# Relatório Parcial de Iniciação Científica

Submetido ao Edital PIC E PIBITI - Vigência 2010 2011- CNPq

# Título do Projeto

Estudo de Controle de Velocidade de um Gerador Diesel

## Orientadora

Prof(a) Dra Vilma Alves de Oliveira Departamento de Engenharia Elétrica/EESC/USP

#### **Bolsista**

Leonel Alejandro Laboissiere

São Carlos - SP

Janeiro de 2010

## **SUMÁRIO**

		Pág	gina
LI	STA	DE FIGURAS	3
1	$\mathbf{Intr}$	rodução	5
2	Mo	delo	6
3	Con	troladores de velocidade	9
	3.1	Controlador P	9
	3.2	Controlador PD	10
	3.3	Compensador por avanço de fase	11
	3.4	Controlador P Fuzzy	11
	3.5	Controlador PD Fuzzy linear	12
4	Sim	ulações	13
	4.1	Controlador P	14
	4.2	Controlador PD	15
	4.3	Compensador avanço de fase	16
	4.4	Controlador P Fuzzy linear	17
	4.5	Controlador PD Fuzzy linear	18
	4.6	Comparação entre controladores	18
5	Con	ıclusão	20

## LISTA DE FIGURAS

Página

1	Modelo de planta completa para grupo motor-gerador diesel	6
2	Sistema de controle de velocidade do Simulink	6
3	Modelo para o sistema gerador-carga isolada	8
4	Parte mecânica de um gerador elétrico do Simulink	8
5	Modelo da planta simplificada para grupo gerador-motor diesel	8
6	Diagrama de blocos do modelo simplificado de grupo gerador-motor diesel	9
7	Resposta do modelo da Figura 6 ao degrau unitário para $C(s)=1,27.\dots$	10
8	Resposta do modelo da Figura 6 ao degrau unitário para $C(s)=1,12(1+0,2s)$	10
9	Resposta do modelo da Figura 6 ao degrau unitário- $C(s)=0.491\frac{1+0.2s}{1+0.0033s}$	11
10	Gráficos das funções de pertenência para entrada e saída do controlador P Fuzzy.	12
11	Controlador P Fuzzy linear - Kp=1/0.037 e Ku=5	12
12	Controlador PD Fuzzy linear - Kp=1/0.012 e Ku=32	12
13	C Superfície de controle para controlador PD Fuzzy linear - Kp=1/0.037 e Ku=5.	13
14	Torques das planta das Figuras 1 e 5 - $C(s)=1,27$	14
15	Velocidade das plantas das Figuras 1 e 5 - C(s)=1,27 $\dots \dots \dots \dots$	15
16	Bloco de ação derivativa usado para implementar o controle PD	15
17	Torques dos modelos das Figuras 1 e 5 - $C(s)=1,12(1+\frac{0,2s}{1+0,1s})$	15
18	Velocidade dos modelos das Figuras 1 e 5 - $C(s)=1,12(1+\frac{0,2s}{1+0,1s})$	16
19	Torques dos modelos das Figuras 1 e 5 - $C(s)=0.491(\frac{1+0.2s}{1+0.0033s})$	16
20	Velocidade das plantas das Figuras 1 e 5 - $C(s)=0.491(\frac{1+0.2s}{1+0.0033s})$	17
21	Velocidade da planta da Figuras 1 - C(s)=P Fuzzy linear e C(s)=1,27	17
22	Velocidade da planta da Figuras 1 - $C(s)$ =PD Fuzzy linear e $C(s)$ =1,12(1+0,2s).	18
23	Torque da plantas da Figuras 1 - C(s)=P Fuzzy linear, C(s)=PD Fuzzy linear	
	e C(s)= $\frac{0.2s+1}{0.000s^2+0.01s+1}$	19

24	Velocidade da plantas da Figuras 1 - $C(s)$ =P Fuzzy linear, PD Fuzzy linear e	
	$C(s) = \frac{0.2s+1}{0.000s^2+0.01s+1}$	

#### Resumo

O trabalho aborda o problema de controle de velocidade de um gerador diesel para manter a frequência da tensão fornecida constante na rede de fornecimento com alteração de demanda. Envolve o estudo do modelo mecânico do grupo gerador-motor diesel tendo em vista o projeto de controladores lineares de velocidade. Foram usados três pacotes do aplicativo MATLAB, o SISOTOOL, Fuzzy e o Simulink. Os primeiros para projetar os controladores de velocidade e o terceiro para simulações de sistemas de potência que apresentam o motor diesel como fonte geradora.

Palavras-chaves: Gerador diesel, controle de velocidade, SISOTOOL, Fuzzy, simulação via MATLAB/Simulink.

## 1 Introdução

A abordagem do projeto foi através de funções transferências. Foi possível determinar funções transferências para descrever a dinâmica do sistema gerador-motor diesel. Foi obtido domínio do Simulink e de ferramentas computacionais de controle, como interfaces gráficas SISOTOOL e Fuzzy do MATLAB, para analisar os controladores de velocidade de um sistema gerador diesel.

A dinâmica do sistema gerador diesel é bastante complexa devido ao fato de não ser linear, ter constantes de tempo variáveis, conforme Roy et al. (1991). Mas pelo estudo de fontes, como Fitzgerald et al. (2008), Ong (1999), foi possível determinar um sistema que descrevesse um sistema de geração diesel o que permitiu o estudo do problema de controle de velocidade de um sistema de geração diesel.

O relatório é dividido em quatro tópicos: modelo de gerador diesel, controladores de velocidade, simulações e conclusão. No primeiro é apresentado o modelo para gerador diesel, completo e linearizado. No segundo tópico é abordado o projeto de controladores pelo SISI-TOOL e Fuzzy para o gerador diesel. O tópico simulações, mostra os resultados de simulações, via Simulink, para o gerador diesel. No último tópico, as conclusões são apresentadas.

### 2 Modelo

O estudo foi baseado no modelo Emergency Diesel-Generator and Asynchronous Motor existente no pacote SimPowerSystems do Simulink. É um arquivo .mdl da pasta Machine Models do SimPowerSystems. Trata-se de uma planta complexa e para fins de estudo foi simplificada pelo modelo da Figura 1. Essa planta consiste em um motor diesel acoplado a um gerador que alimenta uma carga puramente resistiva cujo valor é alterado conforme o phase-breaker é acionado. Então, foi estudado um sistema de geração elétrica, cuja máquina primária é um motor diesel, suprindo a demanda de uma carga isolada . A análise desse tipo de sistema é conveniente, pois representa um local onde não há acesso da rede ( numa ilha ou fazenda) ou onde a rede cessou seu fornecimento ( hospital ou aeroporto).

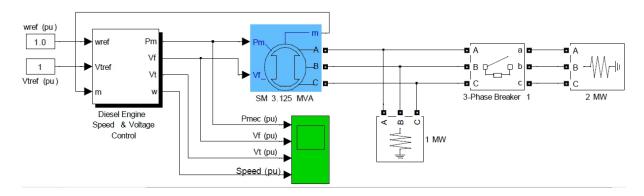


Figura 1: Modelo de planta completa para grupo motor-gerador diesel.

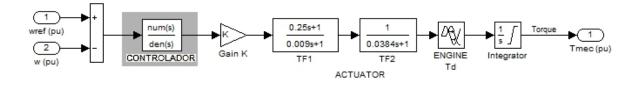


Figura 2: Sistema de controle de velocidade do Simulink.

Na Figura 1, o subsistema Diesel Engine Speed & Voltage Control é formado por dois subsistemas: EXCITION e GOVERNOR & DIESEL ENGINE. Este é formado pelo controlador de velocidade (destacado em cinza na Figura 2), e uma representação do motor diesel. A representação do motor diesel é associação em série dos blocos TF1 e TF2 (bloco ACTUATOR) com o bloco de atraso, ENGINE, conforme é visto na Figura 2. A representação do motor diesel é vista em Hannett et al. (1982) e Yeager and Willis (1993), sendo que deste foram utilizados os valores para os blocos do atuador e atraso. O bloco de controle é o foco do

estudo, ou seja, obter um controlador de velocidade para um sistema gerador diesel suprindo uma carga isolada.

A relação, em p.u., entre as potências mecânica, elétrica e velocidade angular no rotor de uma máquina elétrica é dada por:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{2H}(P_m - P_e) \tag{1}$$

sendo:

 $\omega$  - Velocidade angular do rotor em relação a um referencial estacionário;

 $P_m$  - Potência mecânica que é igual a  $T_m\omega$  e  $T_m$  é o torque mecânico;

 $P_e$  - Potência elétrica que é igual a  $T_e\omega$  e  $T_e$  é o torque elétrico;

H - Constante de inércia que é igual a J $\omega^2/2$  e J o momento de inércia do rotor.

Então, (1) descreve a variação da rotação com a mudança das variáveis de entrada (potências mecânica e elétrica) De acordo com Haffner (2009b) e Simões (2003), um modelo para sistema gerador-carga isolada, representado na Figura 3, quando submetido a uma pertubação é descrito por:

$$\Delta\omega(s) = \frac{1}{2Hs} \left[ \Delta P_m(s) - \Delta P_L(s) - D\Delta\omega(s) \right]$$
 (2)

em que:

 $\Delta\omega(s)$ : variação de velocidade angular em p.u.;

 $\Delta P_m(s)$ : variação de potência mecânica em p.u.;

 $\Delta P_e(s)$ : variação de potência elétrica em p.u.;

 $\Delta P_L(s)$ : variações de carga à frequencia nominal em p.u.;

D: coeficiente de amortecimento dos enrolamentos amortecedores do gerador.

Assim (2) e (1) descrevem o mesmo comportamento, logo são iguais as dinâmicas mecânicas de um rotor de máquina elétrica e de um sistema gerador-carga isolada. Ao observar a parte mecânica da Figura 4 é a epresentação de (2) em diagrama de blocos considerando o bloco de atrito F nulo e também ao invéns de  $\Delta P_m(s)$ - $\Delta P_e(s)$ , é  $\Delta T_m(s)$ - $\Delta T_e(s)$ . Dessa maneira, de novo é confirmada a identidade das dinâmicas mecânicas de um rotor de máquina elétrica e de um sistema gerador-carga isolada. Na Parte mecânica da Figura 4, o bloco verde representa a velocidade nominal, que adicionado a  $\Delta \omega(s)$  fornece a rotação do gerador.

Pela semelhança das dinâmicas da parte mecânica de gerador e de um sistema cargaisolada foi linearizado o modelo de gerador diesel ao da Figura 5. Essa linearização não

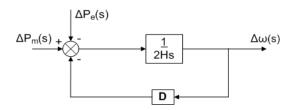


Figura 3: Modelo para o sistema gerador-carga isolada.

considera a dinâmica elétrica do gerador que foi simplifica a uma constante (torque elétrico  $T_e$ =0,8 p.u.). O subsistema Governor & Diesel Engine representa o sistema da Figura 2. Na Figura 4 o ganho F (bloco triangular azul) é nulo no arquivo **Emergency Diesel-Generator** and Asynchronous Motor, e também é nulo no modelo completo e linearizado para gerador diesel. Por isso não é notado o termo D, pois D=F=0.

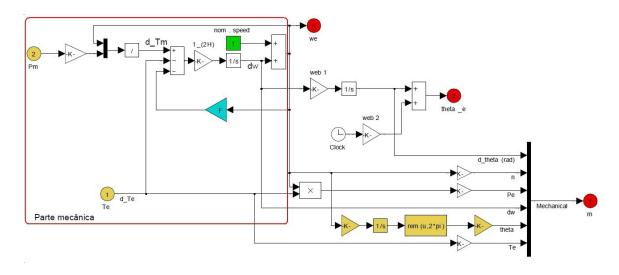


Figura 4: Parte mecânica de um gerador elétrico do Simulink.

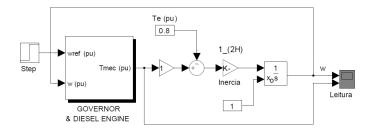


Figura 5: Modelo da planta simplificada para grupo gerador-motor diesel

No diagrama da Figura 2 o bloco de atraso, Engine, foi aproximado por:

$$\frac{-s + 83,333}{s + 83,333}$$

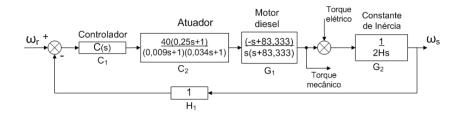


Figura 6: Diagrama de blocos do modelo simplificado de grupo gerador-motor diesel

em que representa a aproximação polinomial de ordem 1 da função  $e^{-T_d s}$ .

Na Figura 6 é representado o diagrama de blocos do modelo simplificado de grupo geradordiesel. Foi esse sistema que foi estudado no ambiente SISOTOOL para projetar os contraladores de velocidade. Sendo que o objetivo é manter a velocidade na referência, adotada como  $\omega_r$  1 p.u., então deve ser analisada do sistema da Figura 6 a resposta ao degrau unitário. A partir da implementação do controlador adotado em Yeager and Willis (1993) foi possível especificar alguns requisitos que os controladores deveriam atender, como listado logo abaixo:

- 1. Sobre-sinal da planta:  $M_p \leq 10\%$ ;
- 2. Tempo de acomodação da planta:  $t_s \leq 1,3$ s (adotado com a faixa de tolerância de 2%).

## 3 Controladores de velocidade

#### 3.1 Controlador P

Com o aplicativo Control and Estimation Tools Manager é possível analisar a resposta ao degrau unitário quando se modifica o ganho da malha, alterado pelo controlador proporcional. Foi observado que o sobre-sinal era sempre superior a 50%, independente do ganho do controlador. Logo, não há como um controlador P atender todas as exigências de projeto. Mas para estudar o efeito de um controlador proporcional, optou-se por um que atendesse o tempo de acomodação e tivesse o sobre-sinal inferior a 55%. Essa nova condição foi satisfeita pelo controlador C(s)=1,27 cuja resposta ao degrau unitário é dada na Figura 7. É notado o grande sobre-sinal ( $\approx 51\%$ ), logo há risco de saturação dos sistemas da Figuras 5 e 1, sendo assim existe problema de empregabilidade do controlador P projetado.

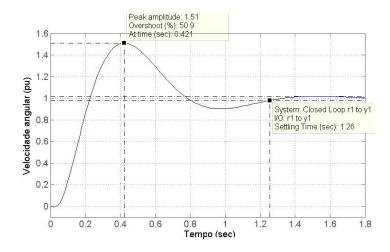


Figura 7: Resposta do modelo da Figura 6 ao degrau unitário para C(s)=1,27.

#### 3.2 Controlador PD

Com o propósito de melhorar a resposta transitória do controlador P projetado, foi estudado um controlador do tipo PD. Já que, a ação derivativa tende a fazer com que o sistema reaja mais rapidamente, assim são obtidas respostas transitórias com menor tempo de reposta. O controlador PD projetado foi:

$$PD(s) = 1,12(1+0,2s)$$
(3)

Ao implementar (3) obtem-se a resposta ao degrau unitário na Figura 8, em que se nota o atendimento das condições de projeto. Conclusões e resultados de simulações de plantas do

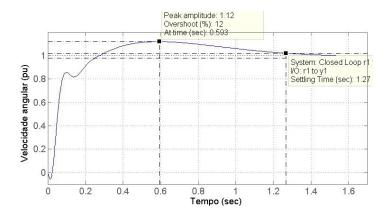


Figura 8: Resposta do modelo da Figura 6 ao degrau unitário para C(s)=1,12(1+0,2s).

gerador diesel com controlador PD projetado são apresentadas no tópico simulações.

#### 3.3 Compensador por avanço de fase

Outra maneira de melhorar a resposta em regime transitório do controlador P projetado é através de compensador avanço de fase. Foi determinado o seguinte compensador avanço de fase:

$$C(s) = 0,491 \frac{1+0,2s}{1+0,0033s} \tag{4}$$

Ao implementar (4) obtem-se a resposta ao degrau unitário na Figura 9, em que se nota o

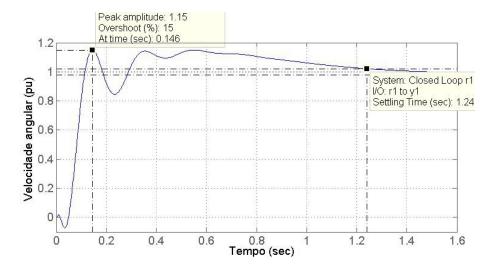


Figura 9: Resposta do modelo da Figura 6 ao degrau unitário- $C(s) = 0.491 \frac{1+0.2s}{1+0.0033s}$ .

não comprimento da exigência de projeto do sobre-sinal, entretanto o sobre-sinal é de 15% não muito diferente da exigência (14%). Esse compensator foi projetado para que tivesse um tempo de subida pequeno, para que se tivesse uma boa resposta em relação a variação de carga no modelo completo do sistema gerador-diesel.

## 3.4 Controlador P Fuzzy

Com o aplicativo Fuzzy do MATLAB é possível criar um esquema de controle que utiliza a lógica fuzzy. Inicialmente foi estudado um controlador do tipo P Fuzzy linear, isto é, a entrada de controle é proporcional ao erro só que segue a lógica descrita pela Figura 10, em que se observa a relação entre a saída do controlador fuzzy.

Na Figura 11 é apresentado o controlador P Fuzzy linear, em que  $K_p=1/0.037$  e  $K_u=5$ . No tópico Simulações são apresentados os resultados de simulações recorrentes da implementação do controlador P Fuzzy linear.

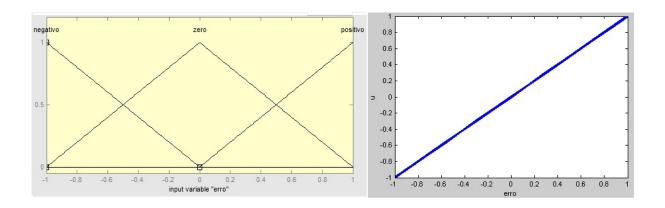


Figura 10: Gráficos das funções de pertenência para entrada e saída do controlador P Fuzzy.

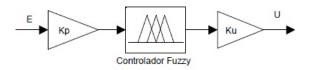


Figura 11: Controlador P Fuzzy linear - Kp=1/0.037 e Ku=5.

### 3.5 Controlador PD Fuzzy linear

Buscando o aprimoramento do controlador PD linear apresentado no trabalho, foi estudado um controlador PD Fuzzy linear como apresentado na Figura 12, em que a ação derivativa é substituída conforme esquematizado na Figura 16 sendo  $T_d$ =10, N=3. Os ganhos  $K_p$  e  $K_u$  são 1/0,12 e 32, respectivamente.

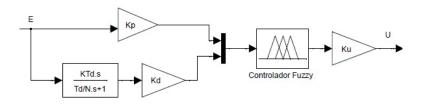


Figura 12: Controlador PD Fuzzy linear - Kp=1/0.012 e Ku=32.

Na Figura 13 é vista a superfície de controle para o controlador PD Fuzzy linear e por ser linear é um plano. No tópico Simulações são apresentados os resultados de simulações recorrentes da implementação do controlador PD Fuzzy linear.

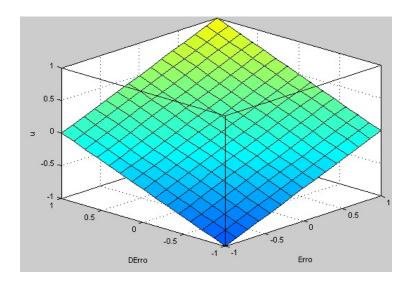


Figura 13: CSuperfície de controle para controlador PD Fuzzy linear - Kp=1/0.037 e Ku=5.

## 4 Simulações

São apresentados os resultados de simulações dos modelos, completo e linearizado para gerador diesel. O modelo linearizado, representa um motor diesel que supre um demanda elétrica constante ao longo do tempo definida por  $T_e$ =0,8, valor que equivale a uma carga de 2,5MW no modelo completo. O modelo completo representa um gerador diesel que supre uma carga de 1MW e que é alterada para 2.5MW no instante 4 segundos, quando o phase-breaker é acionado.

Nos três primeiros subtópicos a seguir são mostrados dois gráficos que comparam os dados das simulações dos modelos linearizado e completo para o gerador diesel. No gráfico das Figuras 14, 17 e 19, são comparados os torques mecânicos, de ambos os modelos, e o torque elétrico do completo (o do linearizado é constante e igual a 0,8 p.u.). No outro gráfico das Figuras 15, 18 e 20 foram comparadas as velocidades angulares de ambos os modelos.

Nos quatro seguintes subtópicos é mostrado um gráfico nas Figuras 21, 22 que compara as velocidades angulares entre os controladores lineares e os que usam a lógica fuzzy, ou seja, contralador P comparado com P Fuzzy, controlador PD comparado com PD Fuzzy e assim por diante.

No último subtópico é mostrado a comparação dos resultados das simulações com planta completa implementada com o controlador adotado em Yeager and Willis (1993), que é o mesmo do modelo Emergency Diesel-Generator and Asynchronous Motor, e com os con-

#### 4.1 Controlador P

Observa-se na Figura 14 que o torque mecânico do modelo linearizado atingi em 1,5s o estágio de regime permanente, vide curva verde da Figura 15 e o torque mecânico se iguala ao torque elétrico. Analisando os torques inerentes ao sistema completo, é percebido que o torque mecânico, curva azul, se iguala ao elétrico, curva verde. Para ambas as simulações houve saturação, pois o torque mecânico teve valores de 1.1 p.u., o que era previsto pela análise da Figura 7. Apesar disso, nas duas simulações a demanda elétrica foi sendo suprida de maneira eficaz, já que o torque mecânico se iguala rapidamente ao elétrico, mesmo após grande mudança de carga, no caso do modelo completo.

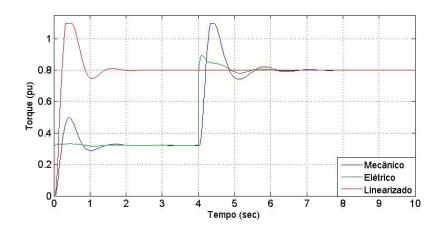


Figura 14: Torques das planta das Figuras 1 e 5 - C(s)=1,27

Na Figura 15 constata-se um adequado controle de velocidade. No modelo linearizado o sobre-sinal é inferior a 1% e o tempo de acomodação em torno de 1 segundo. Já no modelo completo, mesmo com a mudança abrupta de carga a velocidade foi estabilizada e permanece na faixa de  $1\pm5\%$ p.u., o que mantém uma qualidade de energia, pelo menos na frequência da tensão fornecida.

Considerando uma variação de carga inferior a 1,5MW, conclui-se que o controlador P projetado é adequado para o controle de frequência de tensão gerada por um gerador diesel, pois permite um controle aceitável na frequência de tensão fornecida assim como o fornecimento de energia de maneira eficaz.

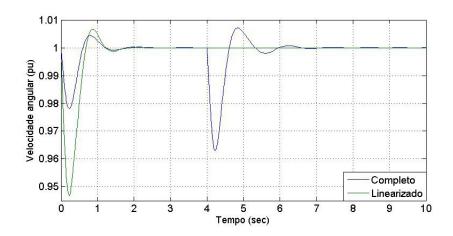


Figura 15: Velocidade das plantas das Figuras 1 e 5 - C(s)=1,27

#### 4.2 Controlador PD

Ao usar controle PD fez-se a ação derivativa conforme Haffner (2009a), vide Figura 16, em que  $T_d$ =0,2 e N=2. Para ambos os modelos os torques mecânicos ficam iguais ao elétrico o que significa que é atendida a demanda elétrica de maneira satisfatória. Ao observar as curvas azul e vermelho, torques mecânicos, apresentam o mesmo traçado o que confirma a equivalência dos modelos para gerador diesel aqui apresentados.



Figura 16: Bloco de ação derivativa usado para implementar o controle PD

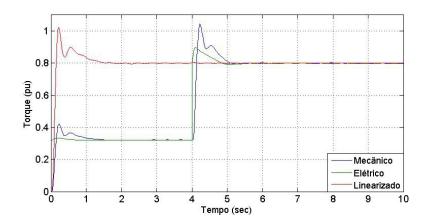


Figura 17: Torques dos modelos das Figuras 1 e 5 -  $C(s)=1,12(1+\frac{0,2s}{1+0,1s})$ .

Da Figura 18 conclui-se que com o controlador PD projetado para os sistemas completo e simplificado atingem rapidamente a velocidade de referência sem que ocorra picos de oscilações

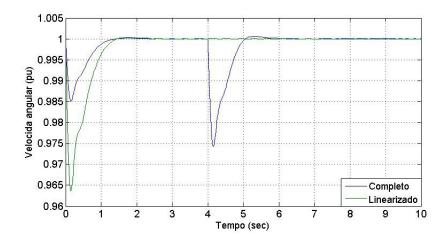


Figura 18: Velocidade dos modelos das Figuras 1 e 5 - C(s)=1,12(1+ $\frac{0,2s}{1+0,1s}$ ).

que superem  $\pm 5\%$  de 1 p.u.. Portanto, foi alcançado um controle PD desejável a um gerador diesel com carga isolada. A partir disso, é novamente confirmada a equivalêcia dos sistemas completo e simplificado.

#### 4.3 Compensador avanço de fase

Das Figuras 14 e 19, é visto que o torque mecânico não atinge o valor de saturação quando se utiliza o compensador avanço de fase no sistemas de gerador diesel apresentados no trabalho. Porém, o tempo de acomodação foi prejudicado e seu valor está próximo de 1,8 segundos, mas não houve interferência significativa no suprimento da demanda elétrica, pois os torques mecânicos ficam igualados aos elétrico em regime permanente.

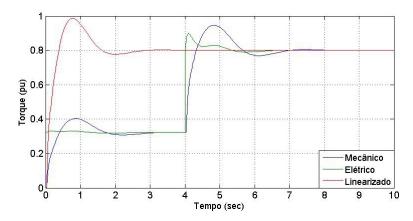


Figura 19: Torques dos modelos das Figuras 1 e 5 -  $C(s)=0.491(\frac{1+0.2s}{1+0.0033s})$ .

Ao comparar as Figuras 15 e 20, a velocidade fica menos oscilatória quando se emprega compensador avanço de fase projetado, ao invés do controlador P=1,27. No caso do sistema

completo, a velocidade sempre fica na faixa  $1 \pm 5\%$  p.u., que implica dizer que foi obtido um controle de velocidade adequado, consequentemente, da frequência de tensão fornecida.

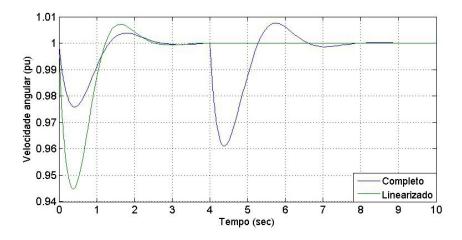


Figura 20: Velocidade das plantas das Figuras 1 e 5 -  $C(s)=0.491(\frac{1+0.2s}{1+0.0033s})$ .

## 4.4 Controlador P Fuzzy linear

Da Figura 21 pode-se constatar que utilizando a lógica fuzzy foi possível aprimorar o controlador proporcional tornado-o adequado ao uso do controle de velocidade para um gerador diesel alimentado uma carga isolada. Percebe-se que o sobre-sinal e o tempo de acomodação são melhorados, pois ambos são reduzidos quando se utiliza o controlador com lógica fuzzy.

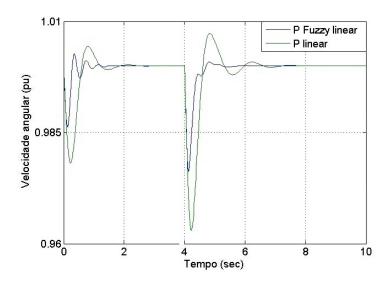


Figura 21: Velocidade da planta da Figuras 1 - C(s)=P Fuzzy linear e C(s)=1,27.

#### 4.5 Controlador PD Fuzzy linear

Da Figura 22 pode-se constatar que utilizando a lógica fuzzy foi possível aprimorar o controlador PD tornado-o mais adequado ao uso do controle de velocidade para um gerador diesel alimentado uma carga isolada. Percebe-se que o sobre-sinal e o tempo de acomodação são melhorados, pois ambos são reduzidos quando se utiliza o controlador com lógica fuzzy.

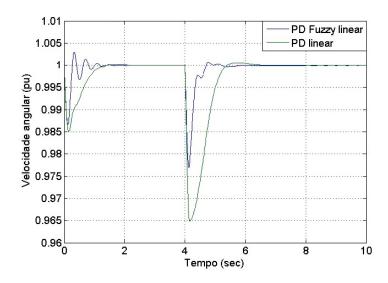


Figura 22: Velocidade da planta da Figuras 1 - C(s)=PD Fuzzy linear e C(s)=1,12(1+0,2s).

#### 4.6 Comparação entre controladores

Na Figura 23 são apresentada as curvas de torque mecânico da planta completa. A curva azul com o controlador em Yeager and Willis (1993), a curva vermelha ao controlador P Fuzzy linear a curva verde ao controlador PD Fuzzy linear. Em regime permanente, as curvas são iguais, e em regime transitório o controlador de Yeager and Willis (1993) faz com que a torque, inicialmente, decresça com o acréscimo de carga, e posteriormente, aumente para se igualar com o novo valor da carga. Já com o controladores projetados que usam lógica fuzzy, o torque aumenta, inicialmente, com o acréscimo de carga, e depois, diminue para ficar com o novo valor da carga.

Figura 23: Torque da plantas da Figuras 1 - C(s)=P Fuzzy linear, C(s)=PD Fuzzy linear e  $C(s)=\frac{0.2s+1}{0.000s^2+0.01s+1}$ .

Na Figura ?? são mostradas as curvas de velocidade geradas pelo motor diesel da planta

completa. A curva azul é referente a implementanção do controlador adotado em Yeager and Willis (1993) e a curva verde ao controlador P Fuzzy linear e a curva vermelha ao controlador PD Fuzzy linear. Em regime permanente, as curvas são idênticas, e em regime transitório apresentam a mesma qualidade, já que a velocidade sempre se encontra na faixa de  $1\pm5\%$  p.u. e o tempo de acomodação obtidos pelos controladores que usam lógica fuzzy é menor 0.1s do que o adotado no Yeager and Willis (1993).

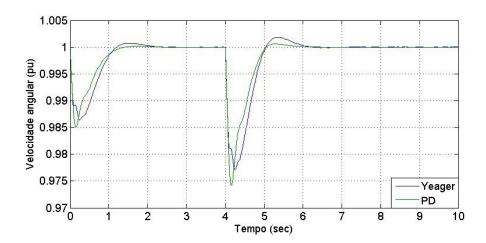


Figura 24: Velocidade da plantas da Figuras 1 - C(s)=P Fuzzy linear, PD Fuzzy linear e  $C(s)=\frac{0.2s+1}{0.000s^2+0.01s+1}$ .

Não é possível afirmar qual o controlador é mais eficiente, pois os que usam a lógica fuzzy possuem tempo de acomdoção menor que o adotado em Yeager and Willis (1993), entretanto, esse evita a saturação do motor diesel que é de curta duração com os controladores que utilizam lógica fuzzy. Entretanto, no contexto de gerador-carga isolada, que simula sistemas isolados ou ausentes da rede, é preferível um sistema que permita um controle adequado e que evite o menos possível sua máquina primária.

## 5 Conclusão

Foi verificada que a dinâmica mecânica de um gerador elétrico é equivalente a um sistema gerador-carga isolada. Essa dinâmica mecânica é modelada por uma função transferência de primeira ordem em que a entrada é a diferença entre as potências mecânica, da máquina primária, e elétrica, da carga, e a saída é a variação da velocidade angular do sistema. Em um sistema de geração elétrica uma prioridade é a frequência de tensão fornecida constante

que é ditada pela velocidade angular do sistema máquina primária-gerador. Considerando a máquina primária como um motor diesel e modelado por uma função transferência foi possível estudar controladores de velocidade para um gerador diesel alimentado uma carga isolada.

Um controle, qualquer que seja, deve atender certos requisitos de projetos, no caso do controlador de velocidade foram estimadas essas condições de projeto e por meio das interfaces SISOTOOL e Control and Estimation Tools Manager foram estudados controles de velocidade que foram implementados em um gerador diesel suprindo uma carga elétrica isolada. Os resultados de simulações via Simulink foram satisfatórios, pois a estabilização da velocidade no valor de referência era rápida e com pequenas oscilações. Isso é positivo, já que foi encontrado um controle de velocidade adequado, consequentemente da frequência da tensão gerada. Esses controladores podem ser implementados em sistemas mais complexos, cuja carga pode ser mais oscilatória ao longo do tempo. Considerando como foco principal trabalhar com aplicativos de controle para analisar a dinâmica do gerador diesel, o objetivo foi concretizado.

## Referências

Fitzgerald, A., Kingsley, C. and Umans, S. (2008). Máquinas Elétricas, Bookman.

- Haffner, J. S. (2009a). Aula 8 implementação de controladores PID. http://www.ee.pucrs.br/gacs/new/disciplinas/psc/CN/apostilas/Aula8/new2009II.pdf.
- Haffner, S. (2009b). Equação de oscilação. http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/haffner/mate de oscilação.pdf.
- Hannett, L., de Mlello, F., Tylinski, G. and Becker, W. (1982). Validation of nuclear plant auxiliary power supply by test, *Power Apparatus and Systems, IEEE Transactions on* **101**(9): 3068 –3074.
- Ong, C. M. (1999). Dynamic Simulation of Eletric Machinery Using Matlab/Simulink, Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, NJ.
- Roy, S., Malik, O. and Hope, G. (1991). An adaptive control scheme for speed control of diesel driven power-plants, *Energy Conversion*, *IEEE Transactions on* **6**(4): 605–611.

- Simões, A. (2003). Capítulo II Modelagem dos Componentes do Sistema de Potência. http://www.labspot.ufsc.br/simoes/dincont/dc-cap2.pdf.
- Yeager, K. and Willis, J. (1993). Modeling of emergency diesel generators in an 800 megawatt nuclear power plant, *Energy Conversion, IEEE Transactions on* **8**(3): 433 –441.