a análise dinâmica através dos estudos de transitórios eletromecânicos é importante para que a coordenação seja garantida.

Para discutir a importância da análise dinâmica e de como o controle e o processo interferem na coordenação, será analisada a questão da topologia do controle automático de tensão e ajustes do controlador do UEL. A *Figura 4* apresenta o modelo ST4C automático de tensão simplificado da IEEE [1], onde se têm apenas a representação do sinal da realimentação da tensão terminal ( $V_c$ ), a entrada do PSS ( $V_s$ ) e as entradas do UEL ( $V_{UEL}$ ) no ponto de soma ou no ponto do seletor (HV GATE). O controlador é do tipo PI e a excitação é modelada por um conversor de potência realimentado (sistema *bus-fed*). A saída do conversor alimenta uma excitatriz do tipo estática da MS.

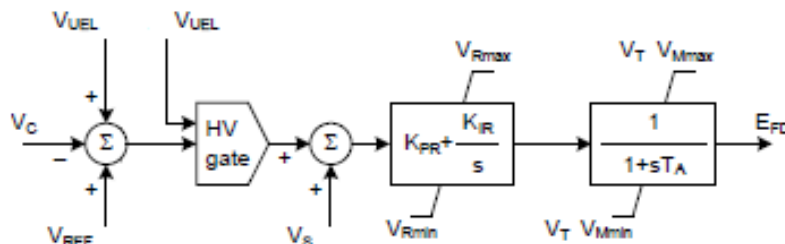


Figura 4 – Modelo ST4C Simplificado do Regulador de Tensão da IEEE [1]

A estrutura do UEL é a mesma apresentada na seção 2.1.1 com os parâmetros  $K_1=K_2=2$  (tipo impedância). Um detalhe interessante nessas topologias é que o UEL somador necessita de um controle integrador e proporcional, enquanto que o UEL seletor somente de um controle do tipo proporcional. Por simplificação na análise, vamos adotar as seguintes denominações dos parâmetros de controle do UEL da *Figura 2*:

- UEL Seletor:  $K_{ul} = K_P$  e  $K_{ui} = 0$ ;
- UEL Somador:  $K_{ul} = K_{ui} = K_P$ .

### 2.2.1 Análise Dinâmica por Ensaio de Campo – Reprodução via Simulação

A primeira análise consiste na reprodução de um ensaio típico de campo em que é aplicado um degrau na referência de tensão do AVR. É analisada a resposta frente a ajustes diferentes no ganho  $K_P$  do limitador UEL em carga baixa ( $P=0pu$ ). O sistema é do tipo máquina barra infinita. A reatância externa equivalente ( $X_e$ ) tem valor de 0,1pu. A *Figura 5* e *Figura 6* apresentam respectivamente as respostas do UEL somador e seletor para dois valores distintos do ganho  $K_P$  do UEL.

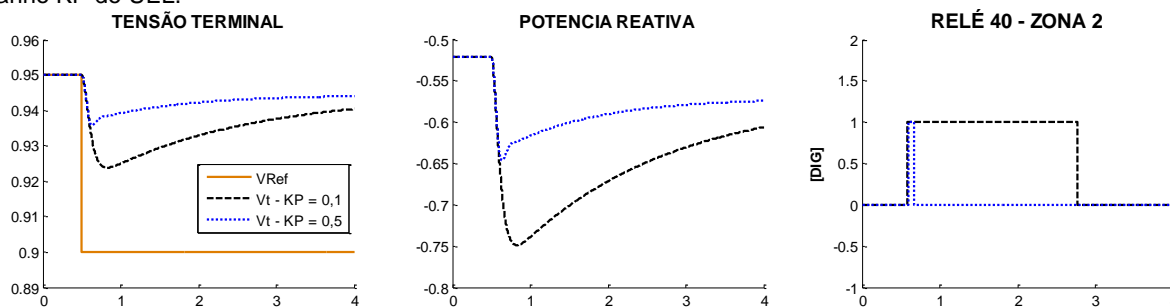


Figura 5 – Ensaio de Campo – Análise do Ganho  $K_P$  no degrau de -5% do UEL Somador

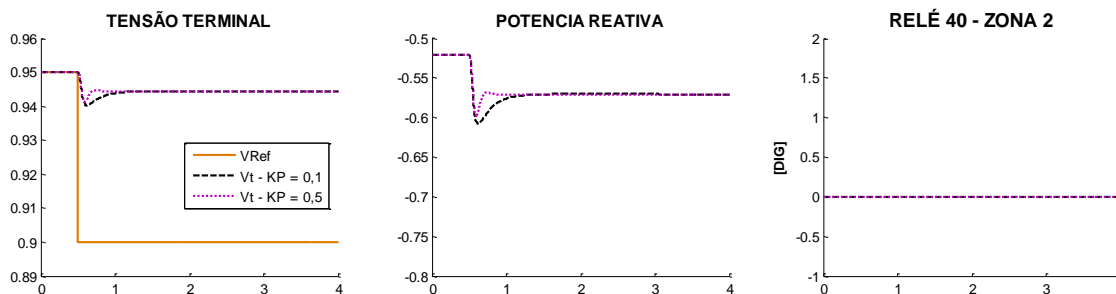


Figura 6 – Ensaio de Campo – Análise do Ganho  $K_P$  no degrau de -5% do UEL Seletor

Observa-se que na resposta do UEL somador ocorre a sensibilização do pickup da zona 2 do relé 40. Para o ganho  $KP=0,5$  o tempo dentro da zona 2 do 40 foi de 85ms, enquanto que para o ganho  $KP = 0,1$  o tempo dentro da zona 2 do 40 foi de 2,2s. Dependendo da temporização dessa zona, ocorreria um bloqueio dessa função. Já para o caso do UEL seletor o relé 40 não foi sensibilizado. Essa primeira análise demonstra que:

- As estruturas do UEL somador x seletor apresentam respostas dinâmicas diferentes de atuação;
- O UEL seletor, mesmo com um ganho KP baixo, garante nessa primeira análise a coordenação dinâmica com o relé 40;
- O UEL somador necessita de um ganho KP elevado para garantir a coordenação dinâmica. Esse alto ganho pode ser inviável do ponto de vista prático do controlador.

Caso esse fosse um teste real de campo, para o UEL somador a recomendação seria que o controle do UEL necessita de um ganho KP maior. Com o ganho de  $KP=0,5$  a Zona 2 do relé 40 precisaria de uma temporização mínima de 100ms para coordenar com o UEL. Já para o UEL seletor não é necessário nenhum reajuste.

Porém, é importante destacar que os testes em campo podem levar a resultados inconclusivos. Esse critério de avaliação depende de vários fatores:

- Quanto maior o valor do degrau aplicado, maior é afundamento da Potência Reativa. Dependendo do valor aplicado a análise pode ser bem diferente;
- Quanto maior for a reatância externa, menor será o afundamento de reativo. Essa é uma condição operativa da rede que pode variar bastante em relação à potência de curto circuito na barra de interligação da unidade ensaiada;
- Em carga alta o UEL está mais distante da zona 2 do 40. Isso é válido para relés do tipo MHO com offset negativo. Ou seja, o mesmo valor de degrau em diferentes patamares de carga levará a diferentes resultados.

Em virtude dessas questões há dificuldade em afirmar a partir dos ensaios em campo que o UEL está coordenado. Todavia, se nos ensaios de campo já for detectado que há descoordenação, em um estudo mais detalhado de simulação a conclusão será a mesma, o contrário não é possível afirmar. A *Figura 7* apresenta o bloqueio da unidade pelo relé 40 durante um ensaio dinâmico de um degrau realizado em campo durante o comissionamento de uma unidade geradora dotada de excitatriz rotativa. A excitatriz é lenta, fato que não permite ganhos elevados ao controle do UEL, que nesse caso, era do tipo somador.

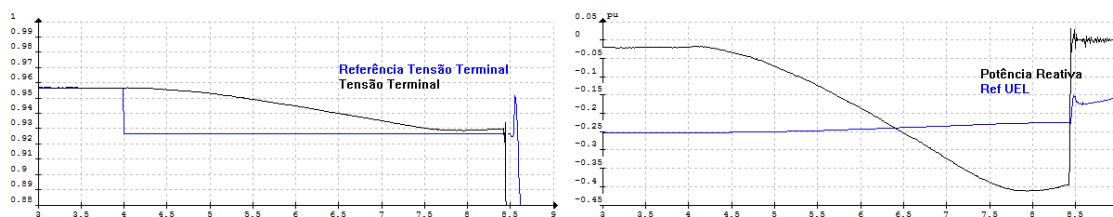


Figura 7 – Ensaio Real de Campo – Atuação do Bloqueio do Relé 40 no Ensaio do UEL Somador

### 2.2.2 Análise de Transitórios Eletromecânicos – Ensaios de Simulação em uma Rede Validada do UEL Somador

A análise a seguir supõe que a simulação está utilizando dados validados através de ensaios de campo. O objetivo é avaliar os pontos críticos de perturbação onde pode haver descoordenação entre o UEL e o relé 40. O UEL é do tipo somador, e foi parametrizado em campo com um ganho  $KP = 0,3$  (ganho típico), e o relé 40 conforme os ajustes da *Tabela 1*.

**Simulação 1 - Degrau de tensão:** a *Figura 8* apresenta a simulação crítica da aplicação do degrau de tensão. Para esse caso deve-se utilizar a maior potência de curto circuito na barra para obter a menor reatância externa equivalente. O ponto de operação da unidade deve ser  $V_t = V_{min} + 5\%$ ,  $P = 0pu$  e  $Q$  próximo do limiar do UEL. Nessas condições, aplica-se um degrau de  $-5\%$  na referência de  $V_t$ .

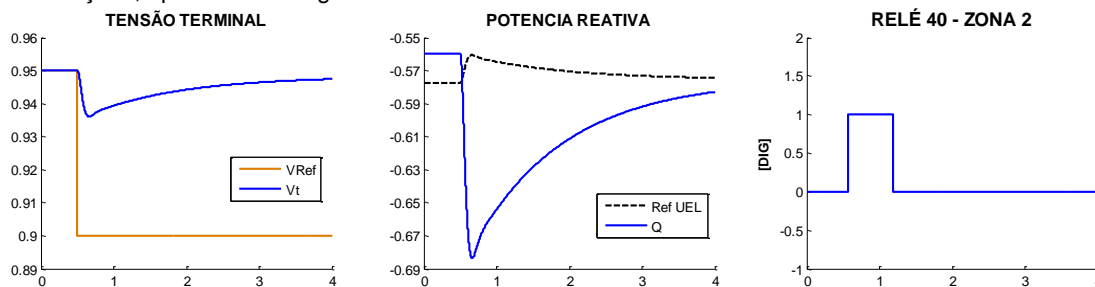


Figura 8 – Simulação do Degrau de Tensão no Ponto Crítico

**Simulação 2 - Variação brusca de Xe:** a *Figura 9* apresenta a simulação da variação brusca da reatância externa equivalente, por exemplo, a energização de uma linha terá um efeito similar. A pior condição para esse evento é

despachar a unidade com  $V_t = V_{min}$ ,  $P = 0pu$  e  $Q$  próximo do limiar do UEL. O ensaio foi realizado chaveando a reatância externa de 0,2pu para 0,1pu.

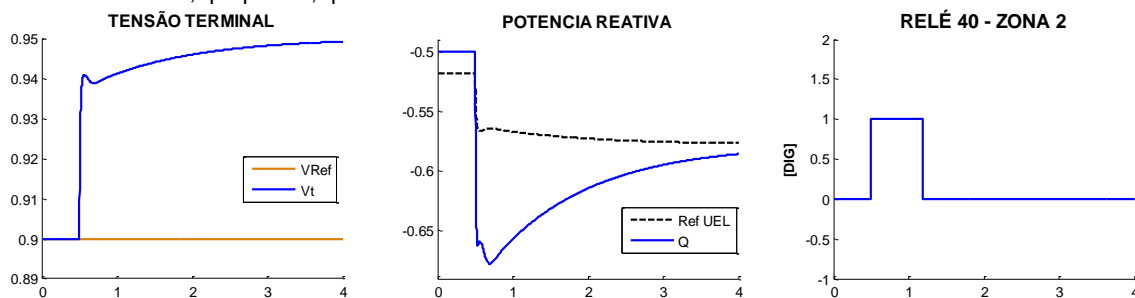


Figura 9 – Simulação da uma Variação Brusca na Reatância Externa

**Simulação 3 - Variação brusca da tensão da barra:** a Figura 10 apresenta o resultado de uma variação brusca da tensão da barra. Esse tipo de evento pode ocorrer, por exemplo, devido ao sincronismo de um gerador em paralelo com uma tensão mais alta que a unidade analisada. Para avaliação da condição crítica da sensibilização do UEL, a pior condição é despachar a unidade com  $V_t = V_{min}$ ,  $P = 0pu$  e  $Q$  próximo do limiar do UEL.

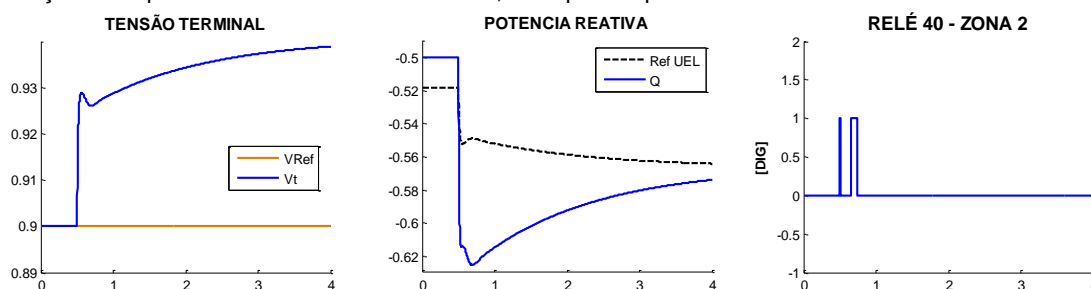


Figura 10 – Simulação de uma Variação Brusca da Tensão da Barra

Observe que nos três casos tivemos excursões da impedância dentro da zona 2 do relé 40. Os três casos apresentados são factíveis de acontecerem, mas é tarefa dos engenheiros de estudos analisarem a rede para a simulação dos casos críticos que realmente possam ocorrer na prática. Dos exemplos apresentados, o ensaio da variação brusca de  $X_e$  foi o que apresentou o pior caso de descoordenação dinâmica. Se essa é uma condição prática que pode acontecer realmente, ações devem ser tomadas para evitar a atuação da zona 2 do relé 40.

Exemplos de ações corretivas:

**Ação 1 – Aumentar a temporização do relé 40 Zona 2:** no exemplo da simulação 2, um valor superior a 700ms já garantiria a coordenação. Esse critério pode ser uma boa alternativa, porém deve-se tomar o cuidado de simular um evento de perda de excitação, pois pode haver casos onde a oscilação de potência pode entrar e sair da zona 2 em um tempo inferior ao ajuste da temporização desta função. Nesse caso, a proteção pode não atuar quando deveria. Uma simulação da perda de excitação, com potência ativa máxima, tensão mínima e com a maior reatância externa pode dar uma estimativa da temporização máxima para o ajuste da zona 2 do relé 40. A Figura 10 apresenta a simulação de perda de excitação. Observe o pickup sucessivo do relé 40 devido à oscilação de potência.

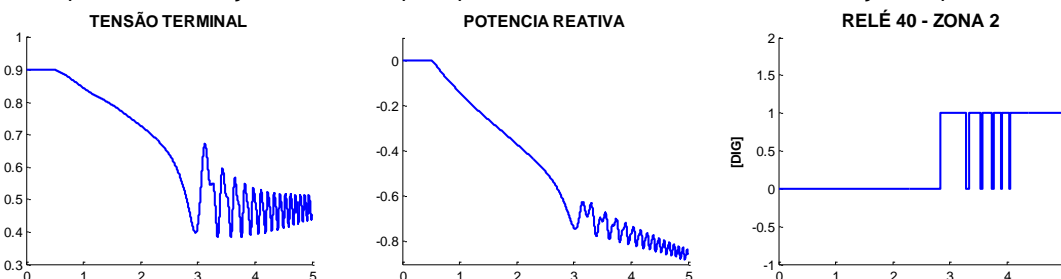


Figura 11 – Simulação da Perda de Excitação – Sensibilização da Zona 2 Devido a Oscilação de Potência

**Ação 2 – Aumentar a folga da curva do UEL:** essa ação restringirá ainda mais a operação na região de subexcitação da unidade, mas evitará o bloqueio do relé 40. Abaixo foi reproduzido o evento da simulação 2 para a variação do  $X_e$ . Nesse caso, foi aplicada uma folga de 20% na coordenação estática do UEL. Observe que agora não ocorre mais a sensibilização do pickup do relé 40 como aconteceu anteriormente quando foi utilizada uma folga de 10%.

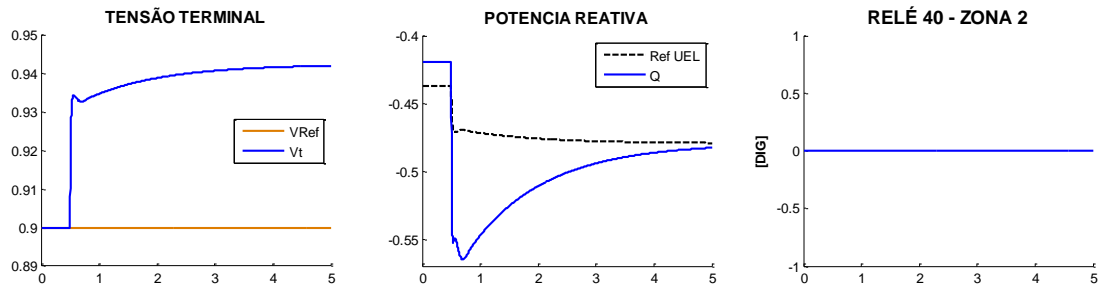


Figura 12 – Simulação Aumentando a Folga da Coordenação Estática

**Ação 3 – Aumentar o ganho do controlador do UEL Somador:** nesta situação deve-se avaliar o limiar de estabilidade do UEL, principalmente com ganhos altos e sua atuação com o PSS desabilitado.

**Ação 4 – Operacional:** Essa ação visa atacar eventos programados, como por exemplo, a energização de uma linha ou o sincronismo de uma unidade em paralelo. Nesses eventos possíveis de programação, a equipe de operação pode retirar as unidades geradoras da região de subexcitação antes que as manobras ocorram. Essa simples ação minimiza possíveis efeitos de descoordenação dinâmica que causam o afundamento do reativo. Mas não evitará os eventos intempestivos;

**Ação 5 – Alterar a Topologia do UEL Somador para Seletor:** há controladores de tensão que permitem essa flexibilidade. Observe a diferença de resposta do mesmo evento da variação brusca de  $X_e$  comparando o resultado do UEL do tipo somador versus seletor. A resposta do UEL do tipo seletor é muito mais seletiva que a do UEL somador.

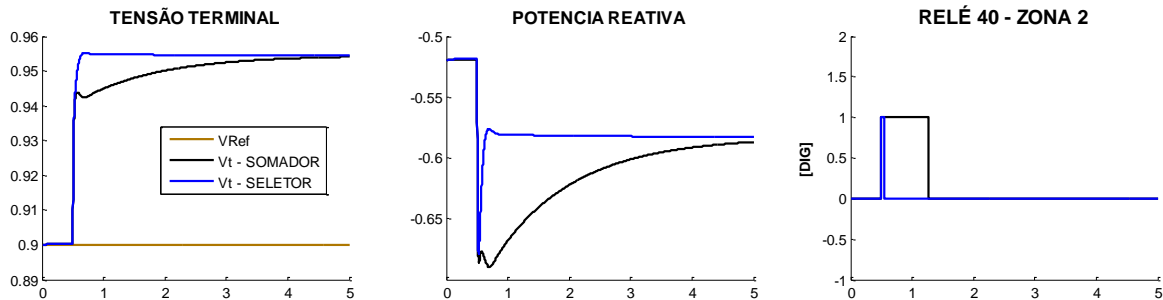


Figura 13 – Simulação Comparando as Estruturas do UEL Somador x UEL Seletor

Os ensaios de simulação apresentados dão uma boa margem para atestar a coordenação dinâmica do UEL com o relé 40, porém há outras questões que podem interferir na coordenação, por exemplo:

- 1) Influência da atuação do PSS em eventos de frequência [2]. Esse problema ocorre quando o PSS atua de forma indevida por causa de um afundamento de frequência. Nessa situação pode ocorrer um conflito dinâmico entre o PSS e o UEL que pode até gerar o bloqueio da unidade pelo relé 40. Essa questão pode ser analisada mediante estudos de transitórios eletromecânicos com ênfase na regulação primária onde ocorrem grandes desvios entre carga e geração;
- 2) Influência de excitatrizes rotativas: as excitatrizes rotativas introduzem um atraso na resposta do sistema de excitação. Essa dinâmica lenta pode afetar demasiadamente a recuperação da unidade, podendo sensibilizar por mais tempo a zona 2 do relé 40. Simulações de eventos com a representação da excitatriz rotativa podem ser realizadas para a análise da devida coordenação. O exemplo real apresentado na Figura 7 ilustra esse tipo de problema.

### 3.0 - DEMAIS COORDENAÇÕES

#### 3.1 OEL x 50/51 DO TEX

A coordenação do limitador OEL com o relé 50/51 do transformador de excitação é típica de casos em que há uma excitatriz estática realimentada (Figura 14). Nesses sistemas é possível coordenar a função 50/51 para proteger a sobrecarga do campo, que possui um valor nominal abaixo do TEX. A questão aqui é na conversão da relação entre corrente contínua no campo da MS para um valor da corrente alternada que alimenta o conversor de potência. O procedimento para ajuste do 50/51 do TEX coordenado com o OEL é semelhante ao da coordenação do relé 40 com o UEL. Parte-se do ajuste estático, dessa vez no plano corrente versus tempo (Figura 15). Já a análise da coordenação dinâmica é verificada através de eventos simulados de transitórios eletromecânicos.

O projetista da proteção deve verificar certas questões quanto ao ajuste do 50/51 do TEX:

- 1) O TEX não apresenta corrente de *Inrush* devido que a maioria das máquinas síncronas parte com um processo gradativo de excitação. Esse tipo de fenômeno não deve ser considerado no ajuste da função 50/51;
- 2) Os TC's do TEX, na sua grande maioria, são superdimensionados devido à elevada corrente de curto circuito na qual estão inseridos. Esse fato aumenta demasiadamente o fator térmico dos TC's e RTC, que por sua vez, pode limitar o ajuste do pickup da função temporizada de sobrecorrente. TC's de menor porte associados com elo fusível podem ser uma boa alternativa para contornar esse problema;

- 3) A proteção instantânea de sobrecorrente não precisa ser muito criteriosa para detectar um curto circuito no primário do TEX. Normalmente, a derivação do TEX esta dentro da zona do diferencial da unidade. A função diferencial possui a seletividade mais adequada para detectar esse tipo de falta que a própria função 50 do TEX;
- 4) Deve-se tomar um cuidado na forma com que os relés digitais filtram os sinais analógicos. As correntes alternadas do TEX possuem um alto conteúdo harmônico. O valor RMS em relação ao valor da fundamental é diferente. O projetista da proteção deve verificar essa questão que pode afetar o ajuste da coordenação estática da função 51 com o OEL;
- 5) As perturbações externas que geram desbalanço e deslocamento contínuo da corrente terminal do gerador causam no rotor, devido ao acoplamento magnético, correntes na frequência fundamental e de segunda harmônica. Essas correntes por sua vez são refletidas no lado AC da corrente de excitação lida pelo TC do TEX. Esse tipo de fenômeno pode causar uma atuação indevida da proteção instantânea de sobrecorrente do TEX no caso de ajustes conservadores da função 50 do TEX. A análise desse tipo de fenômeno só é possível em estudos de transitórios eletromagnéticos.

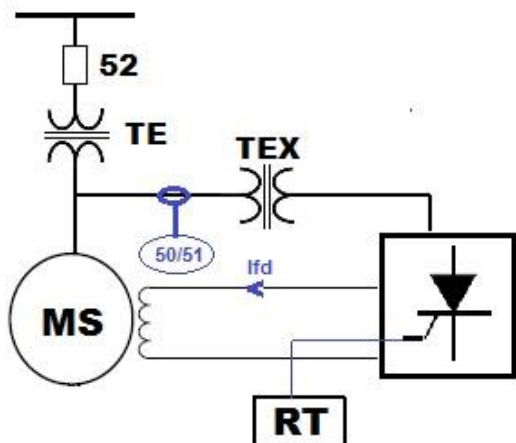


Figura 14 – Excitação Estática Realimentada e com proteção 50/51 no TEX

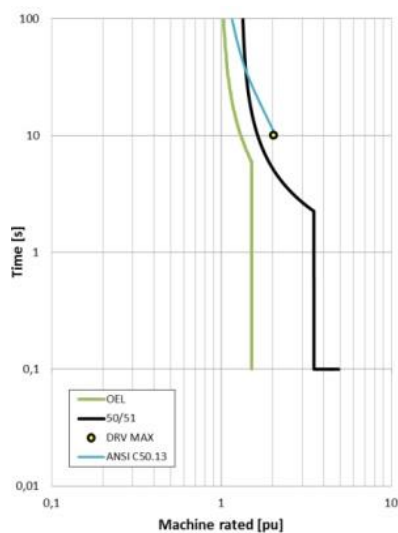


Figura 15 – Coordenação Estática 50/51 do TEX x OEL

### 3.2 Volts/Hertz x 24

A função de proteção 24 e o limitador volts hertz podem ser coordenados estaticamente aplicando uma folga da ordem de 2~3% entre eles. Todavia, é dinamicamente que essa coordenação é verificada. Os principais eventos que afetam essa coordenação são os oriundos de regulação primária. Casos particulares onde há turbinas Pelton ou Kaplan podem alterar bastante o resultado dessas simulações principalmente em eventos após uma rejeição de carga ou eventos com grande desbalanço entre potência mecânica e elétrica. Outro caso interessante é avaliar a influência do compensador de corrente de reativo quando ajustado para compensar a queda do transformador elevador da unidade. Em eventos de sobre-excitação, esse tipo de compensação pode atuar de forma descoordenada com o limitador volts/hertz, podendo até causar um bloqueio pela proteção 24.

## 4.0 - CONCLUSÕES



Foram discutidas questões sobre a diferença da coordenação estática x dinâmica entre os limitadores do regulador de tensão com certas funções de proteção de máquina síncrona. Foi dado um exemplo completo da coordenação do limitador UEL com o relé 40, onde foi apresentada uma metodologia simples para cálculo da coordenação estática, e mecanismos através de simulações de transitórios para avaliação da coordenação dinâmica destes dispositivos. Foi demonstrado que: a estrutura do limitador, ajustes do controlador e o tipo (somador ou seletor) afetam o desempenho da coordenação. Os limitadores OEL e VHZ que coordenam respectivamente com as funções 50/51 do TEX e 24 foram brevemente analisados. Por fim, ressalta-se que toda a abordagem de simulação só é viável mediante modelos validados da rede, somente assim é possível obter a precisão exigida para uma correta avaliação da coordenação dinâmica das proteções de máquina com os limitadores do regulador de tensão.

## 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) IEEE Std 421.5. IEEE Recommended Practice for Excitation System Models.
- (2) J.C.R. Ferraz. IEEE 2002. Adverse Increase in Generator Terminal Voltage an Reactive Power Transients Caused by Power System Stabilizers.
- (3) Power System Relay Committee. IEEE 2008. Coordination of generator protection with generator excitation control and generator capability.
- (4) Importância da Validação dos Modelos dos Sistemas de Excitação com Ensaios de Campo para estudos de Transitórios Eletromecânicos. XXIII SNPTEE, Foz do Iguaçu, 2015.



## 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

<p>Autor 1</p> 	<p>Nome: Rafael Bertolini de Paiva Local/Ano nascimento: Florianópolis/SC, 1982. Formação: Graduação em Engenharia Elétrica (UFSC, 2009), Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (UNIFEI, 2014), Mestrado em Engenharia Elétrica (UNIFEI, em andamento). Têm experiência em comissionamento de sistemas de proteção e regulação, estudos especiais de modelagem de unidades geradoras e controladores, estudos gerais em sistemas de potência e consultorias especializadas.</p>
<p>Autor 2</p> 	<p>Nome: Paulo Márcio da Silveira Formação: Graduação em engenharia elétrica (EFEI, 1984), Mestrado em Engenharia Elétrica (EFEI, 1991) e Doutorado em Engenharia Elétrica (UFSC, 2001). Diretor do Instituto de Sistemas Elétricos e Energia (ISEE) da Universidade Federal de Itajubá. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência atuando principalmente nas seguintes subáreas: Proteção de Sistemas Elétricos, Qualidade da Energia Elétrica, Medição e Processamento de Sinais aplicados a IEDs e Redes Elétricas Inteligentes.</p>