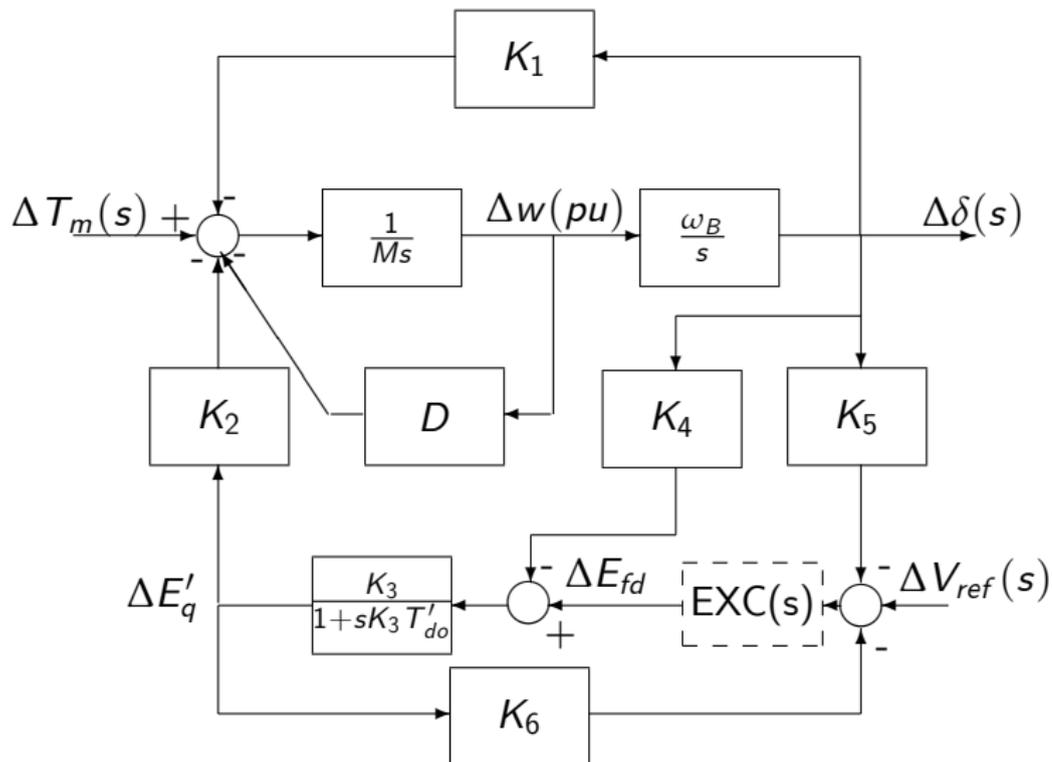


Análise do Comportamento Dinâmico do Sistema Máquina - Barra Infinita

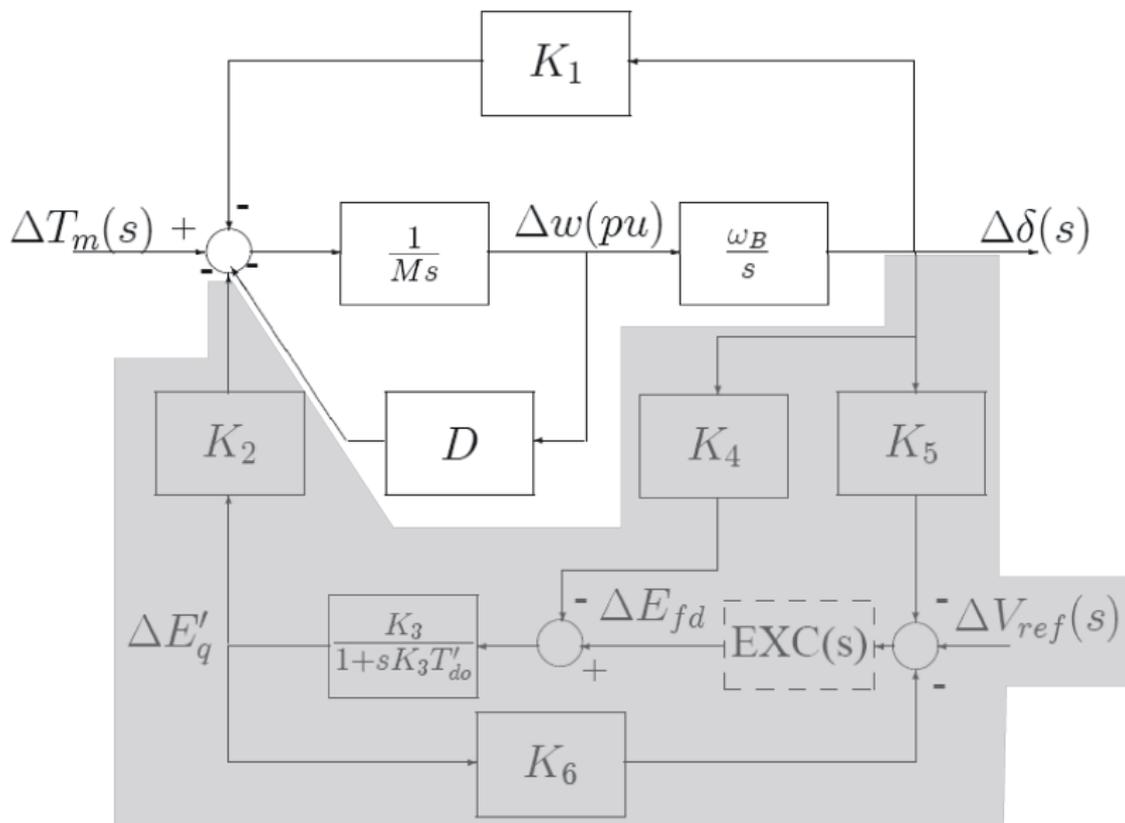
Prof. Antonio Simões Costa

Grupo Sist. Potência - UFSC

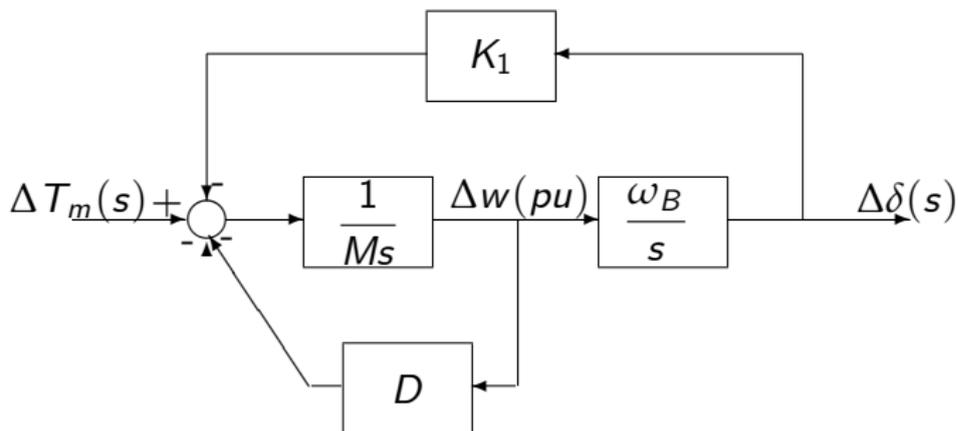
Análise de Peqs. Perturbações Baseada no Modelo de H-P



Fluxo de Eixo-d Constante: Laço Eletromecânico (I)



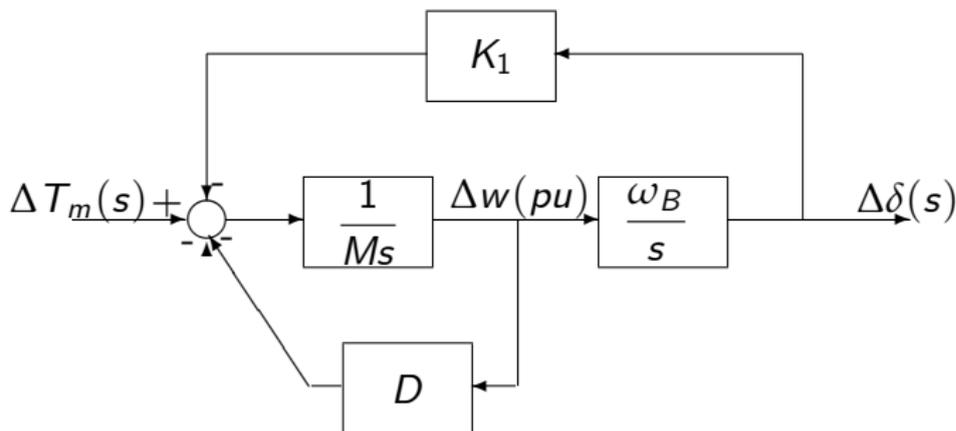
Fluxo de Eixo- d Constante: Laço Eletromecânico (II)



- Sistema de 2a. ordem cuja FT é

$$\frac{\Delta \delta}{\Delta T_m} = \frac{\frac{\omega_0}{M}}{s^2 + \frac{D}{M}s + \frac{\omega_0 K_1}{M}}$$

Fluxo de Eixo- d Constante: Laço Eletromecânico (II)



- Sistema de 2a. ordem cuja FT é

$$\frac{\Delta\delta}{\Delta T_m} = \frac{\frac{\omega_0}{M}}{s^2 + \frac{D}{M}s + \frac{\omega_0 K_1}{M}}$$

- A frequência natural e a razão de amortecimento são dadas por

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_1 \omega_0}{M}} \quad \zeta = \frac{D}{2\sqrt{K_1 \omega_0 M}}$$

Fluxo de Eixo- d Constante: Torques de Sincronização e Amortecimento

- Torque elétrico total desenvolvido pela máquina:

$$\Delta T_e = K_1 \Delta \delta + D \Delta \omega$$

Fluxo de Eixo- d Constante: Torques de Sincronização e Amortecimento

- Torque elétrico total desenvolvido pela máquina:

$$\Delta T_e = K_1 \Delta \delta + D \Delta \omega$$

- 1a. parcela: *torque de sincronização*, positivo se $K_1 > 0$;

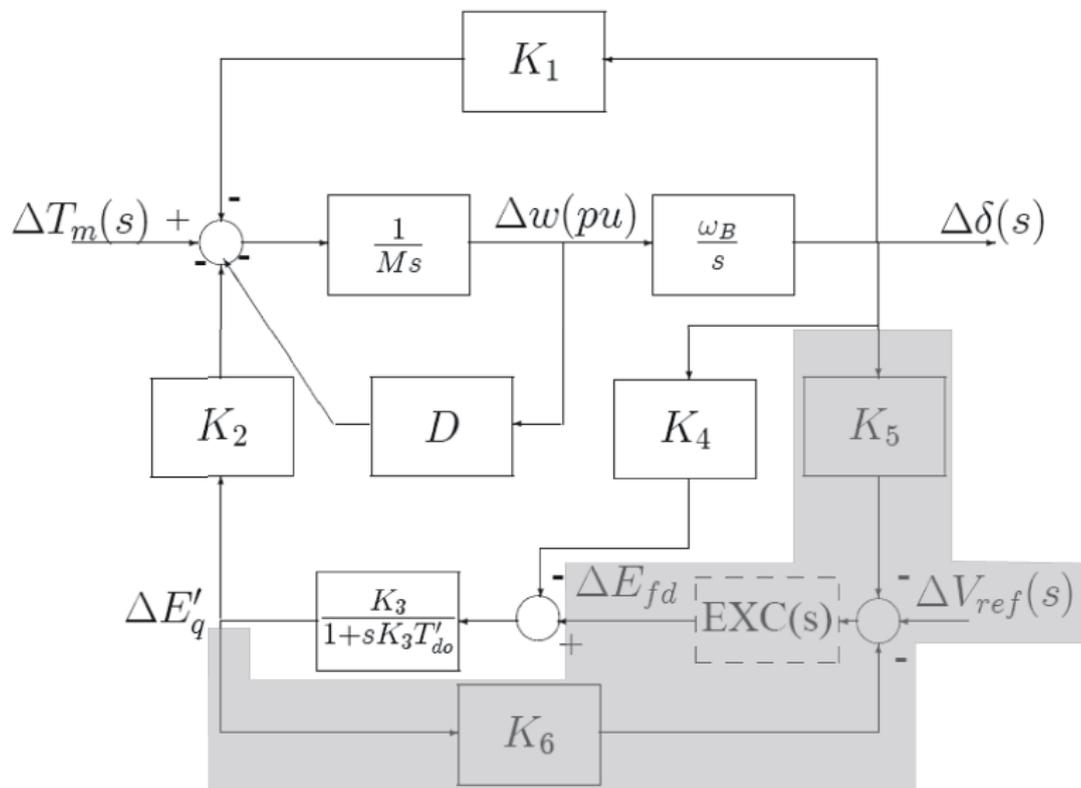
Fluxo de Eixo- d Constante: Torques de Sincronização e Amortecimento

- Torque elétrico total desenvolvido pela máquina:

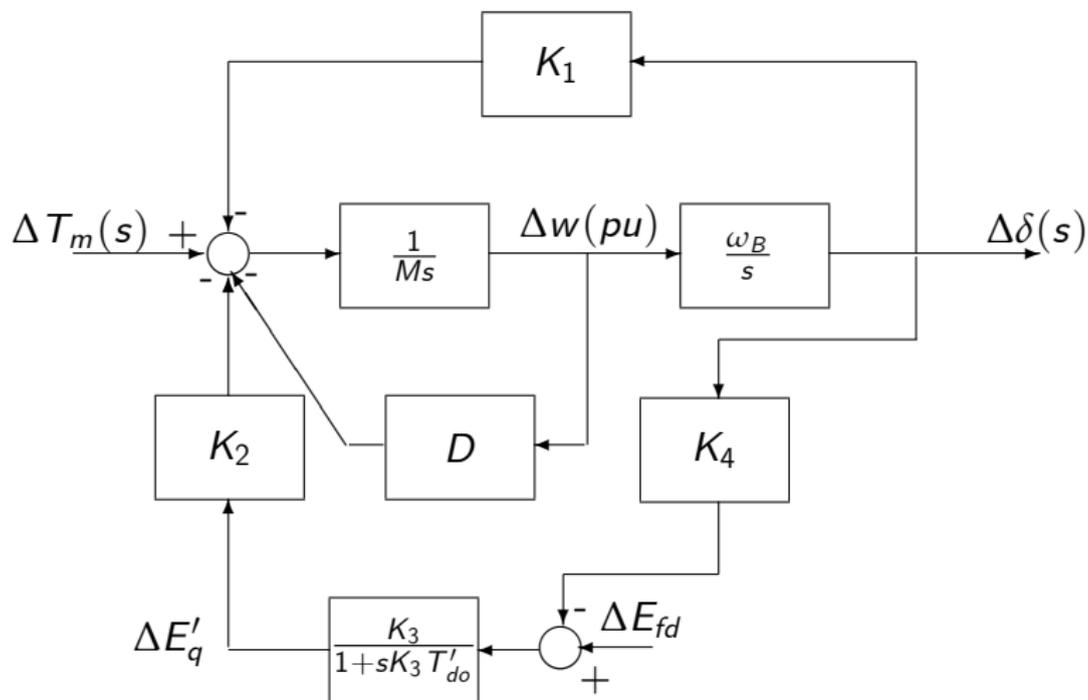
$$\Delta T_e = K_1 \Delta \delta + D \Delta \omega$$

- 1a. parcela: *torque de sincronização*, positivo se $K_1 > 0$;
- 2a. parcela: *torque de amortecimento*, inteiramente dependente da carga.

Desempenho com Tensão de Campo Constante



Efd constante: Efeito da Reação da Armadura



Análise do Efeito da Reação da Armadura

- Supõe-se ausência de controle da tensão de campo, isto é, $\Delta E_{fd} = 0$;

Análise do Efeito da Reação da Armadura

- Supõe-se ausência de controle da tensão de campo, isto é, $\Delta E_{fd} = 0$;
- Efeito do amortecimento da carga também ignorado ($D = 0$);

Análise do Efeito da Reação da Armadura

- Supõe-se ausência de controle da tensão de campo, isto é, $\Delta E_{fd} = 0$;
- Efeito do amortecimento da carga também ignorado ($D = 0$);
- Torque elétrico apresenta 2 componentes:

Análise do Efeito da Reação da Armadura

- Supõe-se ausência de controle da tensão de campo, isto é, $\Delta E_{fd} = 0$;
- Efeito do amortecimento da carga também ignorado ($D = 0$);
- Torque elétrico apresenta 2 componentes:
 - Torque sincronizante devido a K_1 , igual a $K_1 \Delta \delta$;

Análise do Efeito da Reação da Armadura

- Supõe-se ausência de controle da tensão de campo, isto é, $\Delta E_{fd} = 0$;
- Efeito do amortecimento da carga também ignorado ($D = 0$);
- Torque elétrico apresenta 2 componentes:
 - Torque sincronizante devido a K_1 , igual a $K_1 \Delta \delta$;
 - Torque devido à reação da armadura, dado por

$$\frac{\Delta T_e}{\Delta \delta} = \frac{-K_2 K_3 K_4}{1 + sT'_{do} K_3}$$

Efeito da Reação da Armadura em Reg. Permanente

- Torque de reação da armadura:

$$\Delta T_e^{ra} = \frac{-K_2 K_3 K_4}{1 + sT'_{do} K_3} \times \Delta\delta$$

Efeito da Reação da Armadura em Reg. Permanente

- Torque de reação da armadura:

$$\Delta T_e^{ra} = \frac{-K_2 K_3 K_4}{1 + sT'_{do} K_3} \times \Delta\delta$$

- No regime permanente ($s = 0$):

$$\Delta T_e^{ra} = -K_2 K_3 K_4 \Delta\delta$$

Efeito da Reação da Armadura em Reg. Permanente

- Torque de reação da armadura:

$$\Delta T_e^{ra} = \frac{-K_2 K_3 K_4}{1 + sT'_{do} K_3} \times \Delta\delta$$

- No regime permanente ($s = 0$):

$$\Delta T^{ra} = -K_2 K_3 K_4 \Delta\delta$$

- Este é um torque de sincronização que se opõe a $\Delta T_{s1} = K_1 \Delta\delta$;

Efeito da Reação da Armadura em Reg. Permanente

- Torque de reação da armadura:

$$\Delta T_e^{ra} = \frac{-K_2 K_3 K_4}{1 + sT'_{do} K_3} \times \Delta\delta$$

- No regime permanente ($s = 0$):

$$\Delta T^{ra} = -K_2 K_3 K_4 \Delta\delta$$

- Este é um torque de sincronização que se opõe a $\Delta T_{s1} = K_1 \Delta\delta$;
- O torque de sincronização total em regime permanente é

$$T_s = (K_1 - K_2 K_3 K_4) \Delta\delta$$

Efeito da Reação da Armadura em Reg. Permanente

- Torque de reação da armadura:

$$\Delta T_e^{ra} = \frac{-K_2 K_3 K_4}{1 + sT'_{do} K_3} \times \Delta\delta$$

- No regime permanente ($s = 0$):

$$\Delta T^{ra} = -K_2 K_3 K_4 \Delta\delta$$

- Este é um torque de sincronização que se opõe a $\Delta T_{s1} = K_1 \Delta\delta$;
- O torque de sincronização total em regime permanente é

$$T_s = (K_1 - K_2 K_3 K_4) \Delta\delta$$

- Portanto, a condição para estabilidade em regime permanente é

$$K_1 - K_2 K_3 K_4 > 0$$

Efeito Dinâmico da Reação da Armadura

- Torque de reação da armadura:

$$\Delta T_e^{ra} = \frac{-K_2 K_3 K_4}{1 + sT'_{do} K_3} \times \Delta\delta$$

Efeito Dinâmico da Reação da Armadura

- Torque de reação da armadura:

$$\Delta T_e^{ra} = \frac{-K_2 K_3 K_4}{1 + sT'_{do} K_3} \times \Delta\delta$$

- Para uma dada frequência ω :

$$\Delta T_e^{ra}(\omega) = \frac{-K_2 K_3 K_4}{1 + j\omega T'_{do} K_3} \times \Delta\delta = (\Delta T_{Re}^{ra}(\omega) + j\Delta T_{Im}^{ra}(\omega)) \Delta\delta$$

- Torque de reação da armadura:

$$\Delta T_e^{ra} = \frac{-K_2 K_3 K_4}{1 + sT'_{do} K_3} \times \Delta\delta$$

- Para uma dada frequência ω :

$$\Delta T_e^{ra}(\omega) = \frac{-K_2 K_3 K_4}{1 + j\omega T'_{do} K_3} \times \Delta\delta = (\Delta T_{Re}^{ra}(\omega) + j\Delta T_{Im}^{ra}(\omega)) \Delta\delta$$

- Para $\omega \approx 1 \text{ Hz} = 6,28 \text{ rad/s}$, este torque apresenta:

- Torque de reação da armadura:

$$\Delta T_e^{ra} = \frac{-K_2 K_3 K_4}{1 + sT'_{do} K_3} \times \Delta\delta$$

- Para uma dada frequência ω :

$$\Delta T_e^{ra}(\omega) = \frac{-K_2 K_3 K_4}{1 + j\omega T'_{do} K_3} \times \Delta\delta = (\Delta T_{Re}^{ra}(\omega) + j\Delta T_{Im}^{ra}(\omega)) \Delta\delta$$

- Para $\omega \approx 1 \text{ Hz} = 6,28 \text{ rad/s}$, este torque apresenta:

- Um componente (des)sincronizante: $\Delta T_s^{ra}(\omega) = \Delta T_{Re}^{ra}(\omega) \Delta\delta$;

- Torque de reação da armadura:

$$\Delta T_e^{ra} = \frac{-K_2 K_3 K_4}{1 + sT'_{do} K_3} \times \Delta\delta$$

- Para uma dada frequência ω :

$$\Delta T_e^{ra}(\omega) = \frac{-K_2 K_3 K_4}{1 + j\omega T'_{do} K_3} \times \Delta\delta = (\Delta T_{Re}^{ra}(\omega) + j\Delta T_{Im}^{ra}(\omega)) \Delta\delta$$

- Para $\omega \approx 1 \text{ Hz} = 6,28 \text{ rad/s}$, este torque apresenta:
 - Um componente (des)sincronizante: $\Delta T_s^{ra}(\omega) = \Delta T_{Re}^{ra}(\omega) \Delta\delta$;
 - Um componente de amortecimento: $\Delta T_d^{ra}(\omega) = \Delta T_{Im}^{ra}(\omega) \Delta\delta$.

Efeito Dinâmico da Reação da Armadura

- Torque de reação da armadura:

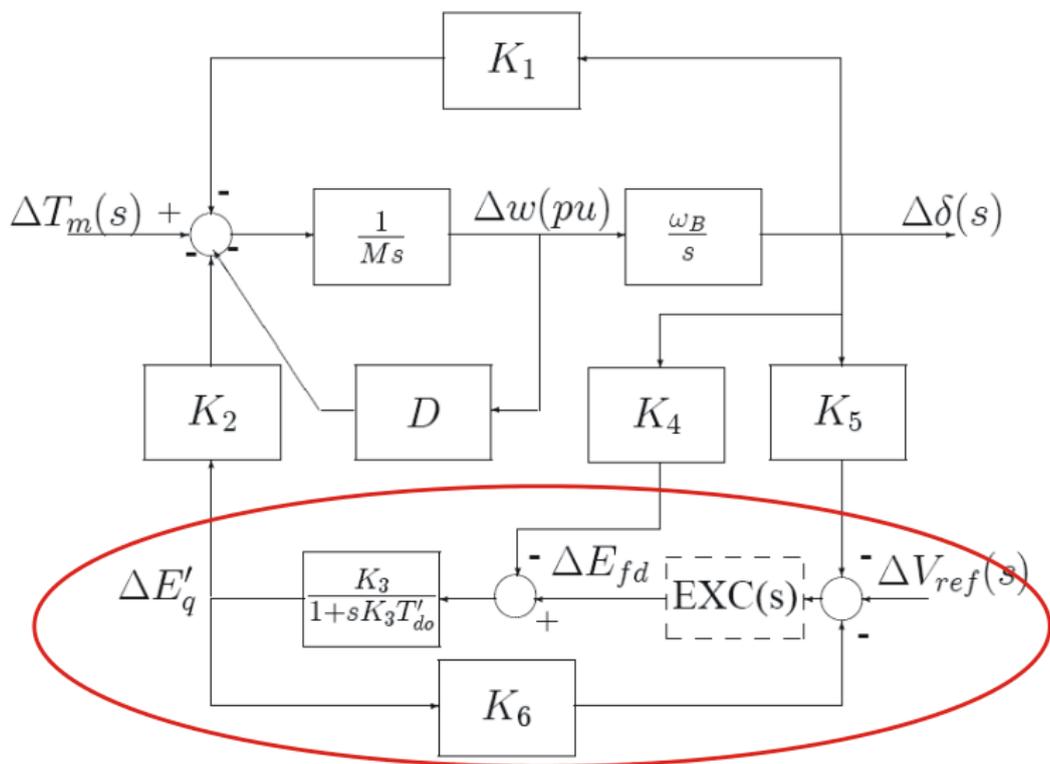
$$\Delta T_e^{ra} = \frac{-K_2 K_3 K_4}{1 + sT'_{do} K_3} \times \Delta\delta$$

- Para uma dada frequência ω :

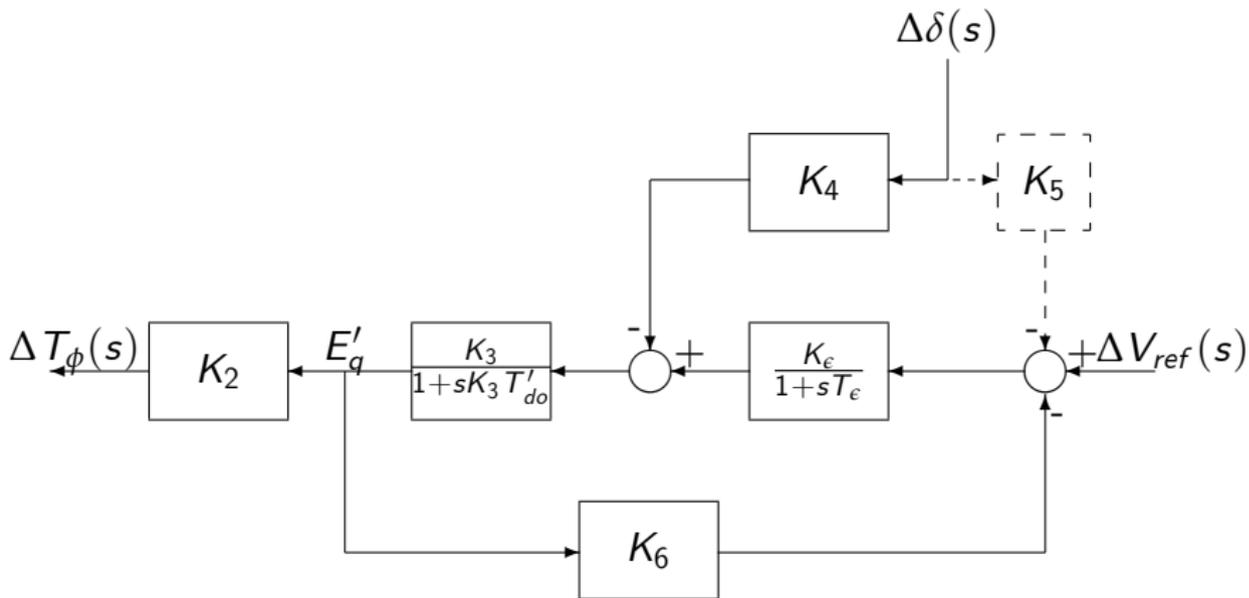
$$\Delta T_e^{ra}(\omega) = \frac{-K_2 K_3 K_4}{1 + j\omega T'_{do} K_3} \times \Delta\delta = (\Delta T_{Re}^{ra}(\omega) + j\Delta T_{Im}^{ra}(\omega)) \Delta\delta$$

- Para $\omega \approx 1 \text{ Hz} = 6,28 \text{ rad/s}$, este torque apresenta:
 - Um componente (des)sincronizante: $\Delta T_s^{ra}(\omega) = \Delta T_{Re}^{ra}(\omega) \Delta\delta$;
 - Um componente de amortecimento: $\Delta T_d^{ra}(\omega) = \Delta T_{Im}^{ra}(\omega) \Delta\delta$.
- $\Delta T_d^{ra}(\omega)$ é o amortec. *intrínseco* da máquina: $0,02 \leq \zeta^{ra} \leq 0,05$.

Torques Elétricos na Presença do Regulador



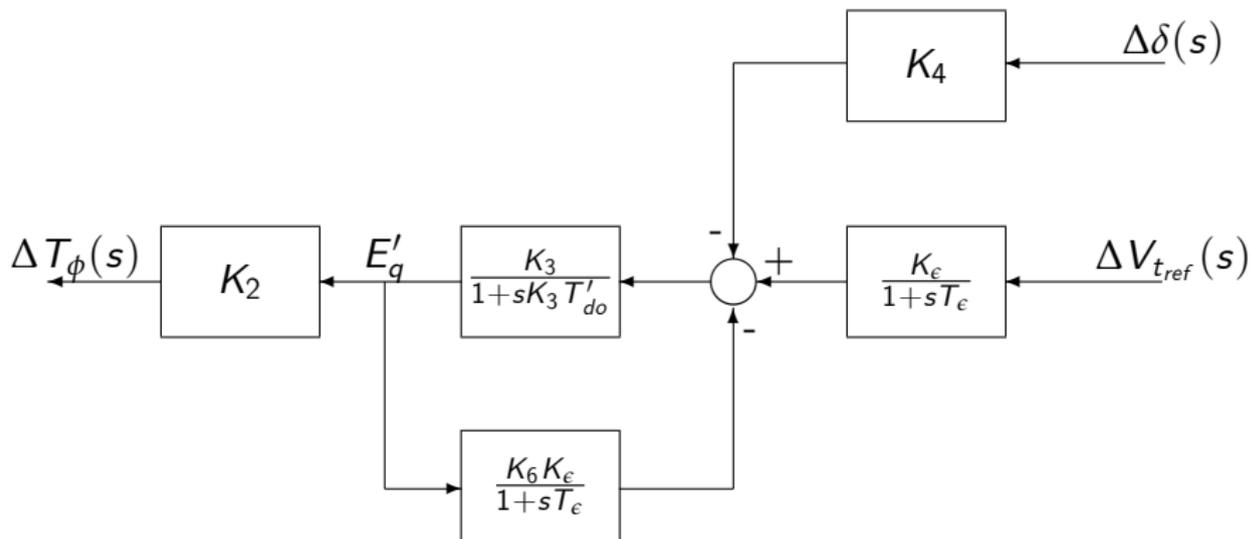
Efeitos do Regulador sobre a Reação da Armadura (I)



- Considera-se excitatriz **rápida** ($T_\epsilon \approx 0,05$ s) e de **alto ganho** ($K_\epsilon > 50$ pu/pu).

Efeitos do Regulador sobre a Reação da Armadura (II)

- Isolando o efeito da reação da armadura:



Análise dos Efeito de Reação da Armadura com Regulador (I)

- ΔT_ϕ é o torque elétrico devido à variação de fluxo por efeito da reação da armadura, agora na presença de um regulador de tensão *rápido de alto ganho*;

Análise dos Efeito de Reação da Armadura com Regulador (I)

- ΔT_ϕ é o torque elétrico devido à variação de fluxo por efeito da reação da armadura, agora na presença de um regulador de tensão *rápido de alto ganho*;
- Como $T_\epsilon \ll T'_{d0} K_3$ e em geral $K_6 K_\epsilon K_3 \gg 1$, tem-se: e

$$\frac{\Delta T_\phi}{\Delta \delta} = \frac{-K_2 K_4}{K_\epsilon K_6 (1 + s \frac{T'_{d0}}{K_6 K_\epsilon})}$$

Análise dos Efeito de Reação da Armadura com Regulador (I)

- ΔT_ϕ é o torque elétrico devido à variação de fluxo por efeito da reação da armadura, agora na presença de um regulador de tensão *rápido de alto ganho*;
- Como $T_\epsilon \ll T'_{d0} K_3$ e em geral $K_6 K_\epsilon K_3 \gg 1$, tem-se: e

$$\frac{\Delta T_\phi}{\Delta \delta} = \frac{-K_2 K_4}{K_\epsilon K_6 (1 + s \frac{T'_{d0}}{K_6 K_\epsilon})}$$

- Em baixas frequências, ΔT_ϕ tem apenas componente de dessincronização:

$$\Delta T_\phi = -\frac{K_2 K_4}{K_\epsilon K_6} \Delta \delta$$

Análise dos Efeito de Reação da Armadura com Regulador (I)

- ΔT_ϕ é o torque elétrico devido à variação de fluxo por efeito da reação da armadura, agora na presença de um regulador de tensão *rápido de alto ganho*;
- Como $T_\epsilon \ll T'_{d0} K_3$ e em geral $K_6 K_\epsilon K_3 \gg 1$, tem-se: e

$$\frac{\Delta T_\phi}{\Delta \delta} = \frac{-K_2 K_4}{K_\epsilon K_6 (1 + s \frac{T'_{d0}}{K_6 K_\epsilon})}$$

- Em baixas frequências, ΔT_ϕ tem apenas componente de dessincronização:

$$\Delta T_\phi = -\frac{K_2 K_4}{K_\epsilon K_6} \Delta \delta$$

- K_ϵ elevado \Rightarrow expressiva redução do valor do ΔT^{ra} em regime, sem regulador ($\Delta T^{ra}|_{s/ reg} = -K_2 K_3 K_4 \Delta \delta$), o que é benéfico.

Análise dos Efeito de Reação da Armadura com Regulador (II)

- Em regime dinâmico ($\omega > 0$):

Análise dos Efeito de Reação da Armadura com Regulador (II)

- Em regime dinâmico ($\omega > 0$):
 - Com regulador:

$$\frac{\Delta T_\phi}{\Delta \delta} = \frac{-K_2 K_4}{K_6 K_\varepsilon (1 + s \frac{T'_{d0}}{K_\varepsilon K_6})}$$

Análise dos Efeito de Reação da Armadura com Regulador (II)

- Em regime dinâmico ($\omega > 0$):

- Com regulador:

$$\frac{\Delta T_\phi}{\Delta \delta} = \frac{-K_2 K_4}{K_6 K_\varepsilon (1 + s \frac{T'_{do}}{K_\varepsilon K_6})}$$

- Sem regulador (como visto anteriormente):

$$\frac{\Delta T_e}{\Delta \delta} = \frac{-K_2 K_3 K_4}{1 + s T'_{do} K_3}$$

Análise dos Efeito de Reação da Armadura com Regulador (II)

- Em regime dinâmico ($\omega > 0$):

- Com regulador:

$$\frac{\Delta T_\phi}{\Delta \delta} = \frac{-K_2 K_4}{K_6 K_\varepsilon (1 + s \frac{T'_{do}}{K_\varepsilon K_6})}$$

- Sem regulador (como visto anteriormente):

$$\frac{\Delta T_e}{\Delta \delta} = \frac{-K_2 K_3 K_4}{1 + s T'_{do} K_3}$$

- Como

$$\frac{T'_{do}}{K_\varepsilon K_6} < T'_{do} K_3$$

Análise dos Efeito de Reação da Armadura com Regulador (II)

- Em regime dinâmico ($\omega > 0$):

- Com regulador:

$$\frac{\Delta T_\phi}{\Delta \delta} = \frac{-K_2 K_4}{K_6 K_\epsilon (1 + s \frac{T'_{do}}{K_\epsilon K_6})}$$

- Sem regulador (como visto anteriormente):

$$\frac{\Delta T_e}{\Delta \delta} = \frac{-K_2 K_3 K_4}{1 + s T'_{do} K_3}$$

- Como

$$\frac{T'_{do}}{K_\epsilon K_6} < T'_{do} K_3$$

- o atraso de fase tende a 90° a frequências bem mais altas;

Análise dos Efeito de Reação da Armadura com Regulador (II)

- Em regime dinâmico ($\omega > 0$):

- Com regulador:

$$\frac{\Delta T_\phi}{\Delta \delta} = \frac{-K_2 K_4}{K_6 K_\epsilon (1 + s \frac{T'_{do}}{K_\epsilon K_6})}$$

- Sem regulador (como visto anteriormente):

$$\frac{\Delta T_e}{\Delta \delta} = \frac{-K_2 K_3 K_4}{1 + s T'_{do} K_3}$$

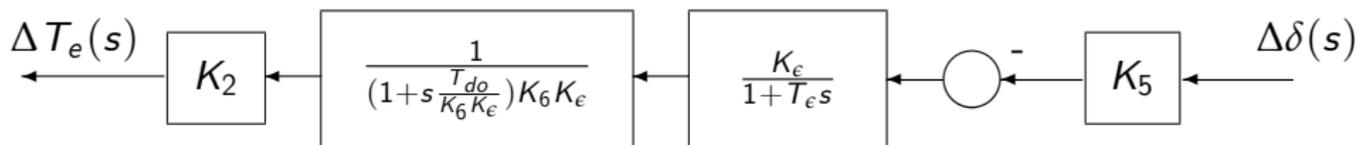
- Como

$$\frac{T'_{do}}{K_\epsilon K_6} < T'_{do} K_3$$

- o atraso de fase tende a 90° a frequências bem mais altas;
- Logo, a componente de torque de amortecimento é praticamente eliminada (K_ϵ elevado!) no caso com regulador.

Efeitos da Sensibilidade da Tensão Terminal a Variações no Ângulo de Torque (I)

Efeitos da Sensibilidade da Tensão Terminal a Variações no Ângulo de Torque (II)



- Função de transferência $\Delta T^\phi / \Delta\delta$:

$$\frac{\Delta T^\phi}{\Delta\delta} = - \frac{K_2 K_\epsilon K_5}{\left(\frac{1}{K_3} + K_6 K_\epsilon\right) + s\left(\frac{T_\epsilon}{K_3} + T'_{do}\right) + s^2 T'_{do} T_\epsilon}$$

Análise do Efeito de K5 - Torque Sincronizante (I)

- Função de transferência $\Delta T^\phi / \Delta \delta$:

$$\frac{\Delta T^\phi}{\Delta \delta} = - \frac{K_2 K_\varepsilon K_5}{\left(\frac{1}{K_3} + K_6 K_\varepsilon\right) + s\left(\frac{T_\varepsilon}{K_3} + T'_{do}\right) + s^2 T'_{do} T_\varepsilon}$$

Análise do Efeito de K5 - Torque Sincronizante (I)

- Função de transferência $\Delta T^\phi / \Delta \delta$:

$$\frac{\Delta T^\phi}{\Delta \delta} = - \frac{K_2 K_\varepsilon K_5}{\left(\frac{1}{K_3} + K_6 K_\varepsilon\right) + s\left(\frac{T_\varepsilon}{K_3} + T'_{do}\right) + s^2 T'_{do} T_\varepsilon}$$

- Contribuição de torque sincronizante:

$$\Delta T_s = - \frac{K_2 K_\varepsilon K_5 \left(\frac{1}{K_3} + K_6 K_\varepsilon - \omega^2 T'_{do} T_\varepsilon\right) \Delta \delta}{\left(\frac{1}{K_3} + K_6 K_\varepsilon - \omega^2 T'_{do} T_\varepsilon\right)^2 + \omega^2 \left(\frac{T_\varepsilon}{K_3} + T'_{do}\right)^2}$$

Análise do Efeito de K5 - Torque Sincronizante (I)

- Função de transferência $\Delta T^\phi / \Delta \delta$:

$$\frac{\Delta T^\phi}{\Delta \delta} = - \frac{K_2 K_\epsilon K_5}{\left(\frac{1}{K_3} + K_6 K_\epsilon\right) + s\left(\frac{T_\epsilon}{K_3} + T'_{do}\right) + s^2 T'_{do} T_\epsilon}$$

- Contribuição de torque sincronizante:

$$\Delta T_s = - \frac{K_2 K_\epsilon K_5 \left(\frac{1}{K_3} + K_6 K_\epsilon - \omega^2 T'_{do} T_\epsilon\right) \Delta \delta}{\left(\frac{1}{K_3} + K_6 K_\epsilon - \omega^2 T'_{do} T_\epsilon\right)^2 + \omega^2 \left(\frac{T_\epsilon}{K_3} + T'_{do}\right)^2}$$

- Para baixas frequências e K_ϵ elevado:

$$\Delta T_s \approx - \frac{K_2 K_\epsilon K_5}{\frac{1}{K_3} + K_6 K_\epsilon} \Delta \delta \approx - \frac{K_2 K_5}{K_6} \Delta \delta$$

Análise do Efeito de K5 - Torque Sincronizante (II)

- Função de transferência $\Delta T^{\phi} / \Delta \delta$ para baixas frequências:

$$\Delta T_s \approx -\frac{K_2 K_5}{K_6} \Delta \delta$$

Análise do Efeito de K_5 - Torque Sincronizante (II)

- Função de transferência $\Delta T_s / \Delta \delta$ para baixas frequências:

$$\Delta T_s \approx -\frac{K_2 K_5}{K_6} \Delta \delta$$

- $K_5 > 0 \Rightarrow \Delta T_s < 0$:

Análise do Efeito de K_5 - Torque Sincronizante (II)

- Função de transferência $\Delta T^\phi / \Delta \delta$ para baixas frequências:

$$\Delta T_s \approx -\frac{K_2 K_5}{K_6} \Delta \delta$$

- $K_5 > 0 \Rightarrow \Delta T_s < 0$:
 - Situações em que $K_5 > 0$ (Z_e baixa/média e carregamento baixo/médio) são as mesmas em que K_1 é elevado;

Análise do Efeito de K_5 - Torque Sincronizante (II)

- Função de transferência $\Delta T^\phi / \Delta \delta$ para baixas frequências:

$$\Delta T_s \approx -\frac{K_2 K_5}{K_6} \Delta \delta$$

- $K_5 > 0 \Rightarrow \Delta T_s < 0$:

- Situações em que $K_5 > 0$ (Z_e baixa/média e carregamento baixo/médio) são as mesmas em que K_1 é elevado;
- Portanto, coeficiente resultante $K_1 - (K_2 K_5 / K_6) > 0 \Rightarrow$ estabilidade.

Análise do Efeito de K_5 - Torque Sincronizante (II)

- Função de transferência $\Delta T^\phi / \Delta \delta$ para baixas frequências:

$$\Delta T_s \approx -\frac{K_2 K_5}{K_6} \Delta \delta$$

- $K_5 > 0 \Rightarrow \Delta T_s < 0$:
 - Situações em que $K_5 > 0$ (Z_e baixa/média e carregamento baixo/médio) são as mesmas em que K_1 é elevado;
 - Portanto, coeficiente resultante $K_1 - (K_2 K_5 / K_6) > 0 \Rightarrow$ estabilidade.
- $K_5 < 0 \Rightarrow \Delta T_s > 0$:

Análise do Efeito de K_5 - Torque Sincronizante (II)

- Função de transferência $\Delta T^\phi / \Delta \delta$ para baixas frequências:

$$\Delta T_s \approx -\frac{K_2 K_5}{K_6} \Delta \delta$$

- $K_5 > 0 \Rightarrow \Delta T_s < 0$:
 - Situações em que $K_5 > 0$ (Z_e baixa/média e carregamento baixo/médio) são as mesmas em que K_1 é elevado;
 - Portanto, coeficiente resultante $K_1 - (K_2 K_5 / K_6) > 0 \Rightarrow$ estabilidade.
- $K_5 < 0 \Rightarrow \Delta T_s > 0$:
 - Situações de impedância moderada a alta e alto carregamento $\Rightarrow K_1$ pequeno, situação mais crítica;

Análise do Efeito de K_5 - Torque Sincronizante (II)

- Função de transferência $\Delta T^\phi / \Delta \delta$ para baixas frequências:

$$\Delta T_s \approx -\frac{K_2 K_5}{K_6} \Delta \delta$$

- $K_5 > 0 \Rightarrow \Delta T_s < 0$:

- Situações em que $K_5 > 0$ (Z_e baixa/média e carregamento baixo/médio) são as mesmas em que K_1 é elevado;
- Portanto, coeficiente resultante $K_1 - (K_2 K_5 / K_6) > 0 \Rightarrow$ estabilidade.

- $K_5 < 0 \Rightarrow \Delta T_s > 0$:

- Situações de impedância moderada a alta e alto carregamento $\Rightarrow K_1$ pequeno, situação mais crítica;
- Portanto, o efeito líquido é de contribuição para manter a estabilidade.

- Contribuição de torque de amortecimento via K_5 na presença do RT:

$$\Delta T_d = \frac{K_2 K_\varepsilon K_5 \left(\frac{T_\varepsilon}{K_3} + T'_{do} \right) \omega}{\left(\frac{1}{K_3} + K_6 K_\varepsilon - \omega^2 T'_{do} T_\varepsilon \right)^2 + \omega^2 \left(\frac{T_\varepsilon}{K_3} + T'_{do} \right)^2}$$

- Contribuição de torque de amortecimento via K_5 na presença do RT:

$$\Delta T_d = \frac{K_2 K_\varepsilon K_5 \left(\frac{T_\varepsilon}{K_3} + T'_{do} \right) \omega}{\left(\frac{1}{K_3} + K_6 K_\varepsilon - \omega^2 T'_{do} T_\varepsilon \right)^2 + \omega^2 \left(\frac{T_\varepsilon}{K_3} + T'_{do} \right)^2}$$

- Se $K_5 < 0$ então $\Delta T_d < 0 \Rightarrow$ componente de torque através de K_5 contribui com amortecimento negativo;

- Contribuição de torque de amortecimento via K_5 na presença do RT:

$$\Delta T_d = \frac{K_2 K_\varepsilon K_5 \left(\frac{T_\varepsilon}{K_3} + T'_{do} \right) \omega}{\left(\frac{1}{K_3} + K_6 K_\varepsilon - \omega^2 T'_{do} T_\varepsilon \right)^2 + \omega^2 \left(\frac{T_\varepsilon}{K_3} + T'_{do} \right)^2}$$

- Se $K_5 < 0$ então $\Delta T_d < 0 \Rightarrow$ componente de torque através de K_5 contribui com amortecimento negativo;
- Além disso, quanto maior K_ε maior será o torque de amortecimento negativo.

- Quando $K_5 < 0$, reguladores rápidos de alto ganho são de muita ajuda para reforçar os torques de sincronização;

Conclusões finais

- Quando $K_5 < 0$, reguladores rápidos de alto ganho são de muita ajuda para reforçar os torques de sincronização;
- Por outro lado, RTs rápidos de alto ganho:

Conclusões finais

- Quando $K_5 < 0$, reguladores rápidos de alto ganho são de muita ajuda para reforçar os torques de sincronização;
- Por outro lado, RTs rápidos de alto ganho:
 - destroem o amortecimento natural da máquina e,

- Quando $K_5 < 0$, reguladores rápidos de alto ganho são de muita ajuda para reforçar os torques de sincronização;
- Por outro lado, RTs rápidos de alto ganho:
 - destroem o amortecimento natural da máquina e,
 - para $K_5 < 0$ (impedância externa moderada a alta e alto carregamento) tendem a introduzir amortecimento negativo.

- Quando $K_5 < 0$, reguladores rápidos de alto ganho são de muita ajuda para reforçar os torques de sincronização;
- Por outro lado, RTs rápidos de alto ganho:
 - destroem o amortecimento natural da máquina e,
 - para $K_5 < 0$ (impedância externa moderada a alta e alto carregamento) tendem a introduzir amortecimento negativo.
- Se efeitos amortecedores da carga não forem suficientes, podem ocorrer situações de *instabilidade* pela ocorrência de *torque de amortecimento negativo*.