



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

INGENIERÍA ELÉCTRICA

OPERACIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

DOCENTE: ING. XAVIER ALFONSO PROAÑO MALDONADO Mg. C.

Ing. Xavier Alfonso Proaño Maldonado. Mg. C

“Por la vinculación de la Universidad con el Pueblo”



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CONTROL POTENCIA - FRECUENCIA

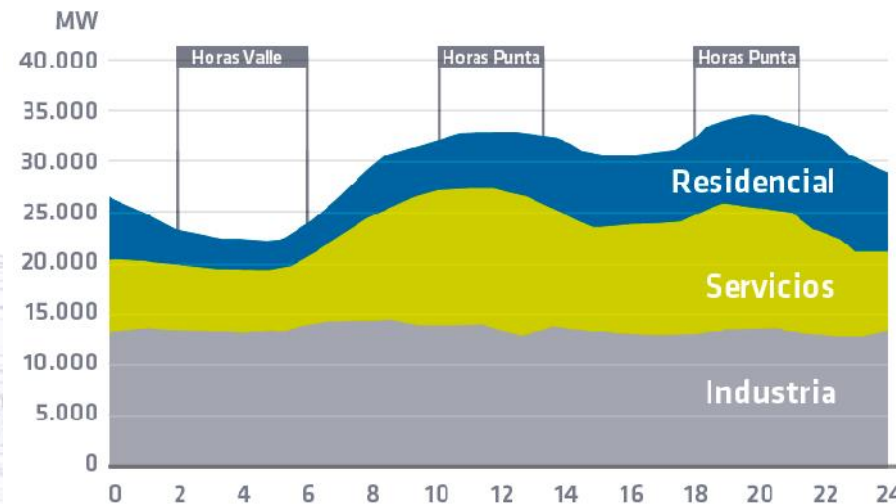


Ingeniería
Eléctrica

REGULACIÓN DE FRECUENCIA

Dado a la variación constante de la demanda en el tiempo se hace fundamental, tener sistemas automáticos que permitan de cierta manera controlar la estabilidad del sistema eléctrico.

En la siguiente figura se presenta una representación del comportamiento de la demanda



www.utc.edu.ec



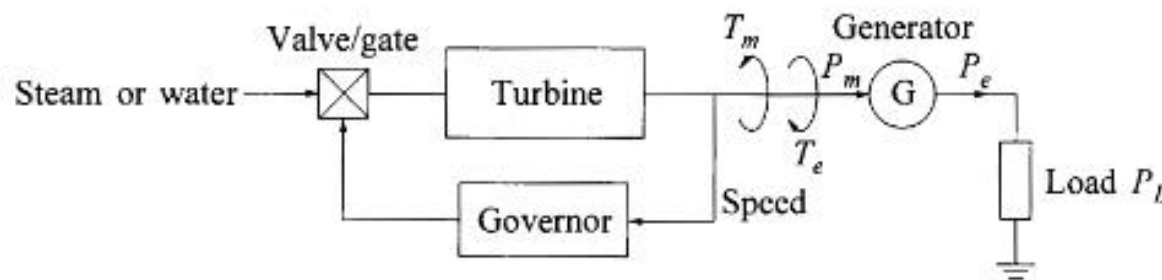
Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CONTROL POTENCIA - FRECUENCIA



Ingeniería
Eléctrica

En la Figura se puede apreciar los componentes principales de un generador y el elemento que permite controlar el ingreso de la energía primaria



T_m = mechanical torque
 P_m = mechanical power

T_e = electrical torque
 P_e = electrical power

P_L = load power

El equilibrio del sistema se alcanza cuando la P_m se iguala con la P_e .

Un incremento o disminución en P_e , se puede interpretar en relación directa a un incremento o disminución de T_e



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CONTROL POTENCIA - FRECUENCIA CONTROL CARGA - FRECUENCIA



Ingeniería
Eléctrica

En un Sistema Eléctrico de Potencia, la demanda eléctrica nunca permanece estática y continuamente tiende a incrementarse o a disminuir, por tal motivo, el ingreso de vapor en un turbo generador, o de agua en un generador hidráulico deben ser regulados continuamente para que, la potencia activa generada coincida con la demandada, esto nos permite concluir, que la velocidad de la máquina variara lo que provoca que la frecuencia varié, situación que no es muy deseable en un sistema.

De igual manera sucede con la excitación del generador, el cual debe estar continuamente regulándose para hacer coincidir, la potencia reactiva demanda con la generada. En este caso al igual que el anterior sino se controla este parámetro puede provocar inestabilidad en el sistema.



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CONTROL POTENCIA - FRECUENCIA



Ingeniería
Eléctrica

En un sistema eléctrico, en lo posible la frecuencia debería mantenerse constante. A continuación se menciona varias razones por las que la frecuencia no puede variar.

- Todos los motores de corriente alterna requieren fuentes que suministren frecuencia constante para mantener una velocidad constante.
- En industrias que tienen procesos continuos, se ve afectado el proceso en sí
- Para la operación sincrónica de varias unidades en las redes de sistemas de potencia, es necesario mantener una frecuencia constante
- La frecuencia afecta a la energía transmitida a través de la línea de transmisión
- En el caso de los relojes digitales, se pueden adelantar o retrasar dependiendo de la frecuencia, esto puede provocar perjuicio en temporizadores digitales programados para actuar a determinados tiempos.



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CONTROL POTENCIA - FRECUENCIA

AMORTIGUAMIENTO DE LA CARGA



Ingeniería
Eléctrica

Las cargas eléctricas de un sistema eléctrico de potencia se encuentra compuesto por un gran número de dispositivos eléctricos, la potencia de consumo de algunos de estos dispositivos no depende de la frecuencia mientras que otros sí.

De manera general se tiene que las cargas resistivas tales como lámparas y calefactores no se ven afectadas por la variación de la frecuencia.

Para el caso de cargas que tengan motores tales como ventiladores o bombas, la potencia eléctrica varía con la frecuencia y se refleja en un cambio de velocidad del motor.



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CONTROL POTENCIA - FRECUENCIA AMORTIGUAMIENTO DE LA CARGA



Ingeniería
Eléctrica

Esta característica dependiente de la frecuencia de la carga compuesta puede ser expresada como:

$$\Delta P_e = \Delta P_c - D\Delta f$$

Donde

ΔP_c = Variación de la carga a la frecuencia nominal

$D\Delta f$ = Efecto de la frecuencia sobre la carga

D = Carga constante de amortiguamiento [MW/Hz]

La constante de amortiguamiento se expresa como un porcentaje del cambio de la carga por un porcentaje de cambio de la frecuencia. Los valores típicos de D son 1 a 2.

Un valor de D = 2 significa que un cambio en la frecuencia del 1% causaría un cambio del 2% en la carga.



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CONTROL POTENCIA - FRECUENCIA

REGULACIÓN DE FRECUENCIA



Ingeniería
Eléctrica

Para poder controlar la frecuencia se tiene dos etapas.

Regulación Primaria.- Consiste en lograr que la variación de frecuencia en el tiempo se estabilice $\left(\frac{df}{dt} = 0\right)$

Regulación Secundaria.- Consiste en lograr que la frecuencia nuevamente regrese a su valor nominal $(\Delta f = 0)$

Para el caso de sistemas multiareas se hace necesario incorporar una regulación más.

Regulación Terciaria.- Consiste en reestablecer a su valor programado la potencia de la interconexión $(\Delta P_{interconexión} = 0)$

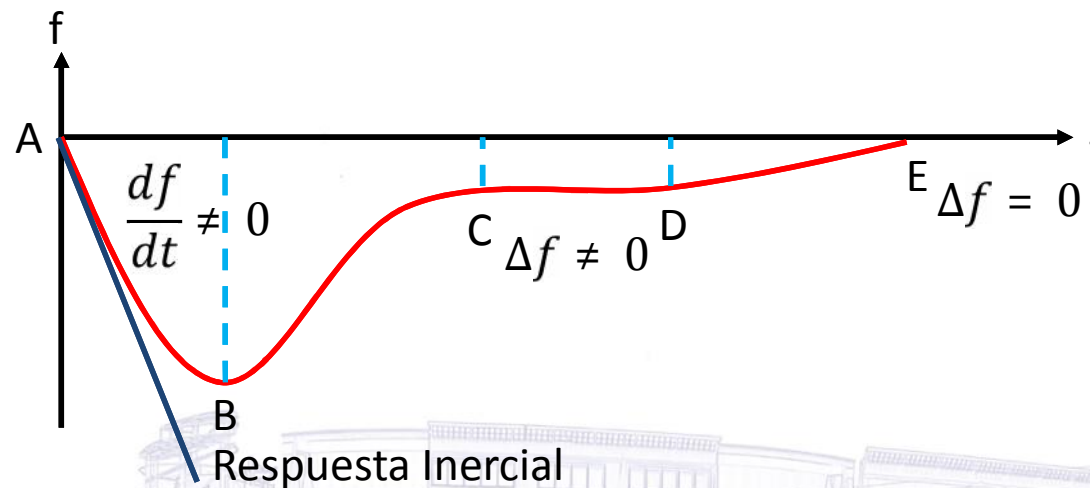


Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CONTROL POTENCIA - FRECUENCIA REGULACIÓN DE FRECUENCIA



Ingeniería
Eléctrica



A-B Reguladores de velocidad no actúan

B-C Reguladores de todas las unidades generadoras actúan para estabilizar la frecuencia a un valor establecido (Regulación Primaria)

D-E Reguladores de las unidades designadas actúan para recuperar la frecuencia a su valor nominal



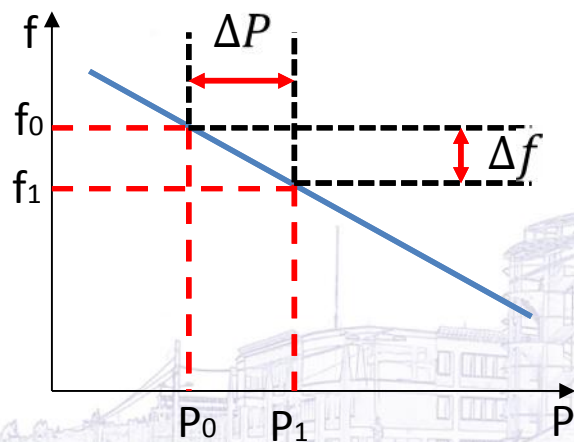
Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CONTROL POTENCIA - FRECUENCIA REGULADOR DE VELOCIDAD



Ingeniería
Eléctrica

El regulador de velocidad o “Speed-Droop” es calibrado mediante el estatismo (R) el cuál se puede apreciar en la figura.



El estatismo se define como la pendiente de la curva que se muestra en la figura, es decir:

$$R = \frac{\Delta f}{\Delta P} \left[\frac{Hz}{MW} \right]$$

De la ecuación se puede observar que cuando existe una variación de la carga, la frecuencia varía de manera inversa



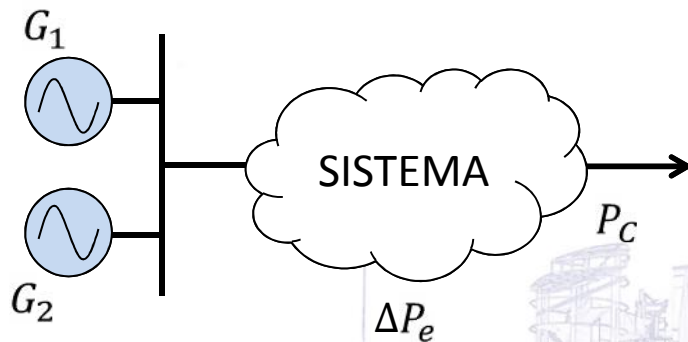
Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CONTROL POTENCIA - FRECUENCIA REGULACIÓN PRIMARIA



Ingeniería
Eléctrica

Realizando las ecuaciones para un sistema como el que se muestra en la figura se tiene lo siguiente.



$$R_1 = \frac{\Delta f}{\Delta P_{G1}} \quad R_2 = \frac{\Delta f}{\Delta P_{G2}}$$

$$\Delta P_{G1} = \frac{\Delta f}{R_1} \quad \Delta P_{G2} = \frac{\Delta f}{R_2}$$

$$\Delta P_{G1} + \Delta P_{G2} = \Delta P_e$$

$$\Delta P_e = \Delta f \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$



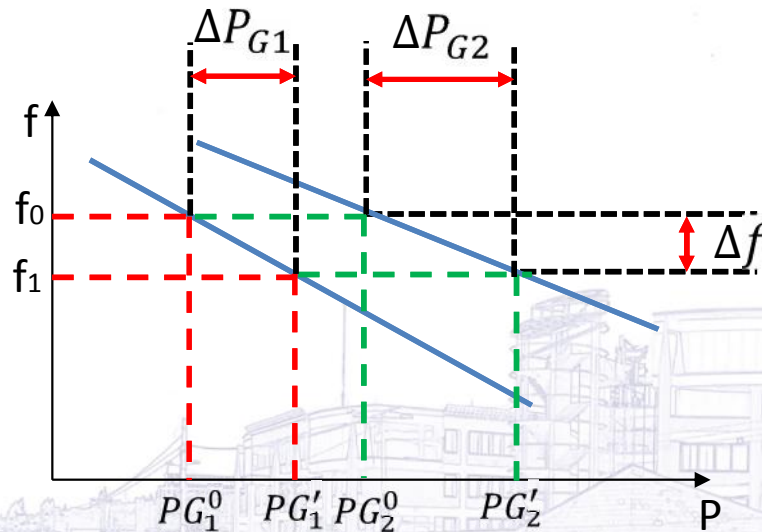
Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CONTROL POTENCIA - FRECUENCIA REGULACIÓN PRIMARIA



Ingeniería
Eléctrica

De manera gráfica se tiene lo siguiente.



Si generalizamos para n generadores se puede escribir lo siguiente.

$$\Delta P_e = \Delta f \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \right)$$

$$\text{si, } \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \Rightarrow \frac{1}{R_{eq}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

$$\Delta P_e = \Delta f \left(\frac{1}{R_{eq}} \right)$$

$$\Delta P_e = \Delta f \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

www.utc.edu.ec



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CONTROL POTENCIA - FRECUENCIA REGULACIÓN PRIMARIA



Ingeniería
Eléctrica

Si consideramos el amortiguamiento de la carga en la ecuación tendremos lo siguiente.

$$\Delta P_e = \Delta f \left(\frac{1}{R_{eq}} \right) \Rightarrow \Delta P_c - D\Delta f = \Delta f \left(\frac{1}{R_{eq}} \right)$$

$$\Delta P_c = \Delta f \left(\frac{1}{R_{eq}} \right) + D\Delta f$$

$$\Delta f = \frac{\Delta P_c}{\left(\frac{1}{R_{eq}} \right) + D}$$

Donde, $\left(\frac{1}{R_{eq}} \right) + D \left[\frac{MW}{Hz} \right]$ es la energía regulante del sistema y;

$$\frac{1}{R_{eq}} \gg D$$