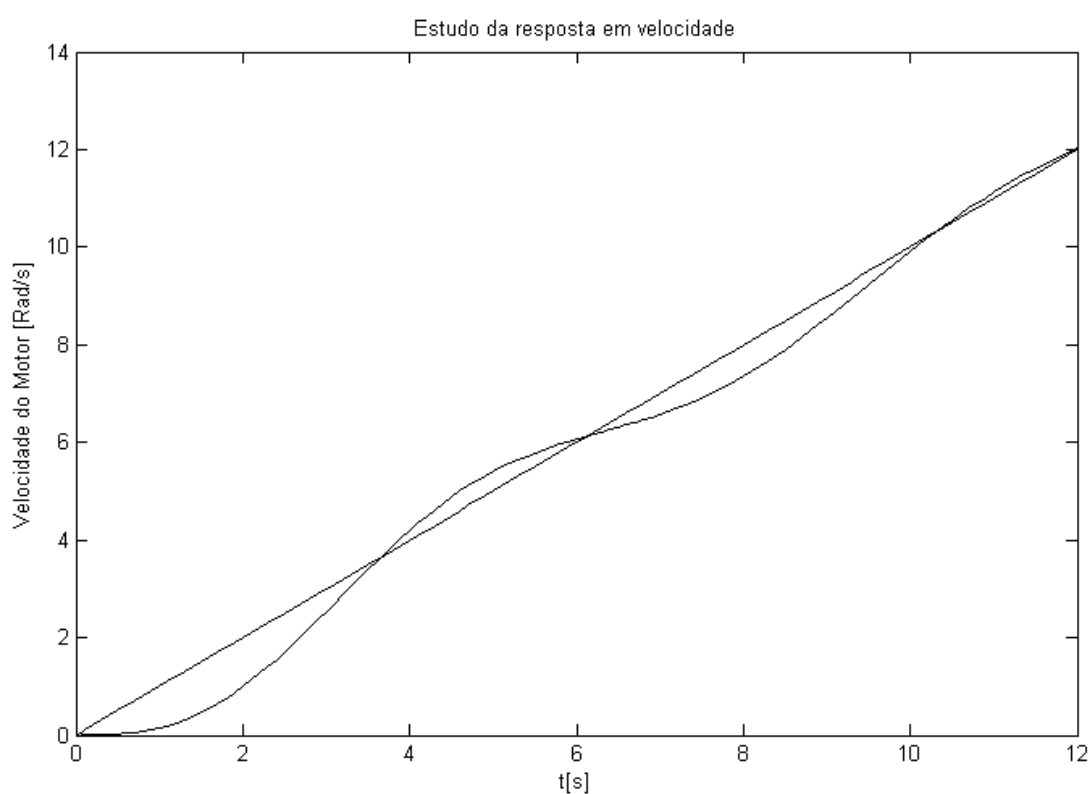



CONTROLO DE SISTEMAS

Guia laboratorial nº 1 – **CONTROLO DE POSIÇÃO E VELOCIDADE**



	ISEL <small>INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA</small>	Secção de Automação e Eletrónica - DEEEA Controlo de Sistemas (Laboratório)	T1 – Controlo de Posição e Velocidade Data: Abril 2022
---	--	--	---

INTRODUÇÃO

Este trabalho consiste no estudo de um servomotor através de controlo analógico e controlo digital.

1ª Parte – Sistema de Controlo de Posição (Unidade Analógica)

- 1.1 Determinação da Função de Transferência do Motor
- 1.2 Sentido de rotação do motor
- 1.3 Estudo da Exatidão do Sistema (Teoria)
- 1.4 Estudo da Exatidão do Sistema (Simulação)
- 1.5 Estudo da Exatidão do Sistema (Ensaio Laboratorial)

2ª Parte – Sistema de Controlo de Velocidade (Unidade Digital)

- 2.1 Controlo de velocidade de um servomecanismo através de um controlador PID

Informações para o trabalho 1 - Controlo de Posição e Velocidade

***Nota 1:** O Guia Laboratorial deverá ser lido antes de inicializar o trabalho de Laboratório, de modo que o grupo possa finalizar o trabalho no tempo previsto, (1h30m), e que os alunos estejam aptos a responder a questões relacionadas com o trabalho prático.*

***Nota 2:** Neste semestre é requerida uma simulação em Matlab/Simulink para o estudo da Exatidão na 1ª Parte – 1.4 Estudo da Exatidão do Sistema (Simulação). Se o grupo efetuar a simulação pretendida previamente, ficará melhor preparado e compreenderá melhor o tema em estudo, a Exatidão dos Sistemas .*

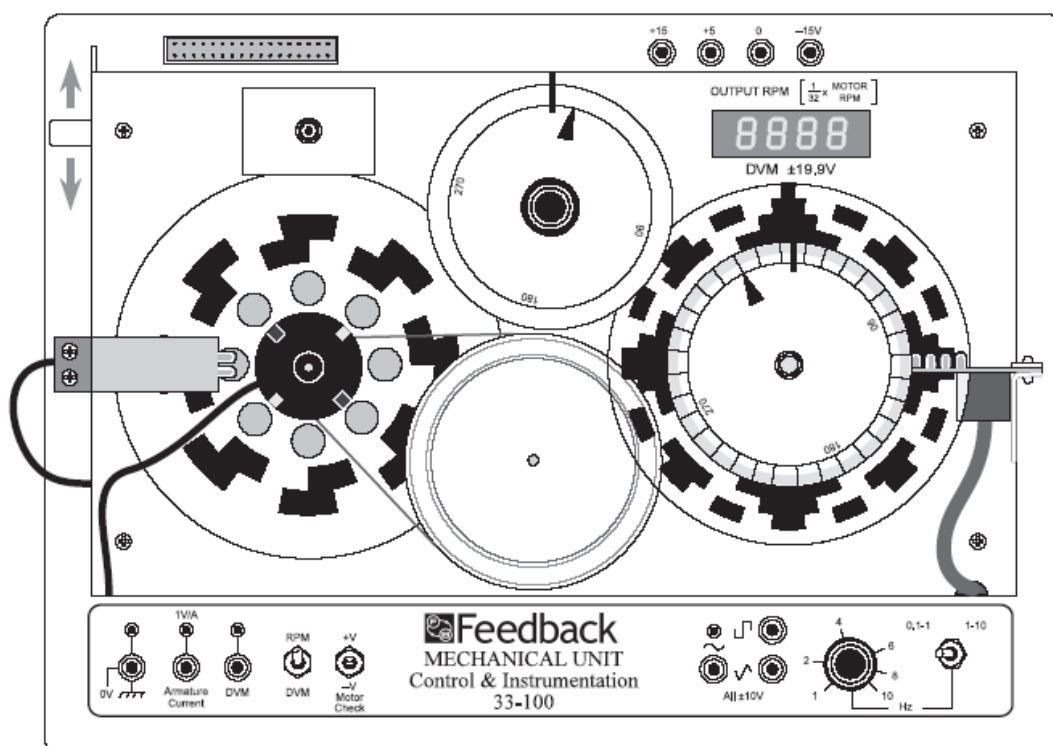
***Nota 3:** A data da apresentação dos trabalhos será afixada na página da disciplina no Moodle.*

1ª Parte: Sistema de Controlo de Posição (Unidade Analógica)

Descrição

O sistema do servomecanismo é composto pelo seguinte equipamento:

Unidade Mecânica 33-100



Esta unidade contém um amplificador de potência para iniciar o funcionamento do motor com uma entrada analógica ou com uma entrada comutada.

O motor impulsiona o eixo de saída com uma correia redutora com relação de redução $n = \frac{1}{32}$.

O eixo do motor também possui um disco do freio magnético e um transdutor analógico de velocidade (taquigeradora). No disco do freio existem pistas que são utilizadas para detetar a velocidade e o sentido de rotação, através de um trem de impulsos bifásico.

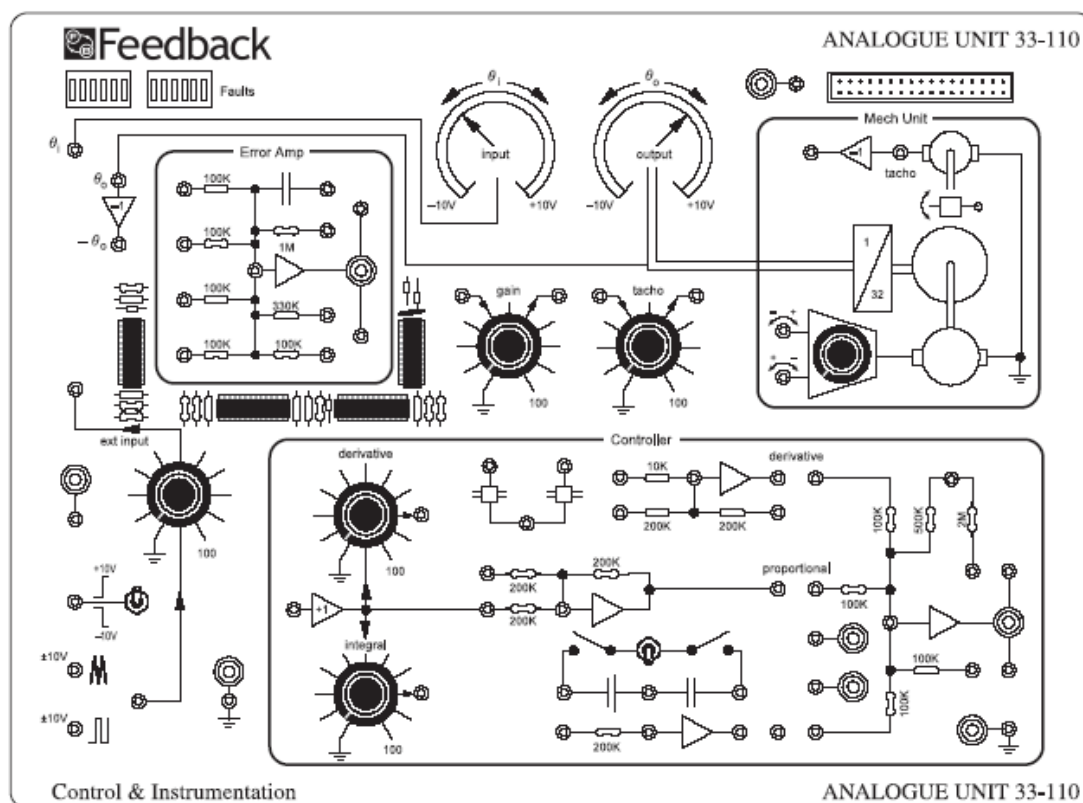
O eixo de saída possui transdutores analógicos (potenciômetros) e transdutores digitais de ângulo (código cinzento de 64 posições).

A unidade contém um gerador de sinais de modo a fornecer sinais de teste de baixa frequência (ondas sinusoidais, quadradas e triangulares) e requer uma fonte de alimentação externa, que forneça:

+15 V, 0, -15 V com a corrente de 1,5 A;

+5 V, 0, com a corrente de 0,5 A.

Unidade Analógica 33-110



Esta unidade analógica deve ser ligada à unidade mecânica através do cabo disponível (fornece alimentação e sinal de comando), permitindo que se realizem as interligações necessárias.

A unidade permite configurar um sistema básico, como o descrito na figura e contém dispositivos para introduzir compensações de modo a estudar melhorias no desempenho global do sistema.

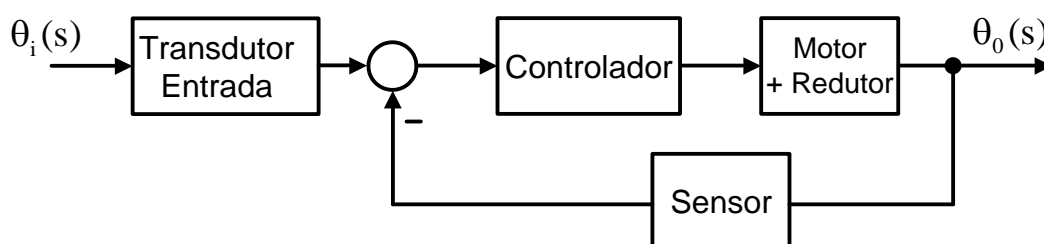


Diagrama de blocos do Sistema de Controlo Analógico

1.1 Determinação da Função de Transferência do Motor

O objectivo desta experiência é determinar a constante de tempo do motor e o ganho estático. Depois

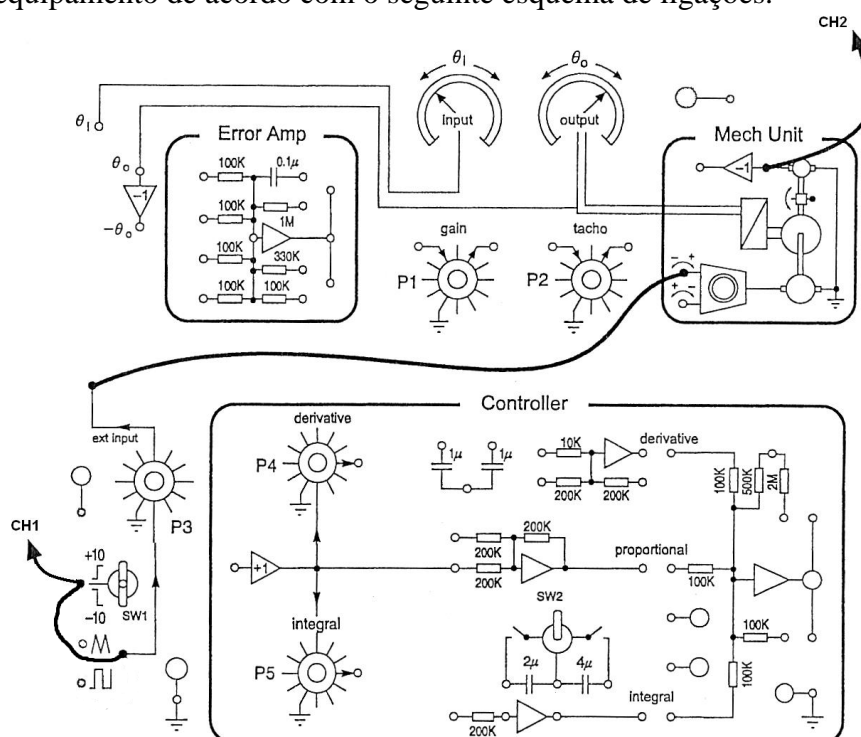
com estas constantes, representar o motor como um sistema de 1ª ordem $\frac{\omega(s)}{V_i(s)} = \frac{K}{\tau s + 1}$.

Equipamento Necessário:

Unidade Mecânica 33 – 100; Unidade Analógica 33 – 110; Osciloscópio Digital; *Pendisk*

Procedimento Experimental

- Ligue o equipamento de acordo com o seguinte esquema de ligações.



- No osciloscópio introduza os seguintes parâmetros:
 - GH = 500ms/div;
 - CH1 → GV = 5V/div e CH2 → GV = 2V/div em modo de acoplamento DC;
- Ajuste na unidade mecânica uma frequência de 0,2 Hz;
- Ajuste o potenciômetro P₃ com 100% do valor máximo;
- Coloque o interruptor na posição de +10V de modo a obter a resposta (posição inicial –10V)
- Grave a curva obtida com o nome **D1**;
- Com base na curva obtida obtenha a FTCTF do motor $\frac{\omega(s)}{V_i(s)} = \frac{K}{\tau s + 1}$.

1.2 Sentido de Rotação do Motor

O objectivo desta experiência é compreender o comportamento dinâmico do sistema face a variações dos sinais de retroacções (positiva e negativa) e alimentação do motor (positiva e negativa).

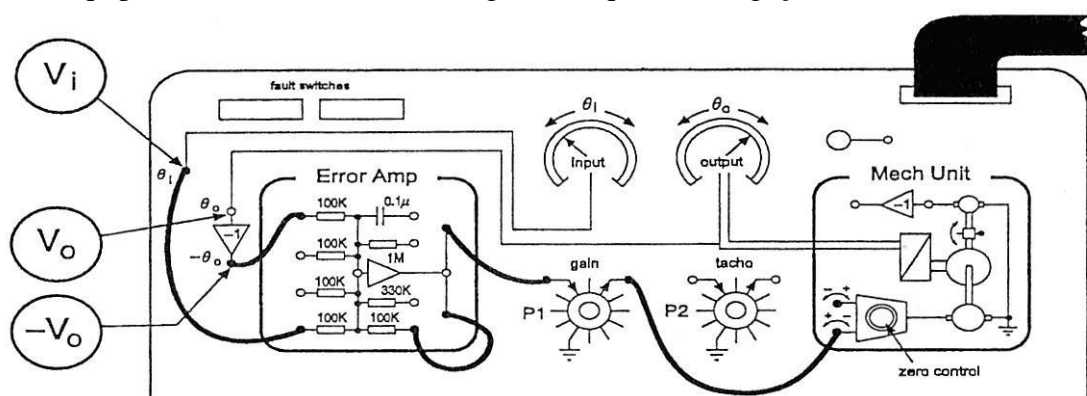
Equipamento Necessário:

Unidade Mecânica 33 - 100
 Unidade Analógica 33 - 110

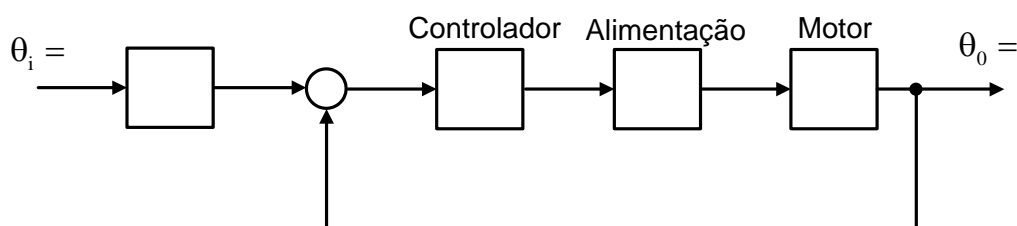
Procedimento Experimental

1ª SITUAÇÃO - Retroacção negativa com alimentação positiva:

- Ligue o equipamento de acordo com o seguinte esquema de ligações;



- Ajuste o potenciómetro P1 para 100% do seu valor máximo;
- Rode o potenciómetro de entrada para os valores θ_i da **Tabela 1** e anote as respectivas posições do veio motor, θ_o . O potenciómetro de entrada encontra-se na unidade mecânica.

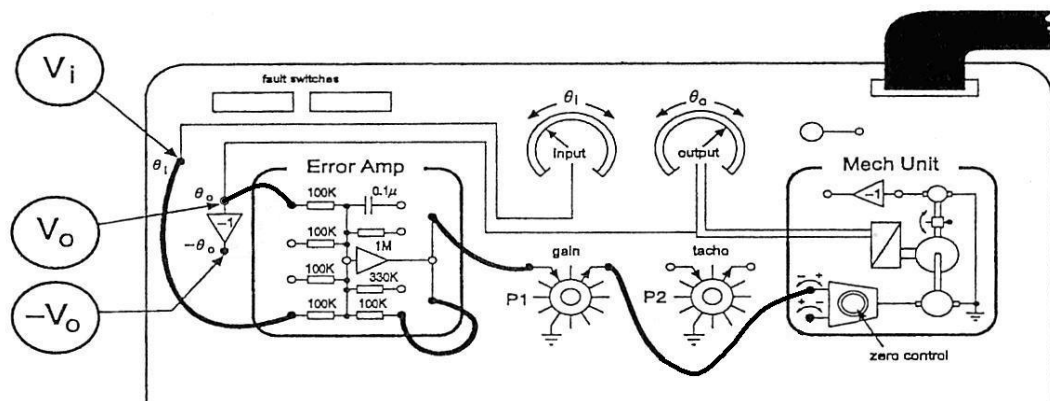


$\theta_i (1) = 15^\circ$	$\rightarrow \theta_o (1) =$
$\theta_i (2) = 45^\circ$	$\rightarrow \theta_o (2) =$
$\theta_i (3) = 120^\circ$	$\rightarrow \theta_o (3) =$
$\theta_i (4) = 270^\circ$	$\rightarrow \theta_o (4) =$

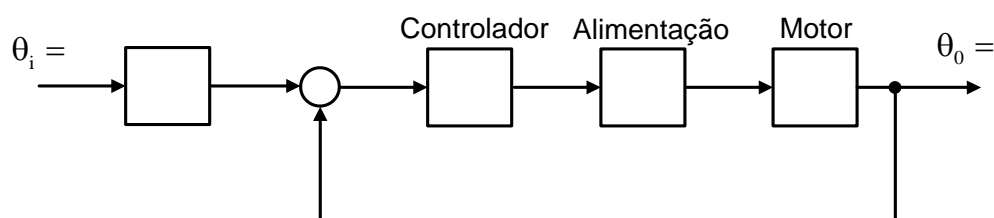
Tabela 1

2ª SITUAÇÃO - Retroacção positiva com alimentação negativa:

- Ligue o equipamento de acordo com o seguinte esquema de ligações.



- Repita o procedimento anterior e anote o valor das posições θ_0 na Tabela 2.

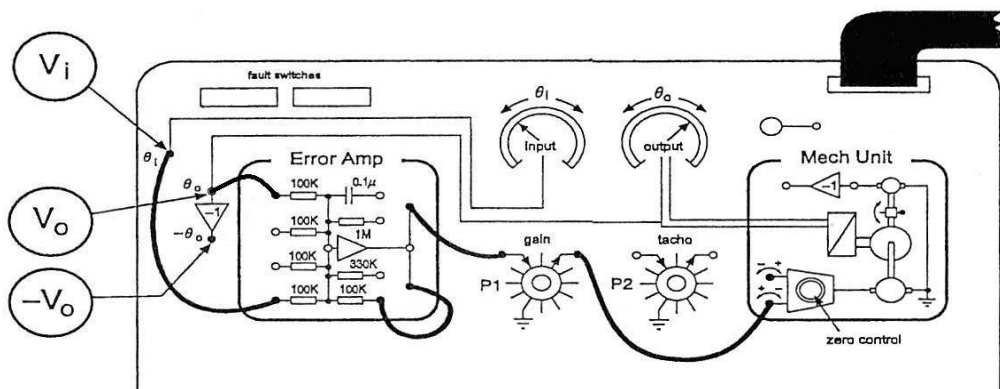


$\theta_i (1) = 15^\circ$	$\rightarrow \theta_0 (1) =$
$\theta_i (2) = 45^\circ$	$\rightarrow \theta_0 (2) =$
$\theta_i (3) = 120^\circ$	$\rightarrow \theta_0 (3) =$
$\theta_i (4) = 270^\circ$	$\rightarrow \theta_0 (4) =$

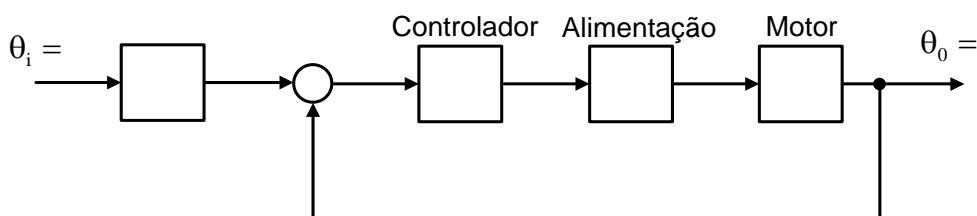
Tabela 2

3ª SITUAÇÃO - Retroacção positiva com alimentação positiva:

- Ligue o equipamento de acordo com o seguinte esquema de ligações;



- Repita o procedimento anterior e anote o valor das posições θ_0 na **Tabela 3**.



$\theta_i (1) = 15^\circ \rightarrow \theta_0 (1) =$
$\theta_i (2) = 45^\circ \rightarrow \theta_0 (2) =$
$\theta_i (3) = 120^\circ \rightarrow \theta_0 (3) =$
$\theta_i (4) = 270^\circ \rightarrow \theta_0 (4) =$

Tabela 3

1.3 Estudo da Exatidão do Sistema (Teoria)

O objectivo desta experiência consiste em estudar a exactidão do sistema para entradas do tipo escalão de posição e rampa.

Antes de iniciar o estudo da exatidão, esta tabela relacionada com os erros do sistema deverá ser preenchida e explicada (em caso de dúvida deve chamar o Professor)

<div style="display: inline-block; transform: rotate(-45deg); transform-origin: left top;"> Tipo matemático Entrada $r(t)$ </div>	Tipo 0	Tipo 1	Tipo 2
Impulso $r(t) = \delta(t)$			
Escalão $r(t) = u(t)$			
Rampa $r(t) = t$			
Parábola $r(t) = t^2/2$			

Tabela 4 – Erro do sistema em função do tipo matemático e do tipo de entrada

1.4 Estudo da Exatidão do Sistema (Simulação)

De modo que o aluno compreenda melhor o tema exatidão, solicita-se a implementação em **Matlab/Simulink** (pode ser adaptado a partir dos Demos disponíveis no Moodle) de um diagrama de blocos em cadeia fechada, em que N representa o tipo Matemático (0, 1 ou 2) e que teste e confirme os resultados expectáveis das 12 situações da Tabela 4.

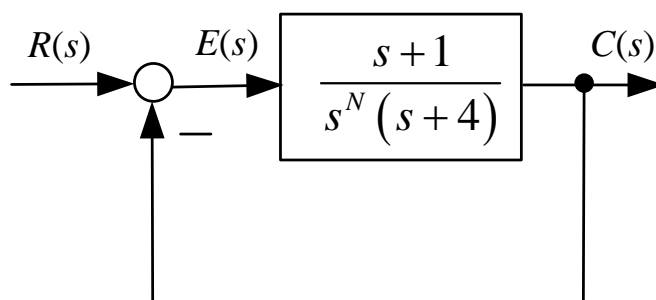


Diagrama de blocos de um sistema em cadeia fechada

Em resumo, pretende-se que o grupo implemente o diagrama de blocos apresentado acima em *Simulink*, e que introduza as 4 entradas típicas (uma de cada vez), $\delta(t)$, $u(t)$, t e $t^2/2$ num sistema do Tipo 0 ($N=0$), depois num sistema do Tipo 1 ($N=1$) e por fim num sistema do tipo 2 ($N=2$)

Nota 4: Os resultados desta simulação e devem ser usados na apresentação final do fim do semestre.

1.5 Estudo da Exatidão do Sistema (Ensaio Laboratorial)

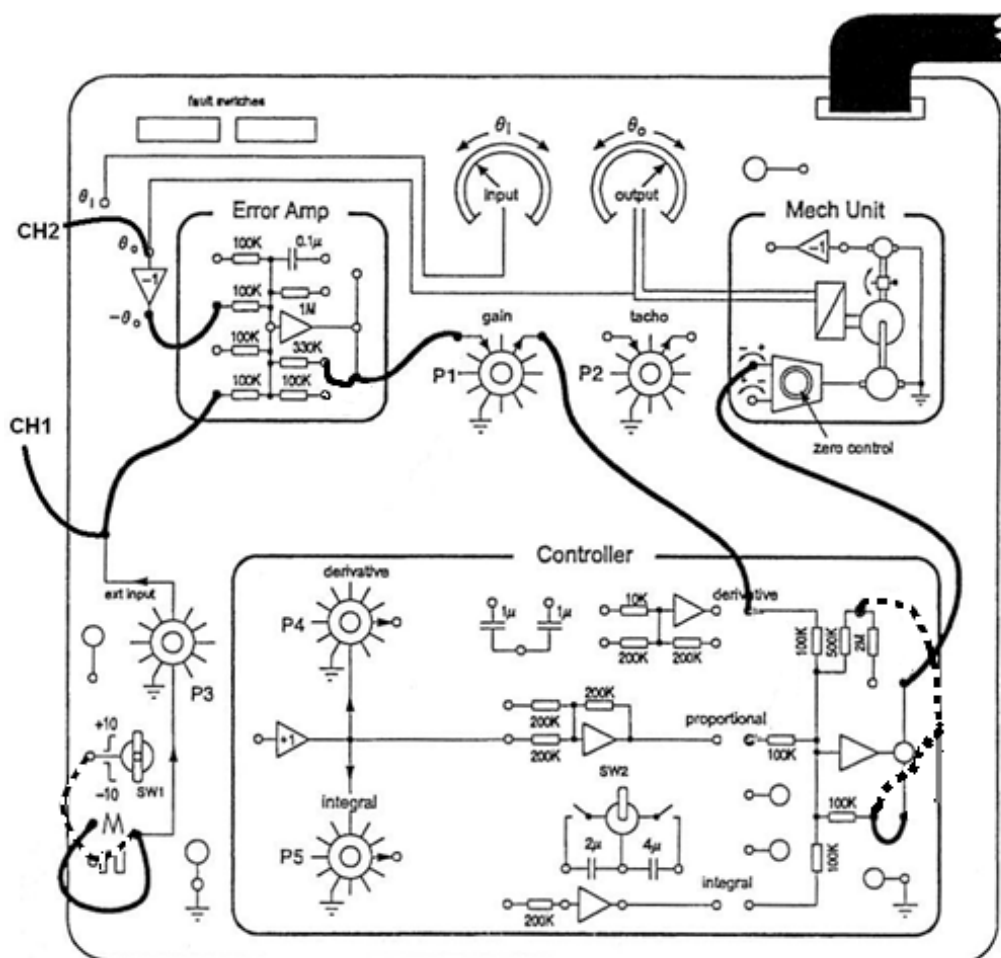
Equipamento Necessário:

Unidade Mecânica 33 – 100 Unidade Analógica 33 – 110 Osciloscópio Digital

Procedimento Experimental

- Ligue o equipamento de acordo com o seguinte esquema de ligações na página 9;
- No osciloscópio introduza os seguintes parâmetros:
 - CH1, CH2 - GV = 2 V/div em modo de acoplamento DC; GH = 1 s/div;
- Mantenha a frequência na unidade mecânica em 0,2 Hz;
- Ajuste P_3 para 40%;

- Coloque P1 com 50% do valor máximo e o ganho do Ampop inversor A5 com ganho igual a 1;
- Escolha a entrada correspondente a um Degrau (SW1, ligação a tracejado) e aplique o degrau positivo (+10V); Guarde a curva obtida com o nome **D2**;
- Repita o procedimento anterior com ganho do Ampop inversor igual a 5 ou seja $G = \frac{R_2}{R_1} = 5$ (terá de efetuar as ligações a tracejado de modo a que as resistências inseridas no circuito correspondam ao ganho pretendido); Considere GH=1 s/div; Guarde a curva obtida com o nome **D3**;
- Repita o procedimento anterior, agora com uma entrada do tipo rampa (onda triangular). Considere somente a situação com ganho G=1, guarde a curva obtida com o nome **D4**;
- Com base nas três respostas obtidas, conclua sobre a exactidão e tipo matemático do sistema.



2ª Parte: Sistema de Controlo de Velocidade (Unidade Digital)

Para realizar esta parte do trabalho ligue o computador da bancada com o sistema operativo **Windows 98**. Desligue o flat cable da unidade analógica e ligue na unidade digital

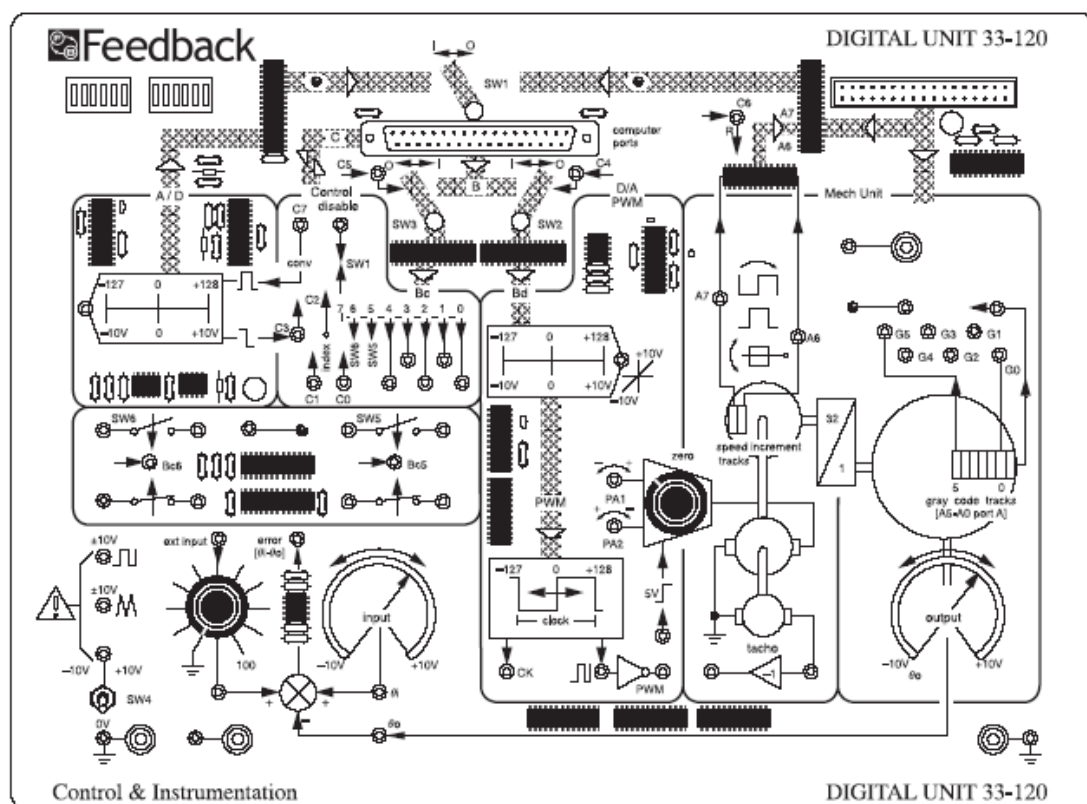
Descrição

O sistema de controlo de velocidade do servomecanismo é composto pelo seguinte equipamento:

Unidade Mecânica 33-100

Esta unidade já foi descrita anteriormente.

Unidade Digital 33-120



Esta unidade digital é concebida para ser controlada pelo computador através do *software Discovery*.

Os sinais adquiridos pelo computador são obtidos através de um conversor A/D (Analógico/Digital) ou diretamente por sinais digitais. Estas opções são controladas pelo computador e respetivo *software*.

2.1 Controlo de velocidade de um servomecanismo através de um controlador PID

O objectivo desta experiência consiste na realização de um controlo digital para controlar a velocidade de um servomecanismo utilizando um controlador PID.

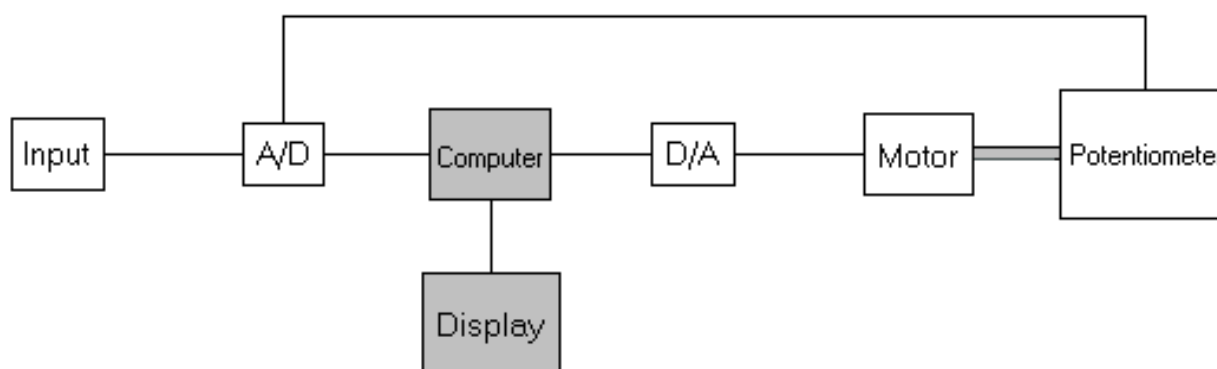
Equipamento Necessário:

Unidade Mecânica 33 – 100;

Unidade Digital 33 – 120.

Introdução:

O seguinte diagrama é idêntico para todas as partes do trabalho e mostra como os blocos do sistema são configurados:



Procedimento Experimental

- Aceder ao programa SERVO (Ambiente de Trabalho).
- No programa escolha no menu SYSTEM a opção INDEX.
- Aceda à opção 7 - PID CONTROL
- De seguida, selecione no menu PATCHING a opção ALL PRACTICALS e faça as ligações na unidade digital de acordo com o esquema apresentado no monitor.

Na unidade mecânica confirme a frequência em 0,2 Hz. O potenciómetro do módulo digital deverá estar ajustado para 50%.

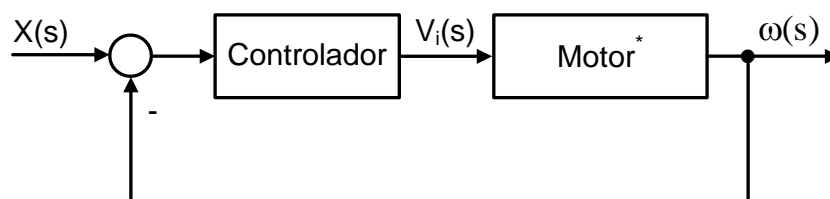
Após concluídas as ligações volte ao menu anterior e selecione em PRACTICAL a opção PRACTICAL 3.

Por defeito, ao ligar o *software Discovery* deverá aparecer um sinal triangular como sinal de referência.

- Coloque na consola que o programa apresenta no lado direito do ecrã, os seguintes ganhos e grave (**FREEZE** e depois **RECORD** nas opções do *software*) as respetivas curvas:

	Nome gerado pelo <i>Software</i> ao gravar a figura		
1. $K_P = 3$ $K_I = 0$ $K_D = 0$			
2. $K_P = 5$ $K_I = 0$ $K_D = 0$			
3. $K_P = 3$ $K_I = 0.5$ $K_D = 0$			
4. $K_P = 5$ $K_I = 0.5$ $K_D = 0$			
5. $K_P = 3$ $K_I = 0.5$ $K_D = 4$			
6. $K_P = 5$ $K_I = 0.5$ $K_D = 4$			
7. $K_P = 5$ $K_I = 4$ $K_D = 4$			

- Obtenha a FTCF na forma literal deste diagrama que inclui um controlador PID e um motor. Utilize a função de transferência do motor (aproximação a FT de 1ª ordem), obtida na Parte 1.1 deste trabalho.



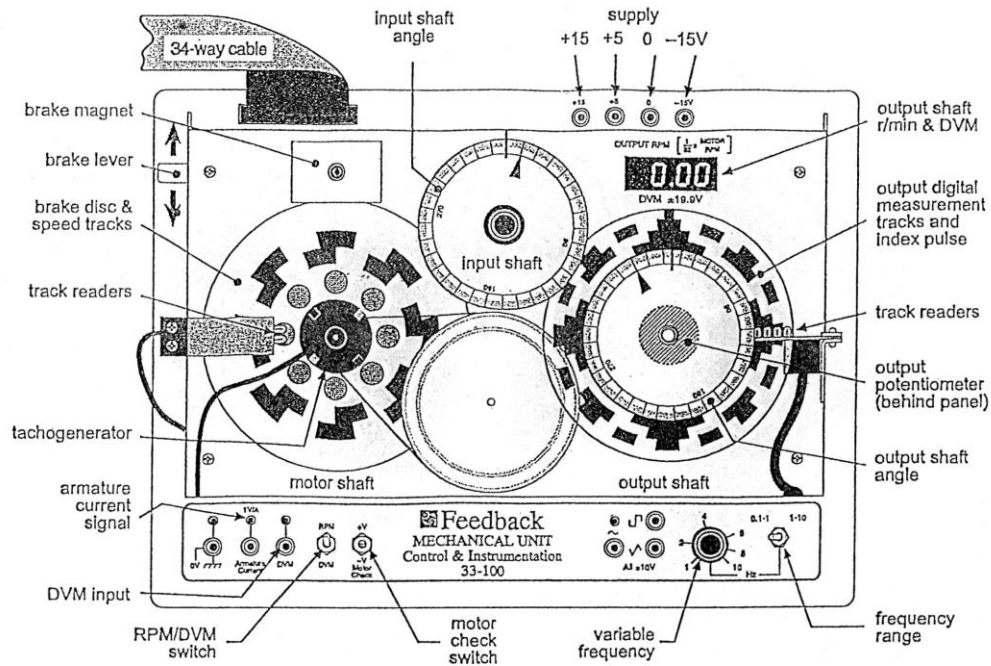
- Obtenha para cada situação o mapa polos-zeros da FTCF e com base nas sete respostas temporais registadas, conclua sobre a exatidão.

Fim do Relatório T1 – Controlo de Posição e Velocidade

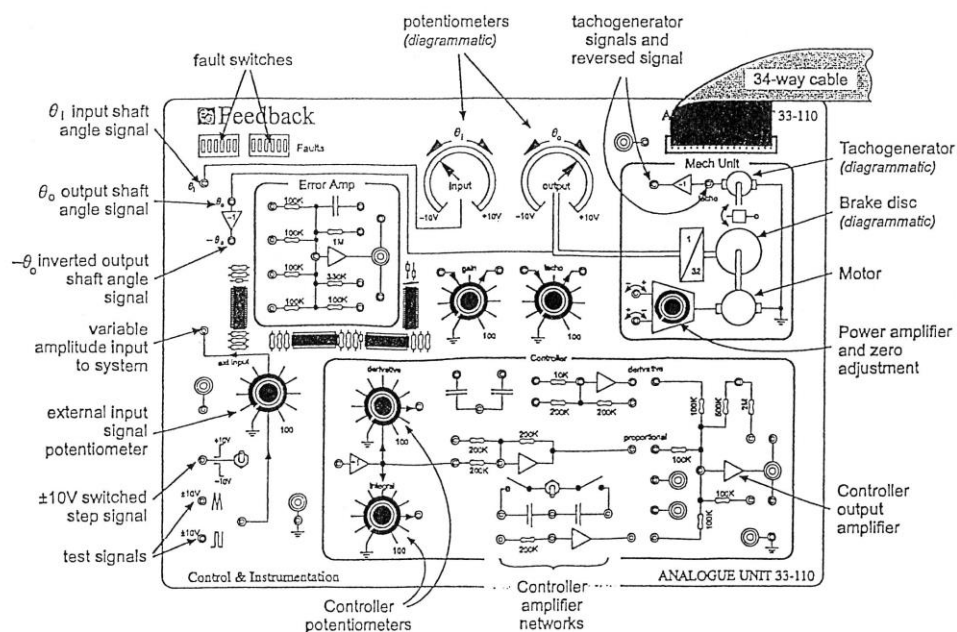


ANEXO I

UNIDADE MECÂNICA



UNIDADE ANALÓGICA



ANEXO II - Abertura de Ficheiros no EXCEL

Trabalho 1 – Controlo de Posição e Velocidade

Programa: SERVO → Ficheiros de extensão **SDL**

Procedimentos de abertura:

- Entrar no Excel
- No menu aceda a abrir ficheiros
- De seguida seleccione abrir todos os ficheiros, de modo a poder aceder aos ficheiros de extensão *.SDL
- Na janela que aparece seleccione Delimitado → Seguinte
- Active a opção Vírgula → Terminar
- Insira uma nova coluna à esquerda com os seguintes valores

A	B	C	D
	CH2 fsd	128	bipolar
0			
1			
2			
3			
...			

- Seleccione somente os valores das colunas A, B e C através do menu dados, opção ordenar e ordene os valores pela coluna A de modo descendente
- De seguida apague os valores da coluna A e utilize esta coluna para inserir o tempo

A	B	C	D
Tempo	Entrada	Saída	
0			
0,033			
0,066			
0,099			
...			

- Faça os gráficos com entrada e saída em função do tempo.