

Métodos Experimentais em Física dos Materiais – FMT2501

2º Semestre de 2009

Instituto de Física
Universidade de São Paulo

Professor: **Antonio Domingues dos Santos**

E-mail: adsantos@if.usp.br

Fone: 3091.6886

Sistemas de Contrôlo de Processos

Dinâmica e controle

Dinâmica: as coisas mudam

Em qualquer processo, as condições de operação estão sujeitas a mudanças ao longo do tempo. O nível de líquido em um equipamento, a pressão em um vaso, a vazão de um reagente ou sua temperatura; todas estas condições podem (e costumam) variar.

Controle: uma tentativa de influir no processo

Controlar um processo significa atuar sobre ele, ou sobre as condições a que o processo está sujeito, de modo a atingir algum objetivo - por exemplo, podemos achar necessário ou desejável manter o processo sempre próximo de um determinado estado estacionário, mesmo que efeitos externos tentem desviá-lo desta condição.

Objetivo de controle:

Pretende-se um estado estacionário ou uma condição de operação desejável.

**Sistemas de malha aberta
ou de malha fechada.**

Sistemas de Contrôles de Processos

Exemplos cotidianos

Manter um carro na estrada

monitora-se: **a trajetória/ velocidade/ tráfego**

atua-se: **sobre volante/ acelerador/ freio**

controla-se: **a trajetória**

segurança: **guard-rails/ muretas**

Tomar uma ducha quente

monitora-se: **temperatura/ vazão da água**

atua-se: **sobre as torneiras**

controla-se: **a temperatura (e vazão, se der)**

segurança: **box maior que o jato da ducha**

Controle de orçamento

monitora-se: **o saldo bancário**

atua-se: **sobre desembolsos**

controla-se: **o orçamento**

segurança: **poupança?**

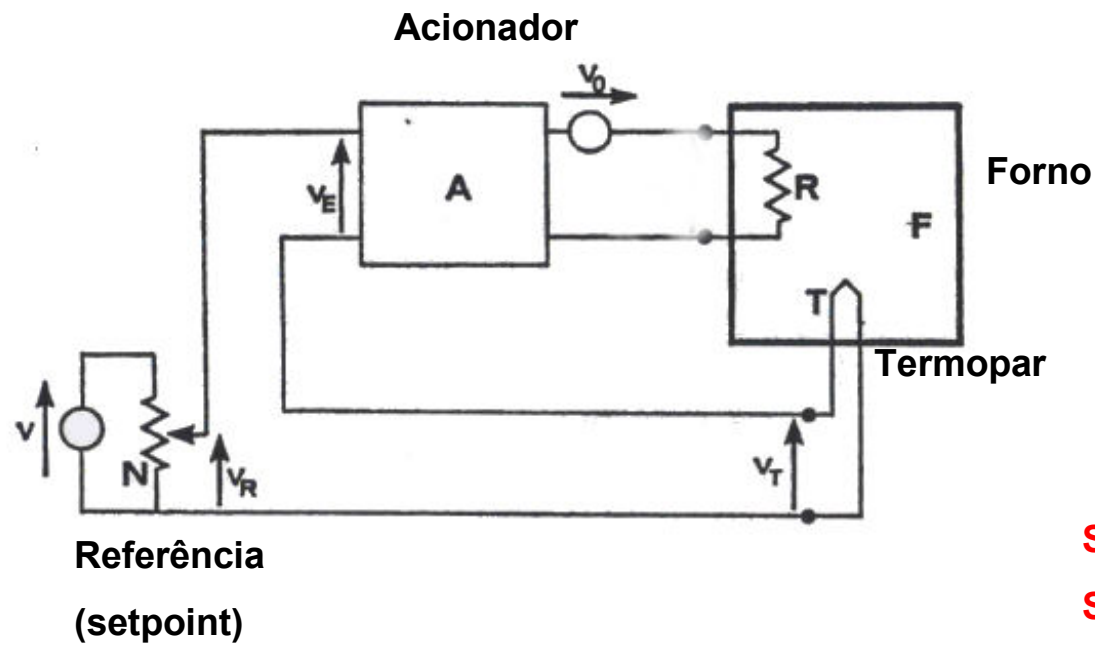
Altitude de vôo de um avião

monitora-se: **tudo**

atua-se: **sobre manche, etc.**

controla-se: **a altitude**

segurança: **. . .**

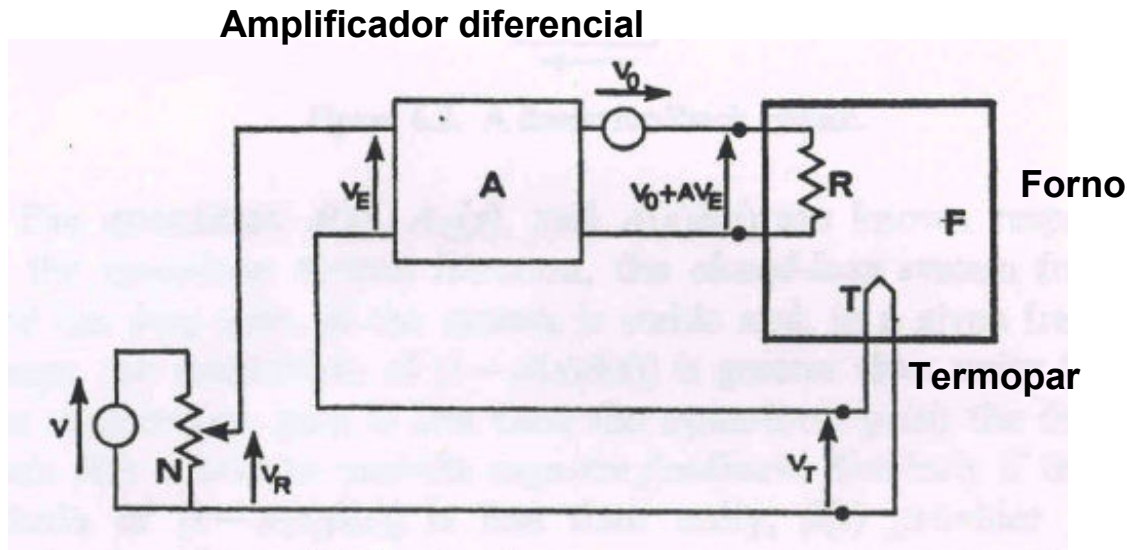
Sistemas de Contrôlo de Processos**Com Retroalimentação Negativa****Se $V_E > 0 \Rightarrow$ liga****Se $V_E < 0 \Rightarrow$ desliga**

$$V_E = V_R - V_T$$

Controlador Liga/desliga

Sistemas de Contrôlo de Processos

Com Retroalimentação Negativa



Referência
(setpoint)

Controlador Proporcional (tipo P)

$$V = A V_E$$

Onde A é o ganho
e $V_E = V_R - V_T$

Para $A \uparrow$ oscila

Para $A \downarrow$ demora para estabilizar

Portanto, existe um A ideal para otimizar o sistema (chegar mais rápido na temperatura de equilíbrio).

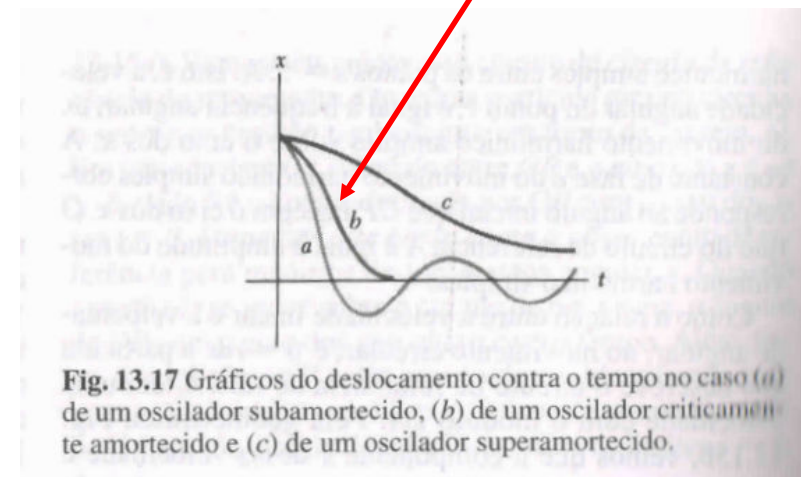
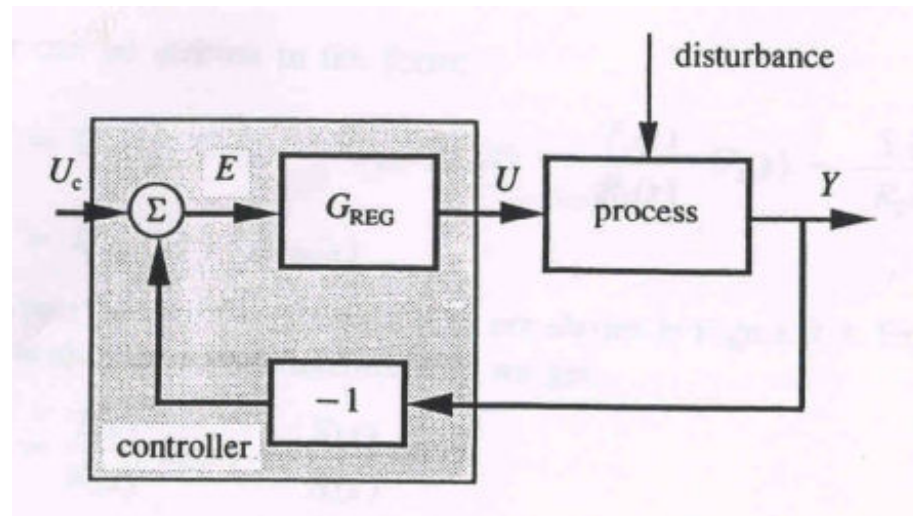


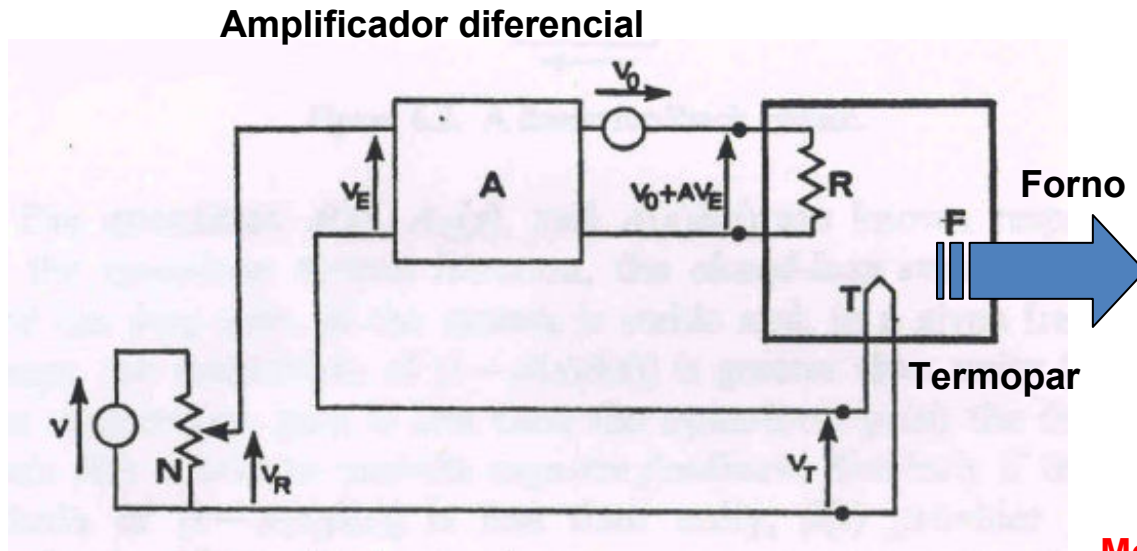
Fig. 13.17 Gráficos do deslocamento contra o tempo no caso (a) de um oscilador subamortecido, (b) de um oscilador criticamente amortecido e (c) de um oscilador superamortecido.

Sistemas de Contrôlo de Processos**Com Retroalimentação Negativa****Controlador Proporcional (tipo P)**

$$u(t) = -ke(t)$$

Sistemas de Contrôlo de Processos

Com Retroalimentação Negativa



Referência
(setpoint)

Fuga de calor
(isolamento ruim)

Mesmo para um A ideal, o setpoint não vai ser atingido.

A temperatura vai se estabilizar no valor em que o calor fornecido por R ($\propto V_E$) for igual a fuga de calor.

$$T \neq T_{ref}$$

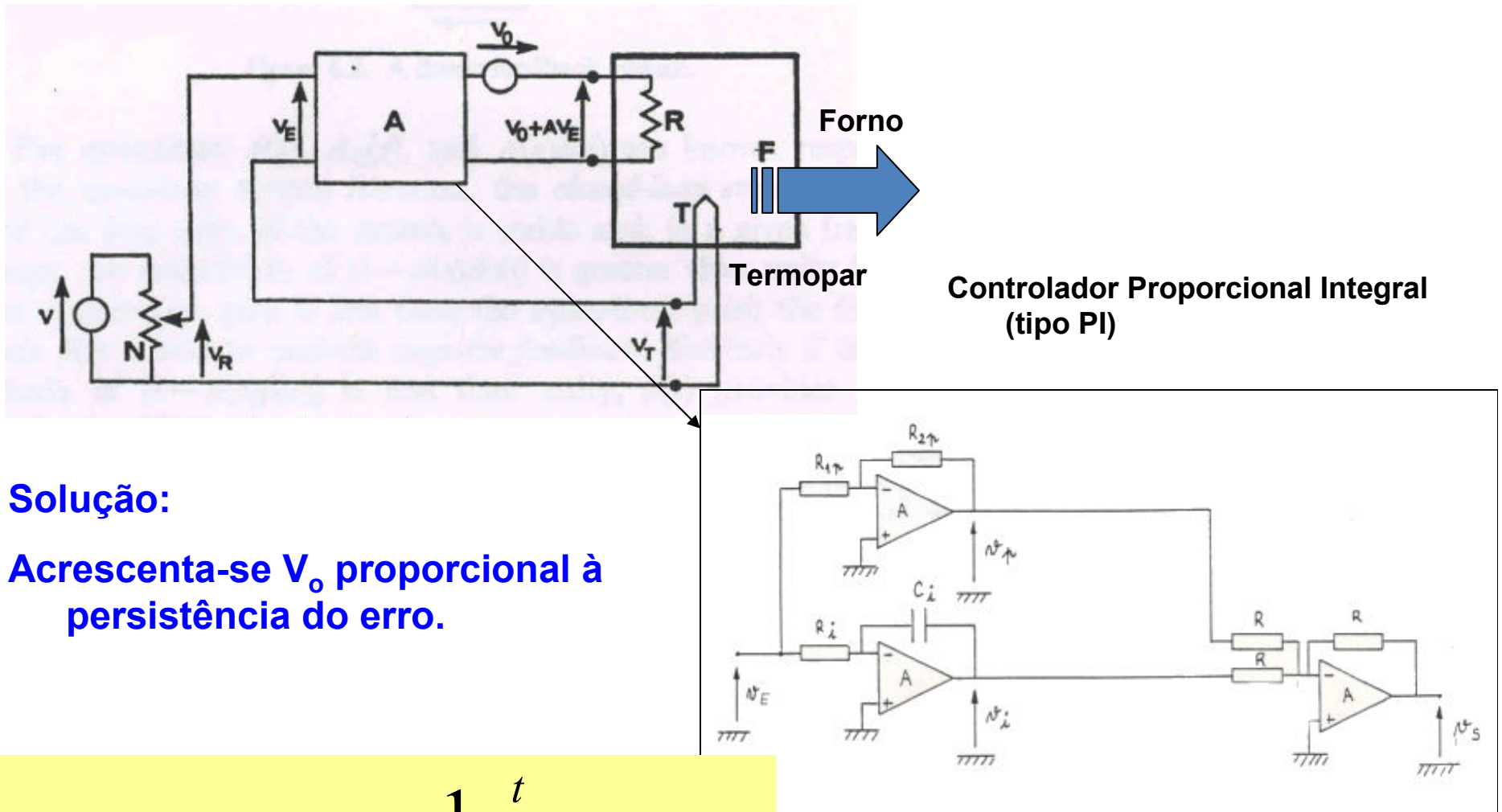
Solução:

Acrescenta-se V_0

Mas, V_0 deve ser função de T_{ref}

Sistemas de Contrôlo de Processos

Com Retroalimentação Negativa



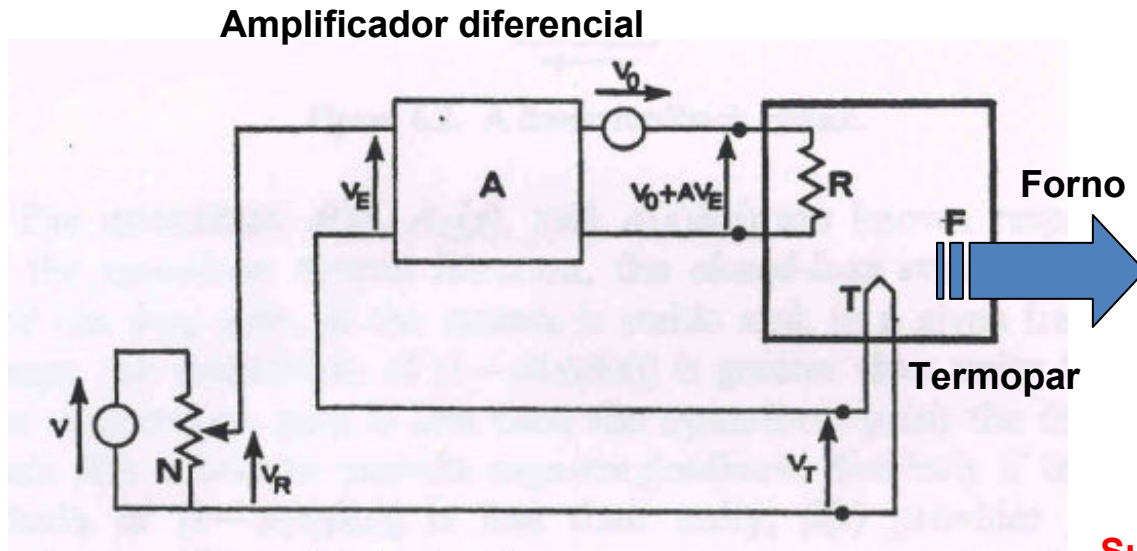
Solução:

Acrescenta-se V_0 proporcional à persistência do erro.

$$u(t) = -ke(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t') dt'$$

Sistemas de Contrôlo de Processos

Com Retroalimentação Negativa



Referência
(setpoint)

Fuga de calor
(isolamento ruim)

Suponha que a propagação do calor da resistência até o sensor seja demorada.

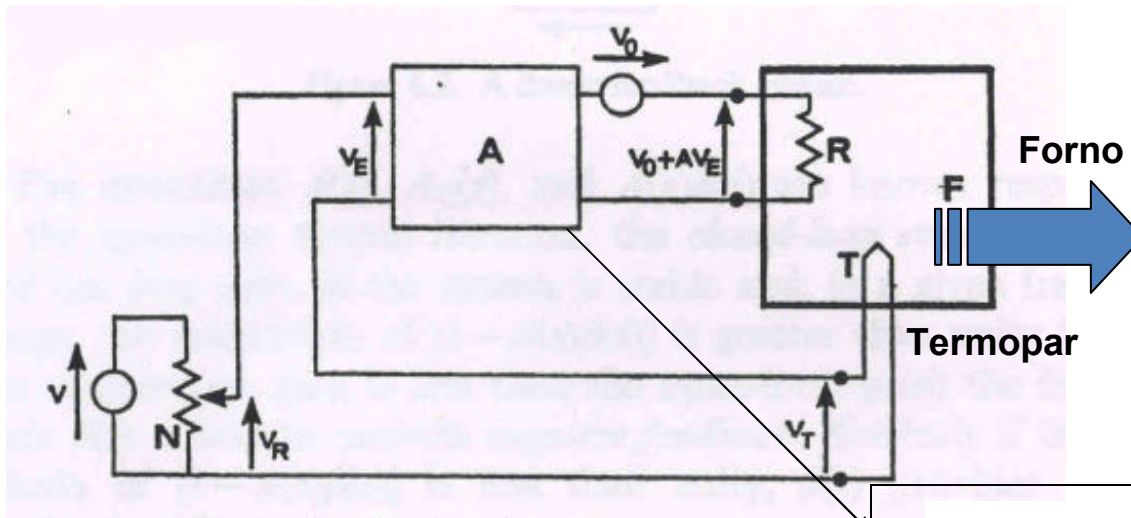
Ocorrerão defasagens e oscilações na temperatura.

Solução:

Acrescenta-se uma defasagem oposta

Sistemas de Contrôlo de Processos

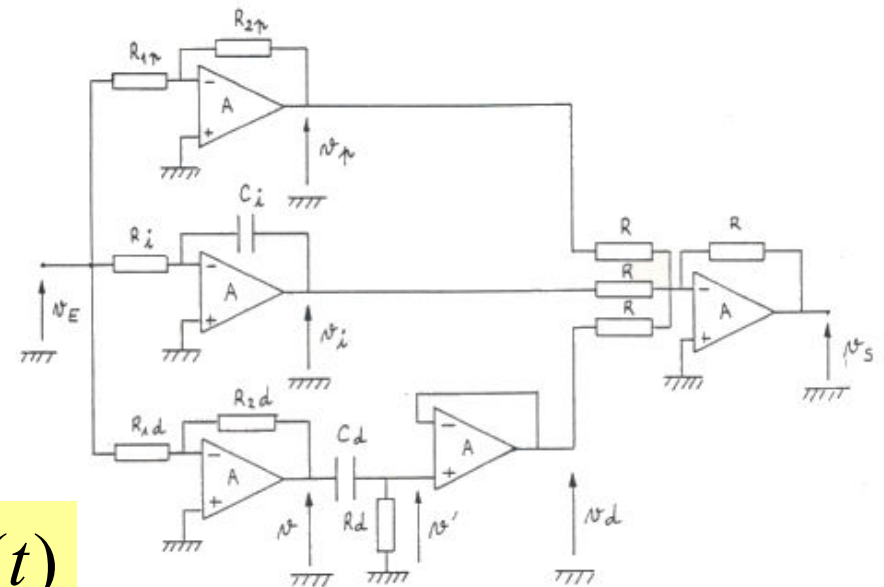
Com Retroalimentação Negativa



Controlador Proporcional Integral Diferencial (tipo PID)

Solução:

Acrescenta-se V_0 proporcional à variação do erro.

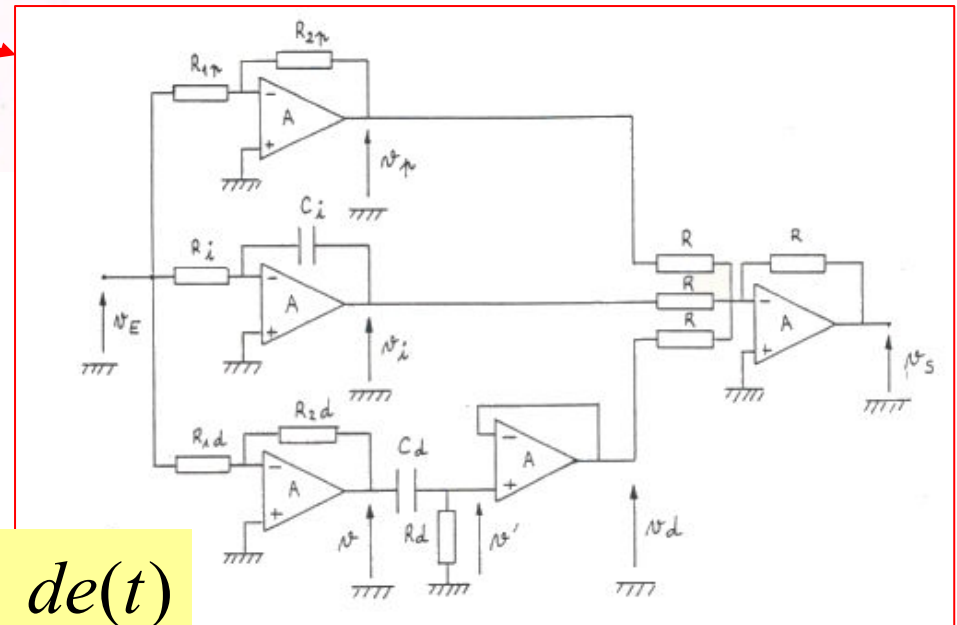
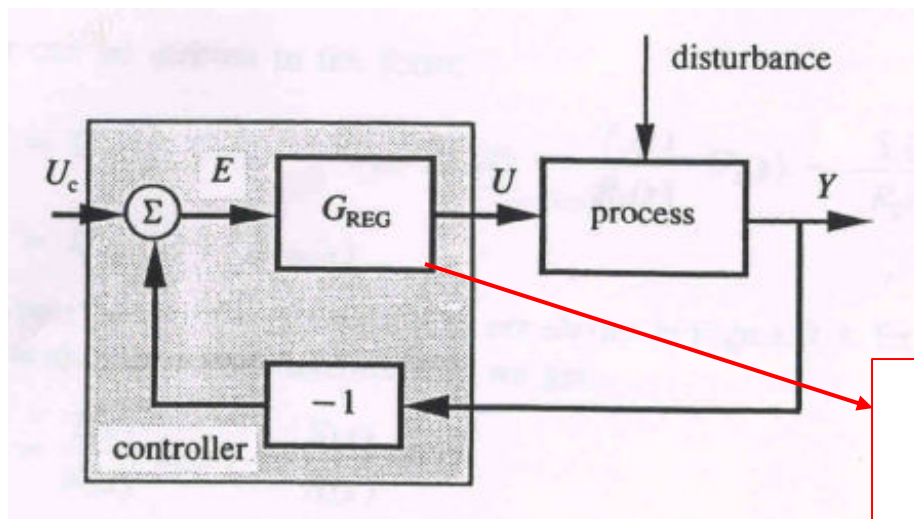


$$u(t) = -Ke(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t') dt' - T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Sistemas de Contrôlo de Processos

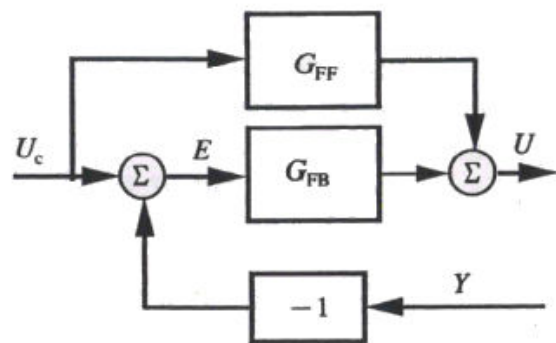
Com Retroalimentação Negativa

Controlador Proporcional Integral Diferencial (tipo PID)



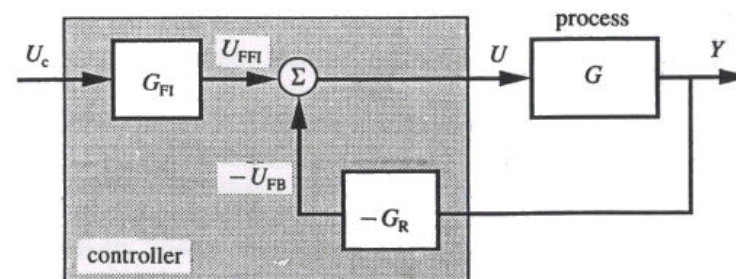
$$u(t) = -Ke(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t') dt' - T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Sistemas de Contrôlo de Processos

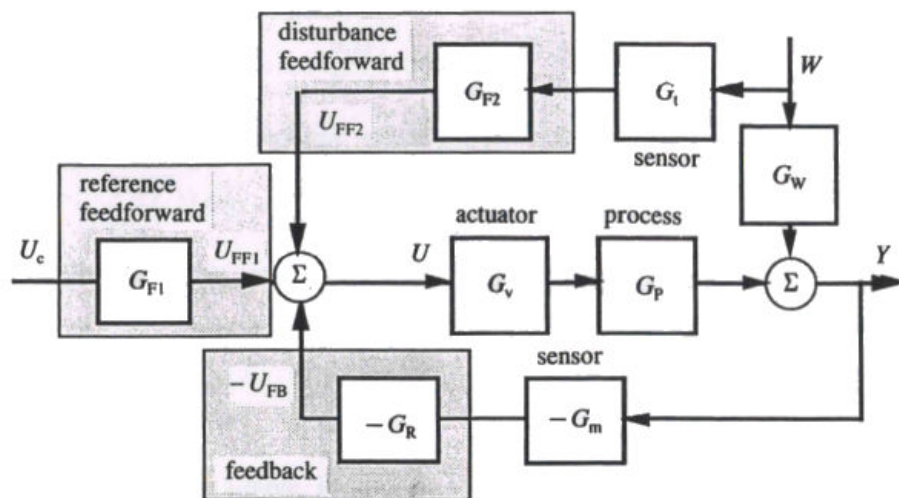


Melhora a resposta a variações na referência

Com Retroalimentação Negativa e
alimentação adiantada



Forma alternativa



Melhora a resposta a variações nas
perturbações externas

Sistemas de Controle de Processos

Com Retroalimentação Negativa

Controlador Proporcional Integral Diferencial (tipo PID)

Há vários métodos práticos para o ajuste de um controlador PID a um processo dado; pode-se dizer que são regras práticas para compensação de servo-sistemas.

1.º método:

$$G_c(s) = k_c \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_D s \right)$$

- 1.º) Ajuste T_D e $1/T_i$ em zero;
- 2.º) Aumente lentamente o ganho k_c até que se instale no sistema uma oscilação periódica;
- 3.º) Seja k_u este valor do ganho e P_u o período da oscilação;
- 4.º) Escolha os parâmetros do compensador de acordo com a tabela abaixo:

Transmittance du régulateur	Valeurs des paramètres du régulateur selon Ziegler et Nichols					
	Essai indiciel (a,L)			Limite de pompage (K_o, T_o)		
$R(s) = K_p$	$K_p = \frac{1}{aL}$			$K_p = 0,5 K_o$		
$R(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{sT_i} \right)$	$K_p = \frac{0,9}{aL}$	$T_i = 3,3 L$		$K_p = 0,45 K_o$	$T_i = 0,83 T_o$	
$R(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{sT_i} + sT_D \right)$	$K_p = \frac{1,2}{aL}$	$T_i = 2 L$	$T_D = 0,5 L$	$K_p = 0,6 K_o$	$T_i = 0,5 T_o$	$T_D = 0,125 T_o$

Malha aberta

Malha fechada

Método alternativo:

- 1) Ajuste T_D e $1/T_i$ em zero
- 2) Aumente o ganho até oscilar
- 3) Reduza o ganho à metade
- 4) Diminua T_i até oscilar
- 5) Duplique T_i e faça $T_D = T_i$