

# Um controlador de nível de nitrogênio líquido simples para uso em criostatos abertos

Walter S. D. Folly

*Núcleo de Física, Universidade Federal de Sergipe, Av. Vereador Olímpio Grande s/n, 49010-390, Itabaiana SE, Brasil*

*walterfolly@hotmail.com*

*(Recebido em 27 de julho de 2007; aceito em 25 de agosto de 2007)*

---

Neste trabalho, descreve-se um controlador de nível simples e eficiente, utilizado para manter o nível do nitrogênio líquido entre dois valores no interior de recipientes criogênicos não pressurizados. O funcionamento do sistema é baseado na grande variação da resistividade elétrica do cobre com a temperatura e na histerese característica de um circuito flip-flop Schmidt-trigger.

Palavras-chave: Nitrogênio líquido, criogênico, flip-flop, Schmidt-Trigger.

In this work, is described the construction of a simple but efficient level controller that operates keeping the level of liquid nitrogen stored in a cryostat between two fixed values. The system operation is based on the great variation of electrical resistivity of copper with respect the temperature and also on the hysteresis of a Schmidt-trigger flip-flop circuit.

Keywords: Liquid nitrogen, cryogenic, flip-flop, Schmidt-Trigger.

---

## 1. INTRODUÇÃO

Em diversos ramos da Física, Química e Biologia são executados experimentos e armazenamentos de amostras em temperaturas criogênicas que visam evidenciar comportamentos atípicos, medir propriedades físicas ou simplesmente inibir a ocorrência de certas reações químicas.

Atualmente, com a crescente automação das atividades de laboratório e dos processos de medição, o controle automático dos líquidos criogênicos utilizados nestas atividades também se torna um item importante. Descreve-se neste artigo a construção de um controlador de nível simples, porém eficiente, que apresenta uma excelente repetitividade e estabilidade quando em operação durante longos períodos de tempo.

Uma das principais características do equipamento aqui descrito é o uso de um único sensor de nível constituído por um resistor de cobre, metal que exibe uma grande variação da resistividade elétrica com a temperatura na faixa entre 60 e 300 K [1]. Esta peculiaridade o torna um bom substituto de baixo custo para a platina na construção de sensores térmicos e ainda contribui para a simplificação da eletrônica utilizada.

Vários trabalhos foram publicados sobre o assunto, nos quais foram descritos controladores de nível dotados de sensores de resistência de carbono [2], termistores [3], diodos de germânio [4], flutuadores [5] e sensores de capacitância [6]. Estes, porém, apresentam configurações mais complicadas [7] e dispendiosas que o apresentado neste artigo.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Iniciou-se a construção do controlador de nível pelo sensor de temperatura, o qual consiste em uma bobina solenoidal cujas espiras de fio de cobre esmaltado 44 AWG foram enroladas unidas sobre um bastão maciço de vidro pyrex com 30 cm de comprimento e 0,5 cm de diâmetro externo de modo a cobrir cerca de 28 cm de seu comprimento como é mostrado no esquema da Figura 1. Esta bobina resultou em um resistor com cerca de 800  $\Omega$  na temperatura ambiente e 120  $\Omega$  a 77 K. Na realidade estes valores não são críticos, sendo possível uma ampla modificação dos mesmos, bem como, das configurações geométricas do sensor de modo a atender às particularidades de cada sistema criogênico.

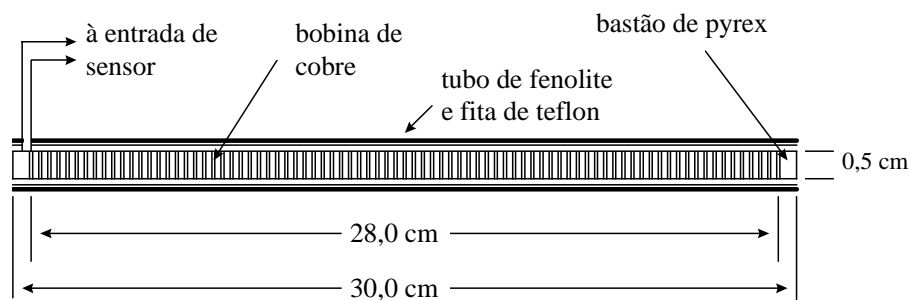


Figura 1: Diagrama esquemático do sensor de temperatura.

Depois de enrolado, o sensor recebeu uma camada de fita de teflon e foi alojado no interior de um tubo de fenolite com 0,8 cm de diâmetro interno e 32 cm de comprimento a fim de protegê-lo contra choques mecânicos e proporcionar um aumento de seu tempo de resposta térmica no início das transferências de nitrogênio líquido. Este procedimento visa inibir possíveis desligamentos erráticos do sistema devido à baixa temperatura do nitrogênio gasoso que também entra no criostato nestas ocasiões.

Outra precaução tomada a fim de evitar tais desligamentos erráticos foi o uso de um funil na entrada do criostato, de forma a suavizar a entrada do nitrogênio líquido em seu interior durante as transferências. A ligação entre o sensor e o circuito do controlador de nível é feita através de um cabo coaxial dotado de um conector tipo BNC.

Uma vez construído o sensor de temperatura, deu-se início ao projeto e construção do circuito eletrônico do controlador de nível propriamente dito.

Inicialmente foram experimentados dois protótipos cujos circuitos eram mais complexos e que continham três circuitos integrados lógicos. Estas versões preliminares foram posteriormente substituídas pela versão mais simples mostrada na Figura 2.

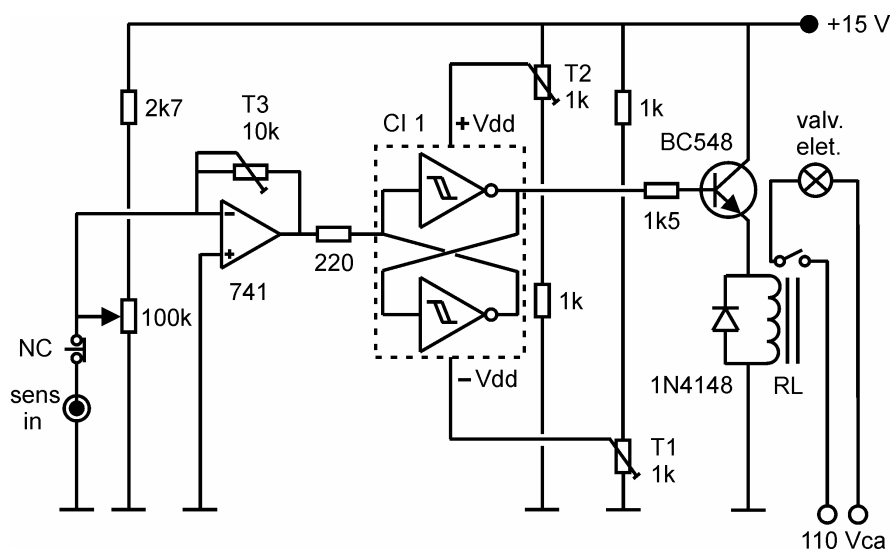


Figura 2: Diagrama esquemático do controlador de nível de nitrogênio líquido.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observando-se o diagrama esquemático mostrado na Figura 2, o gráfico da Figura 3 e supondo-se que o sistema se encontra inicialmente no modo de espera (relê desligado e válvula eletromecânica fechada), o funcionamento do circuito pode ser descrito da seguinte forma: à medida que o nível do nitrogênio líquido desce, menor é região fria do sensor e, portanto, maior sua resistência elétrica. Assim, a tensão na entrada inversora do amplificador operacional 741, que depende do divisor de tensão formado pelo resistor de  $2k7 \Omega$ , pela resistência do sensor e pelo potenciômetro de sensibilidade ( $100 k\Omega$ ), aumenta progressivamente, fazendo com que a tensão presente na saída do 741 diminua até que seja atingido um certo valor, determinado pelo ajuste do trim-pot T1. Neste momento, o circuito flip-flop formado pelas duas portas inversoras Schmidt-Trigger (CI 1 CD40106B ou CD4093B) muda de estado, fazendo com que o transistor BC548 conduza. O relê (bobina de  $12 V / 50 mA$ ) ligado ao seu emissor é alimentado causando a abertura da válvula eletromecânica, que libera o nitrogênio líquido contido em um reservatório pressurizado. Então, o nível do nitrogênio líquido no criostato começa a subir resfriando cada vez mais o sensor o que causa a diminuição da tensão na entrada inversora do 741 e o aumento da tensão em sua saída até que o nível superior de tensão fixado através do trim-pot T2 seja alcançado. Isto faz com que o flip-flop volte ao seu estado inicial, levando o transistor BC 548 ao corte. O relê então desliga a válvula eletromecânica e corta o fornecimento de nitrogênio líquido.

Além da operação automática do sistema como descrito anteriormente, é possível também encher o criostato antes que o nível inferior seja atingido. Isto é feito através do acionamento manual do interruptor de pressão normalmente fechado (NC) ligado em série com o sensor. Uma vez acionado este interruptor, o sistema desligará automaticamente quando o nível superior for atingido.

A fim de adequar o sistema às condições de uso, torna-se necessário realizar alguns ajustes preliminares. Para isso, coloca-se nitrogênio líquido em um pequeno criostato de teste e mergulha-se totalmente o sensor no mesmo, aguardando-se alguns minutos para que se atinja o equilíbrio térmico. Com um multímetro de alta impedância, mede-se a tensão na saída do amplificador operacional 741 e anota-se o valor. Em seguida, retira-se o sensor do nitrogênio líquido e mede-se novamente o valor da tensão de saída do 741. Deve-se então ajustar cuidadosamente o trim-pot de realimentação T3 de modo a obter uma variação de tensão de aproximadamente  $10 V$  na saída do 741 quando este procedimento repetido.

Concluída a fase inicial de ajustes do amplificador operacional, conecta-se à entrada de sensor um potenciômetro de teste (preferencialmente do tipo helipot) de  $1 k\Omega$  ajustado na média das resistências do sensor medidas nas posições totalmente imerso e totalmente emerso no nitrogênio líquido. A fim de se obter uma curva de calibração, instala-se um pequeno vernier no potenciômetro de sensibilidade de  $100 k\Omega$  e, com o cursor deste último próximo do máximo, ajusta-se os trim-pots T1 e T2 de modo que uma variação de aproximadamente  $100 \Omega$  na resistência do potenciômetro de teste provoque o acionamento e o desligamento do relê. Ajusta-se então o vernier do potenciômetro de sensibilidade em outros valores diferentes e segue-se medindo com o multímetro os valores de resistência do potenciômetro de teste que causam o acionamento e o desligamento do sistema.

Com os dados obtidos no procedimento de calibração é possível construir um gráfico como o mostrado na Figura 4, que possibilita uma verificação rápida das resistências máxima e mínima entre as quais o sistema opera para um determinado ajuste do potenciômetro de sensibilidade. No caso da utilização de sensores com outros valores de resistência, este gráfico pode ser consultado para facilitar ajuste da sensibilidade do controlador. Se por exemplo, o sensor utilizado apresentar uma resistência mínima (quando totalmente imerso) de  $600 \Omega$  e resistência máxima de  $780 \Omega$  (quando totalmente emerso), uma rápida inspeção do gráfico da Figura 4 mostra que o vernier do potenciômetro deve ser ajustado em  $0,25$ . Assim, toda vez que for necessário trocar de sensor a fim de possibilitar o uso em diferentes tipos de criostato, basta

determinar quais são os valores máximo e mínimo de sua resistência e consultar o gráfico para proceder ao ajuste do pontenciômetro de sensibilidade.

A Figura 5 mostra o esquema de ligação elétrica entre o sensor, o controlador de nível e a válvula eletromecânica, bem como, as principais conexões entre o reservatório pressurizado, o tubo de transferência e o criostato.

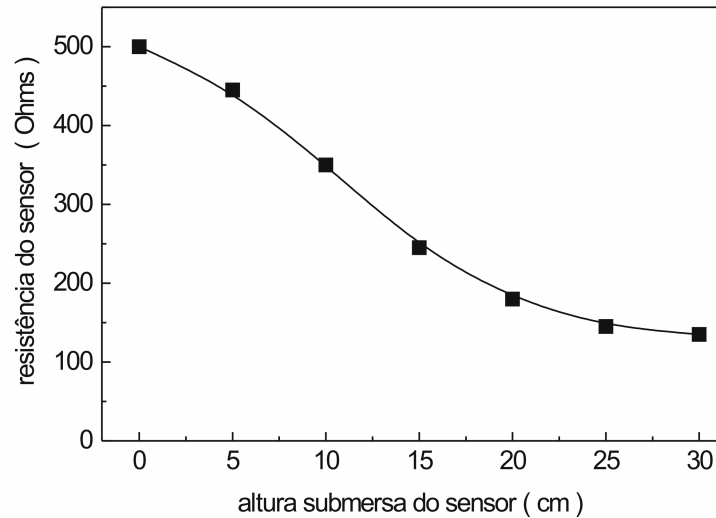


Figura 3: Resistência do sensor de nível em função da altura submersa no nitrogênio líquido.

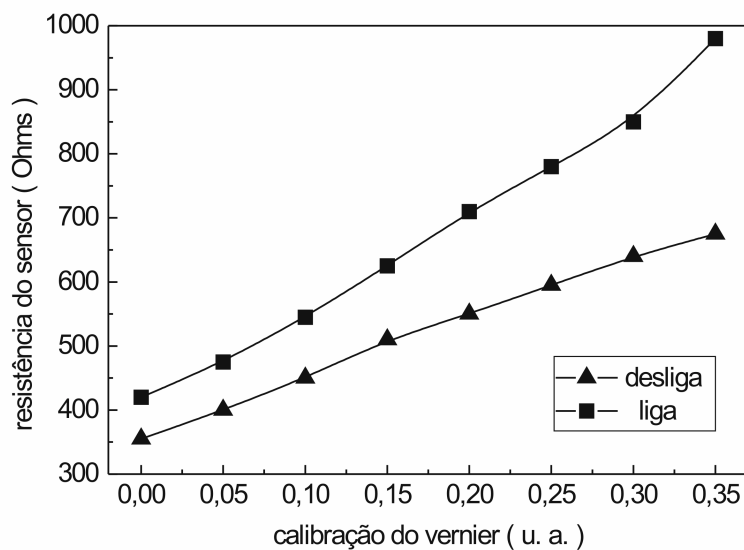


Figura 4: Curvas de valores de resistência de sensor que causam o acionamento e o desligamento do sistema para diferentes calibrações do vernier acoplado ao potenciômetro de entrada. No caso do sensor mostrado na figura 3, o vernier é ajustado em aproximadamente 0,05. Para outros sensores deve-se procurar novos valores de ajuste de modo a garantir o funcionamento correto do sistema.

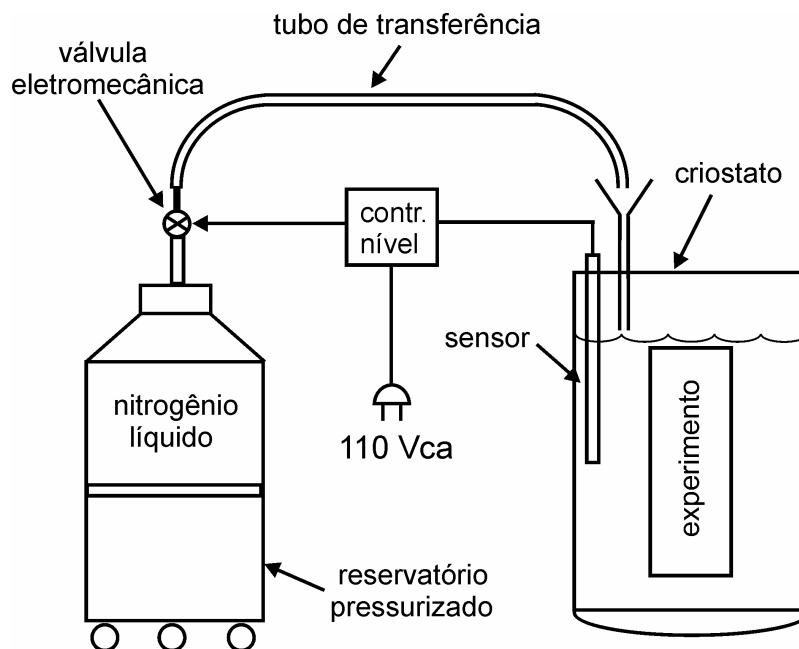


Figura 5: Esquema das ligações elétricas e conexões entre o reservatório de nitrogênio líquido, o controlador de nível e o criostato no qual o nível de nitrogênio deve ser controlado.

#### 4. CONCLUSÃO

Este controlador de nível de nitrogênio líquido apresenta um excelente desempenho e repetitividade no controle de nível de nitrogênio líquido tanto em criostatos de vidro quanto de aço inox. O pequeno número de componentes discretos do circuito e o uso de um único elemento sensor de nível, são as principais vantagens que garantem maior segurança durante a operação por longos períodos de tempo. Além disso, o circuito aqui apresentado pode ser adaptado a uma ampla gama de configurações geométricas de sensores de temperatura e ser utilizado em diversas outras finalidades não criogênicas.

- 
1. DAUPHINEE, T. M.; PRESTON-THOMAS, H. *Rev. Scient. Instrum.*, 25:884 (1954).
  2. DAVIES, E.A.; GOSLING, D. S. *J. Scient. Instrum.*, 40:429 (1963).
  3. FLINN, I.; MOORE, P. *Rev. Scient. Instrum.*, 36:374 (1959).
  4. BOSE, A.; STHANAPATI, J.; GOSHAL, A. K.; PAL, D.; PAL, A. K. *Cryogenics*, 14:577 (1974).
  5. LEEFE, S.; LIEBSON, M. *Rev. Scient. Instrum.*, 31:1353 (1960).
  6. NECHAEV, Yu. I. *Cryogenics*, 2:175 (1962).
  7. NOIJEN, J. J.; BASELMANS, G. W. M.; KOPINGA, K. *Cryogenics*, 28:185 (1988).