

Experiência 2

Plantas servo de movimento linear e rotatório

O objetivo desse experimento é apresentar ao aluno as plantas servo de movimento linear e rotatório dos kits Quanser. Espera-se ao final do experimento que o aluno saiba:

- Identificar os principais componentes que compõem cada planta;
- Acionar o motor CC da planta em tempo real utilizando o Simulink;
- Medir e mostrar os sinais do *encoder* utilizando o Simulink;
- Criar um bloco no Simulink (subsistema) que representa a planta servo.

2.1 Planta servo de movimento linear

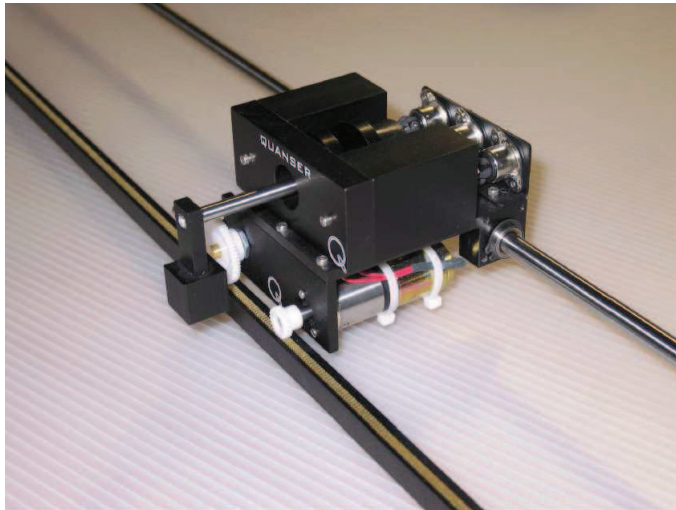


Figura 2.1: Planta servo de movimento linear.

Componentes principais:

- Módulo de potência: Quanser VoltPAQ;
- Placa de aquisição de dados: Quanser Q8-USB;

- Planta servo linear: Figura 2.1;
- Programa de controle em tempo real: QUARC-Simulink.

2.1.1 Acionando o motor CC da planta

O motor CC da planta servo de movimento linear, Figura 2.1, é acionado pelo módulo de potência VoltPAQ. O nível de tensão desejado deve ser aplicado no canal D/A da placa de aquisição de dados que aciona o módulo de potência.

2.1.2 Criando o modelo no Simulink

Objetivo

Criar um modelo no Simulink similar ao mostrado na Figura 2.2 para gerar o nível de tensão desejado na saída analógica 0 da placa de aquisição de dados.

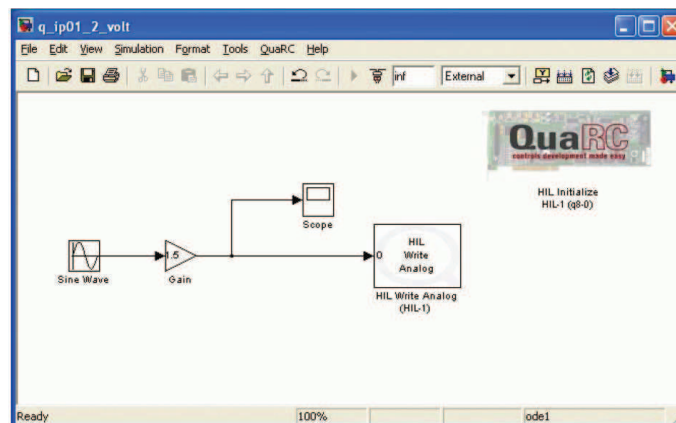


Figura 2.2: Diagrama para aplicar uma tensão senoidal no conversor D/A.

Procedimento

Para obter uma tensão senoidal de variação lenta e amplitude de 1,5 V a partir do conversor D/A da placa de aquisição de dados siga os passos descritos abaixo:

1. Abra o Matlab;
2. Crie um novo diagrama Simulink, clicando no menu *File|New|Model* na barra de ferramentas;
3. Abra a janela *Simulink Library Browser*, clicando no menu *View|Library Browser* na barra de menu Simulink ou clicando no ícone Simulink;
4. Como ilustrado na Figura 2.3, abra a biblioteca *QUARC Targets|Data Acquisition|Generic|Configuration*;
5. Clique e arraste o bloco *HIL Initialize* para o diagrama do Simulink. Ele é usado para configurar o dispositivo de aquisição de dados Quanser Q8-USB;

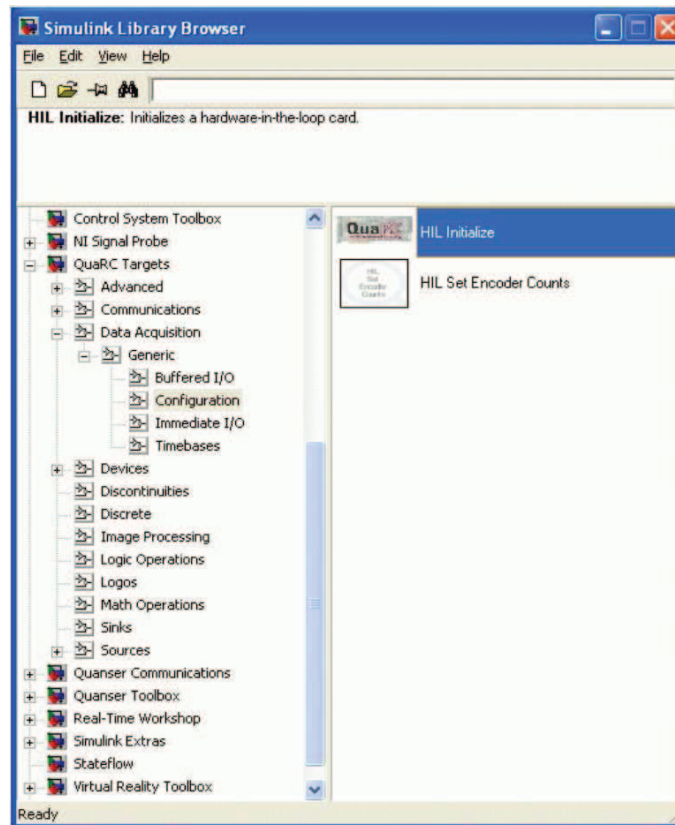


Figura 2.3: Janela do QuARC no *Simulink Library Browser*.

6. Abra a biblioteca *QUARC Targets|Data Acquisition|Generic|Immediate I/O*. Ela contém blocos utilizados para interagir com sensores e atuadores;
7. Clique e arraste o bloco *HIL Write Analog* para o diagrama do Simulink. Ele é usado para fornecer um sinal de tensão na saída do conversor D/A da placa de aquisição de dados. Adicione o bloco *Sine Wave*, localizado na biblioteca *Simulink|Source*, e o bloco de ganho localizado em *Simulink|Math Operations* no diagrama do Simulink. Conecte os blocos conforme mostrado na Figura 2.2;
8. Mantenha os parâmetros padrão para o bloco *Sine Wave*, ou seja, amplitude de 1, frequência de 1 rad/s, e zero para fase e *bias*. Logo, a amplitude do seno será definida pelo ganho de 1.5V do bloco subsequente;
9. Dê um duplo clique no bloco *HIL Initialize* para abrir a janela de configuração. No campo *Board type*, selecione Q8-USB referente à placa de aquisição de dados utilizada. As configurações padrão para esse bloco são suficientes para esse experimento;
10. Dê um duplo clique no bloco *HIL Write Analog* para abrir a janela de configuração. Defina o campo *Board name* como *HIL-1*. Na configuração padrão, o campo *Channels* é configurado para 0 e o campo *Sample time* para -1 (o que significa que o tempo de amostragem é herdado do bloco anterior). Lembrando que o motor CC está conectado ao canal 0 do conversor D/A, essa configuração padrão é suficiente para esse experimento.

ATENÇÃO: Se o cabo *To Load* estiver sendo utilizado com um ganho diferente de 1 para conectar o módulo de potência ao motor CC, um bloco de ganho deve ser inserido antes do bloco de saída analógico com valor igual ao inverso do ganho do cabo *To Load* para obter um ganho global unitário.

2.1.3 Compilando o modelo

Objetivo

Compilar o modelo do diagrama do Simulink para gerar o código a ser executado em tempo real pelo programa QUARC.

Procedimento

Siga os seguintes passos para gerar um código executável em tempo real a partir do diagrama do Simulink:

1. Na barra de ferramentas da janela do Simulink, abra o menu *QUARC|Set default options* para definir os parâmetros utilizados na execução em tempo real e configurar o diagrama do Simulink para uso externo (em oposição ao modo de simulação), conforme mostrado na Figura 2.4;

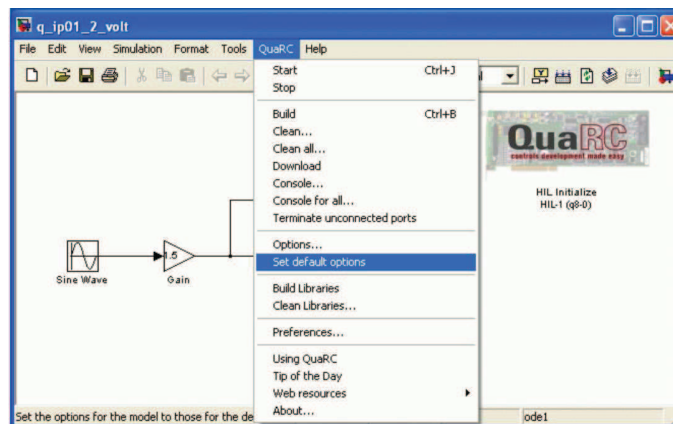


Figura 2.4: Configurando o diagrama do Simulink para execução em tempo real.

2. Para configurar as opções do compilador, abra o menu *QUARC|Options* na barra de ferramentas da janela do Simulink. No painel *Real Time Workshop*, o campo *System target file* deve ser configurado com o nome do arquivo compilador *quarc_windows.tlc* e, na seção *Makefile configuration*, o campo *Make command* deve ser configurado para *make_rtw* e o *Template makefile* é configurado com *quarc_default_tmf*;
3. Clique no item *Solver* para configurar o método de integração, conforme mostrado na Figura 2.5;
4. Em *Simulation time* defina o tempo de parada como *inf* para que o código seja executado continuamente até que seja interrompido manualmente pelo usuário.

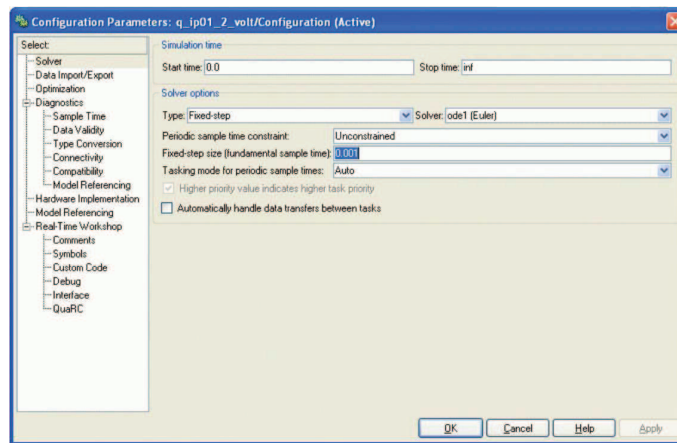


Figura 2.5: Configuração do método de integração.

5. Em *Solver options* defina o parâmetro *Type* para *Fixed-step* e o *Solver* para *discrete*. Como não existem blocos contínuos dentro do diagrama do Simulink, o *solver discrete* funcionará adequadamente. No entanto, se um bloco integrador ou outro sistema contínuo for inserido, o campo *Solver* precisa ser mudado para outro método de integração, por exemplo *ode1 (Euler)*.
6. O campo *Fixed-step size* define o tempo de amostragem do método de integração, ou seja, o intervalo do passo de integração. O valor padrão é 0.001, que equivale a uma amostragem de 1kHz, suficiente para esse experimento;
7. Para compilar o código selecione *QUARC|Build*. Várias linhas serão mostradas na janela *Command Window* do Matlab enquanto o código é compilado;
8. Uma vez compilado, serão gerados um arquivo executável e uma pasta contendo vários arquivos C e do Matlab. Uma vez criado o arquivo executável, a pasta com os arquivos C e Matlab pode ser deletada;
9. O arquivo executável e a pasta com os arquivos C e do Matlab podem ser removidos do diretório atual clicando em *QUARC|Clean*.

2.1.4 Executando o código em tempo real

Objetivo

Utilizar o programa QUARC para inicializar e parar o código em tempo real.

ATENÇÃO: Executar o modelo projetado no Simulink com o QUARC irá efetivamente aplicar uma tensão senoidal de 1,5V no motor CC da planta servo. A tensão é gerada no canal de saída analógica 0 passando pelo amplificador de potência e, finalmente, atuando no motor. Isso corresponde a um teste em malha aberta uma vez que nenhum sinal de realimentação é utilizado. Portanto, antes de iniciar a execução do código em tempo real (e aplicar a tensão), verifique se o carro está localizado em torno da posição de meio curso e está livre para se mover em ambas as direções.

Procedimento

Para aplicar a tensão senoidal de 1,5V siga os seguintes passos:

1. Verifique se o ganho do VoltPAQ está definido como 1;
2. Ligue o amplificador de potência VoltPAQ;
3. Para começar a executar o código, clique em *QUARC|Start* na janela do diagrama do Simulink. O carro deve começar a mover-se para frente e para trás ao longo do trilho.
4. A alteração do valor do ganho mudará a amplitude da tensão senoidal afetando diretamente a velocidade do carro. Esteja ciente de que uma maior tensão não só irá resultar em um aumento da velocidade do carro, mas também da distância percorrida;
5. Selecione *QUARC|Stop* para interromper o código em execução (ou clique no botão *Stop* na barra de ferramentas da janela do Simulink);
6. Desligue o amplificador de potência ao término do experimento.

2.1.5 Medindo a posição atual do carro pelo *encoder*

Objetivo

Monitorar e medir a posição atual do carro, conforme fornecido pelo encoder, utilizando um diagrama do Simulink similar ao mostrado na Figura 2.6.

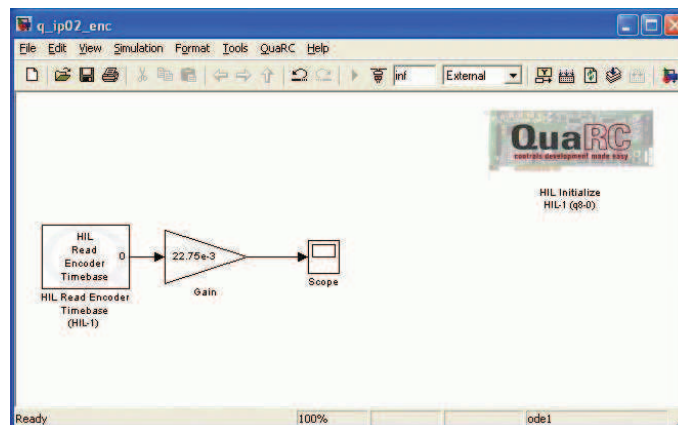


Figura 2.6: Lendo a informação do encoder.

Procedimento

1. Crie um novo diagrama do Simulink;
2. Abra a biblioteca *QUARC Targets|Data Acquisition|Generic| Configuration* e arraste o bloco *HIL Initialize* para o diagrama do Simulink. Abra a janela de configuração e no campo *Board type* selecione *Q8-USB*;

3. Abra a biblioteca *QUARC Targets|Data Acquisition|Generic|Timebase* e arraste o bloco *HIL Read Encoder Timebase* para o diagrama do Simulink. Esse bloco pode ser configurado para ler o canal da placa de aquisição de dados referente à entrada do encoder. Ao utilizar um bloco da biblioteca *Timebase*, o tempo de execução será dado pelo *clock* do *hardware* da placa de aquisição de dados, ao invés do *clock* do sistema. Isso aumenta o desempenho geral por meio da redução de jitter e permitindo maiores taxas de amostragem. O *clock* do sistema seria utilizado se o bloco *HIL Read* da biblioteca *Immediate|I/O* fosse selecionado;
4. Dê um duplo clique no bloco *HIL Read Encoder Timebase* para abrir a janela de configuração. Verifique se o campo *Board name* está definido como *HIL-1*. Lembre-se que o encoder está conectado no canal 0, logo a configuração padrão do campo *Encoder channels* não precisa ser modificada;
5. Adicione ao diagrama do Simulink um bloco de ganho e um *Scope* obtidos, respectivamente, nas bibliotecas *Simulink|Math Operations* e *Simulink|Sinks*. Faça as conexões conforme mostrado na Figura 2.6;
6. O *encoder* gera um número inteiro de contagem (*count*) proporcional à posição angular do pinhão do motor, que por sua vez é diretamente proporcional à posição do carro no trilho. Conforme estabelecido no manual do usuário da planta servo de movimento linear, a resolução do encoder do carro é $22,75\mu\text{m}/\text{count}$. Portanto, a fim de obter a posição de carro em mm basta introduzir um fator de calibração de $22,75 \cdot 10^{-3} \text{mm}/\text{count}$ no bloco de ganho;
7. Clique em *QUARC|Set Default Options*;
8. Salve o modelo do Simulink;
9. Ligue o amplificador de potência;
10. Clique em *QUARC|Build* para compilar o código;
11. Clique em *QUARC|Start* para executar o código;
12. Mova manualmente o carro para frente e para trás ao longo do trilho e verifique a resposta no *scope*. Se o sinal estiver muito pequeno, altere o zoom do *scope*. Será observado um comportamento análogo ao visto na Figura 2.7;
13. Guarde o valor da última posição do carro, pare a execução do código (*QUARC|Stop*) e reinicie o procedimento (*QUARC|Start*). Note no *scope* que o *encoder* está fornecendo uma medida de 0 mm. Isto mostra a diferença entre uma medida de posição relativa, por exemplo um *encoder* incremental, e uma medida absoluta, por exemplo um potenciômetro;
14. Pare a simulação e desligue o amplificador de potência ao término do experimento.

2.1.6 Criando um subsistema da planta no Simulink

Objetivo

Criar um subsistema do carro, utilizando o bloco *subsystem*, para utilização futura em outros experimentos.

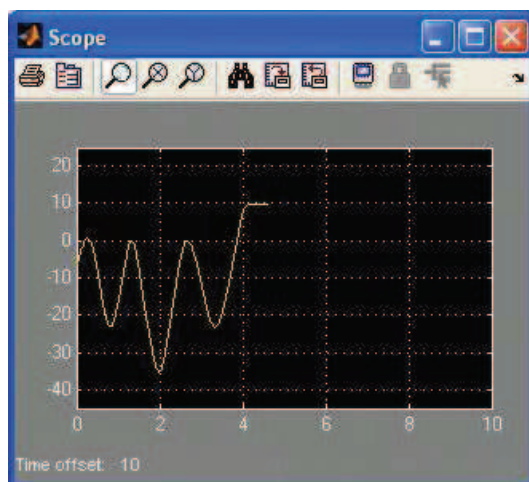


Figura 2.7: Posição do carro.

Procedimento

O procedimento para criar e testar o subsistema pode ser visto nas figuras 2.8 e 2.9.

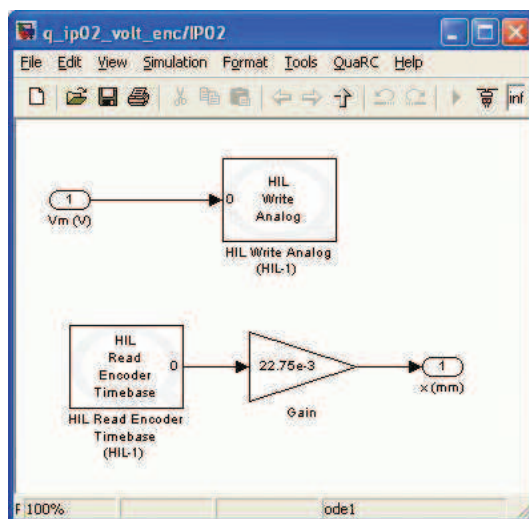


Figura 2.8: Criando um subsistema do carro.

2.2 Planta servo de movimento rotatório

De forma análoga ao que foi realizado com a planta servo de movimento linear, proceder com o acionamento do motor seguindo os seguintes passos:

- Criar um modelo no Simulink;
- Compilar o modelo;
- Executar em tempo real.

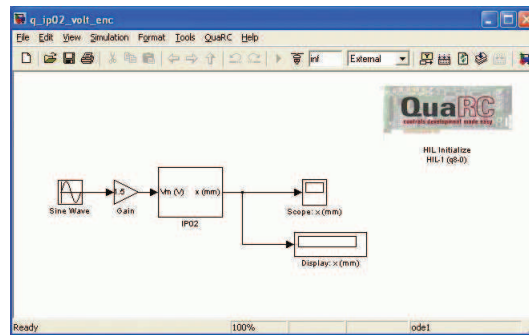


Figura 2.9: Testando o subsistema do carro.



Figura 2.10: Planta servo de movimento rotatório.

A Figura 2.11 apresenta o diagrama para acionamento do motor. A diferença está na utilização do bloco *Signal Generator*, que por padrão gera um sinal senoidal, e o bloco *Slider Gain* que permite variar o ganho em tempo real entre valores mínimo e máximo previamente definidos. Esses blocos podem ser encontrados, respectivamente, nas bibliotecas *Simulink|Source* e *Simulink|Math Operations*.

Antes de ligar o amplificador de potência VoltPAQ, verifique se o valor do ganho selecionado é igual a 1. Durante a execução do código em tempo real, verifique o efeito na variação angular da planta ao variar o ganho do *Slider Gain* entre 0 e 2.

2.2.1 Medindo a posição e a velocidade angular do motor

A posição angular é dada tanto pelo potenciômetro, medida absoluta, quanto pelo *encoder*, medida relativa, e a velocidade pelo tacômetro acoplado ao motor. A Figura 2.12 apresenta o diagrama completo a ser elaborado no Simulink.

As configurações dos parâmetros dos blocos são análogas ao que foi realizado com a planta servo de movimento linear. Repetir as análises realizadas na planta servo de movimento linear,

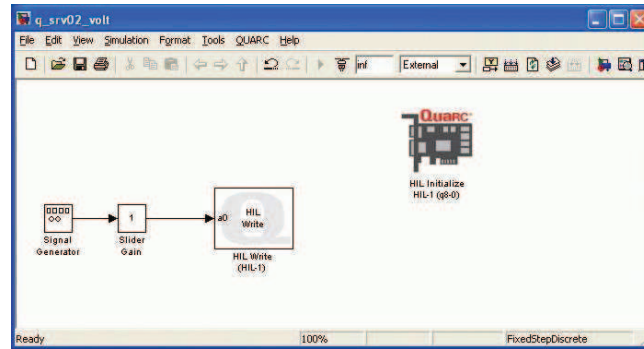


Figura 2.11: Diagrama para aplicar uma tensão senoidal no conversor D/A.

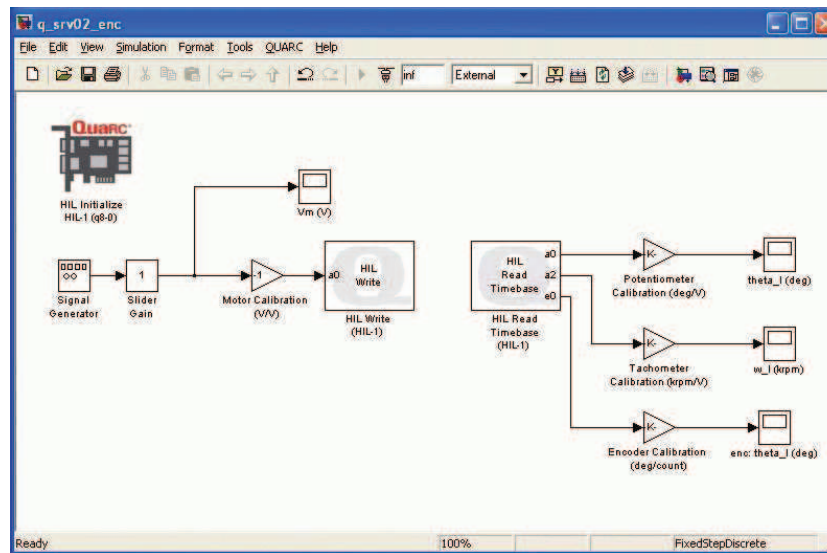


Figura 2.12: Diagrama para acionamento e leitura da posição e velocidade do motor.

atento aos seguintes detalhes:

1. O potenciômetro está conectado na entrada analógica 0 e o tacômetro na entrada analógica 1 (configure o campo *Analog channels* para [0, 1]);
2. O *encoder* está conectado no canal 0 das entradas do *encoder* (configure o campo *Encoder channels* para 0);
3. O potenciômetro fornece como saída uma tensão entre $\pm 5V$ quando rotacionado 352 graus. Logo, ele precisa ser calibrado com o valor de $352/10$ (graus/V). Verifique a relação entre a tensão de entrada e a posição. Quando a tensão de entrada aumenta na direção positiva, o ângulo do potenciômetro diminui. Nesse caso, adicione um sinal negativo no valor do ganho de calibração;
4. A constante da força contra-eletromotriz do tacômetro é de $1,5mV/rpm$. No entanto, a medida de velocidade é feita diretamente no motor, ou seja, para uma leitura correta é necessário dividir o ganho de calibração pela razão do jogo de engrenagens. Quando a engrenagem maior estiver sendo utilizada, o ganho de calibração será $1/1,5/70$ (kRPM/V), caso contrário, engrenagem menor, o ganho será de $-1/1,5/14$ (kRPM/V). Para a medida

em RPM/V definir o ganho como $1000/1,5/70$ e $-1000/1,5/14$ respectivamente. Assim como foi feito para o potenciômetro, verifique a relação entre tensão de entrada e a velocidade, adicionando um sinal negativo no ganho caso seja observado alguma incoerência;

5. A saída do *encoder* fornece 4096 *counts* para cada volta completa. Nesse caso, o ganho de calibração deve ser ajustado para $360/4096$ graus/*counts*;
6. Rotacione manualmente as engrenagens e analise a diferença entre as medidas relativas (*encoder*) e absoluta (potenciômetro) dos valores de posição. Altere o valor da frequência da tensão senoidal e do *slider gain* e observe a saída do potenciômetro. Foi verificado alguma descontinuidade na leitura do potenciômetro?