



Controle e servomecanismo

TE240

Erro em regime permanente

Juliana L. M. Iamamura

Plano

- Precisão
- Rejeição de perturbações
- Sensibilidade ao ruído
- Sensibilidade paramétrica
- Erro em regime permanente
- Tipos de sistemas
 - Caso geral
 - Realimentação unitária

Rastreamento

- Capacidade do sistema de controle de seguir uma referência.

$$Y(s) \approx R(s)$$

Rastreamento

- Capacidade do sistema de controle de seguir uma referência.

$$Y(s) \approx R(s)$$

- O erro entre a referência e a saída do sistema deve ser pequeno.

Rastreamento

- Capacidade do sistema de controle de seguir uma referência.

$$Y(s) \approx R(s)$$

- O erro entre a referência e a saída do sistema deve ser pequeno.

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{DG}{1+DG} \rightarrow 1$$

Rastreamento

- Capacidade do sistema de controle de seguir uma referência.

$$Y(s) \approx R(s)$$

- O erro entre a referência e a saída do sistema deve ser pequeno.

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{DG}{1+DG} \rightarrow 1$$

$$DG \gg 1$$

Rejeição de perturbações

- Deseja-se minimizar a função de sensibilidade à perturbação:

$$\frac{Y(s)}{W(s)} = \frac{G}{1 + DG} \rightarrow 0$$

Rejeição de perturbações

- Deseja-se minimizar a função de sensibilidade à perturbação:

$$\frac{Y(s)}{W(s)} = \frac{G}{1 + DG} \rightarrow 0$$

$$|1 + DG| \text{ elevado} \Rightarrow DG \text{ elevado} \Rightarrow \frac{Y(s)}{W(s)} \approx \frac{1}{D}$$

Rejeição de perturbações

- Deseja-se minimizar a função de sensibilidade à perturbação:

$$\frac{Y(s)}{W(s)} = \frac{G}{1 + DG} \rightarrow 0$$

$$|1 + DG| \text{ elevado} \Rightarrow DG \text{ elevado} \Rightarrow \frac{Y(s)}{W(s)} \approx \frac{1}{D}$$

- *Bom rastreamento* \rightarrow *boa rejeição a perturbações*

Sensibilidade ao ruído

- Observa-se que o ruído afetará pouco a saída do sistema se a função de sensibilidade ao ruído for minimizada:

$$\frac{Y(s)}{V(s)} = \frac{-DG}{1+DG} \rightarrow 0$$

- Para isso, $|DG|$ deve ser baixo.
- Porém, vimos anteriormente que é desejável que $|DG|$ tenha um valor elevado.

Sensibilidade ao ruído

- Normalmente o ruído tem componentes importantes em altas frequências.
- Logo, pode-se utilizar uma função DG com amplitudes elevadas em baixas frequências, e baixas amplitudes em altas frequências.

$$\frac{Y(s)}{V(s)} = \frac{-DG}{1+DG} \rightarrow 0$$

Sensibilidade paramétrica

- Os parâmetros do sistemas podem sofrer alterações devido ao desgaste, mudanças nas condições de operação (pressão, temperatura, sobretensões...).
- Na realidade os parâmetros não correspondem exatamente aos do modelo.

Sensibilidade paramétrica

- Sensibilidade paramétrica em regime permanente do ganho T em relação ao parâmetro P :

$$S_P^T = \frac{\frac{\Delta T}{T}}{\frac{\Delta P}{P}}$$

Sensibilidade paramétrica

- Se o ganho T for uma função não linear, pode-se aproximá-lo por uma série de Taylor, utilizando-se apenas os termos de primeira ordem:

$$T + \Delta T = T + \frac{dT}{dP} \Delta P$$

$$\Delta T = \frac{dT}{dP} \Delta P$$

Sensibilidade paramétrica

- Assim, pode-se calcular a sensibilidade do ganho T em relação ao parâmetro P , em regime permanente, da seguinte forma:

$$S_P^T = \frac{P}{T} \frac{dT}{dP}$$

Erro em regime permanente

- Erro em regime permanente:

$$e_{rp} = \lim_{t \rightarrow \infty} (r(t) - y(t))$$

- O sistema é considerado estável.
- Referência:

$$r(t) = \frac{t^k}{k!}$$

$$R(s) = \frac{1}{s^{k+1}}$$

$$k = 0, 1, 2, \dots$$

Erro em regime permanente

- Referência:

k	Entrada de
1	Posição
2	Velocidade
3	Aceleração

$$r(t) = \frac{t^k}{k!}$$

$$R(s) = \frac{1}{s^{k+1}}$$

Erro em regime permanente

- Erro de rastreamento em regime permanente pequeno para os primeiros termos => erro pequeno para vários sinais de referência.
- Sistemas estáveis podem ser classificados por tipos em relação às entradas de referência e/ou perturbação.

Erro em regime permanente

- Sistemas do tipo 0, 1, 2 \Rightarrow erro constante para polinômios de entrada de graus 0, 1, 2, respectivamente
 - Tipo 0 $\rightarrow r(t) = \text{degrau unitário}$
 - Tipo 1 $\rightarrow r(t) = \text{rampa unitária}$
 - Tipo 2 $\rightarrow r(t) = \text{parábola unitária}$
- Referência em posição (grau 0), velocidade (grau 1), aceleração (grau 2).

Erro em regime permanente

Entrada	$r(t)$	$R(s)$	e_{rp} p/ sistema tipo 0	e_{rp} p/ sistema tipo 1	e_{rp} p/ sistema tipo 2
Degrau	1	$\frac{1}{s}$	$\frac{1}{1 + K_p}$	∞	∞
Rampa	t	$\frac{1}{s^2}$	0	$\frac{1}{K_v}$	∞
Parábola	$\frac{t^2}{2}$	$\frac{1}{s^3}$	0	0	$\frac{1}{K_a}$

Juliana lamamura