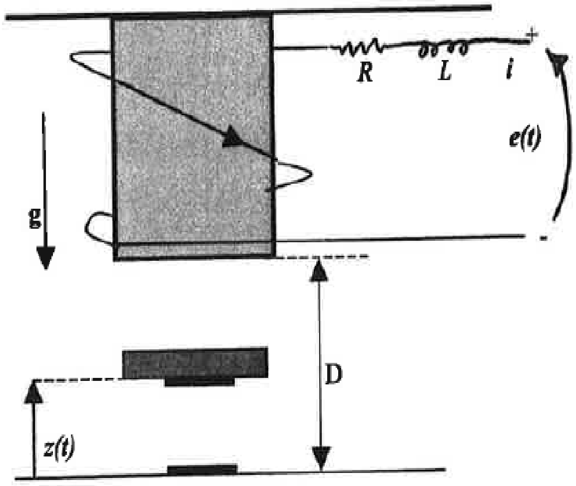
2- (5,0 pts.)Considere um sistema de levitação magnética representado na figura abaixo:



A tensão, $e(t)$, na entrada da bobina do atuador eletromagnético é fornecida pelo circuito de controle. A bobina é modelada por um circuito R, L, conforme a figura.

A força exercida pelo atuador, que é de atração para a corrente $i(t)$ no sentido indicado na figura, tem intensidade dada por:

$$F_m(t) = k\frac{i^2(t)}{(D - z(t))^2}$$

A distância "z" do objeto, de massa "m" e altura desprezível, à base é medida através de um sensor de proximidade capacitivo. A relação entre a distância medida e a tensão correspondente é linearizada através de um circuito eletrônico.

Pede-se:

a) (1,5pts)Escreva as equações diferenciais que descrevem o movimento do objeto, em função das forças a que está submetido, e o circuito do atuador eletromagnético;

b) (2,0 pts) Linearize o sistema em torno da condição de equilíbrio, onde $z=z0$, $\dot{z}_0 = 0$, $i=i0$ e $e=e0$;

c) (1,5 pts)Escreva a equação de estados do sistema, onde a entrada é a variação de tensão $\Delta e(t)$ do circuito do atuador e a saída é a variação de tensão $\Delta v(t)=k_C\Delta z(t)$, fornecida pelo circuito contendo o sensor capacitivo, em relação à condição de equilíbrio.

2- (5 pts.). A figura abaixo representa um microfone capacitivo. A placa "a" do capacitor é fixada rigidamente ao invólucro do microfone. As ondas sonoras se chocam sobre a placa "b", de massa "M", e exercem uma força f. A placa "b" é isolada da moldura através de uma mola de constante elástica "k" e de um amortecimento "b". A tensão de saída que aparece sobre o resistor, com resistência "R", reproduz eletricamente as formas das ondas sonoras que incidem sobre a placa "b". O resistor está unido à placa "b" através de um condutor de indutância "L". O circuito é submetido a uma tensão constante "E". Na posição de equilíbrio, da placa "b", o capacitor está carregado com uma carga "q*". Nesta condição, a mola distende-se x^*, em relação ao seu comprimento natural, e a capacitância vale

$$C^* = \frac{\varepsilon A}{(D - x_1)}$$

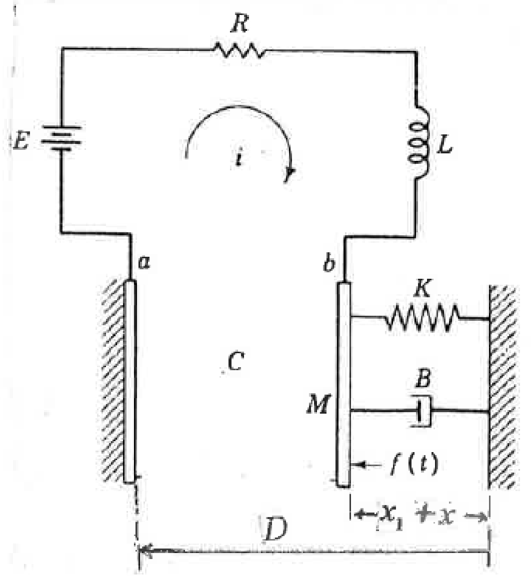
, onde ε é a constante dielétrica do ar e "A", a área da placa. As dimensões "D" e "x1" estão indicadas na figura, sendo que $x_1 = x^* + L,$. onde L é o comprimento natural da mola. Além dessas informações, considere a força de atração entre as placas do capacitor:

$$F = \frac{q^2}{2\varepsilon A}$$

a) (2 pts.) Determine as equações do circuito e do movimento da placa "b";

b) (2 pts.) Linearize as equações, expressando "E" em função dos valores de regime permanente das variáveis mencionadas ;

c) (1 pt.)A equação de estados, onde $f(t)$ é a entrada e a tensão no resistor é a saída.



1ª. Questão. Considere o pêndulo invertido, de comprimento l e massa m. As grandezas, a seguir, são expressas sistema internacional de unidades. Pede-se:

a) (1,0 pts.) Represente no espaço de estados o sistema, considerando pequenos ângulos em torno da vertical. Admita entrada nula e saída igual ao ângulo "θ";

b) (1,0pts.) Mostre que o sistema é instável;

c) (1,5 pts) Para estabilizar o pêndulo, coloca-se um servo-mecanismo, composto por um motor de corrente contínua acionando a articulação e um circuito de controle, com características:

c.1) constante de torque igual à constante de força contra-eletromotriz, com valor "k_m";

c.2) Resistência de armadura "R" e indutância desprezível;

c.3) Inércia total do sistema motor-eixo-pêndulo igual a "J";

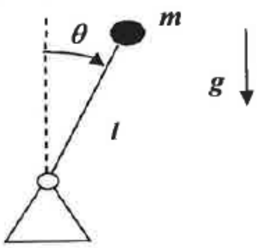
c.4) Razão $\dfrac{k_m}{RJ}=1$

c.5) Tensão de armadura e definida pela lei de controle "$e = K_1(\theta_{ref} - \theta) + K_2\dot{\theta}$"

Determine a nova representação no espaço de estados admitindo a entrada como sendo o valor de referência "θ_{ref}", e a saída, o valor "θ".

d) (1,0 pts) Determine a função de transferência do sistema, sem utilizar a matriz de transição de estados e sua transformada de Laplace.

e) (1,5 pts) Determine as constantes K_1 e K_2 de forma a se obter a resposta mais rápida sem sobre-sinal e um tempo de acomodação igual a 0,4s.



2. Um atuador eletromecânico está esquematizado na figura 2. A bobina, tem enrolamento que possui resistência R e indutância L. A força magnética produzida na bobina e que atua na barra é dada por:

$$f = k_B \frac{i^2}{(D - x_a)^2}.$$

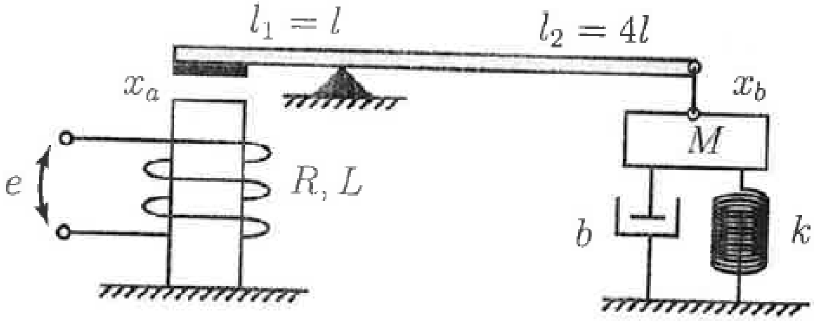


Figura 2: Atuador Eletromecânico.

Os deslocamentos, x_a e x_b, são expressos em relação à posição de equilíbrio, que corresponde à configuração horizontal, quando a mola assume o seu comprimento natural. Note que para a alavanca estar na posição horizontal, a bobina deve estar energizada com uma corrente tal que a força f produzida equilibra a força peso Mg. A barra tem massa desprezível.

Pede-se:

a) (0,5 pt) Calcule os valores da tensão na bobina e da corrente na condição de equilíbrio;

b) (1,0 pt) Escreva a equação de movimento da massa M, em função da força F que ela recebe diretamente da alavanca.

c) (3,5 pts) Monte as equações de estado do sistema linearizado (em torno da posição de equilíbrio), em que a entrada é a variação de tensão na bobina $e(t)$, e a saída é a posição x_b, da extremidade da barra em contato com a massa M.

1ª QUESTÃO (5 PTOS). A figura abaixo representa um servo-acelerômetro pendular. O pêndulo produz um deslocamento da massa *m* quando acelerado. Tal movimento encontra a oposição de uma restauração elástica de constante *k*, de um amortecimento aerodinâmico, proporcional à velocidade com constante *b*, e uma força eletromagnética F_m. Esta última é produzida por uma bobina, e é dada por $F_m=Bi$, onde *B* é uma constante e *i* a corrente circulante na bobina. A bobina tem resistência *R*, e a queda de tensão devido à indutância é desprezível.

A distância *x*, indicada na figura, é convertida em uma tensão elétrica *v*, por meio de um sensor capacitivo *C*. Na configuração horizontal, quando a massa *m* está em repouso e sem aceleração em relação ao referencial inercial, a posição é x^*, a mola está em seu comprimento natural e a corrente na bobina é nula. A relação entre *x* e *v* é dada por $v=K_c/x$, onde K_c é uma constante positiva. Qualquer esforço eletrostático produzido pelo sensor é desprezível.

O bloco 1 transforma *v*, que é originalmente uma função não-linear de *x*, em uma tensão $v_L= k_L x$, diretamente proporcional a *x*. Na saída do bloco 2, tem-se uma tensão $v_B=K_a(v_{ref} - v_L)$, em que K_a é um ganho constante positivo e v_{ref} é uma tensão de referência. O bloco 1 produz v^*_{ref} quando a posição é x^*.

Pede-se:

a) (2,0 pts) Projete os circuitos eletrônicos dos blocos "v_1" e "v_2". Para o bloco "v_1", suponha que o circuito seja alimentado pela tensão constante v_c.
b) (1,5 pts) Represente o sistema através de um diagrama de blocos, onde a entrada é a variação da tensão de referência Δv_{ref} em relação àquela correspondente à posição de equilíbrio x^*, e a saída é a variação do deslocamento Δx da massa *m* em relação à posição de equilíbrio x^*. Não se esqueça de incluir a perturbação $F_{ext} = ma$.
c) (1,5 pts) Calcule o valor em regime permanente da variação Δx, para $\Delta v_{ref} = 0$ e uma aceleração constante "*a*" em relação ao referencial inercial. Para esta situação, determine o valor da corrente de regime na bobina, que é utilizada para se obter a leitura da aceleração pelo sensor.

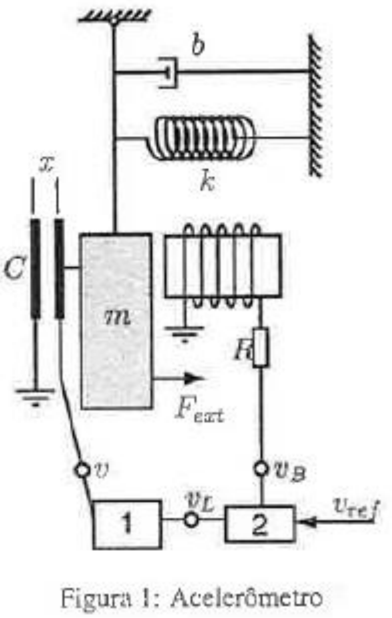


Figura 1: Acelerômetro

5ª Questão. Considere o sistema de controle de uma máquina de usinagem de controle numérico, representado no esquema abaixo. A velocidade de corte desejada é representada através de uma tensão de referência, $V_{yR}(s)$. A mesma é comparada com a tensão gerada por um sensor de velocidade de ganho k_v. Um circuito baseado em um amplificador operacional, implementa um ganho que multiplica a diferença entre as tensões mencionadas. A tensão gerada por este circuito eletrônico alimenta um atuador eletromecânico (solenoide) representado pelo circuito R-L mostrado no esquema. A força gerada pela bobina deste atuador, de indutância L, é diretamente proporcional à corrente que percorre a mesma, ou seja, $f_m = k_m i$. Tal força é responsável pela movimentação da válvula do atuador hidráulico representado na figura 1, onde admite-se que o óleo é incompressível e não haja vazamentos. O sistema é regulado de forma que a mola de constante K_S permanece em seu comprimento natural, quando a válvula permanece deslocada X_0, posição que corresponde à velocidade de corte desejada, $\dot{y}_0$. Nesta condição, a tensão gerada pelo sensor de velocidade iguala a tensão de referência. A carga é representada pelo conjunto pistão hidráulico-ferramenta, de massa m_L, que é submetida à força de atrito proporcional à velocidade da ferramenta em relação à peça de trabalho (suposta em repouso), de acordo com a constante b. Admite-se a operação do sistema em torno da velocidade de corte desejada. Pede-se:

a) Represente o circuito eletrônico que produz a tensão de alimentação do atuador eletromecânico. Calcule a relação entre seus elementos de forma a obter um valor K_1 para o ganho representado no esquema. Como você implementaria o sensor de velocidade utilizando um potenciômetro e componentes eletrônicos?

b) A partir do que foi exposto, construa o diagrama de blocos do sistema descrito, identificando as respectivas funções de transferência, que devem ser descritas em termos da variável de Laplace;

c) Admita desprezíveis a massa da válvula e a constante de tempo do atuador hidráulico. Inclua um sinal de perturbação, *d(s)*, antes do sistema atuador hidráulico-carga, no diagrama de blocos do item anterior. Calcule as funções de transferência que relacionam a variação da velocidade de corte da ferramenta $\Delta v_y(s)$ com a variação na tensão de referência $\Delta V_{yR}(s)$ e com a perturbação *d(s)*.

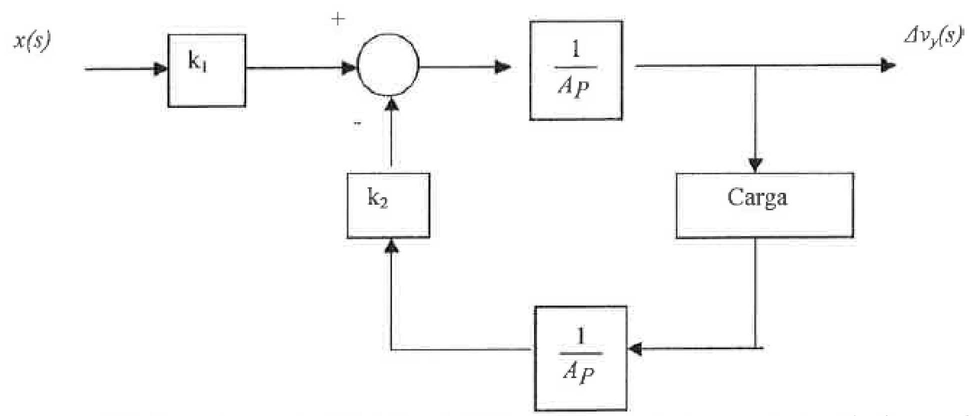


Figura 1. Modelo linear do atuador hidráulico (*x(s)* é a variação do deslocamento da válvula em relação a X_0).