

**Escola Tècnica Superior d'Enginyeria
Industrial de Barcelona**

DINÀMICA DE SISTEMES

PRÀCTIQUES

Departament ESAII, UPC

En aquest manual de pràctiques hi han intervingut diverses persones en diversos cursos acadèmics; cal esmentar:

Joan Francesc Alonso, Jordi Riera, Maria Serra, Ricard Villà, Pere Caminal, Carolina Migliorelli, Xavier Giralt, Leidy Y. Serna, Cristina Lampón, Víctor Repecho, Enric Fossas.

SESSIONS PRÀCTIQUES DE DINÀMICA DE SISTEMES

INTRODUCCIÓ

Les sessions pràctiques de l'assignatura Dinàmica de Sistemes consisteixen en tres sessions de Laboratori i una sessió d'Aula Informàtica que els estudiants heu de realitzar pel vostre compte. Al laboratori treballarem amb un sistema d'accionament angular del qual es pot controlar la velocitat o la posició. Els elements d'aquest sistema, les plantes i els controladors, són de temps continu.

La sessió de laboratori L1 la dedicarem a la identificació de la planta i a l'anàlisi temporal del sistema de control de la velocitat angular en llaç obert i en llaç tancat. A la sessió L2 estudiarem la diferència entre el comportament amb controladors Proporcional i Proporcional-Integral, tant de sistemes de control de la velocitat com de la posició angular. A la tercera sessió L3 dissenyarem un controlador PID per al sistema de control de posició, i n'avaluarem la seva resposta temporal.

A la primera sessió d'Aula Informàtica, AI1, els estudiants aprendreu els coneixements bàsics del programari MATLAB, vinculats a Dinàmica de Sistemes, mitjançant una sessió d'autoaprenentatge.

Aquest manual descriu l'equipament del laboratori i en cadascun dels capítols, corresponents a les diferents sessions de pràctiques, proposa diferents exercicis en relació als conceptes bàsics de l'assignatura Dinàmica de Sistemes.

Els professors de l'assignatura

DESENVOLUPAMENT DE LES PRÀCTIQUES

A totes les sessions de pràctiques de Laboratori hi ha exercicis que cal resoldre obligatòriament. Algunes qüestions o resultats d'aquests exercicis, que apareixen subratllades en aquest manual, les haurieu d'incorporar a un informe per tal de poder preparar millor l'examen de pràctiques.

Descripció de l'equipament del laboratori (DEL)

- DEL 1 Descripció del lloc de treball
- DEL 2 La planta
- DEL 3 El controlador PID
- DEL 4 Consigna manual
- DEL 5 Generador de consignes / Oscil·loscopi
- DEL 6 Passos a seguir per a la posada en marxa de l'equip de pràctiques

Primera Sessió d'Aula Informàtica (AI1)

Primera Sessió de Laboratori (L1)

- L1 1 Resposta temporal del sistema en llaç obert
- L1 2 Model de la planta
- L1 3 Resposta temporal del sistema de control de velocitat en llaç tancat

Segona Sessió de Laboratori (L2)

- L2 1 Anàlisi del sistema de control de velocitat amb controlador proporcional.
- L2 2 Anàlisi del sistema de control de velocitat amb controlador proporcional-integral.
- L2 3 Sistema de control de posició amb controlador proporcional
- L2 4 Sistema de control de posició amb controlador proporcional - integral

Tercera Sessió de Laboratori (L3)

- L3 1 Disseny d'un controlador PID pel control de posició.
- L3 2 Anàlisi de la resposta del sistema controlat
- L3 3 Simulació del sistema de control de posició amb el controlador PID dissenyat

DESCRIPCIÓ DE L'EQUIPAMENT DEL LABORATORI (DEL)

Introducció a les sessions de laboratori

En aquest capítol es descriuen les característiques bàsiques del sistema de pràctiques i el seu funcionament.

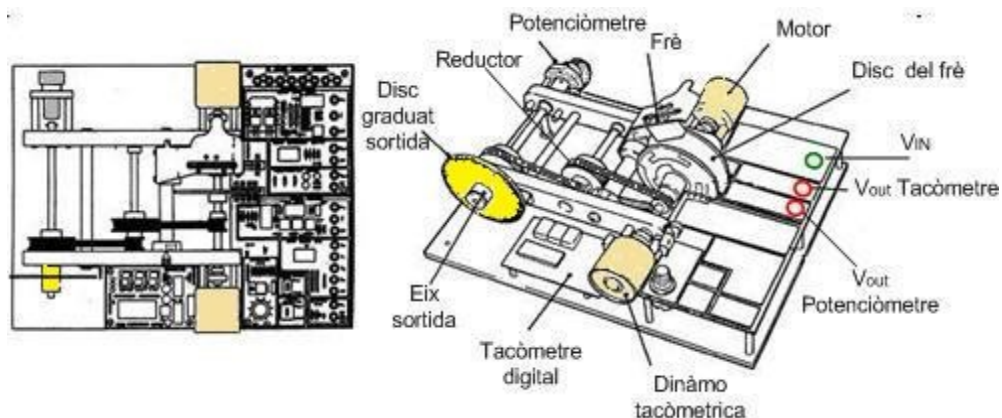
DEL 1 DESCRIPCIÓ DEL LLOC DE TREBALL

El sistema amb què treballareu al laboratori consta dels següents elements:

- La planta que cal controlar.
- El controlador PID.
- El comandament de consigna manual.
- La font d'alimentació per als tres elements anteriors.
- Un ordinador fa les funcions de generador de senyals de consigna i d'oscil·loscopi utilitzant Matlab/Simulink.

La font d'alimentació ja està connectada als mòduls. Només cal que apliqueu o traieu la tensió d'alimentació amb l'interruptor que té la font. A més, podeu utilitzar-lo si el sistema es descontrola: traient la tensió fareu que el sistema s'aturi.

DEL 2 LA PLANTA



L'equip de pràctiques consisteix, bàsicament, en un sistema d'accionament angular accionat per un motor de corrent continu. Per accionar el motor heu d'aplicar una tensió a l'entrada V_{IN} . Donant tensions positives a l'entrada, el motor gira en un sentit; amb tensions negatives, gira en sentit contrari. És important que aquestes tensions no sobrepassin els 5V.

Podeu mesurar la velocitat de gir del motor mitjançant una dinamo tacomètrica, solidària al mateix eix del motor, que dona a la seva sortida (V_{OUT} del grup TACHO GENERATOR OUTPUT que podeu trobar a la dreta de la maqueta de pràctiques) una tensió proporcional (constant K_T) a la seva velocitat angular. També podeu obtenir una lectura d'aquesta velocitat angular, en 10/rev/min, directament a través dels dígit LED que hi ha a la part inferior de la maqueta de pràctiques.

A través de dues corretges es transmet el moviment del motor a un altre eix (eix de sortida), amb un canvi de la velocitat angular de 1/9. A aquest segon eix hi ha connectat, mitjançant un embragament, un potenciòmetre de gir continu.

El potenciòmetre (si està embragat) mesura l'angle de gir de l'eix de sortida. Dona una tensió proporcional (K_{pot}) a l'angle girat. Podeu obtenir aquesta mesura a la tensió de la sortida V_{OUT} del grup POTENTIOMETER OUTPUT.

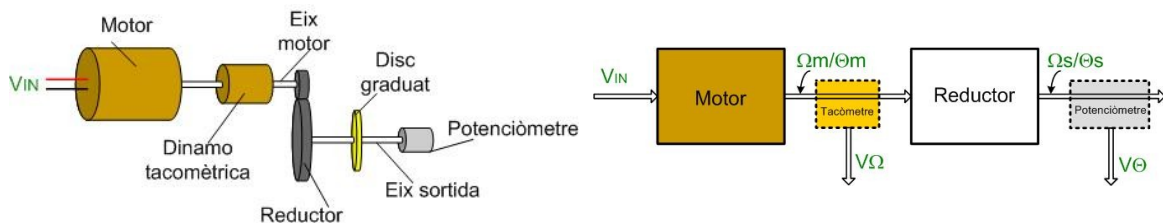
K_T	Coeficient del tacòmetre (mesura de la velocitat angular del motor)	0,017	$\text{V/rad}\cdot\text{s}^{-1}$
K_{pot}	Coeficient del potenciòmetre (mesura de la posició angular eix sortida)	1,62	V/rad

També podeu aplicar un fre magnètic (baixant-lo) a l'eix primari del motor. Això permet modificar (augmentar) el parell resistent sobre el motor.

Atenció

- Les abreviacions I/P i O/P volen dir INPUT (entrada) i OUTPUT (sortida).
- Per evitar el desgast del potenciòmetre, heu de mantenir-lo desembragat sempre que no l'utilitzeu (p.ex. quan controleu només la velocitat de gir). Per desembragar-lo, l'heu d'estirar cap enfora.
- El potenciòmetre té una zona de discontinuïtat d'uns 20° . Si aquesta discontinuïtat cau dins de la zona d'operació, pot provocar comportaments oscil·latoris.
- Sempre que el manual no indiqui el contrari, treballareu sense aplicar el fre (fre tret, cap amunt).
- La mesura de velocitat angular del motor subministrada pel tacòmetre digital de LEDS està expressada en $10\cdot\text{rev/min}$.
- Hem de connectar l'entrada digital E (enable) a 0 V (amb el cable curt de color verd) per a què l'entrada de control funcioni.
- Hem de comprovar que el commutador MOTOR DRIVE estigui a VIN.
- Hem de fer el mateix amb el commutador TACHO GENERATOR, que ha d'estar a VOUT.

Diagrama de blocs de la planta



Sistema físic

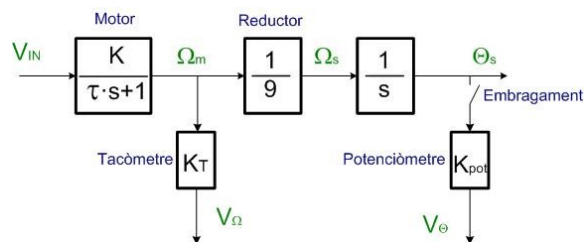


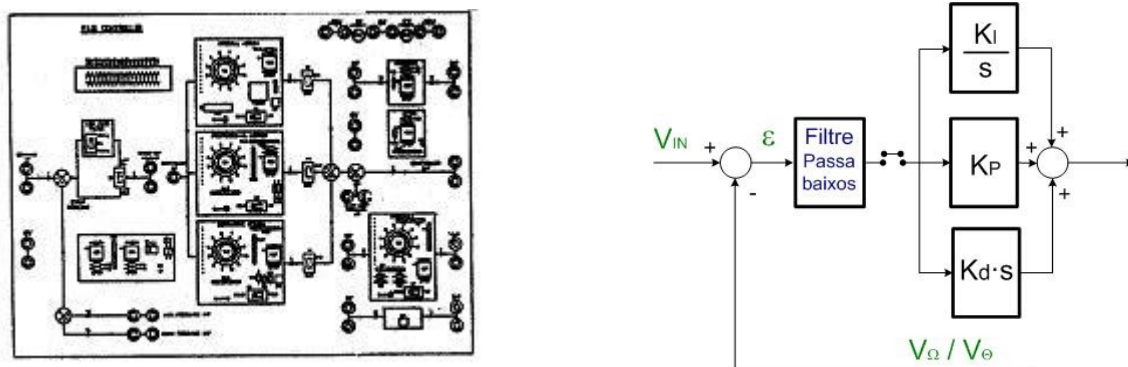
Diagrama de blocs

La figura anterior proporciona un diagrama de blocs per a la planta. V_Ω representa la tensió que dona la dinamo tacomètrica i V_Θ la tensió que dona el potenciòmetre. Heu de parar atenció al fet que s'ha modelitzat el motor com un sistema de 1er ordre. Aquesta hipòtesi caldrà que la comproveu al punt 2 de la pràctica L1.

DEL 3 EL CONTROLADOR PID

A les sessions de laboratori utilitzareu la placa del controlador. Té l'estructura típica dels controladors PID, amb blocs corresponents a les accions proporcional K_p , integral K_i i derivativa K_d , amb una entrada de consigna (COMMAND I/P) i una entrada de realimentació (MAIN FEEDBACK I/P).

Nota: Cadascuna de les accions es pot activar/desactivar amb un commutador (IN/OUT) i podeu assignar-los un guany igual al producte del valor triat amb el botó giratori pel coeficient triat amb el selector multiplicador.



La placa del controlador PID

DEL 4 CONSIGNA MANUAL

En comptes d'utilitzar el generador de consignes provinent de l'ordinador, podeu utilitzar un generador de consignes manual ajustable. Aquesta consigna manual s'obté d'un disc graduat solidari amb un potenciòmetre. Proporciona, a la seva sortida V_0 , una tensió proporcional als graus girats.

DEL 5 GENERADOR DE CONSIGNES / OSCIL·LOSCOPI

L'ordinador permet aplicar senyals de consigna (graó, rampa, sinus...) totalment programables, així com la visualització temporal tant de la consigna programada com de dues variables del sistema (que es "llegeixen" a través dels cables E1 i E2, com veureu més endavant).

DEL 6 PASSOS A SEGUIR PER A LA POSADA EN MARXA DE L'EQUIP DE PRÀCTIQUES

- 1 Desembragueu el potenciòmetre.
- 2 Comproveu que el fre magnètic estigui desactivat (aixecat).
- 3 Verifiqueu que E està connectat a 0 V.
- 4 Verifiqueu que el commutador MOTOR DRIVE està a V_{IN} .
- 5 Verifiqueu que el commutador TACHO GENERATOR està a V_{OUT} .
- 6 Connecteu els cables S1, E1 i E2 segons s'indiqui en cada experiment.
- 7 Utilitzeu l'ordinador per a la generació de consignes i la visualització de les respostes.

Notes.

- *En cas de situació descontrolada, haurem de desconnectar l'alimentació amb l'interruptor de la font.*
- *Si el motor produeix una vibració acústica continuada (cosa que pot passar en connectar el derivador D), corre perill d'avarar-se; hem de treure el D (commutador corresponent en OUT) o desconnectar l'alimentació immediatament.*
- *En diversos punts d'aquestes pràctiques haurem d'aplicar una tensió a l'entrada de la planta (és la tensió de consigna) per a la qual el manual ens indica uns valors orientatius. Però les plantes no són totes iguals, i amb el temps varien. Per a aconseguir un funcionament més lineal hem d'evitar les velocitats molt baixes (els fregaments agafen massa importància) i les molt elevades (hi ha saturacions).*
- *Sempre intentarem treballar a una velocitat tal que els LED (dígitos lluminosos) no marquin per sota de 50 ni per sobre de 200. Per a règim constant, un bon punt de treball és quan marquen 100.*

PRIMERA SESSIÓ D'AULA INFORMÀTICA (AI1)

Autoaprenentage de MATLAB

El Manual està en un fitxer a part al Campus digital Atenea amb el nom: Pràctica AI

PRIMERA SESSIÓ DE LABORATORI (L1)

Sistema de control de la VELOCITAT angular

Objectius de la sessió

En aquesta sessió l'estudiant ha de:

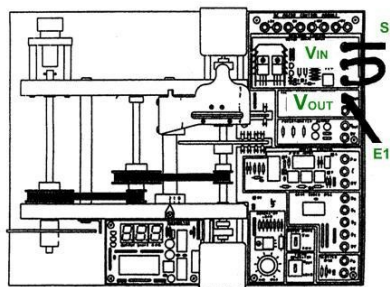
- Familiaritzar-se amb el sistema: la planta, la placa del controlador i l'ús del computador com a generador de consignes i oscil·loscopi.*
- Avaluar la sensibilitat del sistema de control de velocitat en anell obert i del sistema de control de velocitat en anell tancat a variacions d'algun dels seus paràmetres.*
- Identificar el model de la planta.*

L1 1 RESPOSTA TEMPORAL DEL SISTEMA EN LLAÇ OBERT I SORTIDA VELOCITAT

Objectiu: Comprovar la gran sensibilitat del comportament dels sistemes de llaç obert a variacions en el seus paràmetres.

EXERCICI L1 1 Resposta de la planta a un senyal graó

- Munteu l'experiment següent:
 - Desactiveu el fre magnètic.
 - Programeu un senyal de consigna quadrat de període 6 segons (3 segons valor alt i 3 segons valor baix) i amplitud 2 V.
 - Connecteu S1 (cable d'extrem verd) al punt V_{IN} d'entrada al motor.
 - Connecteu E1 (cable d'extrem vermell) al punt V_{OUT} de sortida del tacòmetre.



- Executeu l'experiment. Comproveu a la pantalla del computador que la forma de la resposta es correspon a la d'un sistema de 1er ordre. Dibuixeu (o guardeu) aquesta resposta. Mesureu el valor final (en volts) de la tensió elèctrica proporcional a la velocitat.
- Activeu completament el fre magnètic. Observeu la nova forma de la resposta. Mesureu el nou valor final (en volts) de la tensió elèctrica proporcional a la velocitat.
- Calculeu, per al sistema amb fre (completament activat) i sense fre, la variació relativa del valor final de la tensió elèctrica proporcional a la velocitat (ΔV).

$$\Delta V = (V_{\Omega_sense_fre} - V_{\Omega_amb_fre}) / V_{\Omega_sense_fre}.$$

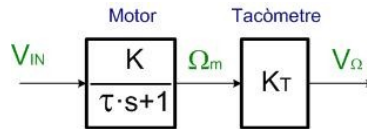
- Raoneu els resultats obtinguts.

L1 2 MODEL DE LA PLANTA

Objectiu: Obtenir una funció de transferència que descrigui el comportament de la planta.

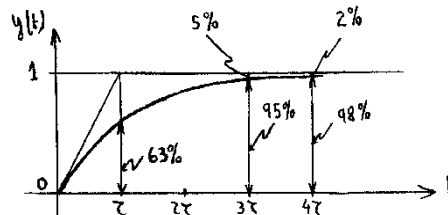
De l'exercici anterior es pot deduir que la relació entre la velocitat angular $\Omega_m(s)$ i la tensió $V_{IN}(s)$ aplicada al motor correspon a la d'un sistema de 1er ordre: $\Omega_m(s)/V_{IN}(s) = K/(\tau \cdot s + 1)$. Es vol comprovar que aquest model és una aproximació raonable de la realitat.

Partint de la premissa que la funció de transferència és de 1er ordre, mitjançant l'anàlisi de la resposta indicial de la planta, es poden identificar els coeficients d'aquest model. El diagrama de blocs de sistema que s'assajarà és el següent:



Determinació del guany canònic K del motor. El valor final de la tensió de sortida és $V_{\Omega_final} = V_{IN} \cdot K \cdot K_T$. Mesurant, doncs, el valor final de la tensió de sortida, V_{Ω_final} , i el valor de la tensió d'entrada, V_{IN} , podem deduir el valor de K (que té dimensions de (rad/s)/V).

Determinació del valor de τ . En un sistema de primer ordre, la resposta indicial arriba al 63% del valor final al cap de τ segons (al 86,5% en $2 \cdot \tau$ al 95% en $3 \cdot \tau$ i al 98% en $4 \cdot \tau$ segons).

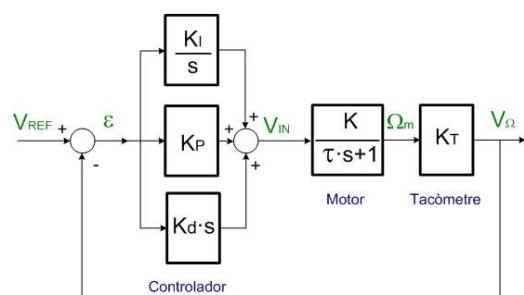


EXERCICI L1 2 Identificació del model de la planta

- Munteu l'experiment següent:
 - Desactiveu el fre magnètic.
 - Programeu un senyal de consigna quadrat de període 10 segons i amplitud 2 V.
 - Connecteu S1 (cable d'extrem verd) al punt V_{IN} d'entrada al motor.
 - Connecteu E1 (cable d'extrem vermell) al punt V_{OUT} de sortida del tacòmetre.
- Executeu l'experiment. Obtingueu a la pantalla del computador la resposta indicial del sistema i determineu el valor final de la velocitat.
- Determineu el valor del guany canònic, K , del motor
- Mesureu els temps que tarda la resposta en arribar respectivament al 63%, 86,5% i 95% del valor final.
- Determineu el valor de la constant de temps τ .
- Comproveu la hipòtesi de model de primer ordre amb els valors de temps corresponents al 86,5% i 95% del valor final.

L1 3 RESPOSTA TEMPORAL DEL SISTEMA EN LLAÇ TANCAT I SORTIDA VELOCITAT

Objectiu: Implementar un sistema de control de la velocitat angular del motor en llaç tancat amb un controlador proporcional. S'analitzarà la seva resposta indicial i es comprovarà la major insensibilitat a variacions en la planta.

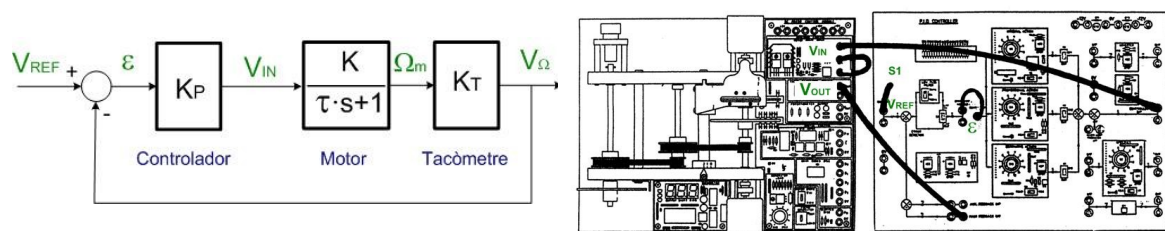


PRIMERA SESSIÓ DE LABORATORI (L1)

Per intentar millorar la resposta en velocitat de l'eix del motor i reduir la seva sensibilitat enfront a variacions en els paràmetres de la planta, s'utilitzen sistemes de control en anell tancat.

La mesura continuada del valor de la sortida i la seva comparació amb una consigna de referència permet calcular l'error de control en cada instant. Aquest error s'utilitza per actuar sobre el motor, mitjançant un controlador, adequant el voltatge que se li aplica. L'equip del laboratori permet assajar tres tipus de controladors: proporcional (P), integral (I) i derivatiu (D), així com les seves combinacions. L'esquema genèric del sistema de control de velocitat en anell tancat es mostra a la figura de la dreta.

El sistema de control més senzill és aquell que incorpora un controlador proporcional (P). El diagrama de blocs corresponent és el que es mostra a la figura següent, juntament amb el muntatge experimental.



EXERCICI L1 3 Resposta indicial del sistema en llaç tancat

- Munteu l'experiment següent:
 - Desactiveu el fre magnètic.
 - Programeu un senyal de consigna quadrat de període 10 segons i amplitud 2V.
 - Munteu el sistema realimentat tal i com es mostra en la figura anterior. Comproveu que correspon al diagrama de blocs.
 - Activeu únicament el controlador P, fixant una K_P igual a 1.
 - Connecteu el senyal V_{REF} (cable S1 d'extrem verd) al punt d'entrada de consigna de la placa del controlador.
 - Connecteu el canal de visualitzador E1 (cable d'extrem vermell) al punt V_{OUT} del tacòmetre.
 - Connecteu el canal de visualitzador E2 (cable d'extrem groc) al punt ϵ , error de control, després del comparador de sortida del tacòmetre (placa del controlador).
- Analitzeu el diagrama de blocs del sistema de control. Indiqueu l'ordre i el tipus del sistema.
- Reduïu el diagrama de blocs. Compareu la constant de temps i el guany canònic del sistema en anell tancat amb el d'anell obert per a $K_P=1$.
- Executeu l'experiment. Obtingueu a la pantalla del computador la resposta indicial del sistema. Determineu el valor final de la mesura de velocitat.
- Activeu completament el fre magnètic. Observeu la nova forma de la resposta. Determineu el nou valor final de la mesura de velocitat.
- Calculeu la variació relativa de la velocitat final per al cas analitzat i compareu-la amb el cas en anell obert.

$$\Delta V = (V_{\Omega_sense_fre} - V_{\Omega_amb_fre}) / V_{\Omega_sense_fre}$$

- Raoneu els resultats obtinguts.

SEGONA SESSIÓ DE LABORATORI (L2)

Sistemes de control de la VELOCITAT i la POSICIÓ angular

Objectius de la sessió

L'objectiu principal de la sessió és l'anàlisi de sistemes de control proporcional (P) i proporcional-integral (PI) per a la velocitat i la posició angular.

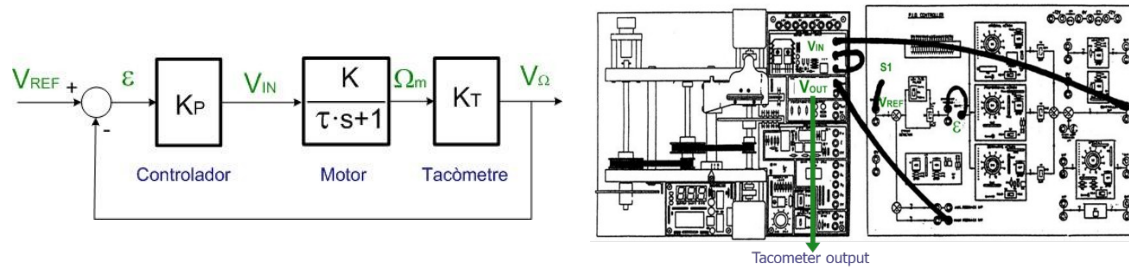
En aquesta sessió l'estudiant ha de:

- Avaluar les prestacions del sistema de control de la velocitat angular amb un controlador proporcional.*
- Avaluar les prestacions del sistema de control de la velocitat angular amb un controlador proporcional-integral-*
- Avaluar les prestacions del sistema de control de la posició angular amb un controlador proporcional.*
- Avaluar les prestacions del sistema de control de la posició angular amb un controlador proporcional-integral.*

L2 1 SISTEMA DE CONTROL DE VELOCITAT AMB CONTROLADOR PROPORCIONAL

Objectiu: Implementar un sistema de control de la velocitat angular del motor en llaç tancat amb un controlador proporcional. S'analitzarà la seva resposta indicial i es comprovarà l'efecte de la component proporcional del controlador.

A les figures següents es mostren el diagrama de blocs i el muntatge experimental del sistema de control amb un controlador proporcional (P).



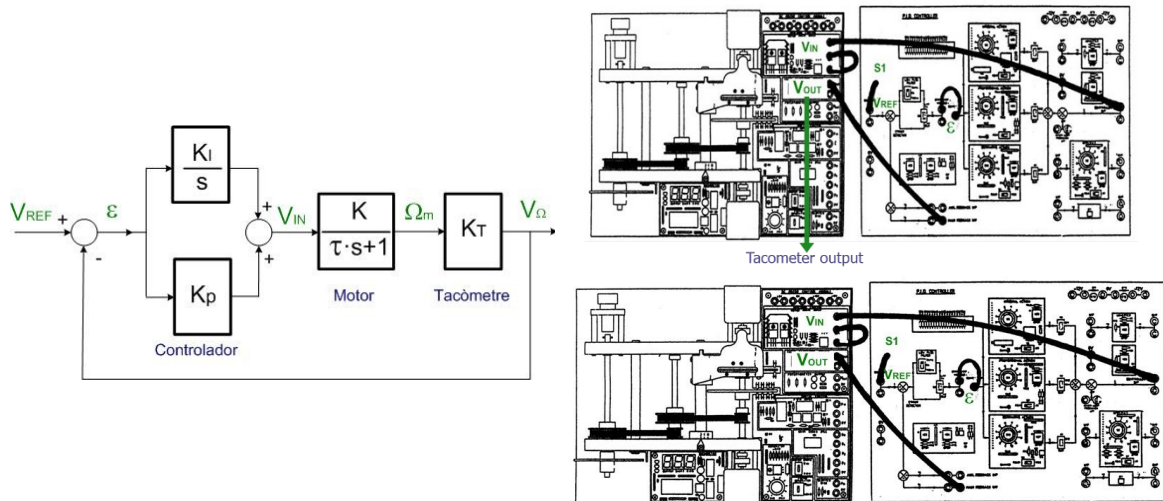
EXERCICI L2 1 Resposta del sistema amb un controlador P

- Munteu l'experiment següent:
 - Desactiveu el fre magnètic.
 - Programeu un senyal de consigna quadrat de període 20 segons (10 segons valor alt i 10 segons valor baix) i amplitud 2V.
 - Munteu el sistema realimentat tal i com es mostra en la figura anterior. Comproveu que correspon al diagrama de blocs.
 - Activeu únicament el controlador P, fixant una K_P igual a 1.
 - Connecteu el senyal V_{REF} (cable S1 d'extrem verd) al punt d'entrada de consigna de la placa del controlador.
 - Connecteu el canal de visualitzador E1 (cable d'extrem vermell) al punt V_{OUT} del tacòmetre.
 - Connecteu el canal de visualitzador E2 (cable d'extrem groc) al punt ϵ , error de control, després del comparador de sortida del tacòmetre (placa del controlador).
- Analitzeu el diagrama de blocs del sistema de control. Indiqueu l'ordre i el tipus del sistema.
- Executeu l'experiment. Obtingueu a la pantalla del computador la resposta indicial del sistema. Mesureu el valor final de la velocitat i de l'error en estat estacionari.
- Repetiu l'experiment amb $K_P = 10$. Compareu el comportament amb el del cas anterior ($K_P = 1$) i raoneu les diferències.

L2 2 SISTEMA DE CONTROL DE VELOCITAT AMB CONTROLADOR PROPORCIONAL-INTEGRAL

Objectiu: Implementar un sistema de control de la velocitat angular del motor tancant el llaç amb un controlador proporcional-integral. Analitzar la resposta indicial i constatar l'efecte de la component integral del controlador.

A les figures següents es mostren el diagrama de blocs i el muntatge experimental del sistema de control amb un controlador proporcional-integral (PI).



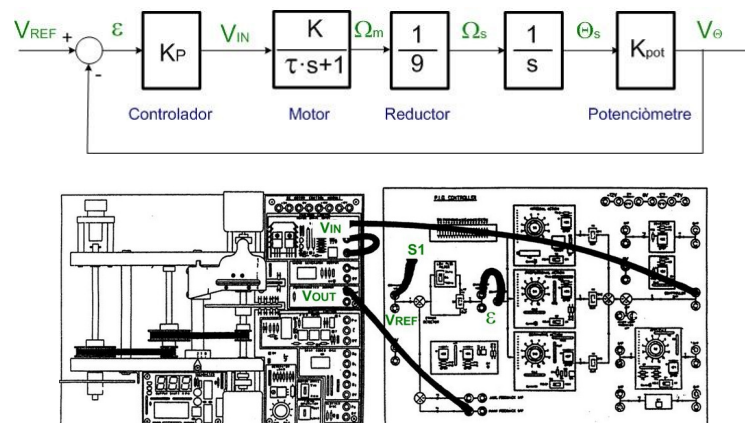
EXERCICI L2 2 Resposta del sistema amb un controlador PI

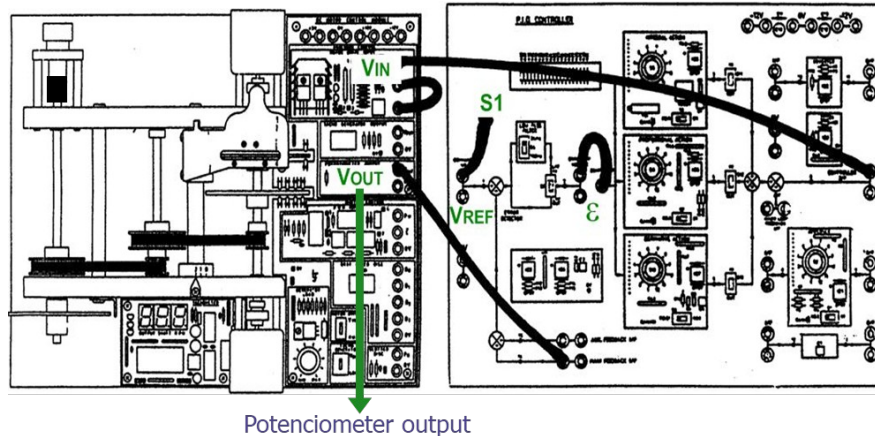
- En el muntatge de l'exercici anterior, modifiqueu l'acció del controlador posant $K_P = 1$, i activant el controlador I, amb $K_I = 2$.
- Analitzeu el diagrama de blocs del sistema de control. Indiqueu l'ordre i el tipus del sistema.
- Reduïu el diagrama de blocs.
- Executeu l'experiment. Obtingueu a la pantalla del computador la resposta indicial del sistema. Determineu el valor final de la mesura de velocitat i de l'error en estat estacionari.
- Repetiu l'experiment amb $K_I = 6$. Compareu el comportament amb el cas anterior ($K_I = 2$) i raoneu les diferències.

L2 3 SISTEMA DE CONTROL DE POSICIÓ AMB CONTROLADOR PROPORCIONAL

Objectiu: Implementar un sistema de control de la posició angular del motor tancant en llaç amb un controlador proporcional. Analitzar el comportament del sistema i l'efecte de la component proporcional del controlador en termes d'estabilitat, resposta transitària i precisió.

A les figures següents es mostren el diagrama de blocs corresponent i el muntatge experimental del sistema de control de posició amb un controlador proporcional (P).

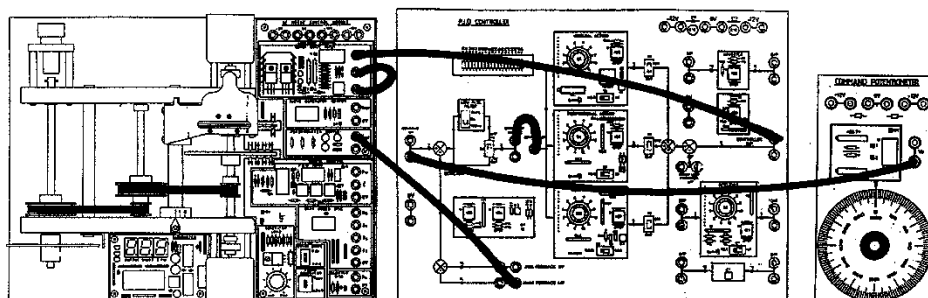




Potenciometer output

EXERCICI L2 3 Resposta del sistema amb un controlador proporcional (P)

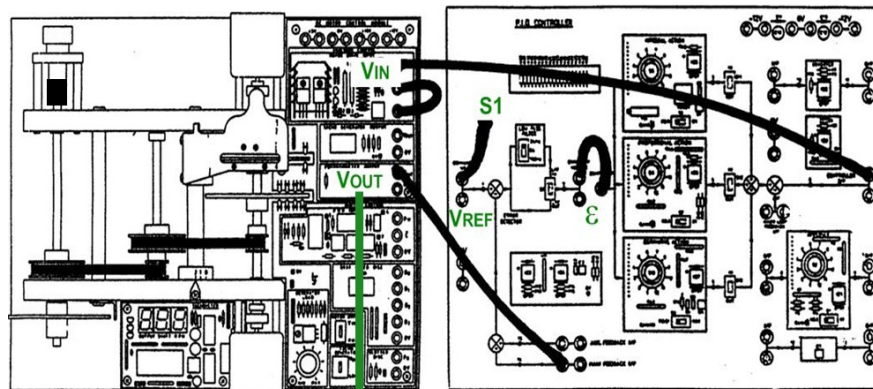
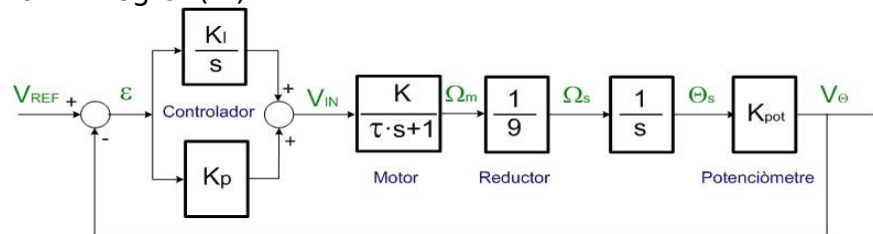
- Munteu l'experiment seguint els mateixos passos de l'exercici L2_2 amb les variacions següents
 - Connecteu el sistema de control tal i com es mostra a la figura anterior (noteu que, ara el senyal a realimentar és la posició, és a dir, el punt V_{OUT} de la sortida del potenciòmetre).
 - Embragueu el potenciòmetre.
 - Activeu únicament el controlador P, fixant K_P igual a 2.
 - Analitzeu el diagrama de blocs del sistema de control. Indiqueu l'ordre, el tipus i l'estabilitat del sistema en funció del valor de K_P .
- Reduïu el diagrama de blocs. Deduïu el coeficient d'amortiment ξ , la pulsació natural ω_n i el guany canònic del sistema en funció del valor de K_P .
- Executeu l'experiment. A la pantalla del computador obtindreu la resposta indicial del sistema. Determineu:
 - El valor final de la tensió elèctrica proporcional a la posició V_f .
 - L'error en estat estacionari e_{ss} .
 - El temps de pic T_p .
 - El valor de pic V_p .
 - El sobrepuig en relatiu (en %) S_p .
- Modifiqueu el valor de K_P a 5. Repetiu el punt anterior.
- Substituïu el generador de consignes del computador (S1) pel Generador de consigna manual tal i com s'il·lustra a la figura següent. Observeu com l'eix de sortida segueix la consigna manual.



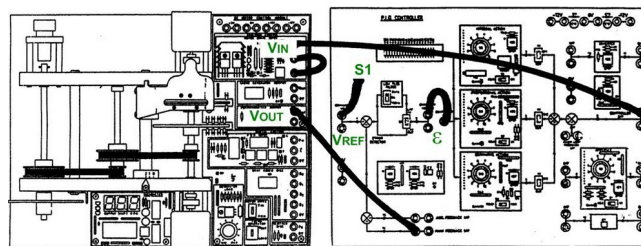
L2 4 SISTEMA DE CONTROL DE POSICIÓ AMB CONTROLADOR PROPORCIONAL - INTEGRAL

Objectiu: Implementar un sistema de control de la posició angular del motor tancant el llaç amb un controlador proporcional. Analitzar el comportament del sistema i l'efecte de la component integral del controlador en termes d'estabilitat, resposta transitòria i precisió.

A les figures següents es mostren el diagrama de blocs i el muntatge experimental del sistema de control de posició amb un controlador proporcional - integral (PI).



Potenciometer output



EXERCICI L2 4 Resposta del sistema amb un controlador PI

- En el muntatge anterior:
 - Posa K_P igual a 5 al controlador P.
 - Activa el controlador I, posant K_I igual a 1.
- Analitzeu el diagrama de blocs del sistema de control. Indiqueu l'ordre i el tipus del sistema.
- Comproveu que la condició d'estabilitat del sistema és $K_P > \tau \cdot K_I$.
- Executeu l'experiment. Obtingueu a la pantalla del computador la resposta indicial del sistema i determineu:
 - El valor final, en volts, de la tensió elèctrica proporcional a la posició V_f .

SEGONA SEGONA SESSIÓ DE LABORATORI (L2)

- L'error en estat estacionari e_{ss} .
 - El temps de pic T_p .
 - El valor de pic V_p .
 - El sobrepuig relatiu (en %) S_p .
- Augmenteu progressivament el valor de K_i fins a 12. Avalueu qualitativament com canvia la resposta.
 - Amb K_i igual a 12, aneu disminuint el valor de K_p fins a que el sistema sigui inestable. Per quin valor succeeix això? Es verifica la condició d'estabilitat deduïda anteriorment?

Nota: No convé mantenir el sistema oscil·lant massa temps, desconnecteu l'integrador quan hagueu observat la inestabilitat.

TERCERA SESSIÓ DE LABORATORI (L3)

Sistema de control de la POSICIÓ amb controlador PID

Objectius de la sessió

Dissenyar un controlador PID d'acord a unes especificacions. Analitzar el comportament del sistema de control dissenyat en termes d'estabilitat, resposta transitòria i precisió.

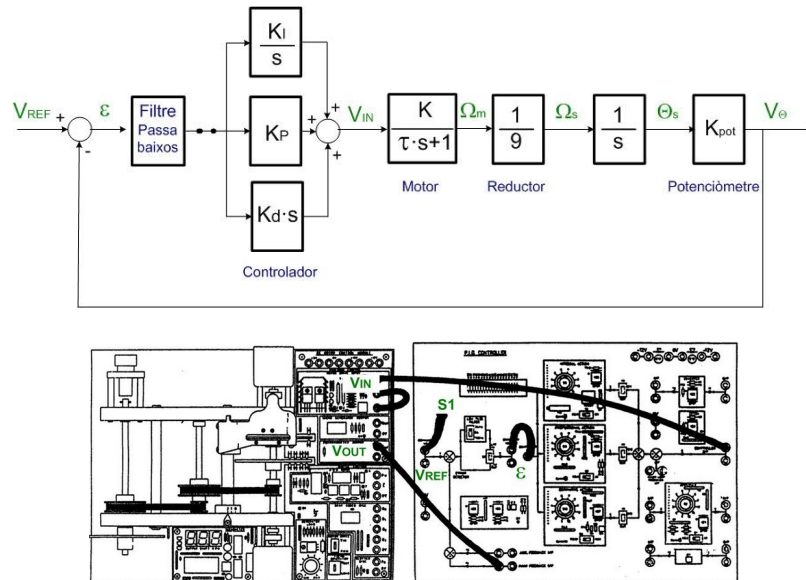
En aquesta sessió l'estudiant ha de:

- Dissenyar un controlador PID per al sistema de control de la posició angular mitjançant la tècnica de l'assignació de pols.*
- Avaluar experimentalment les prestacions del sistema amb el controlador PID dissenyat*
- Simular, mitjançant codi Matlab, la resposta temporal del sistema amb el controlador PID dissenyat.*

L3 1 DISSENY D'UN CONTROLADOR PID PER ASSIGNACIÓ DE POLS

Objectiu: Dissenyar un controlador PID d'acord a unes especificacions definides mitjançant la localització dels pols del sistema.

A les figures següents es mostra el diagrama de blocs i el muntatge experimental del sistema de control de posició amb un controlador PID.



Volem dissenyar un controlador PID que posi els pols del sistema en anell tancat als valors: $s_1 = -5$; $s_2 = -0,6 + 9j$; $s_3 = -0,6 - 9j$. A aquesta tècnica de disseny se la denomina *disseny per assignació de pols*.

EXERCICI L3 1 Disseny d'un controlador PID

- Procediment de disseny:
 - Reduïu el diagrama de blocs de la figura anterior a un quocient de polinomis en s . Les arrels del polinomi del denominador (o polinomi característic) són els pols del sistema en anell tancat. Noteu que els coeficients són funció de K_P , K_I i K_D .
 - Determineu el polinomi que té com arrels els pols desitjats: $(s - s_1) \cdot (s - s_2) \cdot (s - s_3)$
 - Iguaieu els dos polinomis i identifiqueu, terme a terme, els coeficients corresponents.
 - Obteniu els valors de K_P , K_I i K_D .

L3 2 ANÀLISI DE LA RESPOSTA DEL SISTEMA AMB UN CONTROLADOR PID

Objectiu: Analitzar experimentalment la resposta indicial d'un sistema de control de posició angular mitjançant el PID dissenyat anteriorment.

Els valors obtinguts en el procediment de disseny són números amb força dígit. Malauradament a la placa del controlador solament s'hi pot posar un nombre reduït de valors: caldrà arrodonir els valors de K_P , K_I i K_D .

Nota: En aquest exercici s'usa el derivador (D) del PID. Els derivadors amplifiquen el soroll derivat de senyals electromagnètics que sempre hi ha als sistemes. Això provoca que el motor quedi sotmès a vibracions perjudicials.

Per atenuar parcialment aquest comportament, poseu el commutador LPF (low pass filter) que hi ha al mòdul del PID (després del sumador) a IN, i el seu selector de freqüència de tall a 34 Hz.

EXERCICI L3 2 Anàlisi de la resposta del sistema amb un controlador PID

- Munteu l'experiment seguint els mateixos passos de l'exercici L2 1.
 - Activeu els controlador P, I i D, fixant els valor de K_P , K_I i K_D als valors arrodonits de l'exercici L3.1
 - Executeu l'experiment. Obtingueu a la pantalla del computador la resposta indicial del sistema.
 - Dibuixeu i raoneu si la resposta observada és consistent amb les especificacions desitjades.
- Determineu la influència dels components del controlador:
 - Desactiveu la component integral I del controlador. Raoneu el comportament resultant.
 - Activeu la component integral I del controlador i disminuïu progressivament el valor de K_D . Raoneu el comportament resultant.
 - Retorneu el valor de K_D al valor de disseny i desactiveu el filtre passa baixos (LPF). Comproveu l'aparició d'oscil·lacions d'alta freqüència degudes a l'amplificació del soroll electromagnètic. Cal no confondre-les amb les oscil·lacions degudes a la manca d'estabilitat que són de baixa freqüència.

Nota: No convé mantenir el sistema oscil·lant massa temps, activeu de nou el filtre tan aviat com pugueu.

L3 3 SIMULACIÓ DEL SISTEMA DE CONTROL DE POSICIÓ AMB EL CONTROLADOR PID

Objectiu: Simular, mitjançant MATLAB, la resposta temporal del sistema a una entrada graó.

Matlab permet fer la simulació de sistemes de control utilitzant les comandes que trobareu a la sessió d'Aula d'informàtica. L'objectiu d'aquest exercici és utilitzar els valors trobats de K_p , K_i i K_d per observar si la resposta real de l'anterior exercici és consistent amb la resposta simulada (ideal).

EXERCICI L3 3 Simulació del sistema de control de posició amb el controlador PID

- Obriu un nou script i, fent servir les comandes *tf*, *feedback*, i *step*, trobeu la resposta a una entrada graó per aquest sistema. Dibuixeu aquesta resposta. És consistent amb la resposta real del sistema?
- Amb els valors de K_p , K_i i K_d arrodonits, trobeu els pols del sistema fent servir la comanda *pole*. Heu aconseguit una bona aproximació amb respecte als pols desitjats?