



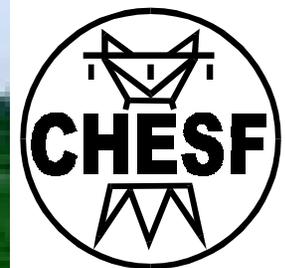
IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

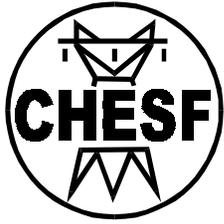
"Networking
the World"™

IEEE Seção Bahia
Capítulo Conjunto
PES/IAS/PELS
Nordeste 1

*“Estratégias de Controle para Sistemas de
Geração Eólica com Máquina de Indução”*

Apoio :





*“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração
Eólica com Máquina de Indução”*



IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

MOTIVAÇÕES PARA A PESQUISA



PERFIL BRASILEIRO



DISSEMINAÇÃO MUNDIAL



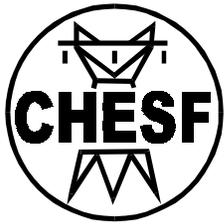
INCENTIVOS À TECNOLOGIA



APROVAÇÕES ANEEL



USO DA MÁQUINA DE INDUÇÃO

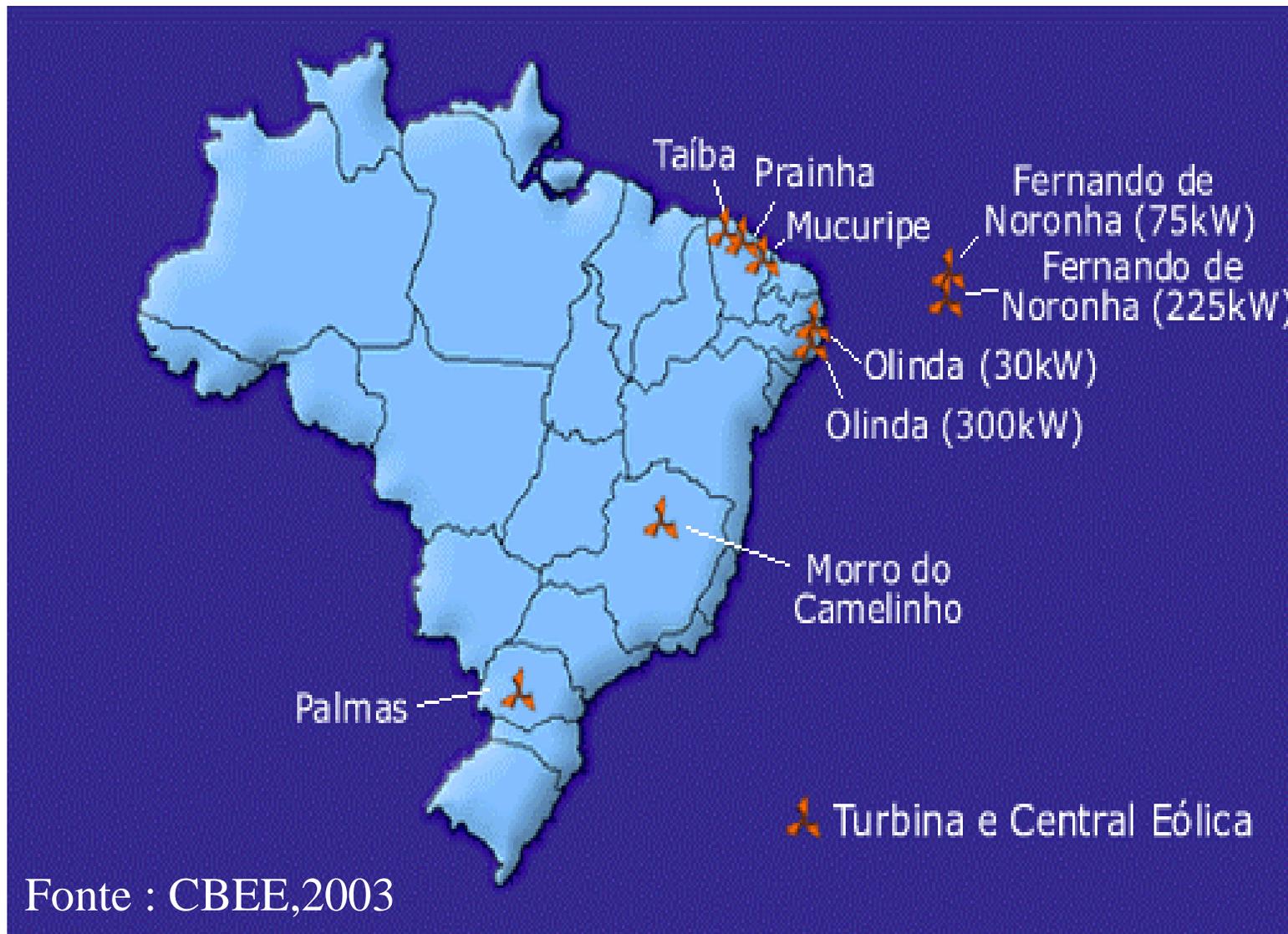


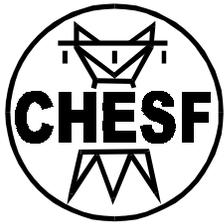
“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”



IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Eletricistas e
Eletrônicos

“Networking
the World”™



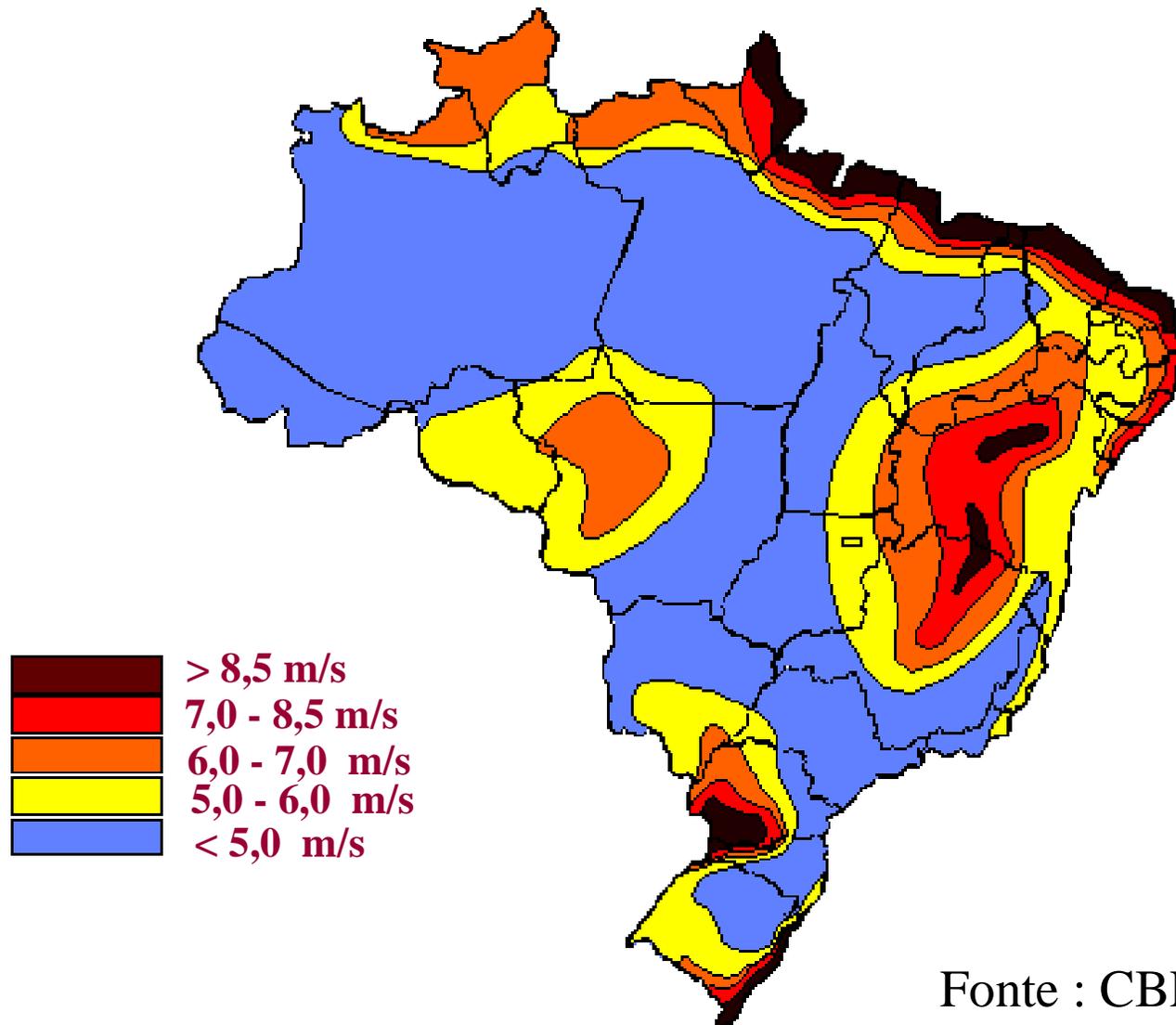


“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”



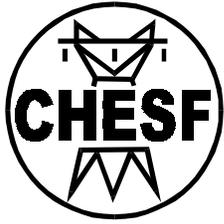
IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Eletrônicos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™



Fonte : CBEE,2003





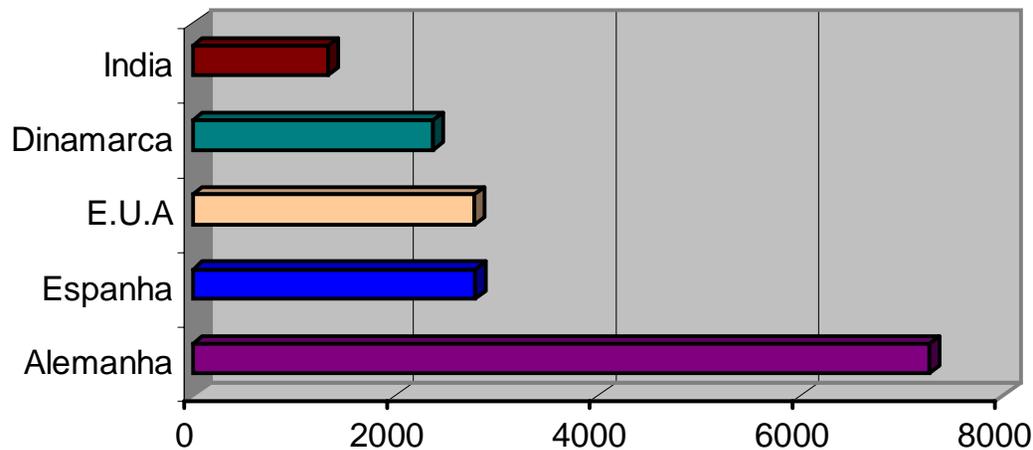
“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”



IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Eletricistas e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

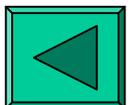
Principais países no uso de Energia Eólica

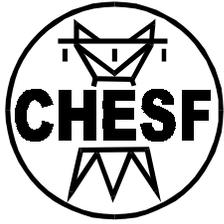


Megawatts Instalados

| País | MW. Instalado |
|-----------|---------------|
| Alemanha | 7,270.00 |
| Espanha | 2,789.00 |
| E.U.A. | 2,782.00 |
| Dinamarca | 2,374.00 |
| Índia | 1,340.00 |

Ranking dos principais países usuários de Turbinas Eólicas segundo os Megawatts instalados





*“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração
Eólica com Máquina de Indução”*

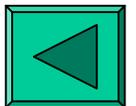


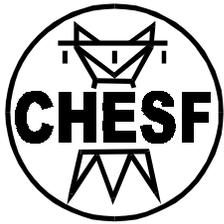
IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

Na **União Européia**, 12% de toda energia comprada pelas empresas de distribuição devem ser por lei provenientes de fontes renováveis(CBEE,2002);

O **Brasil**, com a aprovação em nov/2003, já pode contar com o Programa de Incentivo a Fontes de Energia (Proinfa), que prevê a adição de pelo menos 1,1 mil megawatts de energia eólica até 2006.





“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”

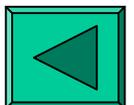


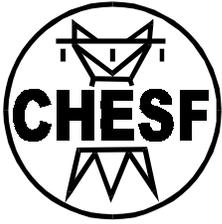
IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Eletrônicos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

| 1998 | | 1999 | | 2001 | | 2002 | | 2003 |
|--------------|----|--------------|----|--------------|----|--------------|----|--------------|
| Potência(MW) | Nº | Potência(MW) | Nº | Potência(MW) | Nº | Potência(MW) | Nº | Potência(MW) |
| 15,00 | 1 | 2,50 | 38 | 3.337,65 | 46 | 2.784,40 | 12 | 800,80 |

Quadro Resumo de Autorizações ANEEL para instalação de Turbinas Eólicas no Brasil (ANEEL, Fev/2003)



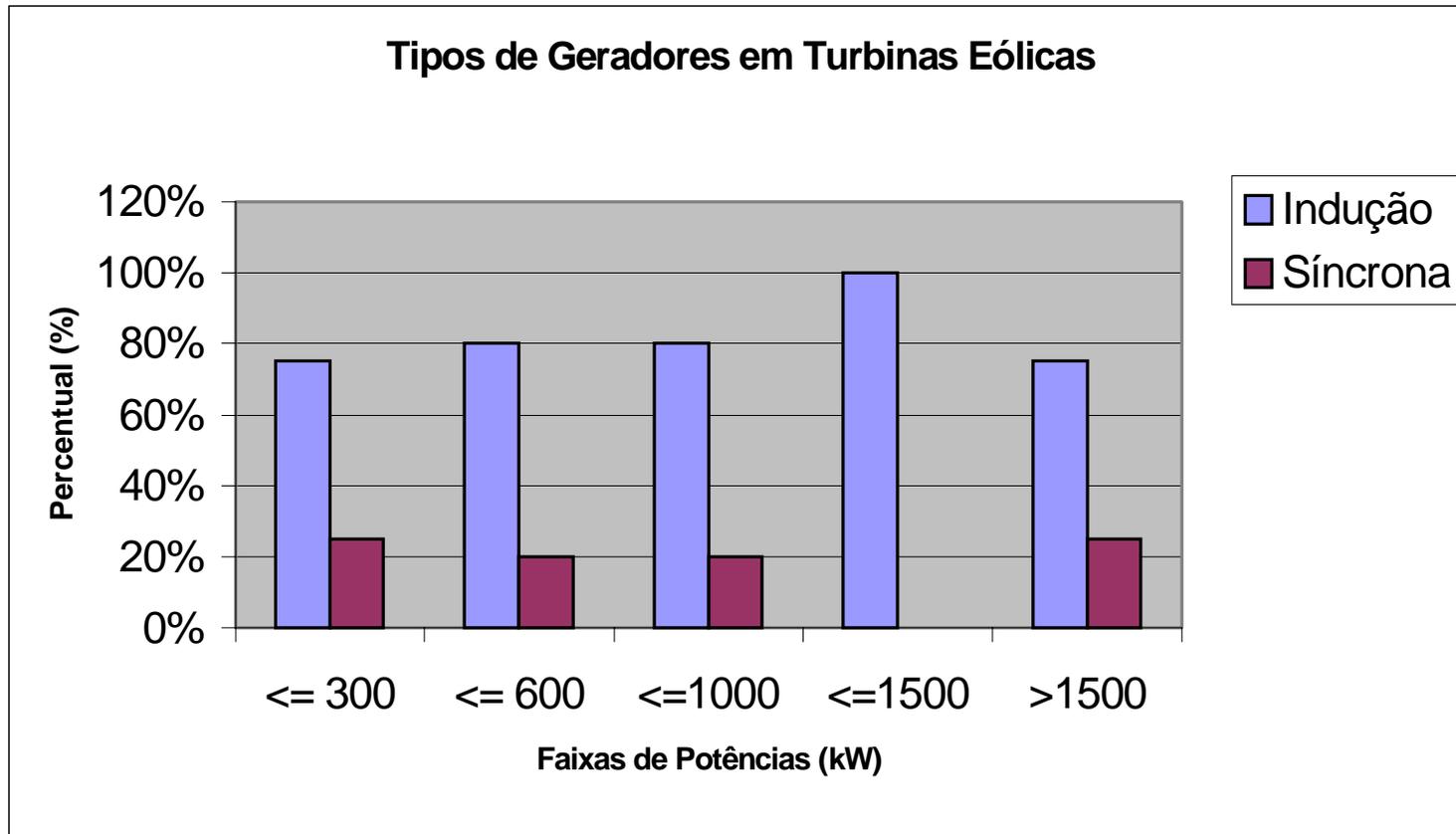


“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”

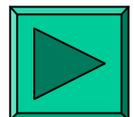


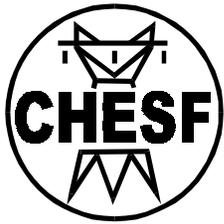
IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Eletricistas e
Eletrônicos

“Networking
the World”™



Tipos de geradores utilizados em Turbinas Eólicas em diferentes faixas de Potência





*“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração
Eólica com Máquina de Indução”*



ETAPAS DA PESQUISA

CONCEITOS GERAIS
DE TURBINAS



MODELAGEM
MATEMÁTICA DA
MÁQUINA
ASSÍNCRONA



ESCOLHA
DAS
ESTRATÉGIAS
E METAS DE
CONTROLE

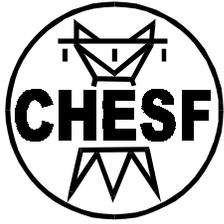
MODELAGEM
MATEMÁTICA DAS
MALHAS DE
CONTROLE,
INCLUSIVE
CONVERSORES



APLICAÇÃO A
TRÊS
TOPOLOGIAS
DISTINTAS



RESULTADOS
EXPERIMENTAIS
PARA O USO
ISOLADO



*“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração
Eólica com Máquina de Indução”*

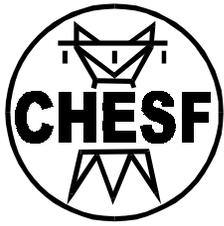


IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Eletrônicos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

OBJETIVOS E CONTRIBUIÇÕES PRETENDIDAS

- Implementação e avaliação sobre as técnicas de controle no acionamento de um gerador assíncrono acionado por turbinas eólicas;
- Desenvolvimento de algoritmo para estudo de três possibilidades de geração : gerador isolado; gerador conectado à rede elétrica, sendo a máquina de indução com rotor tipo gaiola; e gerador conectado à rede, com rotor bobinado;
- Implementação de três estratégias de controle vetorial de máquinas de indução aplicadas ao controle de potências ativa e reativa geradas, em nível de simulação;
- Realização de montagem e programação com controle digital para ensaios no gerador isolado;
- Disponibilização dos algoritmos para estudo de impacto de conexão de turbinas eólicas na rede elétrica.



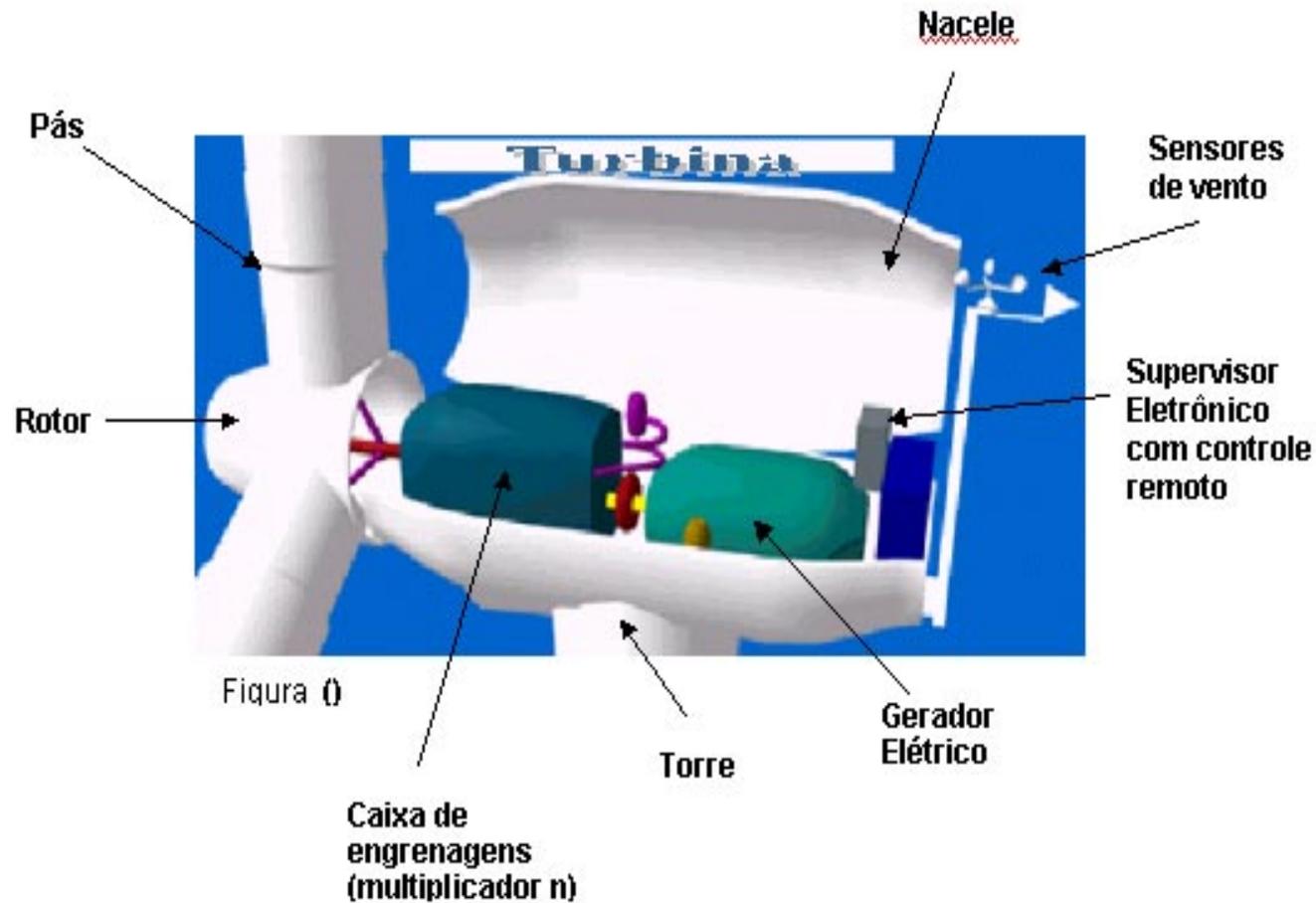
“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”

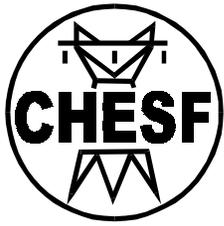


IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Eletrônicos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

Tecnologia Atual :



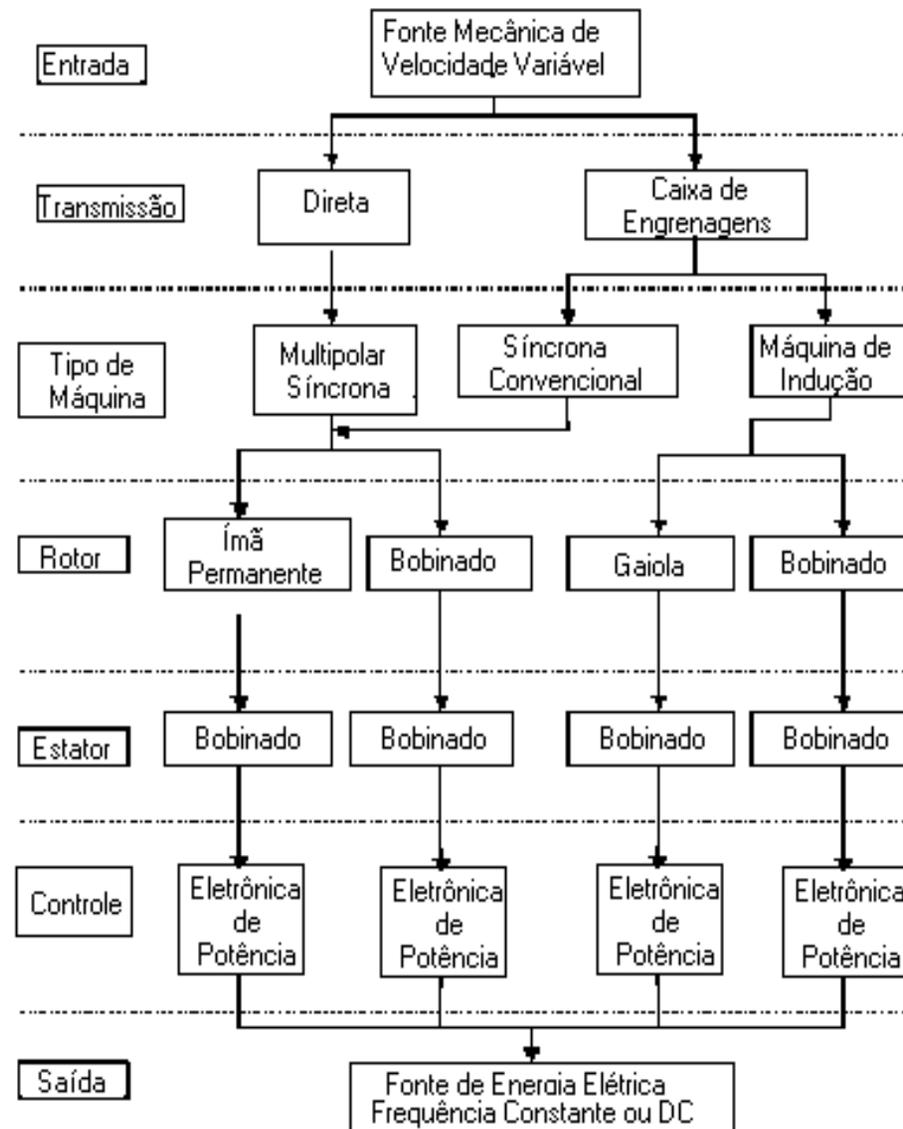


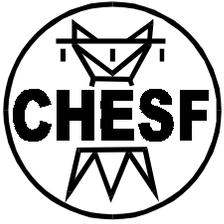
“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”



IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™





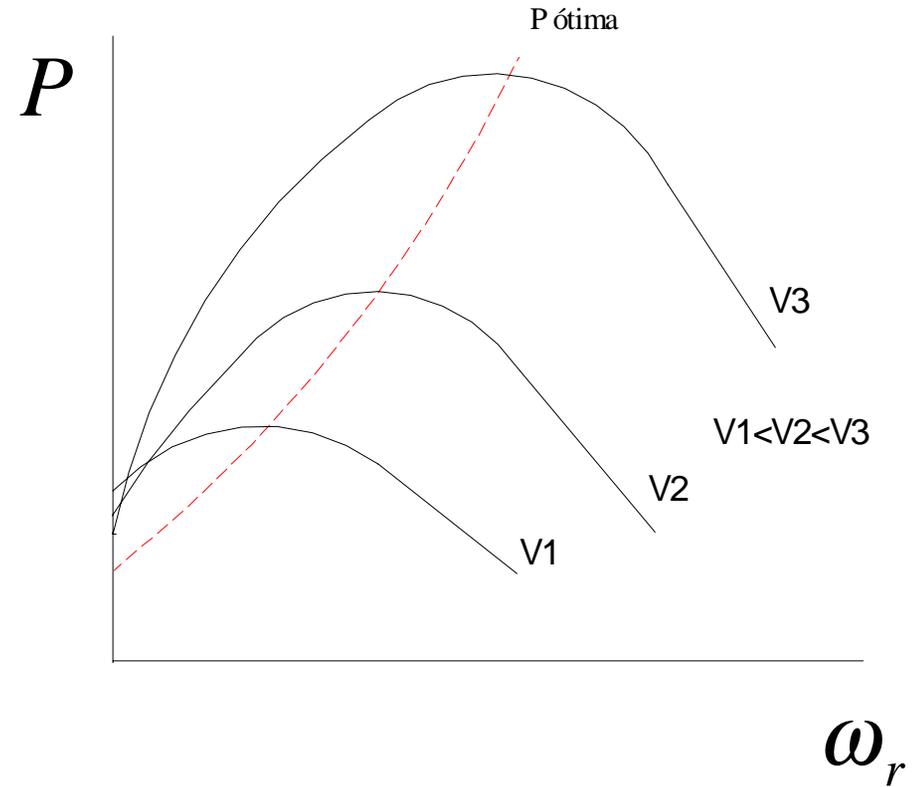
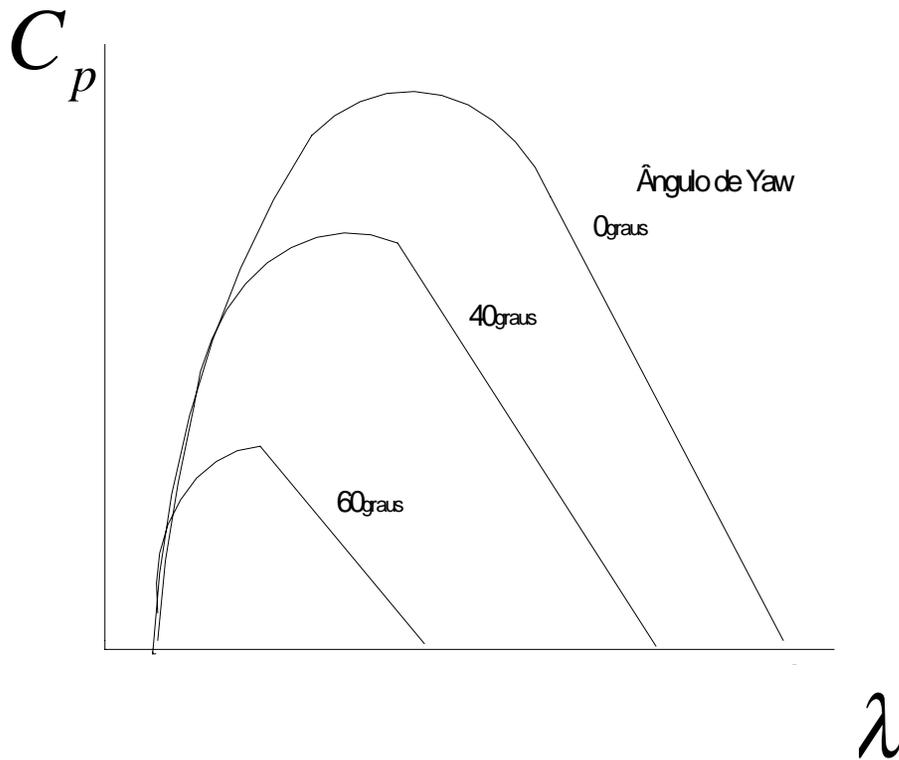
“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”

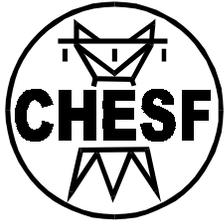


IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

Curvas Típicas :





“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”

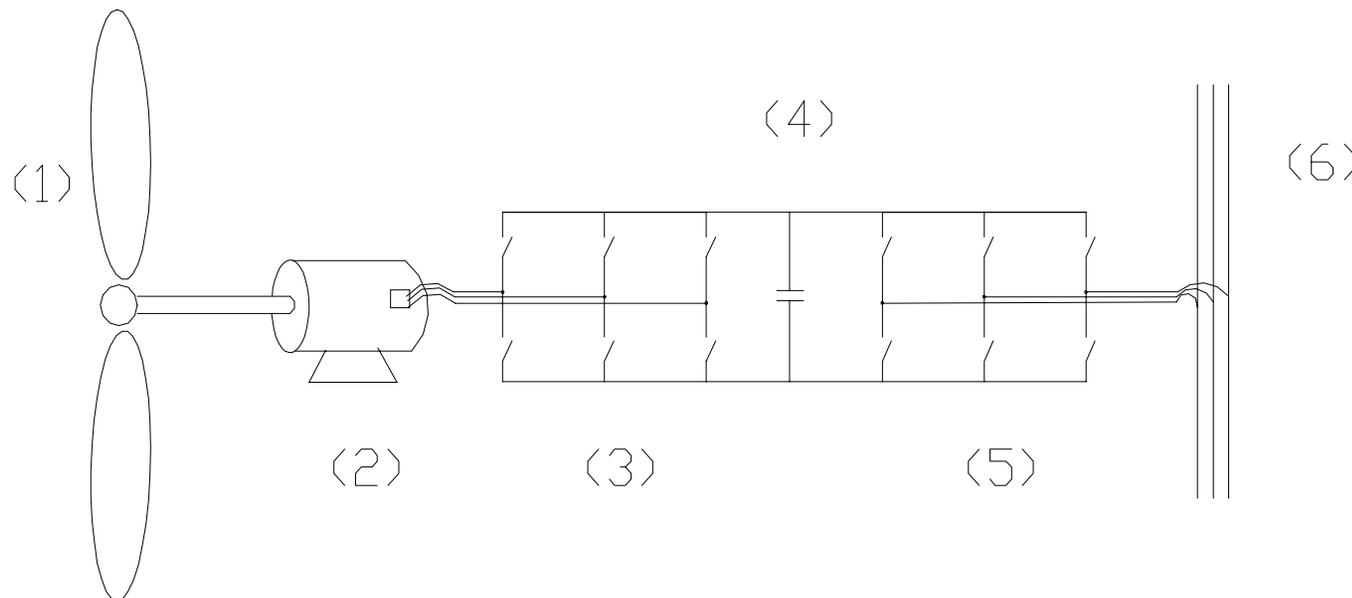


IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

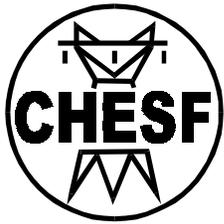
“Networking
the World”™

Topologias Estudadas :

Caso 1 : Gerador de Indução com Rotor Gaiola Ligado à Rede



- (1) Turbina
- (2) Gerador de Indução
- (3) Conversor a PWM
- (4) Capacitor
- (5) Conversor a PWM
- (6) Barramento Infinito



“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”

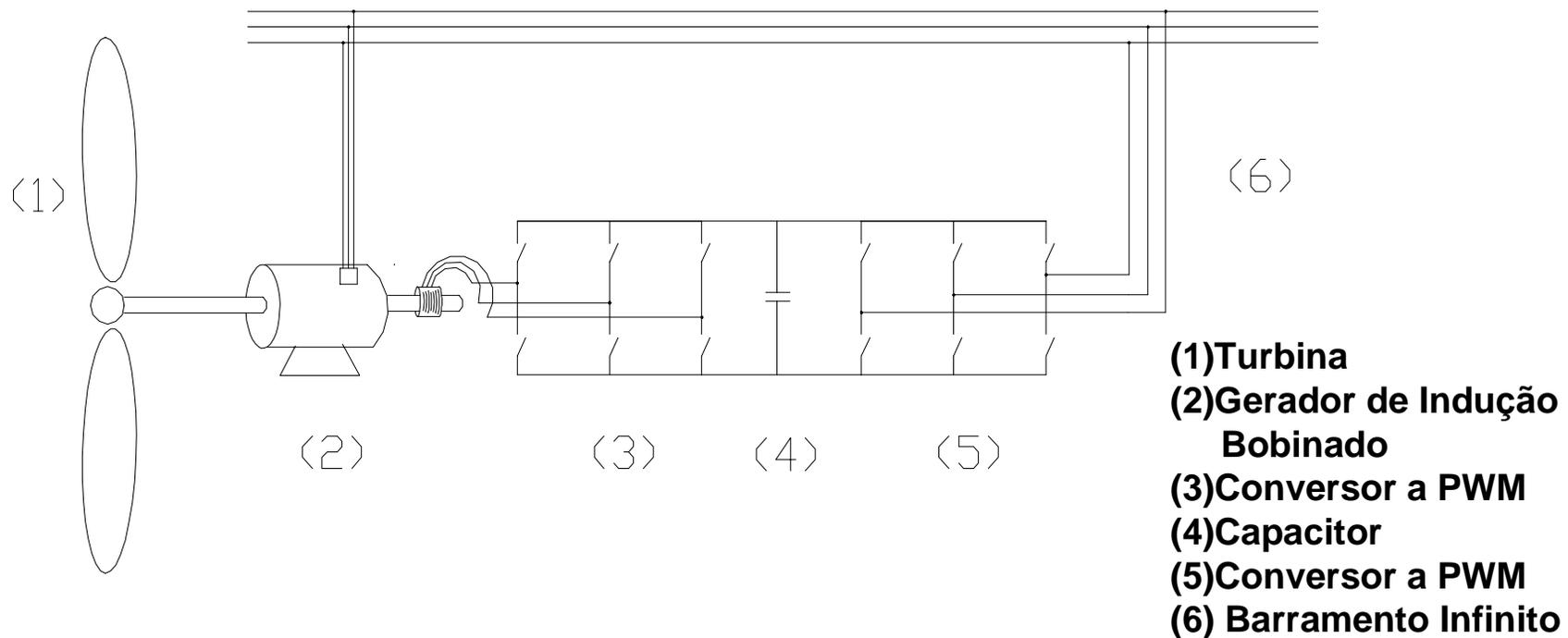


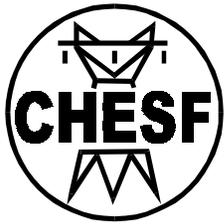
IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

Topologias Estudadas :

Caso 2 : Gerador de Indução com Rotor Bobinado Ligado à Rede





“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”

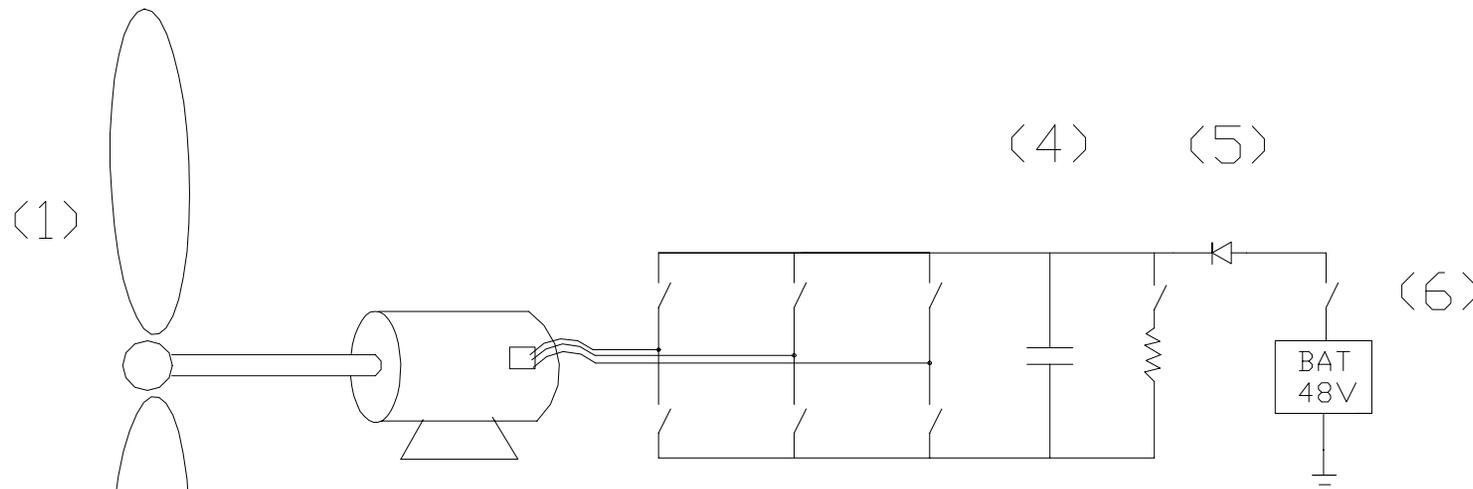


IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Eletrônicos

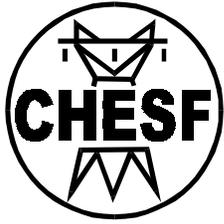
“Networking
the World”™

Topologias Estudadas :

Caso 3 : Gerador de Indução com Rotor Gaiola Isolado



- (1) Turbina
- (2) Gerador de Indução
- (3) Conversor a PWM
- (4) Capacitor
- (5) Diodo
- (6) Bateria



*“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração
Eólica com Máquina de Indução”*

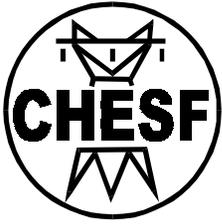


IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Eletrônicos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

Modelagem e Considerações :

- Modelagem Matemática da Máquina segundo o modelo fasorial “DQ”;
- Conversores controlados por PWM, Técnica do Regulador Trifásico Simétrico;
- Frequência de chaveamento e amostragem de 5 kHz;
- Escolha da técnica de controle dos conversores mais favorável;
- Estimação de Fluxo pelo Modelo em Corrente;
- Velocidade ou conjugado primário imposto como fonte primária;
- Potência ativa extraída da Curva Ótima de Conjugado x Velocidade do Eixo;
- Controle de fator de potência;



“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”



IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

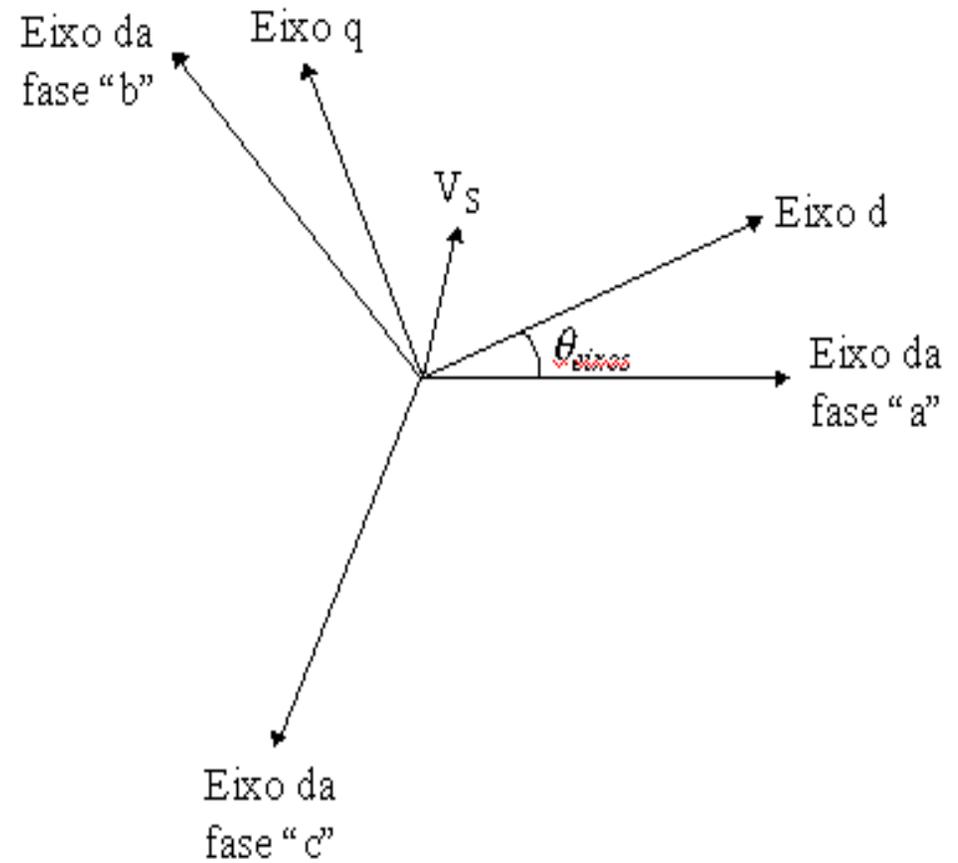
Modelagem DQ0 :

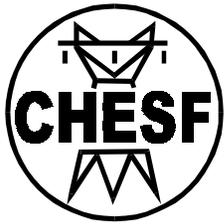
$$\vec{v}_s = R_s \cdot \vec{i}_s + \frac{d\vec{\lambda}_s}{dt} + j\omega_{eixos} \vec{\lambda}_s$$

$$\vec{v}_r = R_r \cdot \vec{i}_r + \frac{d\vec{\lambda}_r}{dt} + j(\omega_{eixos} - \omega_r) \vec{\lambda}_r$$

$$\vec{\lambda}_s = L_s \vec{i}_s + L_m \vec{i}_r$$

$$\vec{\lambda}_r = L_r \vec{i}_r + L_m \vec{i}_s$$





“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”

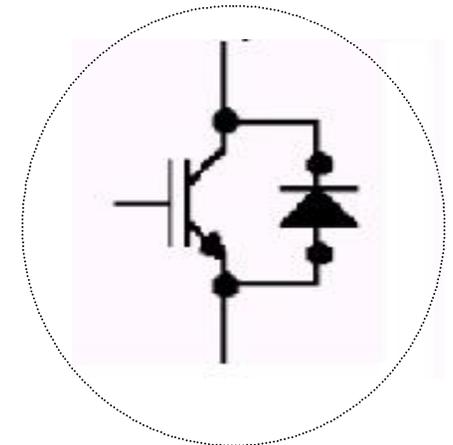
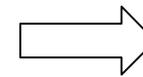
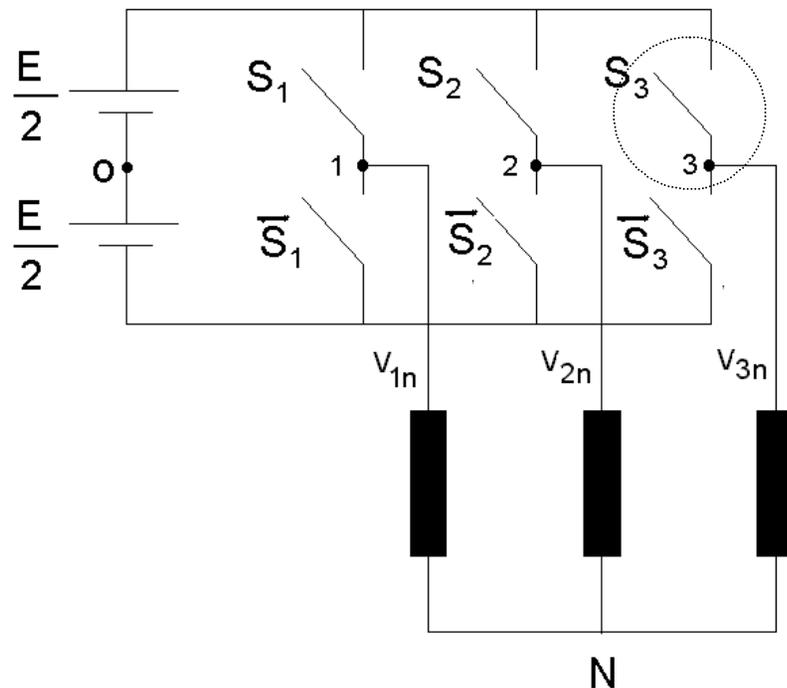


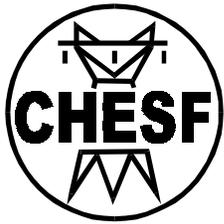
IEEE Brasil
Instituto dos Engenheiros
Eletricistas e Eletrônicos

“Networking
the World”™

PRINCÍPIO DO CONTROLE DOS CONVERSORES

CONTROLE → REFERÊNCIAS → PWM → CONVERSOR





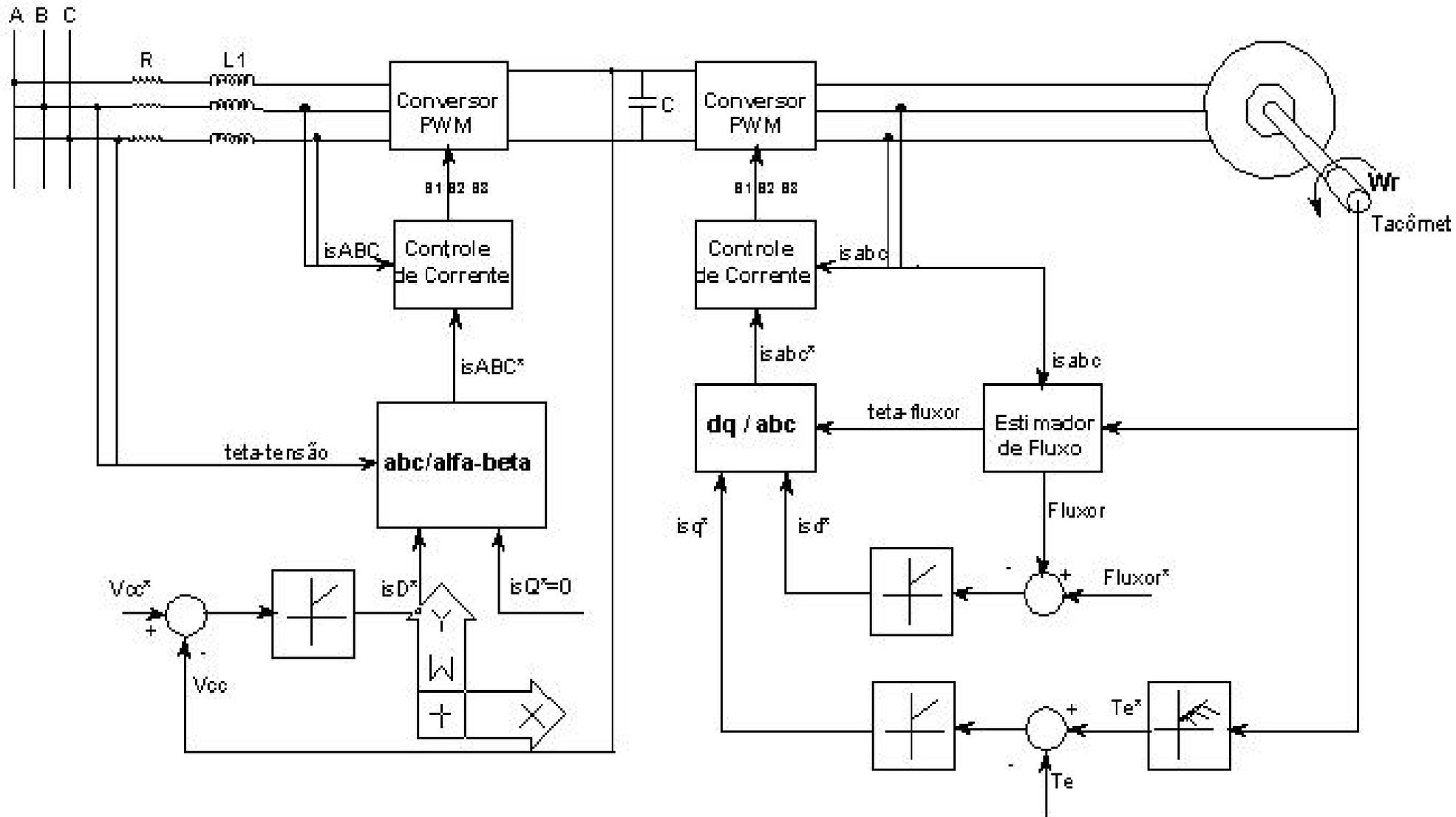
“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”

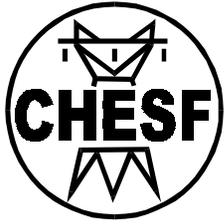


IEEE Brasil
Instituto dos Engenheiros
Eletrônicos e Eletrônicos

“Networking
the World”™

Caso 1 : Gerador de Indução com Rotor Gaiola Ligado à Rede





*“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração
Eólica com Máquina de Indução”*

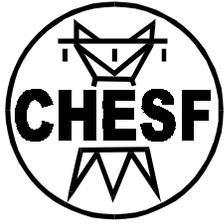


IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Eletricistas e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

Modelagem e Considerações :

- Controle do Inversor por orientação pelo Fluxo de Rotor e do Retificador pela Tensão da Rede;
- Estimação de Fluxo pelo Modelo em Corrente;
- Malhas de Controle
 - Lado do conversor ligado à rede: V_{cc} , $\cos\phi$ e correntes
 - Lado do conversor ligado à MI: fluxo, T_e e correntes;
- Conjugado primário imposto, T_e extraído da Curva Ótima de Conjugado x Velocidade da Turbina;
- Fator de potência unitário;
- P controlada de modo a obter máximo aproveitamento da turbina
- Q mantida nula



“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”



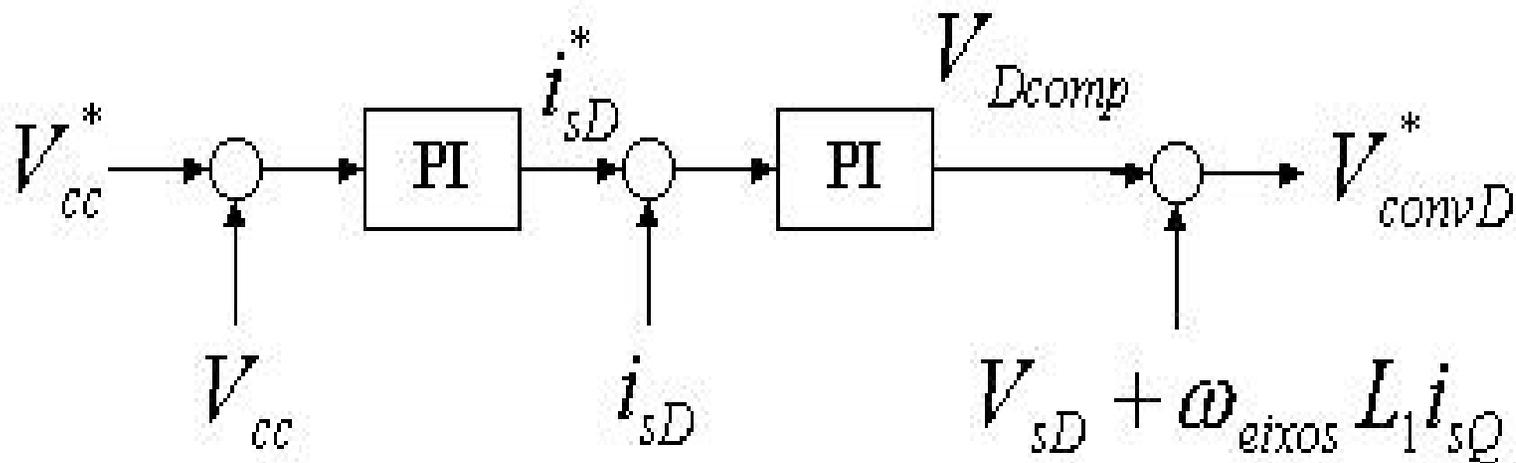
IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

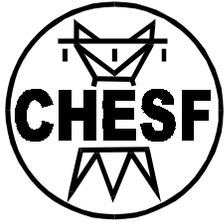
“Networking
the World”™

Para o controle da **tensão do barramento CC**, deve-se procurar impor valores adequados à corrente do capacitor. Sendo : $V_{cc} i_{conv} = P_{gerada}$

Como : $P = \frac{3}{2} (v_{sD} i_{sD} + v_{sQ} i_{sQ})$, fazendo $v_{sQ} = 0$, teremos:

$$\frac{di_{sD}}{dt} = -\frac{R}{L} i_{sD} + \frac{1}{L} V_{DComp} \quad , \text{ onde: } V_{DComp} = V_{sD} + \omega_{eixos} L_1 i_{sQ} - V_{convD}$$





“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”



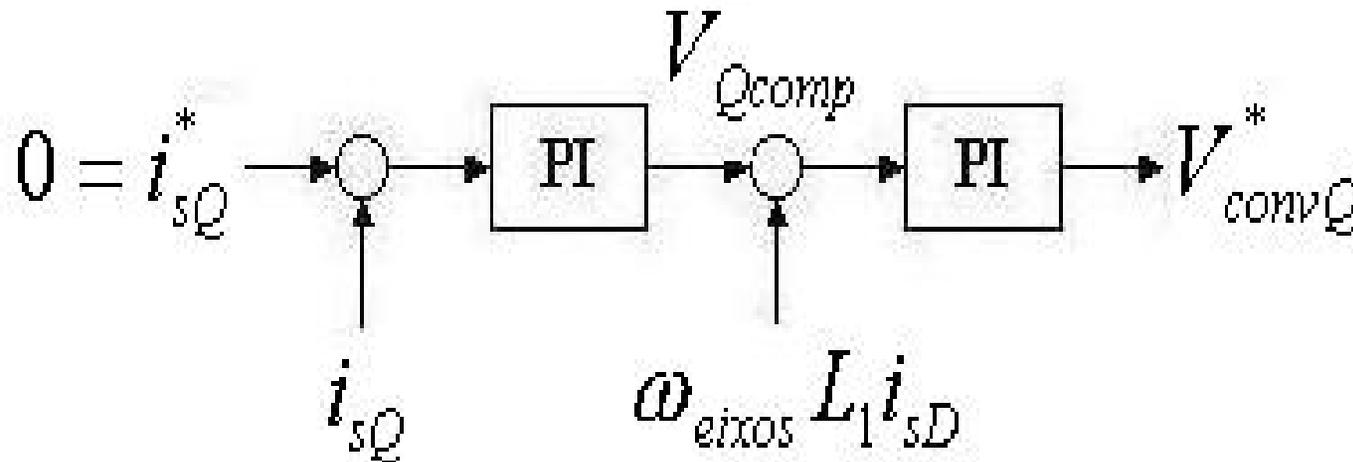
IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

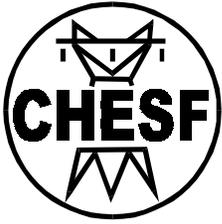
“Networking
the World”™

O fator de potência será mantido unitário com o controle de potência reativa em zero.

Como : $Q = \frac{3}{2}(v_{sQ}i_{sD} - v_{sD}i_{sQ})$ e fazendo : $v_{sQ} = 0$, tem-se:

$$\frac{di_{sQ}}{dt} = -\frac{R}{L}i_{sQ} + \frac{1}{L}V_{QComp} \quad , \text{ onde : } V_{QComp} = -\omega_{eixos}L_l i_{sD} - V_{convQ}$$





“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”



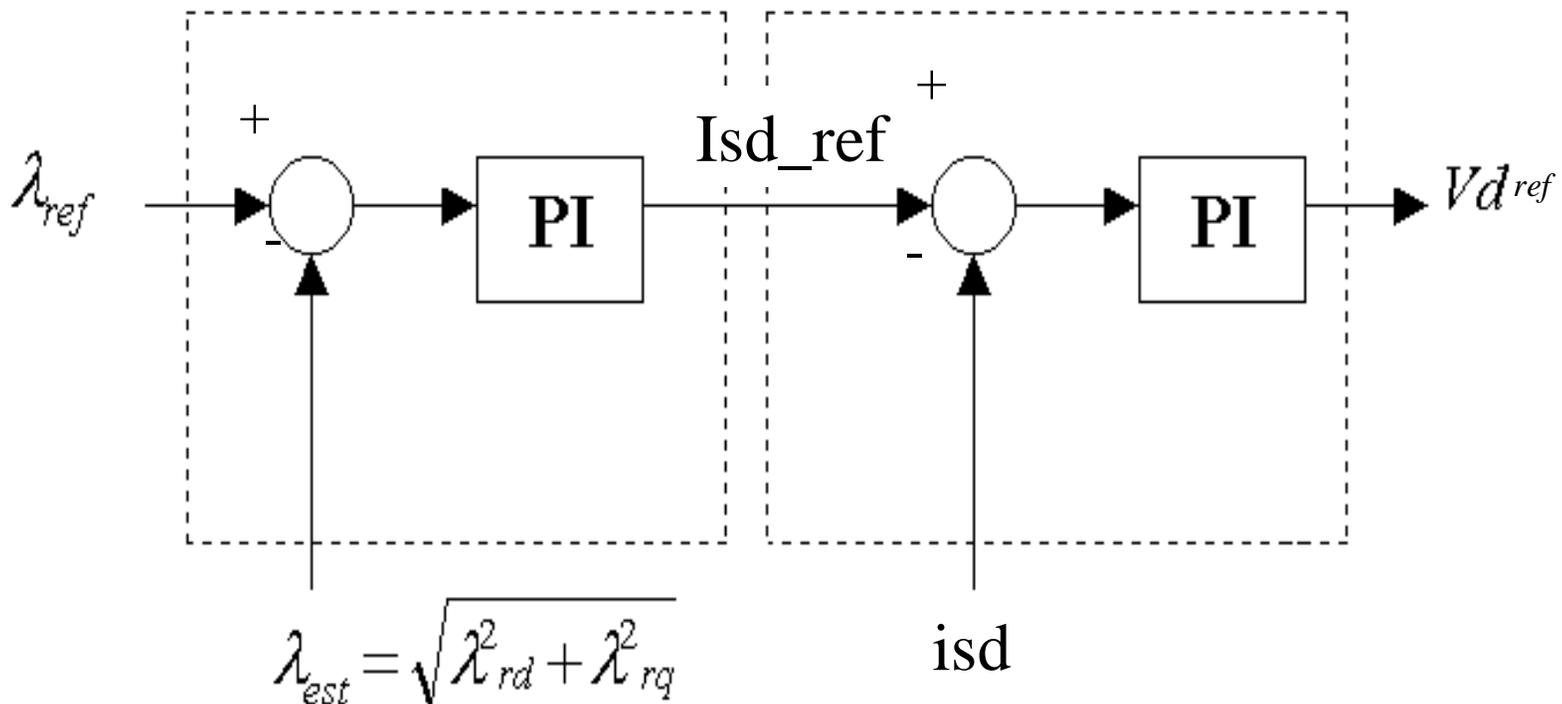
IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

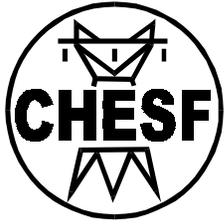
“Networking
the World”™

Controle de Fluxo de Rotor

Fazendo $\lambda_{rq} = 0$ e $V_{rd} = 0 = R_r \left(\frac{\lambda_{rd}}{L_r} - \frac{L_m}{L_r} i_{sd} \right) + \frac{d\lambda_{rd}}{dt}$ podemos escrever :

$$\frac{d\lambda_{rd}}{dt} + \frac{\lambda_{rd}}{\tau_r} = \frac{L_m}{\tau_r} i_{sd}$$





“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”

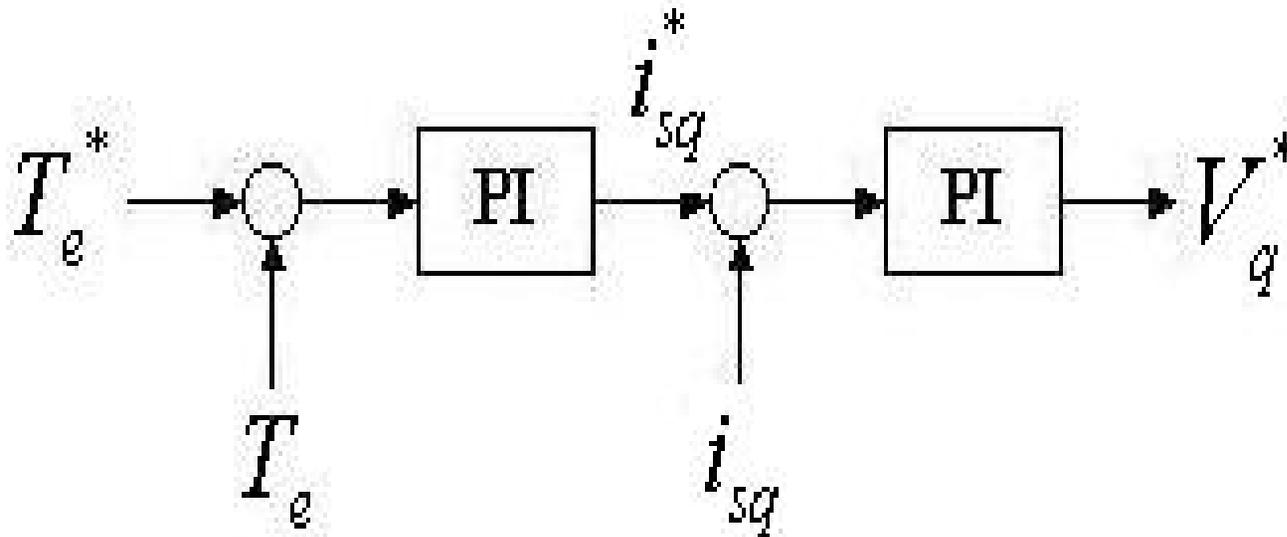


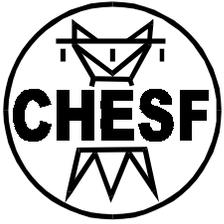
IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Eletrônicos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

À máquina foi imposto um conjugado primário. Com o aumento da velocidade, procurou-se aplicar um conjugado eletromagnético de modo a obter um aproveitamento ótimo da turbina, baseado na característica $T_e \times W_r$ da mesma. Para : $\lambda_{rq} = 0$, teremos :

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} \frac{L_m}{L_r} \lambda_{rd} i_{sq}$$





“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”

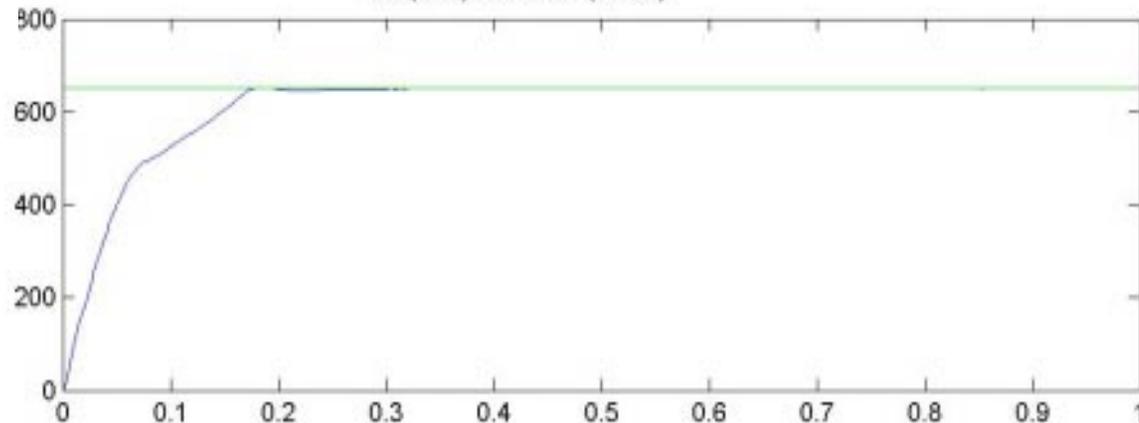


IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

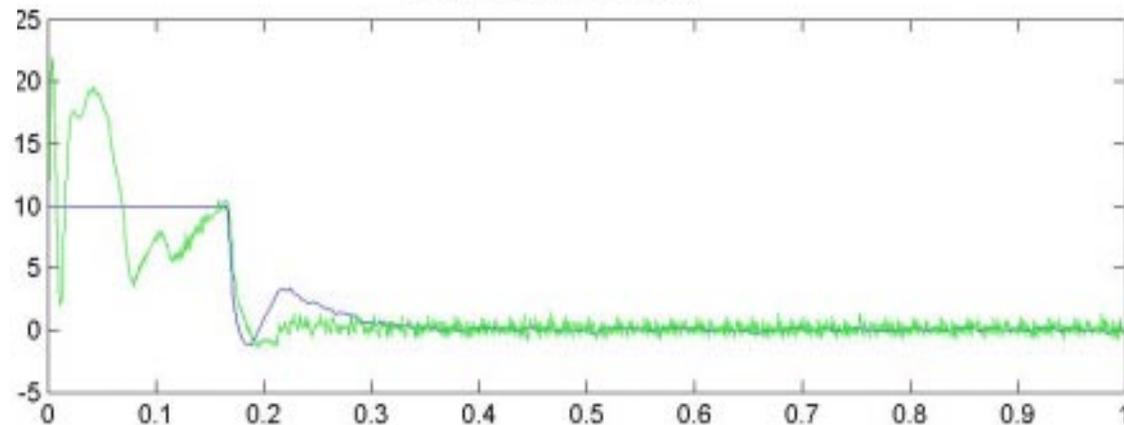
“Networking
the World”™

Resultados Obtidos : Controle da corrente de eixo direto e V_{cc}

$V_{cc}(V)$

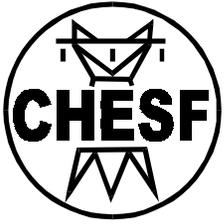


$I_{SD}(A)$



t(s)

t(s)



“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”

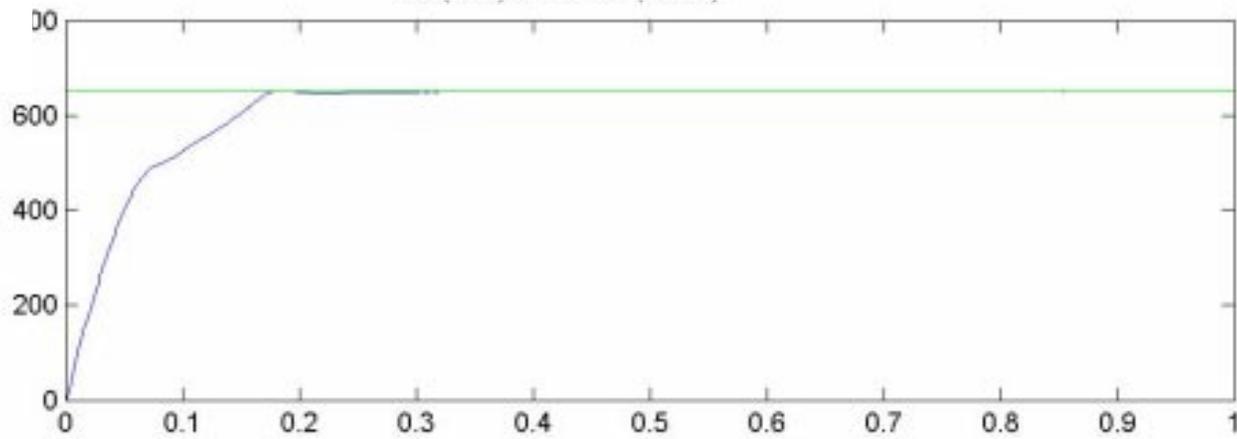


IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

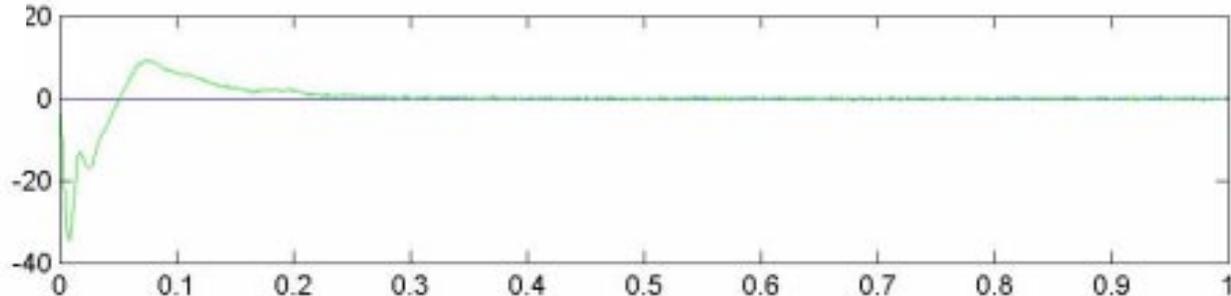
Resultados Obtidos : Controle do fator de potência

$V_{cc}(V)$

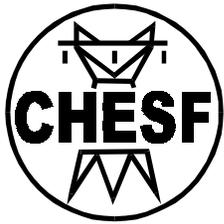


t(s)

$I_{sQ}(A)$



t(s)



*“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração
Eólica com Máquina de Indução”*

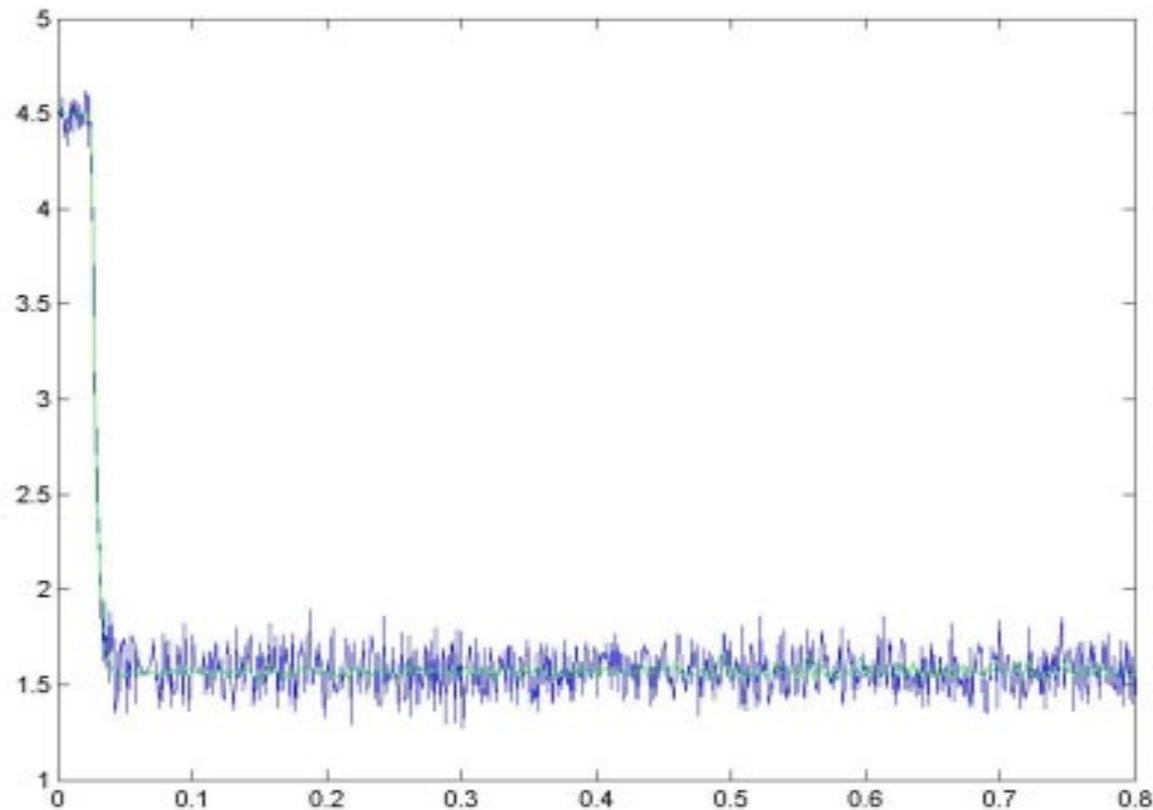


IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

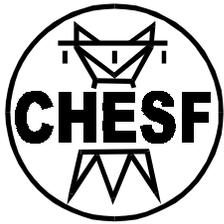
“Networking
the World”™

Resultados Obtidos : Controle de corrente de eixo direto (fluxo)

$I_{sd}(A)$



$t(s)$



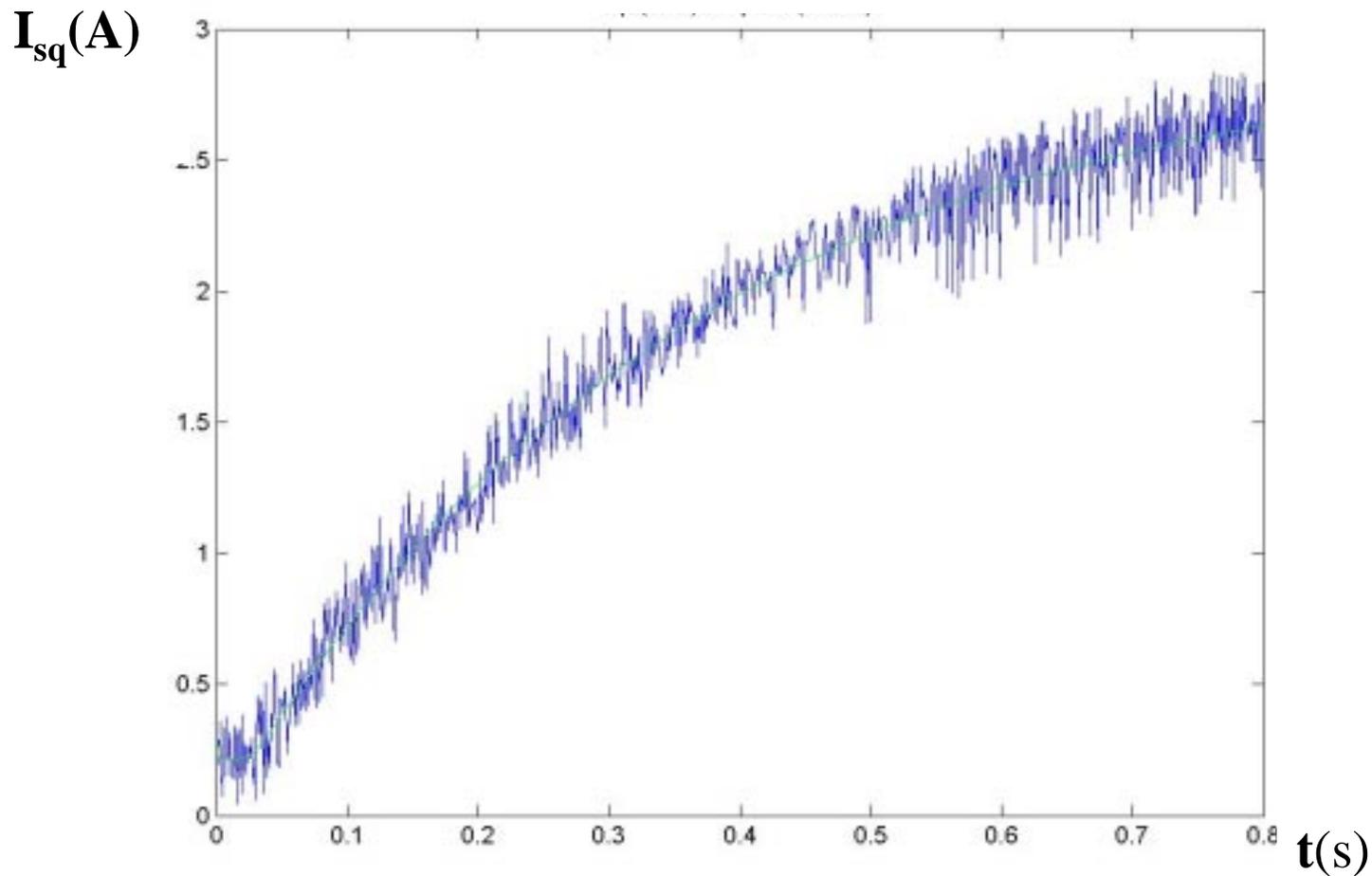
“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”

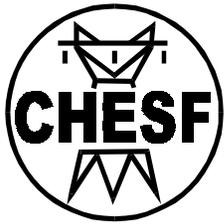


IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

Resultados Obtidos : Controle de corrente de eixo quadratura (conjugado)





“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”

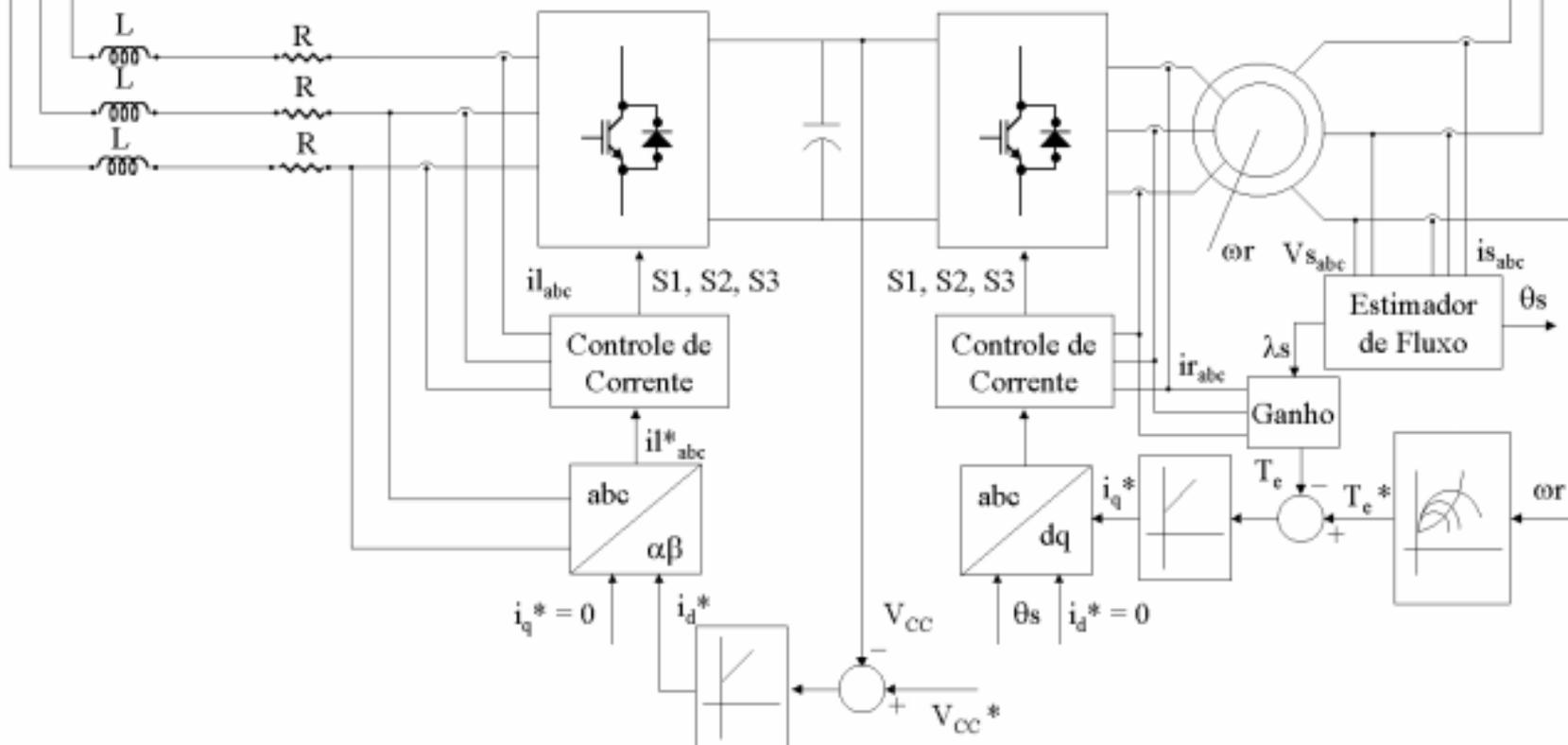


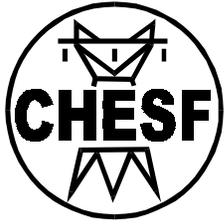
IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

Caso 2:

**Esquema de controle do gerador de indução
duplamente alimentado**





*“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração
Eólica com Máquina de Indução”*

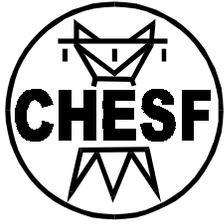


IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Eletrônicos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

Modelagem e Considerações :

- Controle dos conversores:
 - Lado da rede: orientação pelo vetor tensão
 - Lado da máquina: orientação pelo fluxo de estator
- Estimacão de Fluxo pelo Modelo em Corrente;
- Malhas de Controle
 - Lado da rede: V_{dc} , $\cos\phi$ e correntes
 - Lado da máquina: P e Q geradas e correntes
- Conjugado primário imposto, extraído da Curva Ótima $T_e \times$ Velocidade
- Fator de potência unitário;
- Controle de Potência só exigido após o estabelecimento V_{dc}



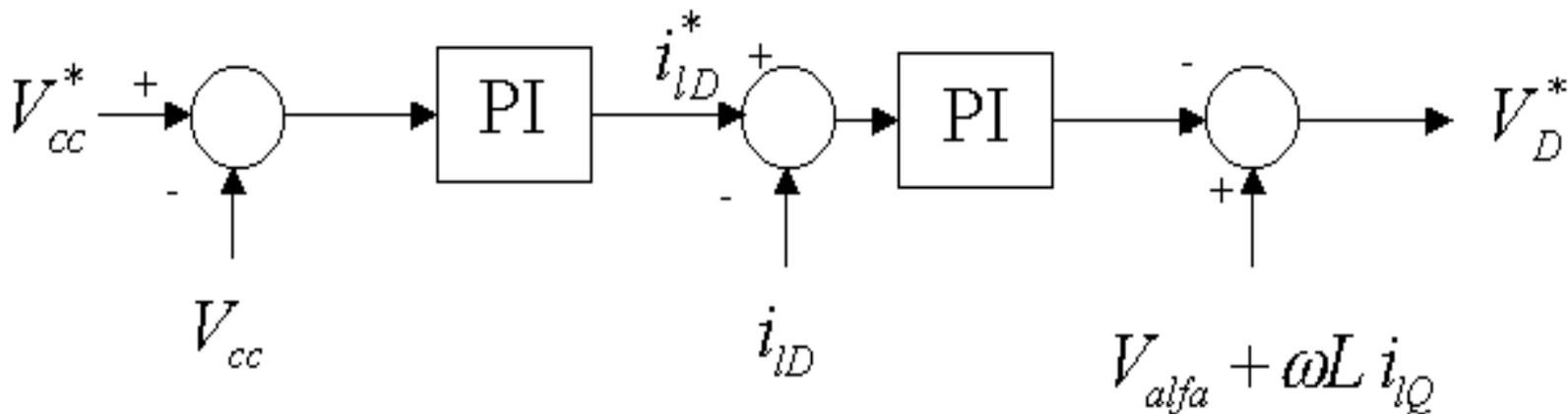
“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”

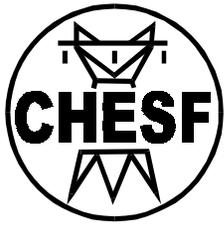


IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

De modo análogo ao caso conectado pelo estator, foi feito o controle de P e Q do lado do conversor ligado à rede, assim, para V_{cc} (pelo controle de P) :





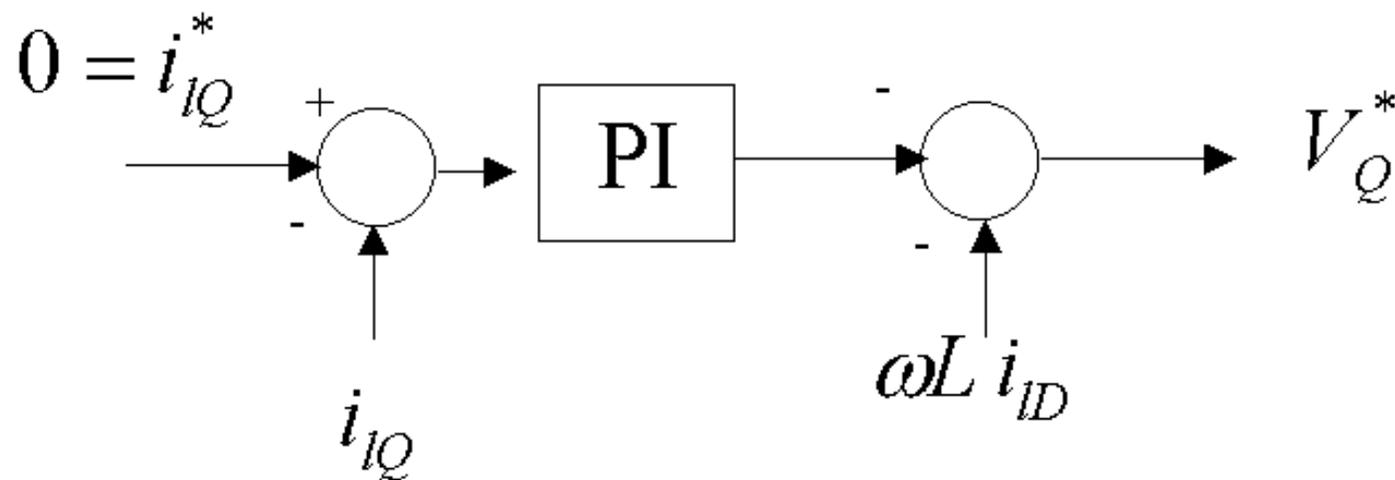
“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”

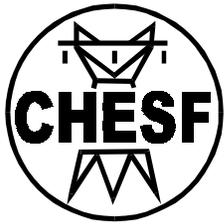


IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

E o controle de Q :





“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”

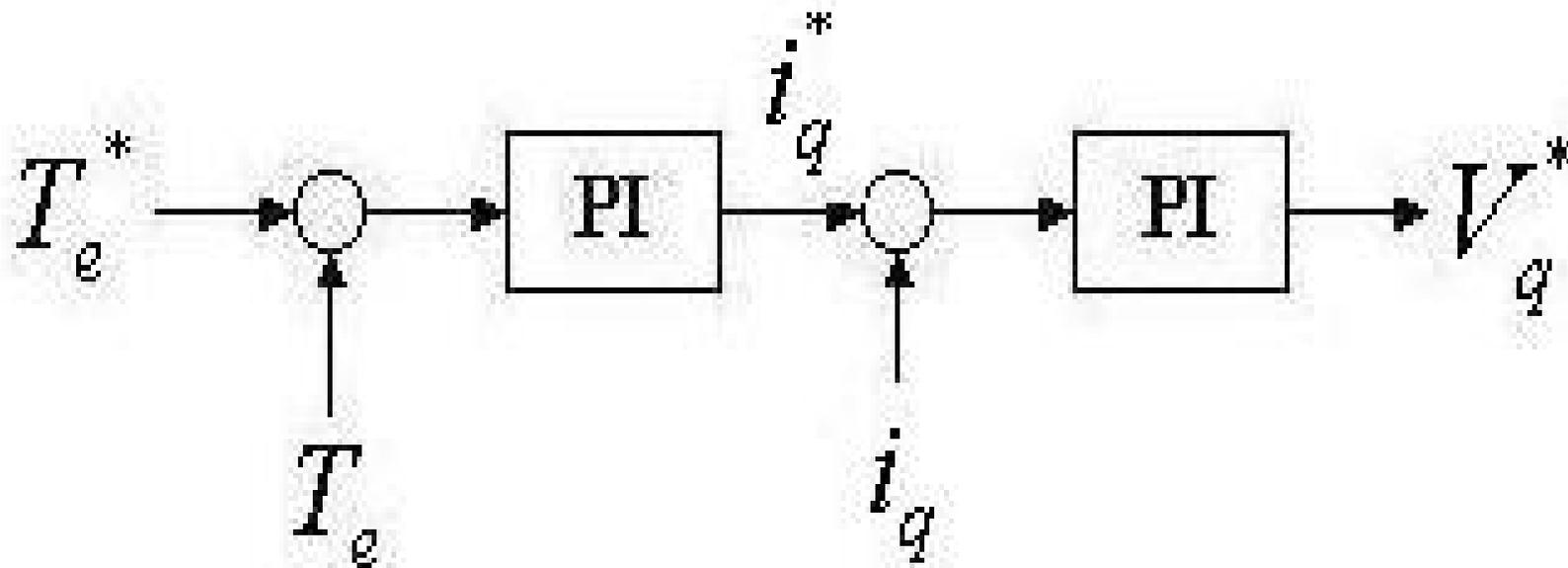


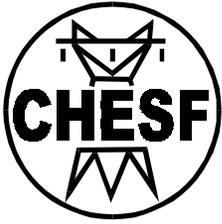
IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

Baseando-se em que a conexão direta do estator à rede manterá o fluxo aproximadamente constante, torna-se desnecessário o controle do mesmo. Para o controle das potências, foram feitos os controles de P e Q, sendo :

$$T_e = -\frac{3}{2} \frac{P}{L_s} \frac{L_m}{L_s} i_{rq} \lambda_{sd} \quad e \quad \frac{di_{rq}}{dt} = -\frac{R}{L} i_{rq} - \frac{1}{L} V_{convq}$$





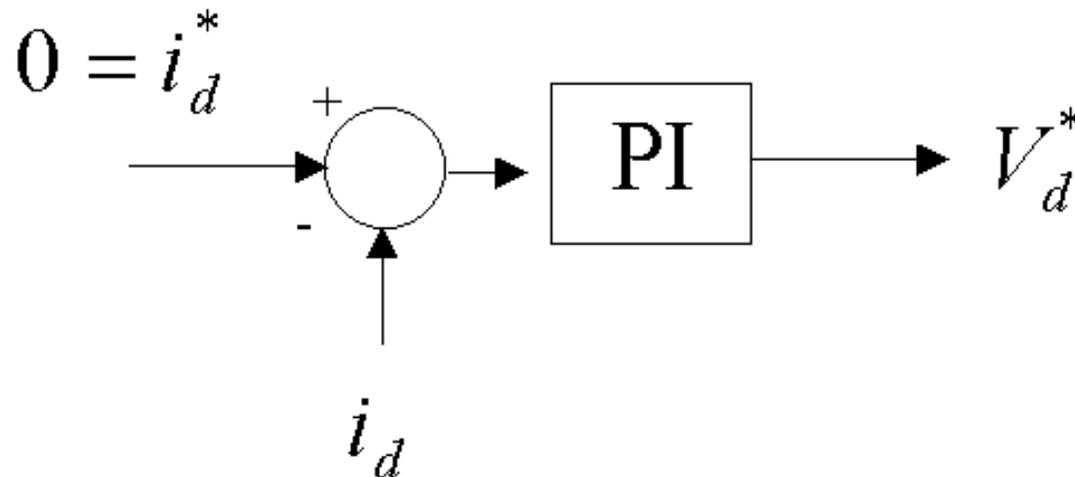
“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”

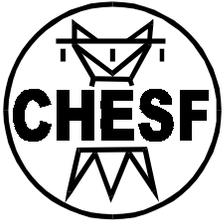


IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

E assim, para o controle de Q, teremos:

$$\frac{di_{rd}}{dt} = -\frac{R}{L}i_{rd} - \frac{1}{L}V_{convd}$$




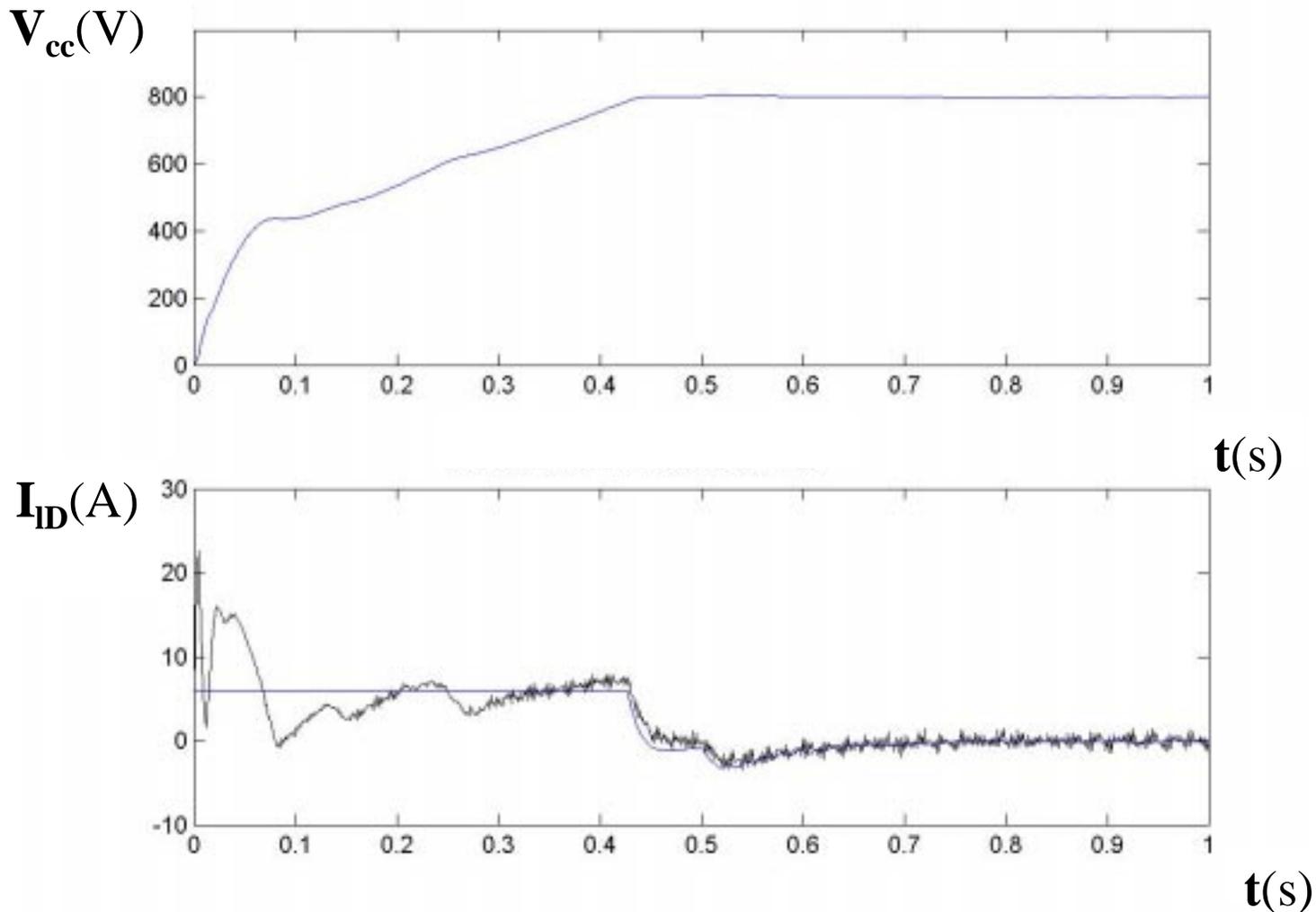
“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”

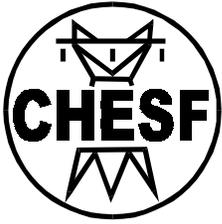


IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

Resultados Obtidos : Controle da corrente de eixo direto e Vcc





*“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração
Eólica com Máquina de Indução”*

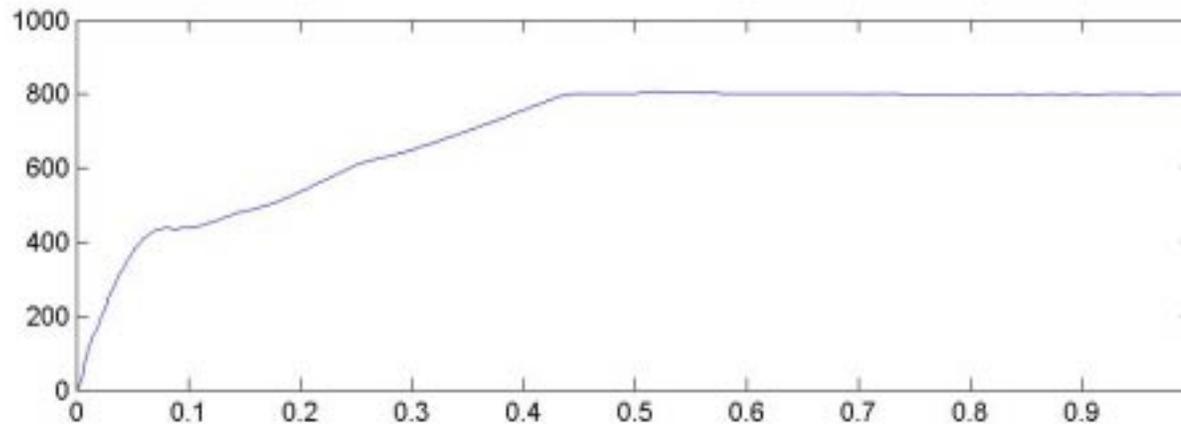


IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

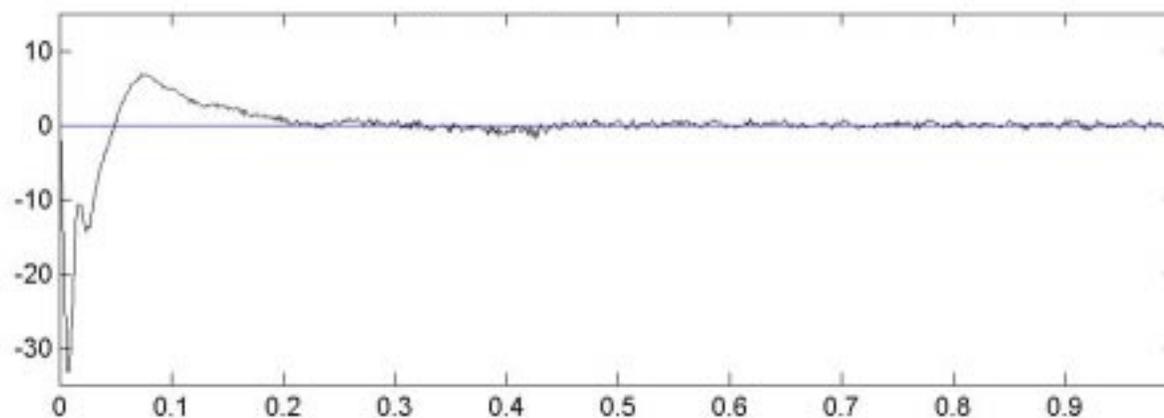
“Networking
the World”™

Resultados Obtidos : Controle da corrente de eixo em quadratura (fp)

$V_{cc}(V)$

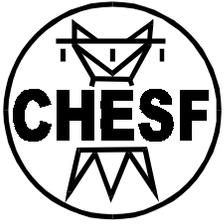


$I_{IQ}(A)$



t(s)

t(s)



*“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração
Eólica com Máquina de Indução”*

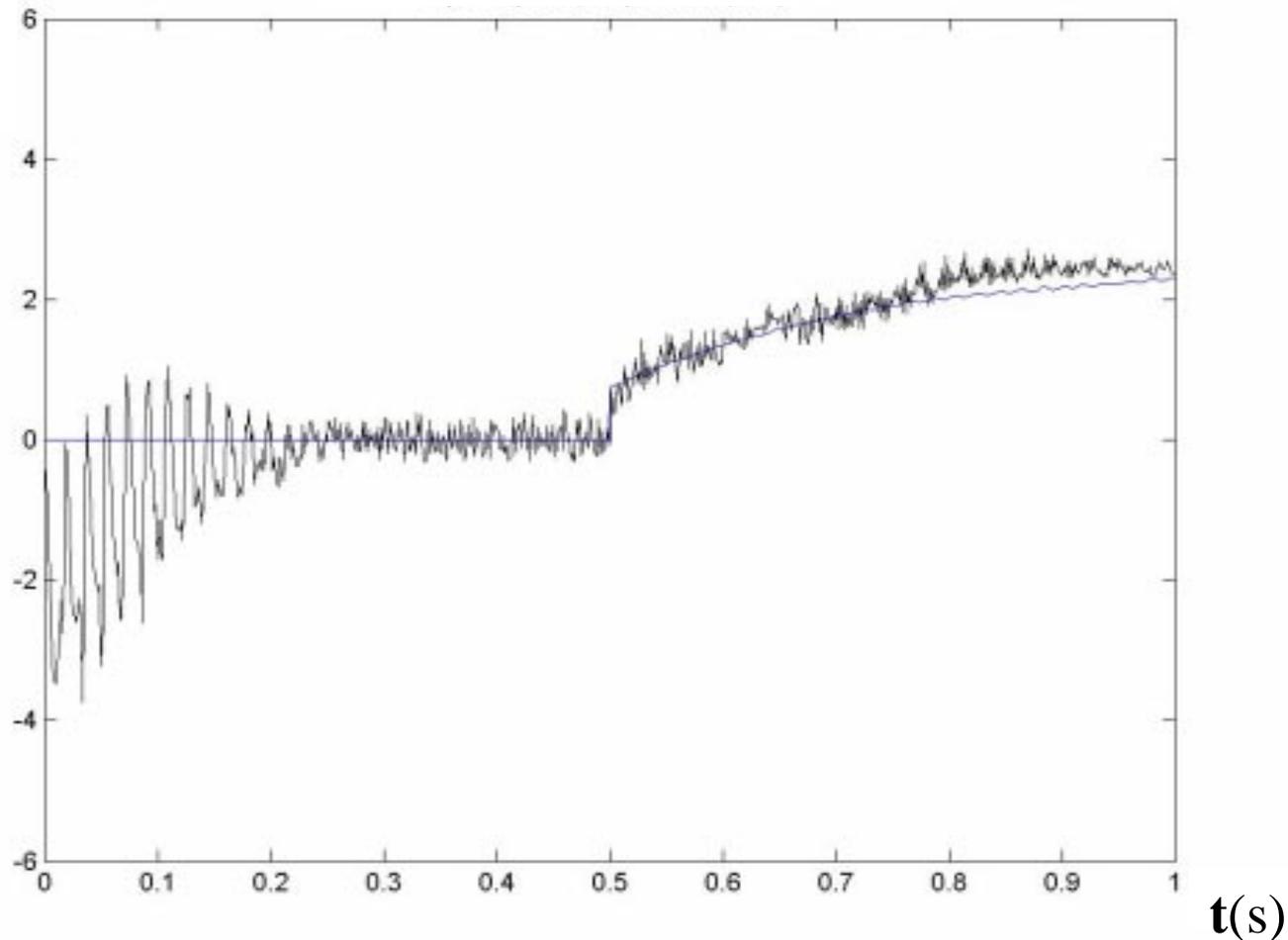


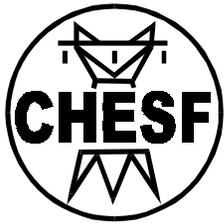
IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

Resultados Obtidos : Controle de corrente do lado da máquina (I_q)

$I_{rq}(A)$





*“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração
Eólica com Máquina de Indução”*

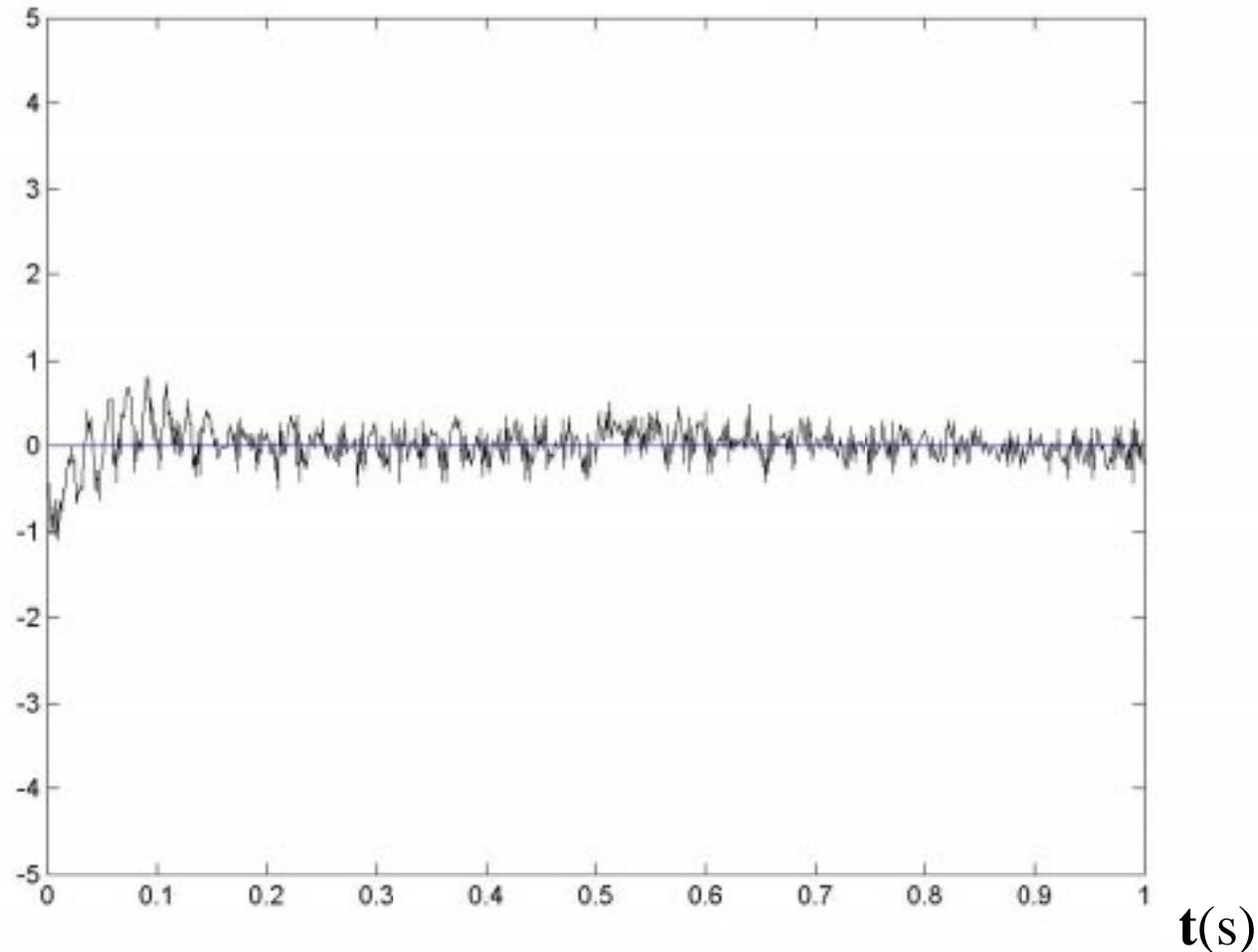


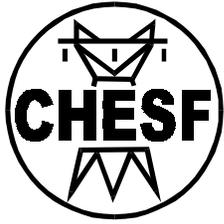
IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

Resultados Obtidos : Controle de corrente do lado da máquina (I_d)

$I_d(A)$





“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”

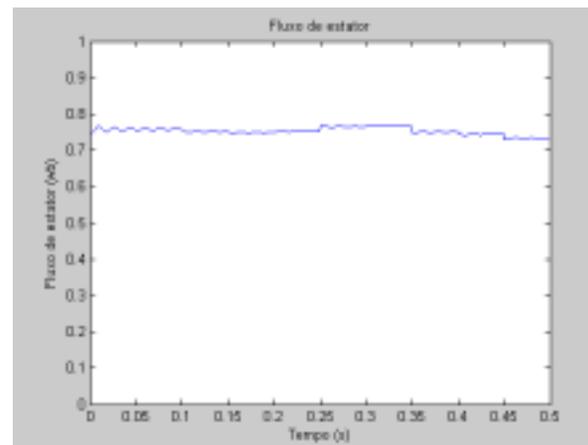
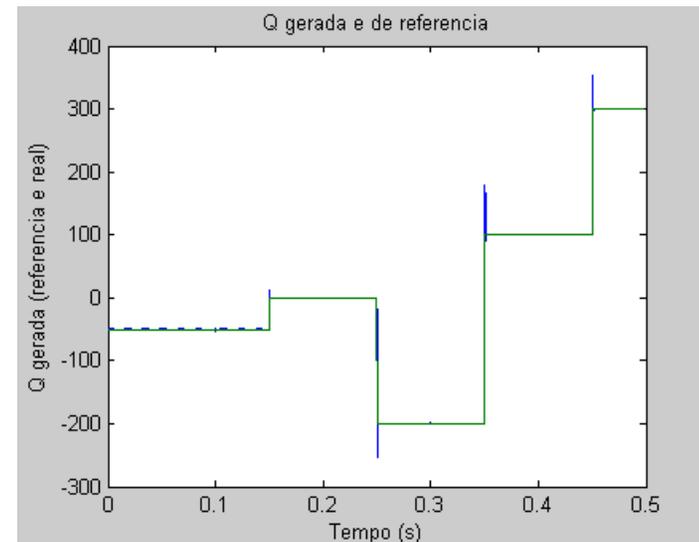
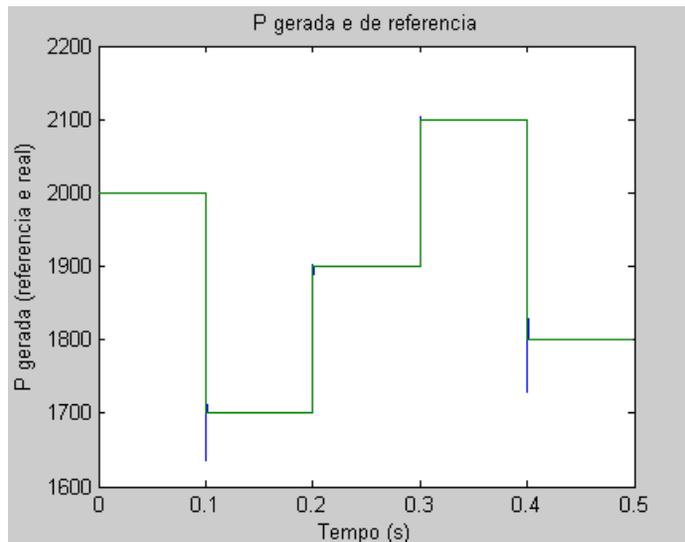


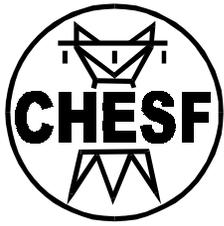
IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

Resultados Obtidos : Considerando a imposição de P e Q

Máquina acionada a W_r constante





“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”

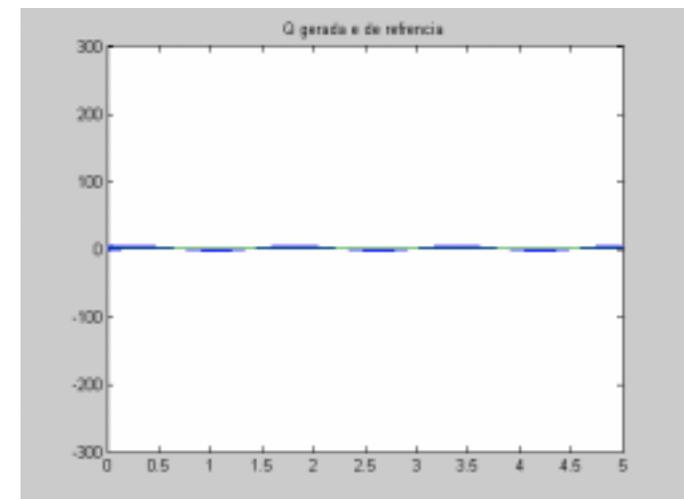
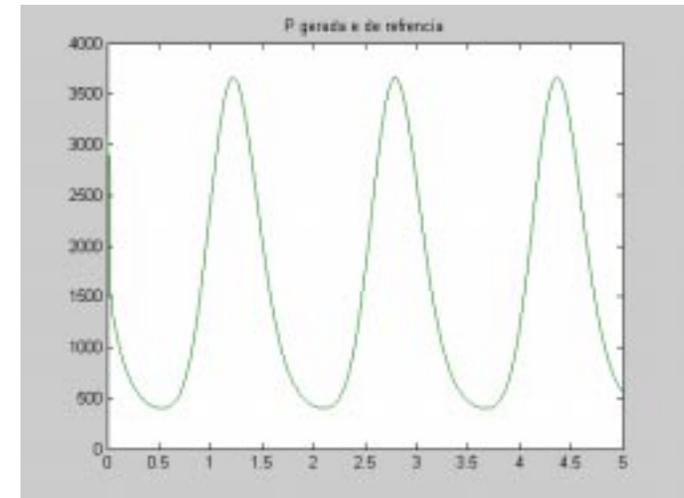
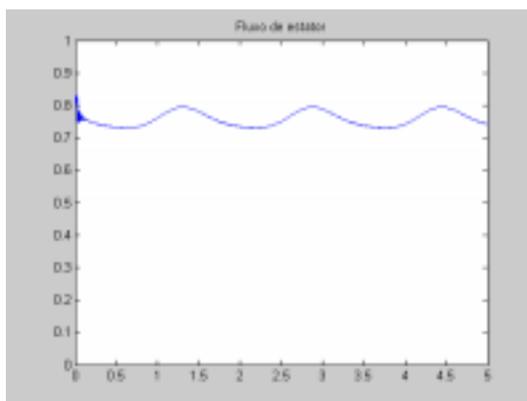
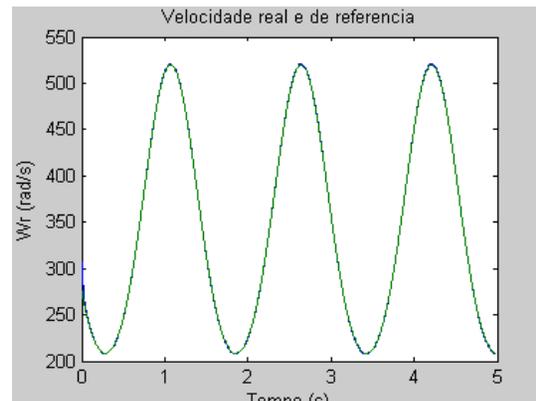
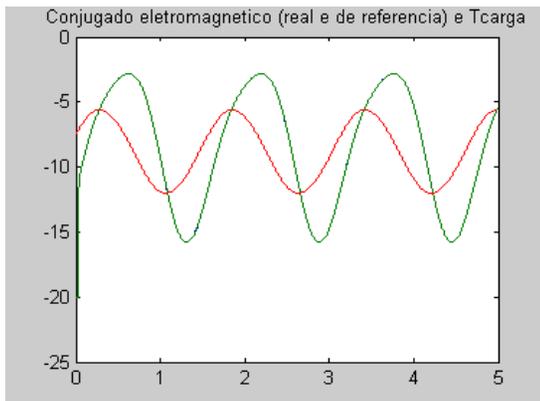


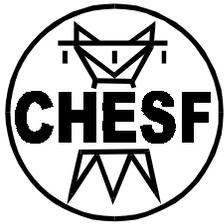
IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Eletrônicos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

Resultados Obtidos :

- Velocidade de vento: $V_{\text{vento}} = 11 + 4 \cdot \cos(4 \cdot t)$
- Conjugado primário: $T_{\text{carga}} = -0.8 \cdot V_{\text{vento}}$
- $W_r_{\text{otima}} = 121.68 + 1.77 \cdot V_{\text{vento}} \cdot V_{\text{vento}}$





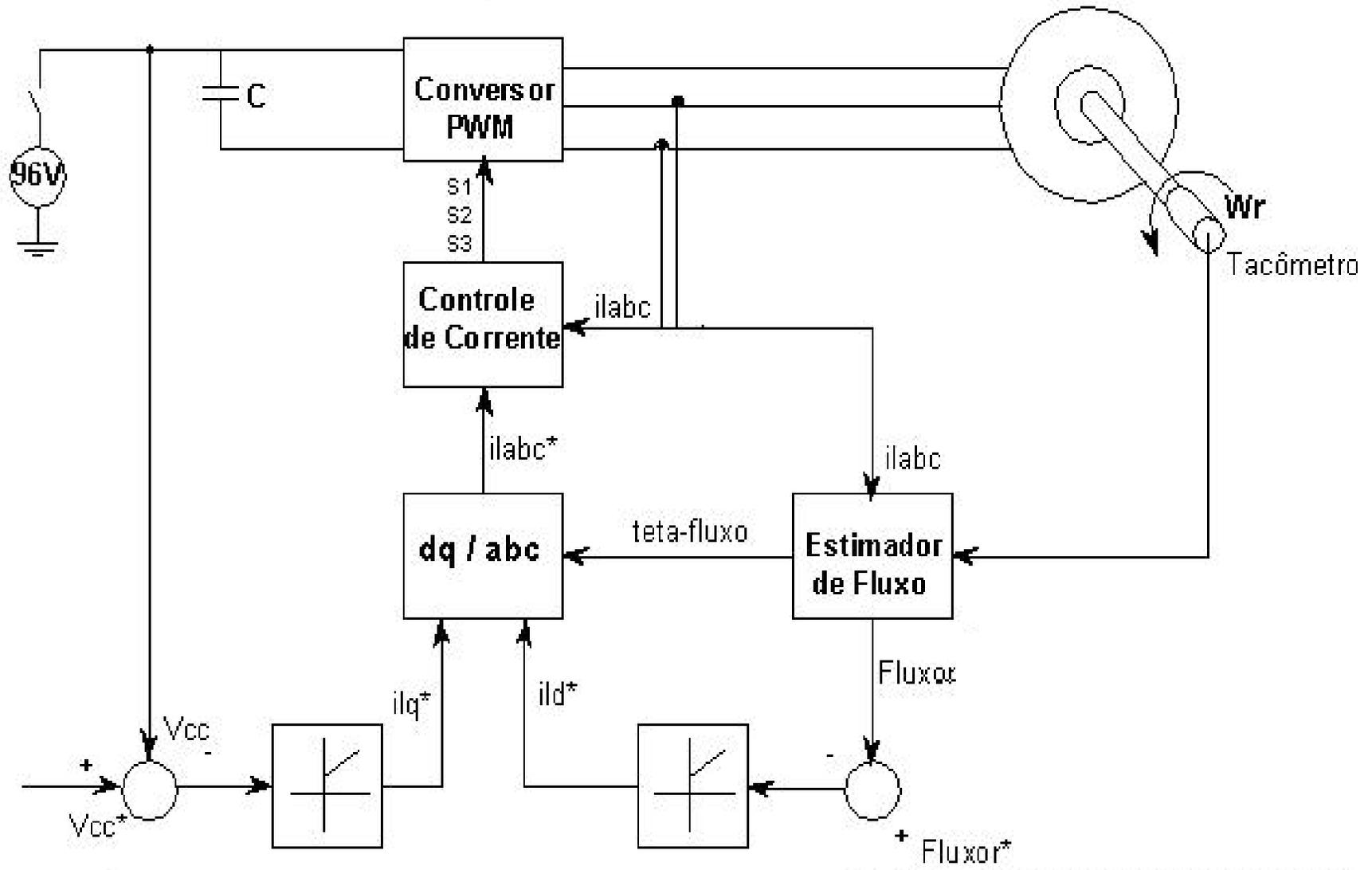
“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”

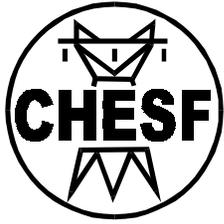


IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Eletrônicos

“Networking
the World”™

Caso 3 : Gerador de Indução com Rotor Gaiola Isolado





*“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração
Eólica com Máquina de Indução”*

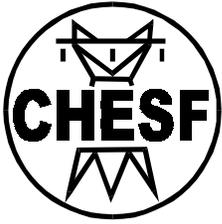


IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Eletricistas e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

Considerações :

- Controle do Conversor por orientação pelo Fluxo de Rotor;
- Malhas de Controle de Fluxo, Barramento CC e Correntes;
- Velocidade Mecânica de entrada como fonte primária de energia;
- Uso de Banco de Baterias para garantir magnetização da Máquina;
- Início da geração com no mínimo $1/3$ da Velocidade Nominal da Máquina ($V_{cut in}$);



“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”



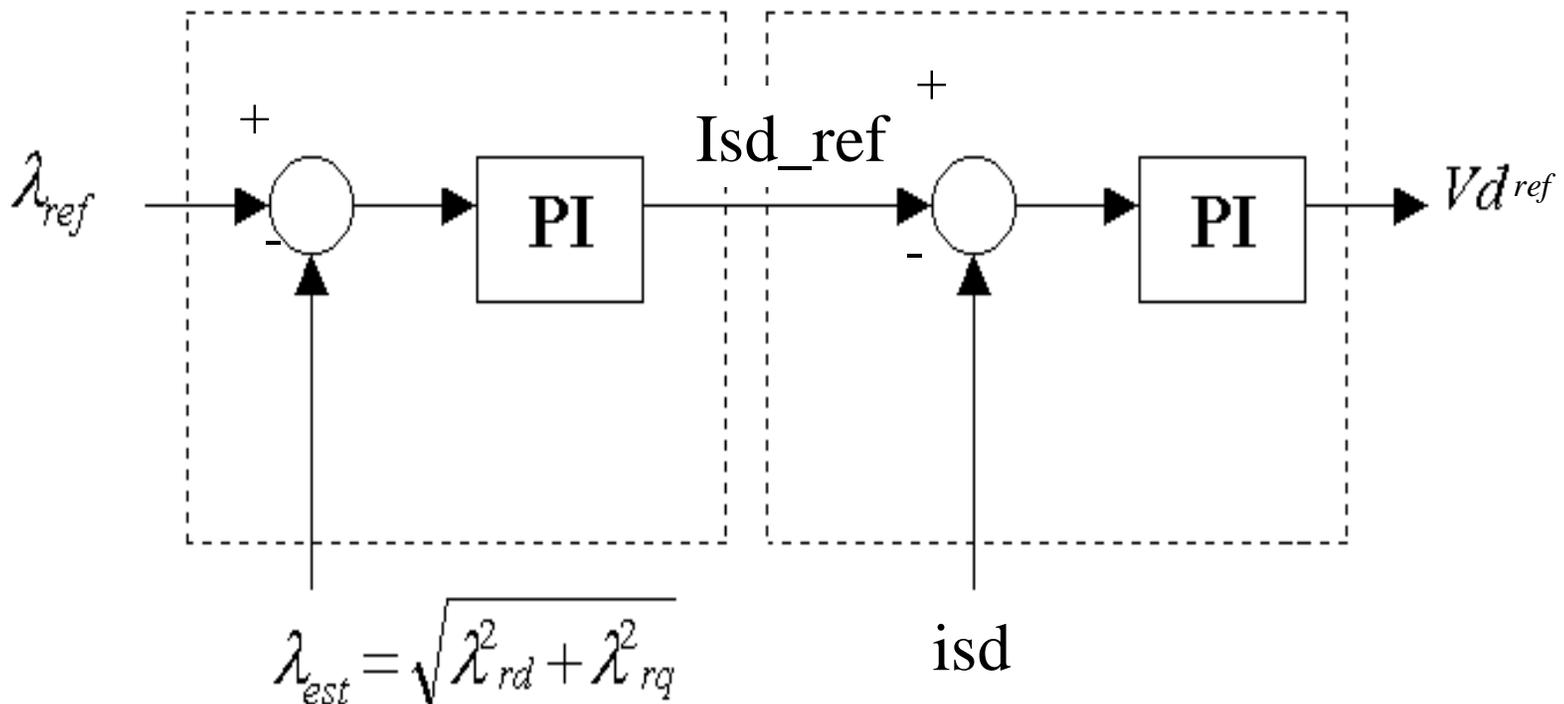
IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

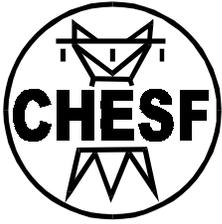
“Networking
the World”™

Controle de Fluxo de Rotor

Fazendo $\lambda_{rq} = 0$ e $V_{rd} = 0 = R_r \left(\frac{\lambda_{rd}}{L_r} - \frac{L_m}{L_r} i_{sd} \right) + \frac{d\lambda_{rd}}{dt}$ podemos escrever :

$$\frac{d\lambda_{rd}}{dt} + \frac{\lambda_{rd}}{\tau_r} = \frac{L_m}{\tau_r} i_{sd}$$





“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”



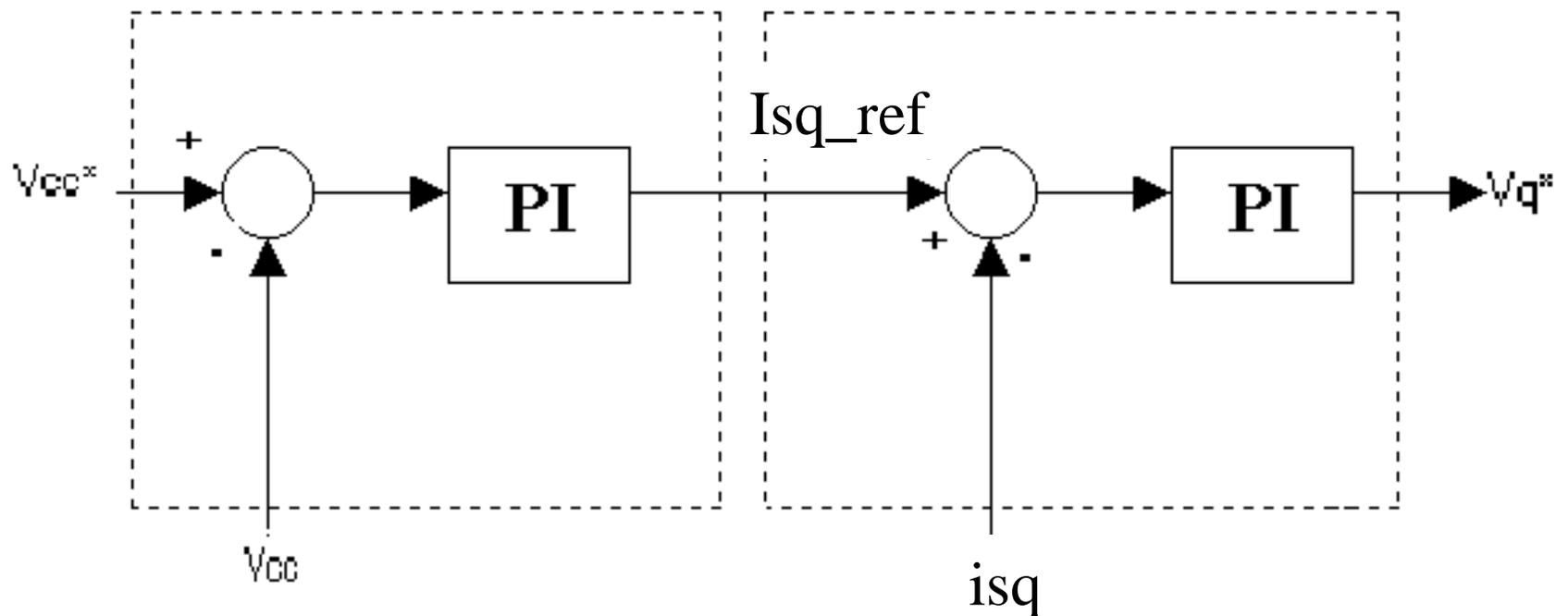
IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

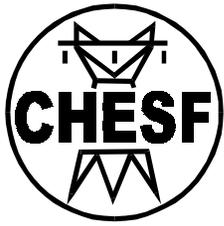
“Networking
the World”™

Para o controle da **tensão do barramento CC**, deve-se procurar impor valores adequados à corrente do capacitor. Desprezando as perdas :

$$V_{cc} i_{conv} = P_{gerada} = -\frac{2}{Pólos} \omega_r T_e \quad \text{e} \quad T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} \frac{L_m}{L_r} \lambda_{rd} i_{sq} \quad ,$$

então :





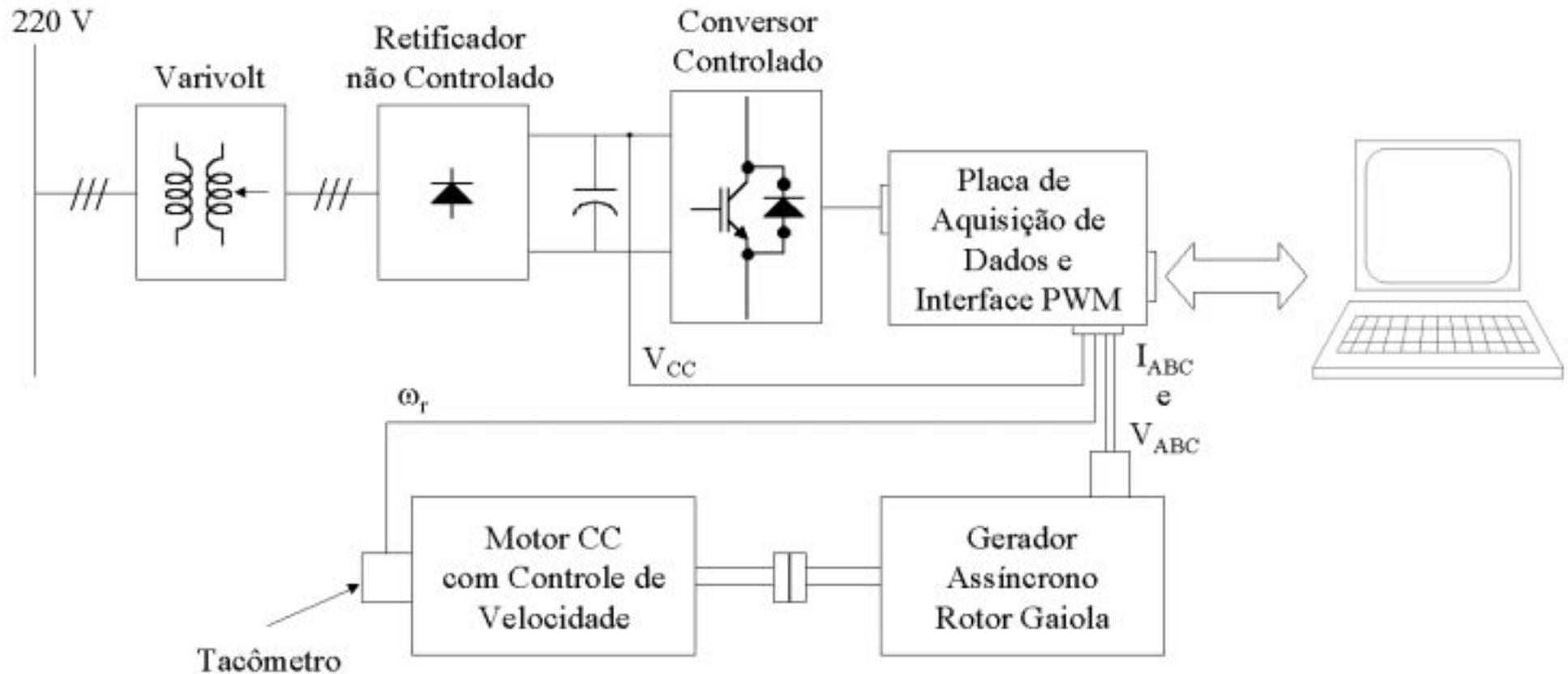
“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”

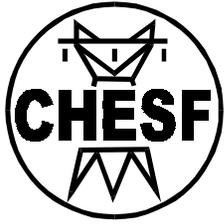


IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

Montagem Experimental





*“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração
Eólica com Máquina de Indução”*

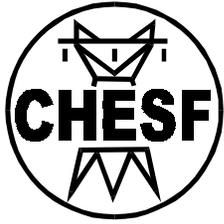


IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

Considerações :

- Inicialmente, a máquina de indução estava completamente desmagnetizada e que a tensão do barramento era igual ao do banco de baterias, ou seja, 96 V;
- Considerando a existência de um certo conjugado primário, supôs-se que, quando a velocidade atingisse cerca de um terço do valor nominal, realizam-se a magnetização da máquina e o controle da tensão do barramento CC;
- Na prática, o fluxo foi limitado para que a f_{cem} da máquina fosse suficientemente baixa para permitir a imposição das correntes pelo barramento CC, ainda com tensão baixa. Depois que a tensão do barramento atingiu um valor suficientemente elevado, pôde-se ordenar a aplicação de fluxo nominal.



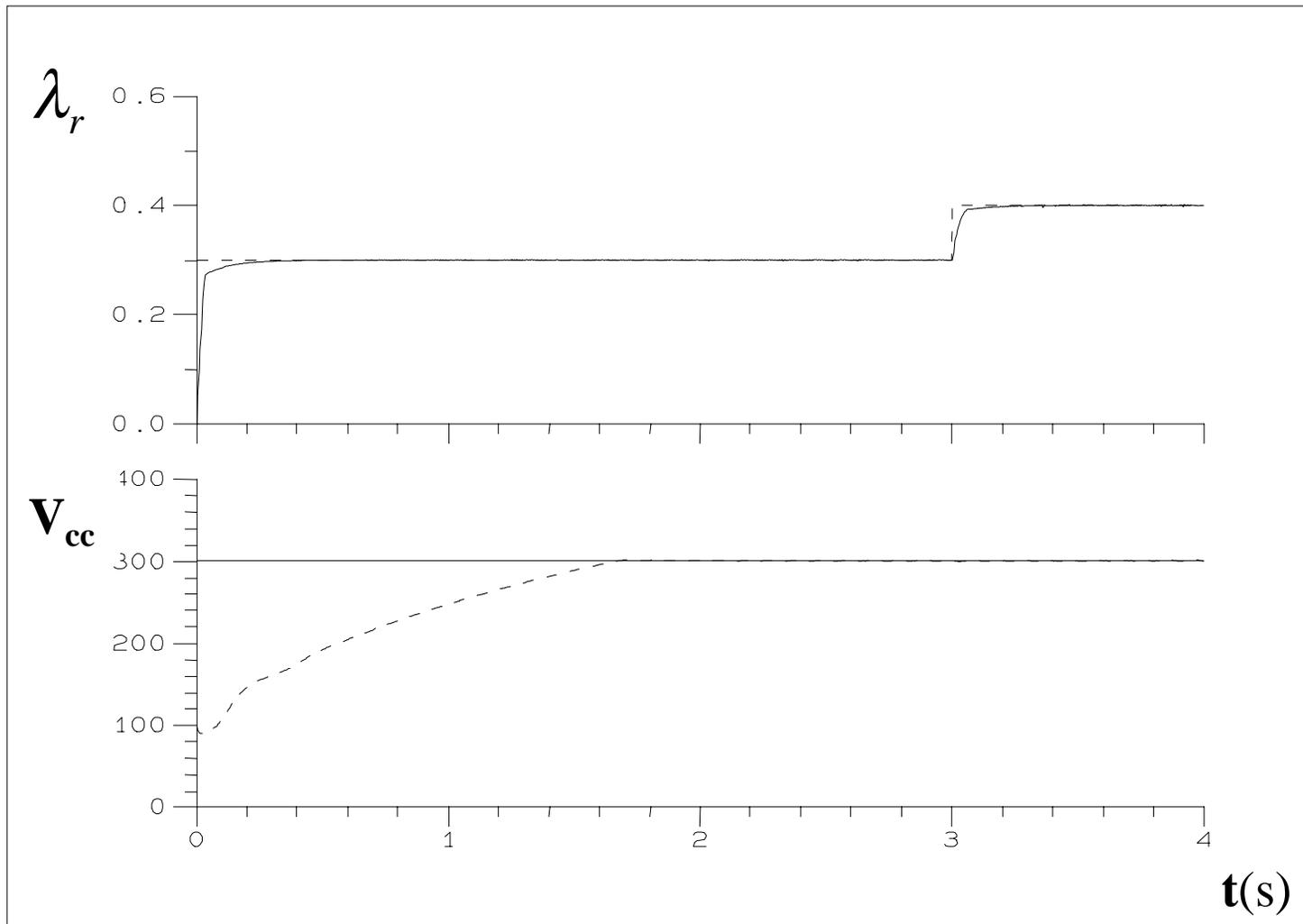
*“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração
Eólica com Máquina de Indução”*



IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

Resultados Experimentais : Controle da tensão V_{cc} e do Fluxo de Rotor





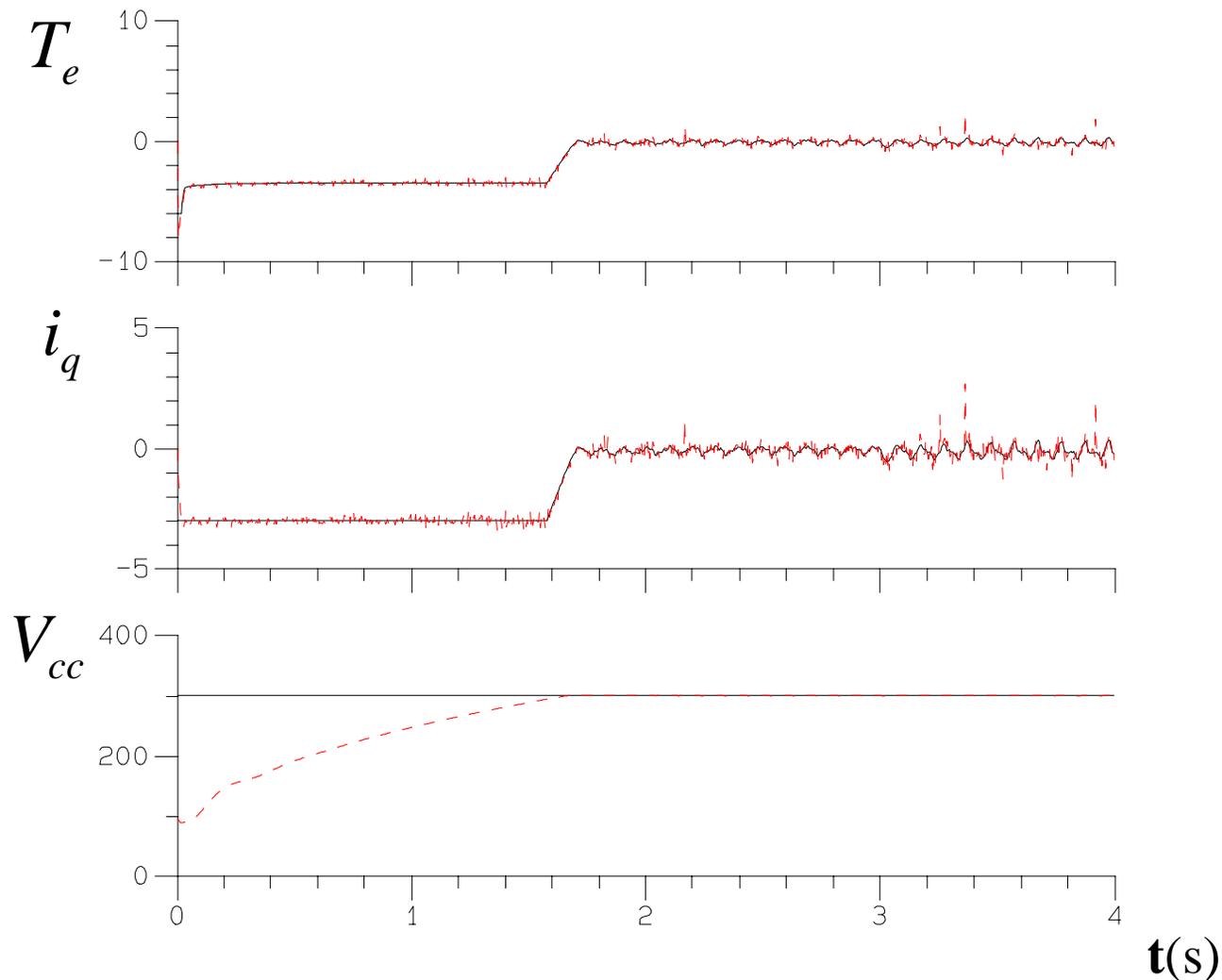
*“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração
Eólica com Máquina de Indução”*



IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

Resultados Experimentais : Controle de I_q e T_e





*“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração
Eólica com Máquina de Indução”*

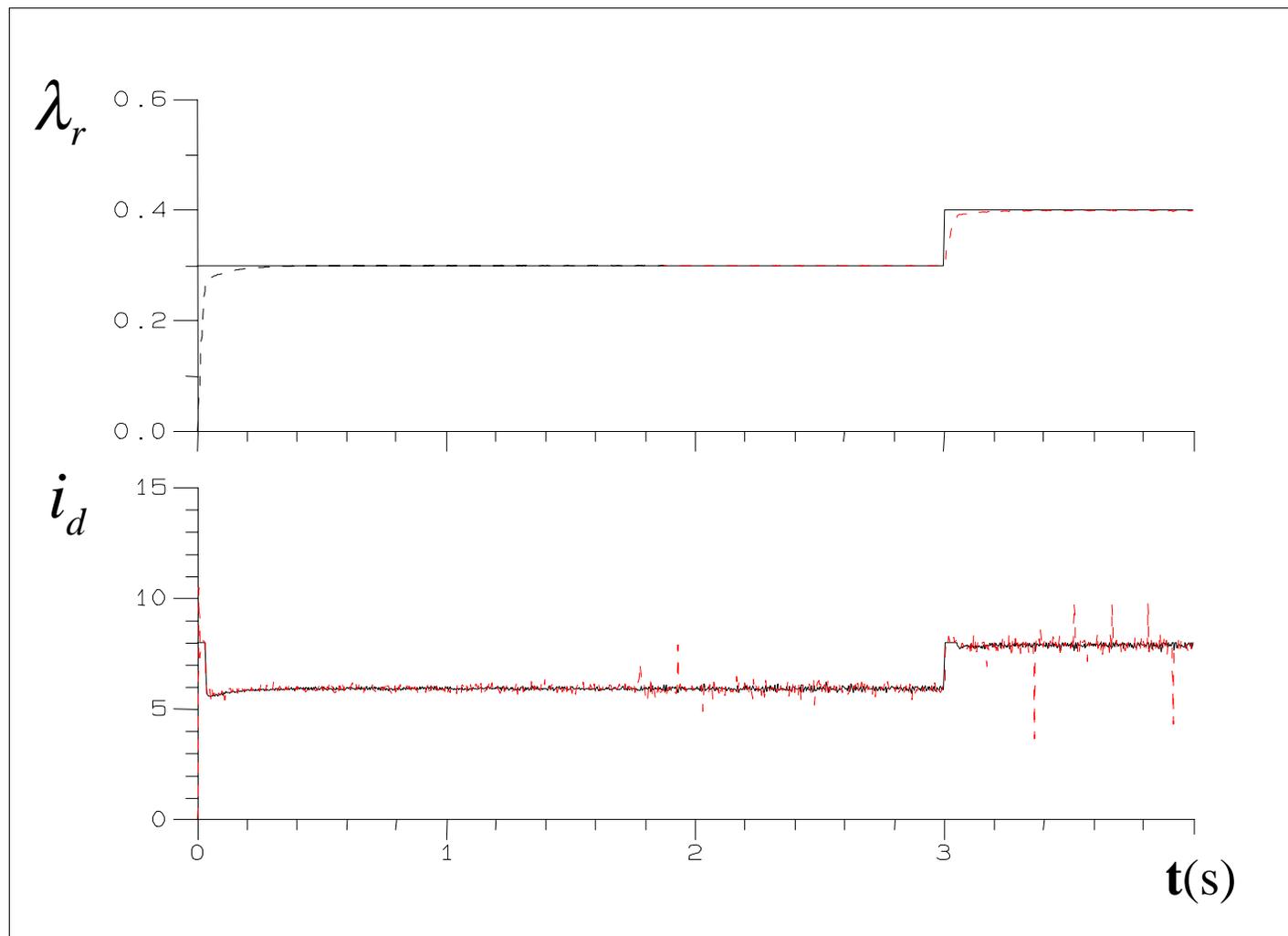


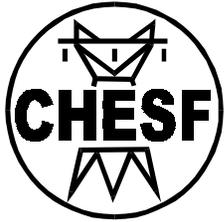
IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

Imposição de Carga Resistiva ao barramento CC de 480 Ohms :

Resultados Experimentais : Controle da corrente de eixo direto (fluxo)





*“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração
Eólica com Máquina de Indução”*

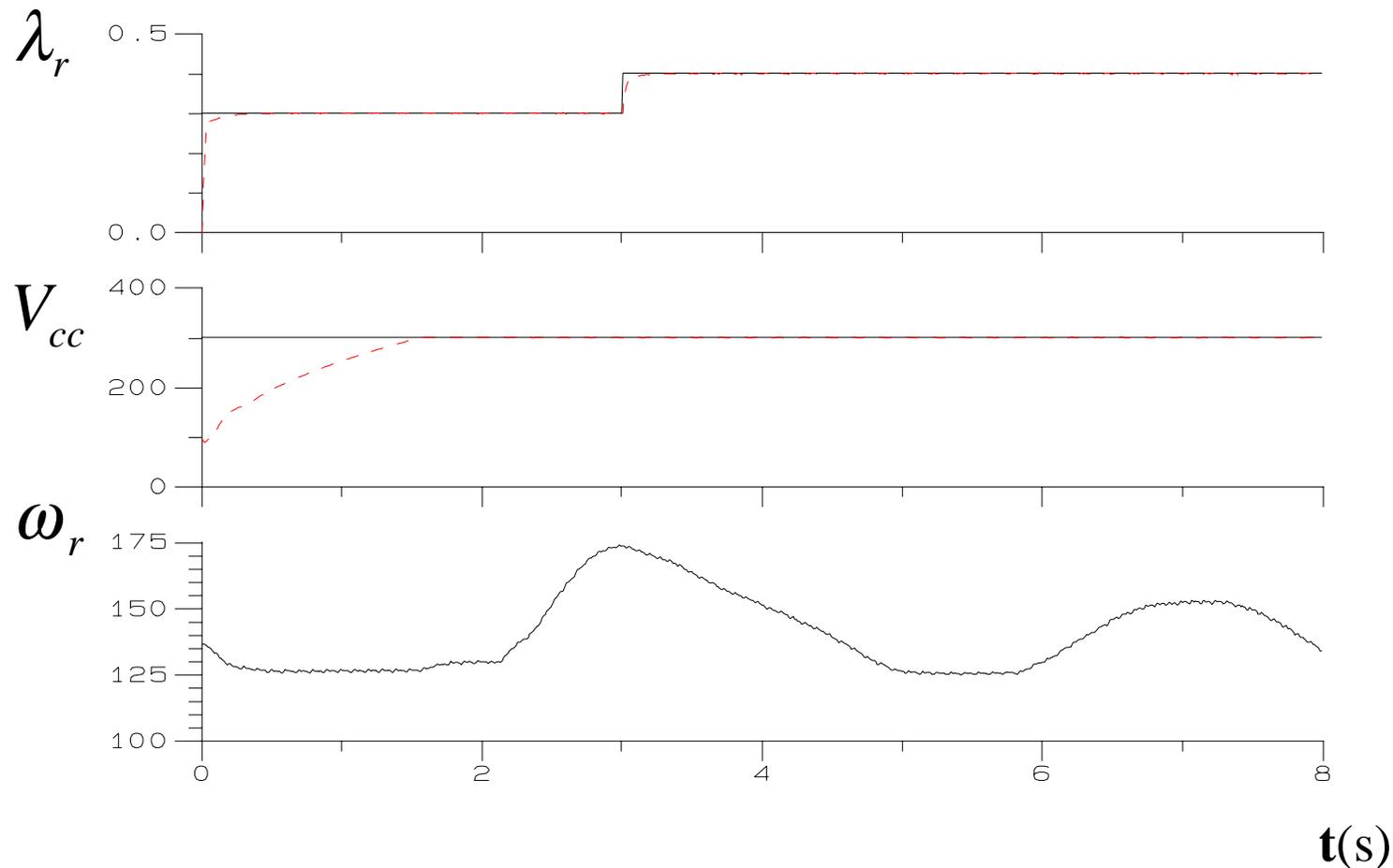


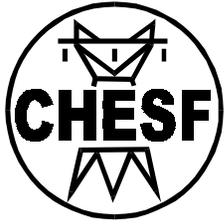
IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Elétricos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

Variação de Velocidade da Máquina:

Resultados Experimentais : Controle da tensão V_{cc} e Fluxo





“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração Eólica com Máquina de Indução”

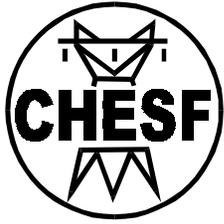


IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Eletrônicos e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

Conclusões :

- Os grandes entraves para Instalações de Geradores Eólicos no Brasil ainda são a falta do domínio Tecnológico;
- O desenvolvimento dos algoritmos de simulação, incluindo três topologias distintas de uso de aerogeradores com máquinas de indução, e o bom desempenho dos controladores permitirão a análise futura do efeito da conexão de centrais eólicas em redes “fracas”. As estratégias de controle vetorial possibilitam o controle dos fluxos das potências ativa e reativa;
- As respostas dos ensaios experimentais foram consideradas satisfatórias, visto que atestaram as boas escolhas de estratégias de controle, métodos de orientação e alimentação;
- Alguns melhoramentos podem ser feitos, como um projeto mais sistemático dos ganhos dos controladores PI, a incorporação de elementos e restrições reais da rede elétrica, e outros.



*“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração
Eólica com Máquina de Indução”*

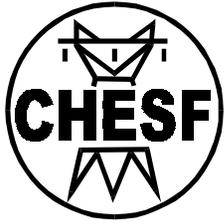


IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Eletricistas e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

Propostas de Estudos :

- Adaptar os algoritmos desenvolvidos para o ATP
 - Incluir rede elétrica e aerogerador com todos os controles
- Obter, a partir de dados de turbinas, características Vvento x Potima
- Avaliar, usando programa em ATP
 - Impacto da injeção de potência pelos aerogeradores na QEE
 - Considerando aproveitamento máximo da turbina
 - Considerando injeção reduzida de P
 - Considerando injeção de Q
 - Definição de limites máximos de geração eólica
 - Propor alternativas para controle de P e Q de modo a minimizar os efeitos sobre a QEE
- É necessária a interação com empresas do setor elétrico (concessionárias, ONS, etc.)



*“Estratégias de Controle para Sistemas de Geração
Eólica com Máquina de Indução”*



IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Eletricistas e
Eletrônicos

“Networking
the World”™

Propostas de Estudos :

- Em relação às estratégias de controle:
 - Avaliar o uso de outros níveis de frequência de chaveamento e amostragem;
 - Melhorar a inicialização do gerador isolado da rede;
 - Análise de outras estratégias de controle, como a DTC;
 - Análise harmônica dos sinais injetados na rede;
 - Realizar ensaios com conversores totalmente controlados CA/CC/CA, incluindo a conexão à rede elétrica;
 - Uso de outros métodos de estimação de fluxo;
 - Aprimorar a montagem realizada, como :
 - Incluir a medição de conjugado (aferir indiretamente o fluxo);
 - Substituir o tacogerador CC por um encoder;
 - Melhorar o projeto e/ou a confecção das placas, cabos, etc., reduzindo os problemas associados a ruídos e interferência eletromagnética.



IEEE Brasil
Instituto dos
Engenheiros
Eletricistas e
Eletrônicos

"Networking
the World"™

IEEE Seção Bahia
Capítulo Conjunto
PES/IAS/PELS
Nordeste 1

*“Estratégias de Controle para Sistemas de
Geração Eólica com Máquina de Indução”*

Apoio :

