|  |  |
| --- | --- |
| **Aula Nro:** | **8** |

**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.

**Caso I : Gerador Síncrono com cargas Isoladas**

1. **Controle Px f (conhecido também como controle CargaxFrequencia)**

Considere o controle entre a velocidade do gerador e a potência ativa da figura abaixo.



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

 $SD= \frac{n\_{nl}- n\_{fl}}{nfl} .100$%

 $n\_{nl}$ = velocidade mecanica do motor primo em vazio em RPM (no load)

 $n\_{fl}$ = velocidade mecanica 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 (fsis) pode ser vista na figura 3.



Fig3. Características freqüência 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)

$f\_{sis}$ = frequencia de operação do sistema

$S\_{P}$ = inverso da inclinação da curva em $^{kW}/\_{Hz}$ ou $^{MW}/\_{Hz}$

$S\_{P}$ = $\frac{ΔP}{Δf}$ = $\frac{P}{f\_{fl}-f\_{nl}}$

A equação de fsis tem a forma da equação da reta y = b – mx. A inclinação da reta (m=1/SP) é conhecida como **estatismo** e é muito utilizado em sistemas elétricos de potência.

R = $\frac{1}{S\_{P}}=\frac{Δf}{ΔP}$ (estatismo)

Uma expressão pode ser obtida para potência reativa (Q) e tensão terminal VT 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 $V\_{T}$.

1. **Controle Q x V**

Considere o controle entre a corrente de campo do gerador e a potência reativa da figura abaixo.



Da mesma forma que o caso anterior, está 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.

$$Q= S\_{Q} (V\_{Tnl}- V\_{sis})$$

$$V\_{sis}= V\_{Tnl}- \frac{1}{S\_{Q}} .Q$$

$V\_{Tnl}$ = 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 Pxf e QxV cumprem uma função importante na operação de paralelo de geradores.

**Caso 1: Gerador ligado a cargas isoladas.**

**Exemplo 8.1:** 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.

1. Antes de fechar a chave, qual a frequência de operação?
2. Qual a frequência do sistema com a chave fechada?
3. 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?



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

1000

 61

fsis=?

P(kW)

f(Hz)

P = $P\_{L1}$ = 1000kW

$f\_{sis}= f\_{nl}- \frac{1}{S\_{p}} .P=61- \frac{1}{\frac{1MW}{Hz}} .1MW=60Hz$;

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

1. Após a inclusão da carga 2 tem-se

P = 1000+800 = 1800 kW

$$f\_{sis}= 61- \frac{1}{\frac{1MW}{Hz}} .1,8MW=59,2Hz$$

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

1000 1800 P(kW)

 61

60

59,2

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

1000 1800 P(kW)

 61

60

59,2

fnl=?

f(Hz)

**fsis**

$$f\_{sis}= f\_{nl}- \frac{1}{S\_{p}} .P$$

$$60= f\_{nl}- \frac{1}{\frac{1MW}{Hz}} .1,8MW$$

$$f\_{nl}=61,8 Hz$$

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

**Caso 2: Operação de um gerador com um barramento infinito e uma carga**



Características do barramento infinito

 f $V\_{T}$

 $P\_{Binf}$ $Q\_{Binf}$

Situação 1: A freqüência em vazio do gerador é superior a freqüência do barramento infinito



 $P\_{carga}= P\_{Binf}+ P\_{G}$ $Q\_{carga}= Q\_{Binf}+ Q\_{G}$

Situação 2: A freqüência em vazio do gerador é inferior a freqüência do barramento infinito



 $P\_{carga}= P\_{Binf}+ P\_{G}$

A potência do gerador torna-se negativa, dessa forma o gerador “motoriza” e começa a consumir potência!!!

Questões:

I – O que acontece com a potência compartilhada quando aumento a freqüência em vazio $f\_{nl1}$ do gerador 1 via regulador de velocidade?

 ´

 $P\_{G}'$ ↑ $P\_{carga}= P\_{Binf}+ P\_{G}$

 $P\_{Binf}$ ↓

 ´ ´

II – O que acontece se continuar aumentando a freqüência em vazio, $f\_{nl}$?



O gerador fornece toda a potência a carga e injeta potência ao barramento infinito (rede elétrica).

III – O que posso fazer para que o gerador forneça potência reativa

IV – Mostre uma situação que o gerador trabalha subexcitado?



O gerador consome potência reativa.

**Exemplo 9.1:** A figura mostra um gerador em paralelo com um barramento infinito (com freqüência de 60Hz e tensão terminal de 12kV) 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.

a) Encontre a potência do Gerador e do Barramento infinito antes de fechar a chave.

b) Encontre a potência do Gerador e do Barramento infinito depois de fechar a chave.

c)Deseja-se dar manutenção ao Gerador para tanto deseja-se retirar sem causar impacto na rede (potência zero). O que deve ser feito?



Fig 9.1: Sistema de potência Gerador, Barr. Infinito e Cargas

a) Encontre a potência do Gerador e do Barramento infinito antes de fechar a chave.

|  |  |
| --- | --- |
|  | Dados:Pcarga = 1000kWfsis=60 Hz (fsis=fBinf)fnl = 61 HzSP = 1000kW/HzRestrição:Pcarga = PBinf +PG1 (9.1)Equações do Gerador 1:fsis =fnl – (1/SP).PG1 (9.2) |

Substituindo valores na equação (9.2)

60 = 61 – [1/(1000kW/Hz)].PG1

PG1 = 1000kW

Substituindo valores na equação (9.1)

1000kW = PBinf +1000kW

PBinf = 0 kW

b) Encontre a potência do Gerador e do Barramento infinito depois de fechar a chave.

|  |  |
| --- | --- |
|  | Dados:Pcarga = 1800kWfsis=60 Hz (fsis=fBinf)fnl = 61 HzSP = 1000kW/HzRestrição:Pcarga = PBinf +PG1 Equações do Gerador 1:fsis =fnl – (1/SP).PG1  |

Como a frequencia em vazio do gerador 1 não mudo, a potência fornecida à carga por este gerador permanece inalterado, PG1 = 1000kW. Portanto o aumento de carga só pode ser fornecido pelo barramento infinito, PBinf = 800kW.

c)Deseja-se dar manutenção ao Gerador sem causar impacto na rede (potência zero do gerador 1). O que deve ser feito?

Resp: Para que o gerador tenha potência compartilhada zero e possa ser retirado sem causar impacto na rede, então deve-se diminuir a freqüência em vazio do gerador 1 até que seja igual a freqüência do rede (barramento infinito). Assim, f’nl = 60Hz. Com isto, P’G1=0kW e P’Binf = 1800kW. Isto pode ser visualizado em vermelho na figura abaixo.

