

GERADOR EÓLICO

Fredemar Runcos, Engenheiro Eletricista e Físico, formado pela UFPR, Pós-Graduação em Máquinas Elétricas Girantes pela UFSC. Exerce a função de Gerente da Engenharia de Produto da WEG Máquinas, onde são projetados e fabricados Máquinas de Corrente Contínua, Máquinas Síncronas e Máquinas Assíncronas de Grande Porte de Baixa e Alta Tensão. Atualmente é Mestrando na área de Dispositivos Eletromagnéticos pela UFSC.

RESUMO (ABSTRACT):

O vento é o resultado do movimento de massas de ar ao redor da superfície da globo, provocado por diferenças de temperatura e pressão. A energia mecânica dessas massas de ar constitui uma imensa fonte de energia natural que pode facilmente ser transformada em energia elétrica através dos geradores eólicos.

O presente trabalho mostra o funcionamento, em regime gerador, da Máquina Assíncrona Trifásica. O gerador é uma máquina de indução constituída de dois enrolamentos trifásicos, um no estator e outro no rotor.

Através de uma tensão adequadamente imposta ao circuito rotórico, mostra-se que é possível controlar o torque (velocidade) e o fator de potência da máquina, funcionando como gerador.

Na parte final do presente trabalho é mostrado um panorama da energia eólica no mundo e no Brasil e também uma sugestão para otimização de um sistema de energia elétrica, aproveitando adequadamente as diversas fontes naturais de energia disponíveis.

1. INTRODUÇÃO

Desde o início do desenvolvimento industrial, sempre se procurou desenvolver novas tecnologias de acionamento elétrico. Primeiro apareceu o motor de CC, surgindo em seguida o motor síncrono. No final do século passado foi inventado o motor assíncrono trifásico o qual representou um grande avanço no acionamento industrial.

Porém, cada vez mais, o desenvolvimento industrial exigia controles mais precisos de velocidade.

Hoje, com o desenvolvimento da eletrônica e com as novas tecnologias de fabricação de máquinas elétricas girantes, essa necessidade industrial é satisfatoriamente atendida. Com a competitividade é necessário, além de bons acionamentos, se ter acionamento com custos reduzidos.

Na área de geração elétrica não se exigia acionamentos com variação de velocidade. A Máquina Síncrona trabalhando num ponto com rotação fixa, atendia a necessidade de geração elétrica.

Porém, atualmente, com o custo da energia crescendo e a conscientização de preservar o meio ambiente, em todo o planeta é feita pesquisa no sentido de desenvolver acionamentos elétricos (MÁQUINA + ELETRÔNICA) que permitam gerar energia elétrica em uma ampla faixa de velocidade. Esta flexibilidade permite o aproveitamento de formas alternativas de energia, ajudando a preservar o meio ambiente.

Na geração eólica para maximizar a potência na turbina é necessário que ela opere numa faixa de rotação da ordem de $\pm 30\%$ em torno da rotação síncrona. A máquina assíncrona atende muito bem essa exigência quando apresenta no rotor um enrolamento trifásico através do qual é possível se impor uma tensão de controle.

Uma grande vantagem é que a potência necessária do conversor é da ordem de 30% da potência nominal do gerador reduzindo bastante o custo do conjunto gerador + conversor.

Em geral os acionamentos elétricos podem ser classificados como:

1.1 MÁQUINAS COM EXCITAÇÃO ÚNICA

Esse tipo de máquina é constituído por um enrolamento eletricamente conectado a uma fonte de tensão que supre a corrente necessária para a excitação da máquina.

A esse grupo pertencem:

- a) Máquinas CC de Ímã Permanente*
- b) Máquinas Síncrona de Ímã Permanente*
- c) Máquinas de Relutância*
- d) Máquinas de Histerese*
- e) Máquinas Assíncronas com Rotor de Gaiola*

A máquina CC pode ser construída de duas maneiras: o enrolamento de excitação pode estar no rotor ou no estator.

As quatro restantes o enrolamento de excitação está no estator.

Das cinco máquinas desse grupo a Máquina Assíncrona com Rotor de Gaiola é a mais simples, mais confiável (segura) e de menor custo.

1.2 MÁQUINAS COM DUPLA EXCITAÇÃO

Esse tipo de máquina é constituída por dois enrolamentos eletricamente conectados a fontes de tensão que suprem as corrente necessárias para a excitação da máquina.

A principal desvantagem é a necessidade de comutadores ou anéis coletores com escovas, exigindo constante manutenção.

Uma grande vantagem da máquina duplamente excitada é o fato de que ela pode trabalhar tanto em regime de motor como em regime de gerador.

No presente trabalho, iremos estudar a Máquina Assíncrona Trifásica com Rotor Bobinado de Anéis Duplamente Alimentada [MATRADA] funcionando em regime como gerador.

2. CIRCUITO EQUIVALENTE DA MATRADA

2.1 DESCRIÇÃO DA MATRADA

A Máquina Assíncrona Trifásica Duplamente Alimentada (MATRADA) é uma máquina com rotor bobinado e com anéis coletores.

O enrolamento do estator é ligado diretamente na rede, e o enrolamento do rotor é ligado através dos anéis coletores a um conversor de frequência com controle vetorial.

A Figura 2.1.1 mostra o diagrama esquemático da MATRADA.

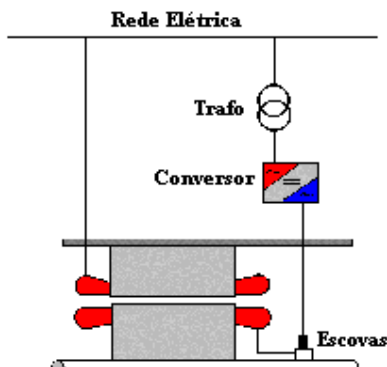


Figura 2.1.1 - Diagrama Esquemático da MATRADA

O conversor está ligado diretamente à rede de alimentação. Nos casos em que a tensão da rede é na faixa de média tensão, para reduzir o custo do conversor este pode ser ligado à rede através de um transformador.

2.2 CIRCUITO EQUIVALENTE

Para a análise do comportamento em regime da MATRADA iremos considerar o circuito equivalente T paralelo. A Figura 2.2.1 mostra o circuito equivalente.

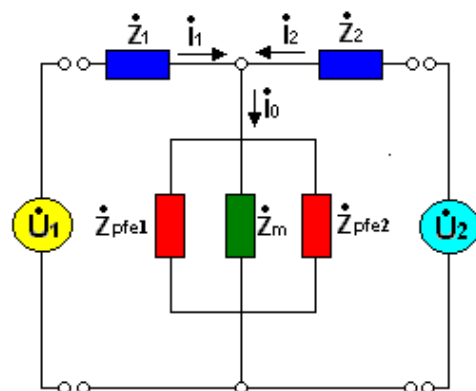


Figura 2.2.1 - Circuito Equivalente T da MATRADA

No texto adotaremos letras **maiúsculas** para os parâmetros referidos ao estator e letras **minúsculas** para os referidos ao rotor.

Os parâmetros do circuito equivalente, são:

$$(\dot{U}_1)$$

- a) Tensão de Fase do Estator
A tensão aplicada ao enrolamento do estator (\dot{U}_1) é considerado de fase e é o fasor de referência.

$$\dot{U}_1 = U_1 \left| \underline{0^\circ} \right. \quad (2.2.1)$$

- b) Impedância de Fase do estator (\dot{Z}_1)
A resistência de fase do estator é referida para 140°C.

$$\dot{Z}_1 = R_1 + j X_1 \quad (2.2.2)$$

- c) Impedância de Fase do Rotor (\dot{Z}_2)
A resistência de fase do rotor é referida para 140°C.

$$\dot{Z}_2 = \frac{R_2}{s} + j X_2 \quad (2.2.3)$$

- d) Impedância Magnetizante (\dot{Z}_m)
Através da impedância magnetizante introduzimos a reatância magnetizante considerada constante para qualquer escorregamento.

$$\dot{Z}_m = 0 + j X_m \quad (2.2.4)$$

- e) Impedância de Perdas no Ferro do Estator (\dot{Z}_{pfe1})
Através desta impedância introduzimos as perdas no ferro do estator no circuito equivalente.

$$\dot{Z}_{pfe1} = R_{pfe1} + j 0 \quad (2.2.5)$$

A resistência de perdas no ferro (R_{pfe1}) é determinado por:

$$R_{pfe1} = \frac{3 E_1^2}{P_{fe1}} \quad (2.2.6)$$

Onde:

E_1 = Tensão no ramo magnetizante medida nos terminais do rotor com rotor bloqueado e o secundário (rotor) aberto.

P_{fe1} = Perdas no ferro medido com a máquina girando em vazio.

- f) Impedâncias de Perdas no Ferro do Rotor (\dot{Z}_{pfe2})

Esta impedância é introduzida no circuito equivalente para levar em conta as perdas no ferro do rotor. A MATRADA pode trabalhar com rotações bem diferentes da nominal e nestas rotações a perda no ferro do rotor não pode ser desprezada.

$$\dot{Z}_{pfe2} = \frac{R_{pfe2}}{s} + j 0 \quad (2.2.7)$$

A resistência das perdas no ferro (R_{pfe2}) é determinada por:

$$R_{pfe2} = \frac{3 E_1^2}{P_{fe2}} \quad (2.2.8)$$

Onde a perda no ferro do rotor (P_{fe2}) é dado por:

$$P_{fe2} = P_{feb} - P_{fel} \quad (2.2.9)$$

Onde:

P_{feb} = Perdas no ferro medida com rotor bloqueado e circuito secundário aberto, aplicando-se ao estator a tensão nominal.

- g) Tensão de Fase Imposta ao Rotor (\dot{U}_2)
A tensão imposta ao rotor é fornecida pelo conversor que é ligado ao enrolamento secundário através dos anéis coletores.

$$\dot{U}_2 = U_2 \left| \underline{\theta_{U2}} \right. \quad (2.2.10)$$

Onde:

θ_{U2} = É a fase da tensão \dot{U}_2

Para referenciar as grandezas do estator para o rotor, usamos as seguintes constantes de transformações:

PARA A TENSÃO

$$ke = \frac{E_1}{e_1} \quad (2.2.11)$$

PARA A CORRENTE

$$ki = \frac{I_2}{i_2} = \frac{I}{ke} \quad (2.2.12)$$

PARA A IMPEDÂNCIA

$$kz = \frac{Z_2}{z_2} = (ke)^2 \quad (2.2.13)$$

2.3 DIAGRAMA FASORIAL DA MATRADA FUNCIONANDO COMO GERADOR

Uma vez definido os parâmetros do circuito equivalente da MATRADA é possível se desenhar o diagrama fasorial.

Para traçar o diagrama fasorial consideramos os seguintes fasores, todos referidos ao estator.

$\dot{U}_1 = U_1$	$\left \begin{array}{l} 0 \end{array} \right.$	Tensão de Fase do Estator (referência)
$\dot{U}_2 = U_2$	$\left \begin{array}{l} \theta_{U2} \end{array} \right.$	Tensão de fase imposta ao Rotor
$\dot{E}_1 = E_1$	$\left \begin{array}{l} \theta_{E1} \end{array} \right.$	Tensão Magnetizante de Fase refletida ao Estator
$\dot{E}_2 = E_2$	$\left \begin{array}{l} \theta_{E2} \end{array} \right.$	Tensão Magnetizante de Fase Refletida ao Rotor
$\dot{I}_1 = I_1$	$\left \begin{array}{l} \theta_{I1} \end{array} \right.$	Corrente de Fase do Estator
$\dot{I}_2 = I_2$	$\left \begin{array}{l} \theta_{I2} \end{array} \right.$	Corrente de Fase do Rotor
$\dot{I}_0 = \dot{I}_0$	$\left \begin{array}{l} \theta_{I0} \end{array} \right.$	Corrente de Fase do ramo em vazio
$\dot{\Phi} = \Phi$	$\left \begin{array}{l} \theta_{\phi} \end{array} \right.$	Fluxo no Entreferro

DIAGRAMA FASORIAL GERADOR DA MATRADA

Uma máquina assíncrona tri fásica trabalha em regime gerador quando a defasagem entre a tensão \dot{U}_1 e a corrente estatórica \dot{I}_1 é em módulo maior que 90°, ou seja:

$$90^\circ < \theta_{I1} < 270^\circ \quad (2.3.1)$$

Na condição acima quando $180^\circ \leq \theta_{I1} < 270^\circ$ Máquina opera como gerador, porém com fator de potência **indutivo**. Quando

$$90^\circ < \theta_{I1} < 180^\circ$$

a máquina opera como gerador, porém com fator de potência **capacitivo**. Para a condição de gerador as potências complexas, ativa e reativa são dados por:

A potência complexa (aparente)

$$\dot{S}_1 = 3 \dot{U}_1 \cdot \dot{I}_1^* \quad (2.3.2)$$

A potência ativa:

$$P_1 = 3 U_1 I_1 \text{Cos} (-\theta_{I1}) \quad (2.3.3)$$

A potência reativa:

$$Q_1 = 3 U_1 I_1 \text{Sen} (-\theta_{I1}) \quad (2.3.4)$$

Na condição da MATRADA operando como gerador pela Equação 2.3.3 temos P_1 sempre negativa, isto significa que a potência flui da máquina para a rede, isto é, esta gerando energia elétrica.

Para a potência reativa temos duas situações possíveis quando a MATRADA opera como gerador, ou seja:

1º) $Q_1 > 0$ (POSITIVO)
Nesta condição significa que a MATRADA está operando como gerador com fator de potência **INDUTIVO**, isto é, os reativos fluem da rede para a MATRADA.

2º) $Q_1 < 0$ (NEGATIVO)
Nesta condição significa que a MATRADA está operando como gerador com fator de potência **CAPACITIVO**, isto é, os reativos fluem da MATRADA para a rede.

A **Figura 2.3.1** mostra o diagrama fasorial gerador da MATRADA, para fator de potência indutivo.

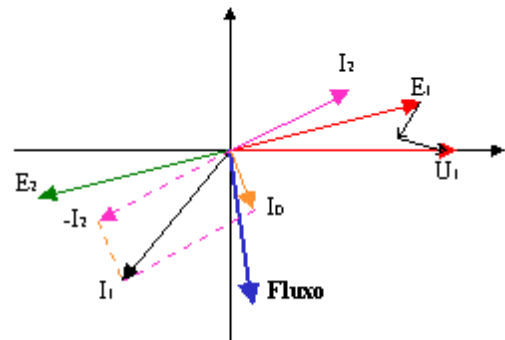


Figura 2.3.1 - Diagrama Fasorial Gerador da MATRADA para FP Indutivo

A **Figura 2.3.2** mostra o diagrama fasorial gerador da MATRADA para fator de potência capacitivo.

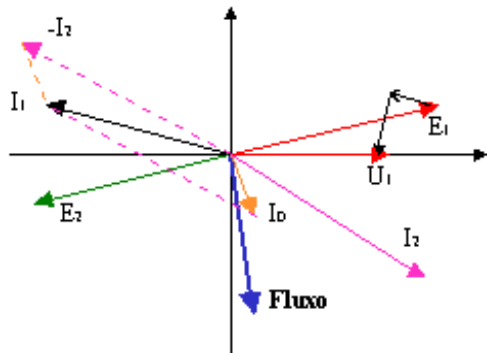


Figura 2.3.2 - Diagrama Fasorial Gerador da MATRADA para FP Capacitivo

Na condição de FP capacitivo a máquina opera em condições térmicas piores porque a corrente rotórica é maior. I_2

2.4 FUNCIONAMENTO EM REGIME GERADOR

A MATRADA funcionando como gerador comporta-se como um dispositivo que transforma energia mecânica em energia elétrica. O fluxo de potência desde o eixo da MATRADA até a rede onde a máquina está conectada é mostrado na **Figura 2.4.1**.

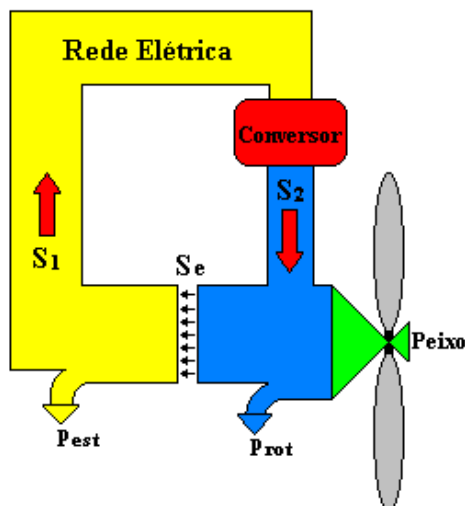


Figura 2.4.1 - Fluxo de Potência da MATRADA Funcionando como Gerador

As potências envolvidas no diagrama da **Figura 2.4.1** são:

\dot{S}_1 = Potência complexa gerada pelo estator da MATRADA e que é fornecida à rede.

\dot{S}_2 = Potência complexa que atravessa o conversor. Esta parcela de potência pode ser absorvida ou fornecida à rede dependendo da condição de trabalho da MATRADA como gerador. Portanto o conversor que interliga o rotor à rede deve ser bidirecional, isto é, deve permitir o fluxo de potência (\dot{S}_2) nos dois sentidos.

\dot{S}_e = Potência complexa eletromagnética que atravessa o entreferro da MATRADA.

P_{eixo} = Potência mecânica no eixo da MATRADA fornecida pela TURBINA EÓLICA.

p_{est} = Representa as perdas

p_{rot} = Representa as perdas

Admitindo que a MATRADA esteja trabalhando em regime gerador e que para uma dada rotação (n) ela deva entregar a rede uma potência $P_I(n)$ com um fator de potência $FP = \cos(-\theta_{II})$ predeterminado, o módulo da corrente estatórica $I_I(n)$ é dada por:

$$I_I(n) = \frac{P_I(n)}{3U_I \cos(-\theta_{II})} \quad (2.4.1)$$

Nesta condição o fasor $\dot{I}_I(n)$ está definido porque conhecemos o seu módulo $I_I(n)$ e seu ângulo de fase θ_{II} , logo:

$$\dot{I}_I(n) = I_I(n) \angle \theta_{II} \quad (2.4.2)$$

Uma vez conhecido $\dot{I}_1(n)$ a corrente no ramo em vazio $\dot{I}_0(n)$ pode facilmente ser determinada a partir do circuito equivalente mostrado na **Figura 2.2.1.**, ou seja:

$$\dot{I}_0(n) = \frac{\dot{U}_1 - \dot{Z}_1 \dot{I}_1(n)}{\dot{Z}_0(n)} \quad (2.4.3)$$

A impedância $\dot{Z}_0(n)$ corresponde a impedância equivalente do ramo em vazio.

A impedância equivalente de perdas no ferro $\dot{Z}_{pfe}(n)$ e dada por:

$$\dot{Z}_{pfe}(n) = \frac{\dot{Z}_{pfe1} \cdot \dot{Z}_{pfe2}(n)}{\dot{Z}_{pfe1} + \dot{Z}_{pfe2}(n)} \quad (2.4.4)$$

Portanto a impedância $\dot{Z}_0(n)$ é dada por:

$$\dot{Z}_0(n) = \frac{\dot{Z}_m \cdot \dot{Z}_{pfe}(n)}{\dot{Z}_m + \dot{Z}_{pfe}(n)} \quad (2.4.5)$$

Finalmente conhecido $\dot{I}_1(n)$ e $\dot{I}_0(n)$ a corrente rotórica $\dot{I}_2(n)$ pode ser calculada:

$$\dot{I}_2(n) = \dot{I}_0(n) - \dot{I}_1(n) \quad (2.4.6)$$

O conversor desempenha o importante papel de impor a tensão $\dot{U}_2(n)$ aos terminais do rotor para garantir o desempenho da MATRADA nas condições de geração predeterminado na rotação (n) .

Baseado no circuito equivalente da **Figura 2.2.1** a tensão imposta pelo conversor $\dot{U}_2(n)$ é dada por:

$$\dot{U}_2(n) = \dot{U}_1 - \dot{Z}_1(n) \dot{I}_1(n) + \dot{Z}_2(n) \dot{I}_2(n) \quad (2.4.7)$$

Referido ao rotor temos:

$$\dot{u}_2(n) = \frac{s(n)}{ke} \cdot \dot{U}_2(n) \quad (2.4.8)$$

Para a rotação (n) o escorregamento $s(n)$ é dado por:

$$s(n) = \frac{ns - n}{ns} \quad (2.4.9)$$

Onde a rotação síncrona ns é função da frequência f_1 do estator e número de par de pólos (P) da MATRADA, logo:

$$ns = \frac{f_1}{P} \quad (2.4.10)$$

A frequência $f_2(n)$ da tensão imposta ao rotor para a rotação $\dot{u}_2(n)$ é dada por: (n)

$$f_2(n) = s(n) f_1 \quad (2.4.11)$$

A corrente $\dot{I}_2(n)$ referida ao rotor e que flui através do conversor é dada por:

$$\dot{i}_2(n) = \frac{1}{(2.ki12)} \cdot \dot{I}_2(n)$$

A potência complexa $\dot{S}_2(n)$ que flui através do conversor fica:

$$\dot{S}_2(n) = 3 \dot{u}_2(n) \cdot \dot{i}_2(n)^* \quad (2.4.13)$$

Portanto a potência ativa $P_2(n)$ fica:

$$P_2(n) = 3 u_2(n) i_2(n) \cdot \text{Cos}(\Theta_{U2} - \Theta_{I2}) \quad (2.4.14)$$

A potência reativa $Q_2(n)$ fica:

$$Q_2(n) = 3 u_2(n) i_2(n) \cdot \text{sen}(\Theta_{U2} - \Theta_{I2}) \quad (2.4.15)$$

Conhecendo-se as perdas estatóricas (P_{est}) é possível se determinar a potência eletromagnética $\dot{S}_e(n)$ que atravessa o entreferro da MATRADA como sendo:

$$\dot{S}_e(n) = \dot{S}_1(n) + P_{est}(n) \quad (2.4.16)$$

A turbina eólica deve fornecer ao eixo da MATRADA uma potência $P_{eixo}(n)$ dada por:

$$P_{eixo}(n) = P_1(n) + P_2(n) + p_t(n) \quad (2.4.17)$$

Onde $p_t(n)$ representam as perdas totais:

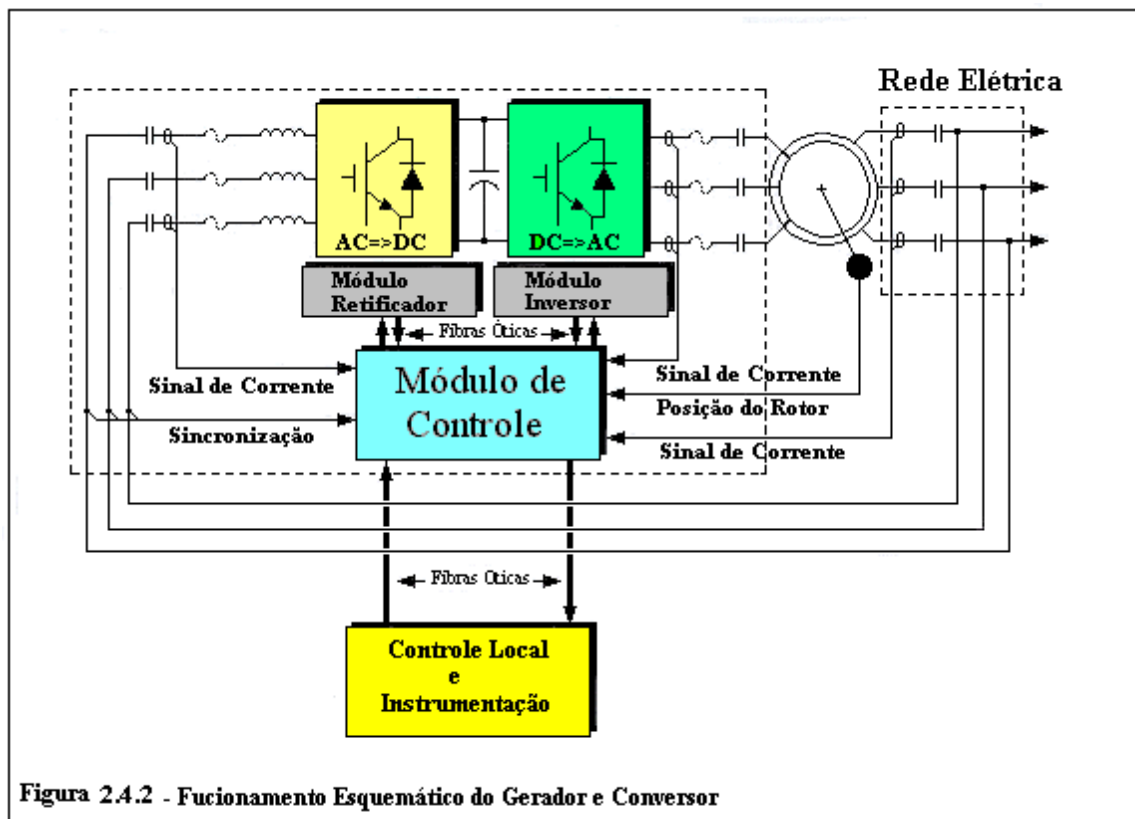
$$p_t(n) = p_{est}(n) + p_{rot}(n) \quad (2.4.18)$$

A potência líquida $\dot{S}_{rede}(n)$ entregue a rede é dado pela soma de $\dot{S}_1(n)$ e $\dot{S}_2(n)$, ou seja:

$$\dot{S}_{rede}(n) = \dot{S}_1(n) + \dot{S}_2(n) \quad (2.4.19)$$

A MATRADA apresenta a importante característica de operar como gerador numa ampla faixa de rotação tanto com Fator de Potência Indutivo ou Capacitivo. Para garantir a operação da MATRADA numa determinada condição imposta, o conversor de frequência deverá impor ao circuito rotórico a tensão $\dot{u}_2(n)$ dada pela Equação 2.4.8.

O objetivo desse trabalho não é mostrar a dinâmica do funcionamento do conjunto Gerador + Conversor, no entanto mostramos na **Figura 2.4.2** o funcionamento esquemático do Gerador e Conversor.



3. A ENERGIA EÓLICA

O desenvolvimento econômico e social de uma nação pode ser medida pelo nível de consumo de energia elétrica.

A energia elétrica nos dias de hoje desempenha um papel importante na vida das pessoas.

Para garantir o desenvolvimento social contínuo além de outros elementos básicos, a energia elétrica deve ser abundante e de baixo custo.

Para atingir este objetivo é necessário saber explorar os recursos **energéticos naturais** de forma racional e inteligente no sentido de maximizar o seu rendimento.

A natureza coloca a disposição do homem várias fontes de energia primária, onde algumas são renováveis e outras não.

Como fonte de energia renovável citamos:

- Hídrica
- Eólica
- Biomassa

- *Solar*

Como fonte não renovável citamos:

- *Gás Natural*
- *Carvão*
- *Petróleo*
- *Nuclear*

Devido a necessidade de preservar o meio ambiente as fontes de energia renovável estão no centro das atenções mundiais.

Alguns governos ao redor do planeta estão incentivando a geração de energia elétrica a partir das fontes de energia renováveis.

De 1994 a 1998 a força do vento foi a fonte de energia primária que maior incentivo recebeu dos governos apresentando o maior crescimento em termos de geração de energia elétrica.

De acordo com a Associação Europeia de Energia Eólica (EWEA) até o ano 2020 serão instalados ao redor do mundo um total de 1,2 milhões de megawatts (100 ITAIPUS) em geração de energia eólica.

Segundo Hans Bjerregard, Presidente do Fórum Dinamarquês para Energia e Desenvolvimento, a Dinamarca está próxima de ter 10% de suas necessidades de eletricidade supridas pela energia eólica. O objetivo do governo é chegar até 50% em 2030, incluindo, para tanto, a captação pioneira de energia em alto mar.

O Brasil tem em abundância as quatro fontes de energia renovável acima citadas.

A **Hídrica** e a **Eólica**, se apresentam em maior quantidade e em melhores condições econômicas de aproveitamento. A **Hídrica** está distribuída no país inteiro.

Com o potencial eólico existente no Brasil, confirmado através de medidas de vento precisas, realizadas recentemente, é possível produzir eletricidade a custos competitivos com centrais termoeletricas, nucleares e hidroelétricas. Análises dos recursos eólicos medidos em vários locais do Brasil, mostram a possibilidade de geração elétrica com custos da ordem de US\$ 40 – US\$ 60 por MWh.

De acordo com estudos da ELETROBRÁS, o custo da energia elétrica gerada através de novas usinas hidroelétricas construídas na região amazônica será bem mais alto que os custos das usinas implantadas até hoje. Quase 70% dos projetos possíveis deverão ter custos de geração maiores do que a energia gerada por turbinas eólicas (ver TABELA abaixo).

Outra vantagem das centrais eólicas em relação as usinas hidroelétricas é que quase toda a área ocupada pela central eólica pode ser utilizada (para agricultura, pecuária, etc.) ou preservada como habitat natural.

POTENCIAL HIDRÁULICO EXISTENTE NA REGIÃO AMAZÔNICA (Total = 261 GW)	CUSTO DE GERAÇÃO ELÉTRICA PREVISTO
33%	< US\$ 40 / MWh
25%	US\$ 40 – US\$ 60 / MWh
14%	US\$ 60 – US\$ 70 / MWh
28%	> US\$ 70 / MWh

Custos Previstos para a Geração Elétrica na Amazônia (Usinas Hidroelétricas Planejadas)

O Brasil poderia ter uma participação efetiva e estratégica no mercado de geração de energia alternativa, através de uma integração da geração eólica com o sistema elétrico atual que é basicamente Hídrico.

Esta integração deveria ser feita através de Geradores Síncronos e Geradores Assíncronos (MATRADA), ver **Figura 3.1** abaixo.

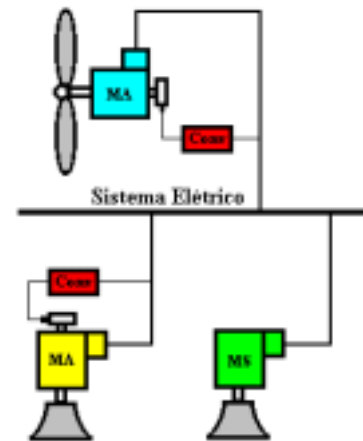


Figura 3.1 - Sistema Elétrico Otimizado

O gerador (MATRADA) mostrado neste trabalho apresenta a capacidade de trabalhar numa ampla faixa de rotação. Esta característica permite a aplicação deste gerador tanto em turbinas eólicas como em turbinas hidráulicas.

Na turbina eólica ele permite a otimização da energia do vento, devido sua flexibilidade na variação de velocidade.

Na turbina hidráulica é possível ajustar a operação do gerador em função da altura monométrica da água disponível no reservatório trabalhando no ponto de rotação onde o rendimento da turbina é máximo e evitando a cavitação que pode danificar a turbina.

Todo kW de energia elétrica gerada por uma turbina eólica economiza uma quantidade equivalente em água no reservatório.

Por outro lado, o Brasil possui milhares de locais isolados onde a eletricidade é gerada através de óleo diesel. Apenas na região Amazônica, mais de 500

comunidades utilizam motogeradores diesel para a geração elétrica com custos de geração entre US\$ 0,20/kWh e US\$ 0,80/kWh. Turbinas eólicas acopladas aos sistemas diesel existentes (sistema híbridos eólico / diesel) podem propiciar uma economia substancial em termos de consumo de combustível, transporte, armazenamento, operação, manutenção e logística, sem contar com a redução da poluição ambiental.

4. CONCLUSÃO

O gerador síncrono é uma máquina excelente para gerar energia elétrica quando a rotação da máquina primária é fixa.

Porém, para os aproveitamentos energéticos onde a máquina primária exige variação de velocidade, a máquina síncrona não é a melhor solução técnica econômica.

A máquina assíncrona é bastante versátil, robusta e de menor custo.

Porém, para aplicação como gerador, a máquina assíncrona de rotor de gaiola apresenta limitações.

O gerador assíncrono de rotor em gaiola apresenta-se tecnicamente e economicamente viável para potências menores que 800 kW.

Para potências maiores o gerador assíncrono com rotor bobinado de anéis duplamente alimentado (MATRADA) apresenta-se como uma solução adequada do ponto de vista técnico e econômico.

A grande vantagem da aplicação da MATRADA em geração eólica é o fato do conversor ser dimensionado para uma potência da ordem de 30% da potência nominal e de tecnologia dominada.

Outra grande vantagem é o fato de trabalhar numa faixa de rotação desde 70% a 130% da rotação síncrona com fator de potência controlado, permitindo desta forma a otimização do rendimento na conversão eletromecânica da energia.

5. BIBLIOGRAFIA

[1] B.Hopfensperger, D.J.Atlinson, “Cascaded Brushless Doubly-Fed Machines for Variable Speed wind Power Generation: na Overview”, Department of Electrical and Electronic Engineering, University of Newcastle, Newcastle upon Tyne, NE1 7RU, Great Britain.

[2] Y. Liau, “Design of A Brushless Doubly-Fed Induction Motor for Adjustable Speed Drive Applications”, GE-Corporate Research and Development Center, Building K1-EP118, P. O. Box 8, Schenectady, NY 12301, USA, IEEE, 1996, pag.850-855.

[3] M. Kostenko & L. Piotrovski, “Máquinas Elétricas, Vol. II, Edições Lopes da Silva, Porto,

1979, Traduzido por Antônio Fernandes Magalhães, pag. 612-621, 694-704.

[4] E. Levi, “Polyphase Motors – A Direct Approach to Their Design”, John Wiley & Sons, Inc., 1984, pag. 98-178.

[5] R. Richter, “Elektrische Maschinen – Die Induktionsmaschinen”, Verlag Birkhäuser AG., Basel, 1954, pag. 315-358.

[6] M. Chilikin, “Electric Drive”, Mir Publishers, Moscow, 1976, pag. 153-169.

\\WMADMNI\DAT\DEPTO\FREDEMAR\MATDA\Texto\Tr-
gere1.doc - 04/02/00