INTRODUÇÃO A SISTEMAS DE CONTROLES

Prof. Iury V. de Bessa
Departamento de Eletricidade
Faculdade de Tecnologia
Universidade Federal do Amazonas

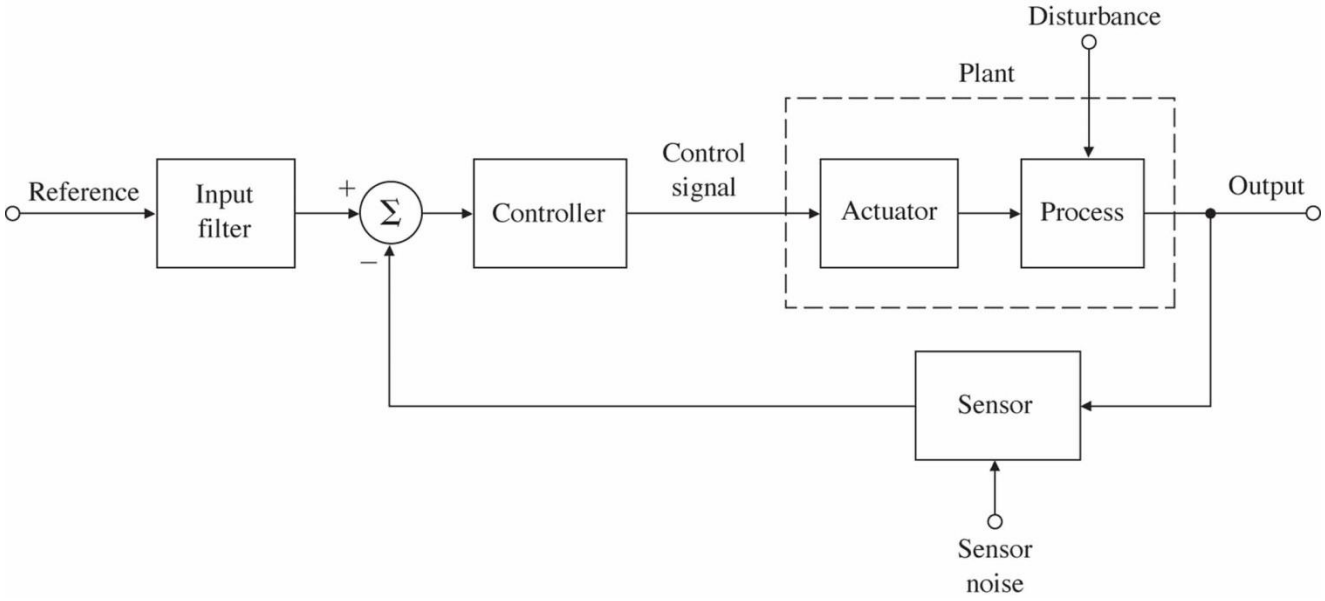
Introdução

- O que é um sistema de controle?
- Qual a importância de um sistema de controle?
- Onde os sistemas de controle são aplicados?
- Por que usar controle com realimentação?
- Quais os tipos de sistemas de controle?
- Qual a natureza geral de um problema de controle?

O que é um sistema de controle?

O que é um sistema de controle?

Um **sistema ou um conjunto de sistemas** que controlam o **comportamento** de outro sistema, implementando **estratégias de controle** e buscando atender um **objetivo de controle**



O que é um sistema de controle?

Um **sistema ou um conjunto de sistemas** que controlam o **comportamento** de outro sistema, implementando **estratégias de controle** e buscando atender um **objetivo de controle**

- Objetivos gerais:
  - OC1) Estabilização ou regulação:
    - Encontrar um sinal de controle $u(t)$ tal que a saída $y(t)$ tenda a zero (ou a um valor constante) quando $t \to \infty$
  - OC2) Seguimento de trajetória:
    - Encontrar um sinal de controle $u(t)$ tal que a saída $y(t)$ acompanhe uma referência $r(t)$

O que é um sistema de controle?

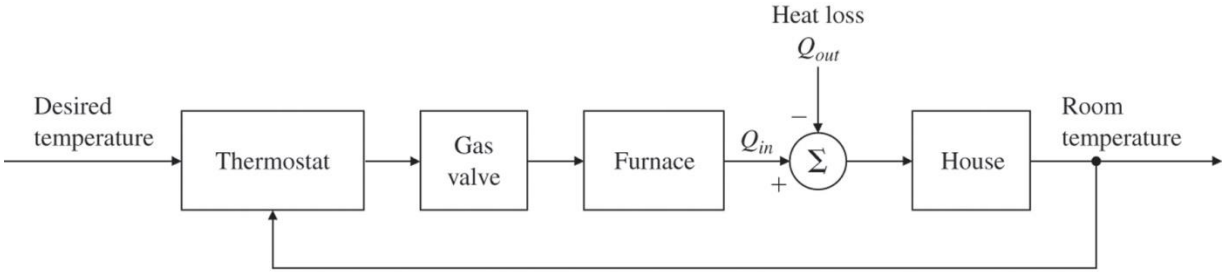
Um **sistema ou um conjunto de sistemas** que controlam o **comportamento** de outro sistema, implementando **estratégias de controle** e buscando atender um **objetivo de controle**

- Malha aberta/Malha fechada/Multi-loops
- On/off
- If/then/else
- Compensação de fase
- Ação proporcional ao erro
- Fuzzy
- ...

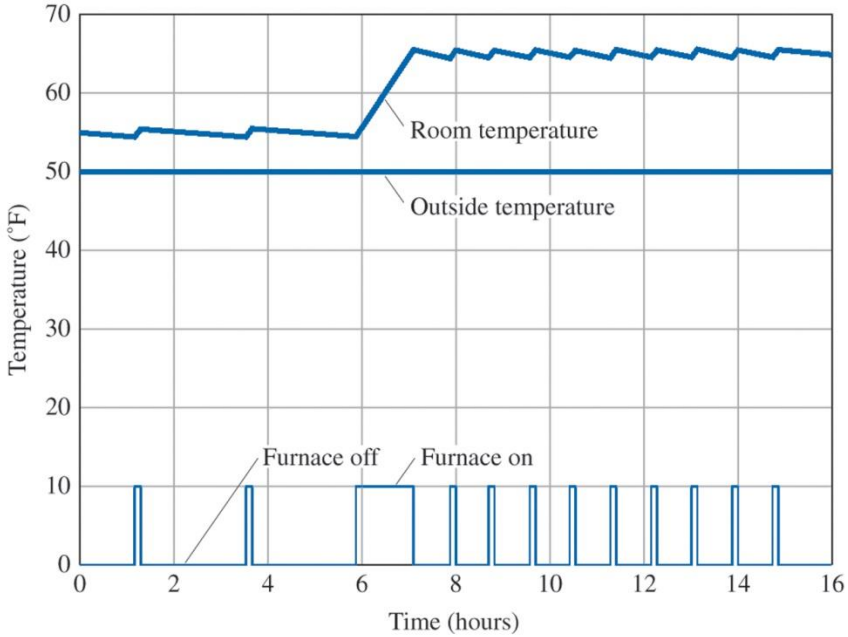
Qual a importância e onde são aplicados?

- Sistemas de controle são elementos catalisadores na promoção do progresso e desenvolvimento
- Aplicações:
  - Veículos autônomos;
  - Sistemas de Transporte Inteligentes;
  - Processos Industriais;
  - Robótica;
  - Industria bélica;
  - Industria aeroespacial.

Controle Retroativo



(a)



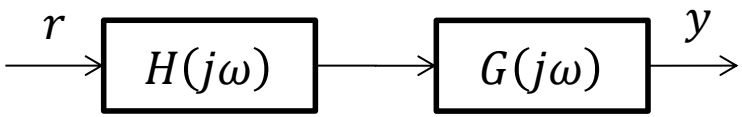
(b)

Efeitos da Realimentação

- Erro de regime permanente
- Ganho global
- Estabilidade
- Sensibilidade
- Ruídos e Perturbações Externas

Efeitos da Realimentação

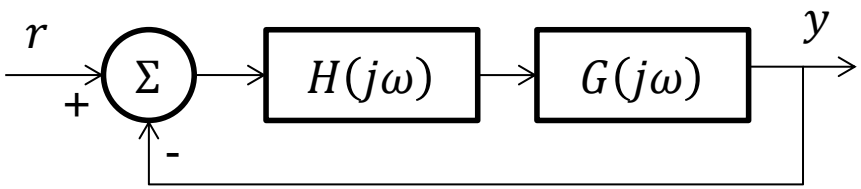
- **Erro de regime permanente**
- Ganho global
- Estabilidade
- Sensibilidade
- Ruídos e Perturbações Externas



$$M = \frac{y}{r} = GH(j\omega)$$

$$\boldsymbol{e = r - y = \left(1 - GH(j\omega)\right) \cdot r}$$

$$S_G^M = \frac{\partial M/M}{\partial G/G} = 1$$



$$M = \frac{y}{r} = \frac{GH(j\omega)}{1 + GH(j\omega)}$$

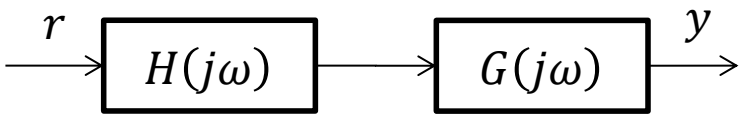
$$\boldsymbol{e = r - y = \frac{1}{1 + GH(j\omega)} \cdot r}$$

$$S_G^M = \frac{\partial M/M}{\partial G/G} = \frac{1}{1 + GH(j\omega)}$$

Efeitos da Realimentação

- **Erro de regime permanente**
- Ganho global
- Estabilidade
- Sensibilidade
- Ruídos e Perturbações Externas

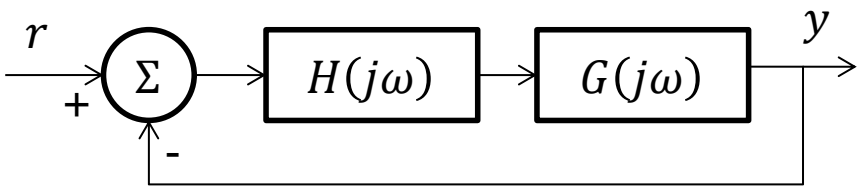
O erro pode ser modificado tanto em malha aberta quanto em malha fechada



$$M = \frac{y}{r} = GH(j\omega)$$

$$\boldsymbol{e = r - y = \left(1 - GH(j\omega)\right) \cdot r}$$

$$S_G^M = \frac{\partial M/M}{\partial G/G} = 1$$



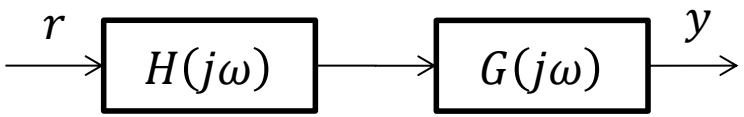
$$M = \frac{y}{r} = \frac{GH(j\omega)}{1 + GH(j\omega)}$$

$$\boldsymbol{e = r - y = \frac{1}{1 + GH(j\omega)} \cdot r}$$

$$S_G^M = \frac{\partial M/M}{\partial G/G} = \frac{1}{1 + GH(j\omega)}$$

Efeitos da Realimentação

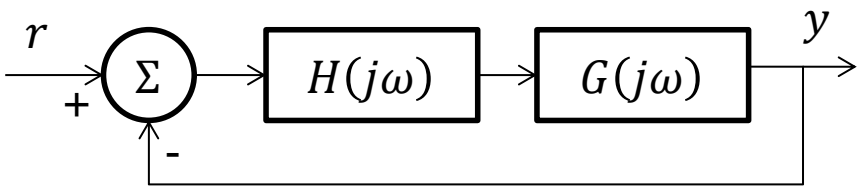
- Erro de regime permanente
- **Ganho global**
- Estabilidade
- Sensibilidade
- Ruídos e Perturbações Externas



$$\boldsymbol{M = \frac{y}{r} = GH(j\omega)}$$

$$e = r - y = \left(1 - GH(j\omega)\right) \cdot r$$

$$S_G^M = \frac{\partial M / M}{\partial G / G} = 1$$



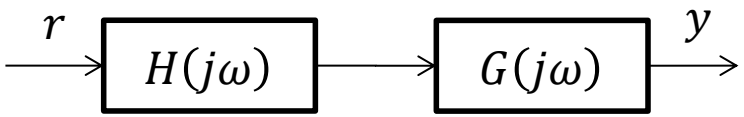
$$\boldsymbol{M = \frac{y}{r} = \frac{GH(j\omega)}{1 + GH(j\omega)}}$$

$$e = r - y = \frac{1}{1 + GH(j\omega)} \cdot r$$

$$S_G^M = \frac{\partial M / M}{\partial G / G} = \frac{1}{1 + GH(j\omega)}$$

Efeitos da Realimentação

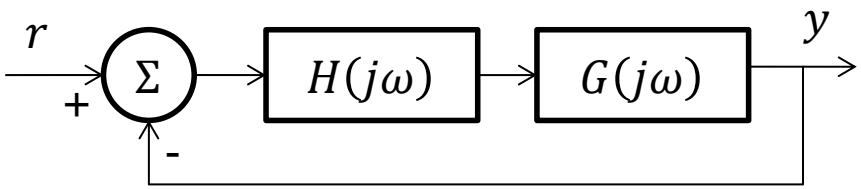
- Erro de regime permanente
- **Ganho global**
- Estabilidade
- Sensibilidade
- Ruídos e Perturbações Externas



$$\boldsymbol{M = \frac{y}{r} = GH(j\omega)}$$

$$e = r - y = \left(1 - GH(j\omega)\right) \cdot r$$

$$S_G^M = \frac{\partial M / M}{\partial G / G} = 1$$



$$\boldsymbol{M = \frac{y}{r} = \frac{GH(j\omega)}{1 + GH(j\omega)}}$$

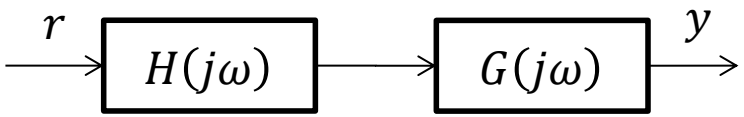
$$e = r - y = \frac{1}{1 + GH(j\omega)} \cdot r$$

$$S_G^M = \frac{\partial M / M}{\partial G / G} = \frac{1}{1 + GH(j\omega)}$$

O ganho global pode ser modificado tanto em malha aberta quanto em malha fechada

Efeitos da Realimentação

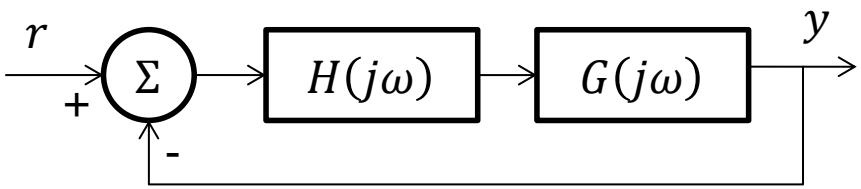
- Erro de regime permanente
- Ganho global
- **Estabilidade**
- Sensibilidade
- Ruídos e Perturbações Externas



$$\boldsymbol{M = \frac{y}{r} = GH(j\omega)}$$

$$e = r - y = \left(1 - GH(j\omega)\right) \cdot r$$

$$S_G^M = \frac{\partial M / M}{\partial G / G} = 1$$



$$\boldsymbol{M = \frac{y}{r} = \frac{GH(j\omega)}{1 + GH(j\omega)}}$$

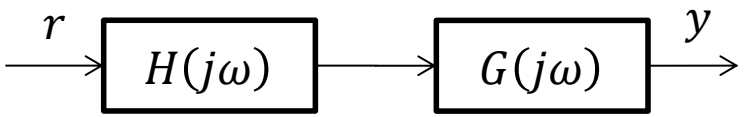
$$e = r - y = \frac{1}{1 + GH(j\omega)} \cdot r$$

$$S_G^M = \frac{\partial M / M}{\partial G / G} = \frac{1}{1 + GH(j\omega)}$$

Efeitos da Realimentação

- Erro de regime permanente
- Ganho global
- **Estabilidade**
- Sensibilidade
- Ruídos e Perturbações Externas

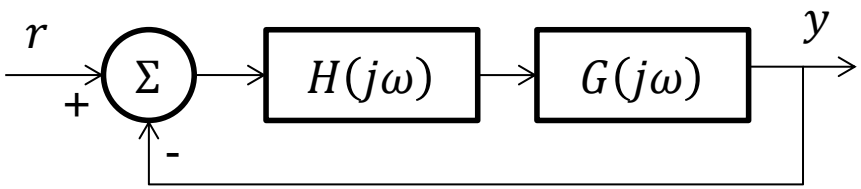
A realimentação pode estabilizar ou causar danos à estabilidade do sistema



$$\boldsymbol{M = \frac{y}{r} = GH(j\omega)}$$

$$e = r - y = \left(1 - GH(j\omega)\right) \cdot r$$

$$S_G^M = \frac{\partial M / M}{\partial G / G} = 1$$



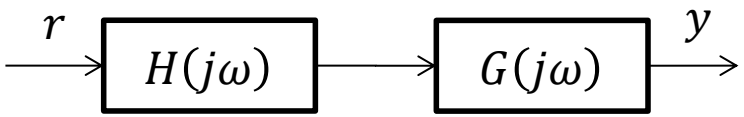
$$\boldsymbol{M = \frac{y}{r} = \frac{GH(j\omega)}{1 + GH(j\omega)}}$$

$$e = r - y = \frac{1}{1 + GH(j\omega)} \cdot r$$

$$S_G^M = \frac{\partial M / M}{\partial G / G} = \frac{1}{1 + GH(j\omega)}$$

Efeitos da Realimentação

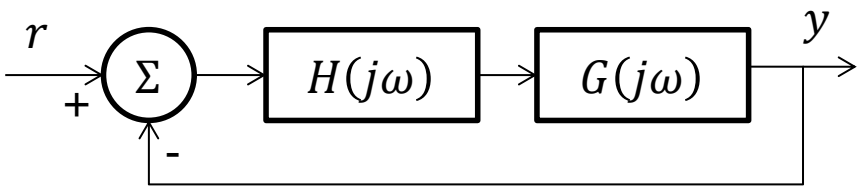
- Erro de regime permanente
- Ganho global
- Estabilidade
- **Sensibilidade**
- Ruídos e Perturbações Externas



$$M = \frac{y}{r} = GH(j\omega)$$

$$e = r - y = \left(1 - GH(j\omega)\right) \cdot r$$

$$\boldsymbol{S_G^M = \frac{\partial M / M}{\partial G / G} = 1}$$



$$M = \frac{y}{r} = \frac{GH(j\omega)}{1 + GH(j\omega)}$$

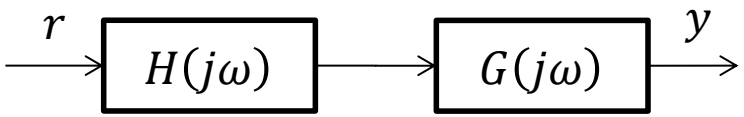
$$e = r - y = \frac{1}{1 + GH(j\omega)} \cdot r$$

$$\boldsymbol{S_G^M = \frac{\partial M / M}{\partial G / G} = \frac{1}{1 + GH(j\omega)}}$$

Efeitos da Realimentação

- Erro de regime permanente
- Ganho global
- Estabilidade
- **Sensibilidade**
- Ruídos e Perturbações Externas

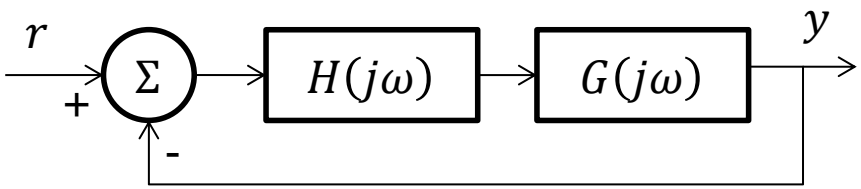
A realimentação pode aumentar ou reduzir a sensibilidade do sistema



$$M = \frac{y}{r} = GH(j\omega)$$

$$e = r - y = \big(1 - GH(j\omega)\big) \cdot r$$

$$\boldsymbol{S_G^M = \frac{\partial M / M}{\partial G / G} = 1}$$



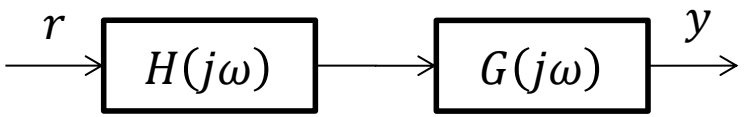
$$M = \frac{y}{r} = \frac{GH(j\omega)}{1 + GH(j\omega)}$$

$$e = r - y = \frac{1}{1 + GH(j\omega)} \cdot r$$

$$\boldsymbol{S_G^M = \frac{\partial M / M}{\partial G / G} = \frac{1}{1 + GH(j\omega)}}$$

Efeitos da Realimentação

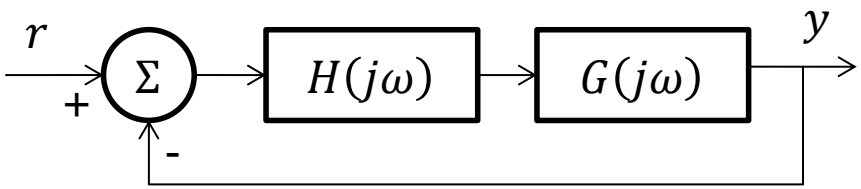
- Erro de regime permanente
- Ganho global
- Estabilidade
- Sensibilidade
- **Ruídos e Perturbações Externas**



$$M = \frac{y}{r} = GH(j\omega)$$

$$e = r - y = \big(1 - GH(j\omega)\big) \cdot r$$

$$S_G^M = \frac{\partial M / M}{\partial G / G} = 1$$



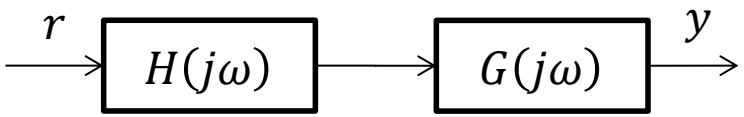
$$M = \frac{y}{r} = \frac{GH(j\omega)}{1 + GH(j\omega)}$$

$$e = r - y = \frac{1}{1 + GH(j\omega)} \cdot r$$

$$S_G^M = \frac{\partial M / M}{\partial G / G} = \frac{1}{1 + GH(j\omega)}$$

Efeitos da Realimentação

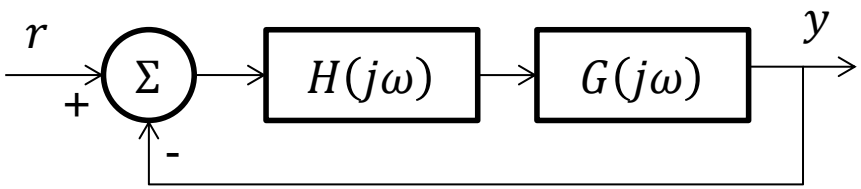
- Erro de regime permanente
- Ganho global
- Estabilidade
- Sensibilidade
- **Ruídos e Perturbações Externas**



$$M = \frac{y}{r} = GH(j\omega)$$

$$e = r - y = \left(1 - GH(j\omega)\right) \cdot r$$

$$S_G^M = \frac{\partial M / M}{\partial G / G} = 1$$



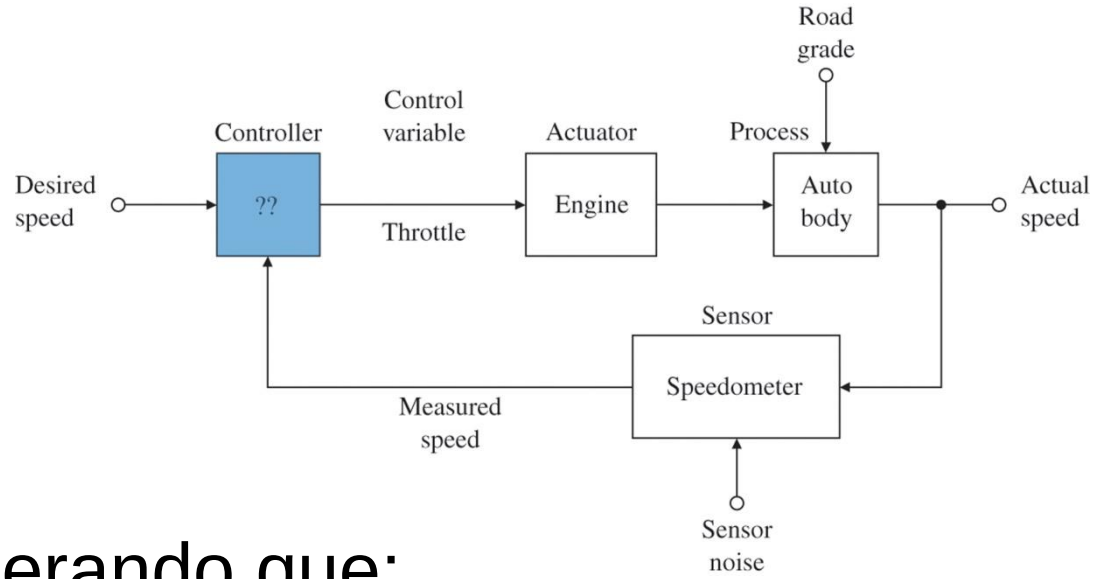
$$M = \frac{y}{r} = \frac{GH(j\omega)}{1 + GH(j\omega)}$$

$$e = r - y = \frac{1}{1 + GH(j\omega)} \cdot r$$

$$S_G^M = \frac{\partial M / M}{\partial G / G} = \frac{1}{1 + GH(j\omega)}$$

A realimentação pode reduzir o efeito dos ruídos e perturbações no desempenho do sistema

Exemplo: controle de velocidade de cruzeiro de um automóvel

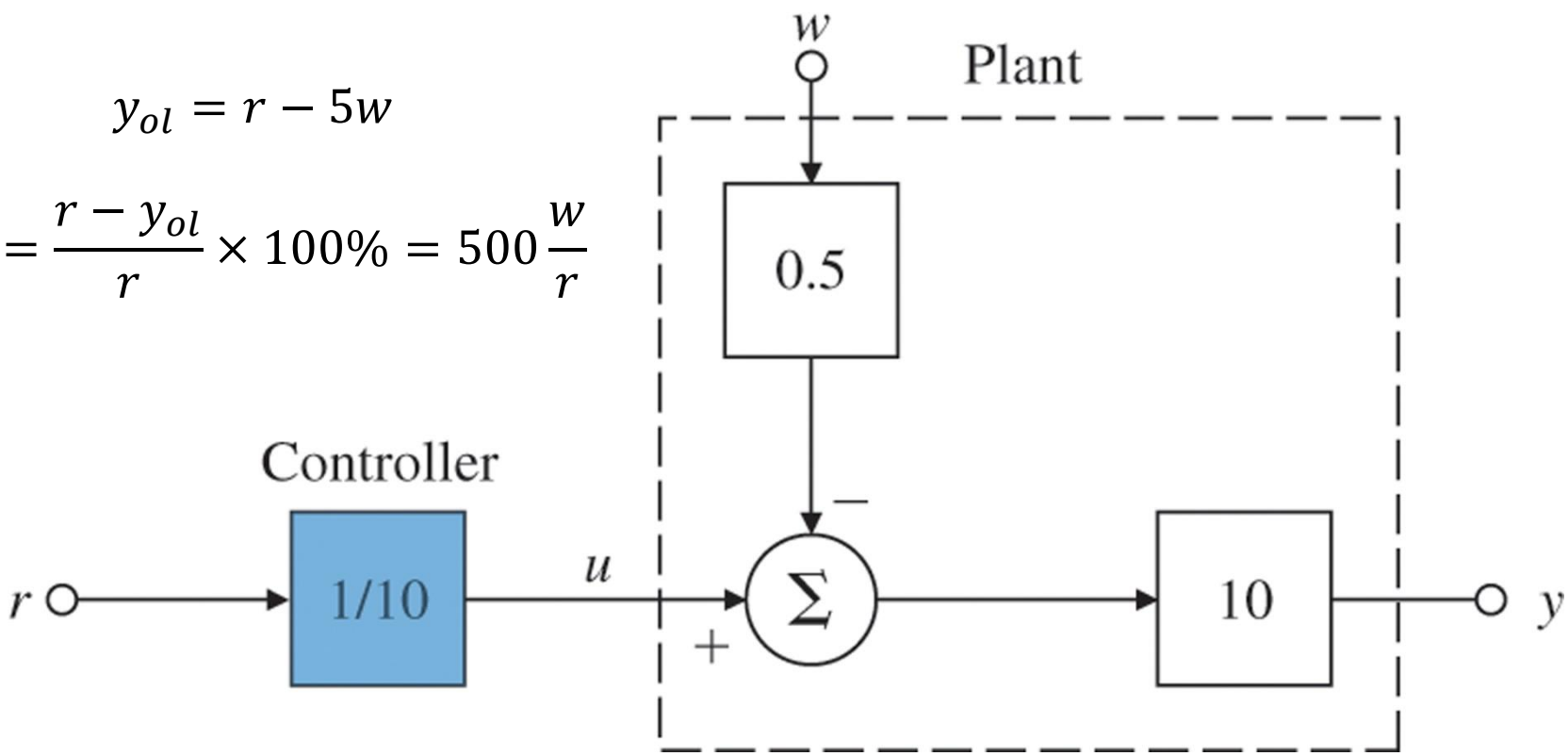


- Considerando que:
  - A referência é $r = 65\ km/h$;
  - Uma mudança de $1°$ no ângulo do acelerador provoca um aumento de $10\ km/h$ na velocidade;
  - Uma inclinação de 1% gera uma mudança de $5\ km/h$;
  - O velocímetro é considerado exato

Controle de velocidade de cruzeiro de um automóvel: malha aberta

$$y_{ol} = r - 5w$$

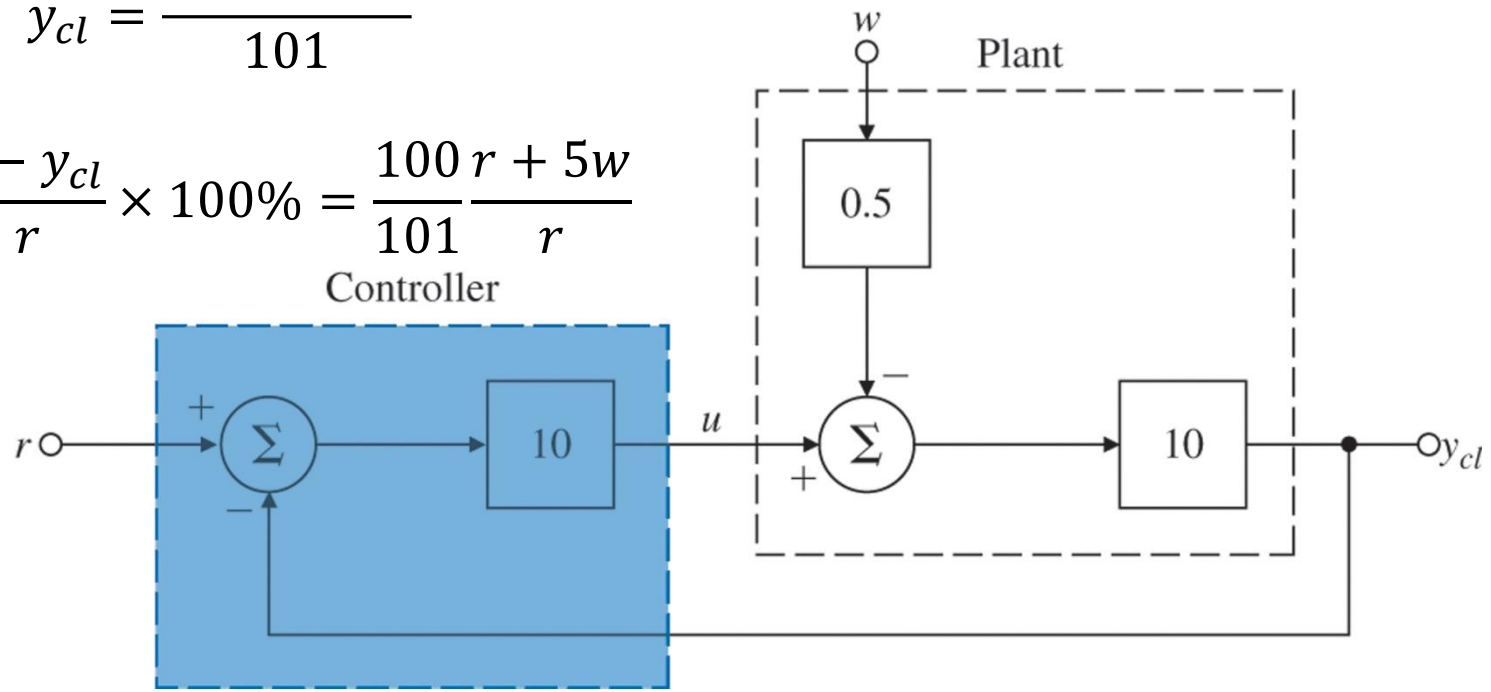
$$e\% = \frac{r - y_{ol}}{r} \times 100\% = 500\frac{w}{r}$$



Controle de velocidade de cruzeiro de um automóvel: malha fechada

$$y_{cl} = \frac{100r - 5w}{101}$$

$$e\% = \frac{r - y_{cl}}{r} \times 100\% = \frac{100}{101}\frac{r + 5w}{r}$$



Alguns conceitos importantes

- Sistemas:
  - Entrada (excitação)
  - Saída (resposta)
  - Estados
- Sistemas de controle:
  - Malha fechada
  - Malha aberta
- Sensibilidade
- Estabilidade
- Sinais:
  - Sinal de referência
  - Sinal de Controle
  - Sinal Atuante (erro)
- Canais:
  - Canal Direto
  - Canal de Retroação
- Objetivos:
  - Regulação
  - Seguimento de Trajetória

Classificação de sistemas

- Lineares X Não-lineares
- Invariantes X Variantes no tempo
- Sistemas de controle a dados contínuos X discretos (digitais ou amostrais)
- Sistemas determinísticos X estocásticos
- Com memória ou sem memória
- Número de entradas e saídas: SISO, MIMO, SIMO, e MISO

Classificação de sistemas

- Sistemas autônomos e não autonomos
- Ordem ou Dimensão de um Sistema:
  - Número de estados de variáveis de estados
  - Sistemas de dimensão finita/infinita
- Causalidade
- Estabilidade
  - BIBO estabilidade
  - Estabilidade assintótica

Natureza geral do problema de controle

- De forma geral o problema de controle pode ser dividido nas seguintes etapas:
  1. Estabelecimentos das especificações de desempenho;
  2. Formulação do problema de controle;
  3. Obtenção do modelo matemático do processo;
  4. Análise do sistema
  5. Escolha da estrutura de controle, formatação da malha, e sintonia de parâmetros
  6. Validação: simulações e testes

Controle Clássico X Moderno

- Teoria de Controle Clássico
  - Se baseia em transformadas de Laplace e Fourier;
  - Utiliza ferramentas de análise no domínio da frequência.
- Teoria de Controle Moderno
  - Se baseia no espaço de estados;
  - Controle Ótimo
- Controle “Contemporâneo”
  - Controle Robusto, Não-frágil, Adaptativo, ...

Voltando às perguntas iniciais

- O que é um sistema de controle?
- Qual a importância de um sistema de controle?
- Onde os sistemas de controle são aplicados?
- Por que usar controle com realimentação?
- Quais os tipos de sistemas de controle?
- Qual a natureza geral de um problema de controle?