Produção Distribuída e Energias Renováveis
-
Microgeração e Microgrids

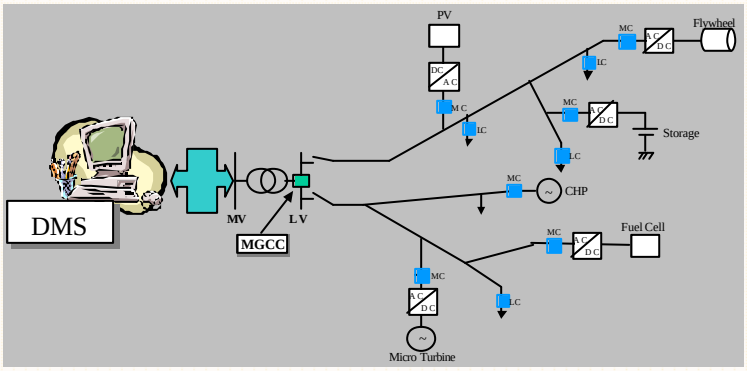
J. A. Peças Lopes

Universidade do Porto
FEUP Faculdade de Engenharia

Introdução

- **A exploração extensiva de microfontes:**
  - Integração na rede eléctrica;
  - Sistemas isolados.
- **Desenvolvimento de um novo conceito:**
  - Microgrids (Micro-redes);
  - Autonomia de sistemas isolados;
  - Gestão e controlo da micro-rede;
- **Desenvolvimentos tecnológicos significativos;**
- **Novos conceitos de operação, resultantes da presença de conversores electrónicos, como interface com a rede.**

O Conceito da MicroGrid



MGCC – Micro Grid Central Controller;

MC – Micro Source Controller;

L C – Load Controller.

Um novo paradigma - MicroGrids

- **As MicroGrids podem operar:**
  - **Modo interligado "normal" :**
    - Ligadas à rede de MT;
    - Alimentar, (parcialmente), as cargas ou injectar para a rede de MT;
  - **Mode de Emergencia:**
    - No caso de falha da rede de MT;
    - Possibilidade de operação em modo isolado:
      - » Transição para modo isolado;
      - » Load following;
    - Neste caso, o MGCC modifica o controlo dos geradores de dispatch power mode para frequency mode;
      - » Controlo primário – MC e LC;
      - » Controlo secundário – MGCC;
    - Eventualmente, arranca com uma função de black start.

Melhora a continuidade de serviço

Desenvolvimento de Modelos de Microfontes

- **Modelos para:**
  - Inversores
  - Microturbinas (single shaft and split-shaft);
  - Fuel cells (SOFC);
  - PV arrays;
  - Geradores eólicos;
  - Pequeno Diesel;
  - Flywheels;
  - Baterias;

  } Dispositivos de armazenamento

  - Controlos de tensão e frequência.
  - Cargas controláveis.

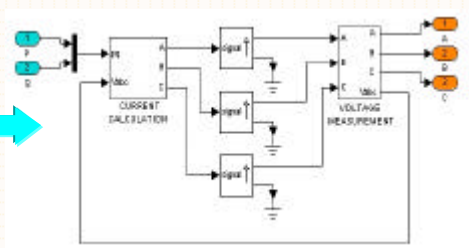
  - Micro CHP;

Modelização de Inversores

- **Fonte de corrente controlada por tensão (seguindo uma referência em tensão – single master), PQ controle, (com controlo de frequência):**

$$I_a = \frac{P}{\sqrt{3}U_n \times \cos j}\sin(wt + j)$$

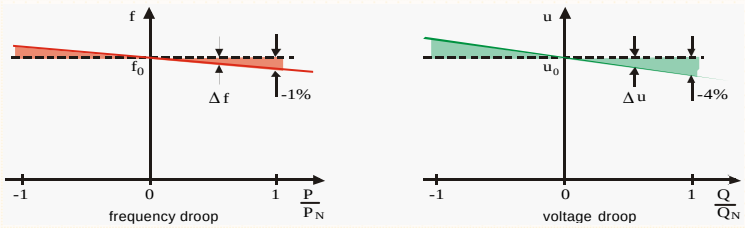
$$j = \arctan\left(\frac{Q}{P}\right)$$



- **Fonte de tensão com frequência e amplitude definida localmente por malhas de controlo local (multi-master):**
  - Vários controlos individuais locais (droops + controlo secundário)
  - Controlo sobre uma única fonte – actuando como master source – com controlo PQ nas outras microfontes.

Controlo de frequência e tensão

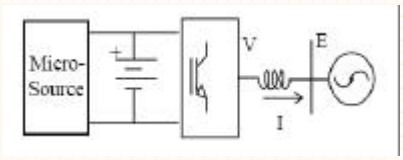
Em modo de rede isolada, os micro-geradores participam na regulação de tensão e frequência usando o conceito de "droop" de frequência e tensão.



A frequência dos inversores precisa de ser mudada (função da carga) para assegurar uma adaptação automática dos outros inversores à mudança de carga.

Princípio de controlo da fonte de tensão de um inversor

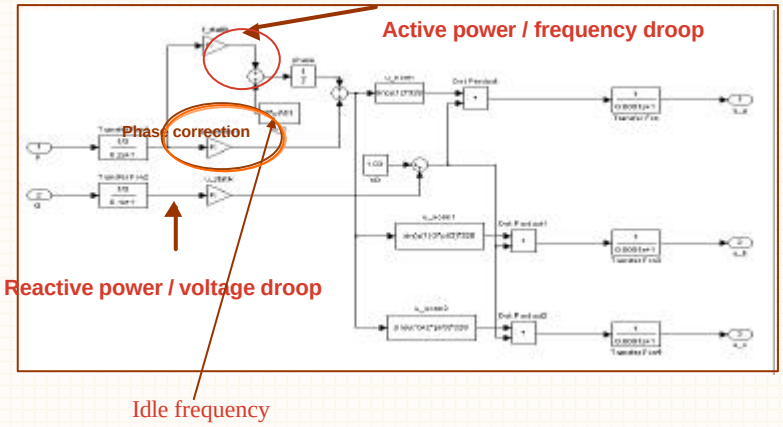
- **Apesar de não existir a equação do movimento (swing equation) para definir o valor do ângulo de potência, o controlo é definido mudando o ângulo dp (de um rotor fictício):**



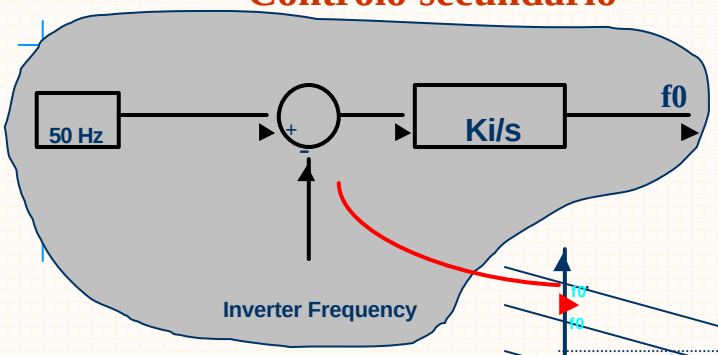
$$P = \frac{3VE}{2\omega L} sin\delta_p$$

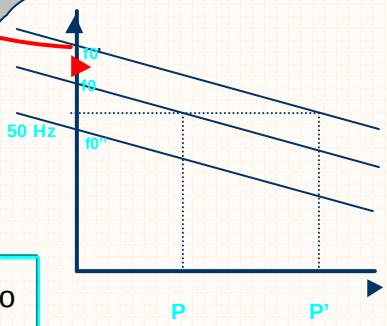
$$V_a = |V| cos(\omega t + \delta_v)$$

Modelo de uma fonte de tensão trifásica (Sistema equilibrado)



Controlo secundário



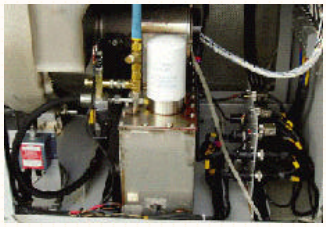


Ajustando a potência de saída
Mudando a idle frequency f0, f0',…

Muito importante para o funcionamento de redes isoladas com storage

Exemplo: Microturbina

Microturbina Bowman de 80 kW el



Gerador

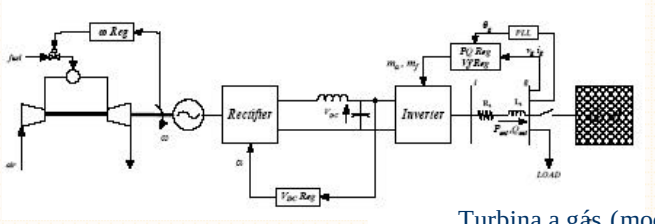
Microturbina Turbec de 100 kW el

Desenvolvimento de modelos de Microfontes

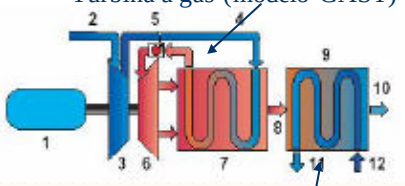
- **Microturbinas:**
  - Single-shaft (alta velocidade, gerador síncrono de imans permanentes, conversor electrónico para interface com a rede); Velocidades típicas entre 50.000 a 120.000 rpm.
  - Split-shaft (com caixa de velocidades e gerador de indução); velocidade típica: 3.000 rpm.

Desenvolvimento de modelos de Microfontes

- **Microturbina**



Turbina a gás (modelo GAST)

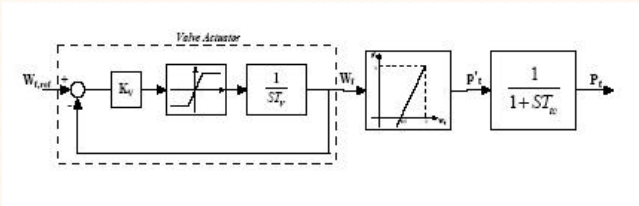


Tipos de controlo:
- -Velocidade;
- -Tensão link DC
- -Inversor (P,Q ou fonte de tensão).

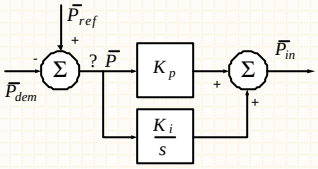
Recuperação de calor

Desenvolvimento de modelos de Microfontes

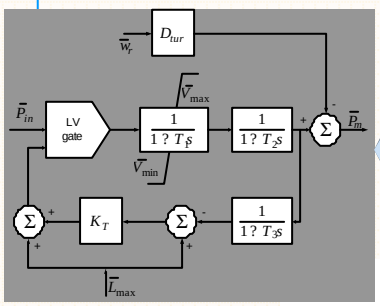
- **Controlo de velocidade da microturbina**

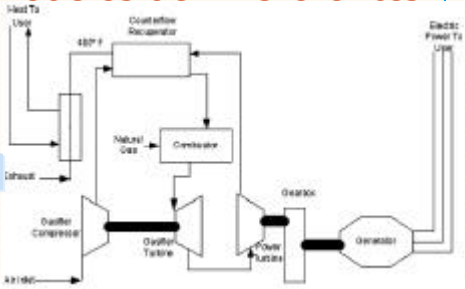


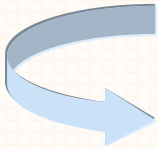
- **Controlo de potência**



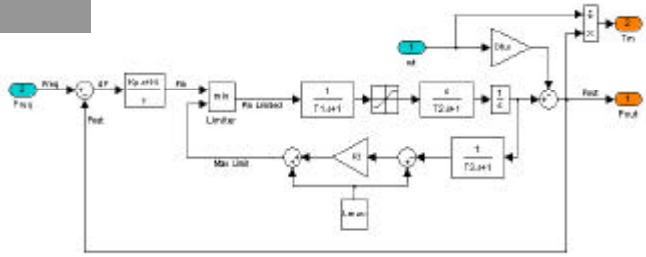
Desenvolvimento de modelos de Microfontes







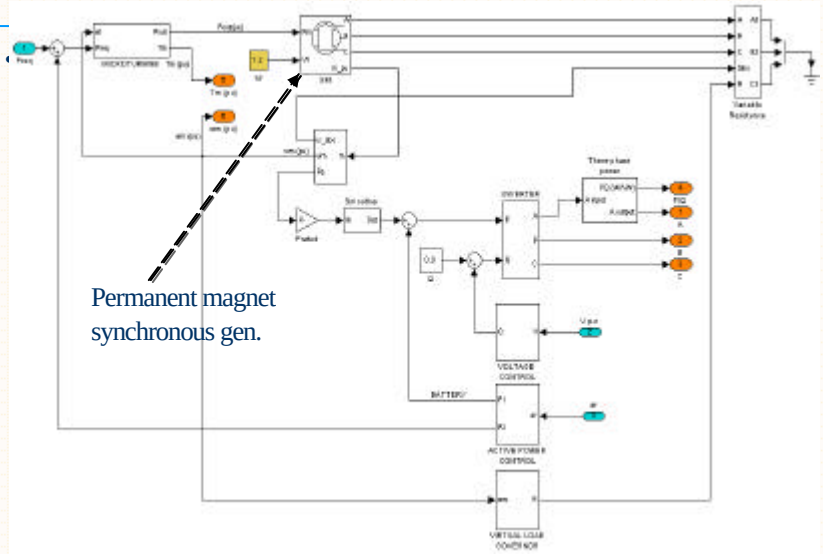
Microturbina



Desenvolvimento de modelos de Microfontes

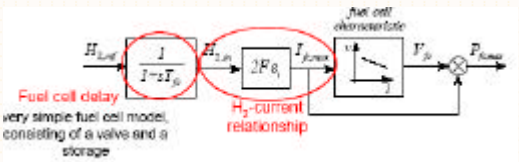
- **Referências interessantes:**
- **Y. Zhu, K. Tomsovic, Development if models for analysing load-following performance of microturbines and fuel cells, Electric Power Systems Research 62 (2002) 1-11.**
- **M. Nagpal, A. Moshref, G.K. Morison, et al., Experience with testing and modelling of gas turbines, Proceedings of the IEEE/PES 2001 Winter Meeting, Columbus, Ohio, USA, January/February 2001, pp. 652-656.**
- **L.N. Hannett, G. Jee, B. Fardanesh, A governor/turbine model for a twin-shaft combustion turbine, IEEE Trans. Power Syst. 10 (1) (1995) 133-140.**

Desenvolvimento de modelos de microturbinas



Desenvolvimento de modelos de FC

- **Modelo simples de uma Fuel-cell**



Equação de Nerst:

$$V_{fc}^{r} = N_0 \cdot \left[E_0 + \frac{R \cdot T}{2 \cdot F} \left(\ln \frac{p_{H_2} \cdot p_{O_2}^{1/2}}{p_{H_2O}} \right) \right] - r \cdot I_{fc}^{r}$$

Desenvolvimento de modelos de FC

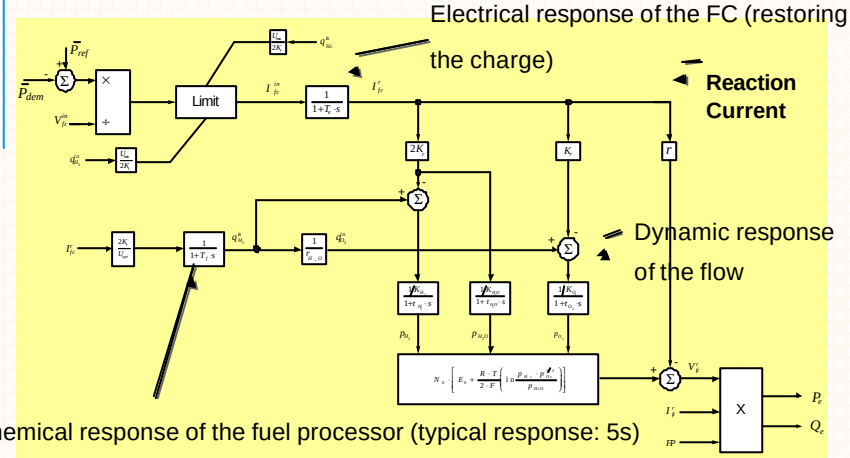
- **onde:**
  - E_0 é a tensão associada à energia de reacção livre (V)
  - $p_{H_2}; p_{O_2}; p_{H_2O}$ pressões parciais dos componentes (N/m2)
  - N_0 número de células
  - r resistência eléctrica interna fa FC (O)
  - I^r_{fc} Corrente de reacção (A)
  - R constante universal dos gases (J/mol K)
  - T teperatura do canal (assumida como constante) (K)
  - F Constante de Faraday (Coulomb/mol)

Desenvolvimento de modelos (FC- SOFC)

- **Nerst equation plus the Ohm law**

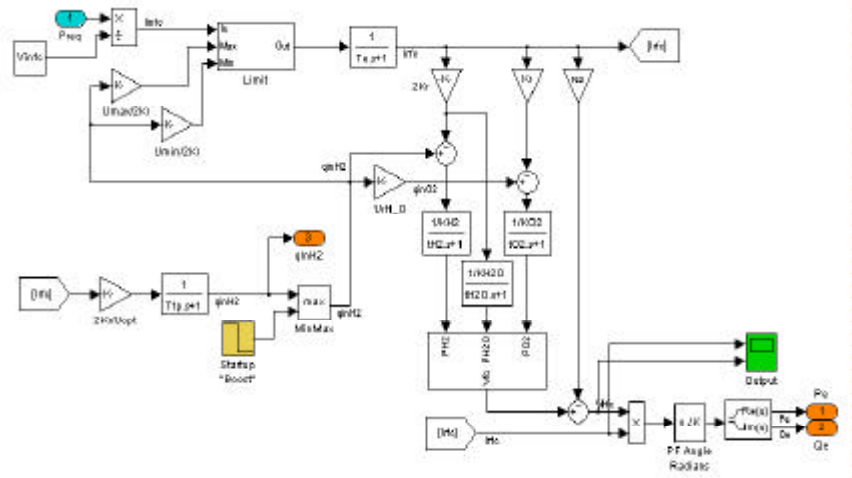
$$V^r_{fc} = N_0 \cdot \left[E_0 + \frac{R \cdot T}{2 \cdot F} \left(\ln \frac{p_{H_2} \cdot p_{O_2}^{1/2}}{p_{H_2O}} \right) \right] - r \cdot I^r_{fc}$$

Electrical response of the FC (restoring the charge)



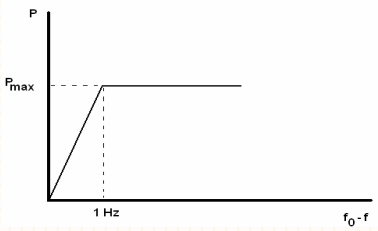
Chemical response of the fuel processor (typical response: 5s)

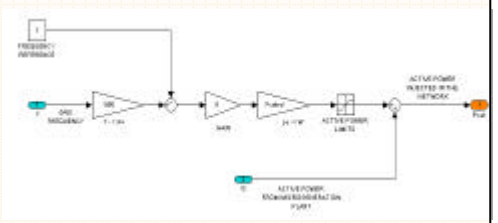
Desenvolvimento de modelos (FC- SOFC)



Modelização de dispositivos de armazenamento

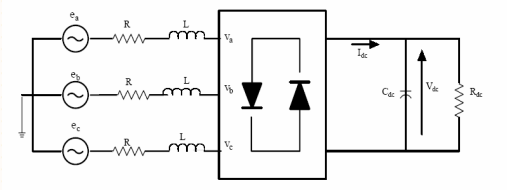
- **Modelização de baterias:**
  - Fonte de tensão com energia limitada (admitindo que a energia é utilizada apenas durante alguns segundos / minutos);
  - Utilizando uma característica P-f do tipo:





Modelização de dispositivos de armazenamento de energia

- **Modelo da Flywheel**

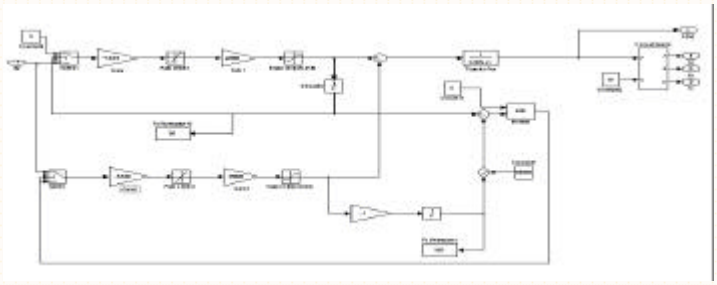


  - Fonte de tensão constante (desprezando o comportamento do inversor);
  - Injectando ou absorvendo potência activa de acordo com o desvio de frequência (definido por um esquema de controlo proporcional);
  - Inclusão de um limite para a energia cinética que pode ser fornecida pela flywheel;

Mestrado em Engenharia Electrotécnica e Computadores
PDER

Modelização de dispositivos de armazenamento de energia

- **Modelo desenvolvido para a *flywheel* em MatLab Simulink**



2004/2005

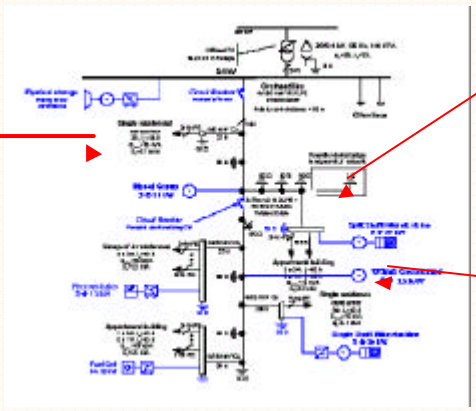
Deslastre de carga

- Um esquema de deslastre necessita de ser implementado para ajudar ao restabelecimento da frequência;
- As acções de deslastre dependem do desvio de frequência:

Frequency Deviation (Hz)	Percentage of Load Shedding (% of total load)
0.25	30
0.50	30
0.75	20
1.00	20

- Um atraso na actuação dos relés frequêncimétricos pode ser incluído para evitar disparos intempestivos.

Rede de BT da NTUA

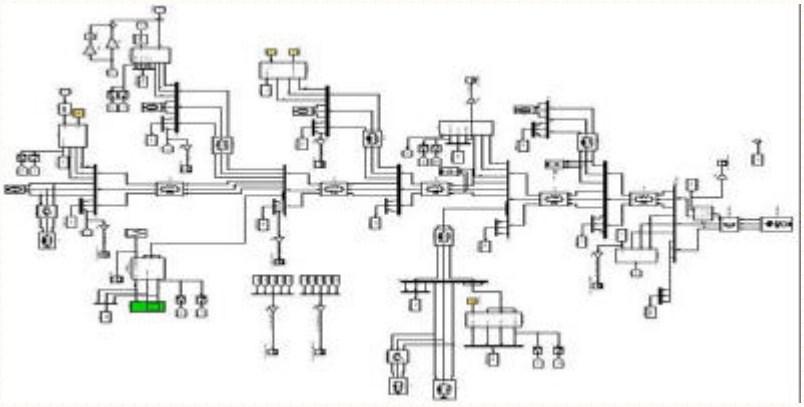


Diesel Group

Fully Controllable Load (for load-shedding)

Wind Generator

Plataforma de simulação



Alguns resultados

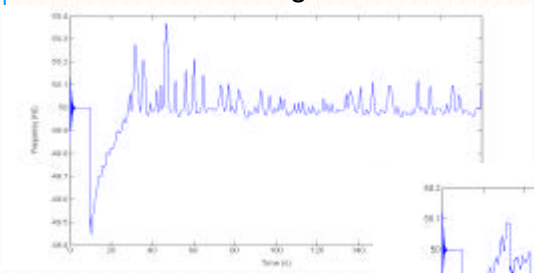
- **Foram considerados 3 cenários de operação:**

	Total Load		Total Distributed Generation	
	P (kW)	Q (kvar)	P (kW)	Q (kvar)
Scenario 1	100	22	49	12
Scenario 2	92	24.5	72	3.5
Scenario 3	76	18	115	-92

- **Transferência intencional para rede isolada**
- **Regime varável de produção eólica**.

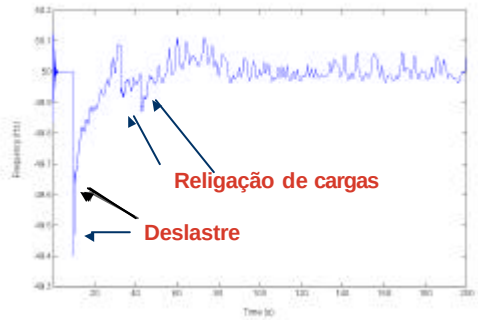
Tranferência para rede isolada

Resultados – Single Master

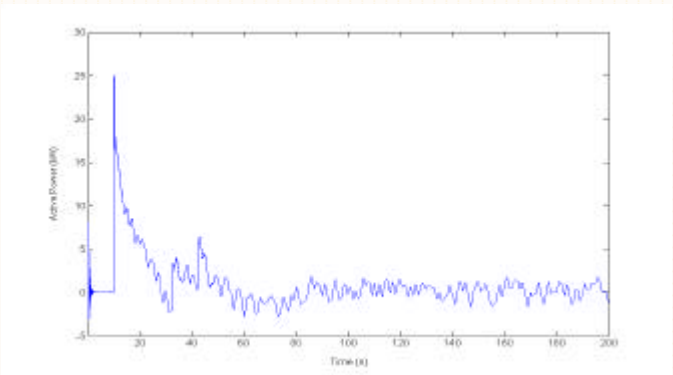


- Com deslastre de carga
- Com Flywheel

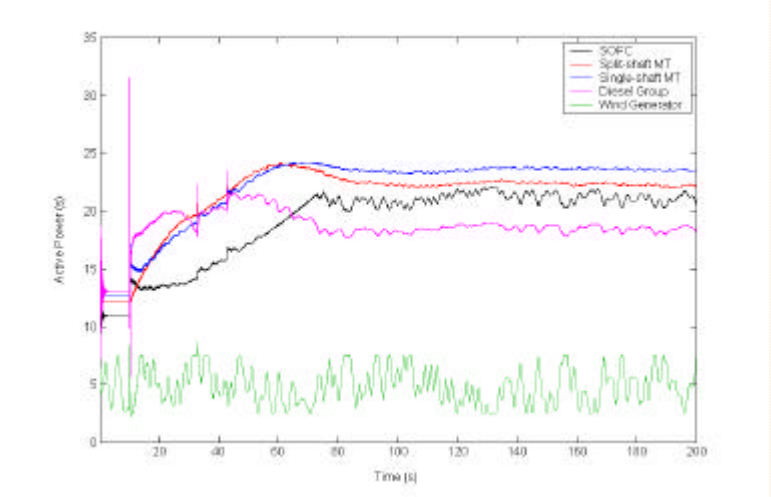
- Sem deslastre
- Com baterias de acumuladores



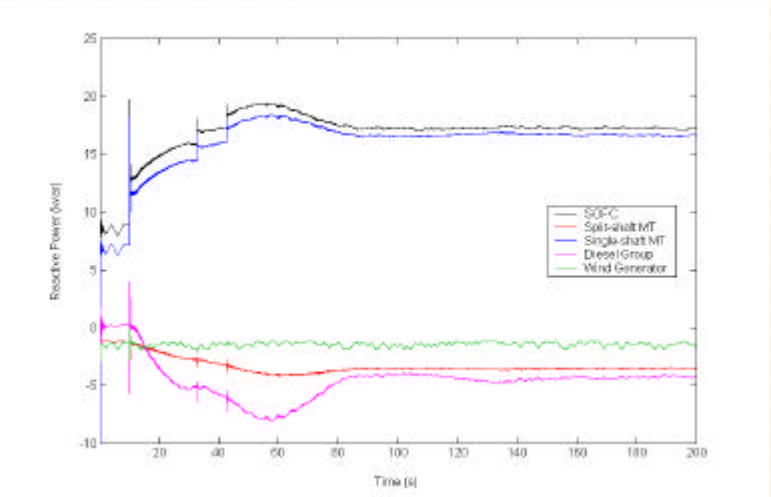
Potência activa da flywheel



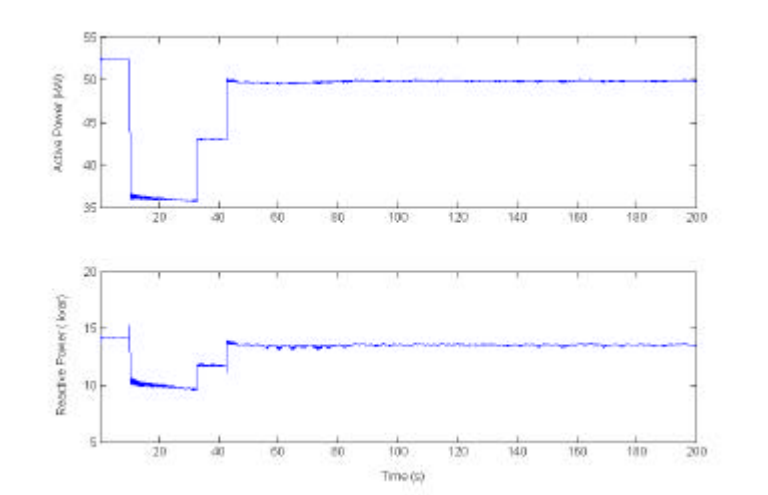
Potência activa gerada em várias micro-fontes



Potência reactiva gerada em várias micro-fontes

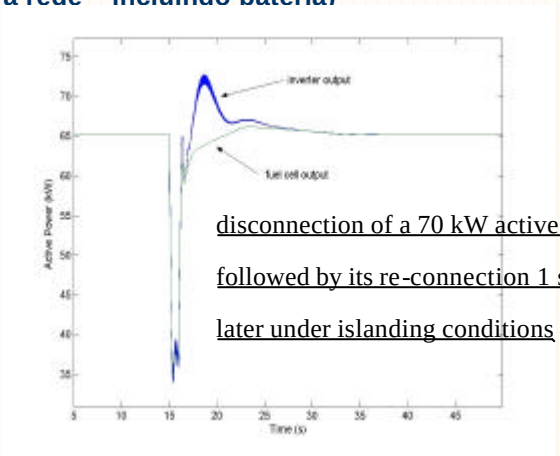


Actuação do deslastre de carga



Comportamento dinâmico após "islanding"

- **Comportamento da microfonte (SOFC e potência total entregue à rede – incluindo bateria)**



disconnection of a 70 kW active load, followed by its re-connection 1 second later under islanding conditions

Conclusões

- **O desenvolvimento do conceito de microrede requer o desenvolvimento de estudos de simulação dinâmica. Estes estudos requerem modelos adequados para representar as microfontes. Neste tipo de simulações temos:**
  - o interface electrónico não necessita de ser modelizado, sendo apenas requerida a modelização do controlo do sistema;
  - o deslastre frequencimétrico necessita de ser incluído na modelização;
  - devem ser estudados novos sistemas de protecção.

Conclusões

- **Standardização das soluções de ligação à rede (tipo de conversor e protecções);**
- **As companhias distribuidoras devem preparar-se tecnicamente para acomodar este tipo de produção nas suas redes de BT;**
- **Necessidade de futuramente definir alguma regulamentação para permitir a integração na rede pública desta produção.**

Estudo e desenvolvimento do conceito de micro-rede