

PMR3404 – Controle I
Projeto de Laboratório

BARCO ELÉTRICO

1. Descrição

O consiste num barco que se move linearmente, acionado por um motor elétrico acoplado à hélice por meio de um redutor de velocidade. O eixo entre o redutor e a hélice é longo e sua rigidez não pode ser desprezada. O objetivo do sistema de controle é manter a velocidade do barco no valor definido pelo piloto, mesmo na presença de distúrbios.

2. Modelo matemático

A Figura 1 ilustra o sistema. O barco possui massa M , o eixo da hélice possui inércia J_H e rigidez K_E , e o eixo do motor possui inércia J_m .

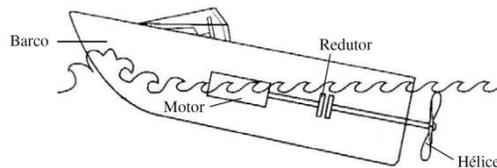


Figura 1 - Esquema do barco

2.1. Equações de movimento

O movimento do baricentro do barco é dado por

$$M\dot{v}(t) = F_H(t) - F_{arr}(t)$$

Na qual $v(t)$ é a velocidade de translação do barco, F_H é a força de empuxo da hélice sobre o barco e $F_{arr}(t)$ é a força de arrasto:

$$F_{arr}(t) = C_d[v(t) - v_{arr}(t)]^2$$

Aqui, C_d é o coeficiente de arrasto hidrodinâmico do barco e v_{arr} é a velocidade da corrente atuante no barco.

A força de empuxo da hélice é dada por

$$F_H = C_F \dot{\theta}_H^2(t)$$

Onde C_F é o coeficiente de empuxo da hélice e $\dot{\theta}_H$ é a velocidade de rotação da hélice (θ_H é a posição angular da hélice).

O equilíbrio de forças na hélice é modelado por

$$J_H \ddot{\theta}_H = K_E [N\theta_m(t) - \theta_H(t)] - \tau_H(t)$$

Aqui, N é a relação de redução entre o eixo do motor e da hélice, θ_m é a posição angular do motor e τ_H é o torque de arrasto que a água exerce sobre a hélice, dado por

$$\tau_H = C_H \dot{\theta}_H^2(t)$$

Onde C_H é o coeficiente de arrasto hidrodinâmico da hélice.

2.2. Dinâmica do Atuador

A equação dinâmica do eixo do motor é dada por

$$J_m \ddot{\theta}_m(t) = \eta K_T i(t) - \frac{K_E}{N} [N\theta_m(t) - \theta_H(t)]$$

Na qual η é o rendimento do sistema de transmissão, K_T é a constante de torque do motor e $i(t)$ é a corrente de armadura.

A corrente no motor é dada por

$$L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) + \frac{\dot{\theta}_m(t)}{K_V} = V(t)$$

Onde L é a indutância de armadura, R a resistência ôhmica, K_V a constante de velocidade do motor e $V(t)$ é a tensão de entrada.

2.3. Parâmetros

Parâmetro	Valor
Massa do barco M	500 kg
Momento de inércia do eixo do motor J_m	10 kg.m ²
Momento de inércia do eixo da hélice J_H	3.5 kg.m ²
Rendimento do redutor η	0.7
Razão de redução N	3 rad/rad
Rigidez do eixo K_E	7366 N.m/rad
Constante de torque K_T	1.02 N.m/A
Constante de velocidade K_V	0.98 $\frac{\text{rad}}{\text{V.s}}$
Resistência ôhmica de armadura R	5 Ω
Indutância do motor L	100 H
Máxima corrente no motor	300 A
Coeficiente de arrasto da hélice C_H	0.013 $\frac{\text{N.m.s}^2}{\text{rad}^2}$
Coeficiente de empuxo da hélice C_F	0.02 $\frac{\text{N.s}^2}{\text{rad}^2}$
Coeficiente de arrasto hidrodinâmico C_d	8 $\frac{\text{N.s}^2}{\text{m}^2}$
Máxima velocidade do barco	40 km/h

3. Requisitos de desempenho

O sistema de controle deve levar a velocidade de translação do barco para o valor desejado e mantê-la com as seguintes características em malha fechada:

- Erro de regime igual a zero para o comando de referência variando na forma de degrau;
- Máximo sobressinal menor do que 10% para o comando de referência variando na forma de degrau;
- Tempo de assentamento de 2% compatível com a dinâmica do sistema para o comando de referência variando na forma de degrau (estabeleça claramente o valor);
- Margem de ganho maior do que 10 dB;
- Margem de fase maior do que 45°;
- Rejeição completa de qualquer perturbação constante.
- Esforço de controle compatível com o valor máximo de corrente permitido no motor.