

**CONTROLE DE UM SISTEMA DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM UM HOSPITAL**

por

C. A. A. Kaestner (*) & W. Celso de Lima ()**

RESUMO -- Apresenta-se uma proposta para controle do sistema de abastecimento de água em um hospital. A implantação deste sistema sofisticado proporciona a diminuição dos custos operacionais e de manutenção. Este é um exemplo de como um projeto simples e clássico de Engenharia de Controle pode ser útil em uma aplicação hospitalar.

INTRODUÇÃO

Um grande hospital possui diversos equipamentos sofisticados e de alto custo. O funcionamento destes equipamentos é muitas vezes prejudicado por elementos simples, que normalmente não merecem a devida atenção.

O fornecimento de uma pressão constante d'água, independente da carga a que o sistema de abastecimento esteja submetido, é um exemplo de como um elemento simples pode contribuir para a redução dos custos operacionais e de manutenção de diversos equipamentos.

Considerando que as diferenças de perdas de carga entre pontos de abastecimento, para uma instalação adequada é inferior a 10 %, mantendo-se o nível da caixa d'água constante garante-se o fornecimento da pressão adequada para equipamentos como rins artificiais, equipamentos diversos e distribuição de água a pressão e fluxo aproximadamente constantes para os diversos laboratórios de ensino, atendimento e pesquisa científica. Isto é especialmente verdade num hospital escolar como o Hospital Universitário da UFSC.

Benefícios indiretos são auferidos aos diversos usuários da rede de abastecimento de água, pelo maior conforto que a melhoria do serviço proporciona.

(*) Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná
Pontifícia Universidade Católica do Paraná
(**) Grupo de Pesquisas em Engenharia Biomédica
Universidade Federal de Santa Catarina

Este artigo apresenta uma proposta para um sistema de controle de nível da caixa d'água, que fornece a todo o hospital um fluxo de água a uma pressão hidráulica aproximadamente constante. Tal equipamento de controle, embora seja uma sofisticaco, é justificado pelas razes acima descritas e plenamente compatível com o nível de funcionamento que deve ocorrer em um hospital padro, como deve ser um hospital universitrio.

DESCRICO DO SISTEMA

O diagrama apresentado à figura 1 representa o sistema de controle cuja finalidade é manter o nível do líquido contido em uma caixa d'água num valor fixo desejado. O nível do líquido é controlado por uma bóia cuja posico é monitorada por um detetor de nível. Uma tenso é aplicada a um servomotor DC se o nível não está correto. O motor aciona a trem de engrenagens que abre um conjunto de N válvulas, responsável pela alimentaco da caixa, e que deve restaurar o nível desejado.

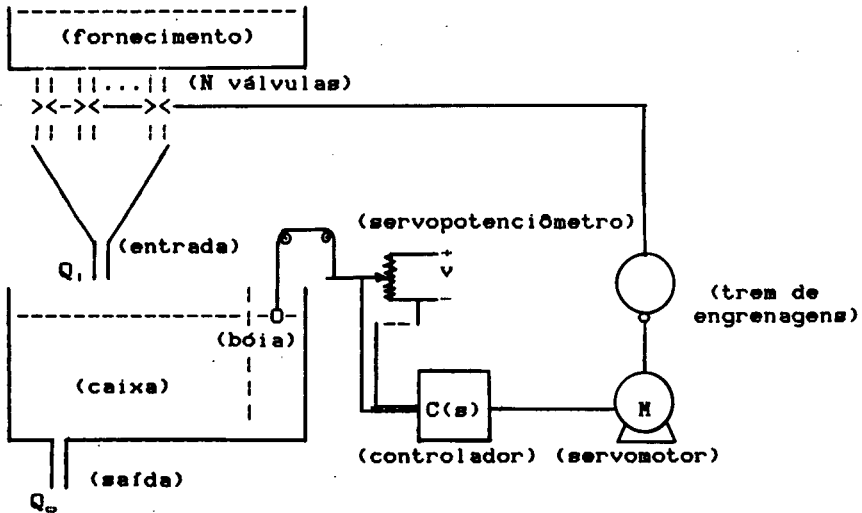


Figura 1 : Descrio do Sistema

O detetor do nível do líquido é constituído por uma bóia conectada a um servopotencimetro [Lima 1984]. Foram desprezadas perturbaes decorrentes de flutuaes temporrias na superfície do líquido. Tais variaes (de curta durao), que so transitrios de entrada, não interferem no mecanismo de realimentaco do sistema. Para tanto supe-se que a bóia possui grande inércia, e está numa parte isolada do tanque. A tenso de saída do servopotencimetro é dada por:

$$E_i = K_p \cdot (R - C) \quad (1) \quad , \text{ onde:}$$

R [m] : nível de referência
 C [m] : nível efetivo do tanque
 $dH = R - C$ [m] : diferença de nível
 E_1 [v] : tensão de saída do servopot.
 $K_m = 40$ [v/m] : sensibilidade do detetor
 $\therefore E_1 = 40$ dH

O controlador é determinado em função dos requisitos exigidos. Sua implementação é efetuada através de um dispositivo eletrônico. A função de transferência será indicada por $C(s)$.

$$E_o = C(s) \cdot E_1 \quad (2) \quad , \text{ onde:}$$

E_1 [v] : tensão de entrada do controlador
 E_o [v] : tensão de saída do controlador

O servomotor DC empregado é controlado por armadura. Nesta modelagem são desprezados a constante de tempo elétrica do sistema (devida a indutância), e a fricção no eixo do motor e no trem de engrenagens [Lima 1983].

A função de transferência do motor é dada por:

$$\frac{\Theta_m}{E_o} = \frac{K_m}{s(t_1 s + 1)} \quad (3) \quad , \text{ onde:}$$

$$K_m = \frac{K_t}{R_m \cdot F + K_b \cdot K_t} \quad : \text{ ganho do motor}$$

$$t_1 = \frac{R_m \cdot J}{R_m \cdot F + K_b \cdot K_t} \quad : \text{ constante de tempo}$$

$$R_m = 10 \text{ [ohms]} \quad : \text{ resistência de armadura}$$

$$L_m = 0 \text{ (desprezada)} \quad : \text{ indutância da armadura}$$

$$J_m = 0,005 \text{ [oz.in.s}^2\text{]} \quad : \text{ inércia do motor}$$

$$0,35306 \cdot 10^{-4} \text{ [N.m.s}^2\text{]}$$

$$K_b = 0,07 \text{ [v/rd/s]} \quad : \text{ constante de f.c.e.m.}$$

$$K_t = 10 \text{ [oz.in/A]} \quad : \text{ constante de torque}$$

$$0,070612 \text{ [N.m/A]}$$

$$F_m = 0 \text{ (desprezado)} \quad : \text{ coef. de atrito no eixo do motor}$$

$$\Theta_m \text{ [rd]} \quad : \text{ desl. angular do eixo do motor}$$

$$E_o \text{ [v]} \quad : \text{ tensão de entrada do motor}$$

$$J = J_m + n^2 \cdot J_1 \quad : \text{ momento de inércia total}$$

$$J_1 = 20 \text{ [oz.in.s}^2\text{]} \quad : \text{ momento de inércia da carga}$$

$$0,141224 \text{ [N.m.s}^2\text{]}$$

$$F_1 = 0 \text{ (desprezado)} \quad : \text{ coef. de atrito na carga}$$

$$n = 1 / 100 \quad : \text{ fator de redução do trem de engrenagens}$$

Atribuindo-se os valores indicados obtém-se:

$$K_m = 1 / K_b = 14,2857$$

$$J = 0,007 \text{ [oz.in.s}^2\text{]} = 0,494284 \cdot 10^{-4} \text{ [N.m.s}^2\text{]}$$

$$t_1 = 0,1 \text{ [s]}$$

$$\therefore \frac{\Theta_m}{E_o} = \frac{14,2857}{s(0,1s + 1)} \quad (4)$$

O trem de engrenagens apresenta uma relação $n = 1/100$. Estão desprezados as folgas, a zona morta e o coeficiente de atrite nas engrenagens. Tal simplificação é possível com o uso de rodas dentadas de nylon. Tem-se:

$$\theta_c = \theta_m \cdot n \quad (5) \quad , \text{ onde:}$$

θ_m [rd] : desl. angular do eixo do motor
 θ_c [rd] : desl. angular do eixo de válvulas
 $n = 1 / 100$: fator de redução

$$\therefore \theta_c = \theta_m / 100$$

Existem 10 válvulas entre o reservatório de alimentação e o tanque. Todas as válvulas são simultaneamente acionadas por θ_c . São desprezadas as possíveis não-linearidades das válvulas. Tem-se:

$$Q_i = N \cdot K_v \cdot \theta_c \quad (6) \quad , \text{ onde:}$$

θ_c [rd] : desl. angular do eixo de válvulas
 $N = 10$: número de válvulas
 Q_i [m³/s] : vazão de alimentação
 $K_v = 0,004$ [m³/rd.s] : constante de cada válvula

$$\therefore Q_i = 0,04 \theta_c$$

A dinâmica do tanque apresenta uma variação de altura do líquido em função da vazão Q , suposta sempre constante, dada por:

$$dH = \frac{1}{A} \int (Q_i - Q_o) dt \quad (7) \quad , \text{ onde:}$$

$A = 4$ [m²] : área da base do tanque
 Q_i [m³/s] : vazão de entrada
 Q_o [m³/s] : vazão de saída
 dH [m] : variação de altura do tanque

$$\therefore dH = Q_i / (4s) \quad (Q_o \text{ gera a perturbação})$$

DIAGRAMA DE BLOCOS

Apresenta-se a seguir o diagrama de blocos que modela o sistema:

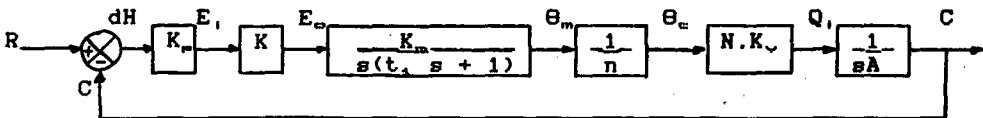


Figura 2 : Diagrama de Blocos do Sistema

A função de transferência a malha aberta, utilizando um amplificador de ganho K como controlador, mostra que o sistema é do tipo 2:

$$G(s) = \frac{0,0571428}{s^2 (0,1s + 1)} \quad (8)$$

A função de transferência para o sistema com realimentação pode então ser encontrada:

$$F(s) = \frac{0,0571428 K}{s^2 (0,1s + 1) + 0,0571428 K} \quad (9)$$

Como o sistema é de tipo 2, não há erro em regime permanente para entrada degrau ou rampa unitária, pois a realimentação também é unitária.

ANALISE DE ESTABILIDADE

Para verificação da estabilidade do sistema várias análises foram realizadas. Utilizando a função de transferência de $F(s)$ pode-se determinar o ganho que mantém o sistema estável, usando-se o critério algébrico de Routh-Hurwitz [Kuo 1985, Ogata 1985]. Conclui-se que para qualquer ganho o sistema terá 2 pólos no semi-plano da direita, o que indica que o sistema é instável.

Na figura 3 é apresentado o lugar geométrico das raízes ("root locus") para o sistema. Com o aumento do ganho, pode-se observar que os pólos da origem do sistema são levados à direita, sempre causando, portanto, instabilidade no sistema.

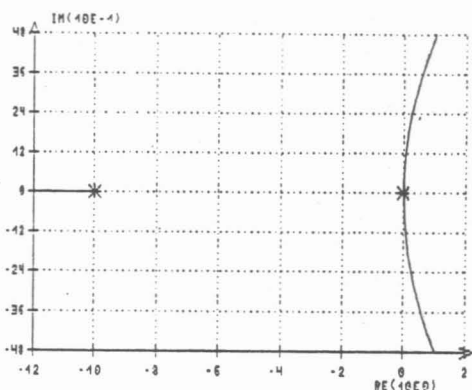


Figura 3 : Lugar Geométrico das Raízes (Processo)

PROJETO DE UM CONTROLADOR

Como o sistema é instável, a adoção de um controlador é imperativa. Devido as peculiaridades da função de transferência, que tem dois pólos na origem (sistema de tipo 2), optou-se pela utilização de um controlador do tipo avanço-atraso ("lead-lag") [Kuo 1985, Ogata 1985]. Buscou-se encontrar um compensador que ocasionasse um avanço de fase de aproximadamente 100 graus. Foram realizadas várias simulações em computador. O ganho para o sistema foi determinado de forma a causar o mínimo amortecimento. A partir da análise foi proposto o controlador:

$$C(s) = \frac{150(1 + 0,5s)^2}{(1 + 0,01s)^2} \quad (10)$$

Com este controlador o sistema apresenta o comportamento descrito pelo lugar das raízes apresentado à figura 4.

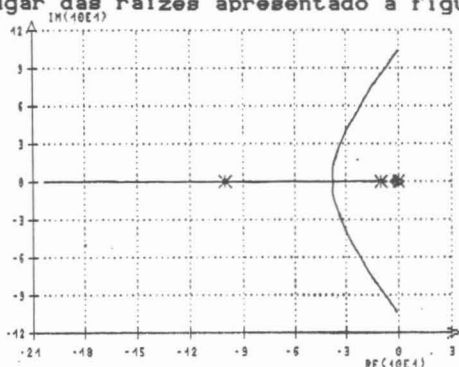


Figura 4 : Lugar Geométrico das Raízes (Processo + Controlador)

A figura 5 apresenta a resposta no tempo para uma entrada degrau unitário, que tem sobressinal ("overshoot") menor que 10% e tempo de resposta satisfatório, desta forma satisfazendo os requisitos desejados para o sistema.

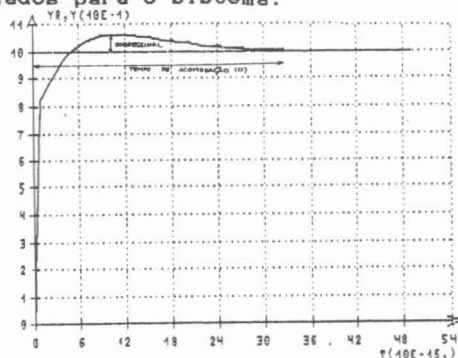


Figura 5 : Resposta no Tempo (Processo + Controlador)

CONCLUSOES E DISCUSSÃO

Apresenta-se uma proposta para adoção de um sistema de controle de nível de caixa d'água, que permite fornecer pressão hidráulica e fluxo de água aproximadamente constantes.

A adoção de tal equipamento é justificada pelos benefícios que proporciona aos sofisticados equipamentos de um hospital padrão universitário e pelo maior conforto oferecido aos usuários do sistema de abastecimento d'água.

Como o sistema inicial apresenta-se instável, projetou-se um controlador de forma a levar o sistema a um comportamento dentro de níveis satisfatórios de operação. Para todo o projeto usou-se técnicas clássicas de Engenharia de Controle.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- KUO B.C. (1985) Sistemas de controle automático, Prentice-Hall do Br, Rio de Janeiro - BR.
- LIMA W. Celso de (1983) Servomotores - aplicações, Editora UFSC, Florianópolis - BR.
- LIMA W. Celso de (1984) Dispositivos sensores de erros, Editora UFSC, Florianópolis - BR.
- OGATA K. (1985) Engenharia de controle moderno, Prentice-Hall do Br, Rio de Janeiro - BR.
- RAVEN F.H. (1981) Automatic control engineering, McGraw-Hill, 3 ed.- JAPAN.
- SHINNERS S. M (1975) Modern control system theory and application, Addison-Wesley Publ. Co., Reading Mass. - USA.

A CONTROL FOR THE WATER SUPPLY SYSTEM IN A HOSPITAL

A control for the water supply system in a hospital is proposed. Such sophisticated system is justified by the decrease of the operational and maintenance costs. This approach also exemplifies how a simple and classic design of Control Engineering can be useful in a hospital.