

# UTILIZAÇÃO DO TRMS PARA O ENSINO DE CONTROLE DIGITAL DE PROCESSOS

Nilson Kazuo Fujiwara, Vitor Hugo Prado Cardoso, Dr. Aniel Silva de Moraes, Dr. Márcio José da Cunha, Me. Renato Santos Carrijo, Dr. Rubens Gedraite

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia – Minas Gerais  
nilson.fujiwara@gmail.com, vitprado@gmail.com, morais.aniel@gmail.com, mjcunha@eletrica.ufu.br, renatocarrijo@gmail.com

**Resumo** - O objetivo deste documento é expor em detalhes o processo de modernização (retrofitting) de uma planta didática voltada para o estudo do controle digital dos processos dinâmicos envolvidos no projeto de um sistema com várias entradas e várias saídas (MIMO). O projeto utilizado é um helicóptero em escala reduzida que possui o eixo central fixo (TRMS - Twin Rotor MIMO System), que tem por finalidade permitir uma análise matemática dos dados coletados do sistema.

**Palavras-Chave** - Retrofitting, microcontrolador, MIMO, parametrização, TRMS.

## TRMS USING FOR TEACHING OF DIGITAL PROCESS CONTROL

**Abstract** - The purpose of this document is to present in detail the process of modernization (retrofit) of a didactic plant focuses on the study of the digital control of dynamic processes involved in designing a system with multiple inputs and multiple outputs (MIMO). The design used is a small-scale helicopter that has the fixed central axis (TRMS - Twin Rotor MIMO System), which aims to provide a mathematical analysis of the data collected from the system.

**Keywords** - Retrofitting, microcontroller, MIMO, parameterization, TRMS.

### I. INTRODUÇÃO

Para as disciplinas acadêmicas que envolvem o estudo de sistemas e controle, é importante que o aluno possa perceber de forma prática como os sistemas realimentados atuam em sistemas dinâmicos reais. A utilização de plantas de ensino nas universidades, como vem sendo feito nos últimos anos, permitem que tais observações sejam feitas, e que posteriormente sejam feitas análises matemáticas dos dados reais coletados no próprio experimento.

Um equipamento de grande auxílio a laboratórios de controle é o Twin Rotor MIMO System (TRMS). O TRMS

demonstra um sistema linear MIMO altamente não linear. Para as disciplinas acadêmicas que envolvem o estudo de sistemas e controle, é importante que o aluno possa perceber de forma prática como os sistemas realimentados atuam em sistemas dinâmicos reais. A utilização de plantas de ensino nas universidades, como vem sendo feito nos últimos anos, permitem que tais observações sejam feitas, e que posteriormente sejam feitas análises matemáticas dos dados reais coletados no próprio experimento.



Fig.1. Twin Rotor MIMO System (TRMS).

O TRMS em questão é uma planta didática antiga, com uma placa de controle obsoleta, e por ser uma tecnologia antiga é baseada em softwares já em desuso. Por estes motivos, fez-se necessária a atualização do hardware do mesmo para que futuros estudos possam se aprofundar em técnicas de controle mais modernas e complexas.

### II. COMPONENTES DO SISTEMA

O TRMS possui todos os sensores e atuadores necessários para seu funcionamento já instalados em sua estrutura, mas para um bom controle dos mesmos, é necessário conhecer bem o funcionamento de cada um deles.

#### A. Motores CC

Para o movimento das hélices são utilizados dois motores CC, um para cada hélice. Os motores acoplados com as hélices causam o pitch (ângulo de arfagem que possibilita os movimentos de subida e descida do conjunto) e yaw (rotação no eixo vertical que permite as mudanças de direção).

Cada motor é acionado por dois transistores, um com seu coletor ligado a uma tensão de +30V e outro em -30V,



XII CEEL – ISSN 2178-8308  
13 a 17 de Outubro de 2014  
Universidade Federal de Uberlândia – UFU  
Uberlândia – Minas Gerais – Brasil

conforme a figura 2. Quando o transistor com o coletor ligado na tensão de +30V é acionado, o motor faz a hélice girar em um sentido, e quando o transistor com o coletor conectado em -30V é acionado, o motor faz a hélice girar em sentido contrário ao da posição anterior.

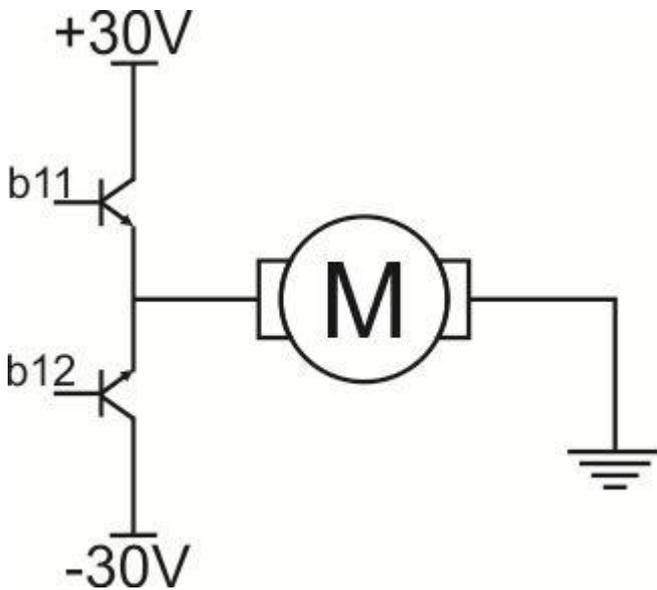


Fig.2. Esquema de acionamento de motor CC.

### B. Sensores

Em sistemas de malha aberta o controlador atua no sistema sem ter conhecimento se o atuador está na posição desejada, ou seja o controlador não conhece a saída do sistema. Em sistemas em malha fechada a saída do sistema já é conhecida pelo controlador. As saídas são obtidas pela utilização de sensores em locais específicos para que se possa conhecer a posição exata dos atuadores ou o posicionamento dos mesmos.

No caso do TRMS, como é um sistema com acoplamento cruzado, é necessário a utilização de um sistema em malha fechada, para que o controlador saiba exatamente o que está acontecendo nas hélices e qual sua posição. Neste caso são utilizados dois tipos de sensores: tacômetro e encoder.

#### 1) Tacômetro

As hélices do TRMS possuem uma velocidade angular que depende da tensão aplicada ao motor. Para saber qual é a velocidade de giro das hélices, utilizasse um sensor de velocidade angular chamado tacômetro CC.

O tacômetro CC funciona essencialmente como um gerador produzindo tensão de saída proporcional à velocidade angular do seu eixo, em seus terminais. Dependendo da direção de giro a tensão será negativa ou positiva.

#### 2) Encoder

Para se saber qual a posição das hélices é utilizado um sensor de posição conhecido como encoder para cada direção de posição possível do TRMS, na vertical e na horizontal.

Os encoders são transdutores que medem a velocidade e posição angular de um eixo, emitindo pulsos, através de sensores óticos de barreira acoplado a um disco perfurado, quando o furo do disco passa pelo sensor o mesmo detecta

nível alto, “1”, ou baixo, “0”, dependendo de como foi feita a lógica do sistema, e quando o sensor ótico não estiver sobre nenhum furo ele detectará o estado lógico contrário. Com essas informações torna-se possível ao controlador utilizar as informações rotacionais no controle do sistema.

Existem basicamente dois tipos de encoders, os denominados incrementais e os absolutos. Nesta aplicação foi utilizado o encoder HEDS-9100V, um encoder incremental óptico de 2 canais. A razão de se utilizar dois canais é para que seja possível detectar o sentido de movimento dos rotores. Com dois canais cada um fornece um trem de pulsos defasados de um certo ângulo. Sabendo qual trem de pulsos está defasado em relação ao outro é possível identificar o sentido de rotação dos motores.

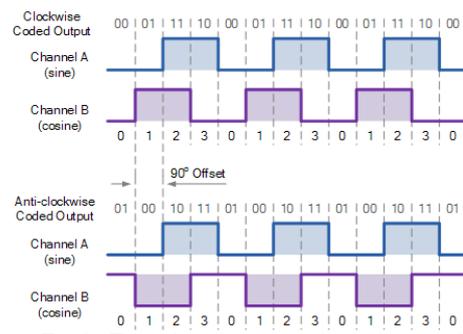


Fig.3. Trem de pulso - encoder incremental.

O inconveniente de se utilizar este tipo de sensor se dá pela necessidade em saber sua posição inicial, pois o encoder incremental mede apenas a posição relativa do rotor.

### C. Alimentação

O TRMS necessita de um sistema de alimentação em +30V e -30V para os sistemas de controle e de potência. A alimentação original, utilizando um conversor AC/DC, com entrada em 100~220V, não foi alterada, permanecendo no projeto.

## III - Placa de Comando e controle TRMS

Para o comando e controle do TRMS é necessário um circuito de aquisição de dados (DAQ) para que o microcontrolador possa receber os sinais de realimentação dos sensores, e atuar no sistema a fim de obter na saída do processo a resposta desejada. Toda a construção do circuito eletrônico para aquisição e tratamento de sinais, assim como a interface dos atuadores foram projetados no software Labcenter Proteus Design Suite®.

#### A. Fonte de alimentação.

Toda a parte de envio de sinais e recebimento de sinais deve ser tratada por CI's e os mesmos necessitam uma alimentação diferente do que a alimentação original do TRMS fornece, que é de +30V e -30V. Portanto, foram utilizados reguladores de tensão para promover as tensões necessárias de +12V, -12V e +5V. Para fornecer a tensão de +12V foi utilizado o regulador de tensão 7812, de -12V o regulador de tensão 7912 e +5V o regulador de tensão 7805.

O esquema de ligação dos mesmos está na figura 4.

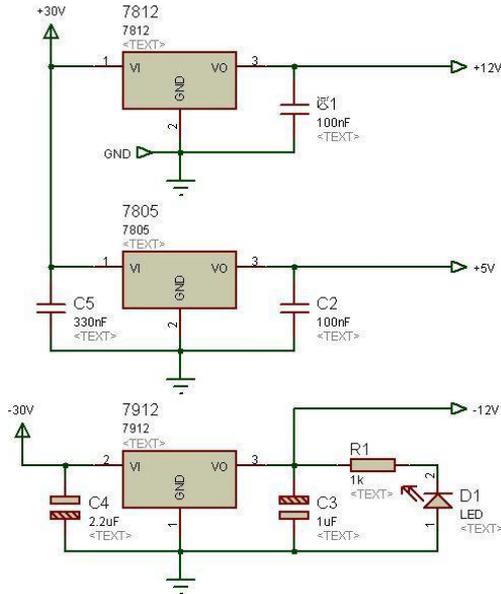


Fig.4. Esquema reguladores de tensão.

### B. Acionamento dos motores.

Os motores CC utilizados para a rotação das hélices são comandados por dois transistores cada. O acionamento dos transistores são feitos por uma corrente de gate vindo do microcontrolador, dependendo de qual transistor é acionado o motor terá uma tensão de +30V ou -30V, determinando o seu sentido de giro.

Para que se possa ter uma velocidade variável (desejado nesse projeto pois a posição dos rotores depende da velocidade das hélices), utiliza-se como excitação sinais PWM (Pulse Width Modulation ou Modulação por largura de pulso).

O PWM é uma modulação da tensão contínua, indicada para controle de velocidade de motores CC. O PWM faz um corte na tensão por um determinado período do ciclo de operação, isso faz com que o valor médio de tensão fique abaixo do valor nominal da fonte. Por exemplo, se a saída de alimentação possui tensão de +12V, quando o PWM mantém a tensão em 0V na metade do tempo, a tensão média passa a ser de 6V. O razão entre o tempo no qual a tensão permanece ativa e o período é denominado Duty Cycle, e é proporcional à tensão média gerada.

Como o microcontrolador utilizado para o controle do TRMS, não possui uma saída com corrente suficiente para acionar o gate dos transistores, foi criado um circuito para que o microcontrolador ficasse isolado do sistema de comando dos motores.

O sentido de giro é determinado pelo nível alto ou baixo do microcontrolador. Há duas portas AND, conforme a figura 5, e quando há nível alto de tensão em uma das duas portas AND, junto com o PWM, é acionada e envia o sinal para um optacoplador ligado a um dos dois transistores do comando do motor, já quando há um nível lógico baixo a porta NOT envia um nível lógico para a outra porta AND e junto com o mesmo PWM envia o sinal para outro optacoplador que aciona o segundo transistor.

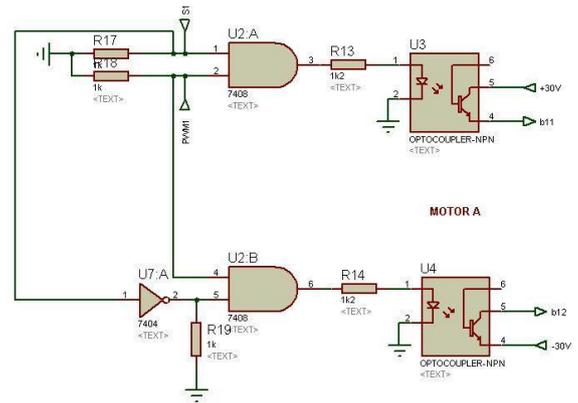


Fig.5 Esquema de comando do motor CC.

### C. Leitura dos sensores.

#### 1) Tacômetro.

O microcontrolador utilizado trabalha com sinais digitais e analógicos, porém há um certo nível de tensão admitido na entrada para cada microcontrolador. No caso do Arduino Uno, o nível de tensão admitido está na faixa de 0V a +5V. O tacômetro, por ser análogo a um gerador de tensão, dependendo do sentido de rotação pode enviar um sinal negativo, portanto há a necessidade de se fazer um tratamento do sinal vindo do sensor para que o microcontrolador possa interpretá-lo.

Para adequar o sinal do sensor à entrada do microcontrolador foi utilizado um amplificador diferencial, onde a saída do amplificador é uma tensão igual a diferença do sinal do sensor e uma tensão de offset (nível médio).

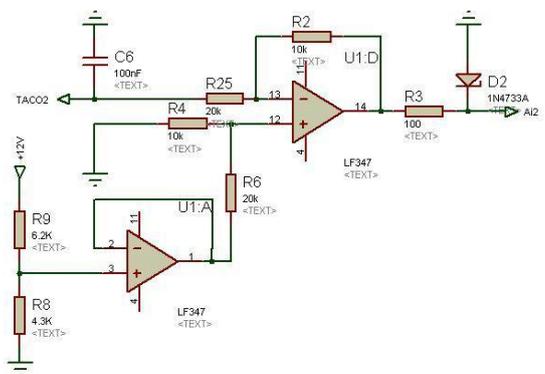


Fig.6. Esquema de tratamento se sinal do tacômetro.

#### 2) Encoder.

O encoder é um sensor digital, e o microcontrolador possui entradas digitais, portanto os sinais do encoder podem ser conectados diretamente ao microcontrolador sem necessidade de nenhum tratamento de sinal.

### D. Arduino

O microcontrolador escolhido para controlar os processos da planta foi o Arduino Uno (AVR® ATmega328 de 8 bits), que tem como principal vantagem o fato de ser uma plataforma composta por hardware e software open-source, concebido através da contribuição de desenvolvedores de

diversas universidades, e portanto uma ferramenta de fácil utilização, baixo custo e desempenho satisfatório para tal aplicação.

#### **IV - CONCLUSÃO**

O TRMS é uma excelente ferramenta para auxiliar no ensino de disciplinas que envolvem desde as mais simples até as mais sofisticadas técnicas de controle de sistemas. Devido ao fato do sistema ter duas entradas e duas saídas, este se torna um sistema complexo o suficiente para o estudo de boa parte da teoria de controle. A criação de um sistema supervisorio adequado pode permitir ao usuário uma melhor análise e compreensão das respostas de em um sistema de controle real, facilitando assim o desenvolvimento de novas tecnologias.

#### **REFERÊNCIAS**

- [1] PAZZOS, Fernando. Automação de sistemas & robótica. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2002. 377 p.;
- [2] ROSÁRIO, João Maurício. Princípios de mecatrônica. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 368 p.;
- [3] Feedback Instruments Ltd. Twin Rotor MIMO System Manual. *Twin Rotor MIMO System – Advanced teaching manual*. s.l., UK : Feedback.;
- [4] Datasheet do encoder HEDS-9100;
- [5] Arduino. Acessado em 18 de Maio de 2014, em [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc);