



**XXIII SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GPC/22  
18 a 21 de Outubro de 2015  
Foz do Iguaçu - PR

**GRUPO – V**

**GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA -  
GPC**

**A CONTRIBUIÇÃO DO REGULADOR DE TENSÃO PARA UMA MELHOR COORDENAÇÃO DA PROTEÇÃO DE  
GERADORES EM USINAS HIDROELÉTRICAS**

**CLAUDEMIR JORGE SOARES (\*)  
ANDRITZ HYDRO**

**GIOVANI SASSO SCARPATI  
ANDRITZ HYDRO**

**RESUMO**

Este informe técnico estabelece a importância e as conexões dos ajustes dos limitadores presentes no sistema de excitação de forma a permitir uma melhor seletividade com a proteção e apresenta o que um ajuste impreciso, ou mesmo a não utilização destes limitadores poderá interferir no comportamento da proteção, mostrando que uma vez estes limitadores ajustados criteriosamente e considerando essencialmente a curva de capacidade do gerador síncrono somado as características de ajustes dos relés de proteção, por exemplo, a função ANSI 40 perda de excitação, função ANSI 24 proteção Volts/Hertz poderão assim evitar a atuação da proteção com paradas e indisposições desnecessárias da máquina síncrona.

**PALAVRAS-CHAVE**

Sistema de Excitação, Limitadores, Curva de capacidade, Proteção e Coordenação.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Geradores síncronos estão sujeitos aos mais diversos tipos de defeitos e condições anormais de operação. Embora a ocorrência de falhas em máquinas rotativas não seja muito frequente, um defeito ou condição anormal no gerador pode implicar para este consequências extremamente desastrosas. Para a empresa, o prejuízo não é unicamente devido à necessidade do conserto ou a substituição da máquina danificada, mas também o de não poder atender a seus contratos de fornecimento de energia. Por isso, caso ocorra alguma anormalidade, os sistemas de proteção deverão ser seletivos e rápidos, de modo a isolar a máquina do sistema. Duas das principais proteções utilizadas em geradores síncronos é a proteção contra a perda de excitação, função ANSI 40 e a proteção V/Hz ANSI 24, sobrefluxo no gerador e em seu correspondente transformador elevador.

A importância da configuração dos limitadores de um regulador de tensão passa a ser essencial do ponto de vista de proteção da unidade e a afeta diretamente, que por sua vez atuará apenas em caso de falha destes limitadores, ou de erros de parametrizações destes limitadores ou desabilitação indevida.

Os limitadores do regulador de tensão definem a própria faixa operativa da máquina, um exemplo claro do exposto seria o limitador de ângulo de carga que juntamente com o limitador de corrente mínima de campo tem como objetivo principal evitar que o gerador trabalhe numa condição de subexcitação além de sua capacidade e que numa condição extrema resulte na perda de sincronismo do gerador, mas temos o outro lado que seria por questão de segurança e conservadorismo ajustar este limitador mais para a direita da curva de capacidade, ou seja, limitando de certa maneira a capacidade de absorção de potência reativa da rede por parte do gerador, a qual é uma das possíveis condições de operação do gerador, portanto encontrar a situação mais adequada de ajuste não é uma tarefa simples, o ajuste em si no regulador de tensão tem duração prática de alguns minutos, o mesmo se aplica ao relé de proteção o problema central é definir quais os valores a serem considerados e inseridos no AVR (Automatic Voltage Regulator) e que proporcione uma coordenação adequada e ainda uma faixa desejável de

operação da máquina, tarefa esta que deve ser definida em conjunto com a proteção e envolver o time de geradores (Curva de capacidade da máquina) e até mesmo a operação.

Os ajustes das malhas de controle por corrente de campo, tensão terminal da máquina, malha de controle de potência reativa e opcionalmente controle pelo fator de potência são importantes, assim como ajustes do PSS, todos estes ajustes tem uma parcela importante na contribuição para a estabilidade do sistema e bom funcionamento do regulador de tensão, porém podemos incluir no mesmo nível de importância, os ajustes corretos de todos os limitadores os quais certamente contribuem para a coordenação junto a proteção.

Este Informe técnico tem como objetivo central, evidenciar ajustes práticos para dois destes limitadores em especial, Limitador Voltz / Hertz e de subexcitação UEL ("Under Excitation Limiter") assim como da proteção função ANSI 40 e 24 e ilustrando situações e condições práticas para estes ajustes e os testes necessários para garantir a seletividade entre o sistema de proteção e o regulador de tensão.

## 2.0 - SISTEMA DE EXCITAÇÃO E CURVA CAPABILIDADE DE GERADORES

O Sistema de excitação na sua essência é responsável pelo controle do gerador, podendo atuar em termos do controle da tensão terminal ou controle da potência reativa, mas também contribui decisivamente para estabilidade da máquina e mesmo do sistema através dos ajustes dos seus limitadores onde através dos mesmos é definido a região de trabalho do gerador baseada em sua curva de capacidade. Os limitadores de corrente máxima do rotor, corrente máxima estatórica tem papel também importante na questão térmica, evitando sobreaquecimentos. Abaixo é ilustrado curvas de capacidade e os principais limitadores presentes e considerados no AVR e ainda as regiões possíveis de operação do gerador.

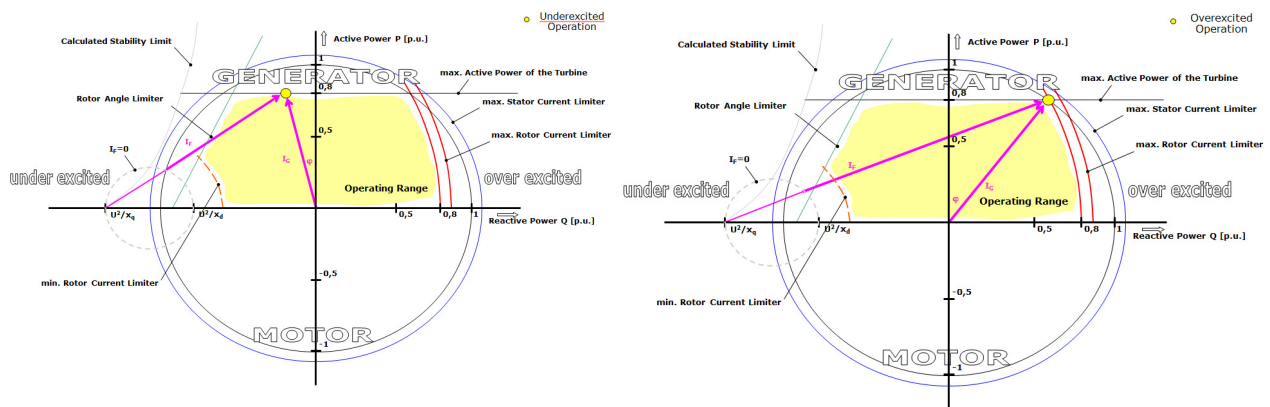


FIGURA 1 – Curvas de capacidade do gerador sobre e subexcitado e seus limites térmicos e de estabilidade.

Em resumo são os seguintes fatores limitantes dentro da curva de capacidade de um gerador síncrono a considerar:

- Tensão terminal ( $V_g$ );
- Corrente de armadura ( $I_g$ );
- Corrente de campo ( $I_f$ );
- Limite de estabilidade;
- Excitação mínima permissível;
- Capacidade de potência ativa (máquina primária – Turbina);

Como pode ser observado na figura 1, o gerador síncrono basicamente pode operar em dois modos:

- a. Sobreexcitado, ou seja, a direita da curva de capacidade, fornecendo potência reativa ao sistema;
- b. Subexcitado a esquerda da curva da capacidade neste caso absorvendo reativos do sistema;

Os limitadores do AVR garantem que a operação do gerador esteja dentro dos seus limites e capacidade de operação. Seria na região de subexcitação que o limitador UEL atuaria de tal forma a não permitir que o gerador ultrapasse seu limite definido por sua curva de capacidade e caminhe em direção ao seu limite de estabilidade e somente em caso de falha deste limitador ou ainda resposta lenta frente a algum distúrbio temporário que a proteção atuará, removendo a máquina do sistema antes da ocorrência de danos a mesma ou na instabilidade ao sistema como um todo, visto que nesta condição de operação o gerador passará absorver grandes níveis de reativos e outros geradores próximos suprirão esta potência exigida, podendo em casos extremos resultar em afundamento de tensão resultar em oscilações instáveis.

## 2.1 Funcionalidades principais do regulador de tensão

As principais características que um moderno sistema de excitação (Entenda-se sistema de excitação, transformador de excitação e o próprio regulador de tensão - AVR) são listadas abaixo:

- a. Regulador Automático de Tensão: AVR;
- b. Regulador de corrente de Campo: FCR (modo manual de operação);
- c. Controle de Potência Reativa: VAR;
- d. Controle de Fator de Potência: COSPHI;
- e. Circuito de excitação inicial (Field Flashing) AC e/ou DC;
- f. Ajuste do tempo de subida de partida;
- g. Rápida desexcitação, através da realização do Phase back (disparo dos tiristores em 150°C);
- h. Monitoramento térmico do rotor do gerador;
- i. Sequenciamento de partida e parada da excitação;
- j. Supervisão de condução dos tiristores dos retificadores;
- k. Modo de trabalho em automático ou manual;
- l. Comunicação Modbus ou IEC 60870-104;
- m. Interface com Operador via IHM;
- n. Configurações de redundância n+1;
- o. Habilitação e ajuste de PSS (Power System Stabilizer);
- p. Proteção para sobretensões no rotor, circuito Crowbar;
- q. Proteção térmica e de sobrecorrentes para o transformador de excitação, funções 49, 50 /51, respectivamente.

Destacando em especial o comportamento e interação dos limitadores Volts / Hertz e subexcitação com a função 24 e 40 respectivamente, abaixo estão listados os principais limitadores usualmente presentes no regulador de tensão:

- **Limitador Volts / Hertz (Função 24 ANSI);**
- **Limitador de Subexcitação (Função 40 ANSI): ângulo de carga e mínima corrente de campo - UEL;**
- Limitador de sobrecorrente de campo temporizada;
- Limitador de sobrecorrente de campo Instantânea;
- Limitador de corrente de armadura;

## 2.2 Limitador e proteção Volts / Hertz –V/Hz

O limitador V/Hz tem a função de proteger o gerador e o seu transformador elevador e indiretamente outros componentes que estejam conectados ao mesmo barramento AC evitando danos decorrentes de sobrefluxo provocado por redução da frequência e/ou sobretensões. O excesso de fluxo magnético e de forma duradoura pode causar sérios sobreaquecimentos e resultar em danos ao transformador elevador e mesmo ao núcleo do gerador.

Da literatura sabemos que a tensão produzida por uma bobina é diretamente proporcional ao fluxo e à frequência conforme a equação:

$$V = 4,44fkN\varphi \quad (1)$$

Onde V seria a tensão, f a frequência (Hz), k fator de distribuição, N sendo o número de espiras e  $\varphi$  o fluxo magnético. Então, tem-se que o fluxo depende:

$$\varphi = \frac{V}{4,44fkN} \quad (2), \text{ Como K e N são constantes, tem-se: } \varphi = \alpha \frac{V}{f} \quad (3)$$

Podemos observar que o aumento do fluxo magnético está atrelado diretamente a relação de tensão e frequência e o que o limitador Volts/Hertz neste caso tem como característica é garantir que a relação uma vez definida, programada como limite não seja ultrapassada.

O limitador V/Hz em modernos sistemas de excitação é essencial para garantir que o gerador em condições de subfrequência, principalmente em perturbações temporárias, exemplo durante rejeições de carga possa operar numa faixa de fluxo aceitável e segura de forma a evitar sobreaquecimentos, onde o regulador neste caso reduz o nível de tensão de forma a limitar o fluxo gerado até que a frequência seja normalizada. Quando o limite da relação Volts/Hertz ajustado no regulador de tensão é ultrapassado, basicamente um sinal de erro negativo é enviado ao ponto de soma do AVR até que a tensão nos terminais do gerador seja reduzida e mantendo a relação V/Hz dentro do limite ajustado de forma a limitar o fluxo gerado nos equipamentos de potência. Apenas em causa da falha deste limitador ou que o sobrefluxo seja permanente a proteção Volts/Hertz do relé de proteção será sensibilizada, portanto o limitador Volts/Hertz não substitui a proteção, diria exatamente o contrário a proteção de backup é desejável e

extremamente recomendada, basta que a proteção seja ajustada num patamar ligeiramente superior ao limitador V/Hz para evitar atuação sobreposta o que pode resultar num desligamento da máquina indevido.

### 2.3 Relação e interação entre o limitador UEL e Proteção de perda de excitação

O foco principal da limitação da subexcitação consiste em não permitir que o ponto de operação da máquina ultrapasse o limite mínimo de excitação e o limite prático de estabilidade, ou seja, quando o gerador entrar na condição de subexcitado não ocorra uma transgressão da característica de LOF ("loss of field"), resultando no desligamento do gerador. Sendo, portanto fundamental coordenar a limitação de subexcitação com a proteção de perda de excitação de tal maneira que não haja sobreposição, intersecção entre elas, ocasionando nesta situação também um desligamento do gerador por uma atuação prematura da proteção.

Em termos de operação na região de subexcitação, dois tipos de coordenação devem ser considerados: Coordenação estática ou também conhecida como de regime e a coordenação dinâmica.

Coordenação de regime seria a situação onde não existe perturbação, operação estável no sistema já a dinâmica corresponde à situação em que existe perturbação e seria quando o limitador UEL poderá permitir que o ponto de operação do gerador infrinja os limites do limitador e eventualmente da própria curva de capacidade da máquina e avance em direção ao limite de estabilidade ("steady-state stability limit" - SSSL) num tempo relativamente curto. Tal violação pode resultar na retirada da unidade caso a proteção seja sensibilizada. Isso pode ocorrer ou ser agravado com o limitador UEL mal ajustado onde o mesmo se torna lento em termos de resposta aos transitórios. Ao contrário da coordenação estática que pode ser facilmente verificada em campo, nas etapas de comissionamento a coordenação dinâmica exige recursos de simulações para sua correta comprovação e implementação. Como o limitador de subexcitação, tem como função garantir que o gerador possa operar absorvendo reativos, entretanto dentro dos seus limites, ou seja, conforme sua curva de capacidade e com oscilações de potências estáveis (coordenação dinâmica) o limitador tem que ter condições de trazer de volta o ponto de operação para dentro da curva de capacidade, portanto o tempo de resposta do regulador, em específico do limitador UEL, deve ser extremamente alto visando responder de forma adequada a estes distúrbios temporários.

A figura 02 ilustra o diagrama em blocos clássico que considera a possibilidade de operação com dois ajustes distintos para o ângulo de carga ( $\delta_a$ ), primeiro um para a condição de regime por volta de  $65^\circ$  e um outro visando melhor resposta dinâmica do regulador em situações de transitórios, ajustado num patamar superior, por exemplo em  $80^\circ$ .

Do ponto de vista da proteção apenas em caso de falha do UEL ou ainda com a perda total ou parcial da corrente de campo, provocada por falhas na excitação, a zona 2 ajustada no relé de proteção e com seu ajuste temporizado removerá a máquina do sistema.

Um exemplo, seria a abertura indesejada do contator de campo do sistema de excitação durante operação em plena carga, que resultaria neste caso atuação praticamente instantânea da proteção, visto que a impedância vista pelo relé função 40 se situaria provavelmente na zona 01 de ajuste..

Para complementar o exposto acima os seguintes pontos ou situações que podem resultar na retirada da máquina do ponto de vista da perda de excitação e como consequência atuação da proteção:

- Falhas internas no sistema de excitação;
- Curto circuito na bobina de campo do rotor;
- Abertura indevida do contator de campo por erro de operação ou mal funcionamento do equipamento;
- Não observação da correta coordenação entre o limitador UEL e ajuste do relé de proteção no que tange a função 40.

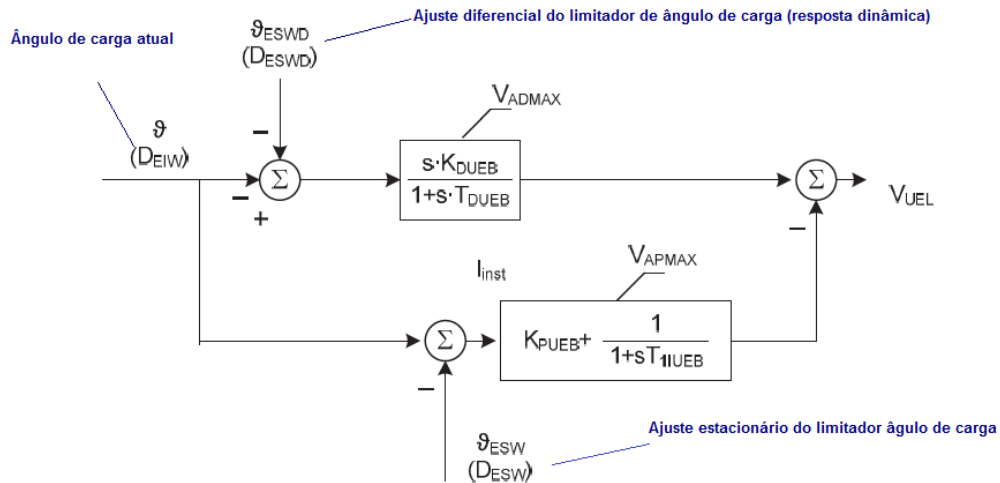


FIGURA 2 – Diagrama de bloco clássico para limitador de ângulo de carga - UEL.

A proteção contra perda de campo tem como finalidade evitar que o gerador opere em regiões além dos limites da sua estabilidade. A perda de campo ou subexcitação pode ocorrer devido à redução da corrente de campo, e assim o gerador passará a trabalhar como um gerador de indução, perdendo seu sincronismo e consumindo energia reativa do sistema. Mesmo que o gerador não perca o sincronismo, tais condições apresentadas acima não podem ser toleradas por um longo tempo, pois internamente ao gerador irá iniciar um aquecimento excessivo que poderá danificar a isolamento do núcleo estático.

A proteção de perda de campo é usualmente realizada pelos relés de proteção que medem a impedância aparente vista "dentro" do gerador, sendo que o ciclo de medição desta impedância pode ser escolhido com um loop entre fases ou através das medições de sequência positiva. A figura 3 representa a curva característica MHO com offset para as zonas 1 e 2, e ainda alguns relés permitem uma área de restrição direcional (blinder direcional) que pode ou não ser habilitada. A LOF 1 (zona 1) é parametrizada com tempo de operação reduzido, valor típico de 0,1s para oferecer mais estabilidade dinâmica ao gerador (seletividade com a função 78 – Perda de Sincronismo). E a LOF 2 (zona 2) por outro lado é parametrizada com tempo de operação de alguns segundos, numa faixa de 1s a 3s de maneira acomodar melhor a resposta a forte oscilações estáveis de potência e permitir que o limitador UEL tenha condição de recuperar o ponto operativo de volta à parte interna da curva de capacidade do gerador antes da do pick up da zona 2. Caso haja a perda de excitação mesmo que parcial e o gerador esteja operando em carga leve a LOF-2 que eventualmente tripará a máquina. Para a parametrização do relé de proteção as reatâncias direta ( $X_d$ ) e transitória ( $X'_d$ ) do gerador são necessárias.

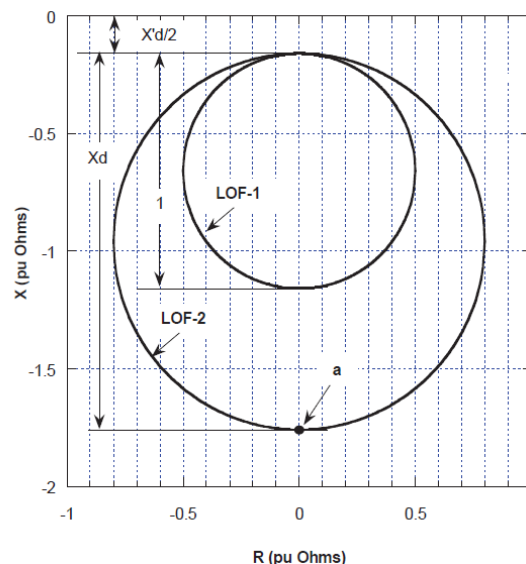


FIGURA 3 – Característica de LOF para relé convencional, offset - mho de duas zonas.

Logo, analisando o que foi exposto até o momento poderíamos dizer que o limitador de subexcitação (UEL) presente no AVR seria uma espécie de “zona 3” estendida do relé de proteção e que complementaria a proteção no que concerne a função 40 (ANSI) e o seu correto funcionamento e parametrização contribui e muito para uma correta coordenação junto a proteção. Talvez este seja o mais relevante limitador presente no regulador de tensão, pois ele evita num primeiro momento que a máquina opere além do seu limite de capacidade e e mesmo de estabilidade e evita que outras máquinas e até mesmo o sistema o qual o gerador está interligado entre em colapso numa situação extrema de falha.

Cabe aqui pontuar dois pontos, primeiro que nenhum limitador do AVR resulta em TRIP, e sim apenas sinalização de alarmes, indicando os limitadores ativos, os quais são enviados ao sistema de controle da usina para as devidas ações, portanto cabe apenas a proteção remover a máquina do sistema. Segundo ponto que a curva de capacidade do gerador é fornecida pelos fabricantes de geradores num plano de potências P-Q quanto os ajustes dos relés de proteção são feitos no plano de impedância R-X, estes planos são relacionados entre si através da seguinte relação.

$$RX(r, x) \leftrightarrow PQ, \left( \frac{Vt^2 * r}{r^2 + x^2}, \frac{Vt^2 * x}{r^2 + x^2} \right) \quad (4)$$

### 2.3.1 Coordenação dinâmica Limitador UEL e Zona 2 de Proteção.

No plano R-X, o ponto mais importante em relação à coordenação é o ponto “a” ilustrado na figura 3, pois este ponto ao ser mapeado para a posição superior da curva de capacidade do gerador, plano P-Q e corresponderia ao ponto de intersecção no eixo Q.

Assumindo que a tensão do gerador sendo usualmente de 1,0pu, o ponto com as coordenadas  $(0, -X_d - X_d'/2)$  no plano P-Q correspondente seria:

$$RX\left(0, \frac{-X_d'}{2} - X_d\right) \rightarrow PQ\left(0, \frac{-Vt^2}{\frac{X_d'}{2} + X_d}\right) \quad (5)$$

Na literatura dificilmente se encontra claramente uma definição ideal, recomendada de faixa de ajuste entre o UEL e a proteção em especial Zona 2, por se tratar de ajustes bem particulares e relacionados diretamente com a característica do gerador e ao sistema que o mesmo está inserido, mas um valor de referência em torno 15% deslocado deste ponto “a” refletido pode ser uma boa referência inicial para evitar sobreposição do limitador com o ajuste da zona 2. Desde que possível, o ideal seria que a curva relativa a zona 2 de proteção esteja fora da curva de capacidade do gerador, sendo que apenas o limitador UEL este sim deva permanecer interno a curva de capacidade.

A Norma IEE ANSI/IEEE C37.102-2006 (1) menciona um segundo método de ajuste do relé de proteção para perda de excitação que consistiria basicamente num ajuste positivo de offset na zona 2 permitindo que esta tenha um comportamento que acompanhe de maneira mais próxima a curva de capacidade do Gerador (GCC) e ainda um aumento do diâmetro de ajuste desta mesma zona 2 de um valor típico de  $1,1 * X_d$  mais as impedância do sistema vista pelos terminais da máquina. Este diâmetro pode ser aumentado ainda mais de forma a permitir que este ajuste da zona 2 esteja situado entre a curva de capacidade da máquina (GCC) e o limite de estabilidade (SSSL), conforme pode ser visto na figura 05. Estes dois novos ajustes, tanto offset positivo e o aumento do diâmetro da zona 2 permitiriam tripar a máquina se esta estiver operando em qualquer situação próxima ao limite de estabilidade o que já não acontece no método convencional de ajuste. Esta diferença pode ser melhor observada nas figuras 4a e figura 4b.

O comportamento em regime do limitador de subexcitação pode ser testado em fábrica com auxílio de um simulador e também em campo, neste caso o usual que devido às condições sistêmicas nem sempre é permitido chegar ao ponto ajustado de atuação do limitador e daí decorre a necessidade do ajuste desse limitador ser deslocado para a direita da curva de capacidade de forma a estar o mais próximo da maior quantidade de potência reativa absorvida pelo gerador no momento do teste para verificação de atuação do mesmo e com posterior retorno do ajuste a sua condição original.

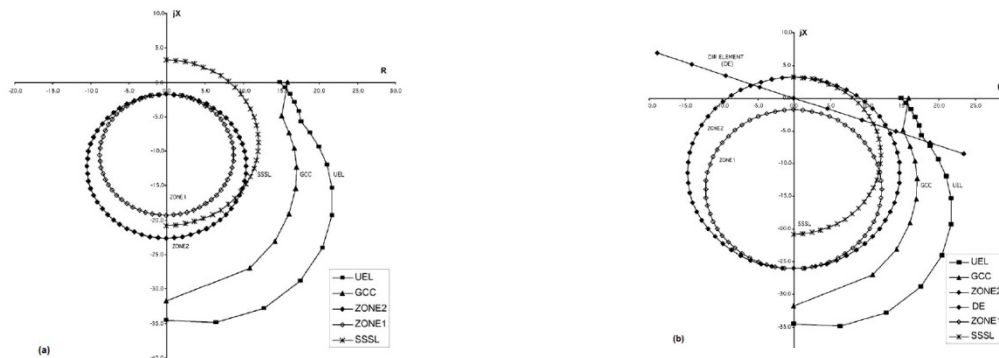


FIGURA 4 – (a) Método 1 convencional de ajuste perda de excitação  
(b) Método 2 com ajuste positivo de offset na zona 2 e elemento direcional.

#### 2.4 Relação e interação entre o limitador Voltz/Hertz e sua proteção

O Limitador V/Hz presente no regulador de tensão não aparece na curva de capacidade do gerador, mas tem importância grande para o controle do fluxo magnético tanto do gerador quanto do seu transformador elevador como já dito anteriormente, sendo este último o equipamento mais sensível a variação de fluxo, conforme pode ser evidenciado na tabela 01, a qual mostra a comparação de capacidade de sobre fluxo de um gerador e seu transformador elevador conectado.

Segundo IEEE C37.102-2006 (1) uma condição de sobre-excitação irá ocorrer sempre que a relação entre a tensão e a frequência nos terminais da unidade geradora superarem 5% do valor nominal esperado. Para o transformador elevador essa condição irá ocorrer quando o limite de 105% for superado à plena carga e com fator de potência de 0,8. Em caso deste transformador encontrar-se vazio, o limite passará para 110%.

Uma faixa típica de ajuste do limitador V/Hz é muito utilizada na prática encontra-se entre 108% a 110%, considerando as características do gerador e o transformador elevador aplicado. No que concerne à proteção, com a tecnologia aplicada aos relés digitais que permitem a configuração de vários estágios de ajustes, esta configuração fica facilitada permitindo assim como sugestão a seguinte configuração:

- Primeiro estágio com ajuste entre 110% a 115% e temporização de acordo com a curva inversa e que permita um ajuste mínimo de 45 e 60 segundos;
- Segundo estágio da proteção ajustada entre 118% a 120% e com temporização menor entre 2s e 6s.

Outro ponto importante o próprio regulador de tensão possui uma faixa de trabalho de tensão terminal programada que segue a característica do gerador, usualmente entre 0,95 e 1,05 pu (base gerador), que de certa maneira acaba funcionando como um “limitador” visto que o regulador de tensão é impedido de responder a comandos fora desta faixa de tensão ajustada, contribuindo também para a limitação de sobre fluxo e mesmo de subexcitação.

Tabela 1: Capacidades de sobre fluxo do gerador e transformador elevador

Capabilidade do Transformador Elevador		Capabilidade do Gerador	
Tempo (min)	V/Hz (%)	Tempo (min)	V/Hz (%)
40	106,4	33	110
30	106,9	25	111
20	107,4	20	111,5
10	108,4	15	112,5
6	109,3	10	113,5
2	112,1	5	115,5
1	114,3	2	118
0,5	118	1	120
0,3	123,5	0,5	122
--	--	0,2	125

Durante o comissionamento de um gerador de 14,5MVA em uma pequena central hidroelétrica, localizado na usina de Ilha Comprida, em Sapezal-MT, Além da realização dos testes intrínsecos ao comissionamento, houve oportunidade da realização de testes adicionais com diversos ajustes para o limitador V/Hz, e com registro do comportamento destes ajustes para situações de rejeição de carga.

A figura 05 ilustra uma destas oscilografias aquisitadas diretamente do regulador de tensão estático Andritz – GMR3 onde constata-se atuação do limitador V/Hz evidenciando a resposta da tensão terminal de acordo com o afundamento da frequência ocorrida durante a rejeição de carga de tal forma a manter a relação Voltz/Hertz no valor previamente definido neste caso para um ajuste proposital de 106% de forma a permitir um tempo de registro maior da atuação do limitador. Como informativo o valor final implementado para o limitador de sobre fluxo nesse gerador foi de 108% o valor de 110%, mais conservador, foi implementado na proteção (primeiro estágio) e com ajuste temporizado baseado no comportamento da curva inversa, evitando assim sobreposição dos ajustes.

O estudo da capacidade de sobre fluxo que o gerador e o transformador elevador podem suportar é fundamental, principalmente para a adequação dos ajustes dos estágios da proteção e não pode ser desconsiderado, entretanto já para o AVR uma faixa típica, podemos dizer uma referência inicial de ajuste do limitador no AVR seria entre 1,08 à 1,10, visto que o tempo de atuação deste limitador geralmente é de alguns segundos durante, por exemplo, em condições de rejeição de carga e é comum que o trip dado pela proteção nesta mesma faixa de atuação esteja numa base de tempo de minutos.

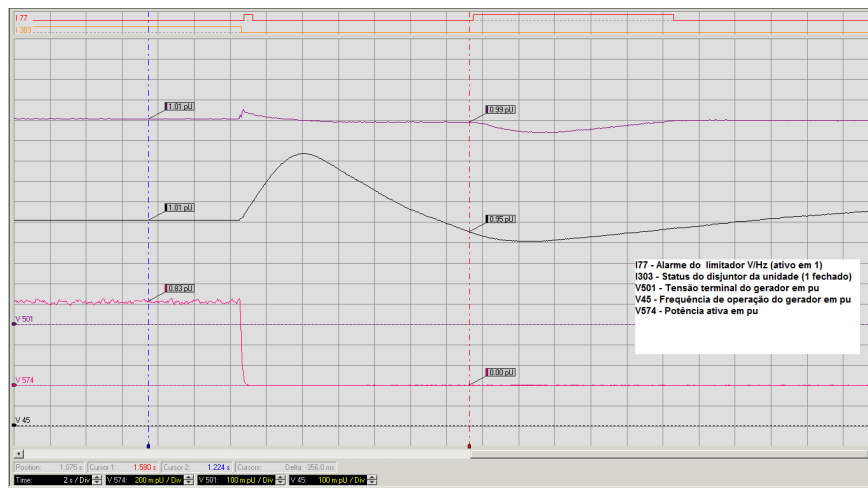


FIGURA 05 – Rejeição de carga com atuação do limitador V/Hz

### 3.0 - CONCLUSÃO

A operação do gerador na região de subexcitação, absorvendo reativos, exige um compromisso forte entre a proteção, a regulação e o próprio regime de operação, ou seja, a capacidade desejada de absorção de potência reativa para determinada máquina, todo este compromisso deve ser considerado na definição dos mais adequados ajustes a serem implementados tanto na proteção de perda de campo quanto no limitador de suexcitação UEL.

Os limitadores presentes no AVR não funcionam no modo manual de operação, neste modo eles são desativados, portanto cabendo exclusivamente a proteção da máquina a decisão de retirar a máquina do sistema em caso de necessidade, logo esta situação deve ser relevada, principalmente em fases iniciais de comissionamento.

Uma vez que o limitador UEL seja rápido, eficiente e tenha sua comprovação de resposta para vários tipos de distúrbio no sistema, ou seja, apresente boa resposta dinâmica, os ajustes da proteção poderiam ficar fora da curva de capacidade, permitindo assim uma melhor seletividade com o limitador de subexcitação e funcionando apenas como backup em caso de mal funcionamento do limitador UEL. Um confiável modelo de limitador de subexcitação e parametrização adequada permitem também uma melhor aproveitamento da curva de capacidade da máquina, resultando na capacidade maior de absorção de potência reativa quando necessário, principalmente para geradores de médio e grande porte. Um ponto a destacar que a variação da tensão terminal do gerador influencia diretamente na atuação do limitador UEL, visto que estes ajustes mudarão dinamicamente de acordo com a tensão terminal presente, por exemplo, uma redução da tensão para 0,95 pu resulta no deslocamento do limitador UEL para a direita, ou seja, mais para dentro da curva de capacidade e comportamento semelhante ocorrerá para 1,05pu de tensão, porém neste caso o limitador será deslocado para a esquerda da curva de capacidade.

Uma integração maior entre as engenharias de proteção e de regulação se faz cada vez mais necessária, tanto na fase de estudo, simulações para a definição da melhor seletividade e coordenação da proteção e limitadores do AVR, quanto de eventuais reajustes em campo onde o comportamento real da máquina é efetivamente estabelecido, permitindo uma coordenação adequada e aproveitamento maior da curva de capacidade da máquina, visto que na maioria das vezes ajustes conservadores são implementados.

### 4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) IEEE Guide for AC Generator protection, ANSI/IEEE C37.102-2006
- (2) ANDRITZ HYDRO, Manual regulador de tensão GMR3, edição 2014.
- (3) SILVA, Willian Seal. "Nova estrutura para o limitador de subexcitação UEL usado em sistemas de excitação" Tese de mestrado, Universidade de Itajubá, Brasil, Mar. de 2013.
- (4) IEEE "recommended Practice for Excitation System Models", IEESTD 421.5, 1992.
- (5) ONS, Submódulo 3.6 "Requisitos técnicos mínimos para a conexão as instalações de transmissão" maio 2010.
- (6) KINDERMANN, G. "Proteção de sistemas elétricos", Volume 3, edição 2008.



## 5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Claudemir Jorge Soares**, Nascido em São Paulo em 1973, graduado como Engenheiro Eletricista no ano de 2000 pela UNESP – Faculdade Júlio de Mesquita Filho, Guaratinguetá – SP. Atualmente trabalhando como Engenheiro de Controle Sênior – em Sistemas de Excitação na empresa Andritz Hydro, desde 2011.



**Giovani Sasso Scarpatti**, Nascido em São Paulo em 1985, graduado como Engenheiro Eletricista no ano de 2011 pela Estácio – Radial, São Paulo – SP. Atualmente trabalhando como Engenheiro de Proteção – em Sistemas de Potência na empresa Andritz Hydro, desde 2013.