Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

**CONTROLO** – 2002/2003 – 2º semestre

2º Exame – 8 Julho 2003

- ***Identifique com nome e número*** todas as folhas do exame
- ***Resolva problemas distintos em folhas separadas***
- ***Justifique*** os seus cálculos e respostas
- Duração: 3 horas

**Problema 1**

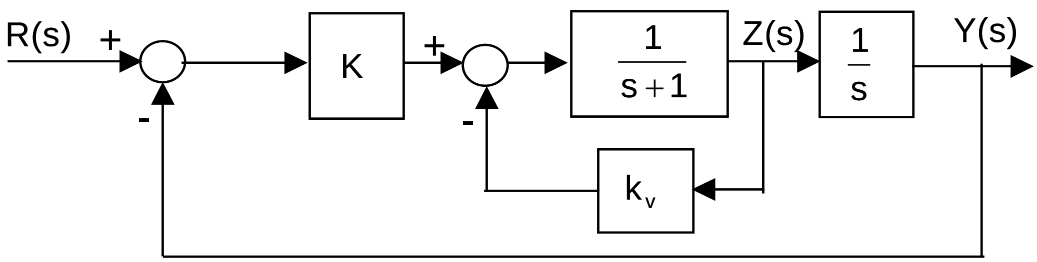


Figura 1. Controlo de um motor de corrente contínua.

A figura 1 representa um sistema de controlo de um motor de corrente contínua com ***retroacção de posição e velocidade***. Na figura, y(t) e z(t) (com transfomadas de Laplace Y(z) e Z(s)) representam, respectivamente, a posição e a velocidade angular do veio do motor. A variável r(t) denota o sinal de entrada.

**1.1** Calcule, como função de *K>0* e de $k_v \geq 0$, os erros estacionários no seguimento a entradas escalão, rampa e parábola.

**1.2** Para um valor de $k_v \geq 0$ fixo, mas arbitrário, desenhe o "root-locus" do sistema como função de *K>0*. Justifique cuidadosamente a sua resposta, calculando todos os pontos notáveis do root-locus e os ganhos de K correspondentes.

**1.3** Calcule agora os valores de *K>0 e* $k_v \geq 0$ de modo a que o *sistema em malha fechada exiba um par de polos complexos conjugados com* $\omega_n$*=10 rads*$^{-1}$ *e* $\xi$=0.5.

**1.4** Para o valor de *K* determinado na alínea 1.3, desenhe o "root-locus" do sistema como função de $k_v$ *positivo e negativo*. Justifique cuidadosamente a sua resposta, calculando todos os pontos notáveis do root-locus e os ganhos de $k_v$ correspondentes (caso não tenha feito a alínea 1.3, adopte *K=100*). Comente àcerca do impacte da variação de $k_v$ na estabilidade e desempenho do sistema em malha fechada. Em particular, interprete as consequências de uma falha do sensor de velocidade (taquímetro) e a consequente interrupção do "*loop*" de retroacção de velocidade

**Problema 2**

Considere o sistema da Figura 2

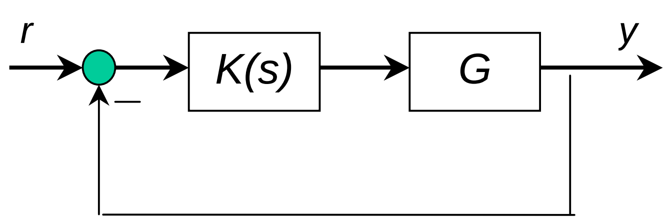


Figura 2

onde $G(s) = \dfrac{1}{s(s+1)}$

Pretende-se que o sistema em malha fechada seja estável e que a resposta y(t) a um *escalão unitário* em r(t) cumpra as seguintes especificações:

Tempo de estabelecimento menor ou igual a 1.3 seg.

Sobreelevação menor ou igual a 16%.

**2.1** Projecte um controlador tipo por avanço de fase com função de transferência

$$K(s) = k\frac{s+z}{s+p}; p, z > 0$$

de modo a satisfazer os requisitos enunciados. Faça *p=10 rad s*$^{-1}$.

**2.2)** Se utilizar o controlador dimensionado em a), quais as diferenças qualitativas que espera encontrar entre a resposta resultante e a resposta desejada do sistema ? Justifique cuidadosamente.

**Problema 3**

Considere o sistema de controlo da Figura 3

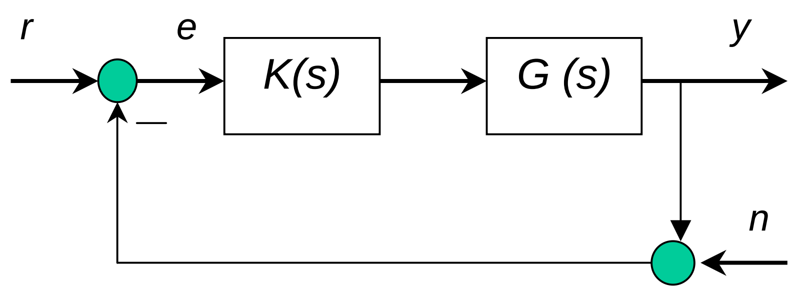


Figura 3

com $G(s) = \dfrac{10}{s(s+10)}$ .

Pretende-se projectar um controlador *K(s)* de modo a que

i) o sistema em malha fechada seja estável

e sejam satisfeitos os seguintes requisitos:

ii) erro estático de posição (em resposta a um escalão unitário na entrada *r*) igual a zero.

iii) erro estático de velocidade (em resposta a uma entrada $r(t)=t$ ) menor ou igual a 10%.

iii) Seguimento de sinais de referência *r(.)* na gama de frequências *[0, 0.01] rad* $s^{-1}$ com erro menor ou igual a *-100 db.*

iii) Atenuação de ruído n*(.)* na gama de frequências *superior a 1000 rad* $s^{-1}$ de pelo menos –40dB.

iv) Margem de fase $P_M$ maior ou igual a $45^o$

v) Margem de ganho $G_M$ positiva maior ou igual a +40 db.

**3.1.** Mostre que não consegue atingir os obejctivos indicados com um simples ***controlador proporcional*** *K(s)=k>0*. Justifique detalhadamente utilizando o traçado assimptótico do diagrama de Bode do ganho de malha *L(s)=G(s)K(s).*

**3.2.** Mostre que também não se conseguem atingir os objectivos indicados com um controlador *K(s)* de ***avanço de fase***.

**3.3.** Projecte um controlador de ***atraso de fase*** de modo a satisfazer os requisitos indicados. ***Justifique todos os passos com base nos diagramas de Bode e de Nyquist do ganho de malha L(s)=G(s)K(s) final***. Calcule (com base no diagrama assimptótico do Diagrama de Bode) as margens de ganho positiva e negativa do sistema final e interprete qualitativamente o significado destas grandezas.

**3.4.** Suponha que existe um atraso $\tau>0$ na transimissão de informação entre o controlador *K(s)* e o sistema a controlar *G(s).* Para o sistema de controlo determinado em 3.c determine o atraso máximo tolerado a partir do qual o sistema se torna instável. Sugestão: note que a função de transferência de um atraso puro é $exp(-\tau s)$ e que quando *s=jw* este factor se traduz num atraso de fase que varia linearmente com a frequência. Utilize o critério de Nyquist. Caso não tenha resolvido a alínea 3.c, indique o procedimento teórico a seguir.