

Avaliação do Comportamento Dinâmico da Rede Eléctrica Portuguesa num Cenário de Grande Integração de Produção Eólica

Pedro Franco Marques⁽¹⁾⁽²⁾, João Abel Peças Lopes⁽²⁾⁽³⁾,
Ângelo Mendonça⁽²⁾, Rogério Almeida⁽²⁾

⁽¹⁾ Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Leiria
marques@estg.ipleiria.pt

⁽²⁾ INESC Porto – Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores do Porto
pjfm@inescporto.pt, jplopes@inescporto.pt, angelo.mendonca@inescporto.pt,
ralmeida@inescporto.pt

⁽³⁾ Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
jpl@fe.up.pt

Resumo

Pretende-se com este trabalho descrever a avaliação do interesse da introdução de aerogeradores dotados de capacidade de *Ride Through Fault Capability* (RTFC) nomeadamente em termos do impacto no comportamento dinâmico do sistema eléctrico Português, e em cenários com elevada integração de produção eólica.

Para tal é feita a comparação de resultados, após a ocorrência de um curto-circuito na rede Portuguesa num cenário de ponta húmida de Inverno, e para casos em que os aerogeradores estão ou não equipados com RTFC.

Como resultados mais relevantes pode dizer-se que a introdução de aerogeradores com capacidade de RTFC aumenta de forma significativa a permanência de geradores ligados no sistema, contribuindo assim para uma maior estabilidade do sistema e para menores valores de importação de potência de Espanha.

Palavras-chave: Gerador de Indução Duplamente Alimentado, Comportamento Dinâmico de Redes, Produção Eólica.

1. Introdução

A introdução de produção de energia eléctrica com base em fontes renováveis nas redes eléctricas é actualmente tema que exige discussão e análise. Uma das áreas de investigação que está em franco desenvolvimento prende-se com o estudo do comportamento dinâmico de redes com uma elevada integração de produção eólica.

Para a realização destes estudos é necessário recorrer à modelização dos diferentes tipos de aerogeradores mais recentemente introduzidos no mercado, concretamente o gerador de indução duplamente alimentado (*Doubly-Fed Induction Generator* – DFIG) [1].

Neste trabalho foi dado particular ênfase à modelização da DFIG de modo a que se pudessem efectuar estudos de qualidade sobre o comportamento dinâmico da Rede Nacional de Transporte (RNT) numa perspectiva Ibérica. Os cenários estudados foram construídos com base no Plano de Investimento da Rede Nacional de Transporte 2004-2009 (PIR 2004-09) [2].

Os resultados obtidos permitem avaliar sobre o comportamento do sistema com elevados níveis de integração de produção eólica, permitindo identificar limites à sua

integração. Para este efeito importa analisar, entre outras, a ocorrência de curto-circuitos em diferentes pontos da rede considerando vários cenários de Produção e de Consumo. A análise do comportamento dinâmico do sistema envolveu também uma modelização prévia de todos os seus componentes e respectivas malhas de regulação. Para os geradores convencionais adoptaram-se os modelos típicos, tendo sido desenvolvido um modelo para o gerador de indução duplamente alimentado. As simulações efectuadas utilizaram o *software* PSS/E [3], tendo sido considerada a totalidade da rede ibérica e suas interligações com Espanha.

2. Modelização dos Aero geradores

2.1 Modelização do gerador de indução duplamente alimentado (DFIG)

A não existência de modelos *standard* para analisar o comportamento dos sistemas de conversão de energia eólica tendo em conta as especificidades do seu controlo é uma das principais dificuldades que se apresenta na realização destes estudos. Conforme já referido anteriormente, deu-se aqui maior ênfase à modelização do DFIG seguindo o modelo físico descrito na Fig. 1. A descrição completa do modelo matemático usado neste estudo é apresentada em detalhe em [1].

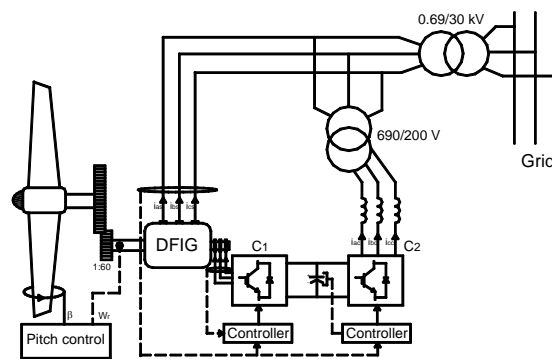


Fig. 1 – Configuração física da turbina eólica acoplada a DFIG e controlada por conversores estáticos.

Os aerogeradores com máquinas assíncronas duplamente alimentadas destacam-se por disponibilizarem capacidades de controlo das potências activa e reactiva injectadas, recorrendo a estratégias de controlo adequadas sem exigir grandes sobre-custos à componente de electrónica de potência.

Neste trabalho, considerou-se que o DFIG é controlado de forma a fornecer: a) potência activa a partir de uma curva pré-definida de extracção de máxima potência; b) potência reactiva para um valor pré-especificado [4].

A filosofia de controlo adoptada assume que o conversor ligado ao rotor do gerador se comporta como uma fonte de tensão controlada e regulada a partir de tensões de controlo, em coordenadas $d-q$, provenientes de controladores PI. Estes, por sua vez, configuram-se numa estrutura em cascata, cujos os blocos externos de ambas malhas de controlo regulam as correntes de referência (i_{qref} e i_{dref}) que são injectadas nos blocos internos por forma a regularem as componentes de controlo v_{qr} e v_{dr} , e por conseguinte, as potências activa e reactiva de saída do gerador, respectivamente. Tal abordagem de controlo é descrita em detalhe na Fig. 2.

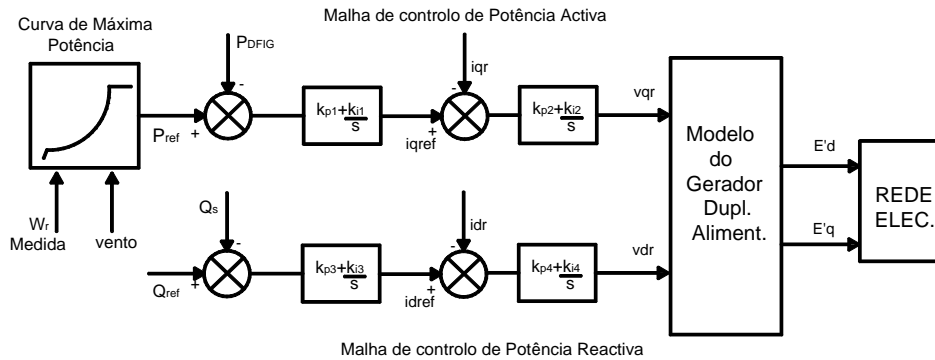


Fig. 2– Malhas de controlo de Potência Activa e Reactiva da DFIG.

2.2 Modelização do Gerador de Indução (IG)

A modelização do gerador de indução (IG) foi feita com base nas equações que são derivadas das equações de *Park*, depois de feitas algumas simplificações. As simplificações mais importantes consistem em desprezar os transitórios do estator devido a estes serem muito mais rápidos quando comparadas com os do rotor [6]. Adoptou-se assim um modelo de terceira ordem para este tipo de máquina.

2.3 Modelização do Gerador Síncrono (SG)

O gerador síncrono de velocidade variável controlado por conversores estáticos foi modelizado recorrendo a um modelo simplificado onde o comportamento mecânico da turbina é desprezado por se admitir que a configuração em cascata de conversores electrónicos que se encontra na saída do gerador filtra a influencia do mesmo, bem como, desacopla o gerador da rede eléctrica. O modelo adoptado recorre a uma fonte controlável de potência activa e reactiva cujas malhas de controlo são em detalhe descritas em [7] e [8].

3. Protecções de Mínimo Tensão

Actualmente em Portugal não existem ainda definidos, de forma sistemática, procedimentos de operação do sistema que permitam acomodar elevados níveis de produção eólica nem requisitos a exigir aos aerogeradores para assegurar maior robustez de exploração [5]. Adoptaram-se então neste estudo as Curvas de RTFC sugeridas pela Rede Eléctrica de Espanha (REE) para a sua proposta de *Grid Code*, conforme está definido na Fig. 3.

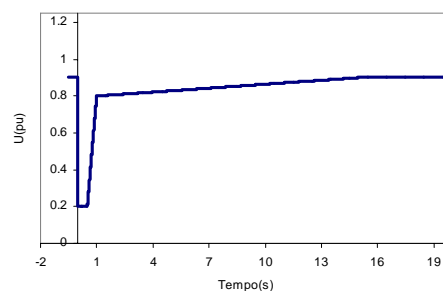


Fig. 3 – Curva de *Ride Through Fault Capacity*.

Tendo em consideração o tipo de situações a analisar e as várias protecções existentes nos diferentes tipos de geradores aqui modelizados foi dada especial atenção à protecção de mínimo de tensão pois será esta que, em principio, será responsável pela saída de serviço dos geradores eólicos aquando de um curto-circuito na rede.

As protecções utilizadas têm em consideração o tipo de tecnologia utilizada, ou seja se as máquinas são do tipo DFIG, IG e SG.

No que diz respeito ao IG, foi considerado que a protecção de mínimo tensão provoca um disparo instantâneo para valores inferiores a 0,9 pu.

Em todos os modelos foi utilizado um atraso da actuação da protecção de 150ms.

4. Cenários de Exploração/Perturbações Simuladas

Na realização deste estudo foram considerados diferentes cenários sendo estes representativos de situações típicas de exploração da rede.

A título de exemplo apresenta-se apenas os resultados do cenário de ponta húmida de Inverno, com base no valor previsto no PIR 2004-2009 tendo-se no entanto aumentado o valor da produção eólica de 1080 para 1200MW (potência eólica instalada de 1600MW). Este último valor foi obtido com base na evolução actual da entrada em serviço de novos parques eólicos, que provavelmente ultrapassará os valores inicialmente previstos no PIR 2004-2009. Para este cenário admitiu-se uma alternativa caracterizada por um nível de importação de 500 MW.

Nesta fase do trabalho a produção eólica foi distribuída de uma forma uniforme pelos 33 pontos injectores definidos no PIR 2004-2009, nas seguintes proporções: DFIG com 50%, 30% de SG e o IG com 20% da potência eólica total gerada.

O cenário estudado foi sujeito a um curto-circuito franco em Valdigem (220 kV) com a duração de 100ms, com e sem RTFC.

Na tab. I, apresenta-se um resumo dos resultados obtidos na simulação do curto-circuito.

TABELA I – RESUMO DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

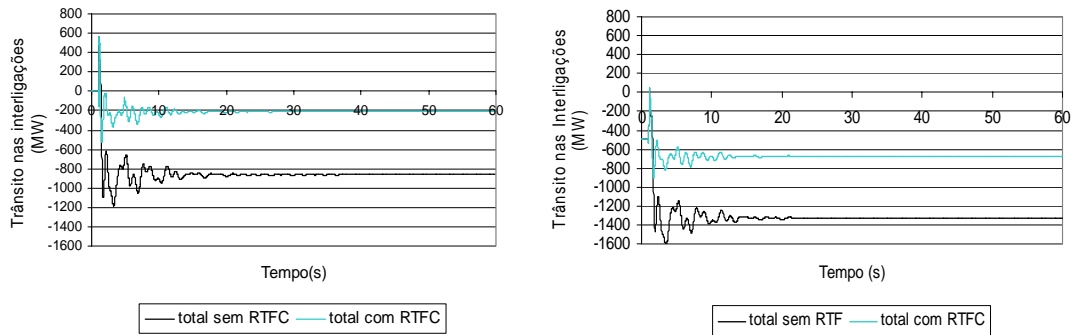
Cenário PHI com 1200 MW de Produção eólica	Com RTFC			Sem RTFC		
	Potência desligada por actuação das protecções (MW)	Trânsito nas interligações com Espanha antes da perturbação (MW)	Trânsito nas interligações com Espanha após perturbação (MW)	Potência desligada por actuação das protecções (MW)	Trânsito nas interligações com Espanha antes da perturbação (MW)	Trânsito nas interligações com Espanha após perturbação (MW)
Sem importação	227	+8	-211	919	+8	-862
	1 parque SG (11MW) 27 parques IG (197 MW) 1parque DFIG (19 MW)			19 parques SG (231MW) 27 parques IG (197 MW) 27 parques DFIG (491 MW)		
Com 500 MW de importação	227	-498	-677	884	-498	-1328
	1 parque SG (11MW) 27 parques IG (197 MW) 1parque DFIG (19 MW)			19 parques SG (231MW) 21 parques IG (162 MW) 27 parques DFIG (491 MW)		

Cenário de PHI com 1200 MW de produção eólica - sem importação

Para o caso de os aerogeradores estarem equipados com RTFC pode concluir-se que a saída de serviço de 227 MW de produção eólica foi compensada pelo aumento da importação, não se tendo verificado, neste caso, qualquer sobrecarga ou alarme em relação aos limites dos trânsitos das interligações. Verificou-se que 96% da potência perdida passa a ser fornecida pelas interligações.

Na situação de as máquinas não estarem equipadas com dispositivos RTFC saem de serviço 919 MW de produção eólica verificando-se que 95% da potência perdida passa a ser veiculada pelas interligações

A ocorrência do curto-circuito provoca oscilações nos trânsitos das interligações sendo estas menores em duração e amplitude quando os aerogeradores estão equipados com RTFC (Fig. 4).

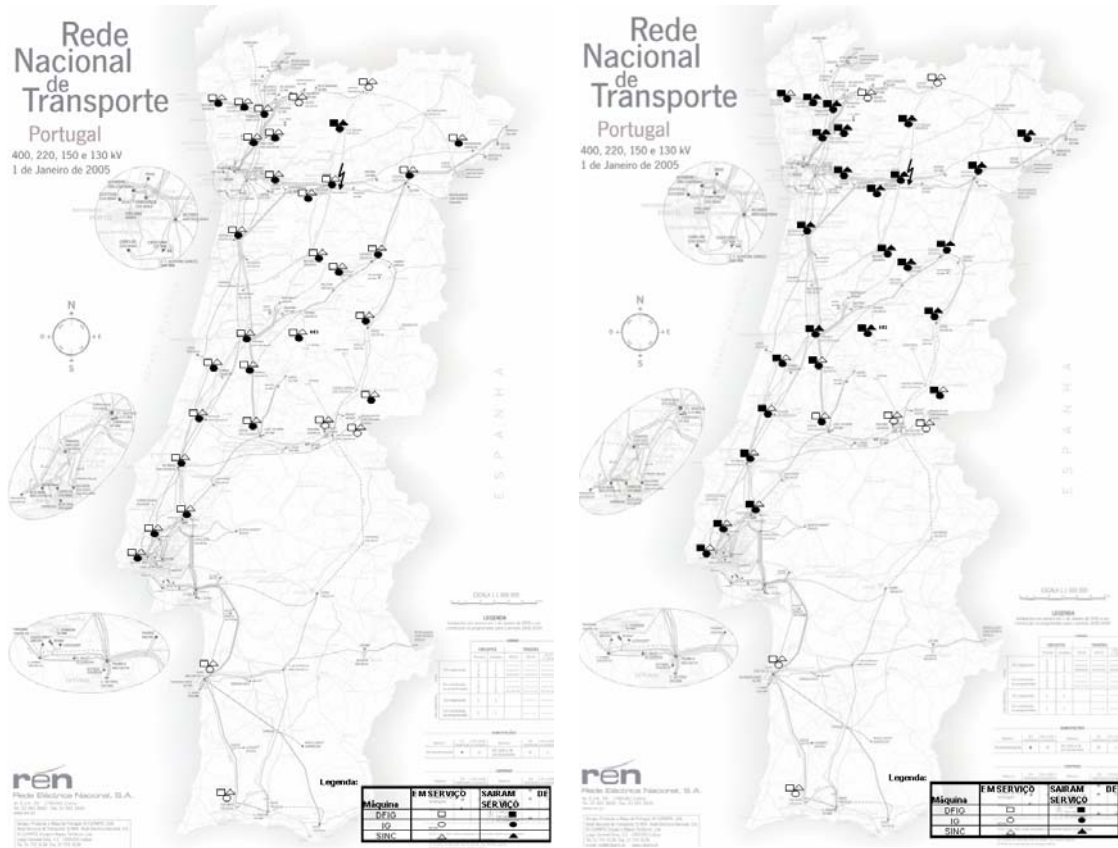


a) sem importação (saldo nulo)

b) com importação de 500 MW

Fig. 4 – Trânsitos nas interligações após a ocorrência de um curto-circuito, com e sem RTFC

Na figura seguinte (Fig. 5) estão representados os parques eólicos que estão ligados nos pontos injectores existentes na rede com indicação do seu estado, ou seja, se o defeito provocado originou ou não a saída de serviço dos diferentes aerogeradores devido à actuação das protecções de mínimo tensão (cenário sem importação).



a) com RTFC

b) sem RTFC

Fig. 5 – Parques eólicos, actuação das protecções

5. Conclusões

Com base nos estudos efectuados podem retirar-se as seguintes conclusões:

Verificou-se que na situação da ocorrência de um curto-circuito e caso os geradores não estejam equipados com RTFC os IG são retirados de serviço em grande número perdendo-se assim uma parte apreciável da produção eólica. O deficit de produção resultante tem influência muito significativa nos trânsitos das interligações podendo em algumas casos (cenários de grande importação) originar situações de sobrecargas nessas linhas ou até instabilidade no sistema.

No caso em que os geradores DFIG estão equipados com RTFC existe uma muito menor perda de produção eólica o que contribui para um aumento da estabilidade do sistema.

É então urgente estabelecer para Portugal um conjunto de requisitos de operação a exigir aos sistemas de conversão eólica, nomeadamente a definição de características das curvas RTFC.

Referências

- [1] R. G. Almeida, J. A. Peças Lopes, J. A. L. Barreiros, “Improving Power System Dynamic Through Doubly-Fed Induction Machines Controlled by Static Converter using Fuzzy Control”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 19, N.º. 4, November 2004.
- [2] Plano de Investimento da Rede Eléctrica Nacional 2004-2009, Rede Eléctrica Nacional, S.A., Novembro 2003.
- [3] Manuais do Power System Simulator for Engineering 27 (PSS/E™-27) from Power Technologies, Inc – PTI, December 2000.
- [4] Kundur, P, “*Power System Stability and Control*”, New York: McGraw-Hill, Inc. 1994.
- [5] Manual de Procedimentos do Gestor do Sistema, REN.
- [6] AG.S. Stavrakakis, G.N. Kariniotakis, “A General Simulation Algorithm for the Accurate Assessment of Isolated Diesel – Wind Turbines Systems Interaction – Part I: A general Multimachine Power System Model”, IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 10, N.º 3, September 1995.
- [7] J.G. Grainger, S.W. de Haan, H. Polinder, W.L. Kling, “Aggregated Modelling of Wind Parks with Variable Speed Wind Turbines in Power System Dynamics Simulations”, In: Conference proceedings of the 14th Power Systems Computation Conference (PSCC), Sevilla, June 24 – 28, 7pp.
- [8] - J. L. Rodríguez-Amenedo, S. Arnalte and J. C. Burgos, “Automatic Generation Control of a Wind Farm With Variable Speed Wind Turbines”, IEEE Trans. on Energy Conversion, vol. 17, No. 2, June 2002.