

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia de Energia e
Automação Elétricas

ISSN 1413-2214
BT/PEA/0119

Técnicas “Anti-Windup”

Luiz Augusto Pereira Fernandes
Clóvis Goldemberg

São Paulo – 2001

1233 408

O presente trabalho é um resumo da dissertação de mestrado apresentada por Luiz Augusto Pereira Fernandes, sob orientação do Prof. Dr. Clóvis Goldemberg: "Técnicas Anti-Windup", defendida em 03/10/2001, na EPUSP.

A íntegra da dissertação encontra-se à disposição com o autor e na biblioteca de Engenharia de Eletricidade da Escola Politécnica da USP.

FICHA CATALOGRÁFICA

Fernandes, Luiz Augusto Pereira

Técnicas anti-Windup / L.A.P. Fernandes, C. Goldemberg. – São Paulo : EPUSP, 2001.

12 p. – (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, BT/PEA/0119)

1. Controle automático I. Goldemberg, Clóvis II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas III. Título IV. Série

ISSN 1413-2214

CDD 629.8

1233408

TÉCNICAS “ANTI-WINDUP”

Este artigo foi extraído em setembro de 2001, da dissertação de mestrado, apresentada pelo Eng. Luiz Augusto Pereira Fernandes, orientado pelo Prof. Dr. Clovis Goldemberg.

RESUMO

Este trabalho compara algumas técnicas “anti-windup” aplicáveis a sistemas invariantes no tempo, com uma única entrada e uma única saída. Nesta análise, é sempre considerado que o controlador é do tipo proporcional-integral.

A saturação do controlador e do atuador, em sistemas de malha fechada, pode ocasionar efeitos prejudiciais ao desempenho da variável controlada. Quando este efeito é causado por um valor excessivo do termo integral do controlador, ele é denominado “windup” do termo integral. Algoritmos que evitam este efeito chamam-se técnicas “anti-windup”.

O atuador, o processo físico, e o ajuste do controlador proporcional-integral foram fixados para permitir comparações entre as várias técnicas “anti-windup”. Sete algoritmos “anti-windup” foram comparadas, através de simulações. Tomando-se o tempo de acomodação e sobre-sinal como critérios de escolha, concluiu-se que apenas três destas técnicas atingem resultados satisfatórios.

ABSTRACT

This work compares some anti-windup techniques applied to time invariant systems, with single input and single output. This analysis always considers a proportional-integral type controller.

The saturation of the controller and of the actuator, in closed loop systems, can degrade the performance of the controlled variable. When this effect is caused by an excessive value of the controller integral term, it is nominated windup of the integral term. Algorithms that avoid this effect are called anti-windup techniques.

The actuator, the physical process, and the proportional-integral controller tuning were all fixed to enable comparisons between the various anti-windup techniques. Seven anti-windup algorithms have been compared by simulation.

Taking settling time and overshoot as choice criteria, it is concluded that only three of these techniques achieve satisfactory results.

1. – INTRODUÇÃO

1.1 – Objetivo

O objetivo deste trabalho é comparar algumas técnicas “anti-windup”, utilizadas nos sistemas com uma entrada e uma saída (SISO-“Single input, single output”). Os sistemas considerados são lineares (exceto pela limitação da saída do atuador) e invariantes no tempo e utilizam um controlador do tipo proporcional-integral.

O fenômeno chamado “windup” está relacionado com a saturação dos atuadores e dos respectivos controles. Não há tradução exata para o termo técnico “windup”.

1.2 – Caso analisado

Em condições normais de projeto se estabelecem limites para a variável manipulada (saída do controlador) correspondentes aos limites de saturação do sistema atuador. Mostramos estes limites associados ao controlador, no exemplo da Figura 1.1, com realimentação unitária.

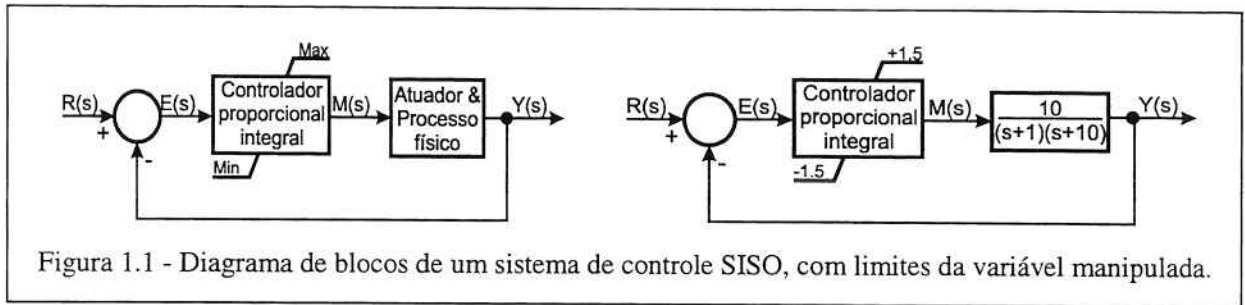


Figura 1.1 - Diagrama de blocos de um sistema de controle SISO, com limites da variável manipulada.

A transformada de Laplace dos sinais correspondem respectivamente a: $R(s)$ sinal de referência, $E(s)$ sinal de erro, $M(s)$ variável manipulada e $Y(s)$ variável controlada.

Analisaremos o fenômeno “windup” e as técnicas que visam evitá-lo, num exemplo em que os blocos correspondem às funções de transferência: $G_C(s)$, “Controlador proporcional integral” enquanto não atingir os limites de saturação e o “Atuador & Processo físico” corresponde à função de transferência:

$$F(s) = \frac{10}{(s+1)(s+10)}$$

Esta função de transferência corresponde a um sistema com duas constantes de tempo, sendo que a constante de tempo do processo físico é 10 vezes mais lenta do que a constante de tempo do atuador. Temos também um sistema com CC unitário e as variáveis de entrada e saída são escalonadas em grandezas PU.

Para que a comparação dos diferentes métodos “anti-windup” seja feita de forma justa consideraremos sempre a mesma função de transferência para o bloco “atuador & processo físico” e o mesmo ajuste dos ganhos proporcional e integral do controlador.

O ajuste do controlador proporcional integral foi obtido impondo cancelamento do pólo do processo (-1 rad/s) e ganho proporcional correspondente ao amortecimento crítico. Tal ajuste resulta no menor tempo de acomodação possível sem que exista sobre-sinal. A utilização de um controlador que possui um termo integral permite a obtenção de erro de regime nulo, na resposta ao degrau.

Foram arbitrados os limites máximo e mínimo de $\pm 1.5 \text{ PU}$ para a saída do controlador, o que corresponde a arbitrar uma capacidade reserva de 50% acima da nominal.

Em inúmeras situações será desejável operar sob saturação para forçar o sinal de saída a caminhar em um dado sentido, utilizando a máxima potência disponível.

1.3 – Conceito de “windup”

Consideremos que o controlador atinge o seu valor máximo e que o sinal de erro $e(t)$ ainda é positivo. A partir deste instante é que começa a ocorrer o fenômeno de “windup”. O controlador continuará efetuando o cálculo do termo integral e eventualmente poderá haver um acúmulo excessivo (“windup”) do valor do termo integral.

Quando ocorrer a inversão da polaridade do sinal de erro $e(t)$, o controlador deveria começar a reduzir a variável manipulada $m(t)$. Entretanto, o excesso acumulado pelo termo integral do controlador irá retardar esta redução no sinal $m(t)$. Como consequência podem ocorrer: atraso na resposta dinâmica do sistema; sobre-sinal na resposta dinâmica do sistema; tempo de acomodação excessivo; instabilidade.

1.4 – Conceito de técnica “anti-windup”

O termo “técnica anti-saturação”, quando interpretado literalmente, significa um artifício que evita que a saturação seja atingida. Desta forma deixamos de aproveitar toda a potência disponível no atuador.

O termo “técnica anti-windup” significa o uso de algum artifício que evita o “acúmulo excessivo do termo integral” (“windup” do termo integral), evitando prejuízos à resposta dinâmica da malha de controle. Consiste na inclusão de um algoritmo, que altere o cálculo do termo integral, quando o controlador atingir um dos limites operacionais, para evitar os efeitos prejudiciais já citados.

1.5 – Considerações adicionais

Foram comparadas sete técnicas “anti-windup”, por simulação, com o software Matlab/Simulink [18]. Muitas das figuras utilizam a simbologia deste software.

2 – AJUSTE DO CONTROLADOR

M. Kothare [6] sugere que o ajuste inicial dos parâmetros do controlador seja feito com o controlador operando linearmente, desconsiderando eventuais não-linearidades. Numa segunda etapa se incluem as não linearidades e projeto de técnicas de compensação. No caso, se inclui a saturação e a aplicação de técnicas “anti-windup”.

Na Figura 2.1 são apresentados o modelo linear, sem saturação e sua resposta ao degrau, após o ajuste dos parâmetros K_P e K_I do controlador PI para o amortecimento crítico:

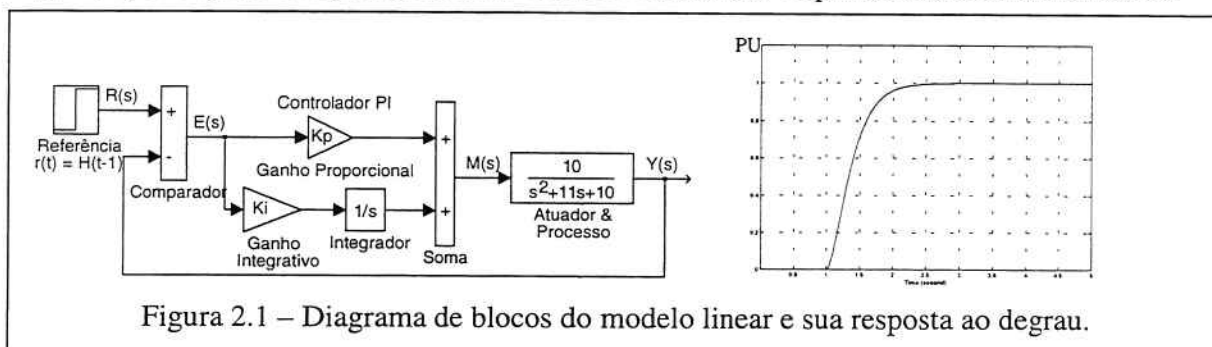


Figura 2.1 – Diagrama de blocos do modelo linear e sua resposta ao degrau.

Tomamos $K_P = K_I$ de modo que o “zero” da função de transferência do controlador PI seja igual a -1 , para cancelamento do pólo do processo em -1 .

A função de transferência de malha aberta (FTMA), resulta:

$$FTMA = \frac{K_P (s + 1)}{s} * \frac{10}{(s + 1)(s + 10)} = \frac{K}{s(s + 10)}$$

O ajuste de ganho com amortecimento crítico corresponde ao pólo de malha fechada em -5 . O ganho correspondente será $K = 25$. Como $K = 10 K_P$, resulta $K_P = 2,5$.

Para cancelamento do pólo do processo resultou $K_P = K_I$, logo $K_I = 2,5$.

O desempenho do sistema com controlador PI analógico ou discreto (amostrado no tempo) é idêntico, desde que o tempo de amostragem seja adequado. O desempenho do sistema com controlador PI discreto e tempo de amostragem $T_s = 1\text{ms}$ reproduz o mesmo desempenho do controlador analógico mostrado na Figura 2.1.

3 – “Windup” do termo integral

Quando a variável manipulada ultrapassar o valor que corresponde ao limite do atuador, a saída deste permanecerá no seu limite, independentemente da excursão da variável manipulada. A correção do erro será retardada, consequentemente o termo integrativo acumulará valor excessivo. Este efeito é chamado de “windup” do termo integral.

Internamente ao controlador (com condições iniciais nulas) será realizado um modelo correspondente à saturação do atuador, cuja saída será denominada “saída do atuador”. A verdadeira saída do atuador não aparece no diagrama de blocos da Figura 3.1.

A inversão de sinal do erro atuante, não causará reação imediata do sinal de saída do atuador, devido ao excesso do termo integral. Este retardo aumentará sobre-sinal e tempo de acomodação [1].

A saturação incluída no diagrama de blocos da Figura 3.1 ocasiona o sobre-sinal mostrado à direita na mesma Figura 3.1, onde observamos o efeito prejudicial da saturação sobre a variável de saída do sistema. O “windup” causou um sobre-sinal indesejado de aproximadamente 10% e aumentou o tempo de acomodação de 1,25s para 4s, para tolerância de $\pm 1\%$. As demais variáveis são mostradas na Figura 3.2.

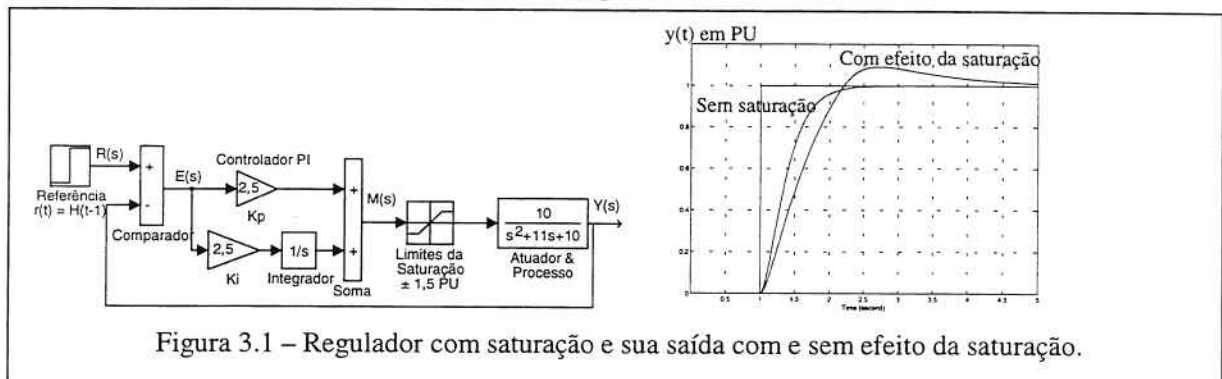


Figura 3.1 – Regulador com saturação e sua saída com e sem efeito da saturação.

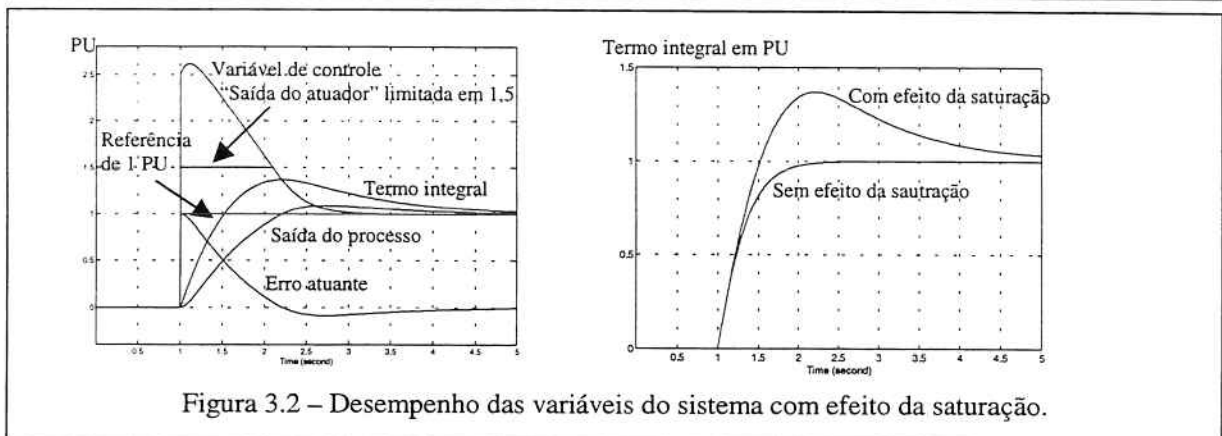


Figura 3.2 – Desempenho das variáveis do sistema com efeito da saturação.

Na Figura 3.2 observamos os seguintes eventos: a “saída do atuador” permanece no valor de saturação de 1,5 PU durante 1,1 s. Entre os instantes 2,2 e 5 s, o erro atuante é negativo, solicitando diminuição do termo integral, descarregando seu excesso, que foi acumulado entre os instantes 1,5 e 2,2 s. Isto é característico do fenômeno “windup”. No lado direito da Figura 3.2 comparamos o termo integral com e sem efeito da saturação.

4 – TÉCNICAS “ANTI-WINDUP”

As técnicas “anti-windup” limitam o crescimento excessivo do termo integral.

4.1 - Técnica de realimentação do integrador

A aplicação da técnica descrita por Aström[1] ao exemplo resulta no diagrama de blocos da Figura 4.1.1. No lado direito desta Figura apresentamos as curvas de desempenho para $K_T = 5$.

A comparação da variável de controle antes e depois da limitação resulta $E_S = 0$ quando não satura. O sinal $E_S * K_T$ realimenta o integrador do controlador PI.

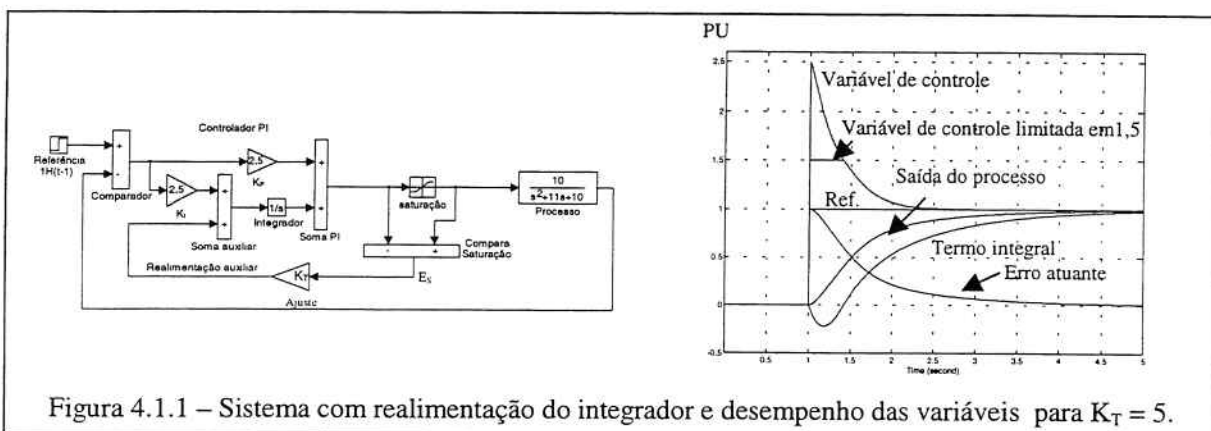


Figura 4.1.1 – Sistema com realimentação do integrador e desempenho das variáveis para $K_T = 5$.

Comparamos os ajustes de K_T , $1/10$; $1/2$; 1 ; 2 e 5 , na Figura 4.1.2. Percebemos que o ajuste $K_T = 1$ é o melhor pois apresenta o menor tempo de acomodação com sobre-sinal nulo.

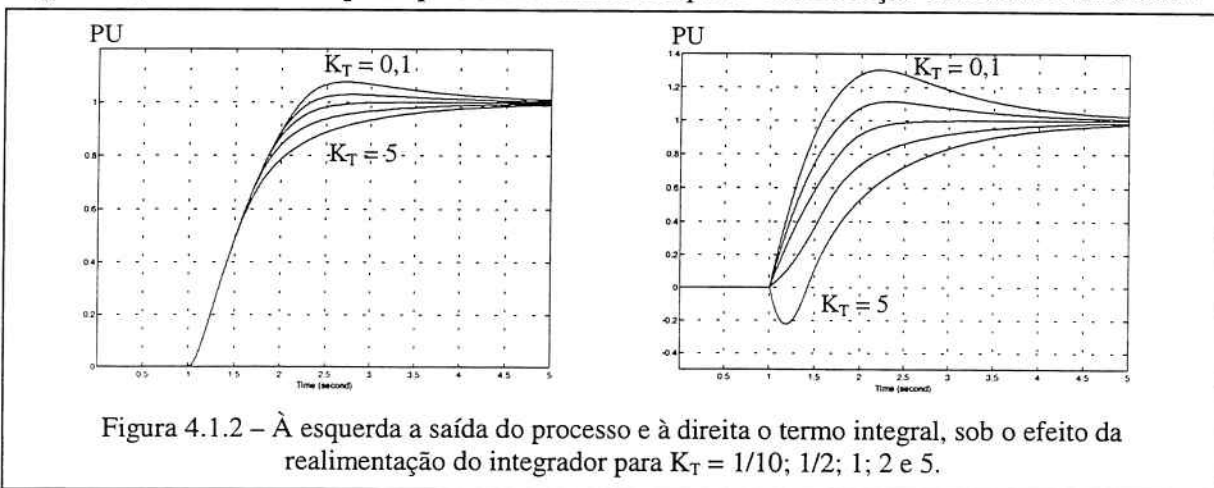


Figura 4.1.2 – À esquerda a saída do processo e à direita o termo integral, sob o efeito da realimentação do integrador para $K_T = 1/10$; $1/2$; 1 ; 2 e 5 .

4.2 – Técnica de bloqueio do termo integral (no nível da saturação)

Esta técnica chamada de integração condicional [5,8,9] consiste em interromper a integração, quando a variável de controle atinge o valor correspondente à saturação. Durante a interrupção, admitimos que o termo integral fica constante. Sua aplicação ao nosso modelo corresponde ao diagrama de blocos da Figura 4.2.1, com as curvas das variáveis à direita.

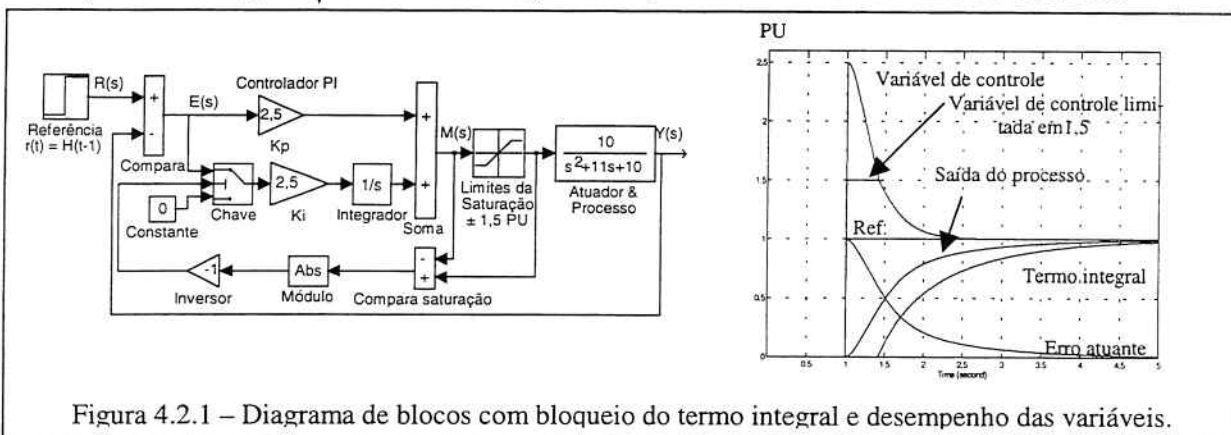


Figura 4.2.1 – Diagrama de blocos com bloqueio do termo integral e desempenho das variáveis.

Observamos que, desde a aplicação do degrau de referência em $t = 1\text{ s}$ até $t \approx 1,4\text{ s}$, ocorre saturação, e o termo integral fica nulo, bloqueado. Do instante $t \approx 1,4\text{ s}$ em diante o termo integral está liberado e cresce até 1. Observando o gráfico da saída do sistema, vemos que o “windup” e o sobre-sinal foram eliminados.

4.3 – Técnica de bloqueio do termo integral (em nível ajustavel)

O método anterior pode ser flexibilizado, comparando a variável de controle não limitada com um valor limite ajustavel V_{limite} , em vez de considerar o limite de saturação.

A aplicação desta técnica ao nosso modelo corresponde ao diagrama de blocos da Figura 4.3.1 e com $V_{\text{limite}} = 2,2$ (melhor ajuste). A simulação desta técnica resultou nas curvas de desempenho da Figura 4.3.2. O valor $V_{\text{limite}} = 2,2$ foi obtido comparando-se as simulações de outros valores de ajuste. Apresentou o menor tempo de acomodação e sobre-sinal nulo. Entretanto, quando o degrau aplicado na referência possui amplitude 1,4 PU o melhor ajuste de V_{limite} passa a ser 2,0. Não apresentamos aqui estas simulações.

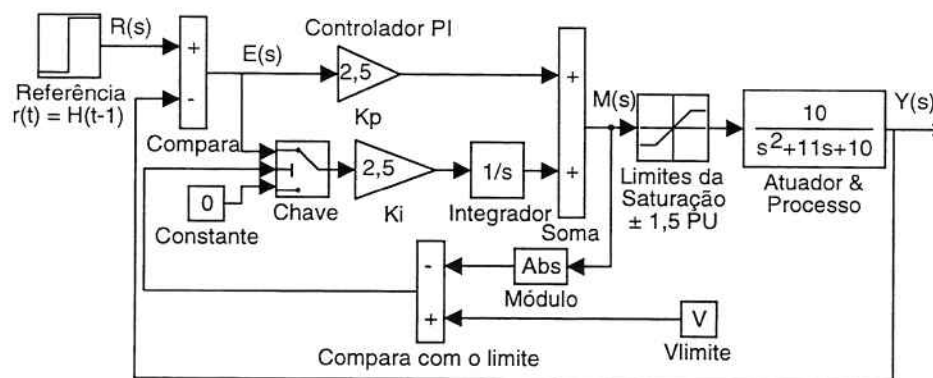


Figura 4.3.1 – Diagrama de blocos com limite do termo integral, sob condição ajustavel V_{limite} .

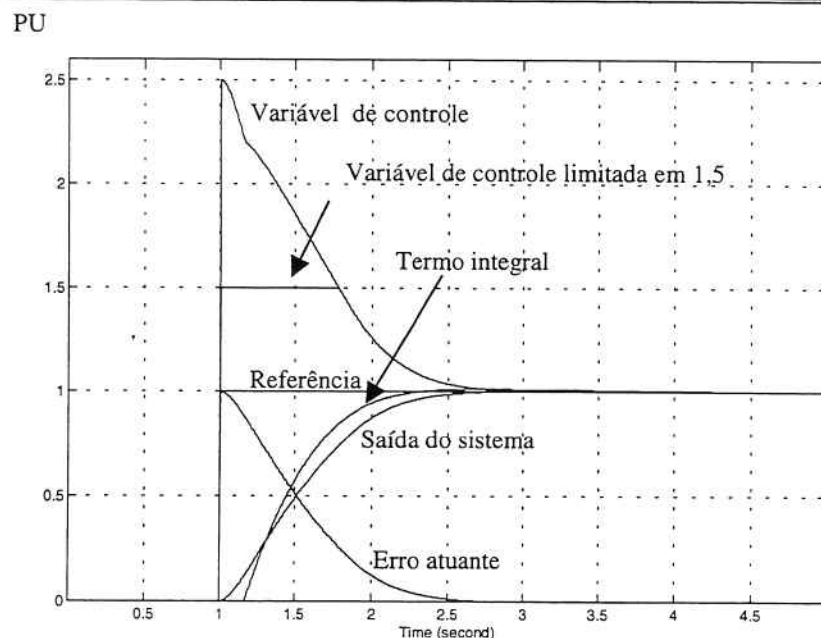


Figura 4.3.2 – Variáveis do sistema, com bloqueio do termo integral em $V_{\text{Limite}} = 2,2$.

4.4 – Técnica “Feedback Reset”

No livro de Smith; Corripio [6] é apresentada esta técnica. Consiste em realizar o controlador PI do sistema de malha fechada, com realimentação positiva, possuindo na malha direta a função de transferência $G(s) = 1$ e na malha de realimentação a função de transferência: $H(s) = 1/(T_I's + 1)$, resultando a função de transferência de malha fechada:

$$\frac{G(s)}{1 - G(s)H(s)} = \frac{1}{1 - 1/(T_I's + 1)} = \frac{T_I's + 1}{T_I's} = 1 + \frac{1}{T_I's}$$

Acrescentando um bloco com ganho proporcional em série, temos a realização do algoritmo ISA do controlador PI [3], conforme a equação:

$$K_P \frac{G(s)}{1 - G(s)H(s)} = K_P \left(1 + \frac{1}{T_I's} \right)$$

Entretanto, considerando $G(s) = 1$, sujeito a limites máximo e mínimo, ocorrerá limitação do termo integral, no mesmo limite da variável manipulada $M(s)$. A variável manipulada crescerá exponencialmente para este limite, com constante de tempo T_I' [6]. Pelo algoritmo ISA resultam os parâmetros do controlador: $K_P = 2,5$ e $T_I' = 1$. Com a aplicação desta técnica ao exemplo temos o diagrama da Figura 4.4.1, e as curvas das variáveis na Figura 4.4.2.

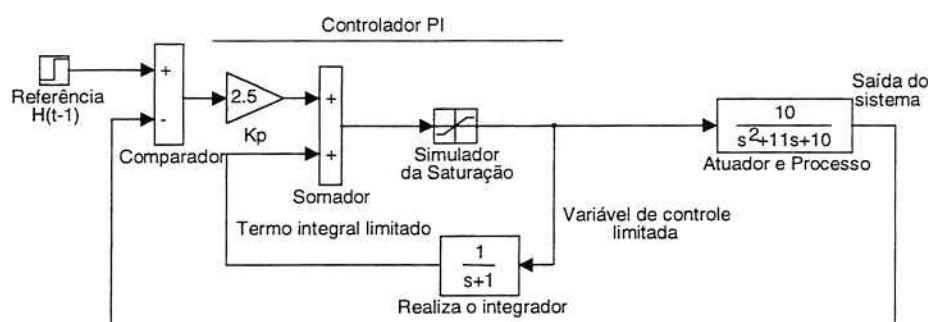


Figura 4.4.1 – Diagrama de blocos com “Feedback Reset”

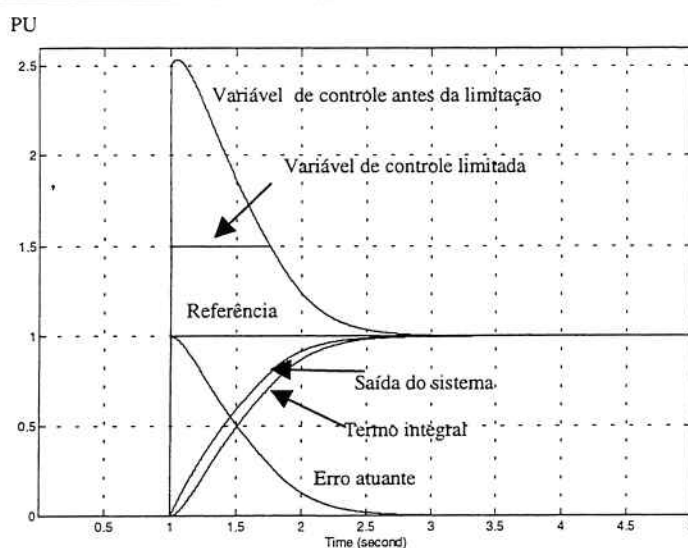


Figura 4.4.2 – Variáveis do sistema com “Feedback Reset”

4.5 – Técnica de Ceifamento do Integrador Analógico

Esta foi uma das primeiras técnicas a ser utilizada nos sistemas analógicos e consiste em limitar a variável de controle. Uma maneira de implementar esta limitação consiste em colocar dois diodos zener, em ligação anti-série, entre a saída do amplificador e o ponto de terra virtual, como mostrado na Figura 4.5.1. Existem circuitos mais sofisticados com o valor limite ajustável.

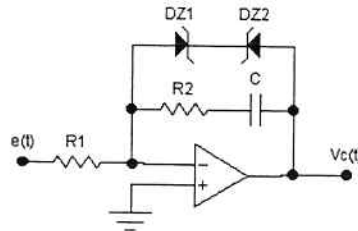


Figura 4.5.1 – Filtro PI com limitações, por diodos zener.

No exemplo, limitamos a saída do controlador PI em $\pm 1,5$ PU, que corresponde a saturação do atuador. O nível de saturação limitará o termo integral. Sem saturação temos:

$$V_c(t) = \frac{R_2}{R_1} e(t) + \frac{1}{R_1 C} \int_{-\infty}^t e(\tau) d\tau$$

Onde: $K_P = R_2 / R_1$ e $K_I = 1 / R_1 C$

Com saturação no valor positivo máximo temos: $V_{Zener} = V_{R2}(t) + V_{Cap}(t)$

Onde V_{Cap} é a tensão sobre o capacitor.

$$V_{R2}(t) = + V_{Zener}(t) - V_{Cap}(t)$$

A corrente de carga do capacitor será:

$$I_2(t) = (V_{Zener} - V_{cap}(t)) / R_2$$

A equação da tensão do capacitor será a abaixo, enquanto não atingir V_{Zener} .

$$V_{Cap}(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t I_2(\tau) d\tau$$

Após a tensão do capacitor atingir V_{Zener} , ficará neste valor, enquanto saturar.

As curvas de desempenho com a técnica de ceifamento do integrador analógico, no nível da saturação foram iguais às obtidas com a técnica “Feedback Reset”, da Figura 4.4.2.

4.6 – Fator de ponderação da referência

Aström; Hägglund [1] e Smith; Corripio [6] comentam que o uso do termo proporcional $P(t) = K_P (b R(t) - Y(t))$, em vez de $P(t) = K_P (R(t) - Y(t))$, onde “b” faz a ponderação da influência do sinal de referência no termo proporcional, permite diminuir o “windup”.

A inclusão do fator de ponderação “b”, no exemplo, corresponde à Figura 4.6.1.

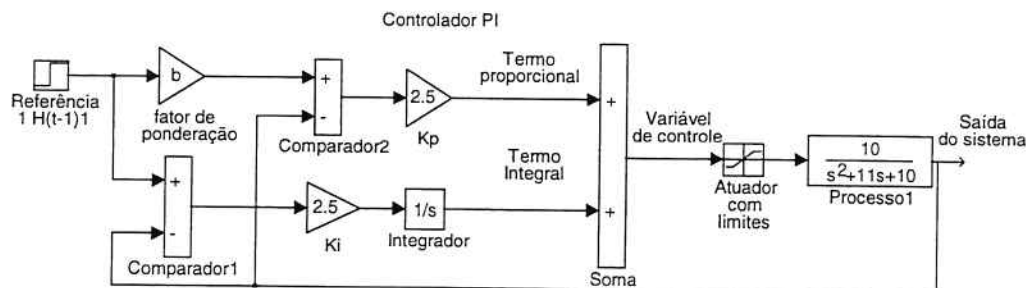


Figura 4.6.1 – Diagrama de blocos com ponderação da referência, no termo proporcional.

Na Figura 4.6.2 à esquerda, apresentamos o comportamento dos termos proporcional e integral com $b = 0,5$. Observamos que, com este fator, o termo proporcional se torna negativo e o termo integral acumula um valor positivo, bem maior do que atingiria sem o fator $b = 0,5$. À direita comparamos o desempenho da saída do sistema para vários valores do fator b . O melhor ajuste (menor tempo de acomodação e sem sobre-sinal) ocorre com $b = 0,83$.

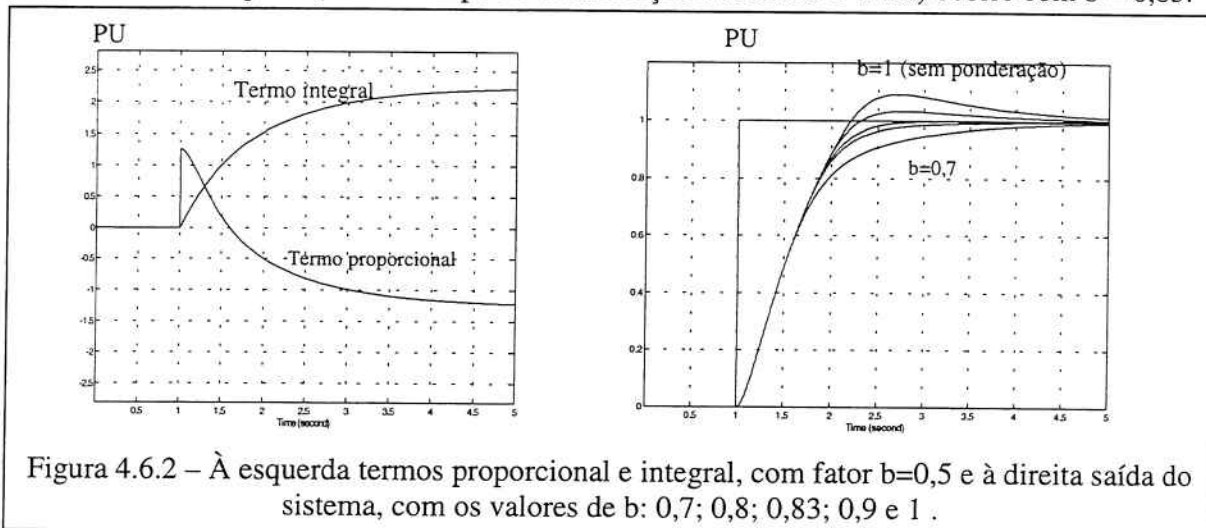


Figura 4.6.2 – À esquerda termos proporcional e integral, com fator $b=0,5$ e à direita saída do sistema, com os valores de b : 0,7; 0,8; 0,83; 0,9 e 1.

4.7 – Técnica do erro máximo permitido

Fertik; Ross [2] propuseram um algoritmo para evitar que a variável manipulada ultrapasse o limite de saturação, o qual denominaram “back-calculation”, conforme segue.

O atuador tem um limite superior (V_{Max}) e um limite inferior (V_{Min}), cujos correspondentes limites da variável manipulada são M_{Max} e M_{Min} .

A variável manipulada, no processamento digital, pode ser calculada pela soma do termo proporcional $P(n)$ ao termo da integração retangular $I(n)$, em cada amostragem “n”:

$$M(n) = P(n) + I(n)$$

E o seu incremento da amostra “n” para a amostra “n+1” será representado por:

$$\Delta M(n) = \Delta P(n) + \Delta I(n), \text{ sendo:}$$

$$\Delta P(n) = K_P [E(n+1) - E(n)]$$

$$\Delta I(n) = T_S \cdot K_I \cdot E(n+1)$$

$$\Delta M_{max}(n) = M_{max} - M(n) = M_{max} - [P(n) + I(n)]$$

$$\Delta M_{min}(n) = M_{min} - M(n) = M_{min} - [P(n) + I(n)]$$

Que representam o máximo incremento positivo, e o máximo incremento negativo permitidos para variável de controle, no próximo intervalo de amostragem.

Para simplificar, só abordamos o “windup” causado pelo limite superior.

$$\Delta M_{max}(n) = \Delta P(n) + \Delta I(n)$$

$$\Delta M_{max}(n) = K_P [E(n+1) - E(n)] + T_S \cdot K_I \cdot E(n+1)$$

Isolando $E(n+1)$, o máximo valor permitido para a próxima amostragem do erro atuante, $E(n+1)_{max}$, resulta: $E(n+1)_{max} = [K_P \cdot E(n) + \Delta M_{max}(n)] / (K_P + T_S \cdot K_I)$

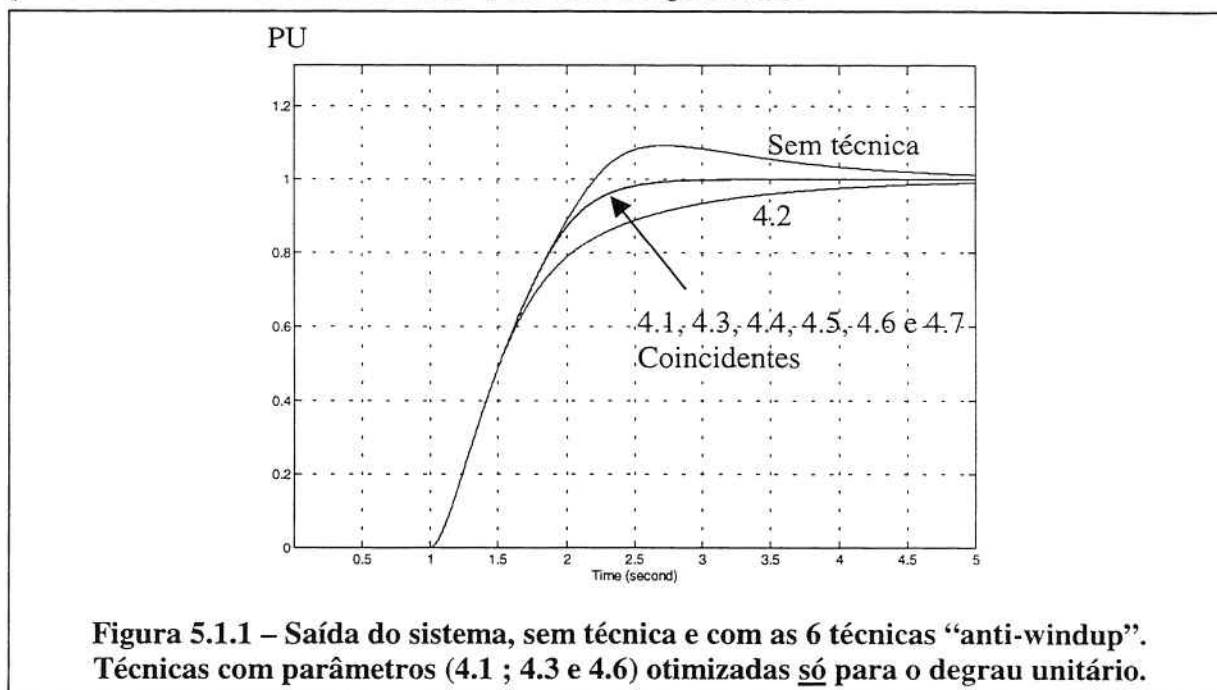
O valor de amostragem $E(n+1)$ será comparado com $E(n+1)_{max}$ e a entrada efetiva do controlador PI será $E(n+1)$, se $E(n+1) < E(n+1)_{max}$, caso contrário, será $E(n+1)_{max}$.

A simulação de nosso modelo, com a inclusão deste algoritmo, para tempo de amostragem $T_S > 0,01$ s, resultou em curvas de desempenho idênticas as da Figura 4.4.2.

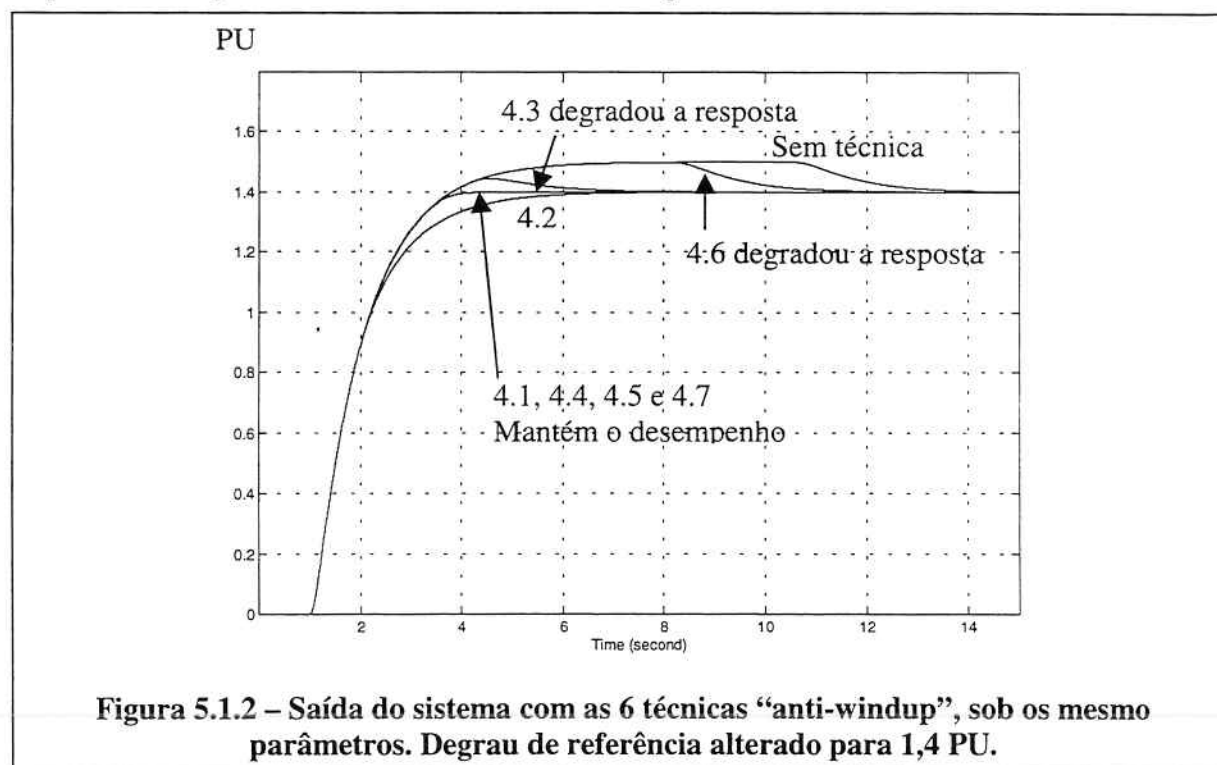
5 – ANÁLISE COMPARATIVA

5.1 – Comparação do resultado das diversas técnicas, no modelo adotado

Sobrepondo-se no mesmo gráfico as curvas de resposta ao degrau unitário geradas por todas as técnicas citadas no item 4, obtemos a Figura 5.1.1.



Entretanto, se aplicarmos um degrau de 1.4 PU no sinal de referência (mantendo-se constantes todos os ajustes restantes) comparamos a suscetibilidade das diferentes técnicas à amplitude do degrau. Tal resultado é mostrado na Figura 5.1.2.



A numeração de cada curva corresponde à técnica “anti-windup” empregada corresponde as técnicas: 4.1 - Realimentação do integrador (com $K_T = 1$); 4.2 - Bloqueio do termo integral, limite pela saturação; 4.3 - Bloqueio do termo integral, limite ajustavel (com $V_{limite} = 2,16$); 4.4 - “Feedback Reset”; 4.5 - Ceifamento do Integrador Analógico; 4.6 - Ponderação da referência. (com $b = 0,83$); 4.7 - Erro Máximo Permitido.

Observamos que o parâmetro $b = 0,83$, da técnica 4.6, era o valor ideal para resposta ao degrau unitário, mas é inadequado para resposta ao degrau de 1,4 PU.

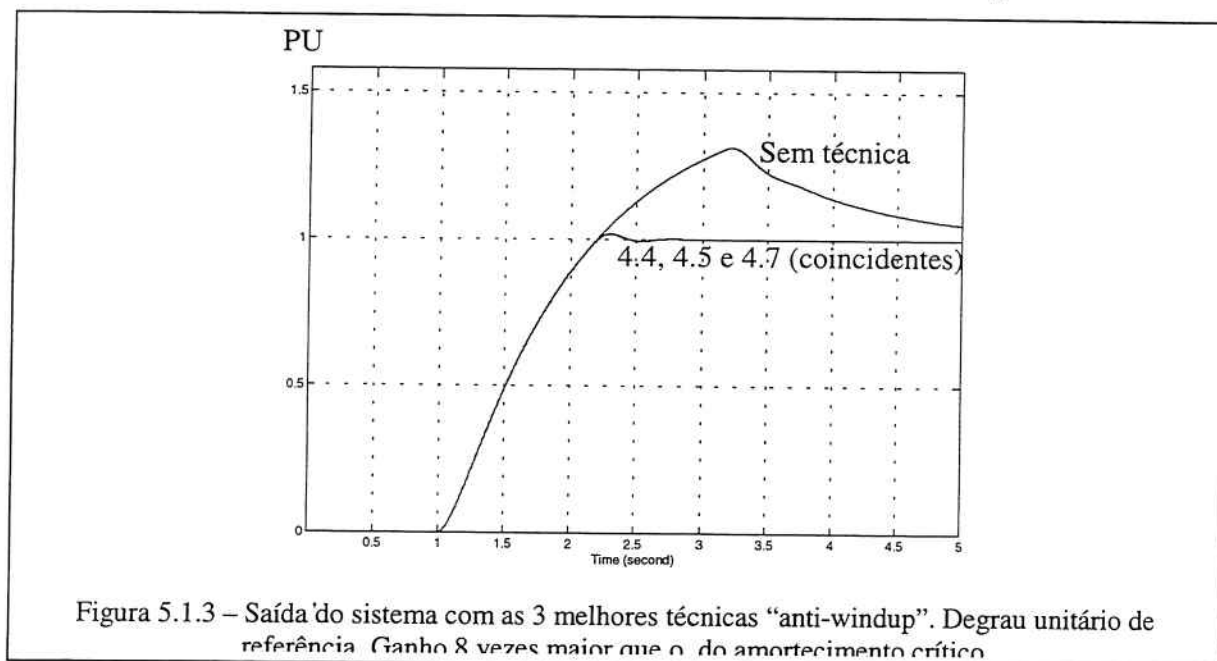
O parâmetro $V_{Limite} = 2,16$, da técnica 4.3 era o valor ideal para resposta ao degrau unitário, mas é inadequado para resposta ao degrau de 1,4 PU.

As técnicas 4.3 e 4.6 são piores, pois seu ajuste depende do degrau de referência.

A técnica 4.1 consegue desempenho semelhante às melhores, porém requer o trabalho de ajuste do parâmetro K_T , por tentativa, o que é uma desvantagem.

As técnicas “Feedback Reset” (4.4), Ceifamento do Integrador Analógico (4.5) e Erro Máximo Permitido (4.7) impõem que o termo integral cresça com velocidade proporcional ao quanto falta para a saída do controlador atingir o limite de saturação. Produzem sempre resultados coincidentes e são as melhores, conforme a avaliação de nosso modelo.

Se aumentarmos o ganho do controlador por um fator 8, para analisar o desempenho no caso sub-amortecido, vemos que estas três melhores técnicas eliminam o “windup” e tem igual desempenho do sinal de saída, conforme as curvas da Figura 5.1.3.



O mesmo ocorre, acrescentando um tempo morto de 0,1 s ao modelo inicial, ou supondo cancelamento imperfeito, por um erro de 20% no “zero” do controlador PI.

6 – CONCLUSÃO

A saturação nos sistemas a realimentação, com controlador PI, resulta numa degradação dos critérios de qualidade do transitório, comparativamente ao modelo linear. A utilização de alguma técnica “anti-windup” é necessária para evitar a referida degradação dos critérios de qualidade do transitório.

Dentre as técnicas “anti-windup” aplicadas a controladores PI analógicos as melhores foram: “Feedback Reset” (4.4) e Ceifamento do integrador analógico (4.5). Para o caso de controladores PI discretos as melhores técnicas foram: “Feedback Reset” (4.4) e Erro Máximo permitido (“Back Calculation”). (4.7)

O transitório de resposta ao degrau destas técnicas é idêntico, independentemente da implementação analógica ou discreta (assumindo-se tempos de amostragem adequados).

Referências bibliográficas

- [1] – Åström, K. J. & Hägglund, Tore, “Automatic Tuning of PID Controllers”
Instrument Society of America (ISA) 1988
- [2] – Fertik, H. A. & Ross, C. E., “Direct Digital Control Algorithm with Anti-Windup Feature”
ISA Transactions – Vol. 6 n° 4.
- [3] – Gerry, J. P. , “A Comparison of PID Control Algorithms”
Control Engineering, pp 102-105, March 1987
- [4] – Kothare, M. V. & Campo, P. J. & Morari, M & Nett, C. N.
“A Unified Framework for the Study of Anti-windup Designs”
Automatica, Vol. 30 n° 12, pp 1869-1883, 1994
- [5] – Peng, Y. & Vrancic, D. & Hanus, R.
“Anti-Windup, Bumpless, and Conditioned Transfer Techniques for PID Controllers”
IEEE Control Systems Magazine, vol. 16 n° 4, Aug. 1996, pp 48-57
- [6] – Smith, C. A. & Corripio, A. B., “Principles and Practice of Automatic Process Control”
John Wiley & Sons, Inc. 1997 (2ª ed.)
- [7] – The MathWorks, Inc., MATLAB for Windows, Version 4.2b – May 26, 1994
- [8] – Bohn, C. & Atherton, D.P.,
“A SIMULINK package for comparative studies of PID Anti-windup Strategies”
0-7803-1800-5 / 94 – IEEE 1994
- [9] – Rundqwist, L, “Anti-Reset Windup for PID Controllers”
PhD Thesis TRFT-1033, Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology
Lund, Sweden.

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PEA/9301 - Alguns Aspectos do Problema de Planejamento de Sistemas de Transmissão sob Incertezas - CARLOS MARCIO VIEIRA TAHAN, ERNESTO JOÃO ROBBA
- BT/PEA/9302 - Vibrações em Motores Elétricos Provocadas por Forças Magnéticas - ORLANDO SILVIO LOBOSCO, HENRIQUE PRADO ALVAREZ
- BT/PEA/9303 - Corrente Contínua em Alta Tensão: Aplicação de Equipamentos Elétricos e Modelos para Análises de Confiabilidade - LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9504 - Automação e Informatização Aplicadas a Controle e Supervisão de Processos de Pesagem - EVALDO ARAGÃO FARQUI, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/9505 - Modernização e Reabilitação de Usinas Hidrelétricas - DJALMA CASELATO, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9506 - Estudo do Campo Elétrico Provocado por Linhas de Transmissão em Corrente Alternada - CELSO PEREIRA BRAZ, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9507 - Aspectos Sobre Processos Automatizados de Pesagem Rodoviária: Uma Proposta de Modernização de Postos em Operação - SERGIO LUIZ PEREIRA, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9508 - Usinas Hidrelétricas em Rotação Ajustável: Novas Premissas para o Planejamento Energético - MARCO ANTONIO SAIDEL, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9509 - Desenvolvimento de um Sistema de Automação de Subestações pela integração de Módulos de Software e Hardware Existentes no Mercado Brasileiro - L. C. MAGRINI, J. A. JARDINI, S. COPELIOVITCH, N. KABA FILHO
- BT/PEA/9510 - Proposta de um Modelo para Estudos de Aplicação de Compensadores Estáticos em Sistemas de Potência - JOSÉ TOSHIYUKI HONDA, LUIS CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/9511 - Metodologia e Testes para Redução das Distâncias Elétricas entre Fases de Barramentos de Subestações de 138kV Abridadas, ANDRÉ NUNES SOUZA, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/9512 - Avaliação da Severidade da Poluição para o Dimensionamento da Isolação das Redes Elétricas - ARNALDO G. KANASHIRO, GERALDO F. BURANI
- BT/PEA/9513 - Processos Auto-Adaptativos para Cálculo de Campos Eletromagnéticos pelo Método dos Elementos Finitos - LUIZ LEBENSZTAJN, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9514 - Investigação Experimental sobre os Arcos Sustentados em Sistemas Elétricos de Baixa Tensão - FRANCISCO H. KAMEYAMA, GERALDO F. BURANI
- BT/PEA/9515 - Fast Voltage Compensation: A Mean to Improve the Quality of Energy Supply - H. ARANGO, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9516 - Modelo Avançado para Planejamento de Sistemas Energéticos Integrados Usando Recursos Renováveis - LUIZ ANTONIO ROSSI, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9601 - Metodologias para Planejamento de Sistemas de Distribuição: Estado-da-Arte e Aplicações - PAULO ROBERTO NJAIM, CARLOS MARCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/9602 - Integração de Relés Digitais em Sistemas de Automação de Subestação - JERÔNIMO CAMILO SOARES JR., JOSÉ A. JARDINI, LUIZ C. MAGRINI
- BT/PEA/9603 - Paradigma de Planejamento sob Incertezas - Aplicação ao Planejamento dos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica - ALBERTO BIANCHI JUNIOR, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9604 - Um Sistema de Controle de Velocidade para Motor de Indução Trifásico - CELSO KAZUMI NAKAHARADA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9605 - Controle Vetorial de Motores de Indução, Independente das Alterações de Parâmetros da Máquina - NERY DE OLIVEIRA JÚNIOR, WALDIR PÓ
- BT/PEA/9606 - Compactação de Subestações de 145 kV Através da Redução das Distâncias entre Fases - GERVASIO LUIZ DE CASTRO NETO, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/9607 - Curvas de Carga de Consumidores Industriais - Agregação com Outras Cargas - RONALDO PEDRO CASOLARI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9608 - Utilização de Curvas de Carga de Consumidores Residenciais Medidas para Determinação de Diversidade de Carga, e Carregamento de Transformadores de Distribuição - EDUARDO LUIZ FERRARI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9609 - Comportamento Elétrico de Cabos Cobertos e Pré-Reunidos pelo Método dos Elementos Finitos - JOÃO JOSÉ DOS SANTOS OLIVEIRA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9701 - Repotenciação de Hidrogeradores: Uma Proposta de Metodologia de Análise e Implantação - FÁBIO SALOMÃO FERNANDES SÁ, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.

- BT/PEA/9702 - Desenvolvimento de um Sistema de Automação para um Sistema de Automação para um Centro de Operação da Distribuição - PAULO SÉRGIO MIGUEL SURUR, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9703 - Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição Utilizando Programação Matemática Probabilística - MARIÂNGELA DE CARVALHO BOVOLATO, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9704 - Técnicas de Inteligência Artificial Aplicadas ao Problema de Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição de Energia Elétrica - SALETE MARIA FRÖES, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9705 - Aproveitamento Funcional de Sistemas de Controle e Proteção Digitais em Subestações de Distribuição - JOSÉ LUIZ PEREIRA BRITTES, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9706 - Avaliação de Algoritmo para Proteção Diferencial de Transformadores - LUÍS SÉRGIO PIOVESAN, EDUARDO CÉSAR SENER
- BT/PEA/9707 - Sistema de Proteção para Faltas de Alta Impedância - CAIUS VINICIUS SAMPAIO MALAGODI, EDUARDO CÉSAR SENER
- BT/PEA/9708 - Um Ambiente para Planejamento da Operação de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica - KLEBER HASHIMOTO, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9709 - Análise do Custo - Benefício da Instalação de Equipamentos de Proteção em Redes Aéreas de Distribuição - ANTONIO CLAUDINEI SIMÕES, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9710 - Planejamento Integrado de Recursos Energéticos - PIR - para o Setor Elétrico - MIGUEL EDGAR MORALES UDAETA, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9711 - Análise de Defeitos no Motor de Indução Trifásico para Predição de Falhas Incipientes - JOSÉ ANTONIO URCIA MISARI, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9712 - Gerenciamento de Transformadores de Distribuição com Análise na Perda de Vida - CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN, VLADIMIR DUARTE BELCHIOR
- BT/PEA/9713 - Uma Nova Metodologia para a Avaliação de Sistemas de Aterramento Metro-Ferrovários - JOSÉ AUGUSTO PEREIRA DA SILVA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9714 - Um Exemplo de Decomposição de Fluxos em Transformadores - NICOLAU IVANOV, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9715 - Custos de Transporte de Energia Elétrica - Análise de Metodologias - DÁRIO TAKAHATA, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/9716 - Bancada de Ensaios para a Avaliar o Comportamento de Acionamentos Controlados por Inversores PWM - JOSÉ ANTONIO CORTEZ, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9717 - Integração de Técnicas de Diagnóstico de Falhas em Motores de Indução Trifásicos ao Sistema de Gerenciamento da Manutenção Industrial - JOSÉ A. URCIA MISARI, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9801 - Análise de Confiabilidade para Gerenciamento Operacional de Sistemas Automatizados de Pesagem Rodo-Ferrovária - RUBENS LOPES ROLIM, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9802 - Projeto de um Ondulador Híbrido e Estudo de Onduladores Derivados de Solenóide, para Utilização em Laser a Elétrons Livres - FRANCISCO SIRCILLI NETO
- BT/PEA/9803 - Configuração de Redes de Distribuição de Energia Elétrica com Múltiplos Objetivos e Incertezas através de Procedimentos Heurísticos - CARLOS C. BARIONI DE OLIVEIRA, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9804 - Conceituação e Aplicação de Metodologia de Gerenciamento pelo Lado da Demanda em uma Empresa Distribuidora de Energia Elétrica - FERNANDO MONTEIRO DE FIGUEIREDO, JOSÉ ANTÔNIO JARDINI
- BT/PEA/9805 - Acoplamento Circuito Elétrico - Método dos Elementos Finitos em Regime Transitório Utilizando a Metodologia de Dommel - NANCY MIEKO ABE, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9806 - Modelo de Arco Elétrico Aplicado ao Estudo da Interrupção da Corrente em Disjuntores de Média Tensão - LUCILIUS CARLOS PINTO, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9807 - Proteção para Falta de Alta Impedância Utilizando o Sistema de Rádio Troncalizado - MARCO ANTONIO BRITO, EDUARDO CESAR SENER
- BT/PEA/9808 - Contribuição ao Estudo e Projeto dos Motores Síncronos de Relutância - IVAN EDUARDO CHABU, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9809 - Cabos Cobertos: Metodologia para a Determinação da Espessura da Cobertura - ANTONIO PAULO DA CUNHA, JOSÉ ANTÔNIO JARDINI
- BT/PEA/9810 - Eletrificação Rural - Avaliações em São Paulo - MARCELO APARECIDO PELEGRINI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/9811 - Política de Eletrificação Rural em São Paulo - LUIZ HENRIQUE ALVES PAZZINI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/9812 - Uso Racional e Eficiente de Energia Elétrica: Metodologia para a Determinação dos Potenciais de Conservação dos Usos Finais em Instalações de Ensino e Similares - ANDRÉ LUIZ MONTEIRO ALVAREZ, MARCO ANTONIO SAIDEL
- BT/PEA/9813 - Diretrizes para a Regulação da Distribuição de Energia Elétrica - JAMES S. S. CORREIA, LINEU BELICO DOS REIS

- BT/PEA/9814 - Distribuição da Tensão de Impulso em Enrolamentos de Transformadores de Distribuição - PEDRO LUÍS SANTUCCI DE MENDONÇA, AUGUSTO FERREIRA BRANDÃO JÚNIOR
- BT/PEA/9815 - Estudo Comparativo entre os Diversos Métodos de Determinação do Rendimento de Motores de Indução - FRANCISCO ANTONIO MARINO SALOTTI, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/9816 - A Nodal Analysis Approach Applied to Electric Circuits Coupling in Magnetodynamic 2D FEM - MAURÍCIO CALDORA COSTA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9817 - Informatização e Automação dos Órgãos Gestores de Mão de Obra - EDUARDO MARIO DIAS, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9818 - Frequência de Ocorrência de Sobreensões Originárias de Descargas Atmosféricas em Linhas de Distribuição - NELSON MASSAKAZU MATSUO, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9819 - Um Método de Imposição de Pólos no Estudo da Estabilidade de Redes Elétricas a Pequenas Perturbações - PERCIVAL BUENO DE ARAUJO, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9820 - Inter-Relação do Planejamento Agregado de Investimentos com o Planejamento Localizado de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica - JUCEMAR SALVADOR SIMÕES, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9821 - A Produção de Energia Através das Células de Combustível - JOSÉ LUIZ PIMENTA PINHEIRO, LINUE BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9822 - Automação de Processos - Revisão e Tendências - SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/9823 - Metodologia para Seleção e Gerenciamento de Transformadores e Distribuição, Aplicando Técnicas de Redes Neutrais Artificiais - SE UN AHN, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9901 - Contribuição ao Modelamento e Simulação de Motores em Ímãs Permanentes e Comutação Eletrônica de Alta Rotação - WANDERLEI MARINHO DA SILVA, CLOVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/9902 - Estudos de Sistemas de Potência e Automação: Plantas Industriais de Grande Porte - MAURÍCIO G. M. JARDINI, JOSÉ A. JARDINI
- BT/PEA/9903 - Synchronous Machines Parameters Identification Using Load Rejection Test Data - E. C. BORTONI, J. A. JARDINI
- BT/PEA/9904 - Identificação de Locais e Opções Tecnológicas para Implantação de Termoelétricas no Sistema Elétrico Brasileiro: Contribuição ao Estado da Arte e Aplicação ao Caso do Gás Natural - ELIANA APARECIDA FARIA AMARAL FADIGAS, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9905 - Sistema de Manutenção Preventiva de Subestações: Uma Abordagem Semântica para o Monitoramento Integrado - ELIAS ROMA NETO, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9906 - Previsão das Perdas Magnéticas na Presença de Harmônicos - MARCELO S. LANCAROTTE, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9907 - Comportamento do Aterramento de Sistemas e Equipamentos de Distribuição sob Impulso - CLEVERSON LUIZ DA SILVA PINTO, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9908 - Modelo de Sistema de Supervisão e Controle Operacional de Terminais de Contêineres - LEVI SALVI, EDUARDO MARIO DIAS
- BT/PEA/9909 - Medição de Altas Correntes em Frequência Industrial: Instrumentação, Dispositivos de Medição e Calibrações - HÉLIO EIJI SUETA, GERALDO FRANCISCO BURANI
- BT/PEA/9910 - Conversores Auto-Comutados Aplicados em Derivações de Sistemas de Transmissão de Corrente Contínua e Alta Tensão - WILSON KOMATSU, WALTER KAISER
- BT/PEA/9911 - Análise de Desempenho de Sistemas de Aterramento em Alta Frequência pelo Método dos Elementos Finitos - ANGELO PASSARO, JOSÉ ROBERTO CARDOSO, VIVIANE CRISTINE SILVA
- BT/PEA/9912 - Simulação de Motores "Shaded Pole": Uma Nova Abordagem Analítico-Numérica - PASCHOAL SPINA NETO, SÍLVIO IKUO NABETA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9913 - Estimadores de Estado para Sistemas de Potência: Análise do Estado da Arte - CLEBER ROBERTO GUIRELLI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9914 - Análise sobre o Comportamento de Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas Utilizando o Método dos Elementos Finitos - SEBASTIÃO C. GUIMARÃES JR., LUCIANO MARTINS NETO, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9915 - Automatização do Atendimento a Reclamações de Interrupção de Energia Elétrica - H. K. Kiyohara, L. C. Magrini, E. P. PARENTE, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9916 - Controle Digital de Tensão e Reativos - PAULA S. D. KAYANO, LUIZ CARLOS MAGRINI, LINEU BELICO DOS REIS, ANTONIO JOSÉ GOMES CARMO, ELIAS DE SOUZA NETO
- BT/PEA/9917 - Localizadores Digitais de Falhas em Linhas de Transmissão - CARLOS EDUARDO DE MORAIS PEREIRA, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9918 - Religamento Monopolar em Linhas de Transmissão - Propostas de Uma Ferramenta para Investigações Paramétricas - IVANIL POMPEU, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9919 - Viabilidade Técnica de Abertura Monopolar Permanente em Linhas de Transmissão Extra Alta Tensão - FABIANA AP. DE TOLEDO SILVA, JOSÉ ANTONIO JARDINI

- BT/PEA/9920 – Avaliação do U-Net em Custers com Rede My com Rede Myrinet – PAULO A. GEROMEL, SERGIO T. KOFUJI
- BT/PEA/9921 – SAG – Sistema de Apoio Gerencial via Internet – ADRIANO GALINDO LEAL, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9922 – Desequilíbrio de Tensão em Redes Secundárias de Distribuição – PAULO VINÍCIUS SANTOS VALOIS, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/9923 – Sistema Não Lineares Controlados pela Lógica Difusa: Uma Aplicação em Acionamentos Constituídos por Motores Assíncronos – WERNER W. PACHECO LUJAN, CÍCERO COUTO MORAES
- BT/PEA/9924 – Arborescência em Cabos Elétricos de Média e Alta Tensão – JOÃO JOSÉ ALVES DE PAULA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JÚNIOR
- BT/PEA/9925 – Estudo para Otimização de Desempenho de Plantas Industriais Automatizadas – ANTONIO ORLANDO UGULINO, SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/9926 – Simulação e Análise de Desempenho de Processos Visando a Otimização de Sistemas Integrados de Produção – CÍCERO COUTO DE MORAES, SERGIO LUIZ PEREIRA, JOSÉ ROBERTO R. DE GODOY
- BT/PEA/9927 – Automação Moderna de Processos: Análise de Necessidade, Viabilidade e Tendências Tecnológicas – SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/9928 – Modelo de Compensação Série Controlada Aplicado ao Estudo do Amortecimento de Oscilações em Sistemas de Potência – JOSÉ ROBERTO PASCON, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/9929 – Cálculo de Trajetórias de Elétrons em Estruturas Magnéticas – YASMARA CONCEIÇÃO DE POLLI, VIVIANE CRISTINE SILVA
- BT/PEA/0001 – Monitoramento de Transformadores de Potência Direcionado à Manutenção com Base nas Condições – SERGIO COSTA, AUGUSTO F. BRANDÃO JR.
- BT/PEA/0002 – Redes Neurais Artificiais Aplicadas a Estudos de Subestações de Alta Tensão Abrigadas Frente a Ensaios de Impulsos Atmosféricos – ANDRÉ NUNES DE SOUZA, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0003 – Relé Diferencial para Transformador de Potência Implementado com uma Rede MLP – RICARDO CANELOI DOS SANTOS, EDUARDO CESAR SENER
- BT/PEA/0004 – Minimização de Resíduos Sólidos Urbanos e Conservação de Energia – PAULO HÉLIO KANAYAMA, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0005 – Modelamento de Conversores CC/CC por meio da Chave PWM – LUIZ FERNANDO P. DE MELLO, WALTER KAISER
- BT/PEA/0006 – Estudo de Surtos em Redes Secundárias de Distribuição Causados por Descargas Atmosféricas Diretas na Rede Primária – WELSON BASSI, JORGE M. JANISZEWSKI
- BT/PEA/0007 – Modelagem da Magnetohidrodinâmica em 3D pelo Método de Elementos Finitos – SERGIO LUÍS LOPES VERARDI, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/0008 – Metodologia para Avaliação do Comportamento e Vida Útil de Motores Alimentados por Fontes Assimétricas de Tensão – JOSÉ LUIZ ANTUNES DE ALMEIDA, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0009 – Esquema de Aterramento Híbrido (EAH) – FRANCISCO CARLOS PARQUET BIZZARRIA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JUNIOR
- BT/PEA/0010 – Ferro-Ressnância em Redes Subterrâneas de Distribuição – REGINA LÚCIA LAMY, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/0011 – A Análise do Ciclo de Vida e os Custos Completos no Planejamento Energico – CLÁUDIO ELIAS CARVALHO, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0012 – A Agregação de Valor à Energia Elétrica através da Gestão Integrada de Recursos – ANDRÉ LUIZ VEIGA GIMENES, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0013 – Tochas a Plasma: Características Básicas para Projeto e Construção – MIGUEL BUSSOLINI, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/0014 – Um Estudo de Correntes Induzidas em Meios Maciços Ferromagnéticos – Aplicação no Projeto de Freios de Correntes Parasitas – ALVARO BATISTA DIETRICH, IVAN EDUARDO CHABU
- BT/PEA/0015 – Incorporação de Sistemas de Co-Geração aos Sistemas Elétricos de Potência: Um Roteiro para Avaliação de Viabilidade Técnico-Econômica – LUIZ DONIZETI CLEMENTINO, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0016 – Metodologia para Análise da Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo de Energia Elétrica em Baixa Tensão – ALEXANDRE ANGRISANO, RONALDO P. CASOLARI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0017 – Análise de Índices de Qualidade no Planejamento Agregado de Investimentos em Ambiente de Incertezas – CARLOS ALEXANDRE DE SOUSA PENIN, NELSON KAGAN
- BT/PEA/0018 – Controle de Descarregadores de Navios Utilizando Lógica Fuzzy – ANTONIO DAGOBERTO DO AMARAL JÚNIOR, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/0019 – The Energy Absorption Capacity of Metal Oxide Surge Arresters An Approach for Switching Surges – MANUEL LUÍS BARREIRA MARTINEZ, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR

- BT/PEA/0020 – Utilização Racional de Energia Elétrica em Instalações Elétricas Comerciais Empregando Sistemas de Automação – JOEL ROCHA PINTO, AUGUSTO FERREIRA BRANDÃO JÚNIOR
- BT/PEA/0021 – Sistema Automatizado para Aquisição de Dados de Consumo de Energia Elétrica, Água e Gás – JOSÉ WALTER PARQUET BIZARRIA, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0022 – Estudo de Ignitores de Pulsos Superpostos para Lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão – ALEXANDER FERNÁNDEZ CORREA, WALTER KAISER
- BT/PEA/0023 – Desenvolvimento de Medidor Eletrônico de Energia Elétrica de Custo Competitivo Associado a Estudos sobre Medições de Energia Elétrica – DOUGLAS ALEXANDRE DE A. GARCIA, SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/0024 – Uma Visão Educacional do Método dos Elementos Finitos Aplicado ao Eletromagnetismo – LUIZ NATAL ROSSI, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/0025 – An Application of the Finite-Element Method to Design a Switched Reluctance Motor – PEDRO P. DE PAULA, SÍLVIO I. NABETA, JOSÉ R. CARDOSO
- BT/PEA/0026 – Algoritmos de Alta Velocidade para a Proteção de distância de Linhas de Transmissão – ERVALDO GARCIA JÚNIOR, EDUARDO CÉSAR SENER
- BT/PEA/0027 – Sistema de Aquisição e Tratamento de Dados para a Monitoração da Tensão em Regime Permanente – SILVIO XAVIER DUARTE, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/0028 – Análise da Confiabilidade e Manutenibilidade de Topologias do Sistema de Telefonia Fixa – RICARDO ELIAS CAETANO, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/0029 – Aspectos Tecnológicos Referentes à Repotenciação de Usinas Termoelétricas – MÁRCIO NESTOR ZANCHETA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR
- BT/PEA/0030 – Controle de Iluminação Utilizando Dimerização por Lógica Fuzzy, Compensando a Iluminação Natural – ANDRÉ VITOR BONORA, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0031 – Identificação do Nível de Redundância das Medidas de um Sistema, para Efeito da Estimação de seus Estados – JOÃO BOSCO AUGUSTO LONDON JUNIOR, NEWTON GERALDO BRETAS
- BT/PEA/0101 – Aplicação do Controlador de Subestação a um Sistema Digital Integrado de Supervisão e Controle – RENATO CAMPANINI TEIXEIRA, AUGUSTO F. BRANDÃO JR.
- BT/PEA/0102 – Uma proposta de um Filtro Ativo de Tensão para Aplicações em Redes Elétricas – JOSÉ TOSHIYUKI HONDA, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0103 – Causas de Falhas e Critérios de Reaproveitamento de Transformadores de Distribuição de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica – MIGUEL ANGEL HERNANDEZ TORRES, MARCOS ROBERTO GOUVÊA
- BT/PEA/0104 – Um Sistema para Avaliação de Indicadores de Qualidade da Distribuição de Energia Elétrica – GERSON YUKIO SAIKI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0105 – Métodos de Análise de Sistemas de Aterramento de Linhas Metroviárias – ARMANDO DE OLIVEIRA ALVES DE SOUZA, LUIZ LEBENSZTAJN
- BT/PEA/0106 – Caracterização de Acionamentos na Indústria de Beneficiamento de Minério de Ferro – FERNANDO MARCELO CALADO DE ANDRADE, IVAN EDUARDO CHABU
- BT/PEA/0107 – Impacto da Privatização das Concessionárias de Distribuição de Energia Elétrica na Qualidade da Energia Suprida – MITSUO NITTA, ADERBAL DE AARUDA PENTEADO JÚNIOR
- BT/PEA/0108 – Estudo Comparativo de Ensaios de Chapa Única para Medidas de Perdas em Aços Elétricos – RONALDO ALVES SOARES, CARLOS SHINITI MURANAKA
- BT/PEA/0109 – Modelagem de Transformadores de Distribuição para Altas Frequências – ARNALDO G. KANASHIRO, ALEXANDRE PIANTINI, GERALDO F. BURANI
- BT/PEA/0110 – Análise e Localização de Descargas Parciais em Transformadores de Potências por Métodos Elétricos – HÉDIO TATIZAWA, GERALDO FRANCISCO BURANI
- BT/PEA/0111 – A Eletrificação Rural em São Paulo – Custos e Padrões – LUIZ FERNANDO KURAHASSI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0112 – As Escolas Rural sem Luz em São Paulo - OSWALDO TADAMI ARIMURA, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0113 – Eletrificação Rural no Novo Cenário: O Caso de São Paulo – LUIZ HENRIQUE ALVES PAZZINI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0114 – Simulação do Aterramento em Sistemas MRT – OCTÁVIO FERREIRA AFFONSO, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0115 – Otimização do Dimensionamento de Equipamentos para Automação de Terminal de Contêineres – FÁBIO LOPES CARNELOS, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0116 – Sistema de Localização de Falhas para Redes Primárias de Distribuição – GIOVANNI MANASSERO JUNIOR, EDUARDO CESAR SENER
- BT/PEA/0117 – Proteção de Distância para Linhas de Transmissão com Compensação Série – JOSÉ GERALDO BARRETO MONTEIRO DE ANDRADE, EDUARDO CESAR SENER

