

Métodos para el análisis de estabilidad en frecuencia

Métodos de Runge Kutta (R-K-n)

Los métodos de integración numérica de Runge Kutta son basados en promedios, lo que los hacen más fáciles y rápidos, al evitar trabajar con derivadas.

Los métodos de Runge Kutta se dividen en ordenes $n = 1, 2, 3, 4 \dots$ donde a mayor orden, mayor el grado de exactitud de la solución.

Ecuación 1.

Método de Runge Kutta de Orden 2 (R-K-2)

$$\begin{aligned}t_{n+1} &= t_n + \Delta t \\x_{n+1} &= x_n + \Delta t(a_1 k_1 + a_2 k_2) \\k_1 &= f(t_n, x_n) \\k_2 &= f(t_n + q\Delta t, x_n + k_1 q\Delta t) \\a_1 &= 1 - a_2 \\q &= \frac{1}{2a_2}\end{aligned}$$

Criterio de arcos iguales para análisis de estabilidad

La ecuación de potencia describe el comportamiento de la gráfica de la. Aunque es una aproximación ya que desprecia la resistencia síncrona, es muy acertada dado que en un sistema de potencia los valores de resistencia síncrona son prácticamente despreciables.

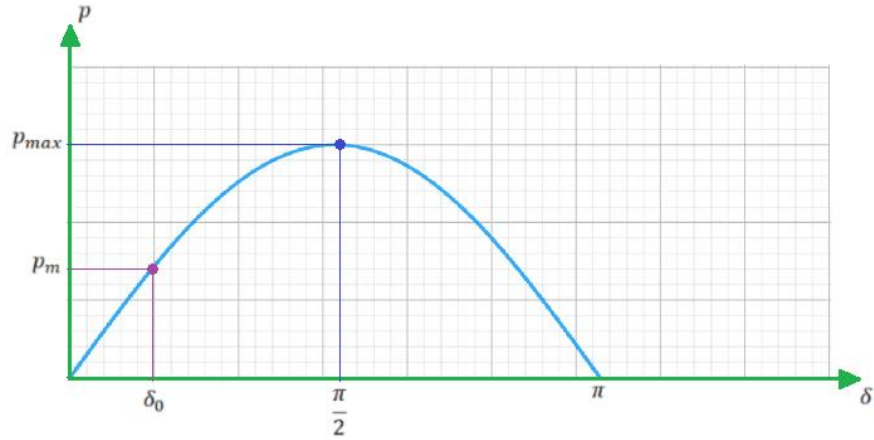
Ecuación 2:

Ecuación de potencia para un sistema eléctrico

$$P = \frac{V_1 V_2}{X_T} \sin(\delta)$$

Figura 1.

Gráfica de Relación de Potencia Para un Sistema de Potencia



Nota: “ p_{max} ” indica el punto máximo de potencia generada permitida. Elaboración propia.

Criterio de Áreas Iguales

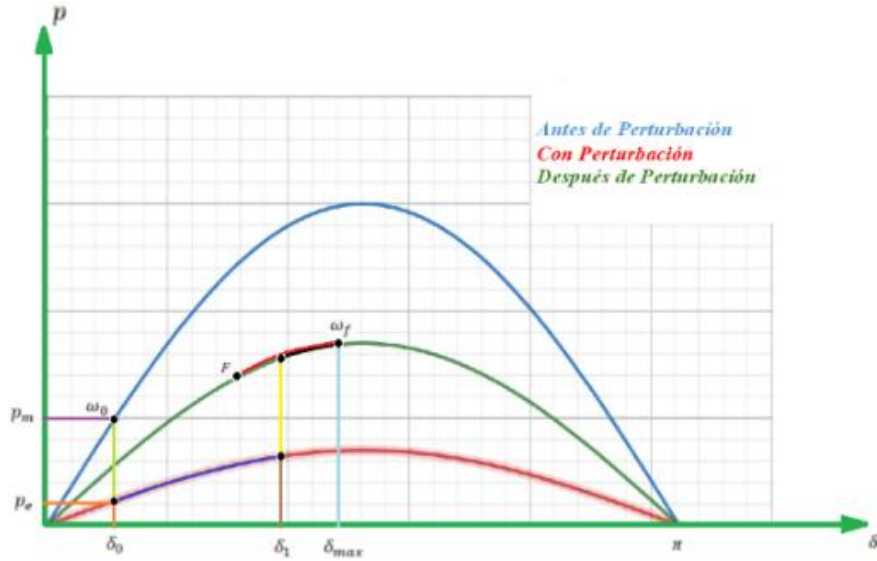
El método de las áreas iguales es un enfoque matemático aplicado a la ecuación de oscilación, basado en las gráficas de potencia en estado estable y en estado de perturbación. Este método es ampliamente utilizado para determinar valores críticos de estabilidad. A continuación, se detalla el procedimiento de cálculo.

Partiendo de la ecuación de oscilación, y expresando en base de potencia y par amortiguante nulo se obtiene la ecuación por el método de áreas iguales (ecuación 3):

$$\int_{\omega_o}^{\omega_f} \omega d\omega = \frac{\omega_o}{2H} \int_{\delta_o}^{\delta_f} (p_m - p_e) d\delta$$

Figura 2.

Dinámica del Ángulo del Par " δ ", Ante una Gran Perturbación



Nota: Las líneas rectas indican el sentido de la dinámica de “ δ ”. Los valores de ω_0 y ω_f son cero ya que en reposo. Elaboración propia.

Evaluando la ecuación para “ $\Delta\delta$, $\Delta\omega$ ”, y separando las integrales para los pasos de “ δ ” se obtiene finalmente la ecuación de áreas iguales denominadas como, torque acelerante y torque frenante:

$$0 = \frac{\omega_0}{2H} \int_{\delta_0}^{\delta_1} (p_m - p_e) d\delta + \int_{\delta_1}^{\delta_f} (p_m - p_e) d\delta$$

Ecuación 3.

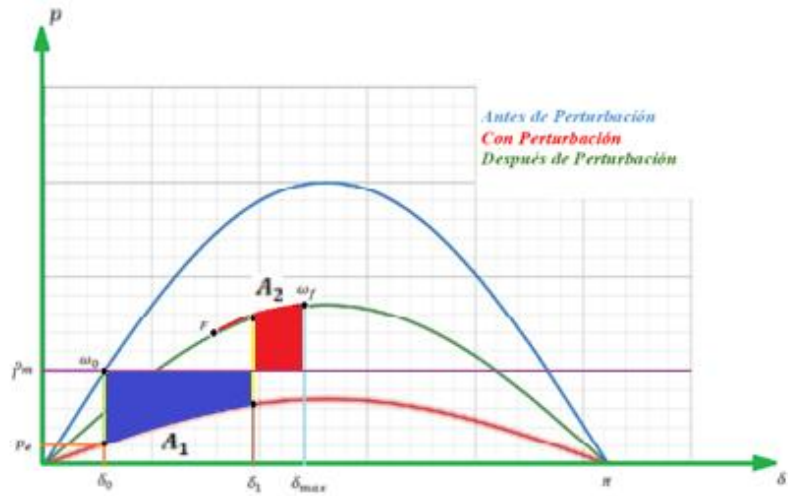
Ecuación de Áreas Iguales

$$\int_{\delta_0}^{\delta_1} (p_m - p_e) d\delta = \int_{\delta_1}^{\delta_f} (p_e - p_m) d\delta$$

A continuación, se muestra la gráfica que describe la ecuación del criterio de áreas iguales, donde el área uno es la referente a la energía cinética almacenada “torque acelerante”, y el área dos a la energía que frena el rotor torque frenante. El torque frenante depende de la inercia de las maquinas síncronas del sistema,

Figura 3.

Criterio de Áreas Iguales



Nota: el área sombreada en color Azul hace referencia al par acelerante, y el área roja al par frenante.

Elaboración propia.

El ángulo delta crítico " δ_c " es el valor máximo de delta para que se conserve la igualdad de áreas y pueda estabilizarse el sistema.