

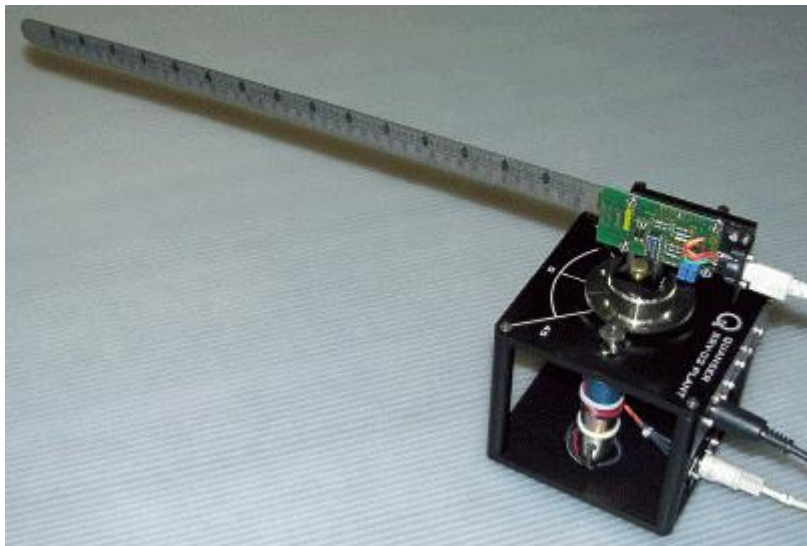
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e De Computadores

Identification and Computer Control of a Flexible Robot Arm Joint

Projeto de Laboratório

Controlo por Computador

2017/2018



Grupo 2 - Turno de 4^a-Feira

Rúben Tadeia – 75268

João Ribafeita – 75987

29 de Dezembro de 2017

Índice

1. Introdução.....	3
2. Respostas às Questões (Q4 – Design do Controlador).....	4
Diagrama do Simulink usado no controlador.....	4
Comentários da escolha dos pesos do custo quadrático aquando utilização do LQG design ..	5
Efeito da escolha do ruído da matriz de covariâncias (LTR) e resultado em malha fechada para a frequência e tempo de resposta ..	8
Efeito de incluir um pré-filtro.....	11
Teste das perturbações ..	12
3. Conclusão ..	17

1. Introdução

Neste trabalho laboratorial foi pedido o controlo e modulação de uma barra metálica flexível. Para tal recorreremos ao MATLAB e SIMULINK para executar as simulações respetivas, fazendo a ligação direta à barra em si. Todas as funções pedidas e utilizadas podem ser encontradas em scripts MATLAB. Estes scripts encontram-se na raiz da pasta.

De seguida seguem-se as respostas às questões propostas bem como a justificação das mesmas através tanto de gráficos como de scripts de MATLAB justificativos. Nesta fase do laboratório já tinha sido projetado e testado um modelo, faltando apenas o design do controlador.

Este trabalho laboratorial permitiu realizar uma análise mais pormenorizada relativamente à aplicação de sistemas de controlo por computador, para se obter melhores resultados é necessário utilizar um controlador e um observador. Apresentam-se as respostas às perguntas assim como todas as imagens necessárias para explicar a linha de pensamento na próxima secção.

2. Respostas às Questões (Q4 – Design do Controlador)

Diagrama do Simulink usado no controlador

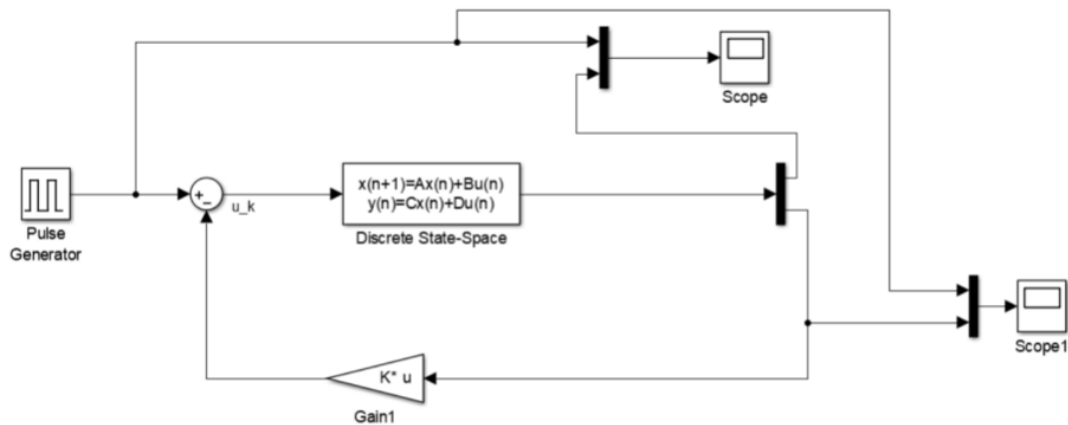


Figura 1 - Simulink para LQR

Ao longo deste laboratório foram usados vários ficheiros de simulink. De referir um para os dados de referência, e outros 2 para tentar corrigir os valores da saída. Esses 2 eram dois métodos diferentes entre si. Um consistia em aumentar bastante o ganho, e o outro consistia em utilizar um integrador. No caso do integrador foi feito o reset em ambos os flancos (ascendente e descendente) e alteraram-se as margens de saturação para se obter outros valores de ganho.

A imagem do simulink para com o circuito integrador pode ser visto abaixo.

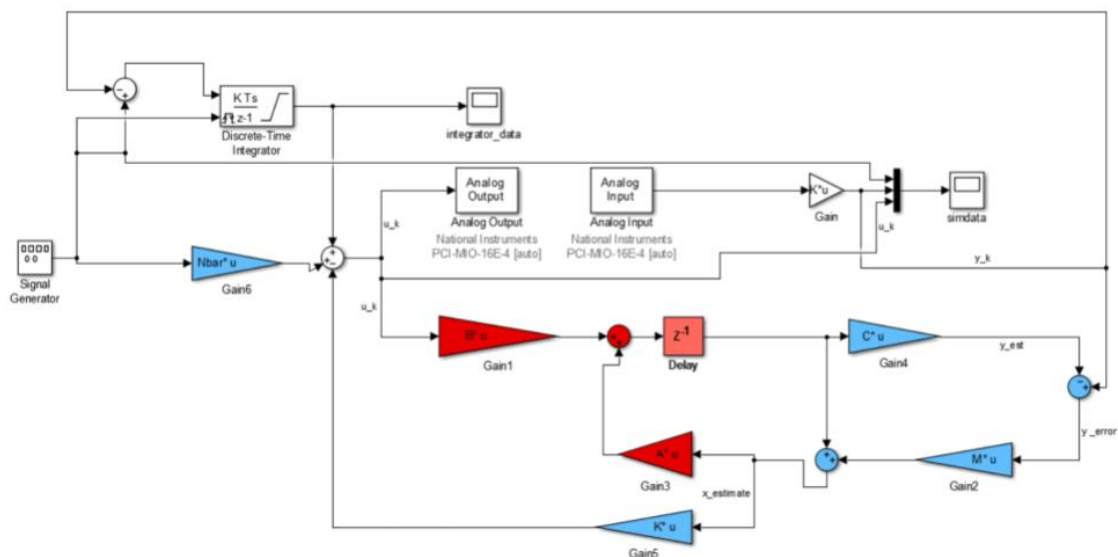


Figura 2 - Simulink com o integrador para o sistema real

Comentários da escolha dos pesos do custo quadrático aquando utilização do LQG design

Apresentam-se abaixo os gráficos obtidos para os efeitos do Q_E, R_E, R .

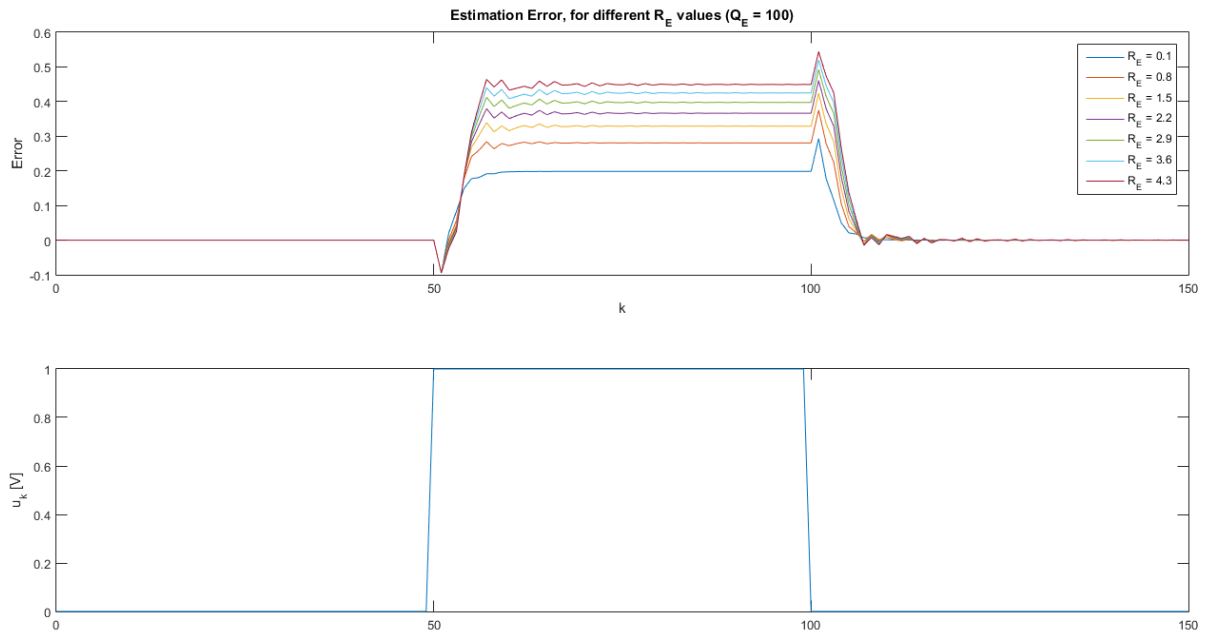


Figura 3 - Efeito de R_E

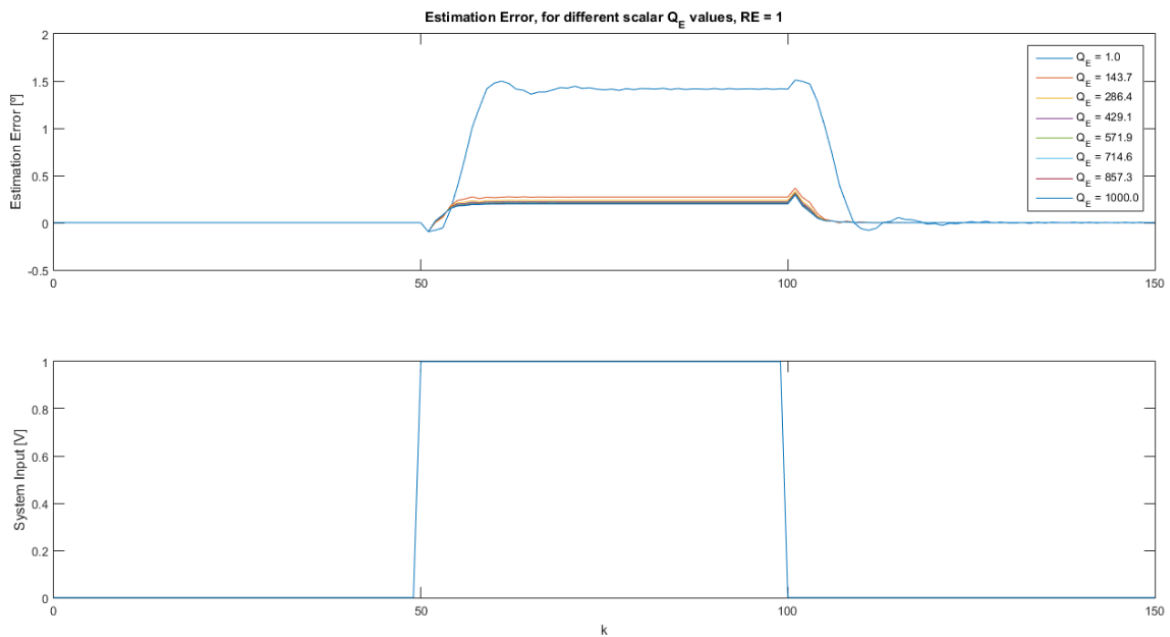


Figura 4 - Efeito de Q_E escalar

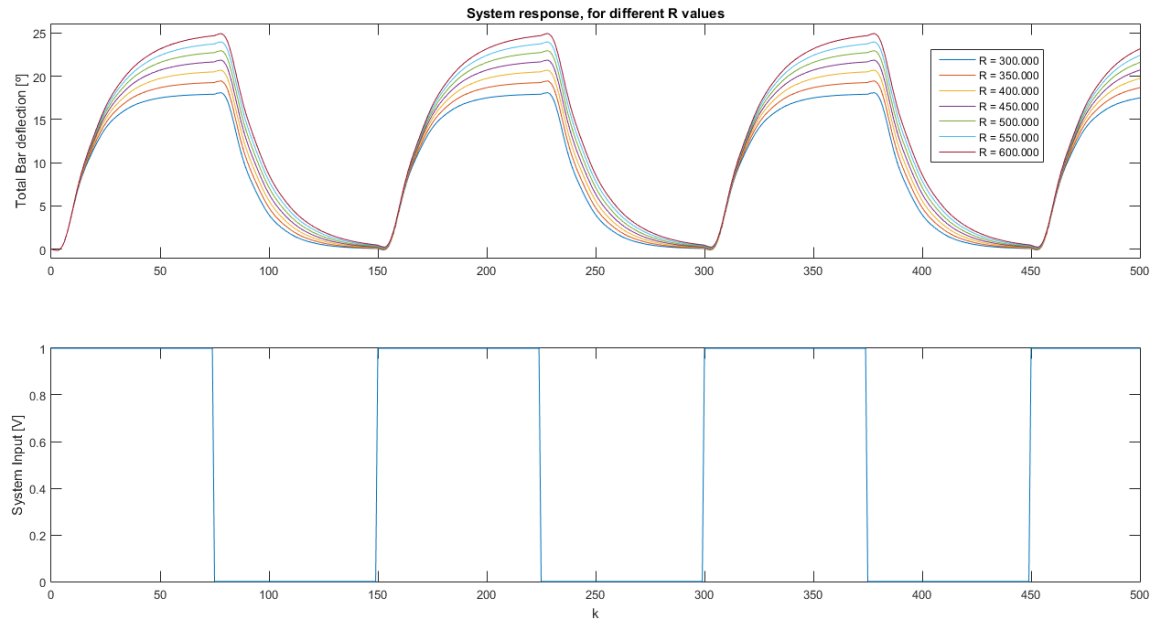


Figura 5 - Efeito de R

Finalmente é possível ver o efeito de Q_E e reparar que não é muito significativo na estimativa do erro.

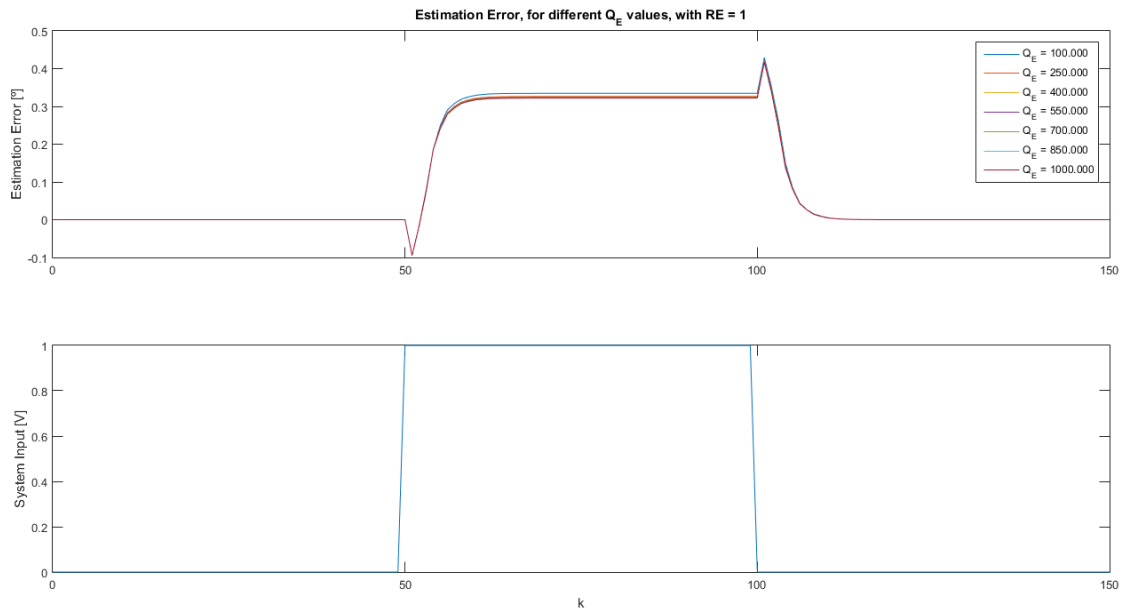


Figura 6 - Efeito de Q_E

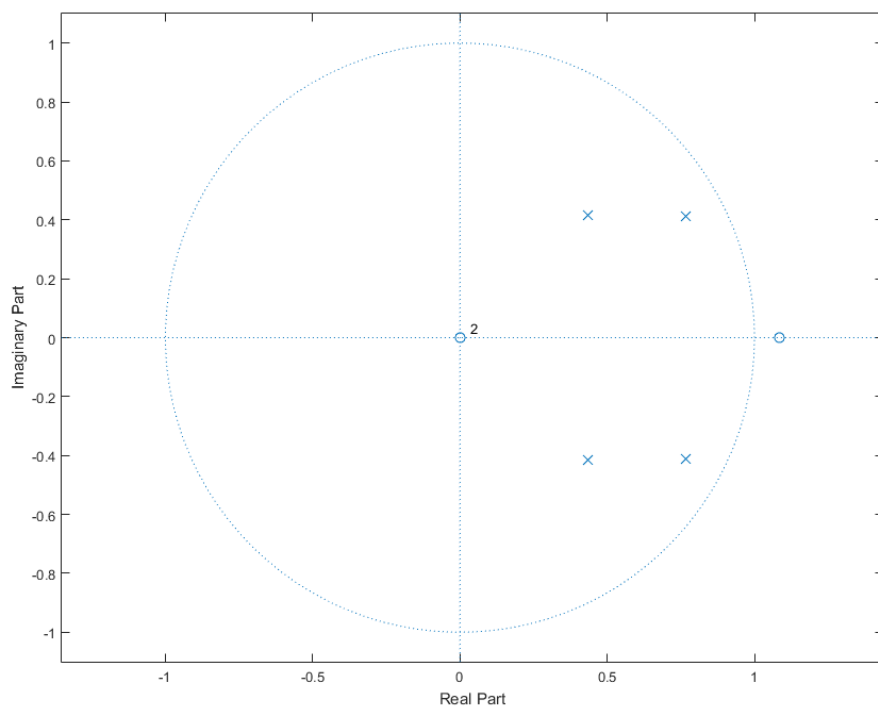


Figura 7 - Pólos do sistema

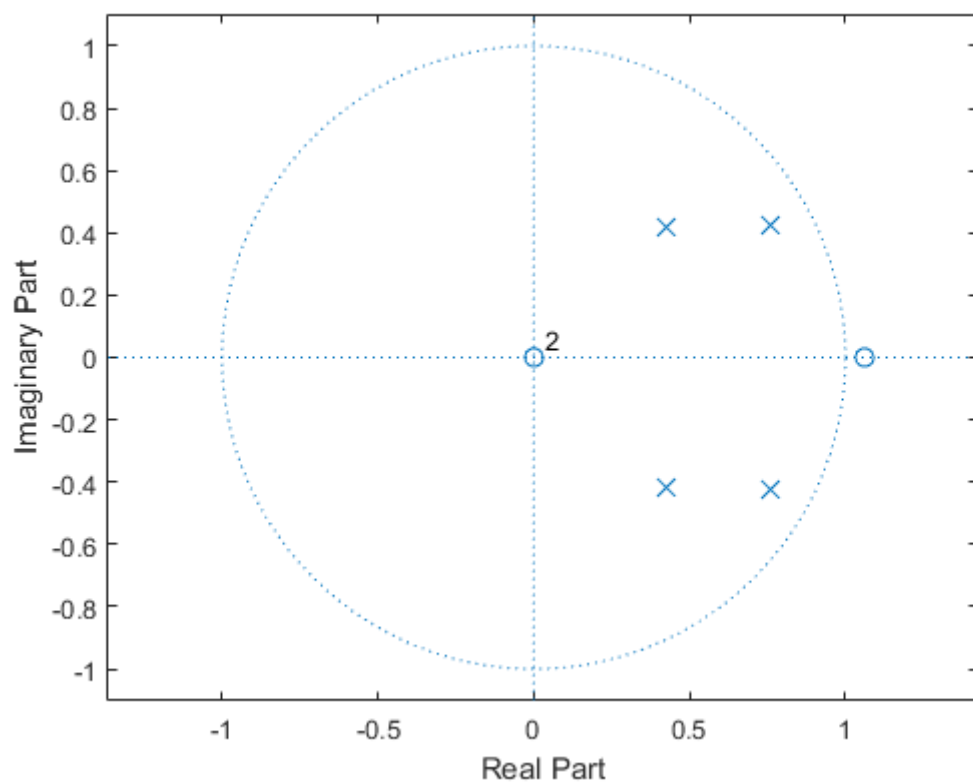


Figura 8 - Pólos do sistema outro teste

Efeito da escolha do ruído da matriz de covariâncias (LTR) e resultado em malha fechada para a frequência e tempo de resposta

Apresentamos agora o resultado da escolha do ruído da matriz de covariância LTR (justificação dos valores de Q_w e R_w).

Vão ilustrar-se os resultados obtidos em baixo, e por fim tiram-se as conclusões dos mesmos.

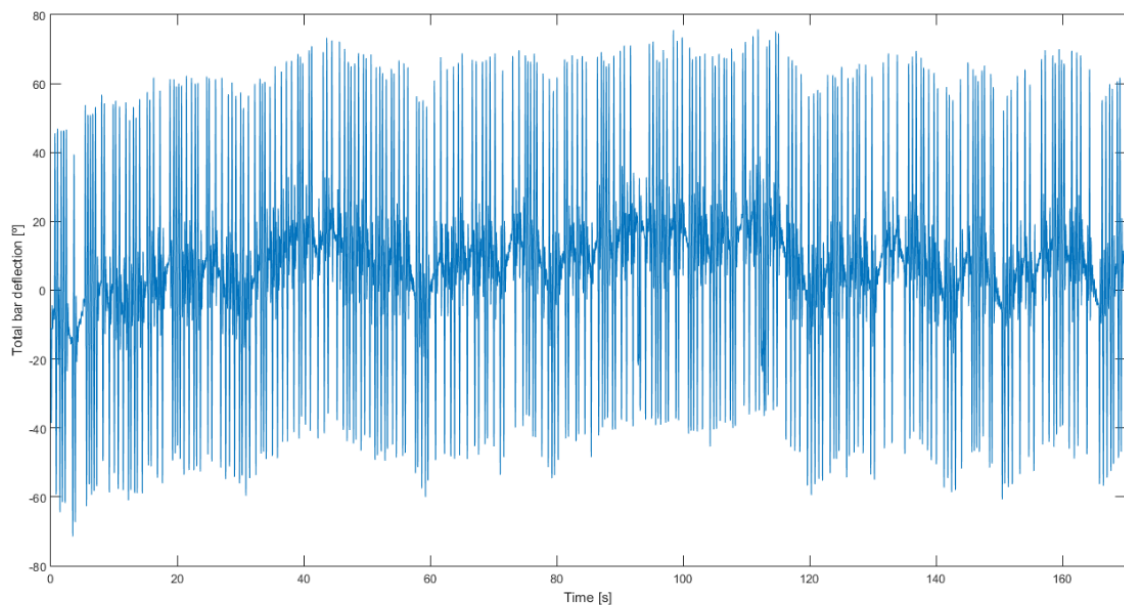


Figura 9 - Deflecção da barra com prbs

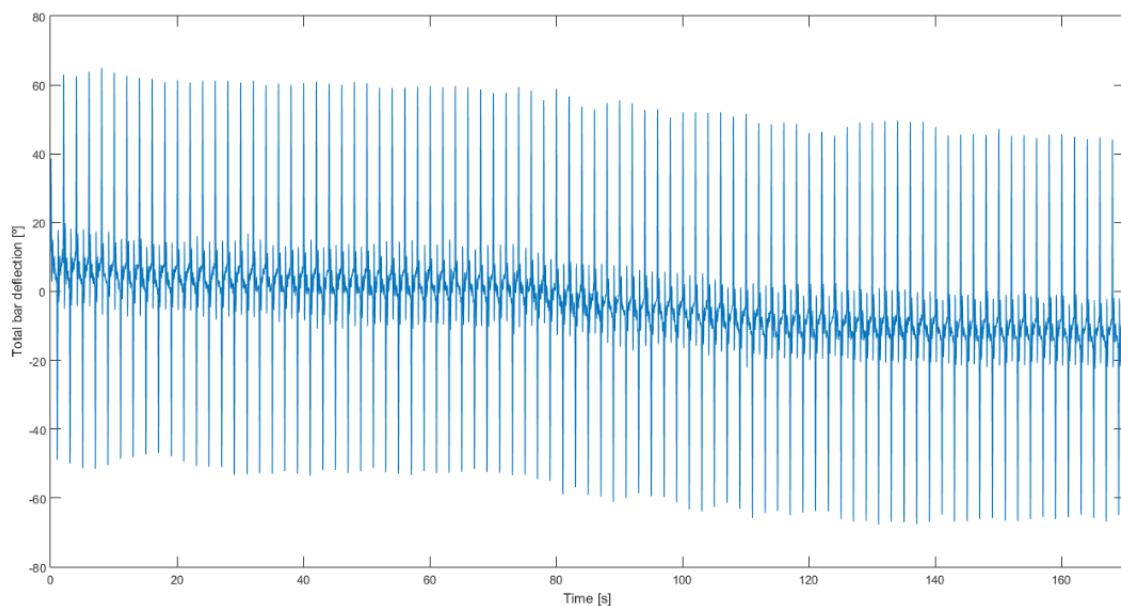


Figura 10 - Deflecção da barra com frequência de 0.5 Hz

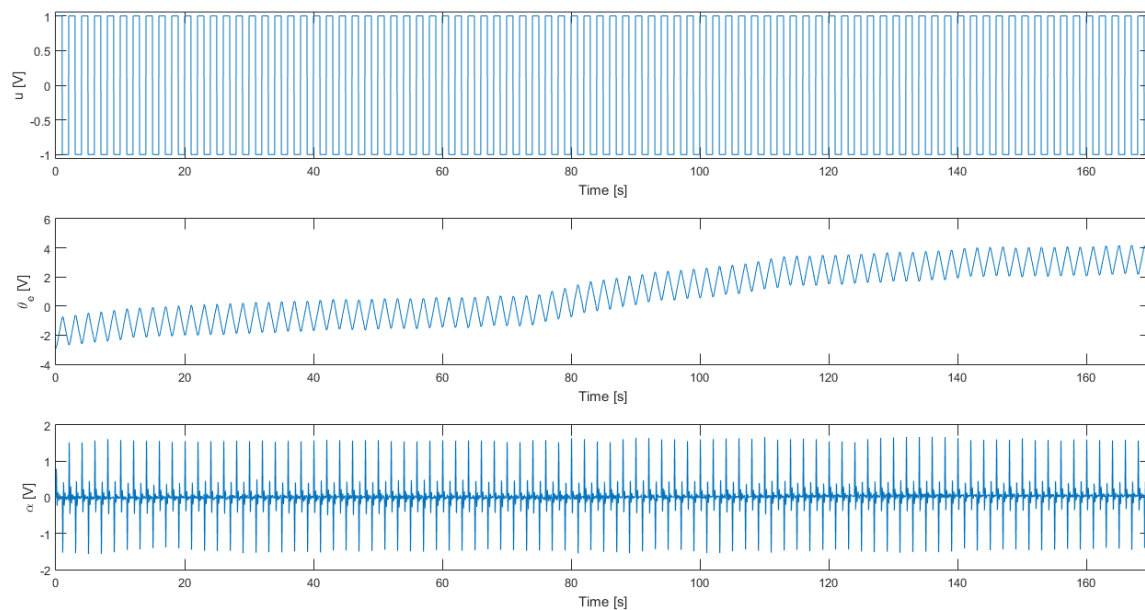


Figura 12 – Sinal de controle com frequência de 0.5 Hz

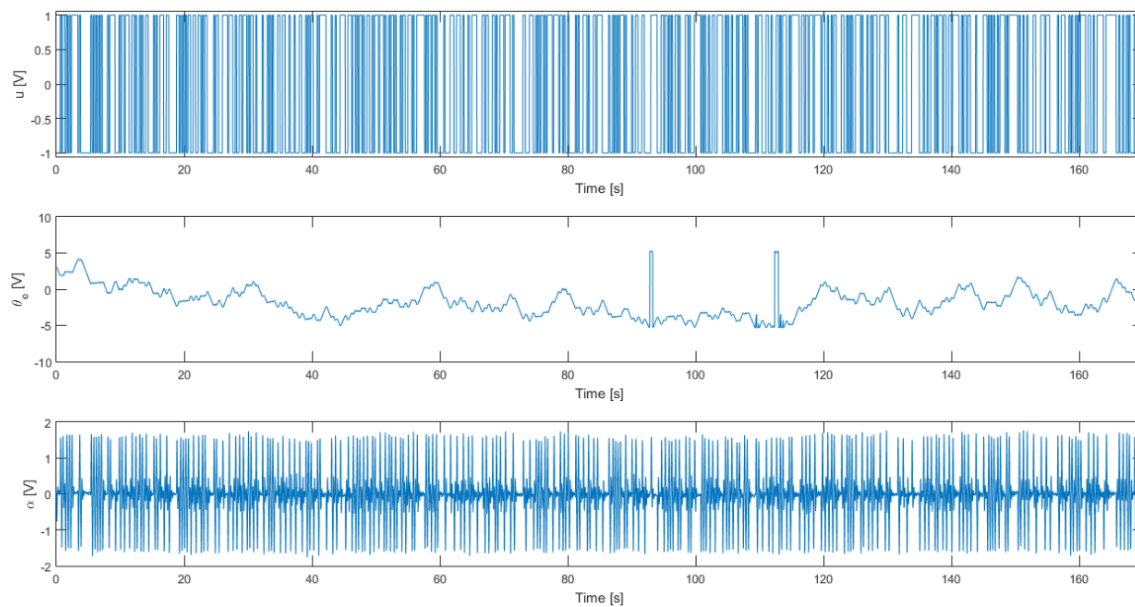


Figura 11 - Sinal de controle com teste prbs

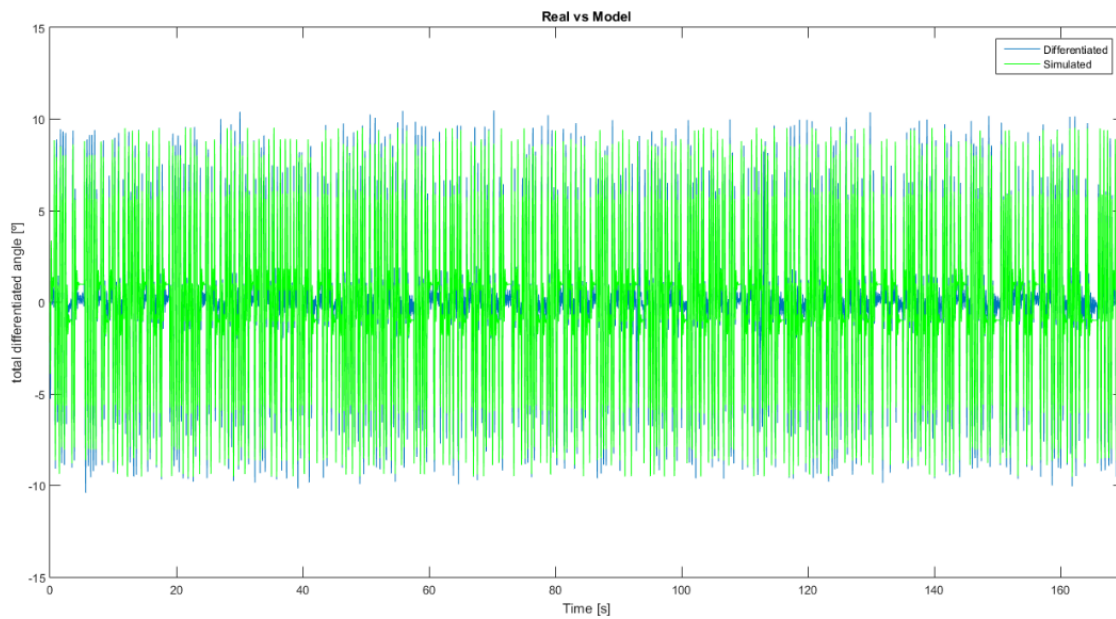


Figura 13 - Modelo real vs modelo simulado

As diferenças entre o nosso modelo (simulado) e o modelo real são pequenas, o que comprova a qualidade do nosso controlador. No entanto verificam-se algumas descontinuidades na barra.

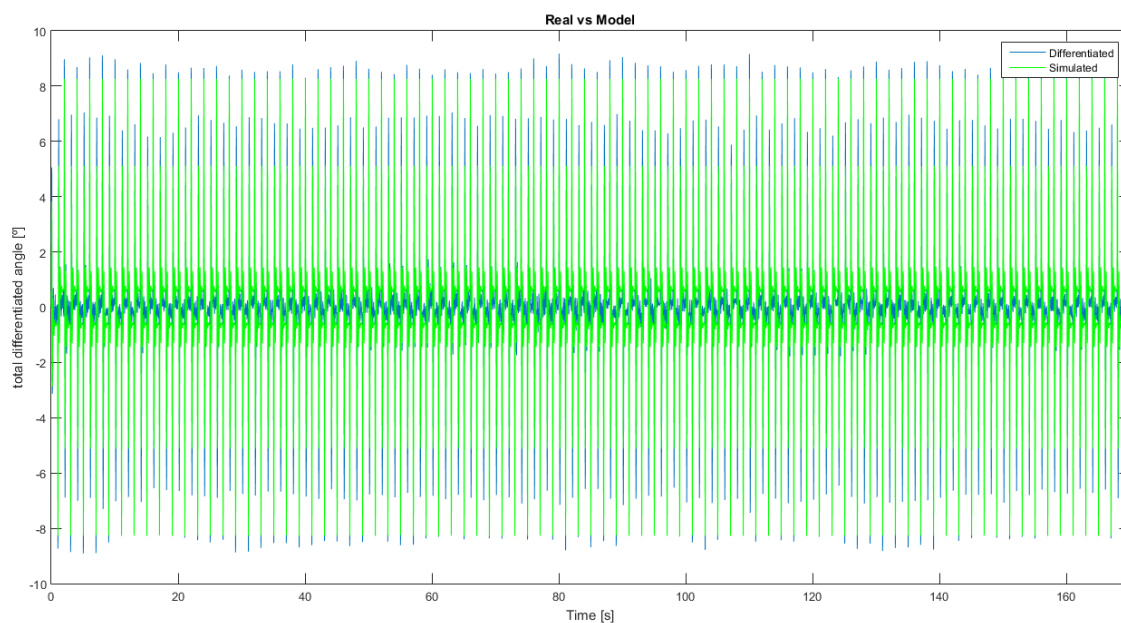


Figura 14 - Modelo real vs modelo simulado (onda quadrada)

Efeito de incluir um pré-filtro

Visto que o sistema em análise é um sistema que inclui sensores analógicos, podem existir problemas relacionados com a existência de ruído de alta frequência, prejudicial ao sistema. Este ruído diminui a exatidão e precisão das medições, o que afeta o controle do sistema (em diferentes graus, dependendo do tempo de amostragem do controlador e da frequência do ruído, sendo que pode ocorrer aliasing).

Escolhendo a frequência de corte “ideal” (tendo em conta a largura de banda do sistema, o tempo de amostragem do controlador e as frequências a partir das quais o sinal é considerado como “ruído”), a utilização de um pré-filtro proporciona um incremento na precisão das medições (devido à redução da incerteza das mesmas) e, além disso, evita que na entrada o sinal tenha componentes de alta frequência (que são parcialmente ou totalmente atenuadas), prejudiciais ao sistema.

Considerando que o filtro é estável, o mesmo não alterará a estabilidade global do sistema.

Teste das perturbações

Para que o controlador escolhido (e, conseqüentemente, o sistema de controlo) tenham uma performance aceitável, devem preencher vários critérios.

Em primeiro lugar, devem seguir corretamente referências com as amplitudes e frequências expectáveis durante o normal funcionamento, de forma precisa e rápida.

Para testar este ponto, o sistema (após ser usado o integrador na entrada), foi testado com várias referências na entrada.

Para uma referência sinusoidal, de frequência 0.2Hz e amplitude correspondente a 30° , o sistema tem o comportamento que esperávamos, sendo que no geral segue corretamente a referência.

Verifica-se que existe saturação nos máximos e mínimos da onda sinusoidal. Tal deve-se à existência da zona morta do motor DC. De modo a melhorar este ponto, os limites de saturação do integrador (e eventualmente o seu ganho) podem ser ajustados. No entanto, tal iria afetar a resposta a outras referências, como as de onda quadrada, pelo que o valor utilizado resulta de um compromisso (entre uma muito boa resposta a ondas quadradas nas frequências de funcionamento do sistema e boa resposta a outros tipos de ondas).

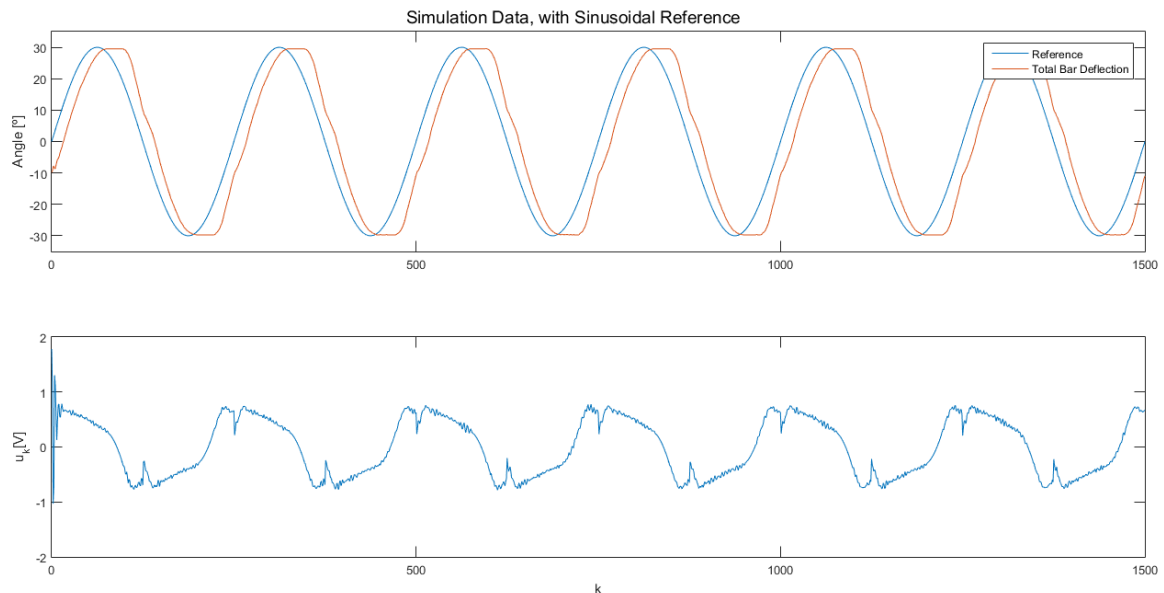


Figura 15 - Teste de perturbações para simulações

A resposta do sistema foi também testada para referências do tipo dente de serra. Neste caso, a resposta do sistema razoável, mas pior que a resposta a referências do tipo sinusoidal. Tal continua a dever-se, em parte, à existência da zona morta do motor.

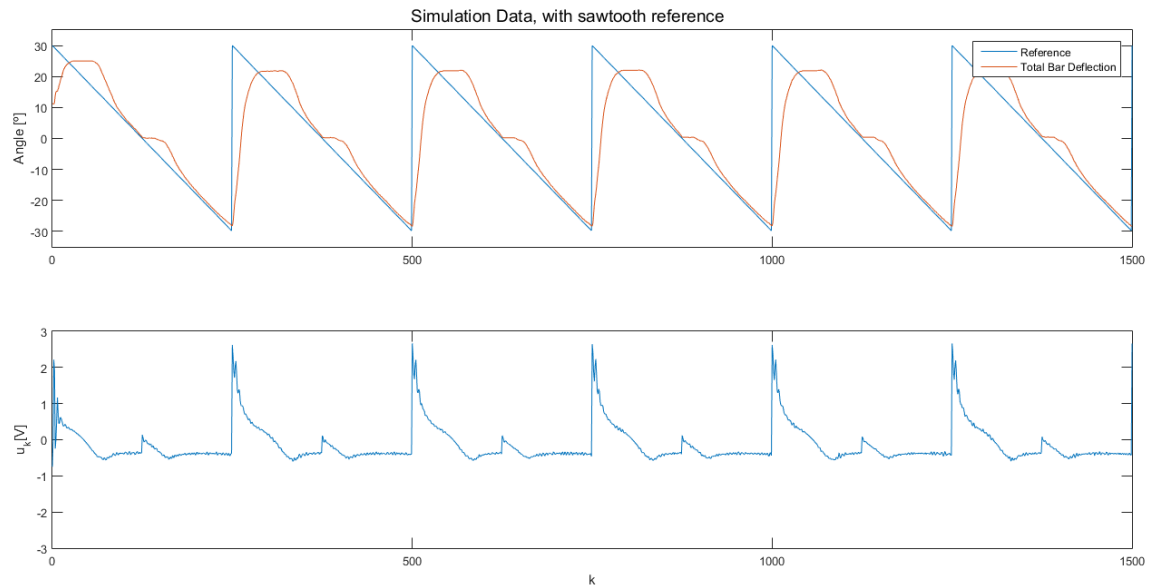


Figura 16 - Onda serra em simulação

Foi ainda testada a resposta do sistema a ondas quadradas, num primeiro teste com frequência de 0.5 Hz.

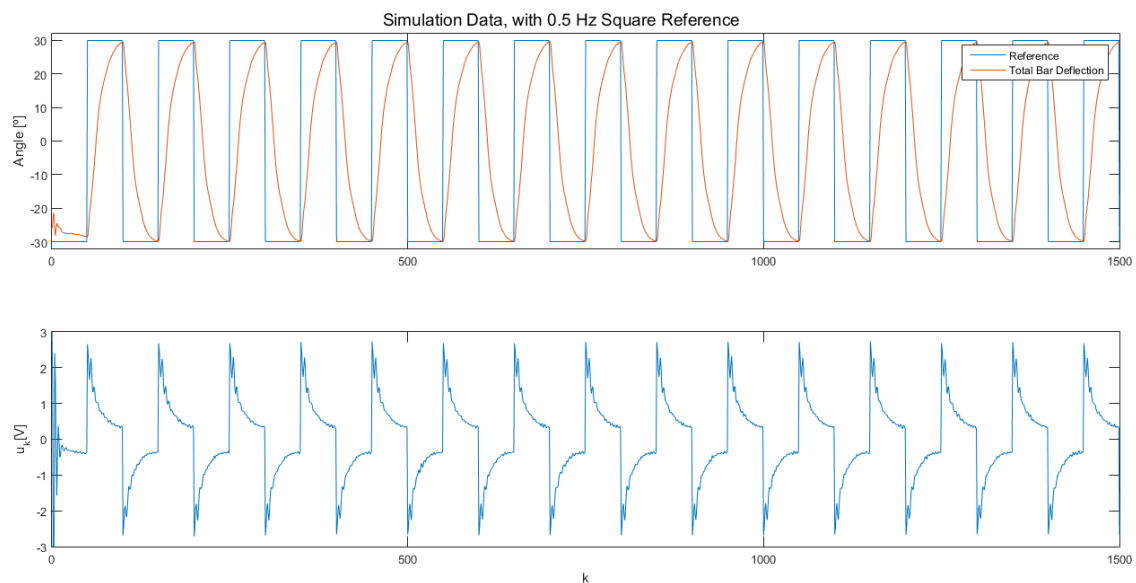


Figura 17 - Simulação para Frequência de 0,5 Hz

Neste caso a resposta do sistema é boa, sendo que os efeitos da zona morta são completamente atenuados pelo integrador colocado na entrada (se bem que à custa da perda de alguma velocidade de resposta).

A velocidade de resposta é uma consequência dos parâmetros do controlador escolhidos (e do balanço *cheap vs expensive control*), sendo que pode ser melhorada com o aumento do ganho do integrador na entrada (e consequente redução dos limites de saturação) e ajuste dos parâmetros R e RE dos controladores tendo, no entanto, em

conta que para aumentar a velocidade de resposta do sistema estaremos a usar um controlador mais “nervoso”, com todas as consequências que daí advêm.

Foi ainda testada a resposta do sistema a ondas quadradas de frequência de 1Hz, sendo que neste caso são consideravelmente mais evidentes as limitações do controlador escolhido, nomeadamente no que à sua velocidade de resposta diz respeito.

Com referências quadradas de 1Hz (e variações de amplitude de 60º quase instantâneas, um cenário algo irreal considerando a utilização desta barra), a resposta do sistema é má, visto que nunca atinge a referência, devido à velocidade de resposta ser baixa comparada com a frequência e amplitude da referência.

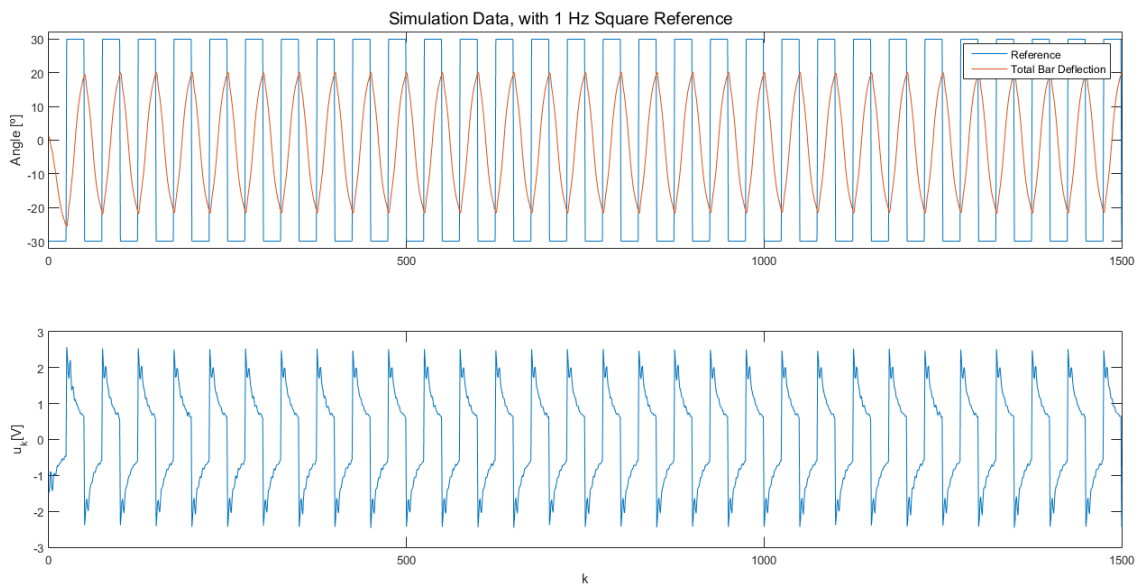


Figura 18 - Simulações para Frequência de 1 Hz

Outro parâmetro testado foi a rejeição e resistência às perturbações externas. Este teste foi separado em dois testes diferentes: a resposta a perturbações causadas no eixo do motor e a resposta a perturbações causadas na vizinhança da extremidade da barra.

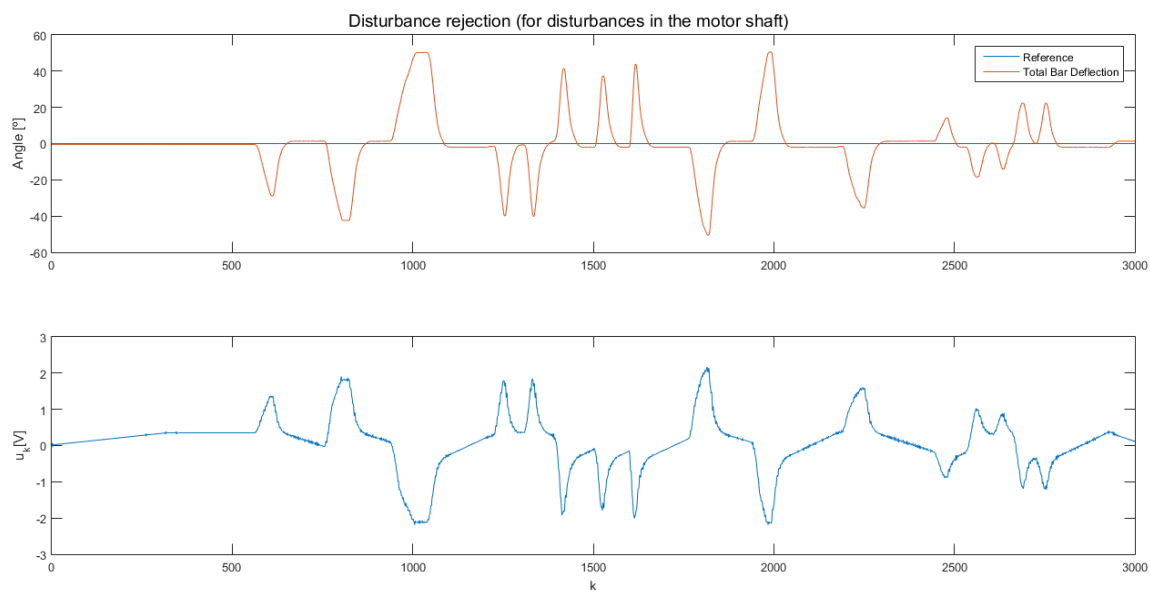


Figura 19 - Rejeição da perturbação no motor

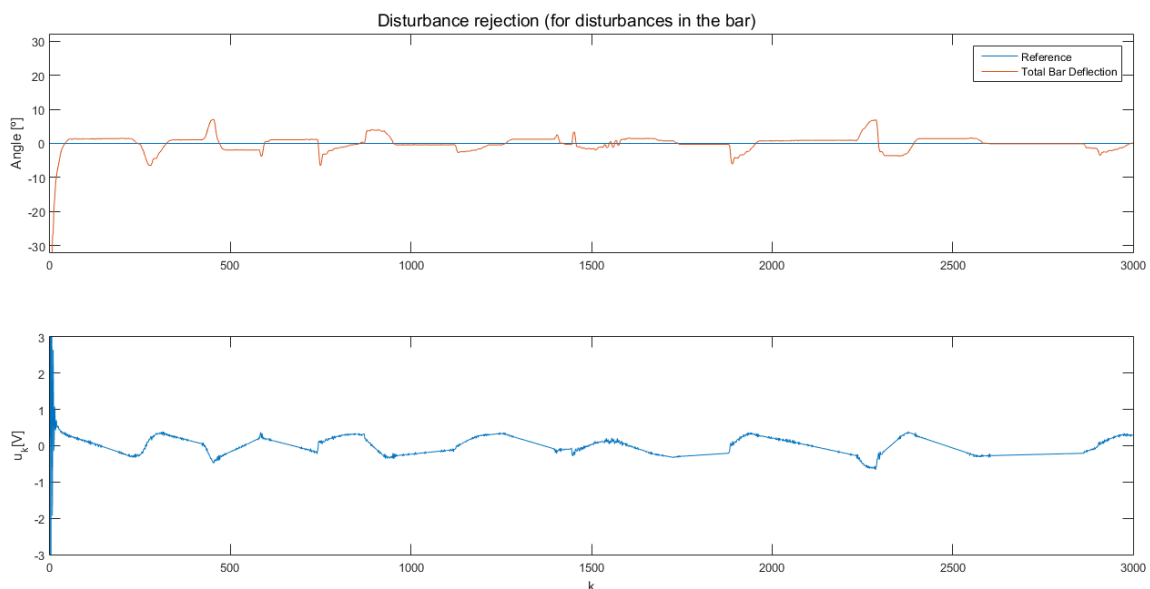


Figura 20 - Rejeição da perturbação na barra

Para que as perturbações no eixo do motor influenciem significativamente o sistema, é preciso exercer uma força grande, não bastando empurrar (o sistema reage às pequenas perturbações, mantendo a posição).

Analogamente, para que as perturbações causadas na extremidade da barra influenciem significativamente o sistema, é necessário exercer bastante força na ponta da barra, ou fazer com que exista uma variação brusca do seu ângulo (por exemplo, devido a uma pancada na ponta da barra). Para variações lentas do ângulo da barra, o sistema contraria as perturbações e mantém a posição da barra.

Tendo em conta a utilização da barra, consideramos que a rejeição a perturbações externas é boa (mesmo que por vezes um pouco lenta, quando se trata de variações bruscas e grandes do ângulo da barra, pelos motivos já enunciados anteriormente).

Para que o sistema reaja bem a perturbações, deve também rejeitar corretamente o ruído de alta frequência proveniente, por exemplo, dos sensores analógicos (potenciómetro e extensómetro).

Através da análise da resposta em frequência do sistema, verifica-se que tal acontece.

Para o comprovar através de testes ao sistema, pode colocar-se uma fonte de ruído com alta frequência na entrada do sistema, analisando a sua resposta. Caso o sistema rejeite corretamente o ruído de alta frequência, e assumindo a referência como nula, a posição da barra deverá manter-se ou variar muito pouco (no entanto, não fizemos este teste).

Outro dos parâmetros importantes para caracterizar a performance do sistema é a sua velocidade de resposta. Pelos testes efetuados, e como já foi referido anteriormente, a sua velocidade de resposta é boa para a generalidade dos casos de utilização. No entanto, a mesma poderá ser melhorada, principalmente por ajuste do parâmetro R do controlador LQR e, em pequena parte, por aumento grande do ganho do integrador na entrada, com a consequente diminuição dos limites de saturação.

A utilização de um integrador na entrada faz com que a resposta do sistema seja um pouco mais lenta, comparado com a alternativa, de “martelar” o valor de N_{bar} (correspondendo a um aumento de ganho) mas tem outras vantagens, como a maior precisão e adaptabilidade.

Os limites da performance do sistema encontram-se principalmente nos parâmetros do controlador escolhidos e, em pequena parte, nas limitações físicas do sistema (não muito relevantes neste tipo de utilização). Contudo, alguns destes problemas de performance podem ser corrigidos, tendo em conta qual o objetivo principal (o de obter um controlador equilibrado, o de obter um controlador rápido ou o de obter um controlador mais eficaz em termos de custos) e o contexto de utilização do sistema.

3. Conclusão

Foi possível confirmar os valores obtidos ao nível da simulação com os valores reais (esperados), tendo em consideração algumas descontinuidades existentes. No entanto, nesta parte (final) do laboratório os resultados obtidos estavam mais próximos do valor real comparando com a primeira entrega do relatório.

Para obtermos quais os “melhores” valores possíveis, foram realizadas várias iterações de simulação que permitiram aproximar o nosso modelo para um modelo mais “real”: começando com o modelo mais simples, introduzindo a zona morta do motor e, mais tarde, a forma de compensar a existência da zona morta.

A solução obtida, como já foi referido, não é nem tenta ser uma solução ótima: é uma solução de compromisso, um balanço entre os vários constrangimentos (limitações do sistema, rapidez de resposta, rejeição de perturbações, ...). Como tal, é uma solução que tem em conta o contexto desta atividade laboratorial.

Tendo em conta os diferentes cenários de utilização e as diferentes prioridades na utilização da barra, os sistemas de controlo podem e deve ser ajustado, de modo a melhor a performance e a tornar o sistema mais eficiente e fiável.

Esta atividade experimental serviu também como uma ponte para o mundo real, e por todas as aplicações de controladores existentes em variados contextos.

Chegado ao fim deste projeto podemos inferir sobre o método de funcionamento dos controladores digitais, não obstante do facto deste trabalho se tratar apenas do controlo de uma barra flexível, outros os sistemas de controlo têm o mesmo princípio de funcionamento.