

Característica potência ativa-frequência/potência reativa-tensão de um gerador síncrono

Todos os geradores possuem uma máquina prima ou máquina motriz, que é a fonte de energia mecânica: turbina a gás, turbina hidráulica, turbina acionado a petróleo ou turbinas eólicas, etc. Na figura a seguir, mostra-se o gerador junto com a sua máquina prima e dois de seus principais controladores: o regulador de tensão e o regulador de velocidade.

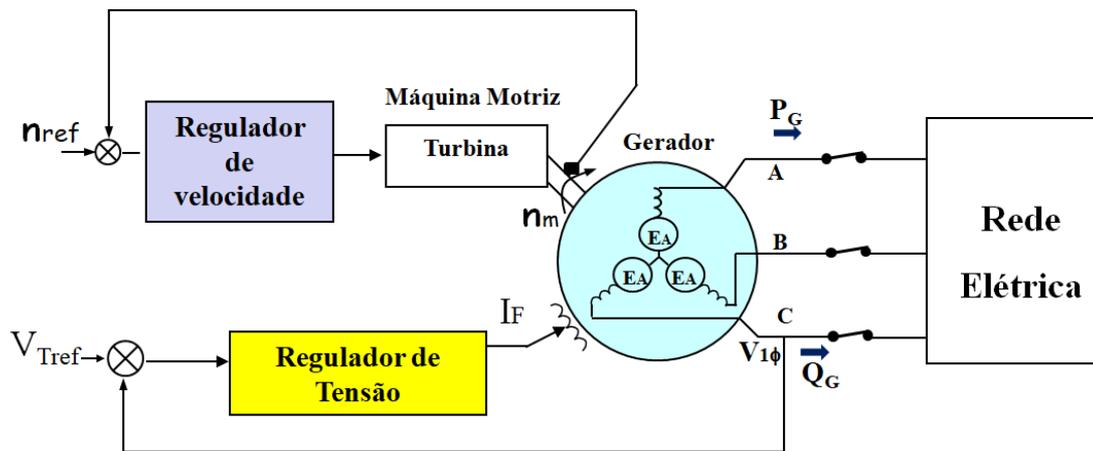


Fig1: Principais controles da máquina síncrona.

Independente da fonte de energia, a máquina prima tem uma característica similar – **quanto mais potência é solicitada, a velocidade tende a diminuir**. Esta diminuição em geral não é linear, mas um mecanismo chamado regulador de velocidade (ou governador) é incorporado para tornar esta característica linear e permitir que pequenas variações da velocidade com a variação da carga.

O desvio de velocidade é (SD) ou (queda de velocidade ou regulação de velocidade) da máquina prima é definido como:

$$SD = \frac{n_{nl} - n_{fl}}{n_{fl}} \cdot 100\%$$

n_{nl} = velocidade mecânica do motor primo em vazio em RPM (no load)

n_{fl} = velocidade mecânica do motor primo a plena carga em RPM (full load)

Observe que SD também pode ser dado em função da frequência, desde que a velocidade mecânica e a frequência são proporcionais.

O desvio de velocidade ou queda de velocidade de uma máquinas motriz tipicamente variam entre 2 a 4%.

Pelo fato que a velocidade do eixo está relacionada com a frequência elétrica pela equação $f_e = \frac{n_m p}{120}$ (sendo n_m a velocidade do eixo dada em RPM e p o número de polos), a potência de saída está relacionada a frequência. Na figura 2, mostram-se as características potência por velocidade mecânica e por frequência.

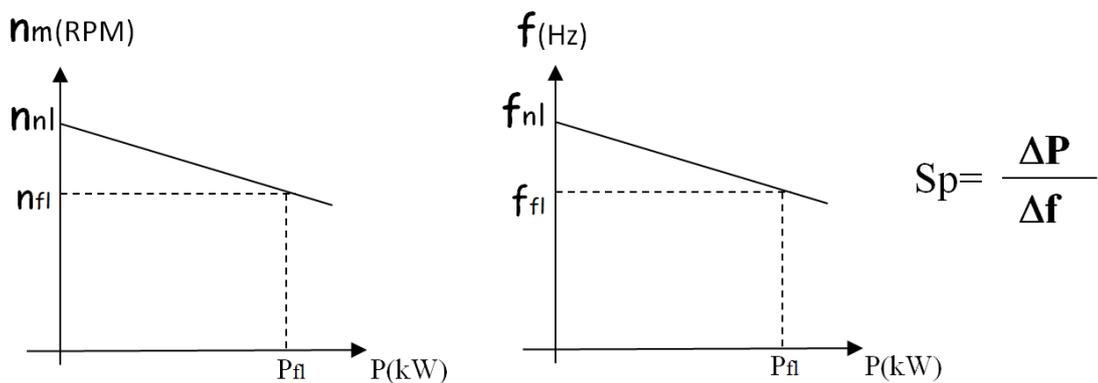


Fig2. Características velocidade mecânica x Potencia e frequência x Potência, respectivamente.

A relação da potência de operação “P” com à sua frequência de operação (f_{sis}) pode ser vista na figura 3.

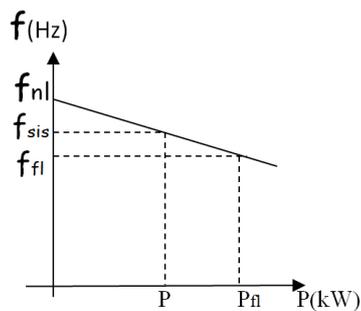


Fig3. Características frequência x Potência para um ponto de operação.

Esta relação vem dada pela equação:

$$P = S_p (f_{nl} - f_{sis})$$

Ou
$$f_{sis} = f_{nl} - \frac{1}{S_p} P$$

Onde:

P = potencia de saída do gerador

f_{nl} = frequência em vazio (“non load” ou sem carga)

f_{sis} = frequência de operação do sistema

S_p = inverso da inclinação da curva em kW/HZ ou MW/HZ

$$S_p = \frac{\Delta P}{\Delta f} = \frac{P}{f_{fl} - f_{nl}}$$

A equação de f_{sis} tem a forma da equação da reta $y = b - mx$. A inclinação da reta ($m=1/S_p$) é conhecida como **estatismo** e é muito utilizado em sistemas elétricos de potência.

$$R = \frac{1}{S_p} = \frac{\Delta f}{\Delta P} \quad (\text{estatismo})$$

Uma expressão pode ser obtida para potência reativa (Q) e tensão terminal V_T para um gerador ligado a uma carga isolada.

Aumento de cargas em atraso implica na diminuição da tensão terminal V_T . Por outro lado, aumento de cargas capacitivas implica no aumento da tensão terminal V_T .

Da mesma forma que o caso anterior, esta característica é não linear, porém os geradores possuem um regulador de tensão para tornar a característica de variação de tensão por acréscimo de carga em forma linear.

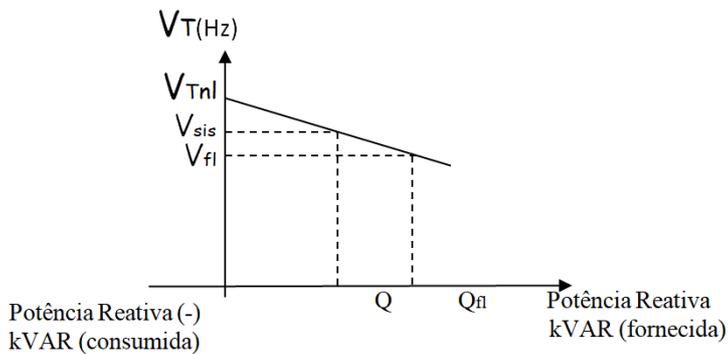


Fig4. Características Tensão Terminal x Potência Reativa.

$$Q = S_Q (V_{Tnl} - V_{sis})$$

$$V_{sis} = V_{Tnl} - \frac{1}{S_Q} \cdot Q$$

V_{Tnl} = tensão em vazio

V_{Tfl} = tensão em plena carga

V_{sis} = tensão do sistema

Q_{fl} = potência reativa a plena carga

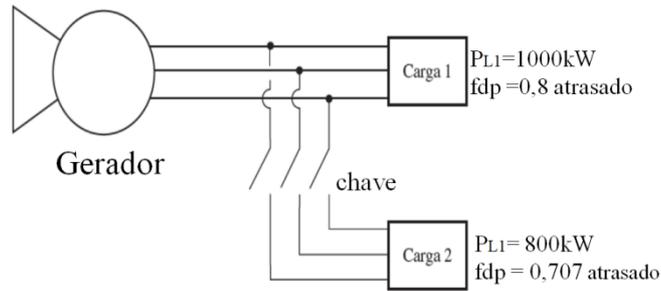
S_Q = inverso da inclinação da curva em $kVar/V$ ou $MVar/V$

A característica $P_x f$ e $Q_x V$ cumprem uma função importante na operação de paralelo de geradores.

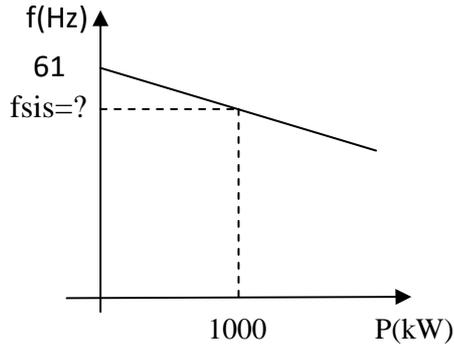
Caso 1: Gerador ligado a cargas isoladas.

Exemplo: A figura mostra um gerador alimentando uma carga. Uma segunda carga será ligada em paralelo com a primeira. A frequência sem carga do gerador é 61Hz, e tem uma inclinação de $S_p = \frac{1 MW}{Hz}$. A carga 1 consome 1000 kW e possui f.d.p. = 0,8 em atraso, enquanto que a carga 2 consome 800kW e f.d.p. = 0,707 em atraso.

- Antes de fechar a chave, qual a frequência de operação?
- Qual a frequência do sistema com a chave fechada?
- Após a carga 2 ter sido conectada qual deveria ser a ação que o operador deveria tomar para restaurar a frequência do sistema em 60Hz?



a) A condição inicial pode visualizar-se na figura a seguir:



$$P = P_{L1} = 1000 \text{ kW}$$

$$f_{sis} = f_{nl} - \frac{1}{S_p} \cdot P = 61 - \frac{1}{\frac{1 \text{ MW}}{\text{Hz}}} \cdot 1 \text{ MW} = 60 \text{ Hz};$$

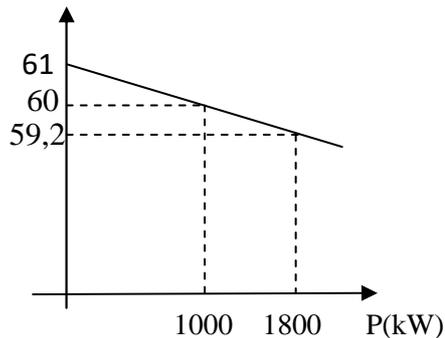
Resp: A frequência do sistema com a carga 1 é 60 [Hz].

a) Após a inclusão da carga 2 tem-se

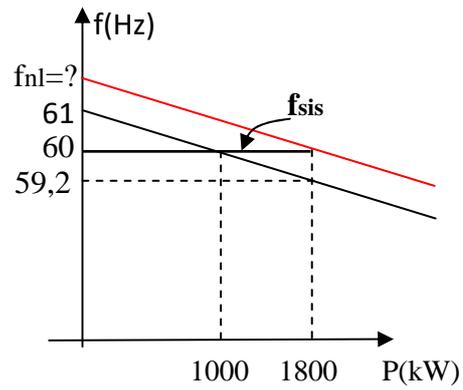
$$P = 1000 + 800 = 1800 \text{ kW}$$

$$f_{sis} = 61 - \frac{1}{\frac{1 \text{ MW}}{\text{Hz}}} \cdot 1,8 \text{ MW} = 59,2 \text{ Hz}$$

Resp: Depois que a carga 2 é ligada, a frequência do sistema cai para 59,2 Hz (vide figura a seguir)



b) Para restaurar o sistema a frequência inicial de 60 Hz, o operador deveria aumentar a frequência em vazio (f_{nl}) do regulador de velocidade que equivale a subir a característica Pxf como é mostrado na figura a seguir.



$$f_{sis} = f_{nl} - \frac{1}{S_p} \cdot P$$

$$60 = f_{nl} - \frac{1}{\frac{1MW}{Hz}} \cdot 1,8MW$$

$$f_{nl} = 61,8 \text{ Hz}$$

Resp: O operador deveria ajustar a frequência em vazio do regulador de velocidade em +0,8Hz de 61Hz em 61,8Hz para restaurar a frequência do sistema em 60Hz.