

Relatório: Projeto, Implementação e Caracterização de um Instrumento Medidor de Velocidade Angular

Lucas Pires Camargo

7 de dezembro de 2015

Resumo

Este relatório apresenta um instrumento medidor de velocidade angular construído para avaliação na disciplina de Instrumentação. São apresentados aspectos gerais da construção do instrumento e depois é apresentado o processo de caracterização, as características obtidas do instrumento, e uma discussão dos resultados obtidos. O instrumento operou corretamente e foi apontado como melhorar sua precisão.

1 O Instrumento de Medição

O instrumento foi construído em três partes: o módulo transdutor, uma placa de aquisição de dados, e um programa de computador para análise da captura e exibição. A Figura 1 mostra uma visão geral do sistema.

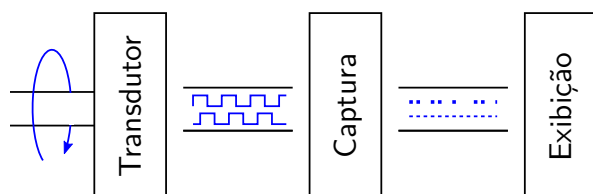


Figura 1: Visão geral do instrumento.

O módulo transdutor é um *encoder* de quadratura simples com 30 pulsos (15 ciclos) por rotação. Este é proveniente de um kit hobbysta e não dispõe de datasheet. Um *encoder* de quadratura é composto por dois contatos que deslizam sobre a região dentada de uma engrenagem, com um deslocamento entre si. A rotação da engrenagem sob os contatos gera duas ondas quadradas com uma defasagem. A Figura 2 mostra os dois sinais gerados

pelos contatos. Quando o sentido de rotação se inverte, a defasagem também é invertida. É possível determinar um deslocamento angular do eixo do *encoder* contando os pulsos dos sinais de entrada. Questões importantes que surgem da utilização de *encoders* de quadratura: a natureza mecânica dos contatos cria a necessidade do condicionamento dos sinais por uma técnica conhecida como *debouncing*, que busca eliminar o efeito de múltiplos acionamentos causado pelo ressalto dos contatos.

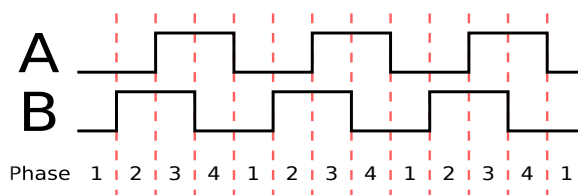


Figura 2: Sinais de saída de um *encoder* de quadratura.

A placa de captura foi criada com a plataforma de desenvolvimento Tiva-C Series TMC123G, fabricada pela Texas Instruments. O programa lê continuamente os sinais provenientes do *encoder* e determina a direção de deslocamento do eixo quando ocorre um pulso. O *debouncing* é feito de duas maneiras. A primeira é evitando-se que o sinal de entrada do algoritmo possa mudar muito rapidamente, o que elimina pulsos extremamente curtos de serem avaliados. A segunda maneira trata da validação das mudanças de estado dos sinais de entrada. Comparando-se o estado atual com o anterior, pode ser determinada a direção da rotação e se a mesma deve ser entendida como um movimento de avanço ou ignorado.

Quando um pulso é reconhecido, ele é enviado ao computador na forma de um único caractere na

porta serial. A velocidade do módulo serial é de 115200 baud, na configuração 8 bits de dados, nenhum bit de paridade, e 1 bit de parada. A velocidade resultante é de 11520 kbps, ou pulsos por segundo. Com o *encoder* sendo utilizado com o instrumento fornecendo 30 pulsos por ciclo, isso se traduz em uma velocidade máxima teórica de 384 rotações por segundo, ou seja, 23040 rpm.

Por fim foi feito o programa de computador que faz a contagem dos pulsos e exibe a velocidade de rotação estimada. O núcleo do programa foi escrito em na linguagem de programação C++ e a interface com o usuário na linguagem declarativa QML. O programa possui duas configurações: a quantidade de pulsos emitidos pelo *encoder* por rotação, e a duração do intervalo de contagem de pulsos. O programa possibilita a visualização dos pulsos em tempo real, através de um mostrador circular simples. Também avisa se houverem pulsos em direções discordantes em um mesmo intervalo de medição, o que indica problemas de aquisição para uma carga que gira consistentemente em uma direção. A Figura 3 mostra a aplicação executando no desktop.

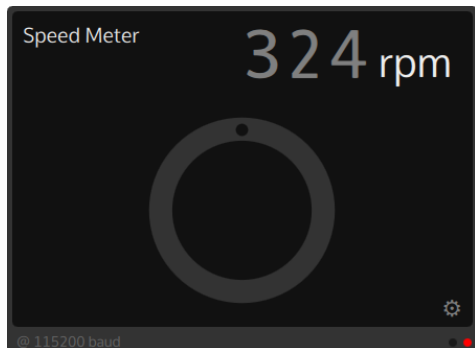


Figura 3: Aplicação medidora de velocidade angular.

2 Caracterização

Para avaliação do instrumento, foi necessário acoplar o *encoder* a uma carga e verificar seu correto funcionamento. Um antigo servomotor escovado de íma permanente E760 da Reliance Electric foi utilizado para essa finalidade. Para realizar o acoplamento, foi necessário criar um suporte para o *encoder* no motor e um acoplador fêmea-fêmea em

um torno. O projeto dos mesmos foi realizado com o auxílio do software Solidworks. A Figura 4 mostra o projeto do acoplamento em vista explodida. Este foi usinado e montado no Laboratório de Fabricação da UFSC Joinville. A Figura 5 mostra o instrumento acoplado ao motor.

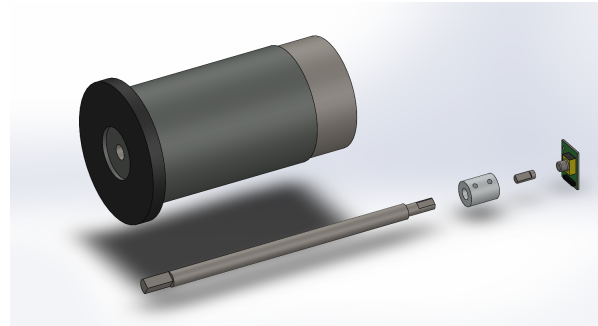


Figura 4: Projeto do acoplamento no Solidworks.



Figura 5: Instrumento acoplado ao motor.

Na configuração padrão, o instrumento conta pulsos em intervalos de 400 ms. Dados N = número de pulsos contabilizados, E = número de pulsos por revolução do *encoder*, e T = tamanho do intervalo de medição em segundos, a medição em rotações por minuto é dada por $\omega_{rpm} = (60 * N) / (E * T)$. Como a medição de saída é inversamente proporcional à contagem de pulsos do *encoder*, a suscetibilidade do instrumento ao jittering não é constante. Quanto maior a velocidade de rotação (quantidade de pulsos por revolução do *encoder*) ou janela de amostragem, melhor é a medição da velocidade, em proporção à sua magnitude.

A utilização de CPU média na execução dos testes foi cerca de 5%. Para obtenção de um valor de referência para a caracterização do instrumento,

um sensor indutivo contador de pulsos foi instalado em proximidade do eixo do *encoder* e a frequência de rotação do motor foi contabilizada por um osciloscópio KEYSIGHT InfiniVision DSO-X-3014A. Os testes foram executados no sistema operacional Linux 4.2.0-18 em um computador de mesa pessoal convencional.

Foram feitas várias medições de teste, apresentadas na Tabela 1. De maneira geral, a resposta do instrumento foi muito próxima à saída esperada, fornecendo uma curva de calibração fortemente linear. Pôde ser observado que a amostra de maior magnitude apresentou maior erro, o que pode indicar o início de perdas da contagem de pulsos. Uma maior velocidade não pôde ser amostrada devido a limitações do motor sendo utilizado. Das medições realizadas foi derivada a curva de calibração apresentada na Figura 6. As linhas do gráfico se sobrepõem, portanto apenas uma linha é visível com clareza. No gráfico, "medidor rpm" denota a medição do instrumento para um dado valor de entrada, e "função calibração inv" denota a curva de calibração obtida por uma regressão linear.

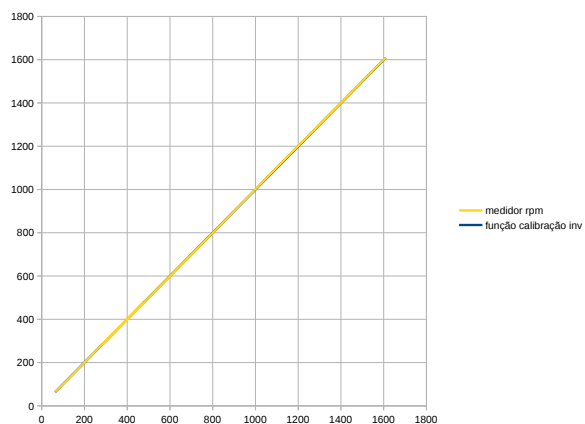


Figura 6: Dados e curva de calibração.

O medidor pôde ser analisado estaticamente. Não foram feitas análises dinâmicas. Também não foi observada nenhuma histerese. Pode-se atribuir essas características desejáveis ao fato de o programa medidor processar seções discretas do sinal de maneira independente umas das outras.

Uma possível aplicação do instrumento é o controle de velocidade para aplicações de servomotores em laboratório e a prototipagem de novos equipa-

Entrada	Saída	Erro
63	65	2
111,3	111	-0,3
283,8	285	1,2
477	475	-2
837,6	837	-0,6
1080	1082	2
1380	1380	0
1609,8	1610	0,2
1931,4	1928	-3,4

Tabela 1: Resultados das medidas de teste

mentos. O instrumento foi implementado em uma plataforma que dispõe de poder computacional disponível e periféricos adequados (geradores de ondas PWM) para a implementação de controle de velocidade de maneira independente, sem auxílio de um computador.

3 Discussão

Durante o processo de amostragem, a medição oscilava em torno de um valor médio. Pôde ser verificado que os intervalos de medição fixos e leituras da porta serial causavam *jittering*, que foi o principal limitante da performance do instrumento. A resolução pode ser melhorada diminuindo-se a taxa de atualização, sacrificando responsividade, ou acrescentando timestamps às amostras do programa, o que deve reduzir o jittering consideravelmente.

O instrumento poderia ser melhorado tornando a taxa de atualização configurável, e explicitando-se qual a resolução da medição atual. Um *encoder* menos ruidoso poderia diminuir a chance de ocorrerem perdas na contagem de pulsos.

4 Conclusão

Este relatório apresentou a implementação de um instrumento medidor de frequência e a análise de suas características. Verificou-se que o instrumento funcionou como o proposto. Foi feita uma análise de suas características principais e foram feitas sugestões para sua melhoria e desenvolvimentos futuros.