



UNIVERSITAT
ROVIRA I VIRGILI

Departament d'Enginyeria Electrònica Elèctrica i Automàtica

Control digital de convertidors CC-CC mitjançant dsPIC

TITULACIÓ: Enginyeria Tècnica Industrial en Electrònica Industrial

Autor: Rolan Sanjuan Ferrús

Director: Enric Vidal Idiarte

Data: Setembre 2010

ÍNDICE GENERAL

ÍNDIX GENERAL

Full d'identificació del projecte.....	8
Document núm. 1: MEMÒRIA	
1.0- Índex.....	10
1.1- Objecte.....	12
1.2- Abast.....	12
1.3- Antecedents.....	12
1.4- Normes i referències.....	13
1.4.1- Disposicions legals i normes aplicades.....	13
1.4.2- Bibliografia.....	13
1.4.3- Programes de càlcul.....	14
1.4.4- Pla de gestió de la qualitat aplicat durant la redacció del projecte.....	14
1.4.5- Altres referències.....	15
1.5- Definicions i abreviatures.....	16
1.6- Requisits de disseny.....	17
1.6.1- Convertidors dc-dc.....	17
1.6.2- Convertidor Buck.....	17
1.6.2.1- Condicions de funcionament en mode continu.....	22
1.6.2.2- Càlcul de la inductància.....	25
1.6.2.3- Càlcul del condensador de sortida.....	25
1.6.2.4- Model real del convertidor Buck.....	26
1.6.3- Especificacions del convertidor Buck.....	28
1.6.4- Model digital.....	28
1.7- Anàlisi de solucions.....	32
1.7.1- Driver del MOSFET.....	32
1.7.2- Planta del convertidor Buck.....	34
1.7.3- Selecció del controlador.....	35
1.7.4- Anàlisi de l'algoritme de control.....	36
1.7.5- Simulació de l'algoritme.....	37
1.7.5.1- Simulació utilitzant la funció de transferència.....	37
1.7.5.2- Simulació utilitzant l'equació en diferències.....	38
1.7.5.3- Resposta del controlador a pertorbacions.....	42

1.8- Resultats finals.....	48
1.8.1-Resposta al canvi de carrega.....	48
1.9- Planificació.....	53
1.10- Ordre de prioritat entre els documents bàsics.....	54
Document núm. 2: ANNEXOS	
2.0- Índex.....	56
2.1- Documents de partida.....	58
2.2- Càlculs.....	58
2.2.1- Càlcul de la funció de transferència del convertidor Buck.....	58
2.2.2- Càlcul de dissipador.....	68
2.2.3- Càlcul del controlador.....	72
2.2.4- Discretització de controladors.....	75
2.2.5- Selecció del controlador.....	76
2.2.6- Adaptació de la senyal (10 V a 5 V).....	82
2.2.7- Selecció de l'oscil·lador.....	83
2.2.7.1- Velocitat d'oscil·lació del CAD.....	84
2.2.7.2- Càlcul del registre del període del PWM.....	84
2.2.8- Adequació de les constants de l'equació en diferències.....	85
2.3- Annex d'aplicació en l'àmbit del projecte.....	87
2.3.1- Elecció del microcontrolador.....	87
2.3.2- El convertidor analògic/digital.....	88
2.3.2.1- Registre de control del mòdul A/D (ADCON).....	90
2.3.2.2- Registre d'estat del mòdul A/D (ADSTAT).....	92
2.3.2.3- Registre base del convertidor A/D (ADBASE).....	93
2.3.2.4- Registre de configuració dels ports del ADC (ADPCFG).....	93
2.3.2.5- Registre de control de parella de conversió #0 (ADCPC0).....	94
2.3.2.6- Registre de control de parella de conversió #1 i #2 (ADCPC1, ADCPC2).....	96
2.3.3- Els temporitzadors.....	96
2.3.4- El mòdul PWM.....	98
2.3.4.1- Registre de control de la base de temps (PTCON).....	100
2.3.4.2- Registre de la base de temps primària (PTPER).....	102

2.3.4.3- Registre de comparació d'esdeveniment especial (SEVTCMP).....	102
2.3.4.4- Registre mestre del cicle de treball (MDC).....	103
2.3.4.5- Registre de control del PWM (PWMCONx).....	103
2.3.4.6- Registre del cicle de treball (PDCx).....	105
2.3.4.7- Registre de desfasament (PHASEx).....	105
2.3.4.8- Registre de temps mort (DTRx).....	106
2.3.4.9- Registre de temps mort alternatiu (ALTDTRx).....	106
2.3.4.10- Registre de control de disparament (TRGCONx).....	106
2.3.4.11- Registre de control d'entrada/sortida (IOCONx).....	107
2.3.4.12- Registre de control de fallada per sobrecàrrega del PWM (FCLCONx).....	109
2.3.4.13- Registre del valor de comparació pel disparament (TRIGx).....	110
2.3.5- Interrupcions.....	110
2.3.5.1- Registre de control de interrupció 1 (INTCON1).....	112
2.3.5.2- Registre de control de interrupció 2 (INTCON2).....	113
2.3.5.3- Registre d'estat del flag de interrupció 0 (IFS0).....	114
2.3.5.4- Registre d'estat de interrupció 1 (IFS1).....	115
2.3.5.5- Registre d'estat del flag de interrupció 2 (IFS2).....	117
2.3.5.6- Registre de control d'habilitació d'interrupció 0 (IEC0).....	118
2.3.5.7- Registre de control d'habilitació d'interrupció 1 (IEC1).....	119
2.3.5.8- Registre de control d'habilitació d'interrupció 2 (IEC2).....	121
2.3.5.9- Registre de control de prioritat d'interrupcions (IPCx).....	122
2.3.6- Descripció del programa.....	123
2.3.6.1- Interrupció.....	125

Document núm. 3: PLANOLS

3.0- Índex.....	130
3.1- Plànol nº 1.....	131

Document núm. 4: PLEC DE CONDICIONS

4.0- Índex.....	133
4.1- Reunits.....	135

4.2- Exposen.....	135
4.2.1- Primer.....	135
4.2.2- Segon.....	135
4.3- Clàusules.....	136
4.3.1- Objectius.....	136
4.3.2- Objectiu de l'acord.....	136
4.3.3- Condicions d'acceptació del treball.....	136
4.3.4- Coordinadors/Responsables.....	136
4.3.5- Durada.....	137
4.3.6- Import i condicions de pagament.....	137
4.3.7- Forma de pagament.....	137
4.3.8- Modificacions i resisó de contracte.....	137
4.3.9- Principis d'actuació.....	138
4.3.10- Resolució de conflictes.....	138
4.4- Condicions generals.....	138
4.4.1- Condicions legals i administratives.....	139
4.4.2- Condicions facultatives.....	139
4.4.3- Condicions de materials i equips.....	140
4.4.3.1- Conductor elèctrics.....	140
4.4.3.2- Resistències fixes i variables.....	140
4.4.3.3- Condensadors.....	141
4.4.3.4- Bobines.....	141
4.4.3.5- Interruptors.....	142
4.4.3.6- Microcontroladors.....	142
4.4.3.7- Disseny de la placa d'un circuit imprès.....	142
4.4.4- Condicions d'execució i muntatge.....	143
4.4.4.1- Descripció general del muntatge.....	143
4.4.4.2- Càlcul de l'expressió sortida-control.....	144
4.4.4.3- Càlcul i simulació dels diferents controladors.....	144
4.4.4.4- Obtenció i simulació de l'equació en diferències.....	145
4.4.4.5- Muntatge del prototip del convertidor.....	145
4.4.4.6- Programació del microcontrolador.....	145
4.4.4.7- Probes de funcionament del prototip.....	145
4.4.4.8- Creació i muntatge de la placa PCB.....	146

Document núm. 5: AMIDAMENTS

5.0- Índex.....	148
5.1- Hardware.....	149
5.2- Planta prototip.....	152
5.3- Placa PCB.....	155
5.4- Fabricació placa PCB.....	158
5.5- Disseny programa informàtic.....	159

Document núm. 6: PRESSUPOST

6.0- Índex.....	161
6.1- Llistat de preus unitaris.....	162
6.2- Quadre de descompostos.....	164
6.2.1- Hardware.....	164
6.2.2- Planta prototip.....	170
6.2.3- Placa PCB.....	176
6.2.4- Fabricació placa PCB.....	182
6.2.5- Disseny programa informàtic.....	183
6.3- Pressupost.....	184
6.3.1- Hardware.....	184
6.3.2- Planta prototip.....	187
6.3.3- Placa PCB.....	190
6.3.4- Fabricació placa PCB.....	193
6.3.5- Disseny programa informàtic.....	194
6.4- Resum del pressupost.....	195

Document núm. 7: ESTUDIS EN ENTITAT PROPIA

7.0- Índex.....	197
7.1- Manual d'iniciació a la programació de dsPICs mitjançant MPLAB C30.....	198
7.1.1- Creació d'un nou projecte.....	198
7.1.2- Descripció modes d'operació.....	204
7.1.2.1- Mode MPLAB SIM.....	204
7.1.2.2- Mode MPLAB ICD 2 (Programmer).....	205
7.1.2.3- Mode MPLAB ICD 2 (Debugger).....	208
7.1.3- Eines d'observació.....	209

7.1.3.1- Punts de ruptura.....	209
7.1.3.2- Watch.....	210
7.1.3.3- Stopwatch.....	212
7.2- Treball en nombres fraccionals.....	213
7.2.1- Nombres fraccionals de 16 bits.....	213
7.2.2- Nombres fraccionaris de 32 bits.....	214
7.3- Funcions intrínseques.....	215
7.4-Programa implementat.....	217

FULL IDENTIFICACIÓ DEL PROJECTE

TITOL DEL PROJECTE:

Control de convertidors CC-CC mitjançant dsPIC

PROJECTE ENCARREGAT PER:

GAEI (URV)

Av. Països Catalans n° 26

Tarragona (43008)

EL PROJECTE A ESTA REALITZAT PER:

Rolan Sanjuan Ferrús

NIF: 77835896-D

C/ Escoles n° 2

Flix 43750 (Tarragona)

EL PROJECTE A ESTAT SUPERVISAT PER:

Dr. Enric Vidal Idiarte

DEEEA (URV)

Av. Països Catalans n° 26

Tarragona (43008)

Setembre 2010

Document n.º 1

ÍNDIX

Document núm. 1: MEMÒRIA

1.0- Índex.....	10
1.1- Objecte.....	12
1.2- Abast.....	12
1.3- Antecedents.....	12
1.4- Normes i referències.....	13
1.4.1- Disposicions legals i normes aplicades.....	13
1.4.2- Bibliografia.....	13
1.4.3- Programes de càlcul.....	14
1.4.4- Pla de gestió de la qualitat aplicat durant la redacció del projecte.....	14
1.4.5- Altres referències.....	15
1.5- Definicions i abreviatures.....	16
1.6- Requisits de disseny.....	17
1.6.1- Convertidors dc-dc.....	17
1.6.2- Convertidor Buck.....	17
1.6.2.1- Condicions de funcionament en mode continu.....	22
1.6.2.2- Càlcul de la inductància.....	25
1.6.2.3- Càlcul del condensador de sortida.....	25
1.6.2.4- Model real del convertidor Buck.....	26
1.6.3- Especificacions del convertidor Buck.....	28
1.6.4- Model digital.....	28
1.7- Anàlisi de solucions.....	32
1.7.1- Driver del MOSFET.....	32
1.7.2- Planta del convertidor Buck.....	34
1.7.3- Selecció del controlador.....	35
1.7.4- Anàlisi de l'algoritme de control.....	36
1.7.5- Simulació de l'algoritme.....	37
1.7.5.1- Simulació utilitzant la funció de transferència.....	37
1.7.5.2- Simulació utilitzant l'equació en diferències.....	38
1.7.5.3- Resposta del controlador a pertorbacions.....	42

1.8- Resultats finals.....	48
1.8.1-Resposta al canvi de carrega.....	48
1.9- Planificació.....	53
1.10- Ordre de prioritat entre els documents bàsics.....	54

1.1- Objecte

El projecte realitzat, té la finalitat de conèixer el xips integrats de la família dsPIC 30F2020, així com experimentar i explorar, les seves possibilitats per a poder realitzar un control integrador sobre un convertidor reductor CC-CC o convertidor Buck, amb l'objectiu de crear un sistema de control PWM, a través de la utilització de diferents algorismes de control, i estudiant els tipus de dades fraccionades. Aquest sistema pretén, a més, ser pioner en aquest tipus d'aplicacions.

1.2- Abast

Es pretén programar el microcontrolador dsPIC30F2020, per a que realitzi càlculs en nombres fraccionals (coma fixa, Q15), amb la finalitat d'aconseguir un càlcul de la tensió de sortida d'un convertidor CC-CC de tipus Buck, treballant com a PWM. La regulació es realitzarà mitjançant un llaç de tensió, amb la implementació d'un controlador digital PID utilitzant el microcontrolador. D'aquesta manera es comprovarà la tensió de sortida del convertidor, comparant-ho amb la premissa d'entrada s'actuarà amb conseqüència sobre un interruptor de tipus PMOS, amb la fi de variar el tipus de cicle de treball del PWM.

1.3- Antecedents

Es parteix d'un projecte final de carrera realitzat per un alumne d'enginyeria electrònica industrial. Aquest alumne va dissenyar i implementar un controlador digital sobre un convertidor Buck, mitjançant la programació d'un MC56F8367. Alhora, el seu treball, partia d'un projecte d'un altre alumne d'enginyeria electrònica industrial, però aquest va utilitzar el dsPIC 18F258, la CPU del qual, tenia problemes per actualitzar el cicle de treball amb el temps especificat.

1.4- Normes i referències

1.4.1- Disposicions legals i normes aplicades

En el present projecte, s'ha aplicat la normativa espanyola UNE 157001, que dóna a conèixer els criteris generals per a l'elaboració de projectes. També s'ha aplicat la normativa pròpia de la universitat en quan al format de presentació dels documents.

1.4.2- Bibliografia

- Documents:

H. RASHID, Muhammad “Electrónica de potencia, *circuitos, dispositivos y aplicaciones*”. Tercera edició. Mèxi: Pearson Edición de México, S.A. e C.V., 2004.
ISBN: 970-26-0532-6

ANGULO USATEGI, José María... “dsPIC Diseño práctico de aplicaciones”. Primera edició. Madrid: International Thomson Editores Spain Paraninfo S.A., 2006.
ISBN: 84-9732-385-8

ANGULO USATEGI, José María... “Microcontroladores Avanzados dsPIC”. Primera edició. Madrid: McGraw-Hill Interamericana de España, S.A.U., 2006.
ISBN: 84-841-5156-9

BLOON, Gordon... “Modern DC-to-DC switchmode power converter circuits”. Primera edició. Nova York: Van Nastrand Reinhold company Inc., 1985. ISBN: 0-442-21396-4

Commande numérique de convertisseurs. Report GAEI (URV)-LAAS (TOULOUSE).
[1]

ZETEX, ZTX690B. Datasheet.

ZETEX, ZTX718. Datasheet.

VISHAY, MBR1045G. Datasheet.

ON SEMICONDUCTOR, MTP12P10. Datasheet. [2]

MICROCHIP, dsPIC30F2020. Datasheet.

Apunts de Regulació automàtica.

Apunts d'Electrònica de potència.

Apunts d'Oficina tècnica.

1.4.3- Programes de càlcul

MATLAB 6.5 Programa de càlcul i simulació de sistemes.

PSIM 6.0 Programa de simulació de circuits.

ORCAD 16.0 Programa de disseny de circuits en PCB.

MPLAB 8.00 Programa de programació i simulació de dsPIC

1.4.4- Pla de gestió de la qualitat aplicada durant la redacció del projecte

Durant la redacció de tot el projecte s'han anat corroborant que els components que apareixen en la implementació física del convertidor de potència Buck, siguin els mateixos que en els plànols, pressupost, estat de mesures i annexos. També s'ha buscat informació sobre els diferents components que es muntaran en el convertidor Buck, preguntant pels més adequats per a aquest projecte.

1.4.5- Altres referències

No és d'aplicació.

1.5- Definicions i abreviatures

R: Resistència.

C: Condensador.

r_c : Resistència associada al condensador.

L: Bobina.

r_l : Resistència associada a la bobina.

Vs: Tensió d'alimentació.

PI: Proporcional - Integral.

PWM: *Pulse Width Modulator* (Modulador d'amplada de pols).

URV: Universitat Rovira i Virgili.

CPU: *Central Processing Unit* (Unitat Central de Processos).

DC: *Direct Current* (Corrent continu).

A/D: *Conversor analògic/digital*

1.6- Requisites de disseny

1.6.1- Convertidors dc-dc

Els convertidors dc-dc, transformen una tensió contínua en una altra que també ho és. Aquests convertidors s'utilitzen en moltes aplicacions industrials on es requereix convertir un voltatge fix, d'una font de tensió contínua, en un voltatge de sortida també continu. Es pot considerar un convertidor dc-dc com un transformador de contínua, ja que aquets poden ser utilitzats tant per baixar com per pujar el voltatge d'entrada. Una altra característica dels convertidors dc-dc, és que proporcionen un control uniforme i eficient.

Existeixen dos tipus bàsics de convertidors: Buck i Boost. A més d'un model híbrid on es combinen un Buck i un Boost al mateix temps.

El convertidor Buck, és un convertidor reductor, el que significa que la tensió de sortida serà igual a la d'entrada o inferior, sota cap concepte aquesta pot superar la d'entrada. Aquest és el convertidor escollit per a realitzar aquest projecte.

El convertidor Boost, és un convertidor elevador, el que significa que la tensió de sortida serà igual o superior a la d'entrada, mai inferior a aquesta.

El convertidor Buck-Boost, és un convertidor reductor i elevador, el qual proporciona un corrent igual, superior o inferior al de l'entrada. També se l'anomena regulador inversor.

1.6.2- Convertidor Buck

Com s'ha explicat a l'apartat anterior, el convertidor Buck és un convertidor de tipus reductor, la tensió de sortida mai serà superior a la d'entrada. Els convertidors són circuits no lineals i discontinus, per aquest fet l'hem de dividir amb els seus dos circuits elementals que tenen un funcionament lineal, d'aquesta manera el podrem caracteritzar.

Els convertidors tenen dos modes de funcionament segons el comportament del corrent que circula a través de la bobina:

Mode continu: El corrent que circula per la bobina és en tot moment superior a zero.

Mode discontinu: El corrent que circula per la bobina en algun moment és inferior a zero.

Per al disseny del convertidor d'aquest projecte, es treballarà en mode continu.

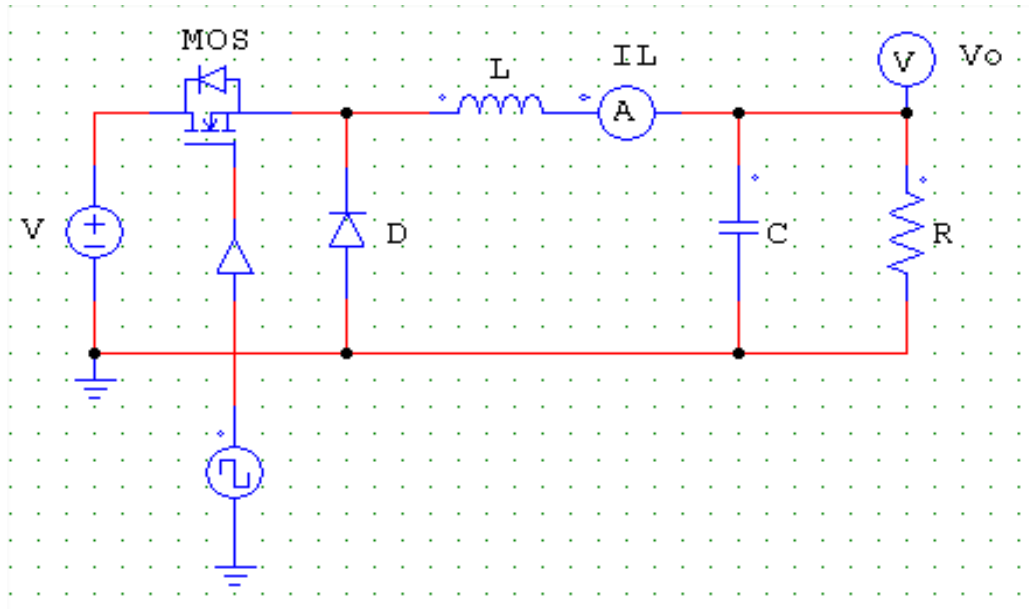


Figura 1.1 Convertidor Buck

A continuació analitzarem el convertidor Buck a partir del desmembrament dels seus dos circuits bàsics:

Interruptor tancat: Aquest cas es dona quan el MOSFET està en conducció, i llavors idealment, la bobina es carregarà a $V_i - V_o$. Però com el MOSFET en conducció té una petita resistència, aquest dissipa una petita part de la potència en forma de calor.

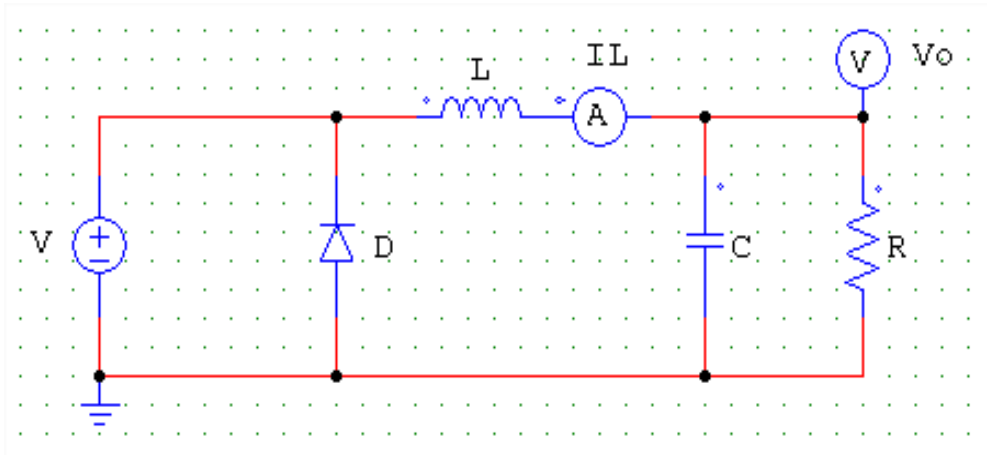


Figura 1.2 Convertidor Buck amb l'interruptor tancat (t_{on})

Interruptor obert: En aquest cas el MOSFET està en tall i l'inductor es descarrega a una tensió de $-V_o$, el corrent emmagatzemat a l'inductor circula a través del díode amb el mateix sentit. Perquè el convertidor funcioni en mode continu, aquest corrent no pot ser mai zero.

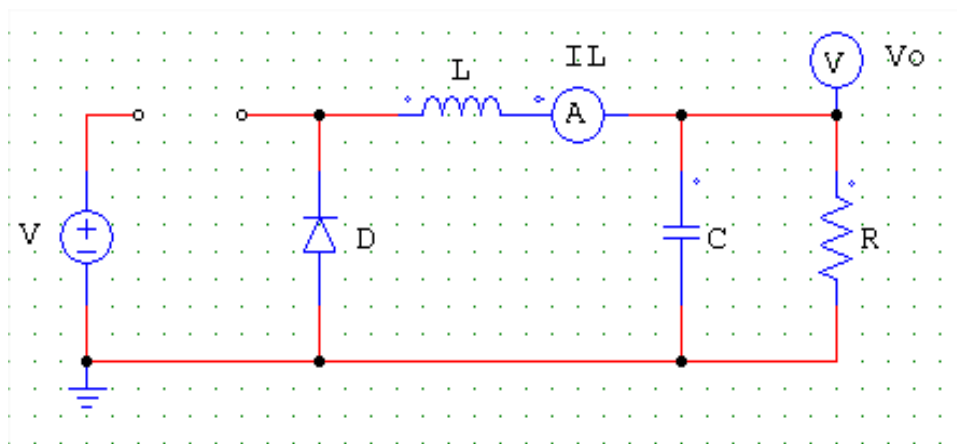


Figura 1.3 Convertidor Buck amb l'interruptor obert (t_{off})

Tot seguit, podem observar les gràfiques de comportament del convertidor Buck de la figura 1.1, en les quals podem veure el corrent a la bobina (I_L), la tensió d'alimentació de la bobina (V_L) i la tensió als bornes de la bobina ($V_L - V_o$).

Com es pot observar durant t_{on} (interruptor tancat), la corrent d'alimentació de la bobina és 12 V. També veiem com el corrent de la bobina augmenta, i que la tensió als bornes de la bobina és:

$$V_L = V_i - V_o \quad (1.1)$$

Durant t_{off} (interruptor obert), la tensió d'alimentació s'anul·la, la tensió de la bobina decreix i la tensió $-V_o$. Llavors, per t_{on} la tensió a la bobina val (suposant un duty cycle de 0,5):

$$V_L = 12 - 6 = 6 \text{ V} \quad (1.2)$$

i per t_{off} la tensió a la bobina és:

$$-V_o = -6 \text{ V} \quad (1.3)$$

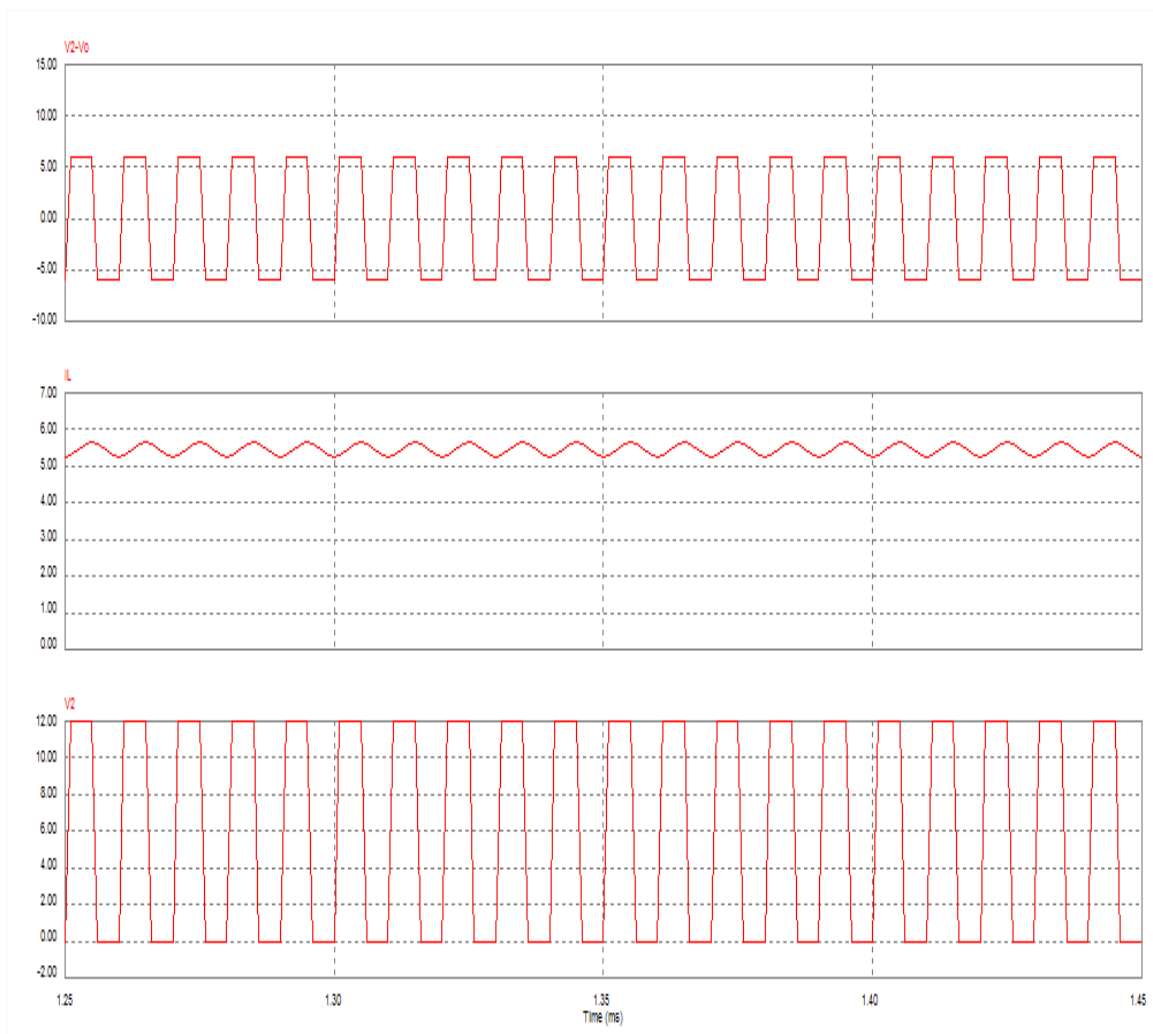


Figura 1.4 Formes d'ona del convertidor Buck

A continuació, procedirem a calcular l'expressió de la tensió de sortida en funció de l'entrada i del cicle de treball tenint en compte que el convertidor és totalment ideal.

Per començar a calcular l'expressió de la tensió de sortida en aquest tipus de circuit, hem d'aplicar la llei de Faraday, la qual cita, que la tensió als bornes de la bobina durant un cicle sencer és zero. Tal com s'ha pogut observar anteriorment. A continuació veiem la següent figura, on es mostra un cicle de la tensió a la bobina i seguint la llei de Faraday, tenim que l'àrea A ha de ser igual a l'àrea B. Ho podem expressar de la següent manera:

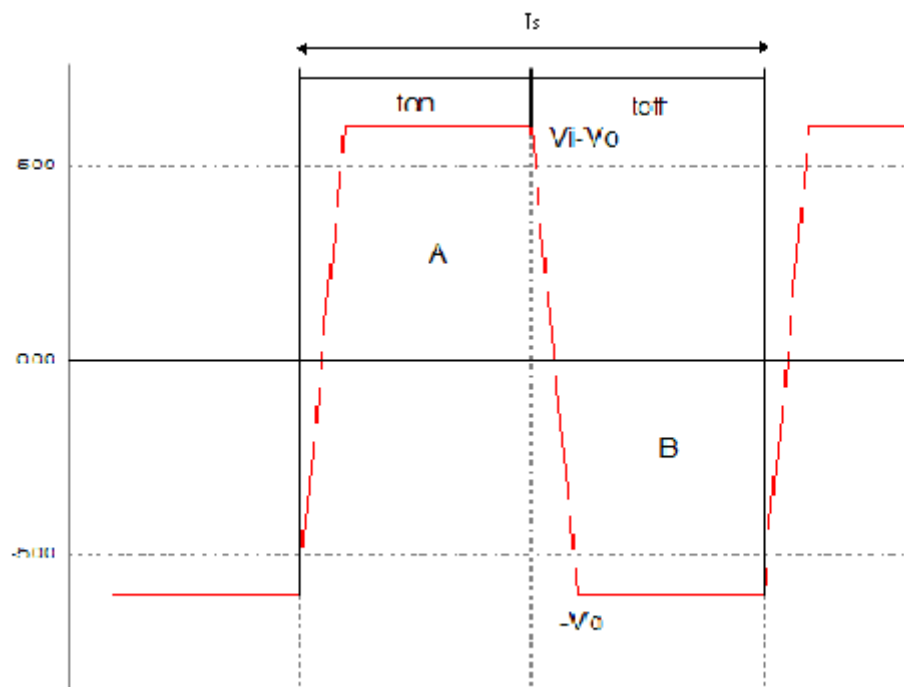


Figura 1.5 Detall de la tensió als bornes de la bobina

$$V_L = L \frac{dI_L}{dt} \quad (1.4)$$

Quant l'interruptor està tancat diem que: $V_L = V_i - V_o$

$$\Delta I_{Lon} = \int_0^{t_{on}} dI_L = \int_0^{t_{on}} \frac{V_L}{L} dt = \frac{(V_i - V_o)t_{on}}{L} \quad (1.5)$$

Quant l'interruptor està obert diem que: $V_L = -V_o$

$$\Delta I_{Loff} = \int_0^{t_{off}} dI_L = \int_0^{t_{off}} \frac{V_L}{L} dt = -\frac{V_o \cdot t_{off}}{L} \quad (1.6)$$

En règim estacionari tenim que: $\Delta I_{Lon} + \Delta I_{Loff} = 0$

$$\frac{(V_i - V_o)t_{on}}{L} - \frac{V_o \cdot t_{off}}{L} = 0 \quad (1.7)$$

$$(V_i - V_o)D_1 = V_o D_2 \text{ essent: } D_1 = \frac{t_{on}}{T_s} \text{ i } D_2 = \frac{t_{off}}{T_s} = 1 - D_1 \quad (1.8)$$

$$V_i D_1 - V_o D_1 = V_o - V_o D_1 \quad (1.9)$$

$$V_o = D_1 V_i \quad (1.10)$$

1.6.2.1- Condicions de funcionament en mode continu

Per a que un convertidor Buck funcioni en mode continu, la bobina ha de complir un requisit fonamental, la corrent que la travessa mai ha de ser negativa, per aquest motiu, s'ha de trobar una bobina que garanteixi el funcionament continu del convertidor. Com ja s'ha vist i explicat, la corrent en la bobina té una forma lineal amb un pendent ascendent durant t_{on} i un pendent descendent durant t_{off} . El punt crític és durant t_{off} un instant abans de que comenci t_{on} . És el moment on la bobina té menys energia per entregar. Per tot això explicat fins ara, es pot deduir que la corrent en la bobina tindrà un arrissat (ΔI_L).

Per el motiu expressat anteriorment, hem de trobar el valor de la inductància mínima per tal que el convertidor estigui en mode continu.

La corrent mitja que circularà per la bobina es mostra en l'expressió (1.11):

$$\overline{I_o} = \frac{V_o}{R} \quad (1.11)$$

L'equació (1.3) ens descriu l'increment del arrissat del corrent que circula a través de l'inductor, que és la diferència entre el corrent I_A i I_B que representen el corrent durant t_{on} i el corrent durant t_{off} , els quals venen representats per les equacions (1.4) i (1.5):

$$\Delta I_L = I_A - I_B \quad (1.12)$$

$$I_A = \overline{I_o} + \frac{\Delta I_L}{2} \quad (1.13)$$

$$I_B = \overline{I_o} - \frac{\Delta I_L}{2} \quad (1.14)$$

Per exemplificar les equacions anteriors observem la figura 1.5, en la qual es pot diferenciar cadascun dels diferents corrents i el moment en el qual intervenen:

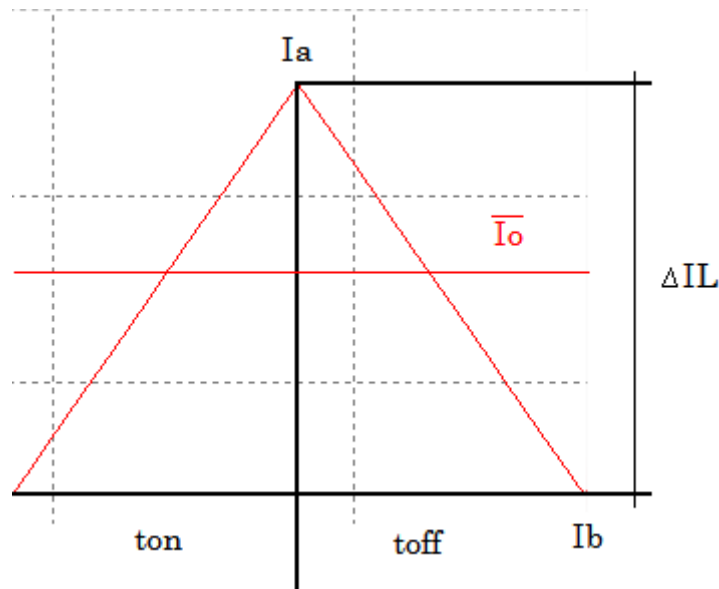


Figura 1.5 Detall del corrent a través de l'inductor

L'expressió crítica és la de la (1.5), ja que és la més petita durant el període de computació. Tenint això en compte:

$$I_b = \bar{I}_o - \frac{\Delta I_L}{2} > 0 \rightarrow \bar{I}_o > \frac{\Delta I_L}{2} \quad (1.15)$$

L'expressió anterior, s'ha d'expressar en funció de la inductància de la bobina.
Per fer-ho:

$$V_L = L \cdot \frac{dI_L}{dt} \quad (1.16)$$

Per a qualsevol instant de t_{on} :

$$V_i - V_o = L \cdot \frac{dI_L}{dt}, \quad \frac{V_i - V_o}{L} = \frac{dI_L}{dt} \rightarrow I_L = I_b + \frac{V_i - V_o}{L} t \quad (1.17)$$

Per a qualsevol instant de t_{off} :

$$-V_o = L \cdot \frac{dI_L}{dt}, \quad \frac{-V_o}{L} = \frac{dI_L}{dt} \rightarrow I_L = I_a - \frac{V_o}{L} (t - dT) \quad (1.18)$$

Si $t = t_{on} = dT$ llavors $I_L = I_a$:

$$I_a - I_b = \frac{V_i - V_o}{L} t_{on} = \frac{V_i - V_o}{L} dT = \Delta I_L \quad (1.19)$$

Combinant l'expressió (1.10) amb la (1.6):

$$\frac{V_i - V_o}{L} dT < 2\bar{I}_o \quad (1.20)$$

Aïllant L de l'equació (1.11) obtenim:

$$L > \frac{V_i - V_o}{2\bar{I}_o} dT \quad (1.21)$$

De l'expressió (1.21), obtenim que si $L = \frac{V_i - V_o}{2I_o} dt_{on}$ un instant abans de començar t_{on} la corrent a la bobina s'anul·larà.

1.6.2.2- Càlcul de la inductància

El valor de la inductància, va lligat a l'arissat del corrent imposat. Es pot dissenyar el valor de la inductància coneixent paràmetres com la freqüència de commutació, la tensió de sortida i el cicle de treball.

$$t_{on} = L \cdot \frac{\Delta I_L}{V_i - V_o} \quad (1.22)$$

$$t_{off} = L \cdot \frac{\Delta I_L}{V_o} \quad (1.23)$$

$$T = t_{on} + t_{off} = L \cdot \frac{\Delta I_L}{V_i - V_o} + L \cdot \frac{\Delta I_L}{V_o} = L \cdot \frac{V_i \cdot \Delta I_L}{V_o (V_i - V_o)} \quad (1.24)$$

Aïllant el valor de la inductància de l'equació (1.25):

$$L = \frac{V_o \cdot (1 - D)}{\Delta I_L \cdot f} \quad (1.26)$$

1.6.2.3- Càlcul dels condensadors de sortida

El corrent que circula per l'inductor, és la suma de la corrent que circula pels condensadors i la que circula per la càrrega. Es pot assumir que tota la corrent alterna circula pels condensadors i que la contínua circula per la càrrega (tot hi que realment això no sigui així). El paràmetre més important a conèixer, és el risat de pic a pic de la tensió de sortida ΔV_o .

$$C = \frac{\Delta I_L}{8 \cdot \Delta V_o \cdot f} \quad (1.27)$$

Existeixen altres mètodes per seleccionar el condensador de sortida degut a la característica real del condensador.

1.6.2.4- Model real del convertidor Buck

Anteriorment, hem vist unes expressions extremes del model ideal del convertidor Buck. Aquestes no són del tot certes, ja que el circuit té alguns efectes de càrrega que s'han de tenir en compte. Tot hi tenir aquests efectes de càrrega, els resultats no difereixen gaire entre si, però s'han de tenir present.

- **La bobina:** la bobina té una resistència en sèrie (R_L) que provoca una caiguda de tensió quan hi travessa corrent. Aquesta caiguda de tensió se veurà reflectida a la sortida, reduint-la. Aquesta caiguda de tensió vindrà donada pel valor de la resistència i pel corrent que la travessarà.

- **El condensador:** a l'igual que la bobina, també té una resistència sèrie (R_C).

A més a més d'aquestes efectes de càrrega, que són els que s'han tingut en compte a l'hora de realitzar el projecte, n'hi ha més, alguns dels quals són:

- **L'interruptor:** els interruptors que se solen utilitzar són de tipus MOSFET i és una part molt important pel bon funcionament del circuit. No només l'interruptor, sinó també l'adequat disseny del driver adequat a les característiques del interruptor, aquest té una resistència de conducció (R_{DS}) que fa que generi pèrdues en forma de calor, a causa de les altes freqüències a les que sol treballar.

- **El díode:** els díodes reals tenen una caiguda de tensió (V_D) que afecta directament la tensió de sortida.

Aplicant tot l'explicat anteriorment, el circuit real del convertidor Buck queda de la següent manera:

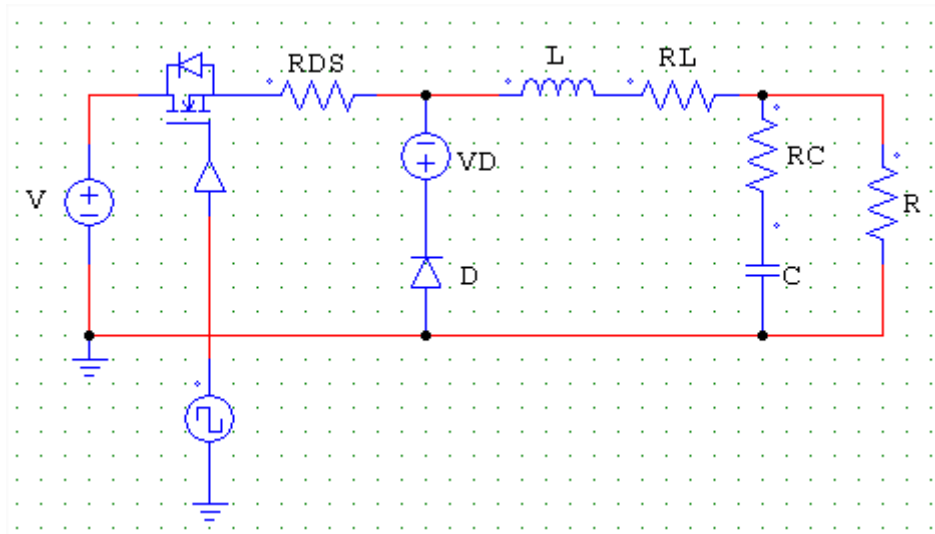


Figura 1.6 Model real del convertidor Buck

A través de l'anàlisi convencional, obtenim que la tensió de sortida del circuit és:

$$V_o = D_1(V_i - i_L \cdot R_{DS} + V_D) - V_D \quad (1.28)$$

$$\text{on } D_1 = \frac{T_{on}}{T}$$

1.6.3- Especificacions del convertidor Buck

Topologia	Convertidor Buck.
Tensió d'entrada	12 V nominals en un 20% d'arissat a 100 o 120 kHz.
Tensió de sortida	5 V nominals amb 3% d'arissat i regulació per mantenir la sortida.
Potència de sortida	Dins el interval 0-20 W.
Freqüència de commutació	100 kHz.
Control	Control per tensió amb llaç de realimentació
Regulació	S'utilitza un guany integral per mantenir la sortida amb estat estacionari.

Taula 1.1 Especificacions del convertidor Buck

Es realitzaran proves en canvi de tensió d'entrada i de canvi de càrrega per testejar el bon funcionament del sistema.

1.6.4- Model digital

Els controladors digitals en sistemes de control, estan molt estesos. Aquet s'utilitza per treure el màxim rendiment i benefici de la planta a controlar. En el nostre cas la planta serà el convertidor Buck. L'ús de controladors digitals en sistemes dinàmic, és degut al baix cost dels computadors digitals i també degut a la implementació, un controlador digital està implementat dins d'un microprocessador en forma de programa (software), i pot ser modificat fàcilment canviant els paràmetres.

Per la seva banda un controlador analògic s'implementa via hardware i és més costosa la seva modificació, ja que si el circuit no té potenciòmetres per modificar els guanys dels amplificadors operacionals, s'han de substituir directament les resistències en qüestió.

El control integrador és un controlador que ofereix una gran prestació en el control digital de processos. A partir d'una medició (en el nostre cas, tensió de sortida del convertidor Buck) es compara amb la consigna de referència i s'obté un error. El que tracta de realitzar el controlador és eliminar aquest error i que el sistema resti en estat estacionari en el punt de treball.

La configuració més senzilla d'un esquema de control es mostra en la figura següent:

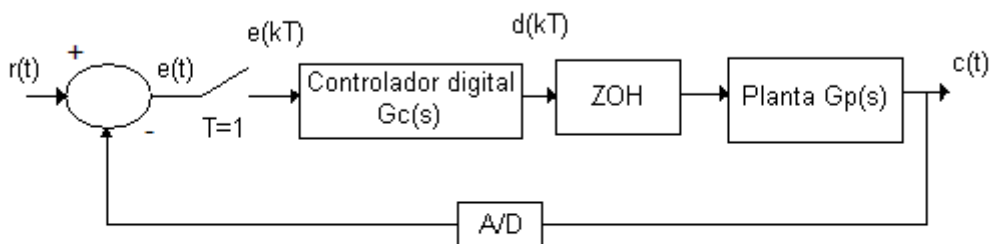


Figura 1.7 Configuració bàsica d'un controlador digital

En un sistema digital, la consigna (entrada), el comparador i el tipus de control estan implementats en forma software, ja sigui en un PC o en un microcontrolador. Es troba en forma d'algorisme dins del programa que realitza el control. Es llegirà la sortida mitjançant el sensor, aquest valor es compararà amb el valor de referència (que serà el valor de la tensió desitjada a la sortida) Aquesta comparació donarà lloc a un error (error = consigna – lectura). Si no hi ha error, el controlador mantindrà la sortida. Si l'error es diferent de zero, el controlador ajustarà automàticament la sortida augmentant-la o disminuint-la en funció del signe de la senyal d'error.

- **La planta:** és el sistema a controlar, ja sigui un motor, una línia de muntatge, etc... Per dissenyar un bon controlador s'ha de disposar del model matemàtic de la planta a controlar i realitzar les simulacions convenientes per optimitzar el control.

- **El convertidor A/D:** envia de forma periòdica el valor de la sortida al controlador. Però primer es té que adaptar la senyal de sortida per a que compregui tota la resolució del instrument.

- **ZOH:** model matemàtic que permet reconvertir les senyals discretes en el temps en senyals periòdiques en senyals contínues en el temps. Actue com a conversor D/A.

- **Controlador digital:** és un tipus de controlador molt complet que s'utilitza en moltes aplicacions industrials. Hi ha diferents tipus de controlador, alguns són:

Acció proporcional (P): la sortida és proporcional a l'error. La seva funció matemàtica és:

$$G_c(s) = kp \quad (1.29)$$

on **Kp** és un guany proporcional ajustable. Un controlador proporcional pot controlar qualsevol planta estable però provoca un error en règim permanent.

Acció integral (I): la sortida és proporcional a l'error acumulat el qual implica que és un controlador lent. La seva funció matemàtica és:

$$G_c(s) = \frac{ki}{s} \quad (1.30)$$

Acció proporcional integral (PI): es defineix mitjançant la següent funció matemàtica:

$$G_c(s) = kp \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) \quad (1.31)$$

on **Ti** es denomina amb temps integral i és qui ajusta la acció integral.

En un control proporcional és necessari que existeixi error per tenir una acció de control diferent de zero. Amb acció integral un error petit positiu sempre donarà una acció de control creixent i si fos negatiu la senyal de control seria decreixent. Aquest raonament mostra que l'error en règim permanent és sempre zero. Molts controladors industrials tenen únicament acció de control PI. Aquest tipus de control és adequat per a tots els processos amb una dinàmica de primer ordre.

Acció proporcional derivativa (PD): es defineix mitjançant la següent funció matemàtica:

$$G_c(s) = kp + skpTd \quad (1.32)$$

on **Td** és la constant del temps derivatiu.

Aquesta acció té un caràcter de previsió el que fa més ràpida l'acció de control encara que té la desavantatge que amplifica les senyals de soroll i pot provocar saturació de l'actuador. L'acció de control derivativa mai s'usa per sí sola ja que únicament és eficaç durant períodes transitoris.

Acció proporcional integral derivativa (PID): aquest controlador combinat, reuneix els avantatges de cadascuna de les accions de control individuals. La funció matemàtica que descriu el seu comportament és:

$$G_c(s) = kp \left(1 + \frac{1}{Tis} + Tds \right) \quad (1.33)$$

En aquest projecte, utilitzarem un control integrador. Les característiques del qual seran les següents:

- Proporcionar un marge de fase de 60° per aquesta freqüència de tall.

1.7- Anàlisi de solucions

Per a realitzar el projecte amb totes les condicions que es marquen a les especificacions, s'ha de dur a terme un complet anàlisi de les possibles solucions a adoptar, determinant d'aquesta manera una sèrie de paràmetres per tal de realitzar el disseny amb èxit.

1.7.1- Driver del MOSFET

El driver és una part molt important en el disseny del circuit, ja que gràcies a ell es donarà la desitjada commutació del PMOS a 100 kHz, a partir d'una senyal PWM i consegüentment el correcte funcionament del circuit. És una part molt delicada per tal que el circuit funcioni bé a trets generals.

Per a la realització del driver del projecte se muntarà un circuit basat en transistors NPN i PNP per tal que realitzin la commutació del PMOS.

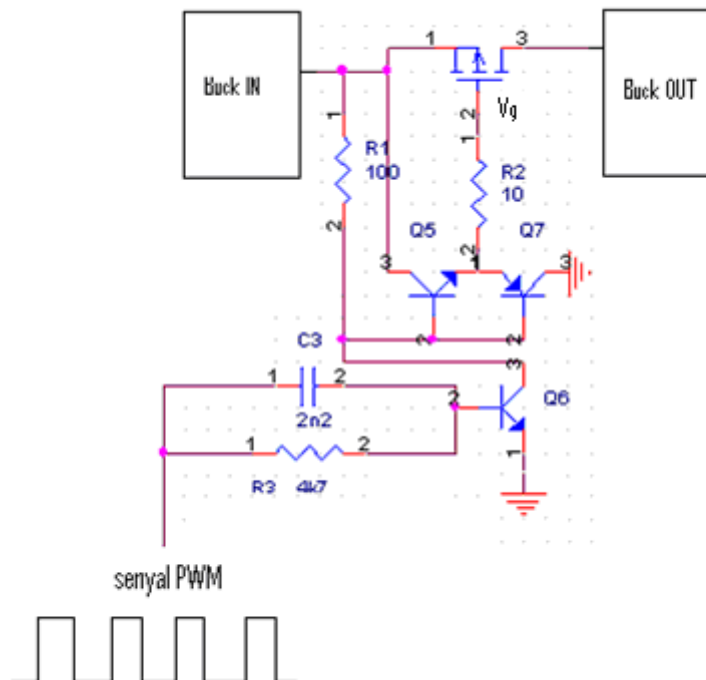


Figura 1.8 Esquema del driver del PWM

Funcionament del driver:

Quan el PWM té un “1” lògic (3.3 V) força per Q_6 una corrent de base que segueix la següent expressió per llei d'ohm: $I_b = (3.3-0.7)/4k7=553.2 \mu A$, i el condensador C_3 es carrega a 2,6 V. R_1 limita el corrent de col·lector, a uns aproximadament 1,2 mA. Per tant, es dona situació de saturació: $I_c \gg \beta I_b$ i a la base dels transistors Q_5 i Q_7 hi arriben 0,2 V (de la tensió de saturació de Q_6). En aquesta situació, condueix Q_7 fet que fa que es connecti la porta del PMOS a massa. Per tant, a la porta del PMOS li arribaran 0 V, fet que farà que es comporti gairebé com un curtcircuit amb la seva resistència en conducció ($R_{DS} = 300 \text{ m}\Omega$).

Quan el PWM té un “0” lògic (0 V) el condensador C_3 es descarrega instantàniament i Q_6 queda en tall, R_1 no tindrà cap funció i per tant, arribaran 12 V a la base de Q_5 i Q_7 . Ara el que condueix és Q_5 quedant tallat Q_7 . En aquests moments al PMOS li arribarà una tensió de 12 V que el portarà a la situació de tall. El PMOS no conduirà i es comportarà com un circuit obert.

De l'explicat anteriorment, es pot extreure:

PWM=0 $V_G=1$ (PMOS no condueix, circuit obert)

PWM=1 $V_G=0$ (PMOS condueix, curtcircuit)

1.7.2- Planta del convertidor Buck

Del següent model, s'extreuen les equacions diferencials amb les que es descriu el comportament del circuit.

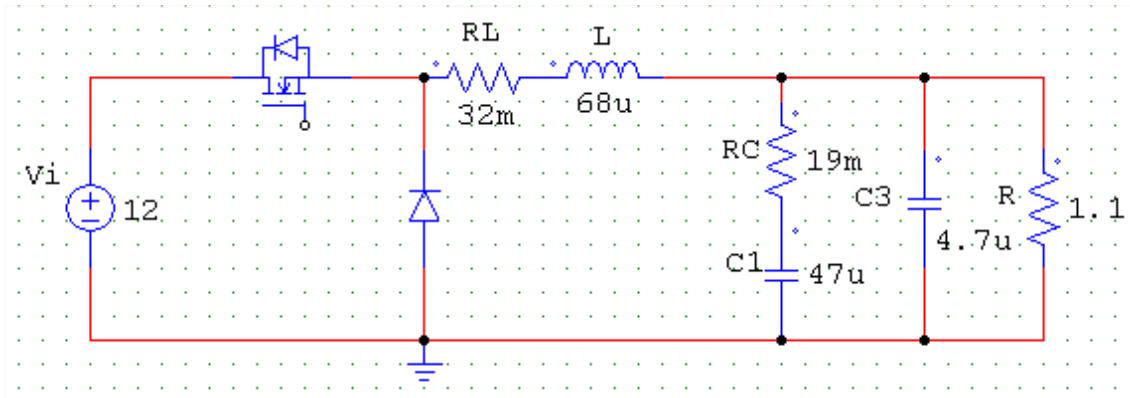


Figura 1.9 Convertidor Buck

La funció de transferència del convertidor buck és:

$$G_v(s) = K \frac{s + 1119820,829}{(s + 1,2739e7)(s^2 + 18000s + 2,77e8)} \quad (1.34)$$

on $K = 3,754693366e10$

De l'equació (1.34) podem extreure que el sistema té un zero i tres pols, dels quals, tenim dos pols complexos conjugats i un pol simple.

Introduint al Matlab la funció de transferència en llaç tancat i realimentació unitària, obtenim el següent diagrama de Bode.

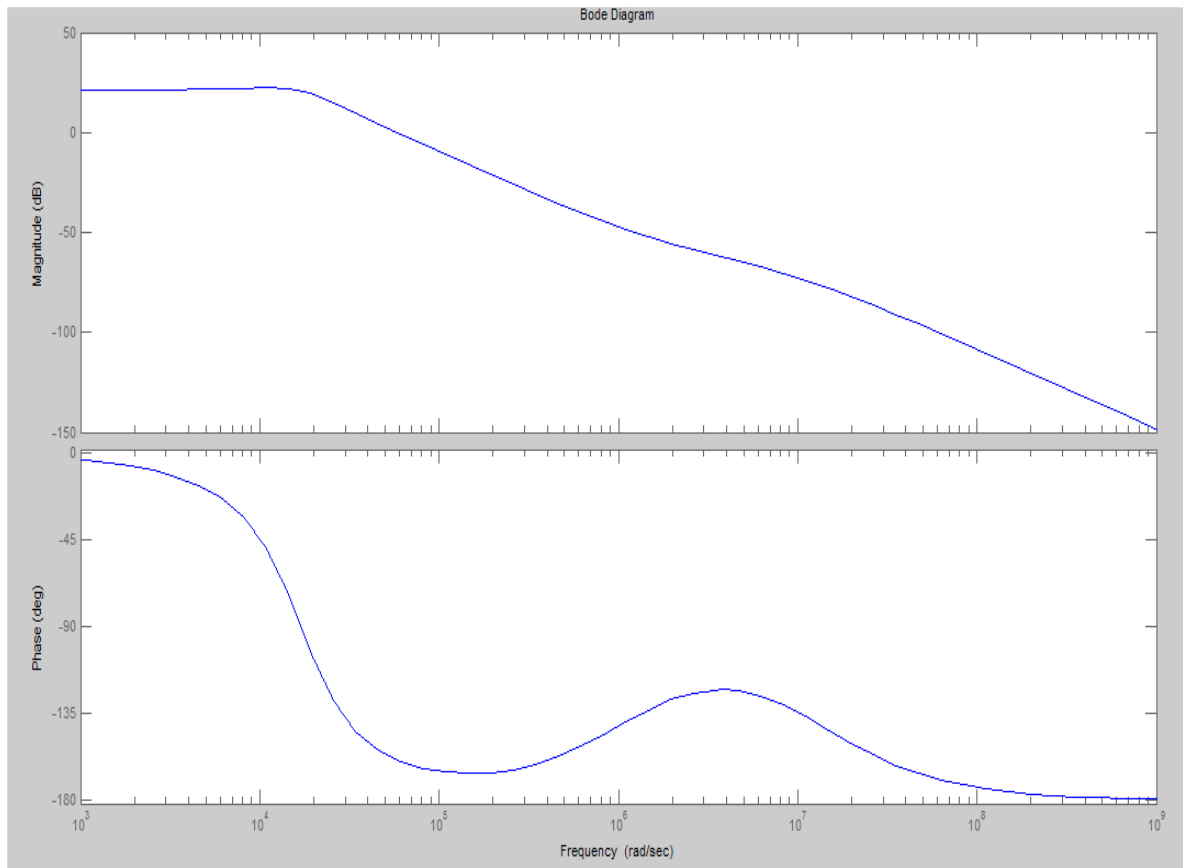


Figura 1.10 Diagrama de Bode de la planta no compensada

1.7.3- Selecció del controlador

Els requisits de disseny del convertidor Buck són:

- Proporcionar un marge de fase de 60° per aquesta freqüència de tall.

Mitjançant la funció de transferència del convertidor Buck i la utilització de la taula de localització i aproximació de pols i zeros de la Texas Instruments, hem creat quatre controladors, dels quals hem escollit per major eficiència el següent:

$$H(z) = \frac{1,754 z^3 - 1,485 z^2 - 1,646 z + 1,392}{z^3 + 0,1969z^2 - 0,8485z - 0,3485} \quad (1.30)$$

1.7.4- Anàlisi de l'algoritme de control

Per a poder implementar un algoritme numèric de control de manera digital, és necessari passar la funció de transferència del controlador en forma de equació en diferències.

$$d(k) = 1,754 V_o(k) - 1,485 V_o(k-1) - 1,646 V_o(k-2) + 1,392 V_o(k-3) - 0,1969d(k-1) + 0,8485d(k-2) + 0,3485d(k-3) \quad (1.31)$$

Aquesta funció en diferències, és equivalent a la equació de control (1.30).

1.7.5- Simulació de l'algoritme

1.7.5.1- Simulació utilitzant la funció de transferència

L'esquema del circuit amb el control implementat, queda de la següent manera:

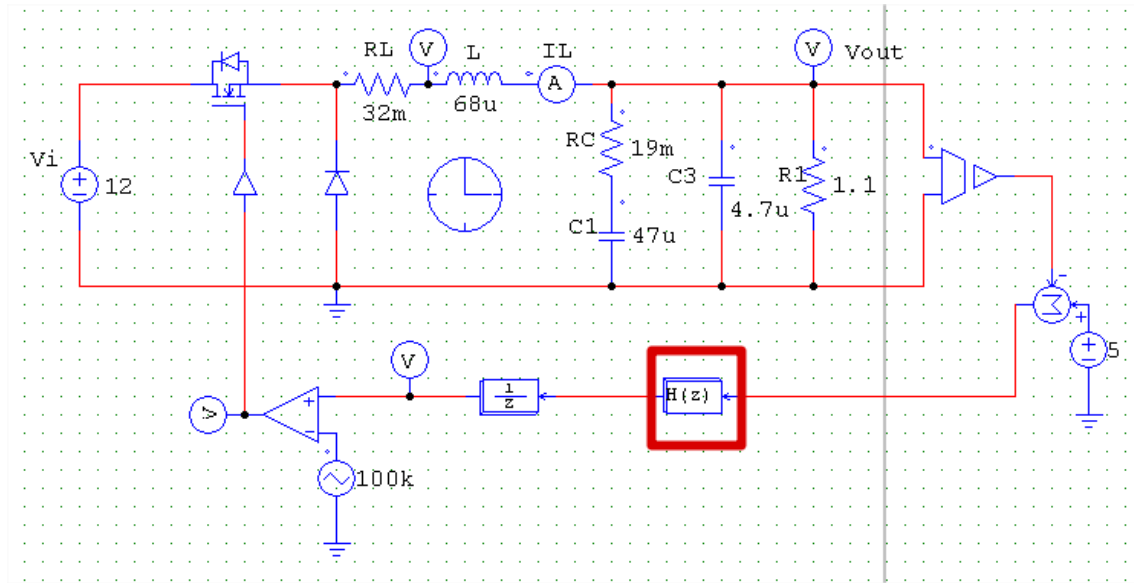


Figura 1.11 Circuit de control amb PSIM

Aquest circuit compara el voltatge de sortida amb la consigna de control per trobar l'error, després l'error és introduït al bloc operacional $H(z)$ (remarcad en roig) el qual dóna un resultat entre 0 i 1. Aquest resultat es compara amb una rampa de 1 V de pic a pic i de 100 kHz (freqüència de mostreig) mitjançant un comparador. La sortida del bloc operacional $H(z)$ ha d'anar retardada, ja que sinó el PI no funcionaria correctament.

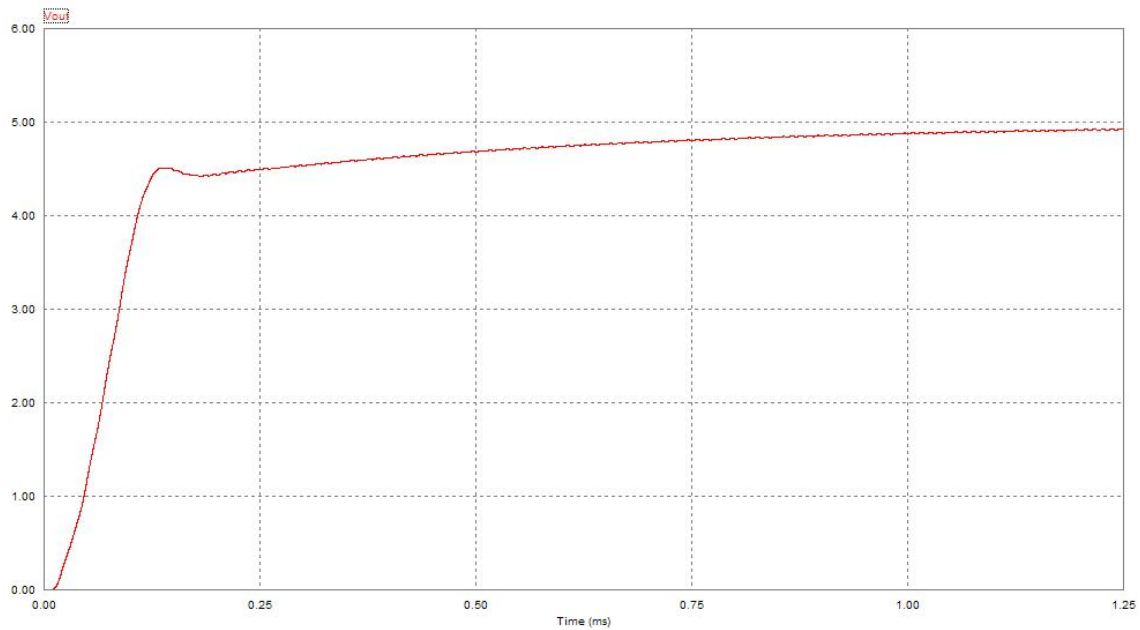


Figura 1.12 Resposta del convertidor Buck per una sortida de 5 V

A la figura 1.12 podem veure les següents dades importants:

- Sobre pic: 4,5 V
 - Baix pic: 4,42 V
- Temps d'establiment: 0,85 ms

1.7.5.2- Simulació utilitzant l'equació en diferències

En aquest apartat es simula el convertidor Buck amb l'equació de control implementada en diferències (1.31), d'aquesta manera comprovarem si la transformació ha estat realitzada amb èxit. Ja que, la resposta del convertidor ha de ser la mateixa.

L'esquema del circuit amb el control implementat en l'equació en diferències, queda de la següent manera:

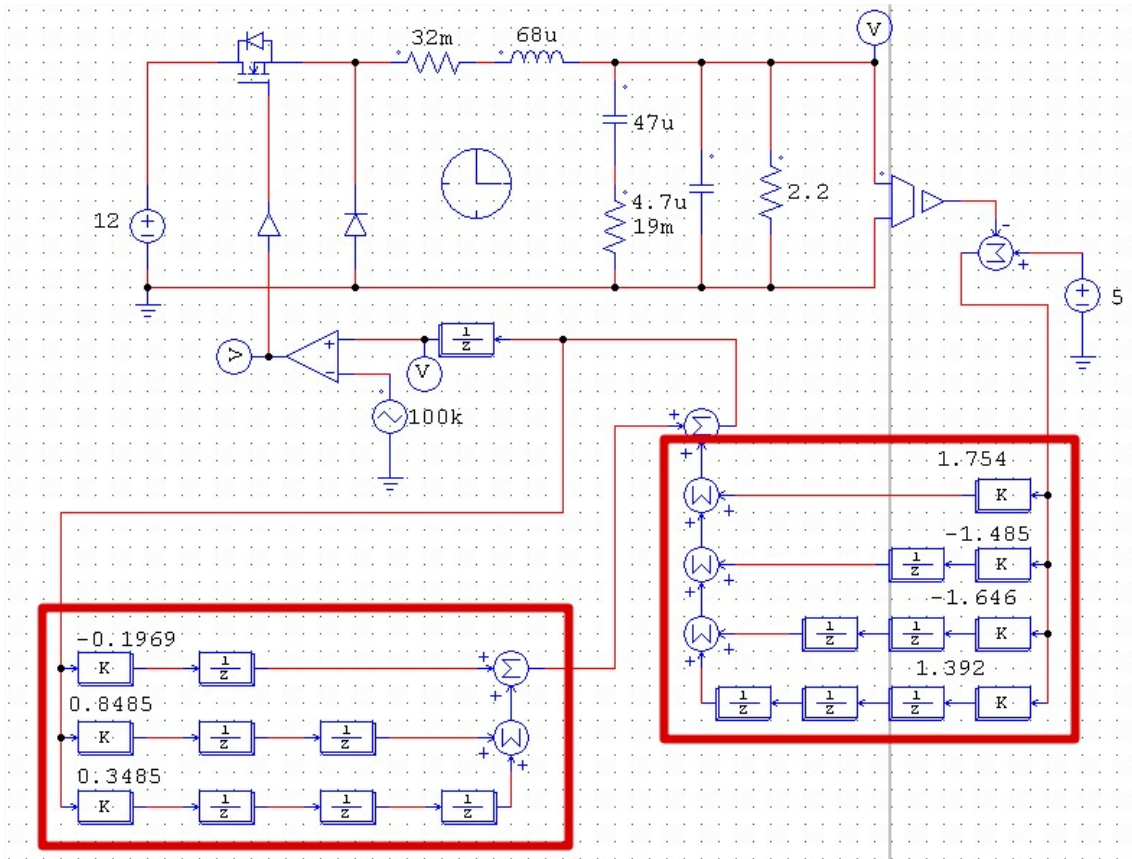


Figura 1.13 Circuit de control en PSIM

Aquest circuit realitza la mateixa funció que el circuit de la figura 1.11, l'única cosa, és que s'ha substituït el bloc operacional $H(z)$ pels guanys individuals per a cada retard.

Es pot observar que al requadre roig de la dreta, que estan tots els guanys amb els seus retards que depenen de l'error a la tensió de sortida (part proporcional), i a l'esquerra es pot veure els guanys amb els seus retards que depenen de l'error acumulat (part integral).

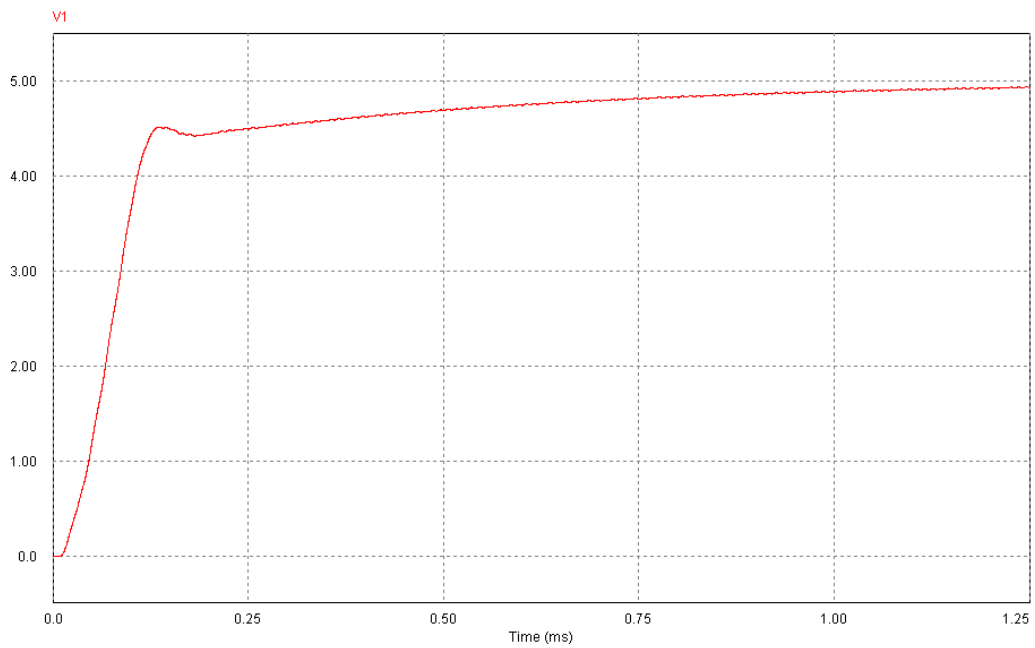


Figura 1.14 Resposta del convertidor Buck per una sortida de 5 V

De la figura 1.14 podem veure les següents dades importants:

- Sobre pic: 4,56 V
 - Baix pic: 4,4 V
- Temps d'establiment: 0,85 ms

Observem que el temps d'establiment és el mateix per tots dos casos i que el sobre pic varia lleugerament. Donem per bona la transformació.

A la següent figura podem observar l'evolució de la corrent a la bobina durant l'establiment del controlador.

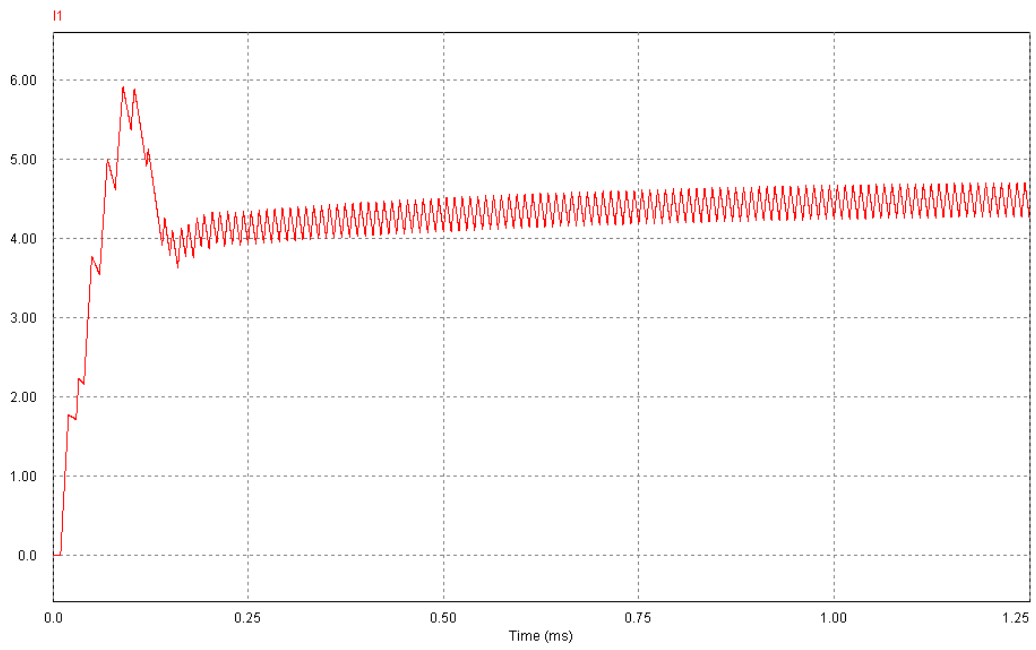


Figura 1.15 Corrent a la bobina per a una sortida de 5 V

1.7.5.3- Resposta del controlador a pertorbacions

Durant el funcionament del dispositiu, aquest es pot veure sotmès a bruscos canvis de càrrega o canvis en el voltatge d'alimentació. Aquets canvis poden produir error a la sortida del convertidor, a causa del canvi de les condicions del circuit sobre les quals es va dissenyar el controlador PI. Per aquest motiu comprovem la resposta del controlador a aquestes pertorbacions.

Canvi de càrrega de 1,1 Ω a 2,2 Ω

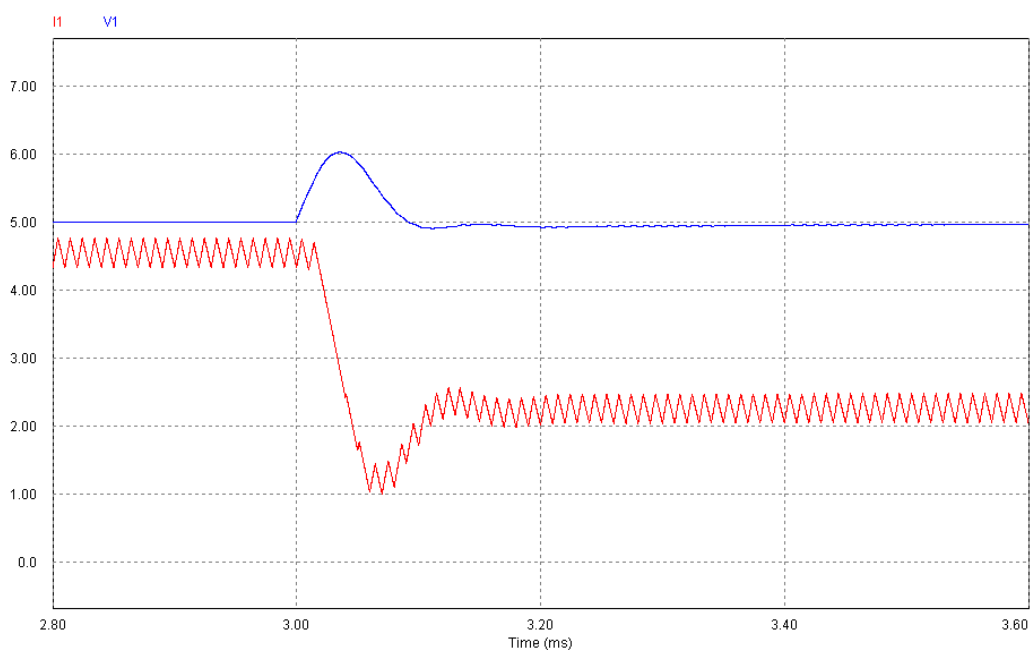


Figura 1.16 Representació de la tensió de sortida i el corrent a l'inductor, durant un canvi de càrrega

De la figura 1.16 podem extreure les següents dades importants:

- Sobre pic: 6,03 V
- Baix pic: No en té.
- Temps d'establiment: 0,08 ms

Canvi de carrega de 2,2 Ω a 1,1 Ω

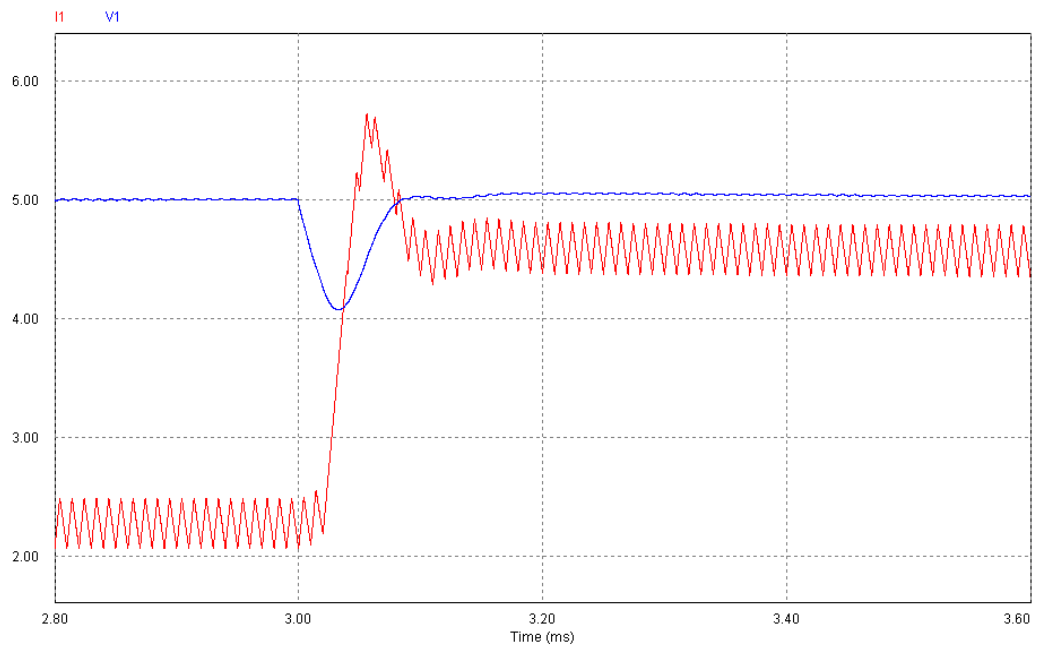


Figura 1.17 Representació de la tensió de sortida i el corrent a l'inductor, durant un canvi de carrega

De la figura 1.17 podem extreure les següents dades importants:

- Sobre pic: No en té.
- Baix pic: 4,07 V
- Temps d'establiment: 0,06 ms

Canvi de la tensió d'entrada de 12 V a 9,6 V amb $R=1,1 \Omega$

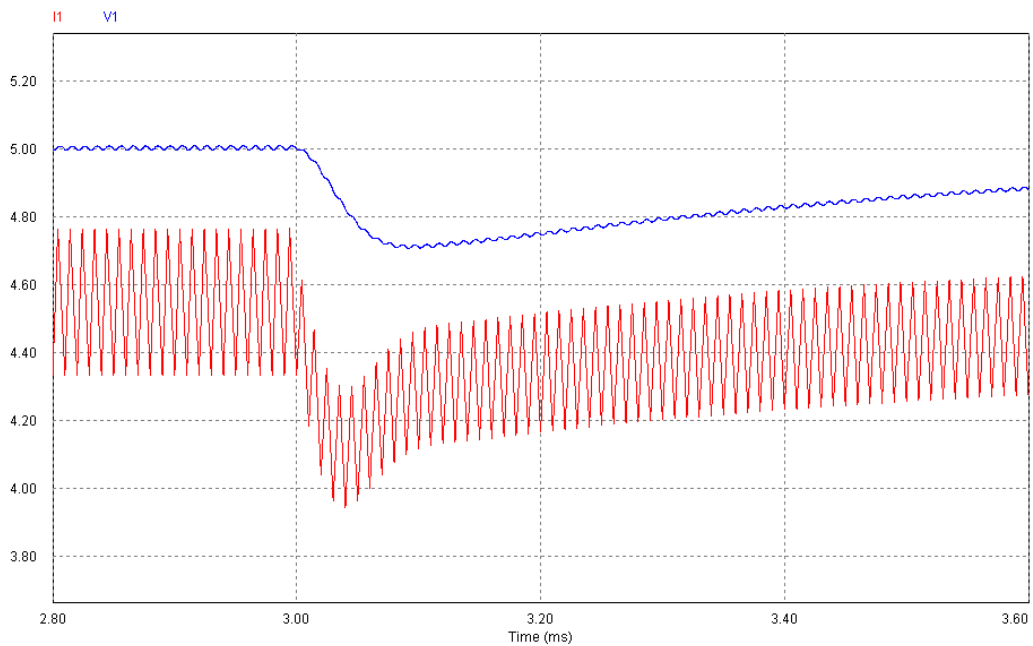


Figura 1.18 Representació de la tensió de sortida i el corrent a l'inductor, durant un canvi de la tensió d'alimentació

De la figura 1.18 podem extreure les següents dades importants:

- Sobre pic: No en té.
- Baix pic: 4,7 V
- Temps d'establiment: 0,47 ms

Canvi de la tensió d'entrada de 9,6 V a 12 V amb $R=1,1 \Omega$

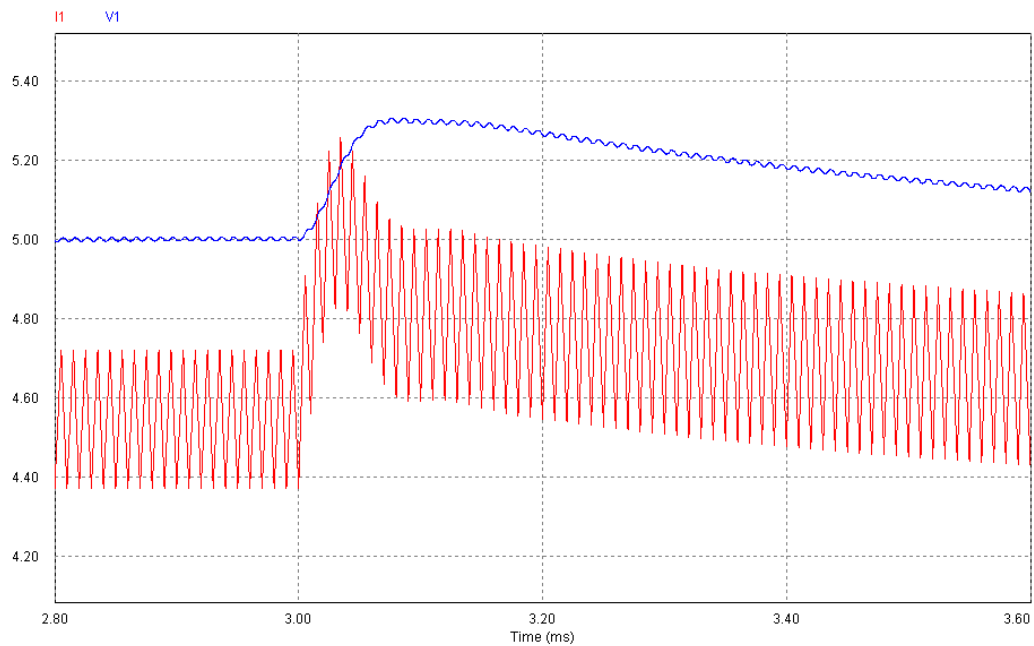


Figura 1.19 Representació de la tensió de sortida i el corrent a l'inductor, durant un canvi de la tensió d'alimentació

De la figura 1.19 podem extreure les següents dades importants:

- Sobre pic: 5,3 V
- Baix pic: No en té.
- Temps d'establiment: 0,49 ms

Canvi de la tensió d'entrada de 12 V a 9,6 V amb $R=2,2 \Omega$

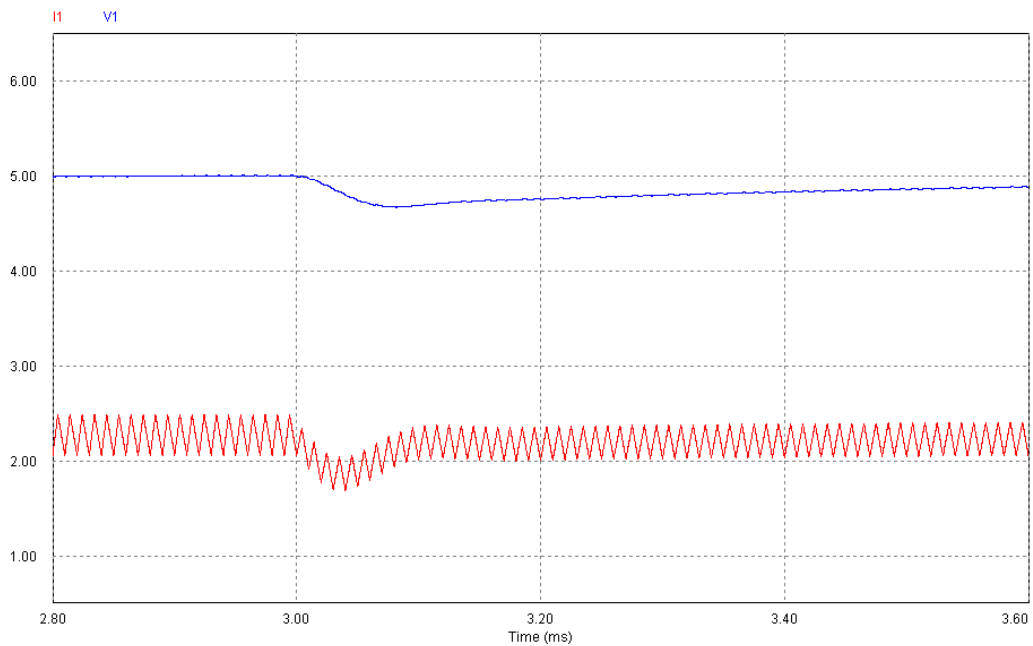


Figura 1.20 Representació de la tensió de sortida i el corrent a l'inductor, durant un canvi de la tensió d'alimentació

De la figura 1.20 podem extreure les següents dades importants:

- Sobre pic: No en té.
- Baix pic: 4,67 V
- Temps d'establiment: 0,43 ms

Canvi de la tensió d'entrada de 9,6 V a 12 V amb $R=2,2 \Omega$

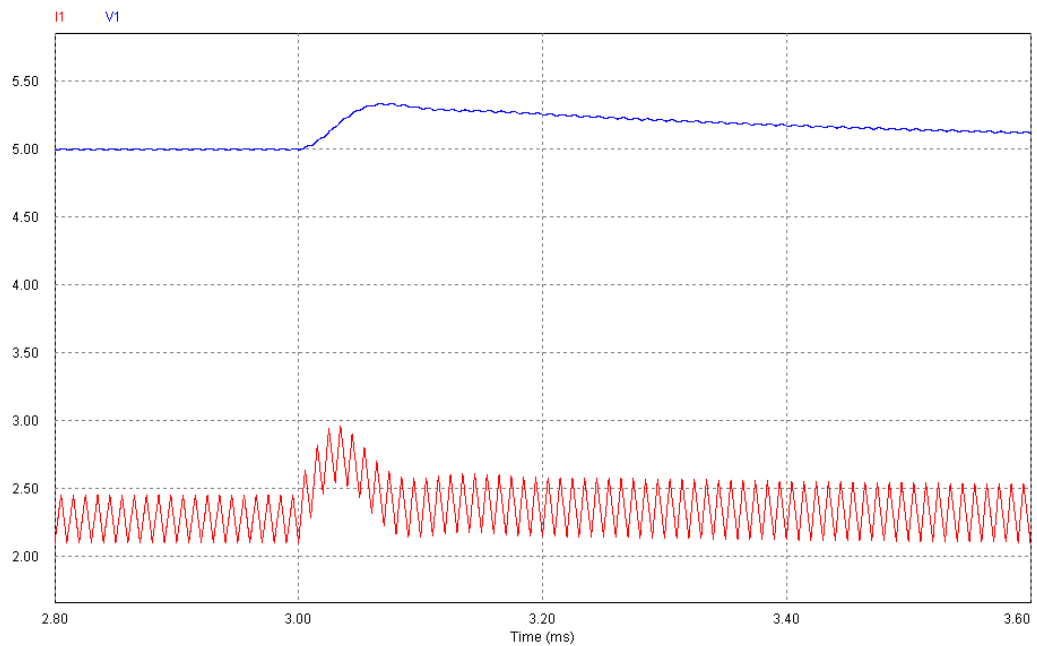


Figura 1.20 Representació de la tensió de sortida i el corrent a l'inductor, durant un canvi de la tensió d'alimentació

De la figura 1.20 podem extreure les següents dades importants:

- Sobre pic: 5,34.
- Baix pic: No en té.
- Temps d'establiment: 0,48 ms

1.8- Resultats finals

En aquest apartat, es mostraran els resultats obtinguts a partir de l'experimentació amb la planta real, controlada mitjançant l'equació de control implementada amb el dcPIC30F2020.

1.8.1- Resposta al canvi de carrega

Canvi de carrega de 1,1 Ω a 2,2 Ω

A la següent figura, podem observar el canvi de carrega de 1,1 Ω a 2,2 Ω , per una tensió d'entrada de 12 volts.

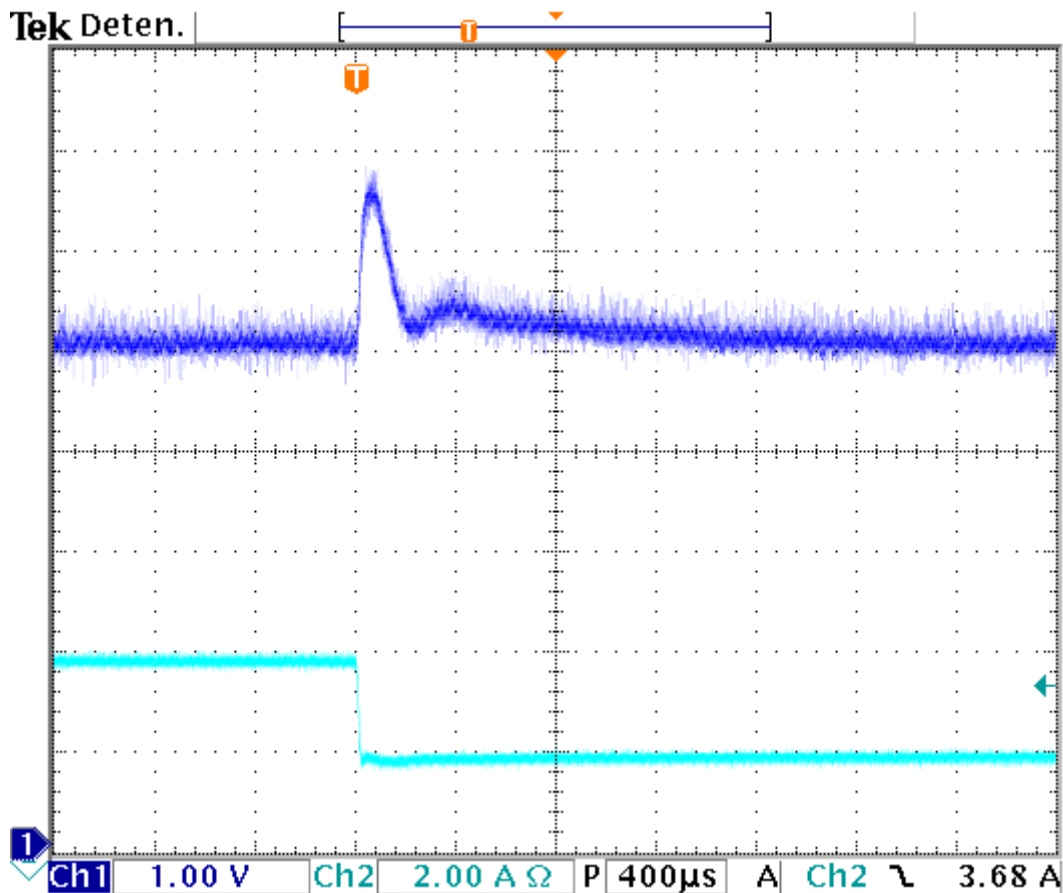


Figura 1.21 Canvi de carrega, de 1,1 Ω a 2,2 Ω

A la figura 1.21, es pot observar la resposta del sistema a un canvi de carrega, de $1,1 \Omega$ a $2,2 \Omega$. Veiem la resposta de la tensió de sortida (blau fort) i la corrent (blau fluix).

Es pot observar que la tensió fa un sobre pic, 0,5 volts per damunt del calculat teòricament. Aquest augment pot ser degut, al soroll i al no incloure als càlculs les pèrdues dels dispositius. Però ràpidament s'estabilitza un altre cop al punt de treball.

Per altra banda, es pot observar que el corrent de sortida fa una caiguda a la meitat del seu valor inicial. Això es pot demostrar amb la llei d'ohm:

Corrent de sortida avanç del canvi de carrega:

$$I_o = \frac{V_o}{R} \rightarrow I_o = \frac{5}{1,1} = 4,55 \text{ A} \quad (1.32)$$

Corrent de sortida un cop realitzat el canvi de carrega:

$$I_o = \frac{5}{2,2} = 2,27 \text{ A} \quad (1,33)$$

La resposta de la corrent de sortida millora en respecte la calculada teòricament, la qual fa un baix pic de 1 A i experimentalment no fa cap mena de pic.

Malgrat les petites diferències, la resposta del sistema al canvi de carrega de $1,1 \Omega$ a $2,2 \Omega$, es pot donar per bo, ja que el controlador ràpidament estabilitza la tensió de sortida a 5 volts. Aquest acció es porta a terme en 0,4 ms, la diferència amb el calculat teòricament rau al temps de reacció que tenen els BJT's del driver i del mateix temps de computació del PMOS.

Canvi de carrega de 2,2 Ω a 1,1 Ω

A la següent figura, podem observar el canvi de carrega de 2,2 Ω a 1,1 Ω , per una tensió d'entrada de 12 volts.

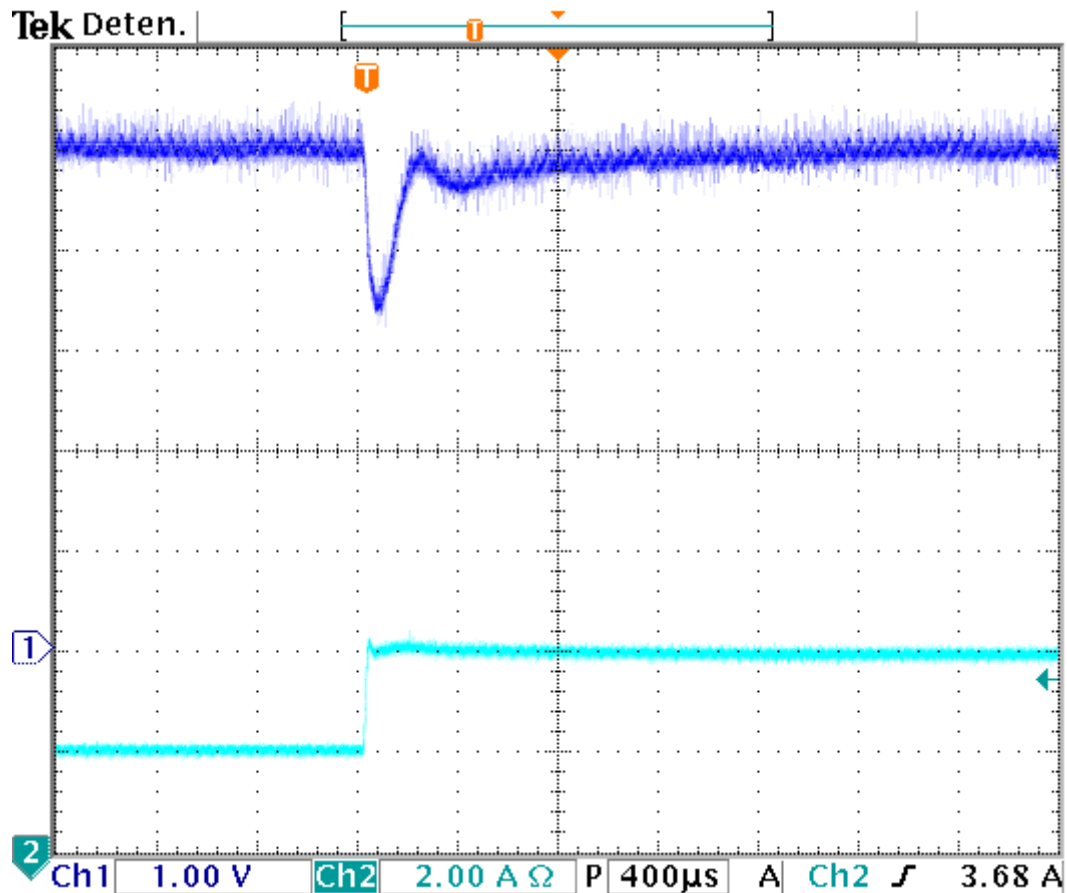


Figura 1.22 Canvi de carrega, de 2,2 Ω a 1,1 Ω

A la figura 1.21, es pot observar la resposta del sistema a un canvi de carrega, de 2,2 Ω a 1,1 Ω . Veiem la resposta de la tensió de sortida (blau fort) i la corrent (blau fluix).

Es pot observar, que la tensió de sortida fa un baix pic, 0,5 volts per sota del calculat teòricament. Aquest augment pot ser degut, al soroll i al no incloure als càlculs les pèrdues dels dispositius. Però ràpidament s'estabilitza un altre cop al punt de treball.

Per altra banda, es pot observar que el corrent de sortida fa un augment al doble del seu valor inicial. Això es pot demostrar amb la llei d'ohm:

Corrent de sortida avanç del canvi de carrega:

$$I_o = \frac{5}{2,2} = 2,27 \text{ A} \quad (1,34)$$

Corrent de sortida un cop realitzat el canvi de carrega:

$$I_o = \frac{5}{1,1} = 4,55 \text{ A} \quad (1,35)$$

La resposta de la corrent de sortida millora en respecte la calculada teòricament, la qual fa un sobre pic de 1 A i experimentalment no fa cap mena de pic.

Malgrat les petites diferències, la resposta del sistema al canvi de carrega de 2,2 Ω a 1,1 Ω , es pot donar per bo, ja que el controlador ràpidament estabilitza la tensió de sortida a 5 volts. Aquest acció es porta a terme en 0,6 ms, la diferència amb el calculat teòricament rau al temps de reacció que tenen els BJT's del driver i del mateix temps de computació del PMOS.

Canvi de carrega de 1,1 Ω a 2,2 Ω i de 2,2 Ω a 1,1 Ω

A la figura 1.23 podem observar el canvi de carrega de 1,1 Ω a 2,2 Ω i de 2,2 Ω a 1,1 Ω a una tensió d'alimentació de 12 volts seguides, d'aquesta manera podem veure la fiabilitat del control davant canvis de carrega encadenats.

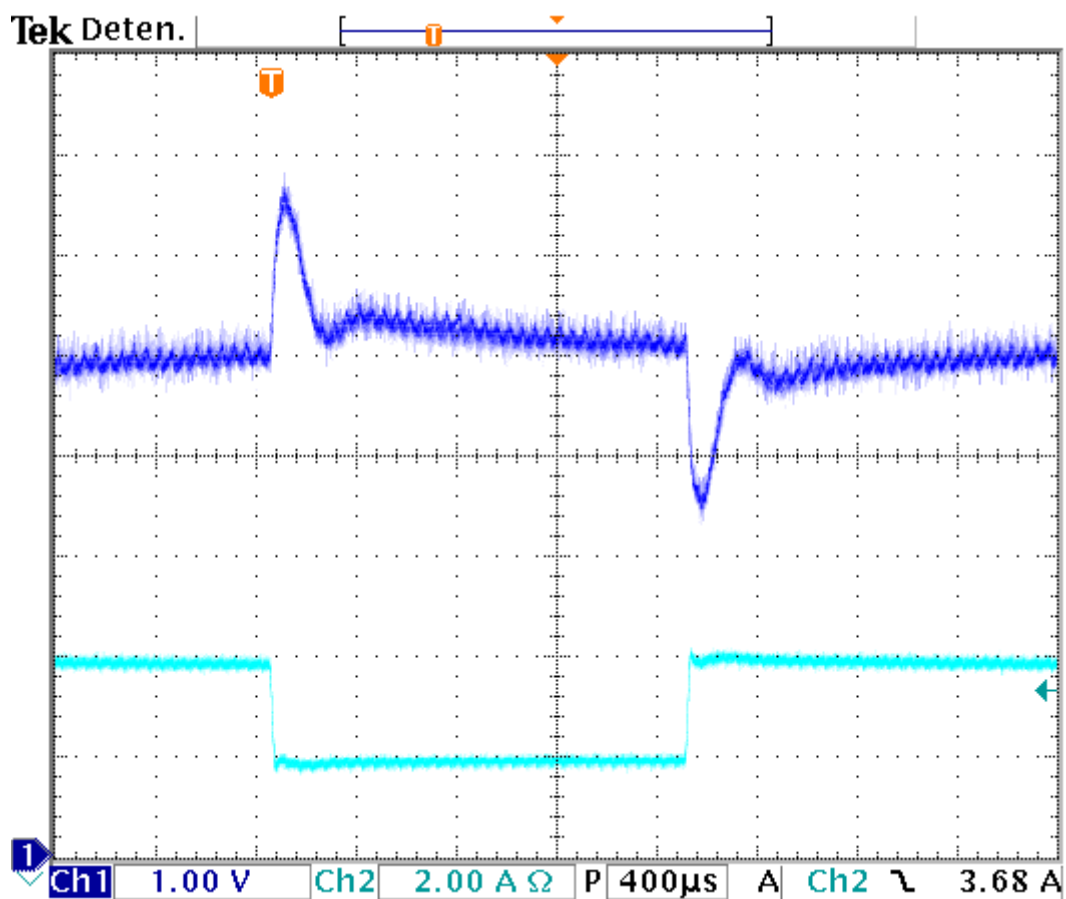


Figura 1.23 Canvis de carrega encadenats

A la figura 1.23, es pot observar la resposta del sistema a un canvi de carrega, de $1,1 \Omega$ a $2,2 \Omega$ i després de $2,2 \Omega$ a $1,1 \Omega$. Veiem la resposta de la tensió de sortida (blau fort) i la corrent (blau fluix).

Podem observar que la figura 1.23 és la combinació de les figures 1.21 i 1.22. De a figura podem extreure que el controlador reacciona bé a canvis de carrega encadenats.

Un cop més, es pot afirmar que aquest controlador es prou sòlid per regular la planta, per la seva rapidesa i la seva estabilitat.

1.9- Planificació

En aquest projecte s'han establert les següents activitats:

- Activitat 1: Documentació i anàlisi de PDF's.
- Activitat 2: Càlcul de l'equació de transferència del convertidor Buck.
- Activitat 3: Càlcul dels controladors mitjançant Matlab.
- Activitat 4: Experimentació dels controladors mitjançant PSIM.
- Activitat 5: Muntatge de la planta a la placa de topes (prototip).
- Activitat 6: Probes de operació amb el prototip.
- Activitat 7: Muntatge de la placa de programació (GAEI).
- Activitat 8: Desenvolupament del programa de control.
- Activitat 9: Anàlisi de funcionament.
- Activitat 10: Disseny de la placa PBC mitjançant Orcad.
- Activitat 11: Redacció de la memòria del projecte.

Temps requerit	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Tipus d'activitat						
Activitat 1						
Activitat 2						
Activitat 3						
Activitat 4						
Activitat 5						
Activitat 6						
Activitat 7						
Activitat 8						
Activitat 9						
Activitat 10						
Activitat 11						

Taula 1.2 Planificació del projecte

Segons la taula 1.2, el projecte té una durada de 6 mesos.

1.10- Ordre de prioritat entre els documents bàsics

Davant de les possibles discrepàncies que puguin sorgir durant l'elaboració d'aquest projecte, de cara al client s'estableix l'ordre de prioritat dels documents bàsics següents:

- Plànols
- Plec de condicions
- Pressupost
- Memòria

El DEEEA

El tècnic

Dr. Enric Vidal Idiarte

Rolan Sanjuan Ferrús

Document n^om. 2

ÍNDIX

Document núm. 2: ANNEXOS

2.0- Índex.....	56
2.1- Documents de partida.....	58
2.2- Càlculs.....	58
2.2.1- Càlcul de la funció de transferència del convertidor Buck.....	58
2.2.2- Càlcul de dissipador.....	68
2.2.3- Càlcul del controlador.....	72
2.2.4- Discretització de controladors.....	75
2.2.5- Selecció del controlador.....	76
2.2.6- Adaptació de la senyal (10 V a 5 V).....	82
2.2.7- Selecció de l'oscil·lador.....	83
2.2.7.1- Velocitat d'oscil·lació del CAD.....	84
2.2.7.2- Càlcul del registre del període del PWM.....	84
2.2.8- Adequació de les constants de l'equació en diferències.....	85
2.3- Annex d'aplicació en l'àmbit del projecte.....	87
2.3.1- Elecció del microcontrolador.....	87
2.3.2- El convertidor analògic/digital.....	88
2.3.2.1- Registre de control del mòdul A/D (ADCON).....	90
2.3.2.2- Registre d'estat del mòdul A/D (ADSTAT).....	92
2.3.2.3- Registre base del convertidor A/D (ADBASE).....	93
2.3.2.4- Registre de configuració dels ports del ADC (ADPCFG).....	93
2.3.2.5- Registre de control de parella de conversió #0 (ADCPC0).....	94
2.3.2.6- Registre de control de parella de conversió #1 i #2 (ADCPC1, ADCPC2).....	96
2.3.3- Els temporitzadors.....	96
2.3.4- El mòdul PWM.....	98
2.3.4.1- Registre de control de la base de temps (PTCON).....	100
2.3.4.2- Registre de la base de temps primària (PTPER).....	102
2.3.4.3- Registre de comparació d'esdeveniment especial (SEVTCMP).....	102
2.3.4.4- Registre mestre del cicle de treball (MDC).....	103

2.3.4.5-	Registre de control del PWM (PWMCONx).....	103
2.3.4.6-	Registre del cicle de treball (PDCx).....	105
2.3.4.7-	Registre de desfasament (PHASEx).....	105
2.3.4.8-	Registre de temps mort (DTRx).....	106
2.3.4.9-	Registre de temps mort alternatiu (ALTDTRx).....	106
2.3.4.10-	Registre de control de disparament (TRGCONx).....	106
2.3.4.11-	Registre de control d'entrada/sortida (IOCONx).....	107
2.3.4.12-	Registre de control de fallada per sobrecàrrega del PWM (FCLCONx).....	109
2.3.4.13-	Registre del valor de comparació pel disparament (TRIGx).....	110
2.3.5-	Interrupcions.....	110
2.3.5.1-	Registre de control de interrupció 1 (INTCON1).....	112
2.3.5.2-	Registre de control de interrupció 2 (INTCON2).....	113
2.3.5.3-	Registre d'estat del flag de interrupció 0 (IFS0).....	114
2.3.5.4-	Registre d'estat de interrupció 1 (IFS1).....	115
2.3.5.5-	Registre d'estat del flag de interrupció 2 (IFS2).....	117
2.3.5.6-	Registre de control d'habilitació d'interrupció 0 (IEC0).....	118
2.3.5.7-	Registre de control d'habilitació d'interrupció 1 (IEC1).....	119
2.3.5.8-	Registre de control d'habilitació d'interrupció 2 (IEC2).....	121
2.3.5.9-	Registre de control de prioritat d'interrupcions (IPCx).....	122
2.3.6-	Descripció del programa.....	123
2.3.6.1-	Interrupció.....	125

2.1- Documents de partida

Per establir els requisits de disseny, analitzar les diferents solucions i finalment arribar a unes conclusions, s'ha tingut present la següent informació:

- La reglamentació adequada citada a l'apartat 1.4.1 de la memòria.
- La bibliografia citada a l'apartat 1.4.2 de la memòria.
- L'esquema primari del circuit.

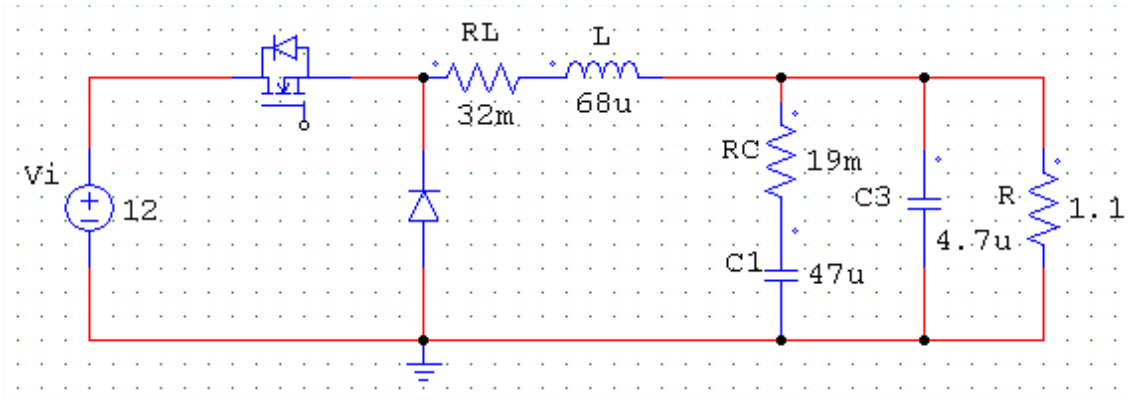
2.2- Càlculs

A continuació es raonen tots els càlculs que s'han realitzat a l'hora de fer el disseny del sistema.

2.2.1- Càlcul de la funció de transferència del convertidor Buck

Per a poder dissenyar el controlador integrador, primer s'ha de conèixer el comportament del circuit en qüestió, amb el nostre cas un convertidor reductor o Buck. Per aquest motiu hem d'extreure la funció de transferència.

La funció es pot extreure de diverses formes, per a realitzar-ho de manera ràpida i compacta, utilitzem el mètode de *mitjanament a de l'espai d'estats*, hem extret les equacions diferencials dels tres components variables amb el temps i d'aquesta manera utilitzant el càlcul sistemàtic per matrius per trobar la relació entrada - sortida.



Per a dur a terme aquest mètode de càlcul, hem d'extreure les equacions característiques analitzant el circuit en t_{on} i en t_{off} :

► t_{on} :

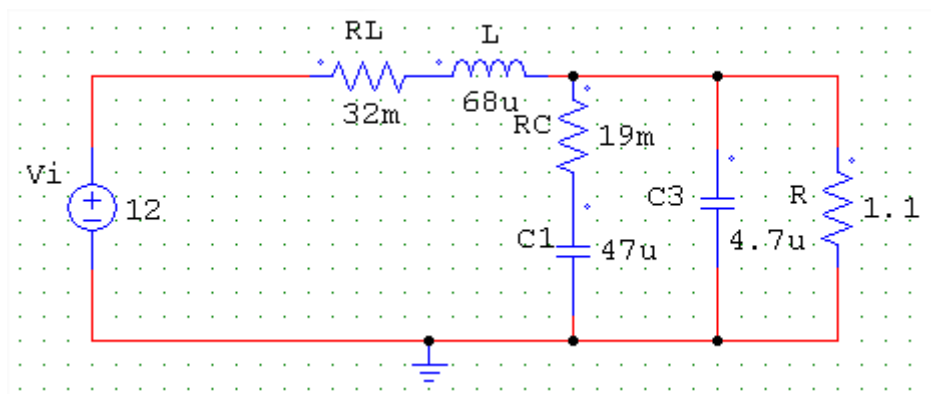


Figura 2.2 Convertidor Buck durant t_{on}

Troblem la relació dels corrents que circulen per les rames:

$$i_L = i_{c1} + i_{c2} + i_R \rightarrow i_{c1} = i_L - i_{c2} - i_R \quad (2.1)$$

Troblem la relació de tensions:

$$V_g = L \frac{di_L}{dt} + i_L r_L + V_{c2} \rightarrow \frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L} (V_g - V_{c2} - i_L r_L) \quad (2.2)$$

Arreglant l'expressió (2.2), obtenim l'equació del corrent a través de la bobina en funció de la tensió d'entrada i sortida:

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L}V_g - \frac{1}{L}V_{c2} - \frac{r_L}{L}i_L \quad (2.3)$$

Busquem la relació de la tensió (C_1) en funció de la tensió de sortida (C_2):

$$V_{c2} = V_{c1} + i_{c1}r_c \rightarrow i_{c1} = \frac{V_{c2}}{r_c} - \frac{V_{c1}}{r_c} \quad (2.4)$$

On:

$$i_{c1} = C_1 \frac{dV_{c1}}{dt} \quad (2.5)$$

Combinant les equacions (2.4) i (2.5), obtindrem l'equació de la tensió al condensador (C_1):

$$\frac{dV_{c1}}{dt} = \frac{V_{c2} - V_{c1}}{r_c C_1} \quad (2.6)$$

Finalment, busquem la tensió a la sortida, per això hem de trobar la relació de corrents en funció de la corrent de sortida:

$$i_{c2} = i_L - i_{c1} - i_R \quad (2.7)$$

On:

$$i_R = \frac{V_{c2}}{R} \quad (2.8)$$

$$i_{c2} = C_2 \frac{dV_{c2}}{dt} \quad (2.9)$$

Substituint a l'equació (2.7) les expressions (2.4), (2.8) i (2.9) obtenim:

$$C_2 \frac{dV_{c2}}{dt} = i_L - \left(\frac{V_{c2} - V_{c1}}{r_c} \right) - \frac{V_{c2}}{R} \quad (2.10)$$

Aïllant el diferencial de l'equació (2.10):

$$\frac{dV_{c2}}{dt} = \frac{i_L}{C_2} + \frac{V_{c1}}{r_c C_2} - \left(\frac{1}{r_c C_2} + \frac{1}{RC_2} \right) V_{c2} \quad (2.11)$$

Un cop trobades les equacions característiques del convertidor Buck hem de muntar el sistema de matrius, seguint la formula $\dot{X} = A_1 x + B_1$. On:

- \dot{X} : Corrents i tensions variables amb el temps.
- A_1 : Components que intervenen.
- x : Corrents i tensions que intervenen al circuit.
- B_1 : Excitacions externes.

El sistema queda de la forma següent:

$$\begin{bmatrix} di_L/dt \\ dV_{c1}/dt \\ dV_{c2}/dt \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -r_L/L & 0 & -1/L \\ 0 & -1/r_c C_1 & 1/r_c C_1 \\ 1/C_2 & 1/r_c C_2 & -\left(1/r_c C_2 + 1/RC_2\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ V_{c1} \\ V_{c2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_g/L \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

El sistema d'equacions anterior (2.12), representa el comportament del convertidor Buck durant t_{on} . Ara hem de trobar les equacions dinàmiques durant t_{off} .

► t_{off} :

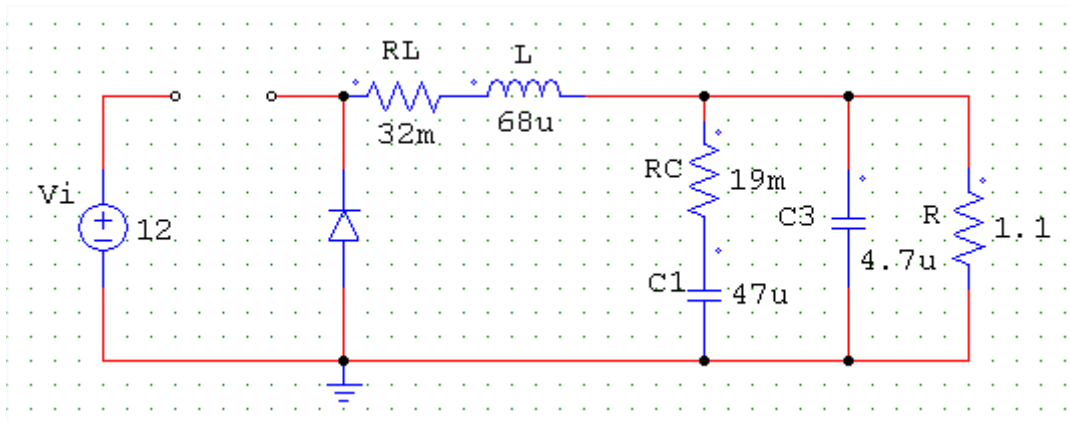


Figura 2.3 Convertidor Buck durant t_{off}

Si observem el circuit de la figura 2.3, podem concloure que és igual al de la figura 2.2, però sense la font d'alimentació, per aquest motiu podem extreure:

$$A_2 = A_1 \text{ i } B_2 = 0 \quad (2.13)$$

A partir de les relacions (2.13) construïm el sistema de matrius, seguint la fórmula $\dot{X} = A_2 x + B_2$:

$$\begin{bmatrix} di_L/dt \\ dV_{c1}/dt \\ dV_{c2}/dt \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -r_L/L & 0 & -1/L \\ 0 & -1/r_c C_1 & 1/r_c C_1 \\ 1/C_2 & 1/r_c C_2 & -\left(1/r_c C_2 + 1/RC_2\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ V_{c1} \\ V_{c2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

Un cop hem obtingut els sistemes d'equacions (2.12) i (2.14), apliquem el cicle de treball tant per les A com per les B. Per a realitzar-ho, apliquem les fórmules següents:

$$Au = A_1(u) + A_2(u') \quad (2.15)$$

$$Bu = B_1(u) + B_2(u') \quad (2.16)$$

On:

$$u' = (1-u) \quad (2.17)$$

Aplicant la fórmula (2.15) i substituint pels seus valors obtenim:

$$\begin{aligned}
 Au &= \begin{bmatrix} -r_L u / L & 0 & -u / L \\ 0 & -u / r_c C_1 & u / r_c C_1 \\ u / C_2 & u / r_c C_2 & -\left(1 / r_c C_2 + 1 / RC_2\right) u \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -r_L u' / L & 0 & -u' / L \\ 0 & -u' / r_c C_1 & u' / r_c C_1 \\ u' / C_2 & u' / r_c C_2 & -\left(1 / r_c C_2 + 1 / RC_2\right) u' \end{bmatrix} = \\
 &= \begin{bmatrix} -r_L / L & 0 & -1 / L \\ 0 & -1 / r_c C_1 & 1 / r_c C_1 \\ 1 / C_2 & 1 / r_c C_2 & -\left(1 / r_c C_2 + 1 / RC_2\right) \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Substituint:

$$Au = \begin{bmatrix} -8000 / 17 & 0 & -250000 / 17 \\ 0 & -1e9 / 893 & 1e9 / 893 \\ 1e7 / 47 & 1e10 / 893 & -1119e8 / 9823 \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

Ara, aplicant la fórmula (2.16) i substituint pels seus valors obtenim:

$$Bu = \begin{bmatrix} V_g u / L \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_g u / L \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Substituint:

$$Bu = \begin{bmatrix} 3e6u/17 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

Un cop realitzat el pas anterior, hem de trobar els valors de les variables d'estat en estat estacionari. Per a realitzar-ho, aplicarem la següent fórmula:

$$X_{ss} = -Au_{ss}^{-1}Bu_{ss} \quad (2.20)$$

On:

$$Au_{ss} = Au|_{u=D} = Au = \begin{bmatrix} -8000/17 & 0 & -250000/17 \\ 0 & -1e9/893 & 1e9/893 \\ 1e7/47 & 1e10/893 & -1119e8/9823 \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

$$Bu_{ss} = Bu|_{u=D} = \begin{bmatrix} 3e6D/17 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

Calculem la matriu inversa de l'equació (2.21)

$$Au_{ss}^{-1} = \begin{bmatrix} -6,007e-5 & 4,567e-5 & 4,567e-6 \\ -6,608e-5 & -2,354e-6 & -1,461e-7 \\ -6,608e-5 & -1,461e-5 & -1,461e-7 \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

Combinant l'expressió (2.20) amb la (2.22) i (2.23), obtenim el càlcul amb estacionari

$$X_{ss} = \begin{bmatrix} 10,601 D \\ 11,661 D \\ 11,661 D \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

Per finalitzar, buscarem el model dinàmic en petit senyal del convertidor, trobant la relació entrada – sortida d'aquest. Per a realitzar-ho aplica:

$$G_v(s) = \left. \frac{\hat{V}(s)}{\hat{U}(s)} \right|_{\hat{V}_g(s)=0} \quad (2.25)$$

Per a completar l'equació (2.25), hem de partir de l'equació següent:

$$(s\Pi - Au_{ss})\hat{X}(s) = K\hat{U}(s) + Bu_{ss}\hat{V}_g(s) \quad (2.26)$$

De la condició de l'equació (2.25) extraïem que de l'equació (2.26), sol utilitzarem una part:

$$(s\Pi - Au_{ss})\hat{X}(s) = K\hat{U}(s) \quad (2.27)$$

Per començar calcularem el valor de K, que ve donat per l'equació:

$$K = (A_1 - A_2)X_{ss} + B_1 - B_2 \quad (2.28)$$

Calculem:

$$A_1 - A_2 = 0 \text{ ja que } A_1 = A_2 \quad (2.29)$$

$$(B_1 - B_2) = \begin{bmatrix} 3e6/17 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3e6/17 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

De les equacions (2.29) i (2.30) combinades amb l'equació (2.28) obtenim:

$$K = 0 \cdot \begin{bmatrix} 10,601D \\ 11,661D \\ 11,661D \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 3e6/17 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3e6/17 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

Calculem $(s\Pi - Au_{ss})$ de l'equació (2.27):

$$(s\Pi - Au_{ss}) = \begin{pmatrix} s & 0 & 0 \\ 0 & s & 0 \\ 0 & 0 & s \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} -8000/17 & 0 & -25e4/17 \\ 0 & -1e9/893 & 1e9/893 \\ 1e7/47 & -1e10/893 & -1119e8/9823 \end{pmatrix}$$

Calculant:

$$(s\Pi - Au_{ss}) = \begin{pmatrix} s + \frac{8000}{17} & 0 & \frac{25e4}{17} \\ 0 & s + \frac{1e9}{893} & \frac{-1e9}{893} \\ \frac{-1e7}{47} & \frac{-1e10}{893} & s + \frac{1119e8}{9823} \end{pmatrix} \quad (2.32)$$

Aïllant $\hat{X}(s)$ de l'expressió (2.27) obtenim que:

$$\hat{X}(s) = (s\Pi - Au_{ss})^{-1} K \hat{U}_{(s)} \quad (2.33)$$

Calculem la matriu inversa de la matriu (2.32). Primer el determinant:

$$|s\Pi - Au_{ss}| = s^3 + \frac{2089378584000}{166991} s^2 + \frac{1609789e11}{713507} s + \frac{283e20}{7848577} = \Delta \quad (2.34)$$

Calculem els adjunts de la matriu (2.32):

$$\begin{aligned}
 \Delta_{11} &= \begin{vmatrix} s + \frac{1e9}{893} & \frac{-1e9}{893} \\ \frac{-1e10}{893} & s + \frac{1119e8}{9823} \end{vmatrix} = s^2 + \frac{113e9}{9823}s + \frac{988e16}{8771939} \\
 \Delta_{12} &= - \begin{vmatrix} 0 & \frac{-1e9}{893} \\ \frac{-1e7}{47} & s + \frac{1119e8}{9823} \end{vmatrix} = \frac{1e16}{41971} \\
 \Delta_{13} &= \begin{vmatrix} 0 & s + \frac{1e9}{893} \\ \frac{-1e7}{47} & \frac{-1e10}{893} \end{vmatrix} = \frac{1e7}{47}s + \frac{1e16}{41971} \\
 \Delta_{21} &= - \begin{vmatrix} 0 & \frac{25e4}{17} \\ \frac{-1e10}{893} & s + \frac{1119e8}{9823} \end{vmatrix} = -\frac{25e14}{15181} \\
 \Delta_{22} &= \begin{vmatrix} s + \frac{8000}{17} & \frac{25e4}{17} \\ \frac{-1e7}{47} & s + \frac{1119e8}{9823} \end{vmatrix} = s^2 + \frac{1902378584000}{166991}s + \frac{14177e11}{166991} \\
 \Delta_{23} &= - \begin{vmatrix} s + \frac{8000}{17} & 0 \\ \frac{-1e7}{47} & \frac{-1e10}{893} \end{vmatrix} = \frac{1e10}{893}s - \frac{8e13}{15181} \\
 \Delta_{31} &= \begin{vmatrix} 0 & \frac{25e4}{17} \\ s + \frac{1e9}{893} & \frac{1e9}{893} \end{vmatrix} = -\frac{25e4}{17}s - \frac{25e13}{15181} \\
 \Delta_{32} &= \begin{vmatrix} s + \frac{8000}{17} & \frac{25e4}{17} \\ 0 & \frac{1e9}{893} \end{vmatrix} = \frac{1e9}{893}s + \frac{8e12}{15181} \\
 \Delta_{33} &= \begin{vmatrix} s + \frac{8000}{17} & 0 \\ 0 & s + \frac{1e9}{893} \end{vmatrix} = s^2 + \frac{17007144000}{15181}s + \frac{8e12}{15181}
 \end{aligned} \tag{2.35}$$

Substituint els càlculs de les equacions (2.34) i (2.35) amb l'equació (2.33), obtenim el sistema d'equacions matricial següent:

$$\begin{bmatrix} I_L(s) \\ V_{c1}(s) \\ V_{c2}(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta_{11}/\Delta & \Delta_{21}/\Delta & \Delta_{31}/\Delta \\ \Delta_{12}/\Delta & \Delta_{22}/\Delta & \Delta_{32}/\Delta \\ \Delta_{13}/\Delta & \Delta_{23}/\Delta & \Delta_{33}/\Delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Vg/L \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \hat{U}_{(s)} \quad (2.36)$$

Aïllant del sistema (2.36) la tensió de sortida $V_{c2}(s)$, i substituint a l'equació (2.25), obtindrem la funció de transferència del convertidor Buck.

$$V_{c2}(s) = \frac{1e17}{47} \frac{s + \frac{1e16}{41971}}{\Delta} \cdot \frac{\hat{U}_{(s)}}{68e-6} \quad (2.37)$$

$$G_v(s) = K \frac{s + 1119820,829}{s^3 + 12756247,85s^2 + 2,25616427e11s + 3,60574917e15} \quad (2.38)$$

on $K = 3,754693366e10$

De l'equació (2.38) podem extreure que el sistema té tres pols i un zero, introduint el denominador de la funció de transferència al Matlab, obtenim que dels pols, un és un pol simple i els altres dos són complexos conjugats.

$$G_v(s) = K \frac{s + 1119820,829}{(s + 1,2739e7)(s^2 + 18000s + 2,77e8)} \quad (2.39)$$

on $K = 3,754693366e10$

2.2.2- Càlcul del dissipador

Els PMOS (interruptors) reals, tenen una caiguda de tensió quan condueixen a causa de la resistència que presenta la unió drenador sortidor. Quant estan en tall, tenen una petita fuga de corrent. A més, la commutació no és absolutament instantània, això

implica que tant en conducció com en commutació els interruptors dissipin potència i aquesta s'allibera en forma de calor. Aquesta calor pot danyar o fins hi tot arribar a destruir el dispositiu, per aquest motiu és important saber la temperatura màxima que pot suportar el dispositiu, aquesta informació la podem trobar al datasheet del fabricant [2].

Per això és necessari la col·locació d'un dispositiu per optimitzar la transferència de calor amb l'ambient. L'objectiu de la qual és aconseguir que la temperatura del dispositiu no arribi mai, inclús en les pitjors circumstàncies, a la màxima estipulada pel fabricant, ja que es podria donar la destrucció del dispositiu.

El circuit que permet conèixer el tipus de dissipador a triar és el següent:

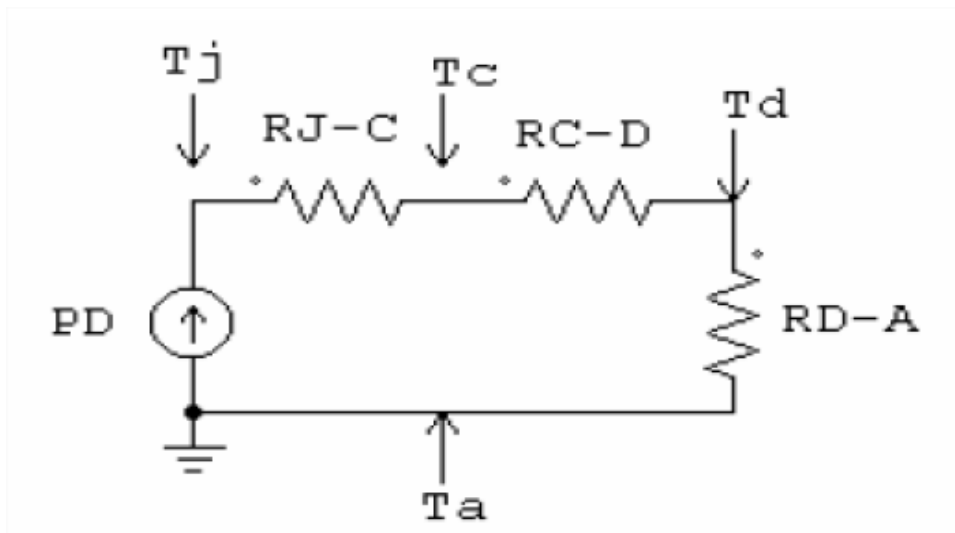


Figura 2.4 Circuit tèrmic equivalent en estat estacionari

On:

- Rj-c és la resistència tèrmica unió – càpsula
- Rc-d és la resistència tèrmica càpsula - dissipador
- Rd-a és la resistència tèrmica dissipador - ambient
- Pd és la potència total dissipada pel dispositiu
- Tj és la temperatura de la unió
- Tc és la temperatura de la càpsula
- Td és la temperatura del dissipador
- Ta és la temperatura ambient

Per a poder realitzar el càlcul del dissipador, tal com s'ha esmentat anteriorment, és necessari conèixer els paràmetres del convertidor Buck i els paràmetres del interruptor (PMOS).

► Paràmetres del convertidor Buck:

- Temperatura ambient (T_a): 25°C
- $I_{m\grave{a}x}=4,5$ A
- $V_{in}=12$ V
- $V_{out}=5$ V
- $f=100$ kHz

► Paràmetres del PMOS:

- $R_{DS(on)}=0,3$ Ω
- $R_{j-c}=1,67$ °C/W
- $R_{j-a}=62,5$ °C/W
- $R_{c-d}=0,28$ °C/W
- $t_{on}=150$ ns
- $t_{off}=150$ ns
- $T_{m\grave{a}x}$ del PMOS (T_j)=150 °C

Per a realitzar el càlcul ens hem de basar en l'equació següent:

$$T_j - T_a = P_D (R_{jc} + R_{cd} + R_{da}) \quad (2.40)$$

Com hem dit anteriorment, el PMOS dissipa potència durant la conducció i durant la commutació. Doncs hem de calcular la potència dissipada durant els dos casos.

Durant el període de conducció la potència que dissipa el PMOS s'ha de calcular pel pitjor dels casos, que és quan té una tensió d'entrada de 9,6 V i una càrrega d'1,1 Ω , en aquestes condicions, el cicle de treball és de 0,6. En el càlcul realitzat es considerarà un duty cycle de 0,7 per anar sobre segur:

$$P_{D_on} = I_{MAX}^2 \cdot R_{ds(on)} \cdot dc_{MAX} = 4,5^2 \cdot 0,3 \cdot 0,7 = 4,253 \text{ W} \quad (2.41)$$

Repetim el càlcul anterior però per el període de commutació:

$$P_{D_COMMUTACIO} = V \cdot I \cdot t \cdot 2f = 12 \cdot 4,5 \cdot 150e-9 \cdot 2 \cdot 100e3 = 1,62 \text{ W} \quad (2.42)$$

A l'equació anterior, t és el temps que triga el PMOS en realitzar la commutació, és a dir, el temps que triga la tensió en passar de 12 V a 0 V i el corrent de 4,5 A a 0 A. Per a realitzar-ho sempre s'aplica el pitjor dels casos, com si la commutació sigues dura.

Calculem la potència total dissipada, la qual és la suma dels resultants de les equacions (2.41) i (2.42):

$$P_D = P_{D_on} + P_{D_COMMUTACIO} = 4,253 + 1,62 = 5,873 \text{ W} \quad (2.43)$$

Un cop trobada la potència total dissipada, hem d'aplicar l'equació (2.40) per tal de calcular el dissipador adequat:

$$R_{da} = \frac{T_j - T_a}{P_D} - P_D (R_{jc} + R_{cd}) = \frac{150 - 25}{5,873} - 5,873(1,67 + 0,28) = 9,831 \text{ } ^\circ\text{C/W} \quad (2.44)$$

Un cop hem calculat el dissipador necessari per al PMOS, hem de calcular el dissipador necessari per al díode.

► Paràmetres del díode:

$$R_{j-c} = 2^\circ\text{C/W}$$

$$R_{c-d} = 0,28^\circ\text{C/W}$$

$$T_{\text{max del díode}} (T_j) = 174^\circ\text{C}$$

Apliquem les expressions anteriors (2.39) i (2.40) per a calcular la potència dissipada durant el període de conducció i el període de commutació i obtenim:

$$P_{D_on} = V \cdot I(1 - dc_{MAX}) = 5 \cdot 4,5 \cdot 0,3 \cdot 0,3 = 2,025 \text{ W} \quad (2.45)$$

$$P_{D_COMMUTACIO} = V \cdot I \cdot t \cdot 2 \cdot f = 5 \cdot 4,5 \cdot 150e-9 \cdot 2 \cdot 100e3 = 2,7 \text{ W} \quad (2.46)$$

Un cop calculada la potència dissipada durant la conducció i durant la commutació, les sumo per obtenir la potència total dissipada pel díode i aplicant l'equació (2.43) trobarem la relació que existeix entre la temperatura i la potència.

$$P_D = P_{D_on} + P_{D_COMMUTACIO} = 2,025 + 0,675 = 2,7 \text{ W} \quad (2.47)$$

$$Rda = \frac{Tj - Ta}{P_D} - P_D (Rjc + Rcd) = \frac{175 - 25}{2,7} - 2,7(2 + 0,28) = 49,62 \text{ } ^\circ\text{C/W} \quad (2.48)$$

2.2.3- Càlcul del controlador

Per a controlar el convertidor Buck, utilitzarem un controlador integrador. Aquest tipus de control, es basa en l'error actual (proporcional) i en l'error acumulat (integral). Però, primer hem de calcular el controlador a partir de la funció de transferència del circuit (2.38). Per a realitzar-ho utilitzarem una taula de compensació [1], de la qual obtindrem quatre controladors diferents, d'aquesta manera podrem implementar el que respongui millor a les vostres necessitats.

Case	ω_{z1}	ω_{z2}	ω_{z3}	ω_{p1}	ω_{p2}	ω_{p3}
1	$\frac{\omega_n}{2}$	ω_n	---	ω_z	$\frac{0.75 \cdot 2\pi}{T}$	---
2	$\frac{\omega_n}{10}$	ω_p	---	$\frac{2}{T}$	$\frac{0.75 \cdot 2\pi}{T}$	---
3	$\frac{\omega_n}{10}$	ω_p	$\frac{2}{t_d}$	$\frac{2}{T}$	$\frac{2}{T}$	$\frac{0.75 \cdot 2\pi}{T}$
4	$\frac{\omega_n}{6}$	ω_n	ω_p	ω_z	$\frac{2}{T}$	$\frac{0.75 \cdot 2\pi}{T}$
5	$\frac{\omega_n}{6}$	ω_n	ω_p	ω_z	$\frac{6}{T}$	---

Taula 2.1 Taula de compensació

Per a calcular els diferents casos, hem d'anar calculant els pols i els zeros de la manera que ens diu la taula utilitzant els valors de la nostra equació de transferència. Un cop tinguem calculats els pols i els zeros, utilitzant l'equació següent implementant el controlador.

$$G_c(s) = k_c \frac{(s + w_{z1})(s + w_{z2})(s + w_{z3})}{(s + w_{p1})(s + w_{p2})(s + w_{p3})} \quad (2.49)$$

Aplicant la taula (2.5) i l'equació (2.46), obtenim els següents controladors:

Cas 1:

$$G_{c1}(s) = k_{c1} \frac{(s + 8321,66)(s + 16643,32)}{s(s + 1119820,83)(s + 4,712389e5)} \quad (2.50)$$

Cas 2:

$$G_{c2}(s) = k_{c2} \frac{(s + 1664,33)(s + 1,2739e7)}{s(s + 2e5)(s + 4,712389e5)} \quad (2.51)$$

Cas 3:

És el mateix controlador que en el cas 2.

Cas 4:

$$G_{c4}(s) = k_{c4} \frac{(s + 46166666,67)(s + 2,77e8)(s + 1,2739e7)}{s(s + 1119820,83)(s + 2e5)(s + 4,712389e5)} \quad (2.52)$$

Cas 5:

$$G_{c5}(s) = k_{c5} \frac{(s + 1,699e4)(s + 2831)(s + 1,2494e7)}{s(s + 1119820,83)(s + 6e5)} \quad (2.53)$$

Donat que quant s'implementa el controlador digital l'acció de control calculada en el període k , s'aplica en el període $k+1$, el model en petit senyal de la planta de l'equació (2.37) s'ha d'introduir un retard de tipus e^{-ts} , per a realitzar-ho, utilitzem el Matlab i la funció "pade", un cop introduït el retard, ja podem calcular el guany del controlador.

Per a calcular el guany dels controladors anteriors, hem de trobar el guany pel qual el sistema al tenir una fase de -120° (és a dir un marge de fase de 60°) el mòdul és 0 dB.

Per a realitzar-ho, utilitzem el Matlab per a realitzar les representacions dels diagrames de Bode. Per a trobar el guany fem el diagrama de Bode de:

$$\text{PLANTA*CONTROLADOR*RETARD}$$

D'aquesta manera podem saber el guany que necessita cada controlador per tenir un guany de 0 dB per una fase de -120° .

Els guanys són els següents:

$$k_{c1} = 4,59e6$$

$$k_{c2} = 714,29$$

$$k_{c4} = 7,02e-10$$

$$k_{c5} = 0,66315$$

2.2.4- Discretització de controladors

Per implementar el controlador digital analògic dissenyats en l'apartat anterior, és necessari discretitzar els controladors. Per a realitzar-ho utilitzem la transformada bilineal, amb la funció “*c2d*” del Matlab, la qual ens proporciona els controladors en domini z . Els controladors discretitzats són:

Cas 1:

$$G_1(z) = 1,1682 \frac{(z - 0,9201)(z - 0,8464)(z + 1)}{(z - 1)(z + 0,6969)(z + 0,4041)} \quad (2.54)$$

Cas 2:

$$G_2(z) = 0,034708 \frac{(z - 0,9835)(z + 0,9691)(z + 1)}{z(z - 1)(z + 0,4041)} \quad (2.55)$$

Cas 3:

És el mateix controlador que en el cas 2.

Cas 4:

$$G_4(z) = 0,0011057 \frac{(z + 0,9914)(z + 0,9986)(z + 0,9691)}{z(z - 1)(z + 6969)} \quad (2.56)$$

Cas 5:

$$G_5(z) = 1,7537 \frac{(z - 0,8434)(z - 0,9721)(z + 0,9685)}{(z - 1)(z + 0,697)(z + 0,5)} \quad (2.57)$$

2.2.5- Selecció del controlador

Un cop discretitzats els controladors, els tenim que provar per saber quin és el més adient per a la nostra aplicació. Mirant el temps d'establiment, el sobre pic i la resposta al canvi de carrega. Totes les simulacions han estat realitzades establint el control al punt de treball.

Per a realitzar aquestes mesures utilitzarem el programa PSIM, al qual l'introduïrem els controladors. El sistema implementat és el següent:

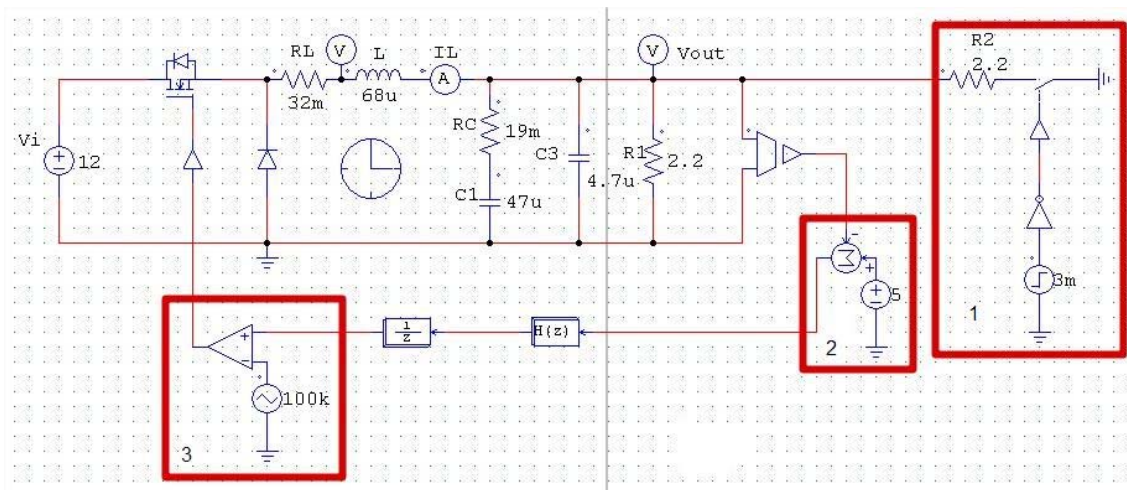


Figura 2.5 Planta amb el llaç de control

Al quadre número 1 (dreta), podem observar una part del circuit que no existeix, solament s'utilitza a les simulacions per poder observar la resposta al canvi de carrega. Quant el temps és inferior a 3 ms, l'interruptor està tancat i la resistència de càrrega del circuit és 1,1 Ω , ja que queda 2,2 Ω /2,2 Ω . Als 3 ms l'interruptor s'obre i queda 2,2 Ω de resistència de càrrega.

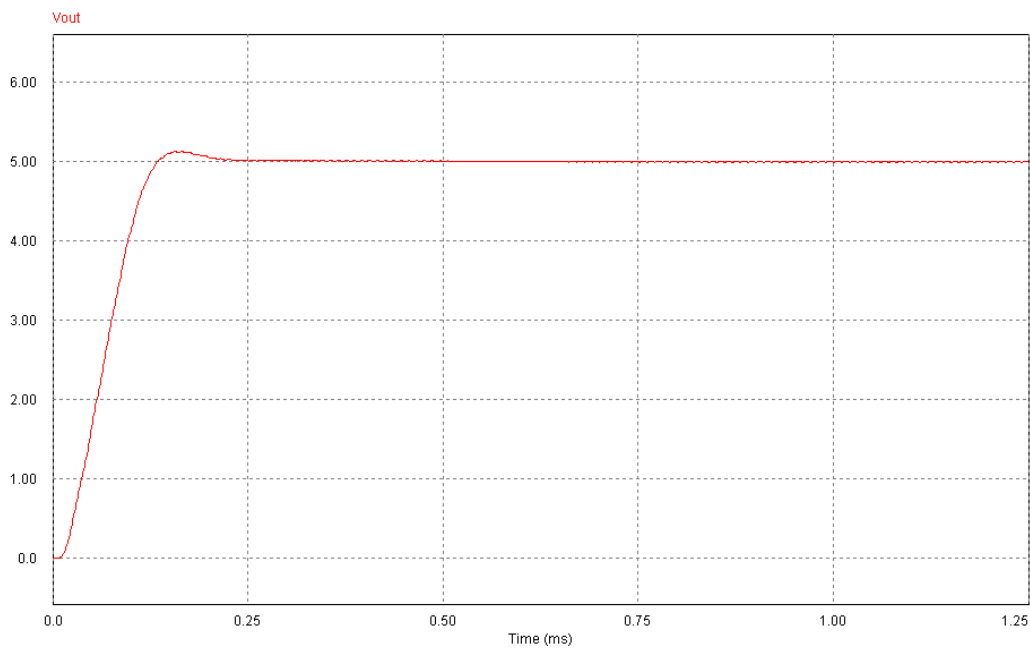
El quadre número 2 (central), es pot observar on es calcula la diferència de tensió, entre la tensió de sortida del circuit i la tensió de referència. El resultat d'aquesta operació serà el que entrarà a l'algorisme de control.

Al quadre número 3 (esquerra), es pot observar el comparador, el qual compare el cicle de treball donat pel controlador amb una rampa de freqüència igual a l'inversa del període.

Utilitzant el sistema anterior, s'obtenen les següents respostes per als 4 controladors:

Cas 1:

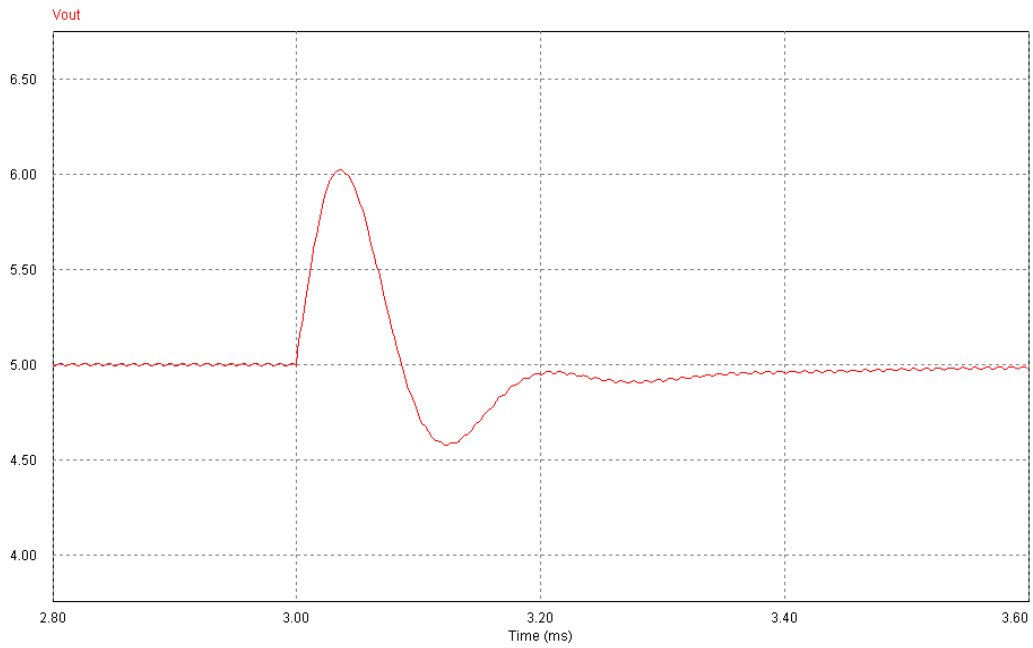
Establiment:



Gràfica 2.1 Establiment controlador 1

- Sobre pic: 5,13 V
 - Baix pic: No en té.
- Temps d'establiment: 0,12 ms

Canvi de càrrega:

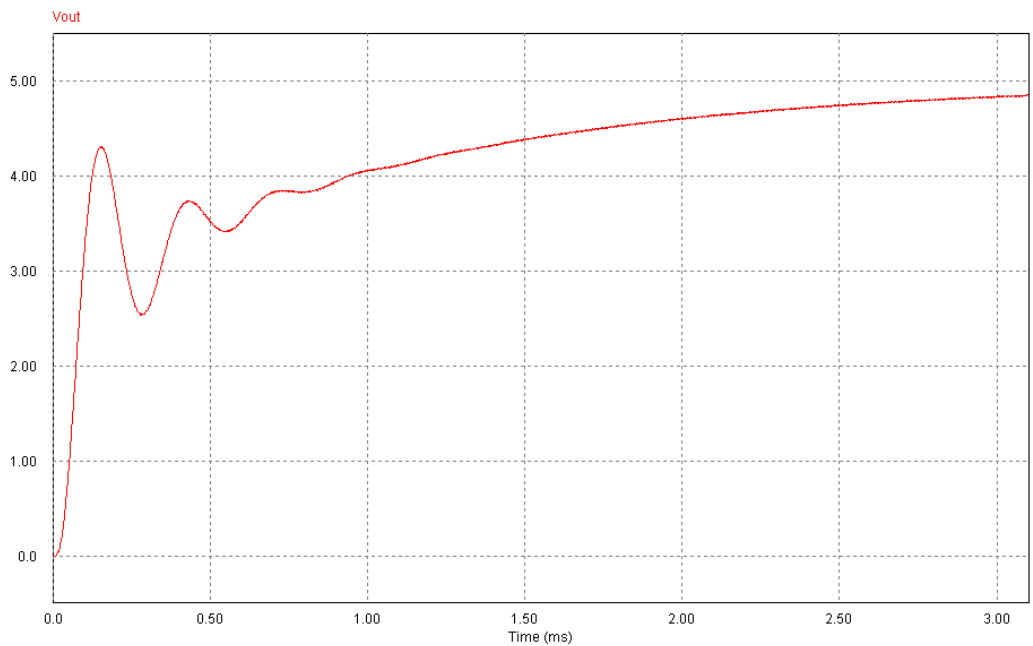


Gràfica 2.2 Resposta al canvi de càrrega, controlador 1

- Sobre pic: 6,02 V
 - Baix pic: 4,57 V
- Temps d'establiment: 0,17 ms

Cas 2:

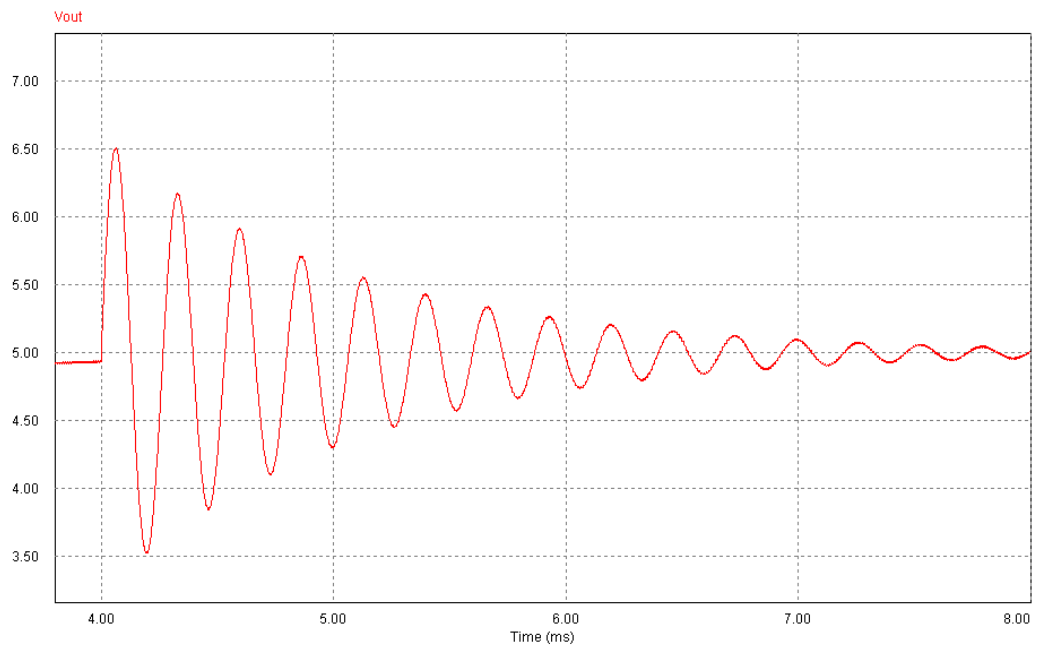
Establiment:



Gràfica 2.2 Establiment controlador 2

- Sobre pic: 4,31 V
 - Baix pic: 2,54 V
- Temps d'establiment: 3,08 ms

Canvi de càrrega:



Gràfica 2.3 Resposta al canvi de càrrega, controlador 2

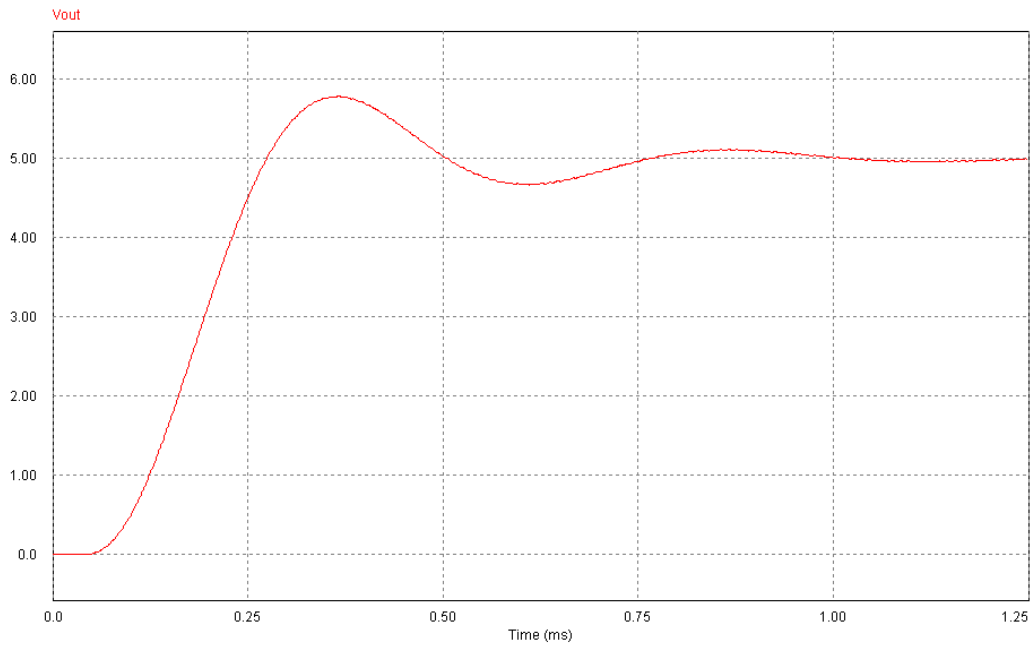
- Sobre pic: 6,51 V
 - Baix pic: 3,52 V
- Temps d'establiment: 2,61 ms

Cas 3:

És el mateix que el cas 2.

Cas 4:

Establiment:

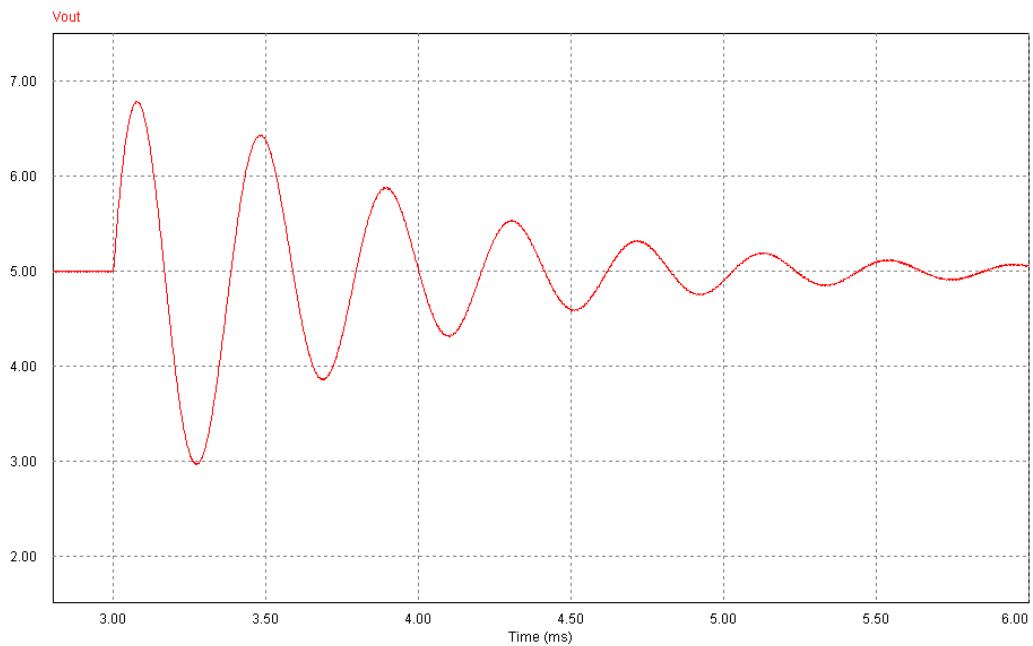


Gràfica 2.4 Establiment controlador 4

- Sobre pic: 5,79 V
- Baix pic: 4,67 V

Temps d'establiment: 0,71 ms

Canvi de càrrega:



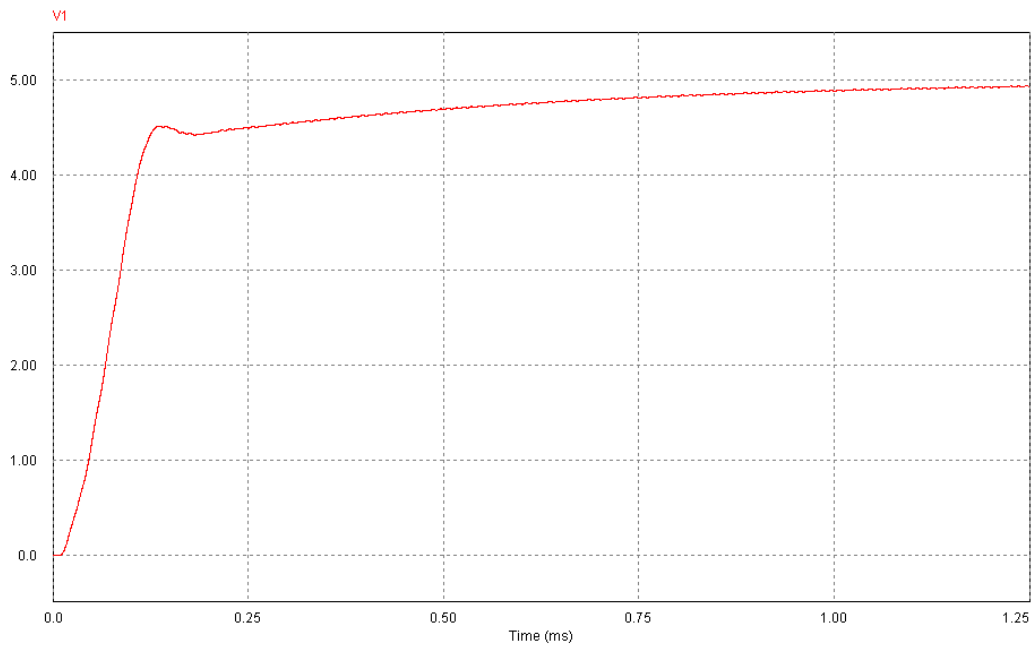
Gràfica 2.5 Resposta a canvi de càrrega, controlador 4

- Sobre pic: 6,79 V
- Baix pic: 2,96 V

Temps d'establiment: 2,18 ms

Cas 5:

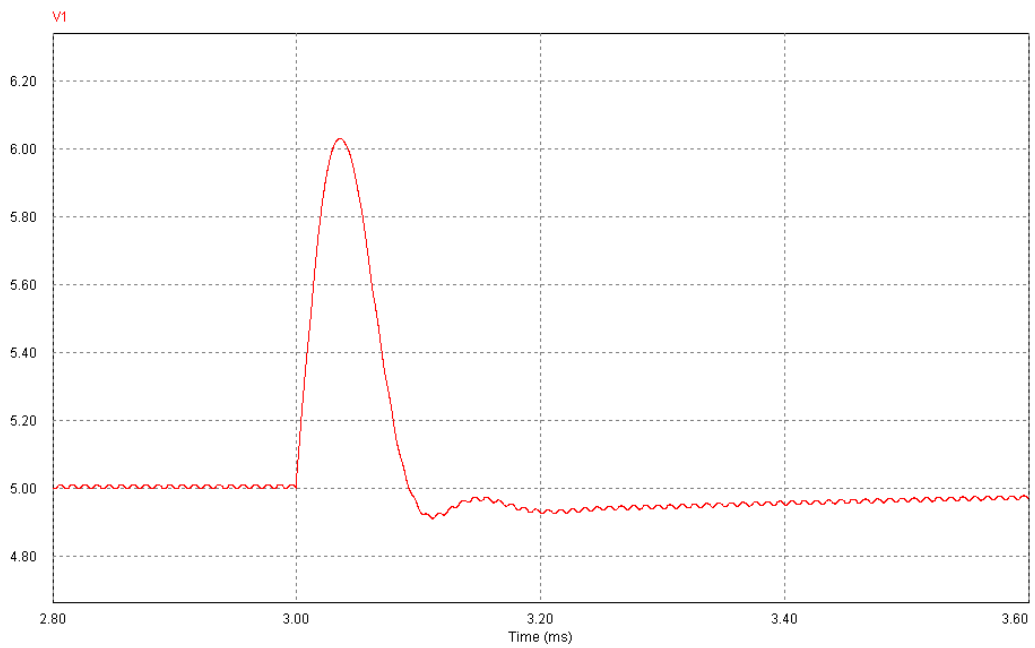
Establiment:



Gràfica 2.6 Establiment controlador 5

- Sobre pic: 4,5 V
 - Baix pic: 4,42 V
- Temps d'establiment: 0,85 ms

Canvi de càrrega:



Gràfica 2.7 Resposta al canvi de càrrega, controlador 5

- Sobre pic: 6,01 V
 - Baix pic: 4,89 V
- Temps d'establiment: 0,08 ms

2.2.6- Adaptació de la senyal (10 V a 5 V)

Per poder adaptar la senyal de sortida del convertidor Buck a una tensió que pugui llegir el convertidor A/D, és necessari dissenyar un divisor de tensió.

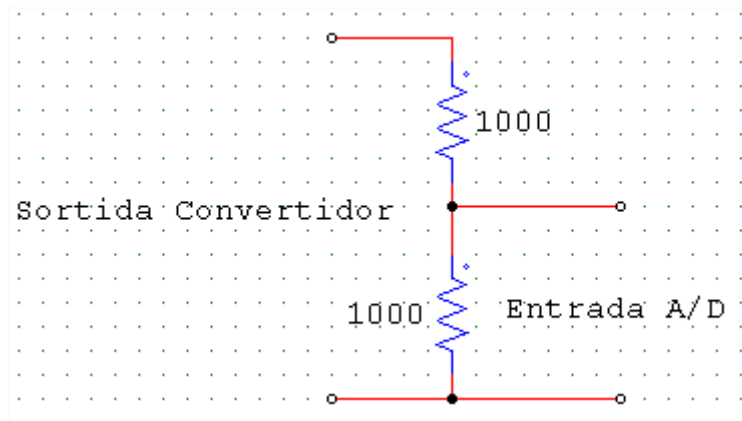


Figura 2.5 Esquema del divisor de tensió dissenyat

Es decideix dissenyar un divisor de tensió format per dos resistències de valor fix. Doncs, si desitgem tenir 5 V a l'entrada del convertidor A/D quan tinguem a la sortida del convertidor Buck 10 V, el càlcul és el següent:

$$V_{AD} = V_o \frac{R_2}{R_2 + R_1} \quad (2.58)$$

Es decideix fixar la resistència R_1 fixa a un valor comercial d'1 kΩ. Per tant, ara caldrà calcular el valor que haurà de tenir la segona resistència R_2 , per adquirir-ne una del valor calculat, ho realitzem:

$$\frac{R_2}{R_2 + R_1} = \frac{5}{10} \rightarrow 5 \cdot R_2 + 5000 = 5 \cdot R_2 \rightarrow R_2 = \frac{5000}{5} = 1000 \Omega \quad (2.59)$$

S'ha calculat una resistència fixa d'1 kΩ.

S'ha de tenir en compte que qualsevol pic de tensió que arribi a la tensió de sortida del Buck afecta directament al convertidor ADC amb prèvia aplicació del divisor de tensió. Això, podria malmetre el canal analògic. Tota tensió que arribi al convertidor superior a 5 V, la llegirà com el valor digital major possible. Sabent això, es decideix fixar un element de protecció barat i eficaç. S'instal·larà un díode Zener de 5,1 V:

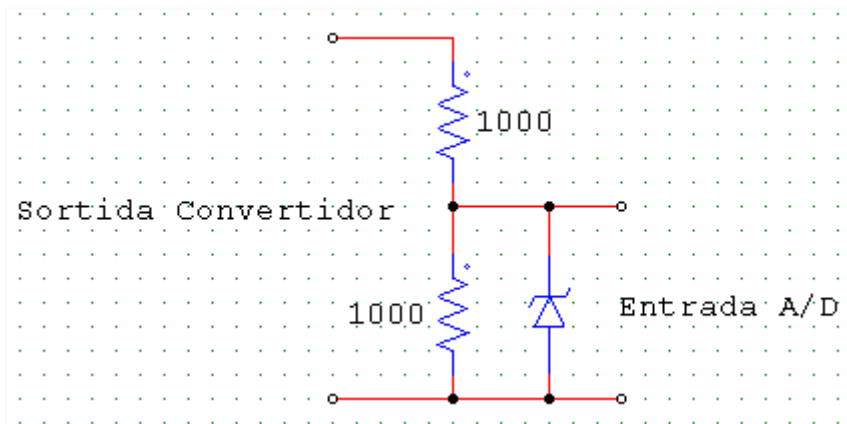


Figura 2.6 Esquema del divisor de tensió dissenyat amb protecció

D'aquesta manera tota tensió superior a 5,1 V que arribi al convertidor serà retallada pel díode i el canal analògic del convertidor A/D quedarà ben protegit.

2.2.7- Selecció de l'oscil·lador

Per al sistema s'ha escollit un oscil·lador extern. L'oscil·lador escollit a set un de cristall ressonant de 14,74 MHz.

També s'ha utilitzat el multiplicador intern del dsPIC la PLL, la qual multiplica la freqüència per 4. És a dir, la freqüència de cicle (oscil·lació general del sistema), és de 58,96 MHz, amb la qual cosa, el sistema funcione a 29,49 MIPS; ja que, cada instrucció esta composta per 2 cicles de rellotge.

2.2.7.1- Velocitat d'oscil·lació del CAD

Les especificacions de l'oscil·lador, estableixen com a velocitat màxima de mostreig i conversió 0,5 µs. La freqüència d'oscil·lació al convertidor A/D és multiplica per 4. És a dir, tenim un freqüència d'oscil·lació de 235,84 MHz.

El temps de mostreig i conversió està establert per la següent equació.

$$T = (2 \cdot T_{AD}) + (10 \cdot T_{AD}) \quad (2.60)$$

on T_{AD} és:

$$T_{AD} = \frac{1}{f_{CAD} / ADCS} \quad (2.61)$$

El divisor ADCS, és un registre del convertidor A/D, on podem escollir el divisor de la freqüència del convertidor A/D. Amb les dades i les equacions anteriors podem calcular el divisor adequat per tal que el convertidor A/D funcioni a la màxima velocitat.

$$0,5 \cdot 10^{-6} = (2 \cdot T_{AD}) + (10 \cdot T_{AD}) \rightarrow T_{AD} = 41,67 \text{ ns} \quad (2.62)$$

$$41,67 \cdot 10^{-9} = \frac{1}{235,84 \cdot 10^6 / ADCS} \rightarrow ADCS = 9,83 \approx 10 \quad (2.63)$$

El divisor de freqüència que tenim que programar és de 10.

2.2.7.2- Càlcul del registre del període del PWM

Per produir una freqüència PWM de 100 kHz, el valor que s'ha de carregar al registre PTPER és de 1178. Aquest resultat surt de la següent equació:

$$\text{Període} = \frac{(PTPER + 1)}{\text{Freq. Oscil·lació} \times 8} \rightarrow PTPER = 1178,2 \approx 1178 \quad (2.64)$$

on:

Període: 10 µs

Frq. Oscil·lador: 14,74 MHz

2.2.8- Adequació de les constants de l'equació en diferències

Per un bon funcionament del llaç de control, és necessari que els paràmetres de control, estiguin perfectament adequats als rancs de resolució del PWM i dins del ranc dels nombres fraccionals.

Primer, tenim que saber quin és el ranc de resolució del PWM, això ho realitzem de forma experimental, gràcies a l'ajut d'un oscil·loscopi. Observem que per un període 10 μ s dels 32768 bits, la resolució del PWM és de 9448 bits.

Sabent la resolució del PWM i realitzant un petit càlcul podem calcular el divisor necessari per evitar que el duty cycle calculat estigui fora d'escala del PWM.

$$9448 = \frac{32768 \cdot 5}{divisor} \rightarrow divisor = 17,34 \quad (2.65)$$

Les constants de la part proporcional de l'equació amb diferències, estan dividides pel divisor calculat a l'equació (2.65), d'aquesta manera no surten de l'escala del PWM.

A més, també es divideixen les constants que depenen de l'error de sortida del buck per 10 (arbitrari, valor per evitar el desbordament), d'aquesta manera evitem que a l'hora d'acumular l'error, el vector d'error es desbordi.

Per l'altra banda, les constants de la part integral, no estan dividides pel divisor, ja que el duty cycle ja esta dividit per aquest. Una equació en diferències té la següent forma:

$$d(k) = k_1 \cdot e(k) + k_2 \cdot e(k-1) + k_3 \cdot e(k-2) + k_4 \cdot e(k-3) + k_5 \cdot d(k-1) + k_6 \cdot d(k-2) + k_7 \cdot d(k-3) \quad (2.66)$$

En lo nostre cas, al tenir que adaptar la senyal dins de l'escala. Tenim que el duty cycle és:

$$d(k) = 173,7 \cdot d'(k) \quad (2.67)$$

On $d'(k)$ és:

$$d'(k) = \frac{k_1}{173,7} \cdot e(k) + \frac{k_2}{173,7} \cdot e(k-1) + \frac{k_3}{173,7} \cdot e(k-2) + \frac{k_4}{173,7} \cdot e(k-3) + \quad (2.68)$$
$$+ k_5 \cdot d'(k-1) + k_6 \cdot d'(k-2) + k_7 \cdot d'(k-3)$$

Com s'ha vist a les equacions anteriors, sol cal atenuar les constants de la part proporcional de la equació en diferències, ja que, el duty cycle que multiplica la part integral ja esta atenuat. La qual cosa induiria a la caiguda de la senyal de control.

2.3- Annex d'aplicació en l'àmbit del projecte

2.3.1- Elecció del microcontrolador

Per a l'elecció del microcontrolador el primer que s'ha de mirar són les prestacions que ens proporciona aquest, i comparar-ho amb les prestacions principals que volem obtenir. En el nostre cas, necessitem una unitat de càlcul alfanumèrica de gran velocitat, sobretot a l'hora de realitzar multiplicacions, el qual consumeix diversos cicles si no es té un multiplicador hardware. A més, necessitem que la unitat PWM del microcontrolador tingui una bona resolució, ja que volem utilitzar directament el mòdul del microcontrolador.

D'altra banda el nostre microcontrolador ha de tenir un convertidor analògic digital que realitzi les operacions requerides en el temps estipulat. De tots aquets aspectes, el més determinant a estat la resolució del mòdul PWM. S'han consultat diversos microcontroladors de la família dsPIC30F, tot hi que la majoria cobrien les necessitats del projecte, ens varem centrar en els models dsPIC30F3010 i dsPIC30F2020.

Finalment, hem optat pel dsPIC30F2020, que a més de disposar d'un multiplicador hardware, té un mòdul PWM de gran resolució. A continuació, a la taula 2.2, es mostren les principals característiques d'aquest microcontrolador.

Pins	28
Encapsulat	SDIP
Memòria de Programa (Bytes)	12 k
Memòria SRAM per a dades (Bytes)	512
Temporitzador	3
PWM	4x2
ADCs (10 bits)	1
S&H	5

Entrades A/D	8
Freqüència de funcionament	480 MHz (PLLx32)
Tensió de funcionament	3,3 V i 5 V ($\pm 10\%$)
Preu	2,45 €

Taula 2.2 Principals característiques del microcontrolador dsPIC30F2020

Es pot veure a la taula 2.2 que s'ha triat l'encapsulat SDIP-28, per la facilitat de muntatge que ofereix. Finalment, a la figura 2.7 es pot observar la configuració de pins del microcontrolador.

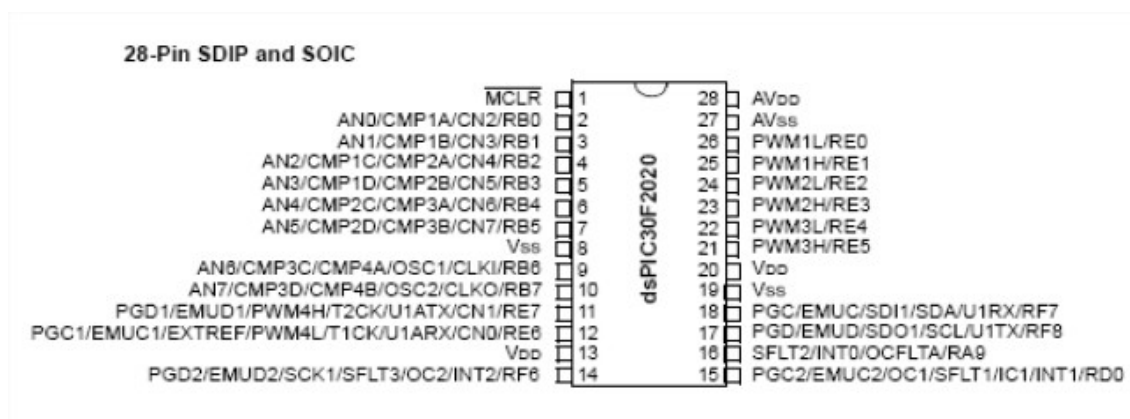


Figura 2.7 Configuració dels pins del dsPIC30F2020

Tot seguit s'aniran descrivint els diferents mòduls del microcontrolador que s'han utilitzat per a implementar l'algorisme de control del convertidor Buck, és a dir, explicarem el funcionament del convertidor A/D, el mòdul PWM, el funcionament dels temporitzadors, les interrupcions, etc.

2.3.2- El convertidor analògic/digital

Un convertidor analògic/digital té la missió de convertir les senyals analògiques, que per la seva naturalesa són contínues en el temps, en senyals digitals que són discretes en el temps. En el nostre cas ens permet convertir una senyal analògica d'entrada en un nombre digital de 10 bits. El microcontrolador dsPIC30F2020 té un

convertidor A/D d'aproximacions successives capaç de realitzar fins a 2 milions de conversions per segon (2 MSPS).

Tal com es pot veure a la figura 2.8 el dsPIC30F2020, té dos entrades analògiques (AV_{DD} i AV_{SS}) per on s'introdueixen les tensions de referència externes. Les entrades analògiques (AN0-AN11) estan connectades directament o be multiplexades a 5 amplificadors de mostreig i retenció (S&H) que són els encarregats de recollir la informació.

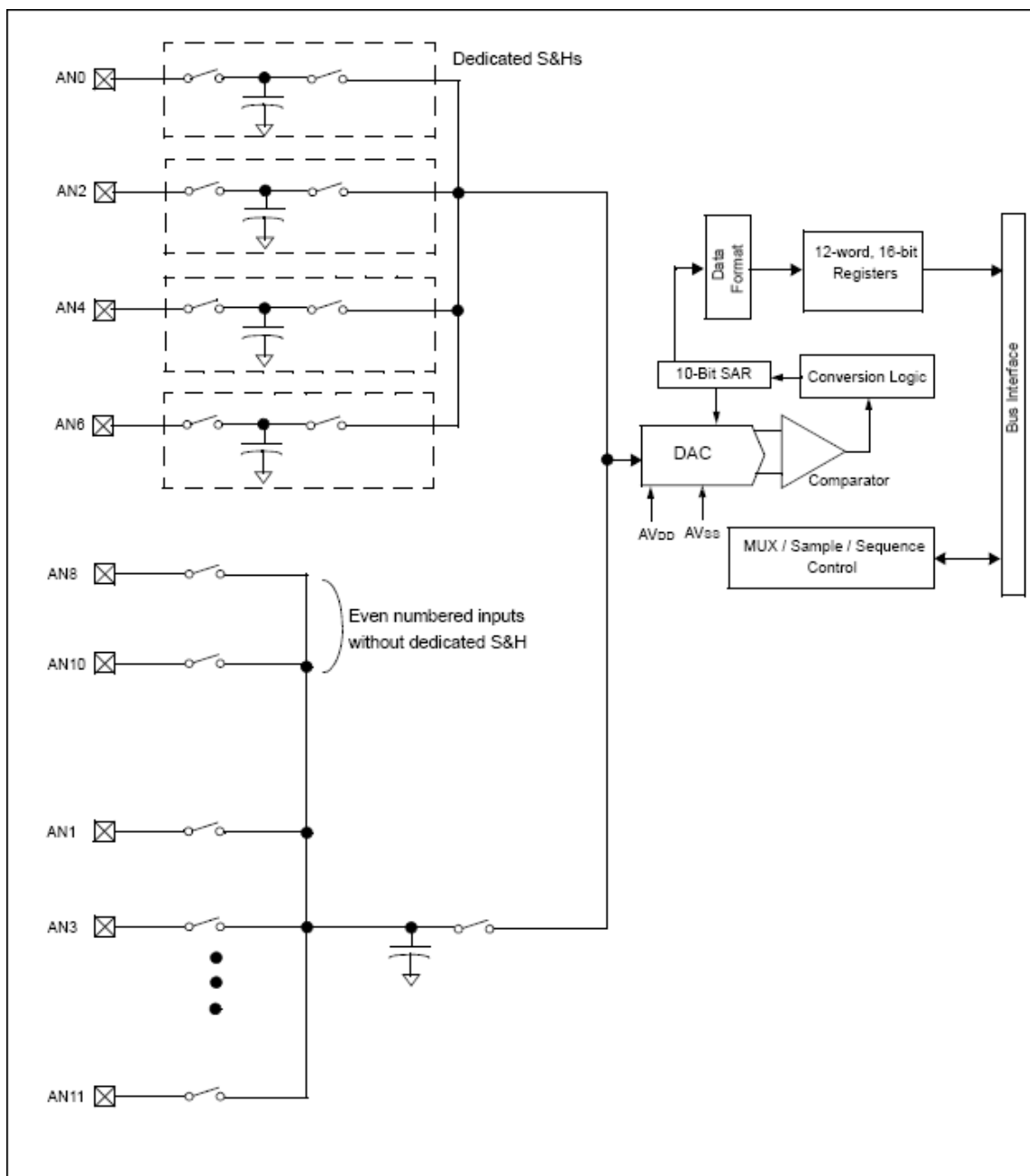


Figura 2.8 Diagrama de blocs de mòdul ADC del dsPIC30F2020

El mòdul A/D disposa de set registres de control i estat, que és necessari conèixer per utilitzar el mòdul de manera correcta. Tot seguit explicarem els registres d'aquest mòdul A/D.

2.3.2.1-Registre de control del mòdul A/D (ADCON)

Els registres de control del mòdul A/D són els de la figura 2.9, els quals explicarem a continuació.

R/W-0	U-0	R/W-0	U-0	U-0	R/W-0	U-0	R/W-0
ADON	—	ADSIDL	—	—	GSWTRG	—	FORM
bit 15						bit 8	
R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-1	R/W-1
EIE	ORDER	SEQSAMP	—	—	ADCS<2:0>		
bit 7						bit 0	

Figura 2.9 Bits del registre de control del ADC

- **ADON (bit 15):** Aquest bit serveix per activar el mòdul A/D, si hi escrivim un “1” l’activem, mentre que si hi escrivim un “0” el desactivarem.
- **ADSIDL (bit 13):** Aquest bit serveix per indicar si volem que el mòdul A/D segueixi funcionant o no, solament en cas que tinguem el dispositiu en mode de suspensió (idle mode), amb un “1” el reactivem i en un “0” el fem en suspensió.
- **GSWTRG (bit 10):** Si fem a “1” aquest bit, el mòdul A/D s’activarà segons estiguin establerts els bits del TRGSRC <4:0> del registre ADCPCx (no es posa a “0” automàticament).
- **FORM (bit 8):** Serveix per indicar el format de les dades convertides, a “1” convertim a fraccions i a “0” convertim a enters.
- **EIE (bit 7):** Si es troba a “1” el mòdul A/D genera una interrupció al finalitzar la primera conversió, però si es troba a “0” la interrupció serà generada al final

de la segona conversió. Aquest bit sol pot ser manipulat mentre el mòdul A/D està desactivat (ADON=0).

- **ORDER (bit 6):** Serveix per triar en quin canal mostregem primer, en cas d'utilitzar dos canals i no mostregem de forma simultània. Si esta activada a "1" primer mostrejaríem amb el canal senar i llavors amb el parell i si esta a "0" a l'inrevés. Aquest bit sol pot ser manipulat mentre el mòdul A/D està desactivat (ADON=0).

- **SEQSAMP (bit 5):** Aquest bit serveis per indicar si volem que els parelles de canals de conversió mostregin alhora amb "0", o de manera seqüencial amb "1".

- **ADCS (bits 2:0):** Segons la combinació de bits, el mòdul A/D funcionarà a una determinada freqüència. Les diferents freqüències de funcionament es poden veure a la taula 2.3, on T_Q és el període del rellotge.

0	0	0	$T_Q/4$
0	0	1	$T_Q/6$
0	1	0	$T_Q/8$
0	1	1	$T_Q/10$
1	0	0	$T_Q/12$
1	0	1	$T_Q/14$
1	1	0	$T_Q/16$
1	1	1	$T_Q/18$

Taula 2.3 Taula de freqüències de funcionament del mòdul A/D

Per defecte, està activat a divisor per 10.

Tal com es pot observar a la figura 2.9, els bits 14, 12, 11, 9, 4 i 3 no són d'aplicació en aquest registre i es llegeixen com un "0".

2.3.2.2- Registre d'estat del mòdul A/D (ADSTAT)

Llegint aquest registre podem saber en tot moment l'estat de les conversions del mòdul A/D. A la figura 2.10 podem veure els bits que componen el registre d'estat.

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	
—	—	—	—	—	—	—	—	
bit 15								bit 8
U-0	U-0	R/C-0 H-S	R/C-0 H-S	R/C-0 H-S	R/C-0 H-S	R/C-0 H-S	R/C-0 H-S	
—	—	P5RDY	P4RDY	P3RDY	P2RDY	P1RDY	P0RDY	
bit 7								bit 0

Figura 2.10 Bits del registre d'estat del ADC

- **P5RDY (bit 5):** Es posa a “1” quan la conversió de la parella 5 està preparada per ser llegida al buffer. Quan llegim la dada, tindrem que ficar a “0” aquest bit perquè es pugui iniciar la següent conversió. (AN10-AN11)
- **P4RDY (bit 4):** Es posa a “1” quan la conversió de la parella 4 està preparada per ser llegida al buffer. Quan llegim la dada, tindrem que posar a “0” aquest bit perquè es pugui iniciar la següent conversió. (AN8-AN9)
- **P3RDY (bit 3):** Es posa a “1” quan la conversió de la parella 3 està preparada per ser llegida al buffer. Quan llegim la dada, tindrem que ficar a “0” aquest bit perquè es pugui iniciar la següent conversió. (AN6-AN7)
- **P2RDY (bit 2):** Es posa a “1” quan la conversió de la parella 2 està preparada per ser llegida al buffer. Quan llegim la dada, tindrem que ficar a “0” aquest bit perquè es pugui iniciar la següent conversió. (AN4-AN5)
- **P1RDY (bit 1):** Es posa a “1” quan la conversió de la parella 1 està preparada per ser llegida al buffer. Quan llegim la dada, tindrem que ficar a “0” aquest bit perquè es pugui iniciar la següent conversió. (AN2-AN3)

- **PORDY (bit 0):** Es posa a “1” quan la conversió de la parella 0 està preparada per ser llegida al buffer. Quan llegim la dada, tindrem que ficar a “0” aquest bit perquè es pugui iniciar la següent conversió. (AN0-AN1)

Tal com es pot veure a la figura 2.10, els bits 15:6, no són d’aplicació en aquest registre i es llegeixen com un “0”.

2.3.2.3- Registre base del convertidor A/D (ADBASE)

Aquest registre compta l’adreça de la rutina de servei a la interrupció del mòdul A/D. Aquesta adreça està continguda entre els bits ADEBASE<15:1>, tal com es pot veure a la figura 2.11.

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADBASE<15:8>							
bit 15							bit 8
R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0
ADBASE<7:1>							—
bit 7							bit 0

Figura 2.11 Bits que componen el registre base del mòdul A/D

Tal com es pot veure a la figura 2.11, el bit 0, no és d’aplicació en aquest registre i es llegeix com un “0”.

2.3.2.4- Registre de configuració dels ports del ADC (ADPCFG)

Es l’encarregat de configurar els pats d’entrada com entrades analògiques o com entrades o sortides digitals. Per això utilitzem els bits següents, tal com es mostra a la figura 2.12, es poden veure els bits que componen aquest registre.

U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
—	—	—	—	PCFG11	PCFG10	PCFG9	PCFG8
bit 15				bit 8			
R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
PCFG7	PCFG6	PCFG5	PCFG4	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
bit 7				bit 0			

Figura 2.12 Bits que formen el registre de configuració dels ports del ADC

- **PCFG (bits 11:0):** En aquest conjunt de bits, escollim si els pats on estan connectades les entrades del mòdul A/D són analògiques “0” o digitals “1”. Cada bit correspon a una entrada, amb correlació de noms.

2.3.2.5- Registre de control de parella de conversió #0 (ADCPC0)

En aquest registre es dur a terme el control de les parelles 0 i 1 de conversió, a les quals intervien les entrades AN0, AN1 i AN2, AN3. A la figura 2.13 es pot observar el registre amb els seus bits.

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
IRQEN1	PEND1	SWTRG1	TRGSRC1<5:0>				
bit 15				bit 8			
R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
IRQEN0	PEND0	SWTRG0	TRGSRC0<5:0>				
bit 7				bit 0			

Figura 2.13 Bits que formen el registre de control dels parells de conversió #0

- **IRQEN1 (bit 15):** A “1” habilitem la generació d’interrupcions després de la conversió requerida dels canals AN2 i AN3. Si esta a “0” no es produirà cap interrupció al finalitzar la conversió.

- **PEND1 (bit 14):** Serveis per indicar que hi ha una conversió pendent als canals AN2 i AN3, es posa automàticament a “1” quan hi ha ‘disparo’. Quan la conversió a finalitzat es fica automàticament a “0”.

- **SWTRG1 (bit 13):** Ficant un “1” en aquest bit, es dispara la conversió del ADC als canals AN2 i AN3 si hem posat el valor adequat al TRGSRC1<12:8>. Aquest bit es col·loca automàticament a “0” quan s’activa el bit d’interrupció pendent (PEND).

- **TRGSRC1 (bit 12:8):** Segons la combinació de bits, als canals AN2 i AN3 es dispararà la conversió de diferents formes. Alguns exemples són: que s’activa la conversió a l’expirar algun convertidor en particular, que sigui activat per software, etc. Si tots els bits estan a “0”, es deshabiliten les conversions en aquets canals.

- **IRQEN0 (bit 7):** A “1” habilitem la generació d’interrupcions després de la conversió requerida dels canals AN0 i AN1. Si està a “0” no es produirà cap interrupció al finalitzar la conversió.

- **PEND0 (bit 6):** Serveis per indicar que hi ha una conversió pendent als canals AN0 i AN1, es posa automàticament a “1” quan hi ha ‘disparo’. Quan la conversió a finalitzat es fica automàticament a “0”.

- **SWTRG0 (bit 5):** Ficant un “1” en aquest bit, es dispara la conversió del ADC als canals AN0 i AN1 si hem posat el valor adequat al TRGSRC0<4:0>. Aquest bit es posa automàticament a “0” quan s’activa el bit d’interrupció pendent (PEND).

- **TRGSRC0 (bit 4:0):** Segons la combinació de bits, als canals AN0 i AN1 es dispararà la conversió de diferents formes. Alguns exemples són: que s’activa la conversió a l’expirar algun convertidor A/D en particular, que sigui activat per software, etc. Si tots els bits esta a “0”, es deshabiliten les conversions en aquets canals.

2.3.2.6- Registre de control de parella de conversió #1 i #2 (ADCPC1, ADCPC2)

Aquests registres són iguals que el ADCPC0 però per als canals AN4, AN5 i AN6, AN7 per al registre ADCPC1 i els canals AN8, AN9 i AN10, AN11 per al registre ADCPC2.

2.3.3- Els temporitzadors

El microcontrolador dsPIC30F2020 disposa de tres temporitzadors de 16 bits, els quals corresponen a *Timer 1*, *Timer 2* i *Timer 3*. D'aquests, els temporitzadors 2 i 3 poden treballar conjuntament per obtenir-ne un de 32 bits.

Els temporitzadors poden funcionar en quatre modes diferents: *Temporitzadors síncron*, *Contador síncron*, *Contador asíncron* i *Conteig per disparo per acumulació de temps*. Tots els temporitzadors són incrementals i es fiquen a zero després de finalitzar el període carregat al registre *PR*.

Quan un temporitzador arriba al final del seu comptatge, genera, si es desitja, una interrupció configurada al registre. A la figura 2.14 podem veure el diagrama de blocs que es comú als tres temporitzadors.

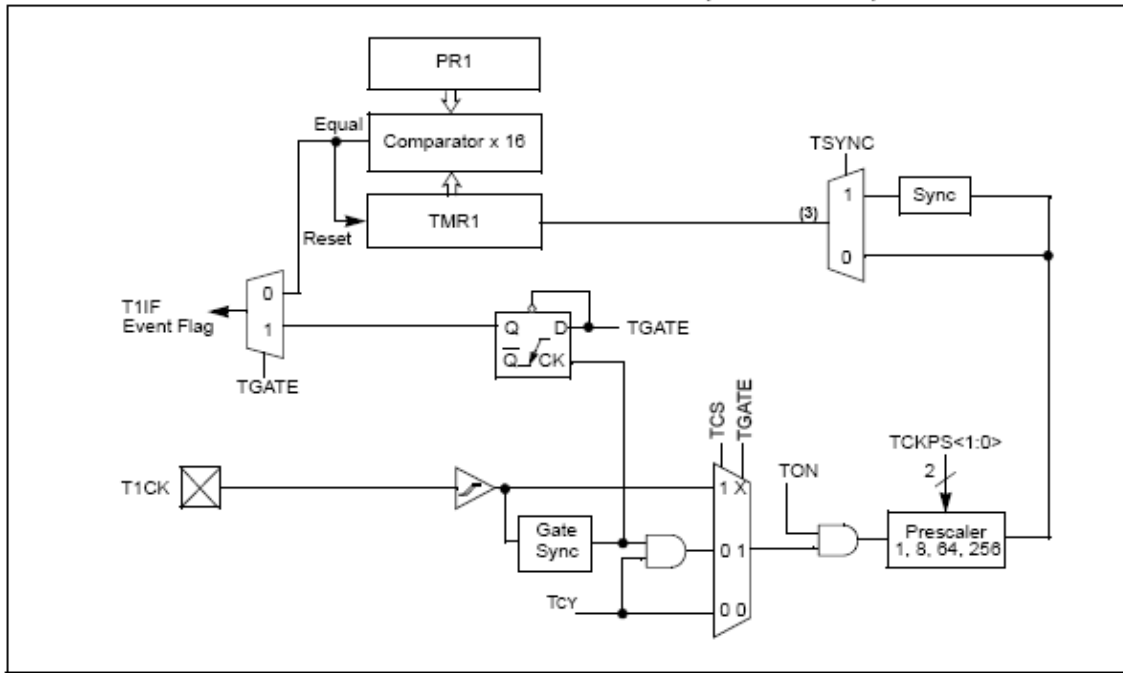


Figura 2.14 Diagrama de blocs dels temporitzadors en mode de 16 bits

2.3.4- El mòdul PWM

El mòdul PWM del microcontrolador dsPIC30F2020 proporciona una àmplia varietat de modes de funcionament, i és ideal per aplicacions que requereixin una àmplia resolució de PWM a altes freqüències. A la figura 2.15 es pot observar el model de blocs del mòdul PWM.

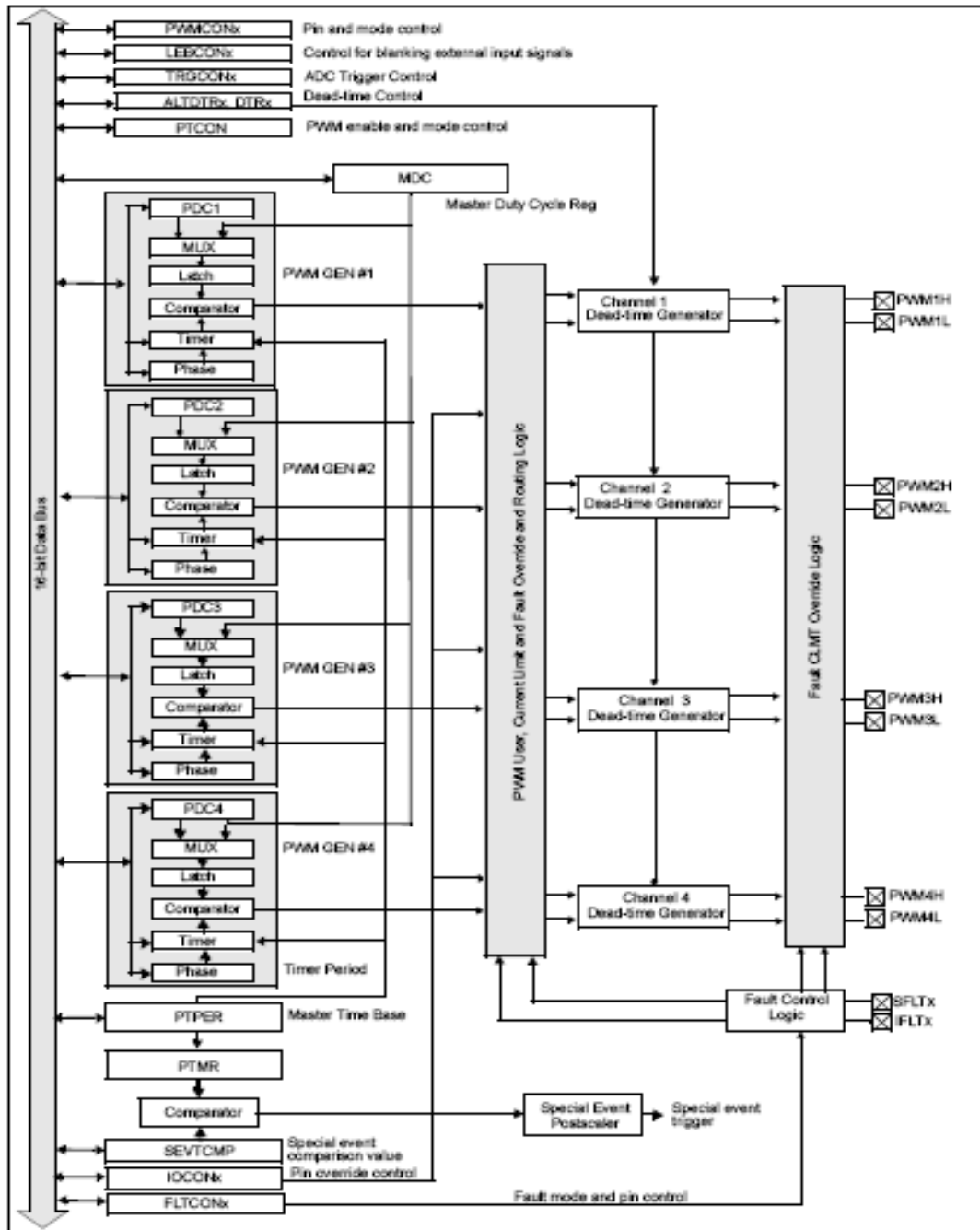


Figura 2.15 Diagrama de blocs simplificat del mòdul PWM

A la figura 2.15 que cada sortida PWM ofereix dos sortides complementaries, la sortida alta (PWMxH) i la sortida baixa (PWMxL), aquest parell de sortides ens permet treballar en dos modes diferents: *Mode independent* i *Mode complementari*. El primer mode, les dues sortides són iguals i en el segon mode, la sortida PWMxL és la inversa de PWMxH. En el nostre cas utilitzarem el mode independent amb un tipus de senyal alineada per flanc, ja que nomès tenim que controlar un transistor. A la figura 2.16 podem veure el diagrama de blocs d'un mòdul PWM per separat.

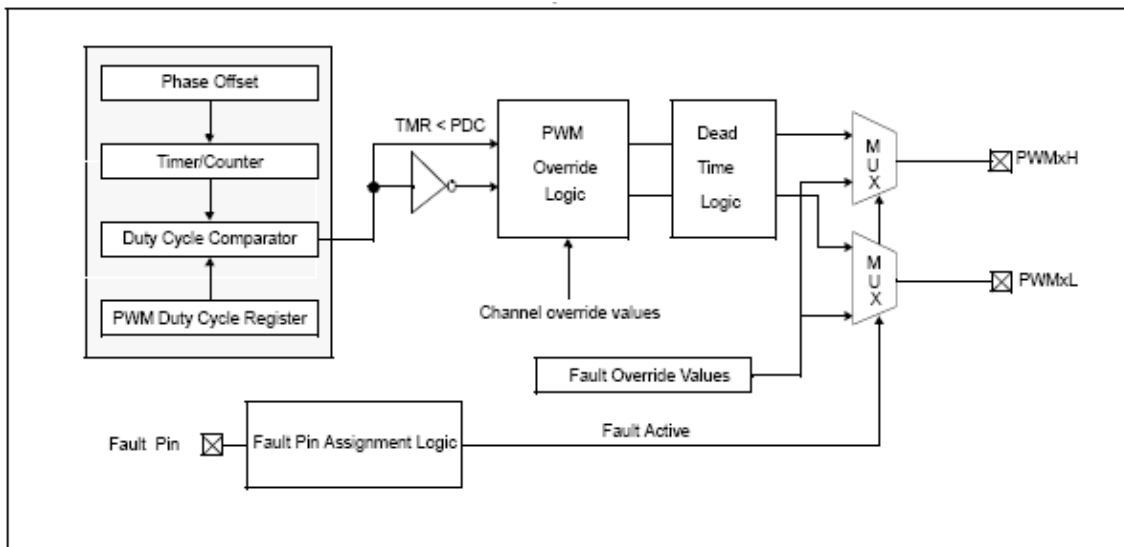


Figura 2.16 Diagrama de blocs d'un mòdul PWM individual

El mode de senyal alineada per flanc (Standard Edge-Aligned mode) és el mode PWM més bàsic, utilitzat en moltes aplicacions de control d'un únic transistor. La sortida PWM es crea a partir d'un temporitzador intern del mòdul PWM compta des de zero fins a un valor màxim especificat per al període (que es troba al registre PTPER), mentre que el cicle de treball s'emmagatzema al registre (PDCx). Aquest valor del cicle de treball es comparat contínuament amb el valor del compte del temporitzador (període).

Mentre aquest sigui més petit que el cicle de treball, la sortida del PWM està activa, un cop el comte del temporitzador sobrepassa el cicle de treball, la sortida del PWM es desactiva. Quan el comte de temporitzador supera el valor del període, aquest

automàticament es fica a zero i es torna a repetir el procés. A la figura 2.17 es poden veure les formes d'ona de dos períodes.

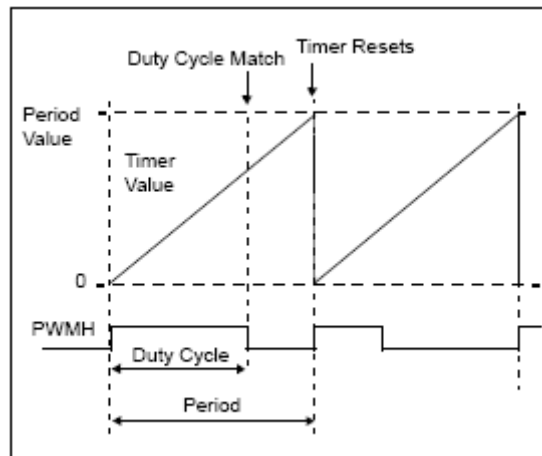


Figura 2.17 Formes d'ona del mòdul PWM funcionant en mode de flanc alineat (Standard Edge-Aligned mode)

2.3.4.1- Registre de control de la base de temps (PTCON)

Mitjançant aquest registre s'habiliten/deshabiliten el mòdul PWM, a la figura 2.18 poden veure els bits que intervenen en aquest registre.

R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	
PTEN	—	PTSIDL	SESTAT	SEIEN	EIPU	SYNCPOL	SYNCOEN	
bit 15								bit 8
R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	
SYNCEN	SYNCSRC<2:0>			SEVTPS<3:0>				
bit 7								bit 0

Figura 2.18 Bits del registre PTCON

- **PTEN (bit 15):** Si adopta el valor de “1” el mòdul PWM esta habilitat i amb un “0” esta deshabilitat.
- **PTSIDL (bit 13):** Serveix per desactivar la base de temps amb un “1” o activar-la amb un “0”. En cas que els mòdul PWM estigui adormit (idle mode).

- **SESTAT (bit 12):** Serveix per si s'ha produït una interrupció per esdeveniment especial, el bit es posa a "1" mentre aquesta interrupció està pendent de ser atesa, un cop atesa, es fica a "0".
- **SEIEN (bit 11):** Aquest bit s'activa a "1" i es desactiva a "0" i dóna permís a l'entrada de interrupcions per esdeveniment especial o no. Aquesta interrupció per esdeveniment especial s'utilitza per a sincronitzar la base de temps del PWM amb el mòdul A/D.
- **EIPU (bit 10):** Si aquest bit es troba a "1" es pot canviar el valor del període del PWM en qualsevol moment. Si pel contrari es troba a "0" aquest no es podrà canviar fins que aquest acabi el cicle.
- **SYNCPOL (bit 9):** Aquest bit estableix la polaritat de l'entrada de sincronització, en un "0" l'entrada SYNCIN s'activa a nivell alt i viceversa. Utilitzat per sincronitzacions externes.
- **SYNCOEN (bit 8):** Serveix per habilitar "1" o deshabilitar "0" la sortida SYNCOUT, de sincronització externa.
- **SYNCEN (bit 7):** S'utilitza per marcar si el sincronisme es farà exteriorment "1" o no en un "0".
- **SYNCSRC (bit 6:4):** Segons la combinació de bits triem la font de sincronització externa. Útil només si SYNCEN està a "1".
- **SEVTPS (bit 3:0):** En cas que es desitgi que el PWM generi una interrupció cada 'x' períodes, segons la combinació de bits podem fer que generi una interrupció un cop cada final de període, cada 2 períodes, etc. Així, fins un màxim de cada 16 interrupcions.

2.3.4.2- Registre de la base de temps primària (PTPER)

Tal com es pot veure a la figura 2.19, als bits 15:3 es carrega el valor del període, el qual és únic per a tots els canals PWM.

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
PTPER <15:8>							
bit 15							bit 8
R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	U-0
PTPER <7:3>					—	—	—
bit 7							bit 0

Figura 2.19 Bits del registre PTPER

2.3.4.3- Registre de comparació d'esdeveniment especial (SEVTCMP)

En aquest registre es fixa el temps d'inici del convertidor A/D dins de cada cicle PWM.

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
SEVTCMP <15:8>							
bit 15							bit 8
R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	U-0
SEVTCMP <7:3>					—	—	—
bit 7							bit 0

Figura 2.20 Bits del registre SEVTCMP

2.3.4.4- Registre mestre del cycle de treball (MDC)

Podem escollir entre aquest registre o el PDCx per indicar el cycle de treball del PWM.

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
MDC<15:8>							
bit 15				bit 8			
R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
MDC<7:0>							
bit 7				bit 0			

Figura 2.21 Bits del registre MDC

2.3.4.5- Registre de control del PWM (PWMCONx)

A la figura 2.22 es pot observar els bits que intervenen al registre de control del PWM.

HS/HC-0	HS/HC-0	HS/HC-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
FLTSTAT	CLSTAT	TRGSTAT	FLTEN	CLLEN	TRGEN	ITB	MDCS
bit 15				bit 8			
R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0
DTC<1:0>		—	—	—	—	XPRES	IUE
bit 7				bit 0			

Figura 2.22 Bits del registre PWMCONx

- **FLTSTAT (bit 15):** Si aquest bit esta a “1” indica que hi ha una interrupció pendent per fallida del mòdul PWM.
- **CLSTAT (bit 14):** Bit que indica que s’ha produït una petició d’interrupció degut a que s’ha limitat la corrent al dispositiu. En cas d’utilitzar aquesta

protecció. Per via software s'ha d'esborrar el bit d'estatus de la interrupció i el bit corresponent del IFS al controlador de interrupcions.

- **TRGSTAT (bit 13):** Quan esta a "1" indica que hi ha una interrupció de disparo pendent.
- **FLTIEN (bit 12):** Si fem aquest bit a "1" s'habilita la petició d'interrupcions en cas de fallada del mòdul PWM.
- **CLIEN (bit 11):** En un "1" en aquest bit s'habilita la petició d'interrupcions en cas que entri en acció la petició en front sobrecorrents.
- **TRGIEN (bit 10):** Un acció de disparament genera una interrupció si aquest bit esta a "1".
- **ITB (bit 9):** Si aquest bit esta inicialitzat amb un "0" el PWM utilitza com a base de temps el temporitzador intern, però si s'inicialitza a "1" el registre PHASEx proporciona el període de la base de temps.
- **MDCS (bit 8):** En un "1" especificuem que el cicle de treball està contingut al registre MDC, en cas contrari, es troba guardat al registre PDCx.
- **DTC (bit 7:6):** Serveix per a crear temps morts a les sortides de parells de sortida del PWM.
- **XPRES (bit 1):** Si esta inicialitzat amb un "0" els pins exteriors no afecten a la base de temps del PWM. Mentre que si tenim un "1", es resetjara la base de temps en cas que actui la protecció de sobrecàrregues.
- **IUE (bit 0):** En un "1", si el cicle de treball es troba al registre PDCx i s'ha de fer un canvi de valor en aquest registre durant l'execució del programa, aquesta es farà immediatament, en cas contrari es tindrà que esperar a que el mòdul PWM acabi el període que esta realitzant.

2.3.4.6- Registre del cicle de treball (PDCx)

Aquest registre conte el valor del cicle de treball per a cada sortida PWM, a la figura 2.23 es poden veure els bits que la componen.

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
PDCx<15:8>							
bit 15							bit 8
R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
PDCx<7:0>							
bit 7							bit 0

Figura 2.23 Bits del registre PDCx

2.3.4.7- Registre de desfasament (PHASEx)

En aquest registre podem introduir un període per una base de temps independent al temporitzador del PWM o bé, un desfasament entre els diferents canals del PWM. Tot depèn de com agüéssim configurat el registre de control PWMCONx. En el primer cas els bits 3:2 no s'utilitzen.

A la figura 2.24 podem observar els bits que componen aquest registre.

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
PHASEx<15:8>							
bit 15							bit 8
R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	U-0
PHASEx<7:2>						—	—
bit 7							bit 0

Figura 2.24 Bits del registre PHASEx

2.3.4.8- Registre de temps mort (DTRx)

En aquest registre s'introdueixen els temps morts entre la sortida alta i la sortida baixa de cada PWM. Els bits implicats són 13:2, tal com es pot veure a la figura 2.25.

U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
—	—	DTRx<13:8>					
bit 15							
bit 8							
R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	U-0
DTRx<7:2>						—	—
bit 7							
bit 0							

Figura 2.25 Bits del registre DTRx

2.3.4.9- Registre de temps mort alternatiu (ALTDTRx)

Es el mateix que l'anterior registre, per tant la mateixa disposició de bits.

2.3.4.10- Registre de control de disparament (TRGCONx)

Aquest registre serveix per controlar els esdeveniments de disparament que permeten la crida d'interrupcions i els control d'esdeveniments especials per sincronitzar-se amb el dispositiu A/D. A la figura 2.26 podem veure com s'organitza aquest registre.

R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
TRGDIV<2:0>			—	—	—	—	—
bit 15							
bit 8							
U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
—	—	TRGSTRT<5:0>					
bit 7							
bit 0							

Figura 2.26 Bits del registre TRGCONx

- **TRGDIV (bit 15:13):** En diferents combinacions d'aquets bits podem fer que s'activi la sortida de disparament del PWM acció de disparament general, cada 2 disparaments, ets. Fins un màxim de 8 disparaments.
- **TRGSTRT (bit 5:0):** En aquest bits s'especifica el retard inicial per la posta en marxa del mòdul PWM, després d'un disparament.

2.3.4.11- Registre de control d'entrada/sortida (IOCONx)

A la figura 2.27 podem observar els bits que intervenen al registre de control, el qual serveix per configurar els pins d'entrada/sortida.

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
PENH	PENL	POLH	POLL	PMOD<1:0>		OVRENH	OVRENL
bit 15						bit 8	
R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0
OVRDAT<1:0>		FLTDAT<1:0>		CLDAT<1:0>		—	OSYNC
bit 7						bit 0	

Figura 2.27 Bits del registre IOCONx

- **PENH (bit 15):** En aquest bit a “1” indica que el pin PWMxH serà un pin controlat pel PWM, en cas contrari serà un pin de E/S de propòsit general.
- **PENL (bit 14):** En aquest bit a “1” indica que el pin PWMxL serà un pin controlat pel PWM, en cas contrari serà un pin de E/S de propòsit general.
- **POLH (bit 13):** Serveix per canviar la polaritat del pin PWMxH, si el posem a “1”, aquest pin serà activat a nivell baix.
- **POLL (bit 12):** Serveix per canviar la polaritat del pin PWMxL, si el posem a “1”, aquest pin serà activat a nivell alt.

- **PMOD (bit 11:10):** Serveix per configurar els parells PWMxH i PWMxL per que treballin en mode independent o en mode complementari.

- **OVERENH (bit 9):** Si aquest bit està a “1”, el bit OVERDAT<1> proveeix la dada de sortida del PWMxH. Si pel contrari es troba a “0”, la dada de sortida és controlada pel PWM.

- **OVERENL (bit 8):** És el mateix que l’anterior però amb la sortida PWMxL, si aquest bit es troba a “1”, la sortida esmentada el bit OVERDAT<0> proveeix la dada de sortida. Si hi ha un “0”, la dada de sortida és controlada pel PWM.

- **OVERDAT (bits 7:6):** Si els bits OVERENH i OVERENL estan activats, la sortida del pin PWMxH és proveïda per el bit 7 i la sortida del pin PWMxL és proveïda pel bit 6.

- **FLTDAT (bits 5:4):** Si el mode de fallada està activat (FLTMODE). El bit 5 dóna la sortida per al PWMxH i el bit 4 dóna la sortida per el PWMxL.

- **CLDAT (bit 3:2):** Si el mode de limitació de corrent està activat (CLMODE). El bit 3 dóna la sortida per al PWMxH i el bit 2 dóna la sortida per el PWMxL.

- **OSYNC (bit 0):** Si aquest bit es troba a “1”, les sortides prenen el valor que indiquin les dades del bits OVRDAT<7:6> de forma sincronitzada amb la base de temps. En cas contrari, l’escriptura de les dades es fa un cicle més tard.

2.3.4.12- Registre de control de fallada per sobrecàrrega del PWM (FCLCONx)

Aquest registre serveix per configurar el mode de fallada del PWM. A la figura 2.28 podem veure els bits que componen aquest registre.

U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	
—	—	—	CLSRC<3:0>			CLPOL		
bit 15								bit 8
R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	
CLMODE	FLTSRC<3:0>			FLTPOL	FLTMOD<1:0>			
bit 7						bit 0		

Figura 2.28 Bits del registre FCLCONx

- **CLSRC (bit 12:9):** Amb aquesta combinació de bits, escollim quin dels comparadors analògics que té el mòdul PWM controla el sobrecorrent del PWM #x.
- **CLPOL (bit 8):** Polaritat del límit de corrent pel PWM #x. Amb un “1” la font del senyal de protecció de sobrecorrent triada amb els bits CLSRC<12:9> s’activa a nivell baix i amb un “0” s’activa a nivell alt.
- **CLMODE (bit 7):** Si esta a “1”, activem la funció de protecció per sobrecorrent al PWM #x.
- **FLTSRC (bit 6:3):** Amb aquesta combinació de bits escollim quin dels comparadors analògics que té el mòdul PWM controla el senyal de fallada del PWM #x.
- **FLTPOL (bit 2):** Aquest bit controla la polaritat del senyal de fallada del PWM #x escollit amb els bits FLTSRC<6:3>. Amb un “1” la senyal és activa a nivell baix i a l’inversa.

- **FLTMOD (bit 1:0):** Mode de fallada del PWM #x. Habilitar o deshabilitar l'entrada de fallada.

2.3.4.13- Registre del valor de comparació pel disparament (TRIGx)

Aquest registre serveix per emmagatzemar el valor del cicle de treball, el qual es compararà amb el rellotge intern del PWM. Un cop siguin iguals el PWM realitzarà una interrupció. El registre el podem veure a la figura 2.29.

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
TRGCMP<15:8>							
bit 15							bit 8
R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	U-0
TRGCMP<7:3>					—	—	—
bit 7							bit 0

Figura 2.29 Bites del registre TRIGx

2.3.5- Interrupcions

El microcontrolador dsPIC30F2020, té 35 fonts d'interrupcions i 4 excepcions de processador, que són regides per un vector de prioritats. La CPU, és l'encarregada de llegir la prioritat de d'interrupció, utilitzant el vector d'interrupcions (IVT) esmentat i transferir l'adreça continguda en el vector d'interrupcions al comptador del programa (PC).

Tant el vector d'interrupcions (IVT) com el vector d'interrupcions alternatiu (AIVT) estan mapejats al principi de la memòria del programa. Els vectors d'interrupcions (IVT) apareix a la taula 2.4.

INT Number	Vector Number	Interrupt Source			
Highest Natural Order Priority			22	30	PWM Gen#4
0	8	INT0 – External Interrupt 0	23	31	Reserved
1	9	IC1 – Input Capture 1	24	32	Reserved
2	10	OC1 – Output Compare 1	25	33	Reserved
3	11	T1 – Timer 1	26	34	Reserved
4	12	Reserved	27	35	ICN – Input Change Notification
5	13	OC2 – Output Compare 2	28	36	Reserved
6	14	T2 – Timer 2	29	37	Analog Comparator 1
7	15	T3 – Timer 3	30	38	Analog Comparator 2
8	16	SPI1	31	39	Analog Comparator 3
9	17	U1RX – UART1 Receiver	32	40	Analog Comparator 4
10	18	U1TX – UART1 Transmitter	33	41	Reserved
11	19	ADC – ADC Convert Done	34	42	Reserved
12	20	NVM – NVM Write Complete	35	43	Reserved
13	21	SI2C – I ² C™ Slave Event	36	44	Reserved
14	22	MI2C – I ² C Master Event	37	45	ADC Pair 0 Conversion Done
15	23	Reserved	38	46	ADC Pair 1 Conversion Done
16	24	INT1 – External Interrupt 1	39	47	ADC Pair 2 Conversion Done
17	25	INT2 – External Interrupt 2	40	48	ADC Pair 3 Conversion Done
18	26	PWM Special Event Trigger	41	49	ADC Pair 4 Conversion Done
19	27	PWM Gen#1	42	50	ADC Pair 5 Conversion Done
20	28	PWM Gen#2	43	51	Reserved
21	29	PWM Gen#3	44	52	Reserved
			45-53	53-61	Reserved
Lowest Natural Order Priority					

Taula 2.4 Vectors d'interrupció del dsPIC30F2020

Les interrupcions poden tenir un nivell de prioritat establert per l'usuari entre 0 (mínima prioritat) a 7 (màxima prioritat). Dos o més interrupcions poden tenir la mateixa prioritat, en aquest cas, la prioritat de la interrupció bé donada per l'ordre que ocupa a la taula 2.4.

El processament de les interrupcions es realitza de la següent manera:

1. El processador mostreja els bits d'estat (flags) de les interrupcions al principi de cada cicle d'instrucció, això ho realitza a través del registre IFSx.
2. Si en aquest registre s'observa una petició d'interrupció (IRQ), aquesta serà servida sol si el seu corresponent bit està activat al registre IECx.
3. Per acabar, les interrupcions detectades són avaluades i resoltes amb l'ordre de prioritat adequat.

2.3.5.1- Registre de control de interrupció 1 (INTCON1)

El control general de les interrupcions es realitza a través del registre de control INTCONx. A la figura 2.30 es poden veure el seus bits.

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
NSTDIS	OVAERR	OVBERR	COVAERR	COVBERR	OVATE	OVBTE	COVTE
bit 15							bit 8
R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0
SFTACERR	DIV0ERR	—	MATHERR	ADDRERR	STKERR	OSCFAIL	—
bit 7							bit 0

Figura 2.30 Bits del registre INTCON1

- **NSTDIS (bit 15):** Amb aquest bit a “1”, permetem que una interrupció de prioritat superior pugui interrompre una de prioritat més baixa, encara que aquesta ja s’estigui executant. Si està a “0” no es permet.
- **OVAERR (bit 14):** Aquest flag es posa a “1” si l’acumulador A es desborda, en cas contrari romandrà a “0”.
- **OVBERR (bit 13):** Aquest flag es fica a “1” si l’acumulador B es desborda, en cas contrari romandrà a “0”.
- **COVAERR (bit 12):** El mateix que per a OVAERR però amb un desbordament catastròfic.
- **COVBERR (bit 11):** El mateix que per a OVBERR però amb un desbordament catastròfic.
- **OVATE (bit 10):** Si està a “1” permet l’excepció per desbordament del acumulador A.
- **OVBTE (bit 9):** Si està a “1” permet l’excepció per desbordament del acumulador B.

- **COVTE (bit 8):** Permet, si es troba a “1”, l’ excepció per desbordament catastròfic de qualsevol dels acumuladors (A i B).
- **SFTACERR (bit 7):** Si aquest bit es troba a “1”, indica que ha hagut un error de caire matemàtic provocat per un valor erroni a un acumulador.
- **DIV0ERR (bit 6):** Si aquest bit està a “1”, indica que ha hagut un error matemàtic provocat per una divisió per zero.
- **MATHERR (bit 4):** Si està a “1”, indica que ha hagut un error aritmètic a causa d’un desbordament d’un acumulador.
- **ADDRERR (bit 3):** Si es troba a “1”, indica que ha hagut un error a l’adreça.
- **STKERR (bit 2):** Si es troba a “1”, indica que ha hagut un error a la pila.
- **OSCFAIL (bit 1):** Si es troba a “1”, indica que ha hagut un error a l’oscil·lador, ja sigui aquest intern com extern.

2.3.5.2- Registre de control de interrupció 2 (INTCON2)

El registre INTCON2, controla les peticions externes i l’ús del vector d’interrupcions alternatiu (AIVT). A la figura 2.31, podem veure els bits que el componen.

R/W-0	R-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
ALTIVT	DISI	—	—	—	—	—	—
bit 15							bit 8
U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
—	—	—	—	—	INT2EP	INT1EP	INT0EP
bit 7							bit 0

Figura 2.31 Bits del registre INTCON2

- **ALTIVT (bit 15):** Aquest bit serveix per activar el vector d'interrupcions alternatiu (AIVT) si està a "1". Pel contrari si està a "0" s'utilitza el IVT.
- **DISI (bit 14):** Mentre aquest bit està a "1", les interrupcions de prioritat 6 o inferior estan deshabilitades.
- **INT2EP (bit 2):** Aquest bit, selecciona si d'interrupció externa 2, s'activa al flanc de pujada ("0") o al flac de baixada ("1").
- **INT1EP (bit 1):** Aquest bit, selecciona si d'interrupció externa 1, s'activa al flanc de pujada ("0") o al flac de baixada ("1").
- **INT0EP (bit 0):** Aquest bit, selecciona si d'interrupció externa 0, s'activa al flanc de pujada ("0") o al flac de baixada ("1").

2.3.5.3- Registre d'estat del flag de interrupció 0 (IFS0)

Els flags de petició d'interrupció estan agrupats als registres IFSx, aquest són activats (posats a "1") pels seus perifèrics o senyals externes. Aquets flags han de ser netejats via software un cop la petició d'interrupció s'hagi atès. A la figura 2.32 es poden veure els flags del registre.

U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
—	MI2CIF	SI2CIF	NVMIF	ADIF	U1TXIF	U1RXIF	SPI1IF
bit 15							bit 8
R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
T3IF	T2IF	OC2IF	—	T1IF	OC1IF	IC1IF	INT0IF
bit 7							bit 0

Figura 2.32 Bits del registre IFS0

- **MI2CIF (bit 14):** Si el bit està a "1", significa que hi ha una interrupció per I²C mestre.

- **SI2CIF (bit 13):** Si el bit està a “1”, significa que hi ha una interrupció per I²C esclau.
- **NVMIF (bit 12):** Bit d’interrupció per part de la memòria no volàtil a “1”.
- **ADIF (bit 11):** Bit que indica que s’ha finalitzat una conversió al convertidor A/D a “1”.
- **U1TXIF (bit 10):** A “1”, interrupció per part del transmissor UART1.
- **U1RXIF (bit 9):** A “1”, interrupció per part del receptor UART1.
- **SPI1IF (bit 8):** A “1”, interrupció per part del mòdul SPI.
- **T3IF (bit 7):** A “1”, interrupció del timer 3.
- **T2IF (bit 6):** A “1”, interrupció del timer 2.
- **OC2IF (bit 5):** A “1”, interrupció del mòdul de comparadors 2.
- **T1IF (bit 3):** A “1”, interrupció del timer 1.
- **OC1IF (bit 2):** A “1”, interrupció del mòdul de comptadors 1.
- **IC1IF (bit 1):** A “1”, interrupció del mòdul de captura d’entrada.
- **INT0IF (bit 0):** A “1”, interrupció externa.

2.3.5.4- Registre d’estat de interrupció 1 (IFS1)

A la figura 2.33, podem veure els bits d’aquest registre.

R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0	U-0	U-0	U-0
AC3IF	AC2IF	AC1IF	—	CNIF	—	—	—
bit 15							bit 8
U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
—	PWM4IF	PWM3IF	PWM2IF	PWM1IF	PSEMIF	INT2IF	INT1IF
bit 7							bit 0

Figura 2.33 Bits del registre IFS1

- **AC3IF (bit 15):** Bit de interrupció del comparador analògic número 3. Actiu a “1”.
- **AC2IF (bit 14):** Bit de interrupció del comparador analògic número 2. Actiu a “1”.
- **AC1IF (bit 13):** Bit de interrupció del comparador analògic número 1. Actiu a “1”.
- **CNIF (bit 11):** Bit d’avis de canvi a l’entrada. Actiu a “1”.
- **PWM4IF (bit 6):** Bit d’interrupció del mòdul PWM 4. Actiu a “1”.
- **PWM3IF (bit 5):** Bit d’interrupció del mòdul PWM 3. Actiu a “1”.
- **PWM2IF (bit 4):** Bit d’interrupció del mòdul PWM 2. Actiu a “1”.
- **PWM1IF (bit 3):** Bit d’interrupció del mòdul PWM 1. Actiu a “1”.
- **PSEMIF (bit 2):** Bit d’estat per finalització del temps de disparament per esdeveniment espacial.
- **INT2IF (bit 1):** Bit d’interrupció externa 2. Actiu a “1”.
- **INT1IF (bit 0):** Bit d’interrupció externa 1. Actiu a “1”.

2.3.5.5- Registre d'estat del flag de interrupció 2 (IFS2)

A la figura 2.34, podem observar aquest registre.

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-00	R/W-0
—	—	—	—	—	ADCP5IF	ADCP4IF	ADCP3IF
bit 15							bit 8
R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0
ADCP2IF	ADCP1IF	ADCP0IF	—	—	—	—	AC4IF
bit 7							bit 0

Figura 2.34 Bits del registre d'estat IFS2

- **ADCP5IF (bit 10):** Aquest bit avisa de la finalització d'una conversió a la parella 5. Aquest bit és actiu a "1".
- **ADCP4IF (bit 9):** Aquest bit avisa de la finalització d'una conversió a la parella 4. Aquest bit és actiu a "1".
- **ADCP3IF (bit 8):** Aquest bit avisa de la finalització d'una conversió a la parella 3. Aquest bit és actiu a "1".
- **ADCP2IF (bit 7):** Aquest bit avisa de la finalització d'una conversió a la parella 2. Aquest bit és actiu a "1".
- **ADCP1IF (bit 6):** Aquest bit avisa de la finalització d'una conversió a la parella 1. Aquest bit és actiu a "1".
- **ADCP0IF (bit 5):** Aquest bit avisa de la finalització d'una conversió a la parella 0. Aquest bit és actiu a "1".
- **AC4IF (bit 0):** Bit d'interrupció del comparador analògic número 4. Actiu a "1".

2.3.5.6- Registre de control d'habilitació d'interrupció 0 (IEC0)

Els bits de control de les interrupcions estan continguts als registres de control IECx. Aquests bits s'utilitzen per a controlar de forma individual les interrupcions provinents de l'exterior.

U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
—	MI2CIE	SI2CIE	NVMIE	ADIE	U1TXIE	U1RXIE	SPI1IE
bit 15				bit 8			
R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
T3IE	T2IE	OC2IE	—	T1IE	OC1IE	IC1IE	INT0IE
bit 7				bit 0			

Figura 2.35 Bits del registre de control IEC0

- **MI2CIE (bit 14):** Bit d'habilitació d'interrupcions del mòdul I²C mestre. S'activa a "1".
- **SI2CIE (bit 13):** Bit d'habilitació d'interrupcions del mòdul I²C esclau. S'activa a "1".
- **NVMIE (bit 12):** Bit d'habilitació de la memòria no volàtil. Actiu a "1".
- **ADIE (bit 11):** Bit d'habilitació de interrupció per finalització de conversió per part del convertidor analògic/digital. Actiu a "1".
- **U1TXIE (bit 10):** Bit d'habilitació de la interrupció del transmissor del mòdul UART1. Actiu a "1".
- **U1RXIE (bit 9):** Bit d'habilitació de la interrupció del receptor del mòdul UART1. Actiu a "1".
- **SPI1IE (bit 8):** Bit d'habilitació de la interrupció del mòdul SPI. Actiu a "1".

- **T3IE (bit 7):** Bit d'interrupció del temporitzador 3. Actiu a "1".
- **T2IE (bit 6):** Bit d'interrupció del temporitzador 2. Actiu a "1".
- **OC2IE (bit 5):** Bit d'habilitació de la interrupció del canal 2 del mòdul de comparació. Actiu a "1".
- **T1IE (bit 3):** Bit d'interrupció del temporitzador 3. Actiu a "1".
- **OC1IE (bit 2):** Bit d'habilitació de la interrupció del canal 1 del mòdul de comparació. Actiu a "1".
- **IC1IE (bit 1):** Bit d'habilitació de la interrupció del mòdul de captura de l'entrada. Actiu a "1".
- **INT0IE (bit 0):** Bit d'habilitació de la interrupció externa 0. Actiu a "1".

2.3.5.7- Registre de control d'habilitació d'interrupció 1 (IEC1)

Els bits que formen aquest registre els podem veure a la figura 2.36.

R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0	U-0	U-0	U-0
AC3IE	AC2IE	AC1IE	—	CNIE	—	—	—
bit 15							bit 8
U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
—	PWM4IE	PWM3IE	PWM2IE	PWM1IE	PSEMIE	INT2IE	INT1IE
bit 7							bit 0

Figura 2.36 Bits del registre de control IEC1

- **AC3IE (bit 15):** Bit d'habilitació del comparador analògic 3. Actiu a "1".

- **AC2IE (bit 14):** Bit d'habilitació del comparador analògic 2. Actiu a "1".
- **AC1IE (bit 13):** Bit d'habilitació del comparador analògic 1. Actiu a "1".
- **CNIE (bit 11):** Bit d'habilitació de la interrupció per canvi a l'entrada. Actiu a "1".
- **PWM4IE (bit 6):** Bit d'habilitació de la interrupció del mòdul PWM 4. Actiu a "1".
- **PWM3IE (bit 5):** Bit d'habilitació de la interrupció del mòdul PWM 3. Actiu a "1".
- **PWM2IE (bit 4):** Bit d'habilitació de la interrupció del mòdul PWM 2. Actiu a "1".
- **PWM1IE (bit 3):** Bit d'habilitació de la interrupció del mòdul PWM 1. Actiu a "1".
- **PSEMIE (bit 2):** Bit d'habilitació d'interrupció per finalització del període de disparament d'interrupció per esdeveniment especial. Actiu a "1".
- **INT2IE (bit 1):** Bit d'habilitació d'interrupció externa 2. Actiu a "1".
- **INT1IE (bit 0):** Bit d'habilitació d'interrupció externa 0. Actiu a "1".

2.3.5.8- Registre de control d’habilitació d’interrupció 2 (IEC2)

A la figura 2.37 podem veure el registre en qüestió.

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
—	—	—	—	—	ADCP5IE	ADCP4IE	ADCP3IE
bit 15					bit 8		
R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0
ADCP2IE	ADCP1IE	ADCP0IE	—	—	—	—	AC4IE
bit 7							bit 0

Figura 2.37 Bits del registre de control IEC2

- **ADCP5IE (bit 10):** Bit d’habilitació de la interrupció que indiqui que s’ha realitzat una conversió al parell 5 del convertidor analògic/digital. Actiu a “1”.
- **ADCP4IE (bit 9):** Bit d’habilitació de la interrupció que indica que s’ha realitzat una conversió al parell 4 del convertidor analògic/digital. Actiu a “1”.
- **ADCP3IE (bit 8):** Bit d’habilitació de la interrupció que indica que s’ha realitzat una conversió al parell 3 del convertidor analògic/digital. Actiu a “1”.
- **ADCP2IE (bit 7):** Bit d’habilitació de la interrupció que indica que s’ha realitzat una conversió al parell 2 del convertidor analògic/digital. Actiu a “1”.
- **ADCP1IE (bit 6):** Bit d’habilitació de la interrupció que indica que s’ha realitzat una conversió al parell 1 del convertidor analògic/digital. Actiu a “1”.
- **ADCP0IE (bit 5):** Bit d’habilitació de la interrupció que indica que s’ha realitzat una conversió al parell 0 del convertidor analògic/digital. Actiu a “1”.
- **AC4IE (bit 0):** Bit per habilitar la interrupció del comparador analògic 4. Actiu a “1”.

2.3.5.9- Registre de control de prioritats d'interrupcions (IPCx)

Com s'ha esmentat anteriorment, l'usuari pot establir les prioritats de les interrupcions. Per a fer-ho, s'han de configurar els registres de control IPCx, els quals són un total de 12 registres de control. Per resumir-ho, ja que tots els registres es configuren igual, solament explicarem el ICP0.

S'ha de recordar que l'única diferència entre els 12 registres IPCx, són els mòduls, convertidor analògic/digital, PWM, etc. Els quals se l'hi assignarà una prioritat entre 1 i 7, sent el 7 la màxima prioritat i 1 la mínima. La figura 2.38 representa el registre de bits del ICP0.

U-0	R/W-1	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-1	R/W-0	R/W-0
—	T1IP<2:0>			—	OC1IP<2:0>		
bit 15				bit 8			

U-0	R/W-1	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-1	R/W-0	R/W-0
—	IC1IP<2:0>			—	INT0IP<2:0>		
bit 7				bit 0			

Figura 2.38 Bits del registre IPC0

- **PWM1IP (bits 14:12):** Conjunt de bits ambels que determinem la prioritat de la interrupció del temporitzador 1. Sent el 0 (binari) la deshabilitació de la interrupció.
- **OC1IP (bits 10:8):** Conjunt de bits ambels que determinem la prioritat de la interrupció del canal 1 del mòdul comparador. Sent el 0 (binari) la deshabilitació de la interrupció.
- **IC1IP (bits 6:4):** Conjunt de bits ambels que determinem la prioritat de la interrupció del canal 1 del mòdul de captura d'entrada. Sent el 0 (binari) la deshabilitació de la interrupció.

- **INT0IP (bits 6:4):** Conjunt de bits amb els que determinem la prioritat de la interrupció externa 0. Sent el 0 (binari) la deshabilitació de la interrupció.

2.3.6- Descripció del programa

Un cop explicats els registres de programació del microcontrolador dsPIC30F2020, passarem a veure com s'ha de programar per realitzar el control del convertidor Buck, mitjançant la implementació de l'algorisme de control calculat anteriorment.

Per la implementació del programa s'ha optat per l'ús de nombres fraccionals, els quals, són la representació de nombres decimals compresos entre -1 i 1 en nombres enters (explicat al capítol 7). Amb d'utilització d'aquest tipus de nombres es redueix considerablement el temps d'execució del programa.

Juntament amb els nombres fraccionals, podem utilitzar funcions intrínseques, les quals, ens permeten, una millor optimització dels temps d'execució a l'hora de fer càlculs. Per la implementació de l'equació de control, hem utilitzat la funció intrínseca *VectorDotProduct()*, la qual, es troba a la llibreria *dsp.h*. Aquesta funció ens permet obtenir la suma dels productes de dos vectors.

Per optimitzar encara més el programa, s'ha optat per no utilitzar cap timer. D'aquesta manera, el convertidor A/D va lligat al PWM. El convertidor A/D s'activa 1,5 µs flanc ascendent del PWM, aquest retard està programat per evitar que quant el convertidor A/D faci el mostreig, no realitzi una lectura errònia, per causa de les pertorbacions produïdes de l'establiment de la senyal PWM.

Aquesta sincronització es realitza mitjançant les inicialitzacions del PWM i del convertidor A/D, les quals es realitzen a l'inicialitzar el programa.

El bit d'estat que permet que el PWM generi crides cada cicle d'execució és el *TRGDIV* que es troba al registre *TRGCONx*. Aquest bit el fem a zero per que cada cicle el PWM faci un crida.

Per altra banda, per sincronitzar el convertidor A/D amb el PWM, s'han de fincar els bits de *TRGSRCx* del registre *ADCPCx* a quatre per activar el convertidor A/D cada flan ascendent del PWM.

La conversió del A/D s'executa en 0,5 μ s, repartits en 83,32 ns pel mostreig i 41,66 μ s per la conversió. Aquesta és la màxima velocitat permesa per les especificacions tècniques del convertidor A/D.

Un cop el convertidor A/D finalitza una conversió, aquest crida una interrupció via hardware. On es calcula el nou duty cycle i s'actualitzen els errors. Ho podem veure al següent diagrama de flux:

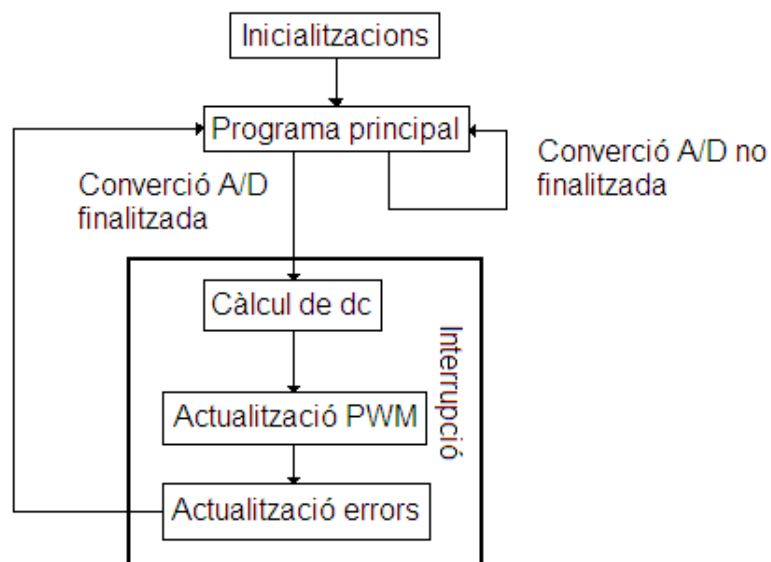


Figura 2.39 Diagrama de flux

Com es pot observar a la figura 2.39, el programa principal solament és un bucle infinit, ja que el control es fa des de d'interrupció.

2.3.6.1- Interrupció

En aquest apartat explicarem el funcionament de d'interrupció, que com hem dit abans, és on es realitza el control.

Com em dit anteriorment, el programa salta a la interrupció cada cop que el convertidor A/D realitza una conversió. Quan això passa, el programa entra a la interrupció i llegeix el buffer d'entrada del convertidor A/D al canal corresponent (ADCBUF0).

Ja que, treballem en nombres fraccional, el convertidor A/D està programat per que doni el resultat de les conversions en representació fraccional. Per aquest motiu és necessari saber com ens proporciona les dades el convertidor A/D en format fraccional.

El convertidor té un ranc d'entrada, que compren tensions entre 0 i 5 volts. Treballant en format fraccional, proporciona valors entre 0 i 1, per tensions entre 0 i 2,4 volts i valors entre -1 i 0 per tensions entre 2,5 i 5 volts. Tal com podem veure a la figura 2.40.

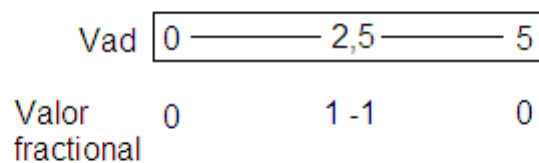


Figura 2.40 Representació dels valors fraccionals del CAD

Utilitzen el format en que ens és proporcionat el resultat i aplicant una simple operació, ens proporciona directament l'error. És a dir en dona el que sobrepassa o el que li falta per arribar a la consigna de 5 volts. Això ho podem fer ja que, quant la sortida del convertidor Buck és de 5 volts, el convertidor A/D llegeix 0 volts.

D'aquesta manera, qualsevol tensió superior a 5 volts, farà disminuir el duty cycle i els valors per sota el farà augmentar. Tal com podem veure a la següent figura:

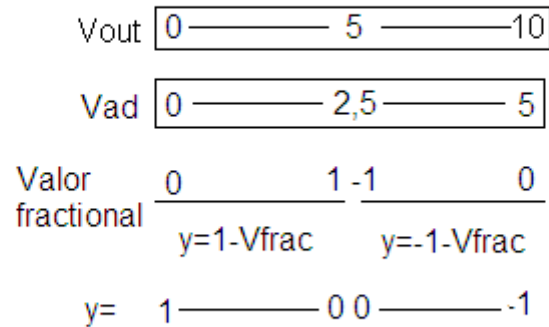


Figura 2.41 Relació entre tensió de sortida del convertidor i l'error en fraccional.

Un cop tenim l'error, calculem el duty cycle mitjançant la funció *VectorDotProduct()*. Aquesta funció ens retornarà un duty cycle compres entre 0 i 0,05, això és degut als divisors que s'han tingut que aplicar per adaptar el valor màxim al que pot arribar el PWM amb el valor màxim del duty cycle.

Per fer-ho s'han dividit per una constant (17,34) les constants de la part proporcional. Les constants de la part integral no estan dividides per (17,34), ja que el duty cycle al qual multipliquen ja esta dividit per aquesta constant. D'aquesta manera el duty cycle queda dins del rang del PWM.

Amb el duty cycle calculat, nomes cal desfer les divisions fetes per adaptar la senyal al convertidor A/D. Multiplicar per 2 pel divisor de tensió, ja que, el convertidor A/D té un interval de funcionament de 0 a 5 volts i la sortida del convertidor buck és de 0 a 10 volts, per aquest motiu, s'ha de dividir per 2.Finalment, multiplicat per 2,5 per adaptar l'error en tensió a l'error en fraccional, ja que, el interval dels nombres

fraccional, és de -1 a 1, amb la qual cosa, els volts que llegeix el convertidor A/D. Ho podem veure a la següent figura:

Vout	0	5	10	
Vad	0	2,5	5	/2 (divisor tensió)
Ver	2,5	0	-2,5	
Valor frac.	1	0	.1	/2,5 (adequació a frac.)

Figura 2.42 Relació de divisors.

El funcionament de la interrupció la podem veure resumida al següent diagrama de flux:

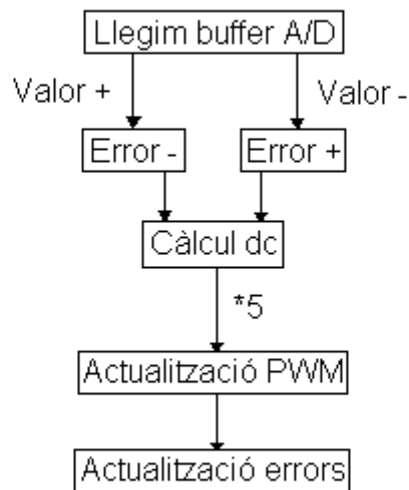


Figura 2.43 Diagrama de flux de la interrupció

Un cop es llegeix el buffer del convertidor A/D, s'avalua el signe del valor llegit. Si aquest valor és positiu, el convertidor té un error per defecte, si pel contrari el

signe és negatiu, l'error és per excés. Aquest error, és calcula mitjançant les equacions de la figura 2.41.

Quant el valor llegit és positiu:

$$error = 1 - V_{frac} \quad (2.69)$$

Quant el valor llegit és negatiu:

$$error = -1 - V_{frac} \quad (2.70)$$

Un cop adquirit l'error, es calcula el nou duty cycle mitjançant la funció *VectorDotProduct()* de la llibreria *dsp.h*. El nou duty cycle es multiplica per 5 descompost en: 2,5 de l'adequació de la lectura del convertidor A/D amb els nombres fraccionals i per 2 adequació de la tensió de sortida del convertidor a la tensió d'entrada del convertidor A/D.

El duty cycle compensat es carrega al registre PDC1 del PWM, un cop actualitzat el PWM, s'actualitzen el error per al següent cicle.

El DEEEA

El tènic

Dr. Enric Vidal Idiarte

Rolan Sanjuan Ferrús

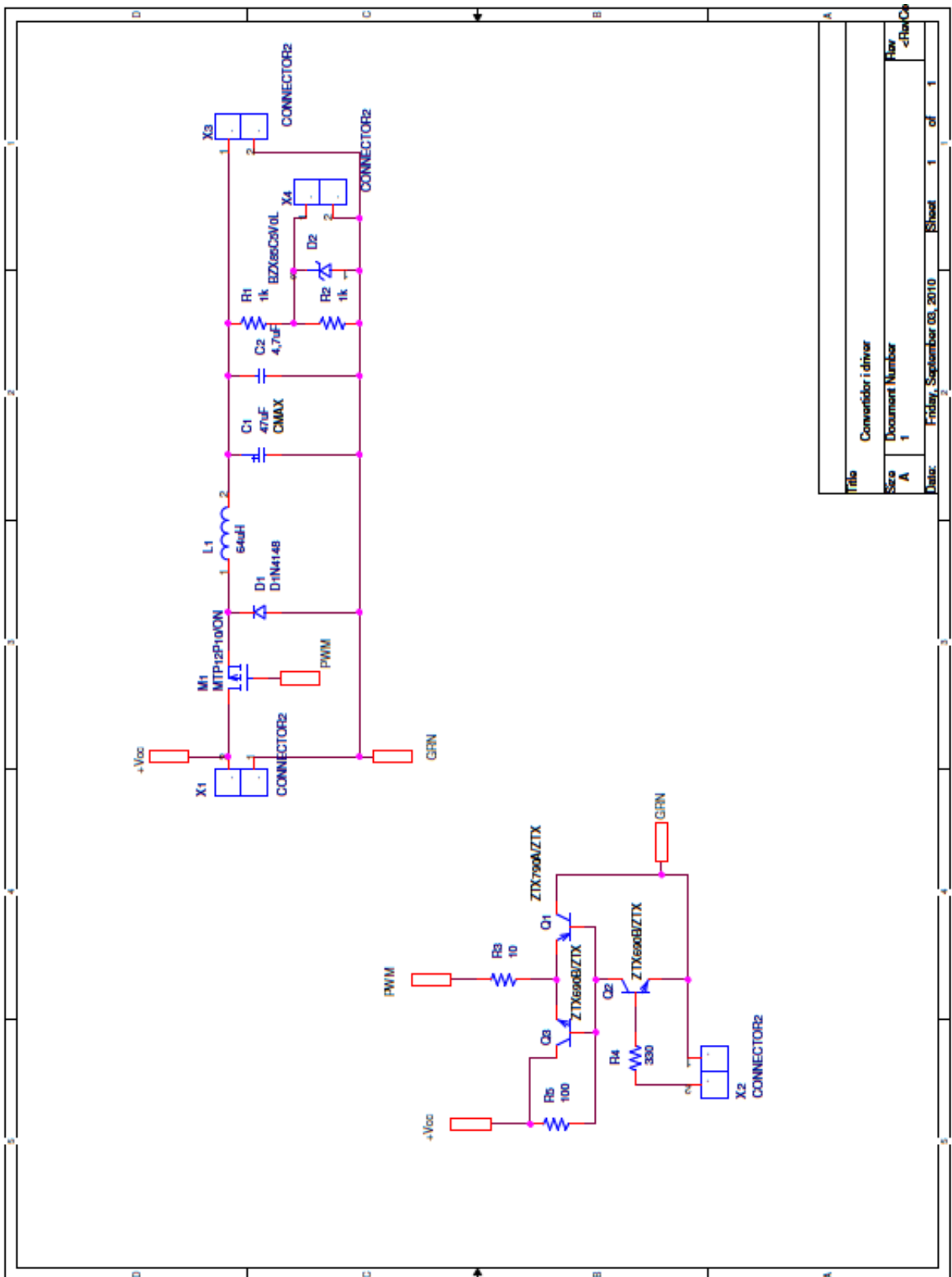
Document n^om. 3

ÍNDEX

Document núm. 3: PLANOLS

3.0- Índex.....	130
3.1- Plànol nº 1.....	131

3.1- Planol n° 1



Document n^om. 4

ÍNDIX

Document núm. 4: PLEC DE CONDICIONS

4.0- Índex.....	133
4.1- Reunits.....	135
4.2- Exposen.....	135
4.2.1- Primer.....	135
4.2.2- Segon.....	135
4.3- Clàusules.....	136
4.3.1- Objectius.....	136
4.3.2- Objectiu de l'acord.....	136
4.3.3- Condicions d'acceptació del treball.....	136
4.3.4- Coordinadors/Responsables.....	136
4.3.5- Durada.....	137
4.3.6- Import i condicions de pagament.....	137
4.3.7- Forma de pagament.....	137
4.3.8- Modificacions i resisó de contracte.....	137
4.3.9- Principis d'actuació.....	138
4.3.10- Resolució de conflictes.....	138
4.4- Condicions generals.....	138
4.4.1- Condicions legals i administratives.....	139
4.4.2- Condicions facultatives.....	139
4.4.3- Condicions de materials i equips.....	140
4.4.3.1- Conductor elèctrics.....	140
4.4.3.2- Resistències fixes i variables.....	140
4.4.3.3- Condensadors.....	141
4.4.3.4- Bobines.....	141
4.4.3.5- Interruptors.....	142
4.4.3.6- Microcontroladors.....	142
4.4.3.7- Disseny de la placa d'un circuit imprès.....	142
4.4.4- Condicions d'execució i muntatge.....	143
4.4.4.1- Descripció general del muntatge.....	143
4.4.4.2- Càlcul de l'expressió sortida-control.....	144

4.4.4.3- Càlcul i simulació dels diferents controladors.....	144
4.4.4.4- Obtenció i simulació de l'equació en diferències.....	145
4.4.4.5- Muntatge del prototip del convertidor.....	145
4.4.4.6- Programació del microcontrolador.....	145
4.4.4.7- Probes de funcionament del prototip.....	145
4.4.4.8- Creació i muntatge de la placa PCB.....	146

4.1- Reunits

El Dr. Enric Vidal Idiarte, professor titulat universitari del Departament d'Enginyeria Electrònica, Elèctrica i Automàtica (DEEEA), de la Universitat Rovira i Virgili (URV), en domicili a Avinguda dels Països Catalans nº 26, 43007, Tarragona.

I

El Sr. Rolan Sanjuan Ferrús, com a enginyer tècnic industrial en electrònica industrial, en domicili a Carrer Escoles nº 2, 43750, Flix, Tarragona.

Reconeixen mútuament, la capacitat jurídica necessària per obligar, les respectives entitats, mitjançant el present document.

4.2- Exposen

4.2.1- Primer

Que l'enginyer tècnic industrial en electrònica industrial, Rolan Sanjuan Ferrús, té experiència en el camp de l'electrònica de potència, electrònica de control i informàtica industrial, així com la capacitat d'estudiar nous dispositius microcontroladors. Per aquest motiu, la DEEEA està interessat amb la seva contractació.

4.2.2- Segon

Que la Universitat Rovira i Virgili, com a institució sense ànim de lucre, té com a finalitats la formació i la docència d'alumnes, a més de la investigació sobre nous sistemes, amb la finalitat d'afavorir els convenis de col·laboració entre empreses i els diferents departaments. D'aquesta manera la URV està interessada en donar suport al

enginyer tècnic, Rolan Sanjuan Ferrús, en la seva tasca d'investigació i desenvolupament (I+D) per l'estudi d'un nou microcontrolador per a la realització, d'un controlador digital sobre un convertidor reductor (Buck).

4.3- Clàusules

4.3.1- Objectius

El DEEEA i Rolan Sanjuan Ferrús, col·laboren conjuntament en activitats d'investigació i desenvolupament, per aquest departament amb la condició de tercers en relació el present acord.

4.3.2- Objectiu de l'acord

L'objectiu d'aquest contracte és que el Sr. Rolan Sanjuan Ferrús realitzi el projecte titulat: Control de convertidors CC-CC mitjançant dsPIC.

4.3.3- Condicions d'acceptació del treball

El Sr. Rolan Sanjuan Ferrús accepta realitzar l'esmentat projecte, baix la tutorització del Dr. Enric Vidal Idiarte.

4.3.4- Coordinadors/Responsables

El DEEEA designa al Dr. Enric Vidal Idiarte com a coordinador de l'acord firmat amb el Sr. Rolan Sanjuan Ferrús.

El responsable i realitzador del projecte és el Sr. Rolan Sanjuan Ferrús. Tant el coordinador com el responsable es podrà actualitzar durant la vigència de l'acord segons convingui, comunicant-ho amb antelació a la DEEEA.

4.3.5- Durada

L'acord està establert per la durada del projecte, que serà d'uns sis mesos, durant aquest període es realitzaran sessions de control entre les dues parts per observar l'avanç, i la resolució, de problemes relacionats amb el projecte.

4.3.6- Import i condicions de pagament

El total del projecte puja a la suma de 1203,22 €. El pagament es realitzarà en dos cops, de 601,61 € cadascun. Un a l'entrega i l'altre un cop instal·lat.

4.3.7- Forma de pagament

El pagament es realitzarà al comptat, respectant el dia de pagament de la URV, abonant les quantitats facturades en efectiu al Banc Santander, a l'Avinguda Països Catalans, nº 26 de Tarragona, al nº de compte corrent 8377-9010-10-27068602, a nom de Rolan Sanjuan Ferrús i factura dirigida a nom del DEEEA.

4.3.8- Modificacions i rescissió del contracte

Les dues parts poden modificar o renunciar a aquest contracte, en qualsevol moment per mutu acord.

Si a causa del Sr. Rolan Sanjuan Ferrús, responsable del desenvolupament del present projecte, no el finalitza dins el temps acordat, l'acord quedarà automàticament rescindit, retornant al DEEEA l'últim pagament realitzat en un període no superior a 3 setmanes laborables des de la rescissió del contracte. De la mateixa forma si la DEEEA dóna per finalitzat el projecte abans de finalitzar-ho, haurà de pagar al Sr. Rolan Sanjuan Ferrús, el preu íntegre acordat per projecte finalitzat.

4.3.9- Principis d'actuació

El DEEEA i el Sr. Rolan Sanjuan Ferrús treballen plegats en tot moment per poder assolir, el millor resultat final del projecte encarregat.

4.3.10- Resolució de conflictes

Un cop esgotada la via de l'acord privat i donada la impossibilitat d'arribar a un acord acceptable entre les dues parts a causa d'un hipotètic desacord, aquestes acorden que per a la resolució de qualsevol problema litigiós que sigui plantejat durant el transcurs del projecte, ambdues parts, es sotmetran a l'arbitratge institucional del Tribunal Arbitral de Barcelona de l'Associació Catalana per a l'Arbitratge, encarregant-li la designació d'àrbitres i administració de l'àrbitre d'acord amb el seu reglament i sent d'obligat compliment, la decisió final arbitral.

Abans d'emprendre acció contra el DEEEA i/o la URV s'haurà d'haver formulat la prèvia reclamació administrativa tal com ho estableixen els articles 12 i següents de la Llei de Procediment Administratiu. I en prova de conformitat, ambdues parts signen el present pacte, en la ciutat i data mencionades.

4.4- Condicions generals

Les condicions generals contempnen els aspectes legals, administratius i econòmics aplicables al present projecte i estan formades pel següents apartats:

4.4.1- Condicions legals i administratives

Els objectius a desenvolupar en el projecte s'executaran complint la normativa UNE referent a les parts implicades i especificades a l'apartat "31 Electrònica" del catàleg AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación), tals com:

- 31.020 - Components electrònics en general.
- 31.040 - Resistències elèctriques.
- 31.040.10 - Resistències fixes.
- 31.060 - Condensadors.
- 31.060.10 - Condensadors fixes en general.
- 31.080 - Dispositius semiconductors.

4.4.2- Condicions facultatives

Els permisos obligatoris hauran de ser obtinguts per l'empresa contractista, quedant l'empresa contractada al marge de qualsevol problema derivat de les mateixes. Qualsevol retard durant el procés de fabricació que afecti la data d'entrega del projecte per causes degudament justificades, sent aquestes alienes a l'empresa contractista, seran degudament acceptades per l'empresa contractista, no tenint aquesta última dret a denúncia.

Un retard en l'entrega no justificat, suposaran el pagament del 5% del total del projecte, per dia de retard, per part de l'empresa contractada.

L'empresa contractista, es compromet a proporcionar les millors facilitats per a que la fabricació del producte, per part de l'empresa contractada, sigui ràpida i perfecta.

L'equip de fabricació complirà els requisits mínims respecte el projecte encarregat i qualsevol modificació o millora en el contingut del projecte haurà de ser consultada al dissenyador.

La contractació d'aquest projecte es considerarà vàlida quan les dos parts implicades es comprometen a concloure les clàusules del contracte, per la qual hauran d'estar signats els documents en una reunió conjunta. Els serveis prestats per l'empresa contractada, es consideraran finalitzats des del moment en que entreguen el prototip finalitzat i prèviament provat.

La garantia perdurarà durant un any i l'empresa contractista es farà càrrec de l'averia mentre es demostrï que aquesta no sigui provocada per un mal ús de l'equip. Un cop esgotada la garantia. L'empresa contractista no tindrà dret a la reclamació de reparació gratuïta per part de l'empresa fabricant.

4.4.3- Condicions de materials i equips

El compliment de les comprovacions elementals per part de l'empresa instal·ladora, no serà competència del projectista, el qual queda exclòs de tota responsabilitat derivada del mal funcionament de l'equip com a conseqüència d'aquests fets.

4.4.3.1- Conductors elèctrics

Totes les connexions seran realitzades amb cable flexible recobert d'aïllament, la secció del cable no serà inferior a 0,7 mm².

4.4.3.2- Resistències fixes i variables

Les resistències segons la seva tolerància de fabricació poden tenir diferents màxims i mínims, les toleràncies varien entre 1 i el 20 per cent.

S'utilitzaran resistències de carboni capaces de dissipar fins a 250 mW. Però les resistències de sortida del convertidor Buck hauran de ser ceràmiques per a poder suportar una potència major. Ja que el sistema ha de funcionar correctament entre 0 i 20 W.

El potenciòmetre serà multivolta, ja que proporciona una precisió major i d'ajust superior per facilitar el treball d'ajust. Haurà de dissipar fins a 250 mW.

4.4.3.3- Condensadors

Les característiques més importants a l'hora d'escollir un condensador és la tolerància i el volum.

En el present projecte s'utilitzaran diversos tipus de condensador en funció de les seves característiques.

S'utilitzaran condensadors electrolítics amb unes toleràncies que oscil·len al voltant del 20%, sempre tenint en compte, que la vida esperada d'aquests tipus de condensador és limitada. Els condensadors de polièster metal·litzat amb unes toleràncies que poden arribar al 5% i ofereixen una vida més llarga.

Per les aplicacions on es requereixi una capacitat molt baixa i precisa serà convenient l'ús de condensadors ceràmics amb toleràncies de l'ordre del 2% i petit volum.

4.4.3.4- Bobines

Tenint en compte que el sistema ha de ser precís, s'optarà per la obtenció d'una bobina comercial. Per tant, la bobina serà comercial amb una tolerància inferior al 10%.

4.4.3.5- Interruptors

S'ubicaran dos interruptors amb dos posicions d'enclavament. Hauran de ser capaços de suportar la corrent adequada per evitar escalfaments.

4.4.3.6- Microcontroladors

Aquest ha estat escollit per les seves prestacions, per aquest motiu ha de poder solucionar amb èxit les condicions de disseny del circuit. Tant microcontrolador ha de respondre davant dels respectius datasheets.

4.4.3.7- Disseny de la placa de circuit imprès

La placa de circuit imprès ha estat dissenyada amb el programa Orcad Capture & Layout 16.0 per una posterior impressió del fotolit. Per a la seva realització s'ha escollit una placa pre-sensibilitzada positivament en una única cara i s'ha determinat un perfil i traçat de pistes tenint en compte els següents punts:

- En el recorregut de pistes s'evitaran angles tancats (menors a 90°).
- S'usaran angles suaus.
- S'ha de minimitzar el recorregut amb el camí més directe possible.
- Les pistes presentaran una capacitat paràsita entre elles.
- Les corrents que circulen per les pistes també induiran fent paràsites en altres pistes. Convé mantenir la longitud de pistes tan curta com sigui possible, evitar angles i la acumulació de pistes paral·leles.

- Les plaques de circuit imprès rígid s'han de soldar més endavant. S'han de vigilar les possibles acumulacions de soldadura i la possibilitat de produir-se ponts entre dues pistes.
- Es procurarà evitar els munts de components (a no ser que sigui necessari degut a la freqüència de treball del circuit) per evitar possibles efectes tèrmics.

L'amplada de les pistes és homogènia, de 3 mm, superant el mínim establert per la norma.

4.4.4- Condicions d'execució i muntatge

A continuació s'expressarà la forma d'executar, fabricar i muntar algunes parts de l'equip, garantint el compliment de les normatives i reglamentacions vigents que puguin afectar.

4.4.4.1- Descripció general del muntatge

Presentem les fases que componen el projecte i l'ordre d'execució d'aquestes, amb l'obligació d'acabar la fase actual avanç de passar a la següent.

- Càlcul de l'expressió sortida-control del convertidor Buck.
- Càlcul i simulació dels diferents controladors, per escollir el que compleixi de forma més satisfactòria les vostres necessitats.
- Obtenció i simulació de l'equació en diferències.
- Muntatge del prototip del convertidor.

- Documentació sobre el microcontrolador a utilitzar mitjançant el Datasheet.
- Programació i prova del microcontrolador.
- Probes de funcionament del prototip.
- Creació i muntatge de la placa PCB.

Els punts anteriors conformen l'obra, hauran de ser executades per muntadors que compleixin les normes que la comunitat autònoma, país o comunitat internacional tinguin previstes per aquest tipus de muntatge, no fent-se responsable el projectista dels desperfectes ocasionats pel seu incompliment.

4.4.4.2- Càlcul de l'expressió sortida-control

Obtenció de la funció de transferència sortida-control del convertidor Buck, esquema del qual ha set proporcionat pel contractista.

4.4.4.3- Càlcul i simulació dels diferents controladors

Càlcul a partir de la taula de la Texas Instruments i de l'equació de sortida-control de 4 controladors per a la planta. Un cop obtinguts, mitjançant l'entorn PSIM es simularan per veure el seu sobre pic i temps d'establiment, a més de la resposta a perturbacions exteriors com el canvi de càrrega i el canvi de tensió d'alimentació. El sistema es considerarà estable a partir del 3%.

4.4.4.4- Obtenció i simulació de l'equació en diferències

A partir del controlador escollit al punt anterior, obtenir l'equació en diferències i simular-la mitjançant l'entorn PSIM per comprovar que la transformació ha estat realitzada correctament. La resposta d'aquesta equació té que ser similar a la seva homòloga del punt anterior.

4.4.4.5- Muntatge del prototip del convertidor

En aquest punt es soldaran mitjançant un soldat d'estany de punta fina i estany (amb la proporció 62% estany i 38% plom), també és molt important que la temperatura sigui adequada per al material (uns 180° aproximadament). Un cop dit això, el muntatge es realitzarà sobre una placa perforada i les unions entre els components electrònics es realitzaran amb cables adequats per a la potència de treball del convertidor Buck (20 W).

4.4.4.6- Programació del microcontrolador

Mitjançant el software proporcionat pel fabricant del microcontrolador i el compilador de llenguatge C proporcionat pel mateix, implementar un programa informàtic de control El qual llegirà el convertidor A/D, aplicarà l'algoritme de control obtingut anteriorment i escriure el cicle de treball al mòdul PWM de microcontrolador.

4.4.4.7- Probes de funcionament del prototip

Realització de diferents probes, les quals fiquin a prova el sistema dissenyat per comprovar que aquest respon correctament a les expectatives de disseny.

4.4.4.8- Creació i muntatge de la placa PCB

Disseny de la placa PCB mitjançant l'eina de desenvolupament ORCAD 9.0. Un cop es té la placa del circuit imprès s'ha de perforar als llocs pertinents on aniran situats els components electrònics, els forats han de ser una mica més gran el diàmetre dels pats del dispositius electrònics. Un cop realitzats els forats, s'han de muntar els diferents components al seu lloc corresponent mitjançant un soldador d'estany de punta fina i estany (amb la proporció 62% estany i 38% plom), també és molt important que la temperatura sigui adequada per al material (uns 180° aproximadament).

Un cop finalitzat aquest procés, s'haurà de verificar mitjançant un multímetre la continuïtat de les diferents connexions.

El DEEEA

El tècnic

Dr. Enric Vidal Idiarte

Rolan Sanjuan Ferrús

Document n.º 5

ÍNDEX

Document núm. 5: AMIDAMENTS

5.0- Índex.....	148
5.1- Hardware.....	149
5.2- Planta prototip.....	152
5.3- Placa PCB.....	155
5.4- Fabricació placa PCB.....	158
5.5- Disseny programa informàtic.....	159

5.1- Hardware

Descripció	Unt.	Long.	Amp.	Alçada	Parcial	Quantitat	Preu	Import
------------	------	-------	------	--------	---------	-----------	------	--------

CAPITOL C_01 HARDWARE

u Microcontrolador dsPIC30F2020

1	1,00	1,00
---	------	------

u Sòcol DIL

Pin tornejat 28 vies, 7,62 mm.

1	1,00	1,00
---	------	------

u Led

Color vermell.

5	5,00	5,00
---	------	------

u Resistència 1k5 Ω SMD

Resistència SMD 1206 1k5 Ω .

5	5,00	5,00
---	------	------

u Resistència 100 Ω SMD

Resistència SMD 1206 100 Ω .

5	5,00	5,00
---	------	------

u Resistència 10k Ω SMD

Resistència SMD 1206 10k Ω .

5	5,00	5,00
---	------	------

u Díode Zener SMD

Díode Zener SMD 5V1 0,5 W.

11	11,00	11,00
----	-------	-------

Descripció	Unt.	Long.	Amp.	Alçada	Parcial	Quantitat	Preu	Import
u Polsador								
Configuració de contactes SPST, resistència de contacte <100 mΩ.								
						2	2,00	
								2,00
u Condensador 0,1 μF								
Condensador de polièster MMK5, 0,1 μF, 100 Vdc.								
						3	3,00	
								3,00
u Condensador 1 nF								
Condensador BF 1 nF, radial, 100 Vdc.								
						5	5,00	
								5,00
u Condensador 22 pF								
Condensador ceràmic 22 pF, radial, 100 V, 5 mm.								
						2	2,00	
								2,00
u Condensador 10 μF								
Condensador electrolític 10 μF, radial YXF, 50 V.								
						3	3,00	
								3,00
u Terminal KK 2 mascle								
Terminal KK 2, 5,08 mm.								
						16	16,00	
								16,00
u Terminal KK 3 mascle								
Terminal KK 3, 5,08 mm.								
						2	2,00	
								2,00

Descripció	Unt.	Long.	Amp.	Alçada	Parcial	Quantitat	Preu	Import
u Connector RJ11 femella								
Connector RJ11, 6/6.								
	1					1,00		
								1,00
u Oscil·lador 14,7456 MHz								
Capacitat de carrega 30 pF.								
	1					1,00		
								1,00
u Resistència 100 Ω								
Axial, 0,25 W								
	6					6,00		
								6,00
u Resistència 470 Ω								
Axial, 0,25 W								
	3					3,00		
								3,00
u Resistència 10k Ω								
Axial, 0,25 W								
	1					1,00		
								1,00

5.2- Planta prototip

Descripció	Unt.	Long.	Amp.	Alçada	Parcial	Quantitat	Preu	Import
------------	------	-------	------	--------	---------	-----------	------	--------

CAPITOL C_02 PLANTA PROTOTIP

u Connector 3 vies

Connector PCB 3 vies, terminal en cargol, pas 5,08 mm

1	1,00	1,00
---	------	------

u Connector 2 vies

Connector PCB 2 vies, terminal en cargol, pas 5,05 mm.

1	1,00	1,00
---	------	------

u Condensador 47 μ F

Condensador electrolític, radial, muntatge PBC, sèrie KS, 63 Vdc.

1	1,00	1,00
---	------	------

u Díode barrier schotthy

Díode 10 A, 45 V, TO220AC, MBR1045G.

1	1,00	1,00
---	------	------

u Inductància 68 μ H

Corrent màx. 6,4 A, freq. Ressonància 5,3 MHz.

1	1,00	1,00
---	------	------

u Resistència 2,2 Ω

Resistència de potència, fil bobinat, Sèrie HS50, potència 50 W.

2	2,00	2,00
---	------	------

Descripció	Unt.	Long.	Amp.	Alçada	Parcial	Quantitat	Preu	Import
u Dissipador de calor Muntatge en panell, alta potència, 5,5 °C/W, 25x42x38 mm.	2				2,00			
							2,00	
u Resistència 1 kΩ Resistència 1 kΩ, 0,25 W.	1				1,00			
							1,00	
u Resistència 1 kΩ Resistència 1 kΩ, 1 W	1				1,00			
							1,00	
u Transistor PMOS Transistor PMOS, canal P, MTP12P10.	1				1,00			
							1,00	
u Díode Zener Axial, BZX79, 5,1 V.	1				1,00			
							1,00	
u Transistor NPN Petit senyal, ZTX690B	2				2,00			
							2,00	
u Transistor PNP Petit senyal, ZTX718	1				1,00			
							1,00	

Descripció	Unt.	Long.	Amp.	Alçada	Parcial	Quantitat	Preu	Import
u Resistència 100 Ω								
Axial, 0,25 W.								
	1				1,00			
							1,00	
u Resistència 4k7 Ω								
Axial, 0,25 W.								
	1				1,00			
							1,00	
u Resistència 10 Ω								
Axial, 0,25 W.								
	1				1,00			
							1,00	
u Condensador 2n2 F								
Axial, pel·lícula de plàstic.								
	1				1,00			
							1,00	
u Condensador 4,7 μF								
Condensador SMD ceràmic multicapa								
	1				1,00			
							1,00	

5.3- Placa PCB

Descripció	Unt.	Long.	Amp.	Alçada	Parcial	Quantitat	Preu	Import
------------	------	-------	------	--------	---------	-----------	------	--------

CAPITOL C_03 PLACA PCB

u Terminal KK 2 mascle

Terminal KK 2, 5,08 mm.

4	4,00	4,00
---	------	------

u Connector 2 vies

Connector PCB 2 vies, terminal en cargol, pas 5,05 mm.

1	1,00	1,00
---	------	------

u Condensador 47 μ F

Condensador electrolític, radial, muntatge PBC, sèrie KS, 63 Vdc.

1	1,00	1,00
---	------	------

u Díode barrier schotthy

Díode 10 A, 45 V, TO220AC, MBR1045G.

1	1,00	1,00
---	------	------

u Inductància 68 μ H

Corrent màx. 6,4 A, freq. Ressonància 5,3 MHz.

1	1,00	1,00
---	------	------

u Resistència 2,2 Ω

Resistència de potència, fil bobinat, Sèrie HS50, potència 50 W.

2	2,00	2,00
---	------	------

Descripció	Unt.	Long.	Amp.	Alçada	Parcial	Quantitat	Preu	Import
------------	------	-------	------	--------	---------	-----------	------	--------

u Dissipador de calor

Muntatge en panell, alta potència,
5,5 °C/W, 25x42x38 mm.

2	2,00	2,00
---	------	------

u Resistència 1 kΩ

Resistència 1 kΩ, 0,25 W.

1	1,00	1,00
---	------	------

u Resistència 1 kΩ

Resistència 1 kΩ, 1 W

1	1,00	1,00
---	------	------

u Transistor PMOS

Transistor PMOS, canal P,
MTP12P10.

1	1,00	1,00
---	------	------

u Díode Zener

Axial, BZX79, 5,1 V.

1	1,00	1,00
---	------	------

u Transistor NPN

Petit senyal, ZTX690B

2	2,00	2,00
---	------	------

u Transistor PNP

Petit senyal, ZTX718

1	1,00	1,00
---	------	------

Descripció	Unt.	Long.	Amp.	Alçada	Parcial	Quantitat	Preu	Import
u Resistència 100 Ω								
Axial, 0,25 W.								
	1				1,00			
							1,00	
u Resistència 4k7 Ω								
Axial, 0,25 W.								
	1				1,00			
							1,00	
u Resistència 10 Ω								
Axial, 0,25 W.								
	1				1,00			
							1,00	
u Condensador 2n2 F								
Axial, pel·lícula de plàstic.								
	1				1,00			
							1,00	
u Condensador 4,7 μF								
Condensador SMD ceràmic multicapa								
	1				1,00			
							1,00	

5.4- Fabricació placa PCB

Descripció	Unt.	Long.	Amp.	Alçada	Parcial	Quantitat	Preu	Import
------------	------	-------	------	--------	---------	-----------	------	--------

CAPITOL C_04 FABRICACIÓ PLACA PCB

u Disseny placa PCB

Disseny de la placa PCB
assistit amb Orcad 16.0.

1	1,00	
	<hr/>	1,00

u Fabricació placa PCB

Fabricació de la placa PCB,
a l'àcid.

1	1,00	
	<hr/>	1,00

5.5- Disseny programa informàtic

Descripció	Unt.	Long.	Amp.	Alçada	Parcial	Quantitat	Preu	Import
------------	------	-------	------	--------	---------	-----------	------	--------

CAPITOL C_05 DISSENY PROGRAMA INFORMÀTIC

u Disseny programa
Disseny del programa
informàtic de control,
mitjançant MPLAB 8.0

1

1,00

1,00

El DEEEA

El tècnic

Dr. Enric Vidal Idiarte

Rolan Sanjuan Ferrús

Document n°m. 6

ÍNDEX

Document núm. 6: PRESSUPOST

6.0- Índex.....	161
6.1- Llistat de preus unitaris.....	162
6.2- Quadre de descompostos.....	164
6.2.1- Hardware.....	164
6.2.2- Planta prototip.....	170
6.2.3- Placa PCB.....	176
6.2.4- Fabricació placa PCB.....	182
6.2.5- Disseny programa informàtic.....	183
6.3- Pressupost.....	184
6.3.1- Hardware.....	184
6.3.2- Planta prototip.....	187
6.3.3- Placa PCB.....	190
6.3.4- Fabricació placa PCB.....	193
6.3.5- Disseny programa informàtic.....	194
6.4- Resum del pressupost.....	195

6.1- Llistat de preus unitaris

Unt.	Descripció	Preu	
u	dsPIC30F2020	6,67	SIS EUROS amb SEIXANTA-SET CÈNTIMS
u	Sòcal DIL	0,62	ZERO EUROS amb SEIXANTA-DOS CÈNTIMS
u	Led	0,17	ZERO EUROS amb DISET CÈNTIMS
u	Resistència 1k5 Ω SMD	0,04	ZEOR EUROS amb QUATRE CÈNTIMS
u	Resistència 100 Ω SMD	0,04	ZEOR EUROS amb QUATRE CÈNTIMS
u	Resistència 10k Ω SMD	0,04	ZEOR EUROS amb QUATRE CÈNTIMS
u	Díode zener SMD	0,12	ZERO EUROS amb DOTZE CÈNTIMS
u	Polsador	1,37	UN EURO amb TRENTA-SET CÈNTIMS
u	Condensador 0,1 μ F	0,10	ZEOR EUROS amb DEU CÈNTIMS
u	Condensador 1 nF	0,09	ZERO EUROS amb NOU CÈNTIMS
u	Condensador 22 pF	0,07	ZERO EUROS amb SET CÈNTIMS
u	Condensador 10 μ F	0,15	ZERO EUROS amb QUINZE CÈNTIMS
u	Terminal KK 2 mascle	0,45	ZERO EUROS amb QUARANTA-CINC CENTIMS
u	Terminal KK 3 mascle	0,53	ZERO EUROS amb CINQUANTA-TRES CÈNTIMS
u	Connector RJ11 femella	0,52	ZERO EUROS amb CINQUANTA-DOS CÈNTIMS
u	Oscil·lador 14,7456 MHz	0,89	ZERO EUROS amb VUITANTA-NOU CÈNTIMS
u	Resistència 100 Ω	0,98	ZERO EUROS amb NORANTA-VUIT CÈNTIMS
u	Resistència 470 Ω	0,98	ZERO EUROS amb NORANTA-VUIT CÈNTIMS
u	Resistència 10k Ω	0,98	ZERO EUROS amb NORANTA-VUIT CÈNTIMS
u	Connector 3 vies	0,76	ZERO EUROS amb SETANTA-SIS CÈNTIMS
u	Connector 2 vies	0,57	ZERO EUROS amb CINQUANTA-SET CÈNTIMS
u	Condensador 47 μ F	0,35	ZERO EUROS amb TRENTA-CINC CÈNTIMS
u	Díode barrier schotthy	0,91	ZERO EUROS amb NORANTA-UN CÈNTIMS
u	Inductància 68 μ H	1,68	UN EURO amb SEIXANTA-VUIT CÈNTIMS
u	Resistència 2,2 Ω	2,67	DOS EUROS amb SEIXANTA-SET CÈNTIMS
u	Dissipador de calor	1,16	UN EURO amb SETZE CÈNTIMS
u	Resistència 1 k Ω	0,15	ZERO EUROS amb QUINZE CÈNTIMS
u	Placa de topes pas 5,08 mm	3,56	TRES EUROS amb CINQUANTA-SIS CÈNTIMS

Unt.	Descripció	Preu	
u	Transistor PMOS	1,84	UN EURO amb VUITANTA-QUATRE CÈNTIMS
u	Díode zener	0,10	ZERO EUROS amb DEU CÈNTIM
u	Transistor NPN	0,18	ZERO EUROS amb DIVUIT CÈNTIMS
u	Transistor PNP	0,14	ZERO EUROS amb CATORZE CÈNTIMS
u	Resistència 4k7 Ω	0,13	ZERO EUROS amb TRETZE CÈNTIMS
u	Resistència 10 Ω	0,07	ZEO EUROS amb SET CÈNTIMS
u	Condensador 2n2 F	0,27	ZERO EUROS amb VINT-I-SET CÈNTIMS
u	Condensador 4,7 μ F	0,48	ZEOR EUROS amb QUARANTA CÈNTIMS
h	Tècnic industrial en electrònica	30,00	TRENTA EUROS
h	Tècnic de laboratori	30,00	TRENTA EUROS

6.2- Quadre de descompostos

6.2.1- Hardware

Quantitat Ud.	Descripció	Preu	Subtotal	Import
	u Sòcol DIL Pin tornejat 28 vies, 7,62 mm.			
1,00 u	Sòcol DIL	0,62	0,62	
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00	
			Suma partida	3,62
			Costos indirectes 2,00%	0,07
			TOTAL PARTIDA	3,69

El total de la partida puja a TRES EUROS amb SEIXANTA-NOU CÈNTIMS.

	u Led Color vermell.			
1,00 u	Led	0,17	0,17	
0,05 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	1,5	
			Suma partida	1,67
			Costos indirectes 2,00%	0,03
			TOTAL PARTIDA	1,70

el total de la partida puja a UN EUROS amb SETANTA CÈNTIMS.

	u Resistència 1k5 Ω SMD Resistència SMD 1206 1k5 Ω.			
1,00 u	Resistència 1k5 Ω SMD	0,04	0,04	
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00	
			Suma partida	3,04
			Costos indirectes 2,00%	0,06
			TOTAL PARTIDA	3,10

El total de la partida puja a TRES EUROS amb DEU CÈNTIMS.

Quantitat Ud.	Descripció	Preu	Subtotal	Import
---------------	------------	------	----------	--------

u Resistència 100 Ω SMD

Resistència SMD 1206 100 Ω .

1,00 u	Resistència 100 Ω SMD	0,04	0,04	
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00	
				Suma partida
				3,04
				Costos indirectes 2,00%
				0,06
				TOTAL PARTIDA
				3,10

El total de la partida puja a TRES EUROS amb DEU CÈNTIMS.

u Resistència 10k Ω SMD

Resistència SMD 1206 10k Ω .

1,00 u	Resistència 10k Ω SMD	0,04	0,04	
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00	
				Suma partida
				3,04
				Costos indirectes 2,00%
				0,06
				TOTAL PARTIDA
				3,10

El total de la partida puja a TRES EUROS amb DEU CÈNTIMS.

u Díode zener SMD

Díode zener SMD 5V1 0,5 W.

1,00 u	Díode zener 5V1 SMD	0,12	0,12	
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00	
				Suma partida
				3,12
				Costos indirectes 2,00%
				0,06
				TOTAL PARTIDA
				3,18

El total de la partida puja a TRES EUROS amb DIVUIT CÈNTIMS.

Quantitat Ud.	Descripció	Preu	Subtotal	Import
---------------	------------	------	----------	--------

u Polsador

Configuració de contactes SPST,
resistència de contacte <100 mΩ.

1,00 u	Polsador contactes SPST	1,37	1,37
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00

Suma partida	4,37
Costos indirectes 2,00%	0,09
TOTAL PARTIDA	4,46

El total de la partida puja a QUATRE EUROS amb QUARANTA-SIS CÈNTIMS.

u Condensador 0,1 μF

Condensador de polièster MMK5,
0,1 μF, 100 Vdc.

1,00 u	Condensador 0,1 μF	0,10	0,10
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00

Suma partida	3,10
Costos indirectes 2,00%	0,06
TOTAL PARTIDA	3,16

El total de la partida puja a TRES EUROS amb SETZE CÈNTIMS.

u Condensador 1 nF

Condensador BF 1 nF, radial,
100 Vdc.

1,00 u	Condensador 1 nF	0,09	0,09
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00

Suma partida	3,09
Costos indirectes 2,00%	0,06
TOTAL PARTIDA	3,15

El total de la partida puja a TRES EUROS amb QUINSE CÈNTIMS.

Quantitat Ud.	Descripció	Preu	Subtotal	Import
---------------	------------	------	----------	--------

u Condensador 22 pF

Condensador ceràmic 22 pF, radial,
100 V, 5 mm.

1,00 u	Condensador 22 pF	0,07	0,07
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00

Suma partida	3,07
Costos indirectes 2,00%	0,06
TOTAL PARTIDA	3,13

El total de la partida puja a TRES EUROS amb TRETZE CÈNTIMS.

u Condensador 10 µF

Condensador electrolític 10 µF,
radial YXF, 50 V.

1,00 u	Condensador 10 µF	0,15	0,15
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00

Suma partida	3,15
Costos indirectes 2,00%	0,06
TOTAL PARTIDA	3,21

El total de la partida puja a TRES EUROS amb VINT-I-UN CÈNTIMS.

u Terminal KK 2 mascle

Terminal KK 2, 5,08 mm.

1,00 u	Terminal KK 2 mascle	0,45	0,45
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00

Suma partida	3,45
Costos indirectes 2,00%	0,07
TOTAL PARTIDA	3,52

El total de la partida puja a TRES EUROS amb CINQUANTA-DOS CÈNTIMS.

Quantitat Ud.	Descripció	Preu	Subtotal	Import
---------------	------------	------	----------	--------

u Terminal KK 3 mascle

Terminal KK 3, 5,08 mm.

1,00 u	Terminal KK 3 mascle	0,53	0,53
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00

Suma partida	3,53
Costos indirectes 2,00%	0,07
TOTAL PARTIDA	3,60

El total de la partida puja a TRES EUROS amb SEIXANTA CÈNTIMS.

u Connector RJ11 femella

Connector RJ11, 6/6.

1,00 u	Connector RJ11 femella	0,52	0,52
0,20 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	6,00

Suma partida	6,52
Costos indirectes 2,00%	0,13
TOTAL PARTIDA	6,65

El total de la partida puja a SIS EUROS amb SEIXANTA-CINC CÈNTIMS.

u Oscil·lador 14,7456 MHz

Capacitat de carrega 30 pF.

1,00 u	Oscil·lador 14,7456 MHz	0,89	0,89
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00

Suma partida	3,89
Costos indirectes 2,00%	0,08
TOTAL PARTIDA	3,97

El total de la partida puja a TRES EUROS amb NORANTA-SET CÈNTIMS.

Quantitat Ud.	Descripció	Preu	Subtotal	Import
---------------	------------	------	----------	--------

u Resistència 100 Ω

Axial, 0,25 W

1,00 u	Resistència 100 Ω	0,98	0,98
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00

Suma partida	3,98
Costos indirectes 2,00%	0,08
TOTAL PARTIDA	4,06

El total de la partida puja a QUATRE EUROS amb SIS CÈNTIMS.

u Resistència 470 Ω

Axial, 0,25 W

1,00 u	Resistència 470 Ω	0,98	0,98
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00

Suma partida	3,98
Costos indirectes 2,00%	0,08
TOTAL PARTIDA	4,06

El total de la partida puja a QUATRE EUROS amb SIS CÈNTIMS.

u Resistència 10k Ω

Axial, 0,25 W

1,00 u	Resistència 10k Ω	0,98	0,98
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00

Suma partida	3,98
Costos indirectes 2,00%	0,08
TOTAL PARTIDA	4,06

El total de la partida puja a QUATRE EUROS amb SIS CÈNTIMS.

6.2.2- Planta prototip

Quantitat Ud.	Descripció	Preu	Subtotal	Import
	u Connector 3 vies Connector PCB 3 vies, terminal en cargol, pas 5,08 mm			
1,00 u	Connector 3 vies, 5,08 mm	0,76	0,76	
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00	
			Suma partida	3,76
			Costos indirectes 2,00%	0,08
			TOTAL PARTIDA	3,84

El total de la partida puja a TRES EUROS amb VUITANTA-QUATRE CÈNTIMS.

u Connector 2 vies
Connector PCB 2 vies, terminal en cargol, pas 5,05 mm.

1,00 u	Connector 2 vies, 5,05 mm	0,57	0,57	
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00	
			Suma partida	3,57
			Costos indirectes 2,00%	0,07
			TOTAL PARTIDA	3,64

El total de la partida puja a TRES EUROS amb SEIXANTA-QUATRE CÈNTIMS.

Quantitat Ud.	Descripció	Preu	Subtotal	Import
---------------	------------	------	----------	--------

u Condensador 47 μ F
 Condensador electrolític, radial,
 muntatge PBC, sèrie KS, 63 Vdc.

1,00 u	Condensador 47 μ F, 63 Vdc	0,35	0,35
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00

Suma partida	3,35
Costos indirectes 2,00%	0,07
TOTAL PARTIDA	3,42

El total de la partida puja a TRES EUROS amb QUARANTA-DOS CÈNTIMS.

u Díode barrier schotthy
 Díode 10 A, 45 V, TO220AC,
 MBR1045G.

1,00 u	Díode barrier schotthy 10 A	0,91	0,91
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00

Suma partida	3,91
Costos indirectes 2,00%	0,08
TOTAL PARTIDA	3,99

El total de la partida puja a TRES EUROS amb NORANTA-NOU CÈNTIMS.

u Inductància 68 μ H
 Corrent màx. 6,4 A, freq.
 Ressonància 5,3 MHz.

1,00 u	Inductància 67 μ H, 6,4 A	1,68	1,68
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00

Suma partida	4,68
Costos indirectes 2,00%	0,09
TOTAL PARTIDA	4,77

El total de la partida puja a CUATRE EUROS amb SETANTA-SET CÈNTIMS.

Quantitat Ud.	Descripció	Preu	Subtotal	Import
---------------	------------	------	----------	--------

u Resistència 2,2 Ω

Resistència de potència, fil bobinat,
Sèrie HS50, potència 50 W.

1,00 u	Resistència 2,2 Ω , 50 W	2,67	2,67
0,20 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	6,00

Suma partida	8,67
Costos indirectes 2,00%	0,17
TOTAL PARTIDA	8,84

El total de la partida puja a VUIT EUROS amb VUITANTA-QUATRE CÈNTIMS.

u Dissipador de calor

Muntatge en panell, alta potència,
5,5 °C/W, 25x42x38 mm.

1,00 u	Dissipador de calor	1,16	1,16
0,05 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	1,50

Suma partida	2,66
Costos indirectes 2,00%	0,05
TOTAL PARTIDA	2,71

El total de la partida puja a DOS EUROS amb SETANTA-UN CÈNTIMS.

u Resistència 1 k Ω

Resistència 1 k Ω , 1 W.

1,00 u	Resistència 1 k Ω	0,15	0,15
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00

Suma partida	3,15
Costos indirectes 2,00%	0,06
TOTAL PARTIDA	3,21

El total de la partida puja a TRES EUROS amb VINT-I-UN CÈNTIMS.

Quantitat Ud.	Descripció	Preu	Subtotal	Import
---------------	------------	------	----------	--------

u Transistor PMOS

Transistor PMOS, canal P,
MTP12P10.

1,00 u	PMOS, MTP12P10	1,84	1,84
0,15 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	4,50

Suma partida	6,34
Costos indirectes 2,00%	0,13
TOTAL PARTIDA	6,47

El total de la partida puja a SIS EUROS amb QUARANTA-SET CÈNTIMS.

u Díode zener

Axial, BZX79, 5,1 V.

1,00 u	Díode zener BZX79	0,10	0,10
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00

Suma partida	3,10
Costos indirectes 2,00%	0,06
TOTAL PARTIDA	3,16

El total de la partida puja a TRES EUROS amb SETZE CÈNTIMS.

u Transistor NPN

Petit senyal, ZTX690B

1,00 u	Transistor NPN	0,18	0,18
0,20 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	6,00

Suma partida	6,18
Costos indirectes 2,00%	0,12
TOTAL PARTIDA	6,30

El total de la partida puja a SIS EUROS amb TRENTA CÈNTIMS.

Quantitat Ud.	Descripció	Preu	Subtotal	Import
---------------	------------	------	----------	--------

u Transistor PNP
Petit senyal, ZTX718

1,00 u	Transistor PNP	0,14	0,14	
0,20 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	6,00	
				Suma partida 6,14
				Costos indirectes 2,00% 0,12
				TOTAL PARTIDA 6,26

El total de la partida puja a SIS EUROS amb VINT-I-SIS CÈNTIMS.

u Resistència 100 Ω
Axial, 0,25 W.

1,00 u	Resistència 100 Ω	0,98	0,98	
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00	
				Suma partida 3,98
				Costos indirectes 2,00% 0,08
				TOTAL PARTIDA 4,06

El total de la partida puja a QUATRE EUROS amb SIS CÈNTIMS.

u Resistència 4k7 Ω
Axial, 0,25 W.

1,00 u	Resistència 4k7 Ω	0,13	0,13	
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00	
				Suma partida 3,13
				Costos indirectes 2,00% 0,06
				TOTAL PARTIDA 3,19

El total de la partida puja a TRES EUROS amb DINOU CÈNTIMS.

Quantitat Ud.	Descripció	Preu	Subtotal	Import
---------------	------------	------	----------	--------

u Resistència 10 Ω

Axial, 0,25 W.

1,00 u	Resistència 10 Ω	0,07	0,07
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00

Suma partida	3,07
Costos indirectes 2,00%	0,06
TOTAL PARTIDA	3,13

El total de la partida puja a TRES EUROS amb TRETZE CÈNTIMS.

u Condensador 2n2 F

Axial, pel·lícula de plàstic.

1,00 u	Condensador 2n2 F	0,27	0,27
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00

Suma partida	3,27
Costos indirectes 2,00%	0,07
TOTAL PARTIDA	3,34

El total de la partida puja a TRES EUROS amb TRENTA-QUATRE CÈNTIMS.

u Condensador 4,7 μ F

Condensador SMD ceràmic multicapa

1,00 u	Condensador 4,7 μ F	0,48	0,48
0,15 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	4,50

Suma partida	4,98
Costos indirectes 2,00%	0,10
TOTAL PARTIDA	4,08

El total de la partida puja a QUATRE EUROS amb VUIT CÈNTIMS.

6.2.3- Placa PBC

Quantitat Ud.	Descripció	Preu	Subtotal	Import
u Terminal KK 2 mascle				
Terminal KK 2, 5,08 mm.				
1,00 u	Terminal KK 2 mascle	0,45	0,45	
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00	
Suma partida				3,45
Costos indirectes 2,00%				0,07
TOTAL PARTIDA				3,52

El total de la partida puja a TRES EUROS amb CINQUANTA-DOS CÈNTIMS.

u Condensador 47 µF				
Condensador electrolític, radial, muntatge PBC, sèrie KS, 63 Vdc.				
1,00 u	Condensador 47 µF, 63 Vdc	0,35	0,35	
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00	
Suma partida				3,35
Costos indirectes 2,00%				0,07
TOTAL PARTIDA				3,42

El total de la partida puja a TRES EUROS amb QUARANTA-DOS CÈNTIMS.

u Díode barrier schotthy				
Díode 10 A, 45 V, TO220AC, MBR1045G.				
1,00 u	Díode barrier schotthy 10 A	0,91	0,91	
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00	
Suma partida				3,91
Costos indirectes 2,00%				0,08
TOTAL PARTIDA				3,99

El total de la partida puja a TRES EUROS amb NORANTA-NOU CÈNTIMS.

Quantitat Ud.	Descripció	Preu	Subtotal	Inport
---------------	------------	------	----------	--------

u Inductància 68 μ H

Corrent màx. 6,4 A, freq.
Ressonància 5,3 MHz.

1,00 u	Inductància 67 μ H, 6,4 A	1,68	1,68
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00

Suma partida	4,68
Costos indirectes 2,00%	0,09
TOTAL PARTIDA	4,77

El total de la partida puja a CUATRE EUROS amb SETANTA-SET CÈNTIMS.

u Resistència 2,2 Ω

Resistència de potència, fil bobinat,
Sèrie HS50, potència 50 W.

1,00 u	Resistència 2,2 Ω , 50 W	2,67	2,67
0,20 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	6,00

Suma partida	8,67
Costos indirectes 2,00%	0,17
TOTAL PARTIDA	8,84

El total de la partida puja a VUIT EUROS amb VUITANTA-QUATRE CÈNTIMS.

u Dissipador de calor

Muntatge en panell, alta potència,
5,5 $^{\circ}$ C/W, 25x42x38 mm.

1,00 u	Dissipador de calor	1,16	1,16
0,05 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	1,50

Suma partida	2,66
Costos indirectes 2,00%	0,05
TOTAL PARTIDA	2,71

El total de la partida puja a DOS EUROS amb SETANTA-UN CÈNTIMS.

Quantitat Ud.	Descripció	Preu	Subtotal	Import
---------------	------------	------	----------	--------

u Resistència 1 kΩ

Resistència 1 kΩ, 1 W.

1,00 u	Resistència 1 kΩ	0,15	0,15	
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00	
				Suma partida 3,15
				Costos indirectes 2,00% 0,06
				TOTAL PARTIDA 3,21

El total de la partida puja a TRES EUROS amb VINT-I-UN CÈNTIMS.

u Transistor PMOS

Transistor PMOS, canal P,
MTP12P10.

1,00 u	PMOS, MTP12P10	1,84	1,84	
0,15 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	4,50	
				Suma partida 6,34
				Costos indirectes 2,00% 0,13
				TOTAL PARTIDA 6,47

El total de la partida puja a SIS EUROS amb QUARANTA-SET CÈNTIMS.

u Díode zener

Axial, BZX79, 5,1 V.

1,00 u	Díode zener BZX79	0,10	0,10	
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00	
				Suma partida 3,10
				Costos indirectes 2,00% 0,06
				TOTAL PARTIDA 3,16

El total de la partida puja a TRES EUROS amb SETZE CÈNTIMS.

Quantitat Ud.	Descripció	Preu	Subtotal	Import
---------------	------------	------	----------	--------

u Transistor NPN
Petit senyal, ZTX690B

1,00 u	Transistor NPN	0,18	0,18	
0,20 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	6,00	
				Suma partida 6,18
				Costos indirectes 2,00% 0,12
				TOTAL PARTIDA 6,30

El total de la partida puja a SIS EUROS amb TRENTA CÈNTIMS.

u Transistor PNP
Petit senyal, ZTX718

1,00 u	Transistor PNP	0,14	0,14	
0,20 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	6,00	
				Suma partida 6,14
				Costos indirectes 2,00% 0,12
				TOTAL PARTIDA 6,26

El total de la partida puja a SIS EUROS amb VINT-I-SIS CÈNTIMS.

u Resistència 100 Ω
Axial, 0,25 W.

1,00 u	Resistència 100 Ω	0,98	0,98	
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00	
				Suma partida 3,98
				Costos indirectes 2,00% 0,08
				TOTAL PARTIDA 4,06

El total de la partida puja a QUATRE EUROS amb SIS CÈNTIMS.

Quantitat Ud.	Descripció	Preu	Subtotal	Import
---------------	------------	------	----------	--------

u Resistència 4k7 Ω

Axial, 0,25 W.

1,00 u	Resistència 4k7 Ω	0,13	0,13
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00

Suma partida	3,13
Costos indirectes 2,00%	0,06
TOTAL PARTIDA	3,19

El total de la partida puja a TRES EUROS amb DINOÜ CÈNTIMS.

u Resistència 10 Ω

Axial, 0,25 W.

1,00 u	Resistència 10 Ω	0,07	0,07
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00

Suma partida	3,07
Costos indirectes 2,00%	0,06
TOTAL PARTIDA	3,13

El total de la partida puja a TRES EUROS amb TRETZE CÈNTIMS.

u Condensador 2n2 F

Axial, pel·lícula de plàstic.

1,00 u	Condensador 2n2 F	0,27	0,27
0,10 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	3,00

Suma partida	3,27
Costos indirectes 2,00%	0,07
TOTAL PARTIDA	3,34

El total de la partida puja a TRES EUROS amb TRENTA-QUATRE CÈNTIMS.

Quantitat Ud.	Descripció	Preu	Subtotal	Import
---------------	------------	------	----------	--------

u Condensador 4,7 µF

Condensador SMD ceràmic multicapa

1,00 u	Condensador 4,7 µF	0,48	0,48	
0,15 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	4,50	

Suma partida	4,98
Costos indirectes 2,00%	0,10
TOTAL PARTIDA	4,08

El total de la partida puja a QUATRE EUROS amb VUIT CÈNTIMS.

6.2.4- Fabricació placa PCB

Quantitat Ud.	Descripció	Preu	Subtotal	Import
---------------	------------	------	----------	--------

u Disseny placa PCB

Disseny de la placa PCB
assistit amb Orcad 16.0.

4,00 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	120,00
--------	-------------------------------	-------	--------

Suma partida	120,00
Costos indirectes 2,00%	2,40
TOTAL PARTIDA	122,40

El total de la partida puja a CENT VINT-I-DOS EUROS amb QUARANTA CÈNTIMS.

u Fabricació placa PCB

Fabricació de la placa PCB,
a l'àcid.

1,50 h	Tècnic de laboratori	30,00	45,00
--------	----------------------	-------	-------

Suma partida	45,00
Costos indirectes 2,00%	0,90
TOTAL PARTIDA	45,90

El total de la partida puja a QUARANTA-CINC EUROS amb NORANTA CÈNTIMS.

6.2.5- Disseny programa informàtic

Quantitat Ud.	Descripció	Preu	Subtotal	Import
---------------	------------	------	----------	--------

u Disseny programa

Disseny del programa informàtic de control, mitjançant MPLAB 8.0

8,00 h	Tècnic industrial electrònica	30,00	240,00
--------	-------------------------------	-------	--------

Suma partida	240,00
Costos indirectes 2,00%	4,80
TOTAL PARTIDA	244,80

El total de la partida puja a DOS-CENTS QUARANTA-QUATRE EUROS amb VUITANTA CÈNTIMS.

6.3- Pressupost

6.3.1- Hardware

Descripció	Quantitat	Preu	Import
CAPITOL C_01 HARDWARE			
u Microcontrolador dsPIC30F2020			
	1,00	6,67	6,67
u Sòcol DIL Pin tornejat 28 vies, 7,62 mm.			
	1,00	3,69	3,69
u Led Color vermell.			
	5,00	1,70	8,50
u Resistència 1k5 Ω SMD Resistència SMD 1206 1k5 Ω .			
	5,00	3,10	15,50
u Resistència 100 Ω SMD Resistència SMD 1206 100 Ω .			
	5,00	3,10	15,50
u Resistència 10k Ω SMD Resistència SMD 1206 10k Ω .			
	5,00	3,10	15,50
u Díode zener SMD Díode zener SMD 5V1 0,5 W.			
	11,00	3,18	34,98

Descripció	Quantitat	Preu	Import
u Polsador Configuració de contactes SPST, resistència de contacte <100 mΩ.	2,00	4,46	8,92
u Condensador 0,1 μF Condensador de polièster MMK5, 0,1 μF, 100 Vdc.	3,00	3,16	9,48
u Condensador 1 nF Condensador BF 1 nF, radial, 100 Vdc.	5,00	3,15	15,75
u Condensador 22 pF Condensador ceràmic 22 pF, radial, 100 V, 5 mm.	2,00	3,13	6,26
u Condensador 10 μF Condensador electrolític 10 μF, radial YXF, 50 V.	3,00	3,21	9,63
u Terminal KK 2 mascle Terminal KK 2, 5,08 mm.	16,00	3,52	56,32
u Terminal KK 3 mascle Terminal KK 3, 5,08 mm.	2,00	3,60	7,20

Descripció	Quantitat	Preu	Import
u Connector RJ11 femella Connector RJ11, 6/6.			
	1,00	6,65	6,65
u Oscil·lador 14,7456 MHz Capacitat de carrega 30 pF.			
	1,00	3,97	3,97
u Resistència 100 Ω Axial, 0,25 W			
	6,00	4,06	24,36
u Resistència 470 Ω Axial, 0,25 W			
	3,00	4,06	12,18
u Resistència 10k Ω Axial, 0,25 W			
	1,00	4,06	4,06
TOTAL CAPITOL C_01 HARDWARE			265,12

6.3.2- Planta prototip

Descripció	Quantitat	Preu	Inport
CAPITOL C_02 PLANTA PROTOTIP			
u Connector 3 vies Connector PCB 3 vies, terminal en cargol, pas 5,08 mm			
	1,00	3,84	3,84
u Connector 2 vies Connector PCB 2 vies, terminal en cargol, pas 5,05 mm.			
	1,00	3,64	3,64
u Condensador 47 μF Condensador electrolític, radial, muntatge PBC, sèrie KS, 63 Vdc.			
	1,00	3,42	3,42
u Díode barrier schotthy Díode 10 A, 45 V, TO220AC, MBR1045G.			
	1,00	3,99	3,99
u Inductància 68 μH Corrent màx. 6,4 A, freq. Ressonància 5,3 MHz.			
	1,00	4,77	4,77
u Resistència 2,2 Ω Resistència de potència, fil bobinat, Sèrie HS50, potència 50 W.			
	2,00	8,84	8,84

Descripció	Quantitat	Preu	Import
u Dissipador de calor Muntatge en panell, alta potència, 5,5 °C/W, 25x42x38 mm.	2,00	2,27	4,54
u Resistència 1 kΩ Resistència 1 kΩ, 1 W.	2,00	3,21	6,42
u Transistor PMOS Transistor PMOS, canal P, MTP12P10.	1,00	6,47	6,47
u Díode zener Axial, BZX79, 5,1 V.	1,00	3,16	3,16
u Transistor NPN Petit senyal, ZTX690B	2,00	6,30	12,60
u Transistor PNP Petit senyal, ZTX718	1,00	6,26	6,26
u Resistència 100 Ω Axial, 0,25 W.	1,00	4,06	4,06

Descripció	Quantitat	Preu	Import
u Resistència 4k7 Ω Axial, 0,25 W.	1,00	3,19	3,19
u Resistència 10 Ω Axial, 0,25 W.	1,00	3,13	3,13
u Condensador 2n2 F Axial, pel·lícula de plàstic.	1,00	3,34	3,34
u Condensador 4,7 μF Condensador SMD ceràmic multicapa	1,00	4,08	4,08
u Placa de topos Placa de topos, pas 5,08	1,00	3,56	3,56
TOTAL CAPITOL C_02 PLANTA PROTOTIP			89,31

6.3.3- Placa PCB

Descripció	Quantitat	Preu	Import
CAPITOL C_03 PLACA PCB			
u Terminal KK 2 mascle Terminal KK 2, 5,08 mm.			
	4,00	3,52	14,08
u Condensador 47 μF Condensador electrolític, radial, muntatge PBC, sèrie KS, 63 Vdc.			
	1,00	3,42	3,42
u Díode barrier schotthy Díode 10 A, 45 V, TO220AC, MBR1045G.			
	1,00	3,99	3,99
u Inductància 68 μH Corrent màx. 6,4 A, freq. Ressonància 5,3 MHz.			
	1,00	4,77	4,77
u Resistència 2,2 Ω Resistència de potència, fil bobinat, Sèrie HS50, potència 50 W.			
	2,00	8,84	8,84
u Dissipador de calor Muntatge en panell, alta potència, 5,5 °C/W, 25x42x38 mm.			
	2,00	2,27	4,54

Descripció	Quantitat	Preu	Import
u Resistència 1 kΩ Resistència 1 k Ω , 1 W.	2,00	3,21	6,42
u Transistor PMOS Transistor PMOS, canal P, MTP12P10.	1,00	6,47	6,47
u Díode zener Axial, BZX79, 5,1 V.	1,00	3,16	3,16
u Transistor NPN Petit senyal, ZTX690B	2,00	6,30	12,60
u Transistor PNP Petit senyal, ZTX718	1,00	6,26	6,26
u Resistència 100 Ω Axial, 0,25 W.	1,00	4,06	4,06
u Resistència 4k7 Ω Axial, 0,25 W.	1,00	3,19	3,19

Descripció	Quantitat	Preu	Import
u Resistència 10 Ω Axial, 0,25 W.	1,00	3,13	3,13
u Condensador 2n2 F Axial, pel·lícula de plàstic.	1,00	3,34	3,34
u Condensador 4,7 μF Condensador SMD ceràmic multicapa	1,00	4,08	4,08
TOTAL CAPITOL C_03 PLACA PCB			92,35

6.3.4- Fabricació placa PCB

Descripció	Quantitat	Preu	Import
------------	-----------	------	--------

CAPITOL C_04 FABRICACIÓ PLACA PCB

u Disseny placa PCB

Disseny de la placa PCB
assistit amb Orcad 16.0.

1,00 122,40

u Fabricació placa PCB

Fabricació de la placa PCB,
a l'àcid.

1,00 45,90

TOTAL CAPITOL C_04 FABRICACIÓ PLACA PCB 168,30

6.3.5- Disseny programa informàtic

Descripció	Quantitat	Preu	Import
------------	-----------	------	--------

CAPITOL C_05 DISSENY PROGRAMA INFORMÀTIC

u Disseny programa

Disseny del programa informàtic de control, mitjançant MPLAB 8.0

1,00 244,80

TOTAL CAPITOL C_05 DISSENY PROGRAMA INFORMÀTIC 244,80

6.4- Resum del pressupost

Capítol	Resum	Import	%
C_01	HARDWARE	265,12	30,94
C_02	PLANTA PROTOTIP	89,31	10,42
C_03	PLACA PCB	92,35	10,78
C_04	FABRICACIÓ PLACA PCB	168,30	19,64
C_05	DISSENY PROGRAMA INFORMÀTIC	244,80	28,22
	TOTAL EXECUCIÓ MATERIAL	856,88	
	13,00 % Despeses Generals	111,39	
	6,00 % Benefici Industrial	51,41	
	Suma D.G. i B.I.	162,80	
	18,00 % I.V.A.	183,54	
	TOTAL PRESSUPOST CONTRACTAT	1203,22	
	TOTAL PRESSUPOST GENERAL	1203,22	

El pressupost puja a MIL DOS-CENTS TRES EUROS amb VINT-I-DOS CÈNTIMS.

El DEEEA

El tècnic

Dr. Enric Vidal Idiarte

Rolan Sanjuan Ferrús

Document n^om. 7

ÍNDIX

Document núm. 7: ESTUDIS EN ENTITAT PROPIA

7.0- Índex.....	197
7.1- Manual d'iniciació a la programació de dsPICs mitjançant MPLAB C30.....	198
7.1.1- Creació d'un nou projecte.....	198
7.1.2- Descripció modes d'operació.....	204
7.1.2.1- Mode MPLAB SIM.....	204
7.1.2.2- Mode MPLAB ICD 2 (Programmer).....	205
7.1.2.3- Mode MPLAB ICD 2 (Debugger).....	208
7.1.3- Eines d'observació.....	209
7.1.3.1- Punts de ruptura.....	209
7.1.3.2- Watch.....	210
7.1.3.3- Stopwatch.....	212
7.2- Treball en nombres fraccionals.....	213
7.2.1- Nombres fraccionals de 16 bits.....	213
7.2.2- Nombres fraccionaris de 32 bits.....	214
7.3- Funcions intrínseques.....	215
7.4- Programa implementat.....	217

7.1- Manual d'iniciació a la programació de dsPICs mitjançant MPLAB C30

7.1.1- Creació d'un nou projecte

Un cop instal·lat el programa MPLAB, es pot procedir a la instal·lació de l'aplicatiu C30 Toolsuite, al directori on hem instal·lat el MPLAB. Un cop hem realitzat la instal·lació, podem crear el nostre programa:

Inici>Tots els programes>Microchip>MPLAB IDE v8.00>MPLAB IDE

Nota: MPLAB IDE vx.xx, pot canviar segons la versió.

Apareix la següent finestra:

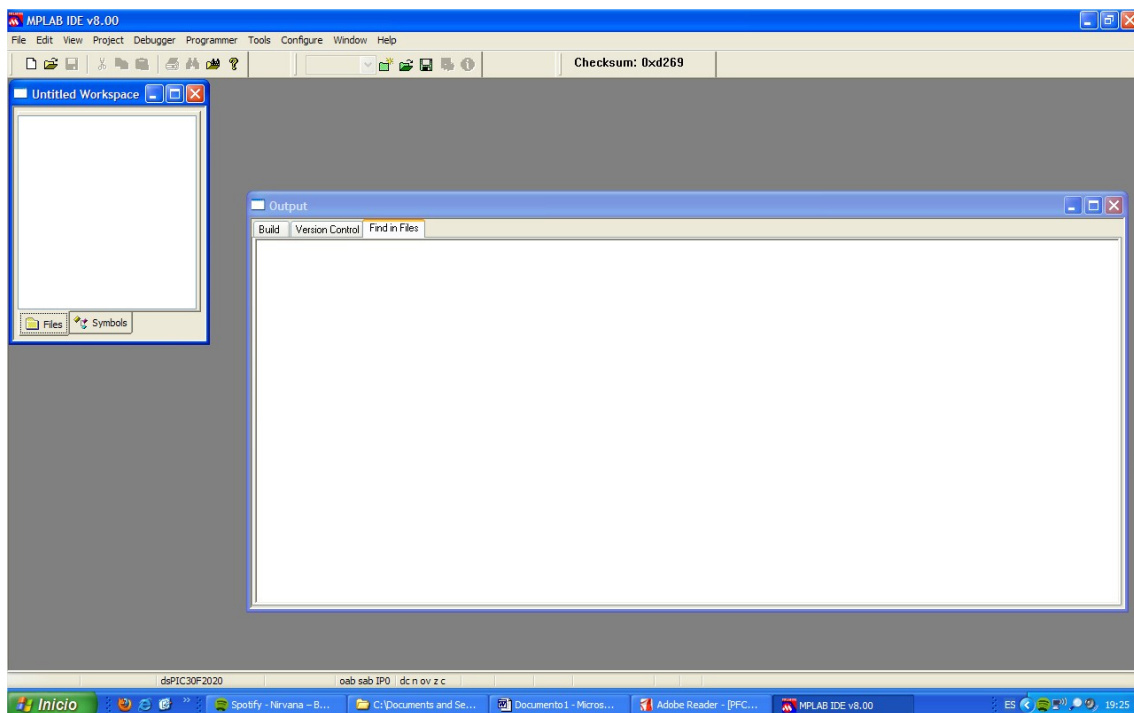


Figura 7.1 Com crear un projecte (I)

Project>Project Wizard...

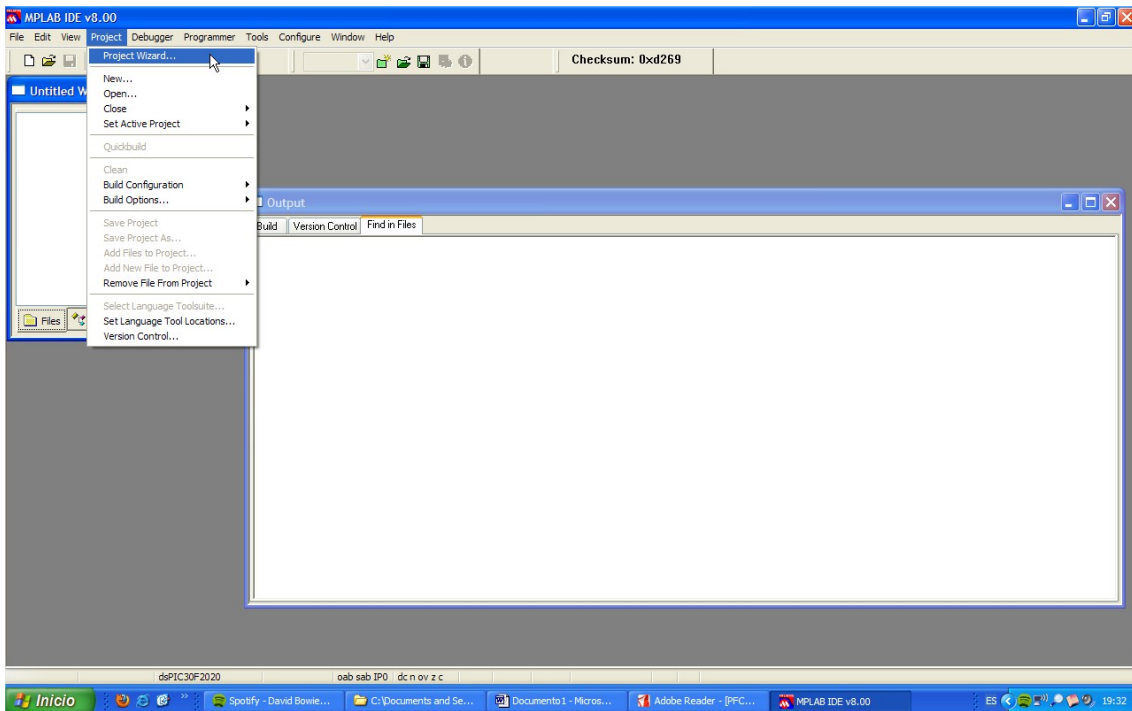


Figura 7.2 Com crear un projecte (II)

Ens apareix la següent pantalla:

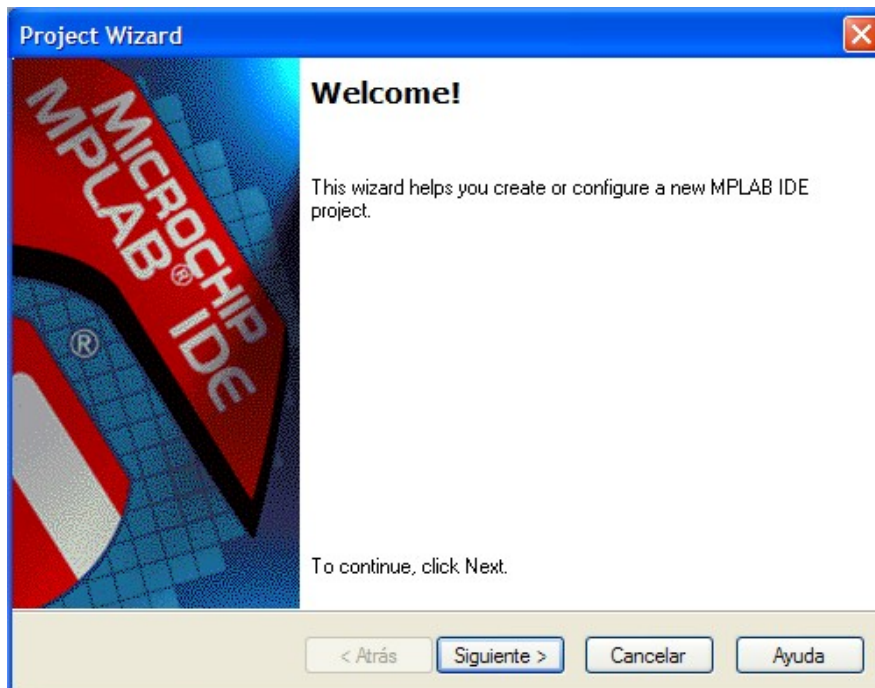


Figura 7.3 Com crear un projecte (III)

Fem següent i apareix:

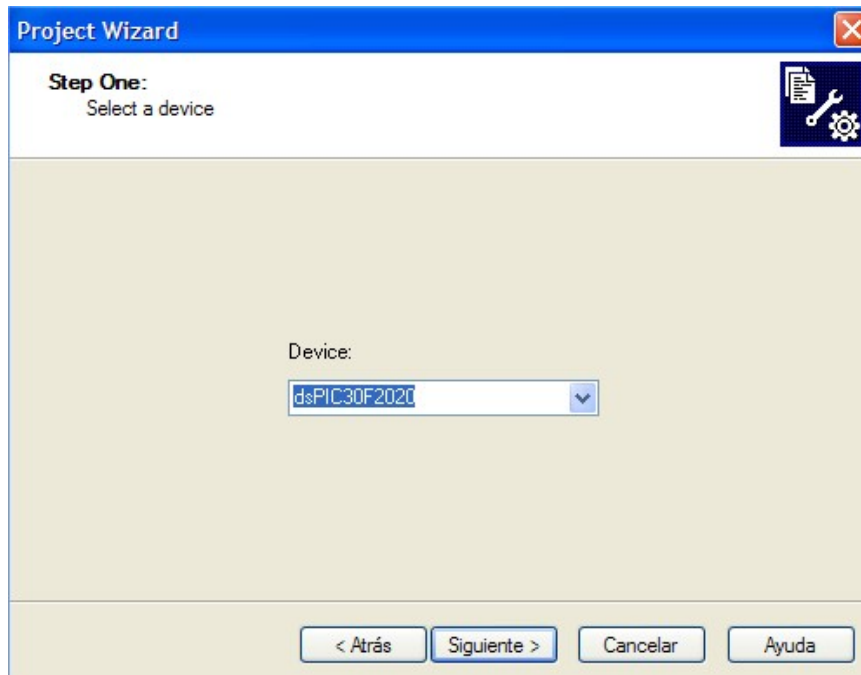


Figura 7.4 Com crear un projecte (IV)

En aquest pas hem de seleccionar el dsPIC a programar del desplegable i paradar següent.

Ens apareix:

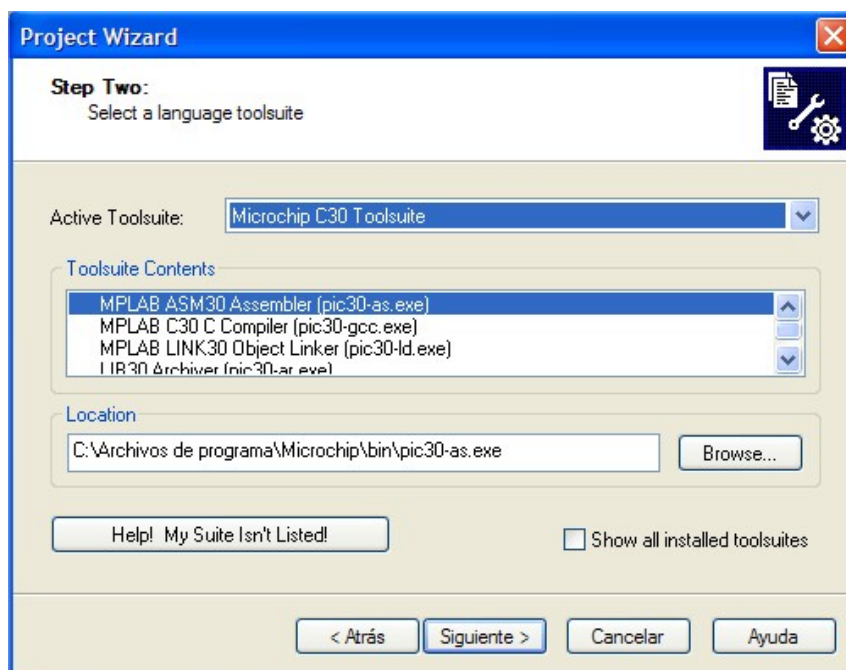


Figura 7.5 Com crear un projecte (V)

En aquest pas, hem de seleccionar el llenguatge de programació, en el nostre cas hem d'escollir al desplegable *Active Toolsuite: Microchiip C30 Toolsuite* i pressionar següent.

Nota: Si al seleccionar-lo a la pantalla *Toolsuite Contents* ens apareixen “x” al costat del contingut, no hem instal·lat al lloc correcte el aplicatiu C30 Toolsuite. Per poder-lo utilitzar, hem de buscar la seva localització manualment utilitzant *Browse...* o instal·lar-lo de nou al lloc correcte.

Un cop seleccionat el llenguatge ens apareix:

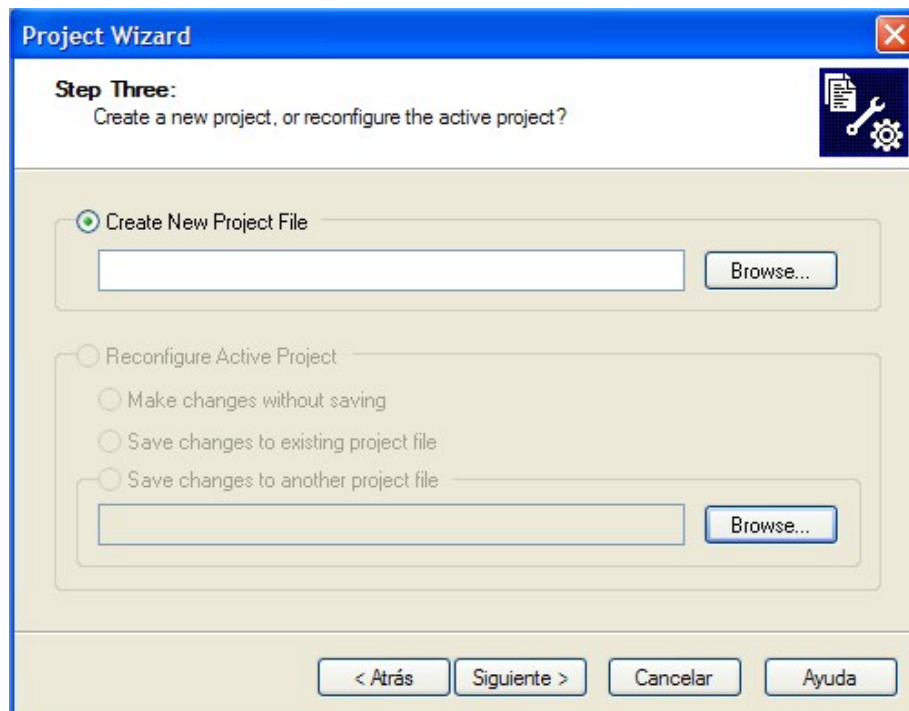


Figura 7.6 Com crear un projecte (VI)

En aquesta finestra, escollim el lloc on volem que se'ns guardi el projecte. Per a realitzar-ho, busquem la destinació de l'arxiu mitjançant el *Browse...* i li fiquem un nom.

Ens apareixerà:

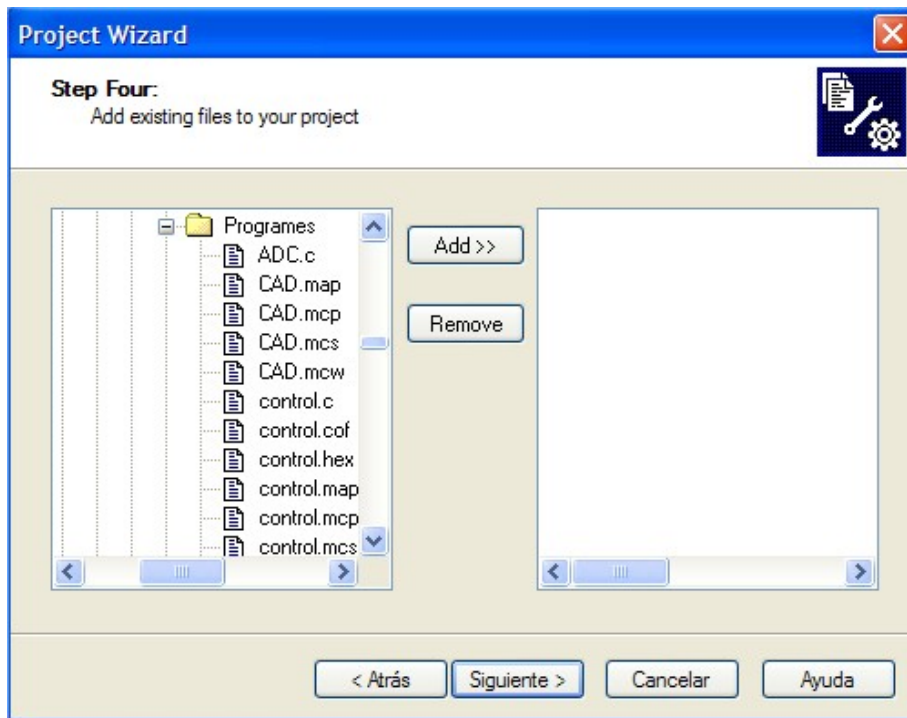


Figura 7.7 Com crear un projecte (VII)

En aquesta finestra no hem de fer res, polsem següent.

Finalment:

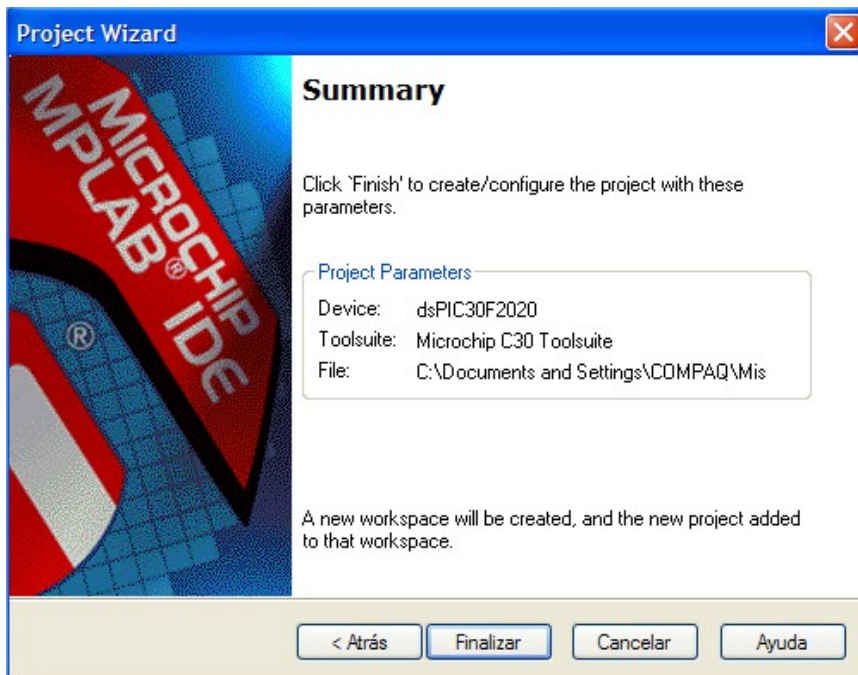


Figura 7.8 Com crear un projecte (VIII)

En aquesta finestra podem veure els paràmetres que hem seleccionat, si tots són correctes, pressionem finalitzar, en cas contrari seleccionem enrere i fem els canvis pertinents.

Si la creació del projecte l'hem fet correctament veurem les següents modificacions a la pantalla del MPLAB IDE:

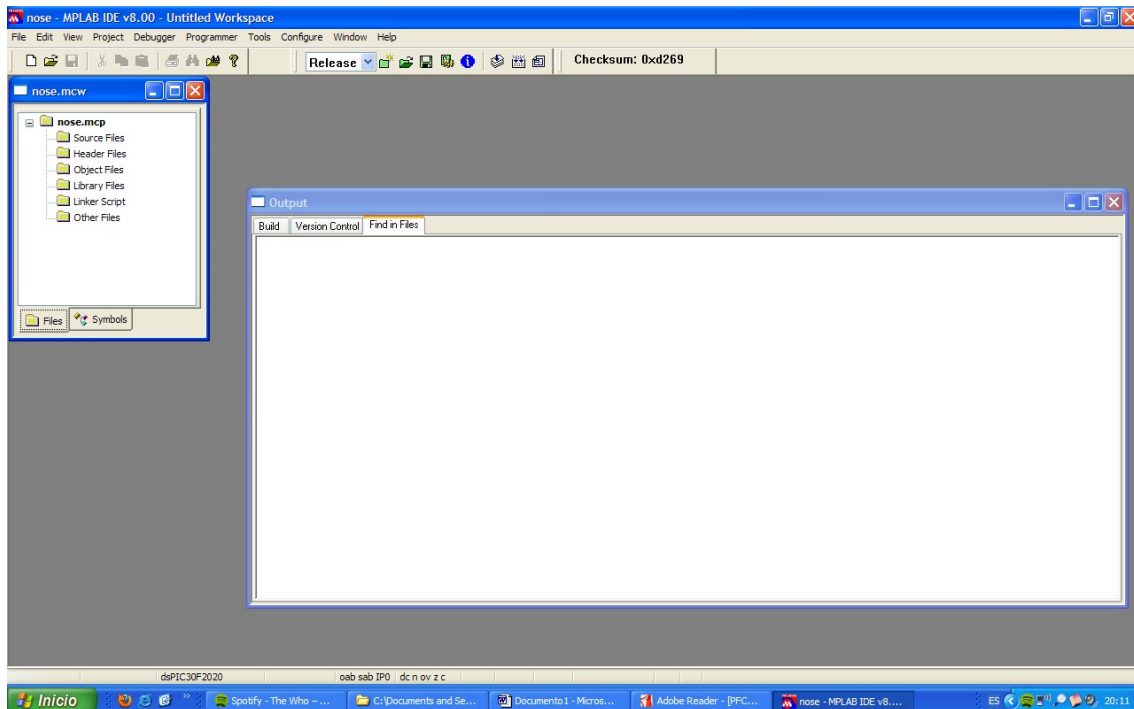


Figura 7.9 Com crear un projecte (IX)

Un cop arribat en aquest punt, ja podem escriure el nostre programa en llenguatge C, per escriure'l, o be fem *File>New* o l'escrivim a un bloc de notes.

Nota: Recordar guardar el programa amb un “.c”, de la següent forma:

nom_del_programa.c

Un cop finalitzat el programa, sol cal compilar-lo, per fer-ho hem d'anar a *Project>Build All*. D'aquesta manera solament compilem, si es vol fer proves s'han d'utilitzar eines específiques o carregar el programa físicament a un dsPIC.

7.1.2- Descripció modes d'operació

7.1.2.1- Mode MPLAB SIM

Aquest és un mode per realitzar simulacions amb el programa de manera offline, un dels motius d'us d'aquest mode és el poder fer comprovacions de registres i temps (utilitzant altres eines que explicarem més endavant). Per activar aquest mode fem *Debugger>Select Tool> MPLAB SIM*.

Un cop activat aquest mode i compilat el projecte ens apareixen noves opcions a la barra d'eines:

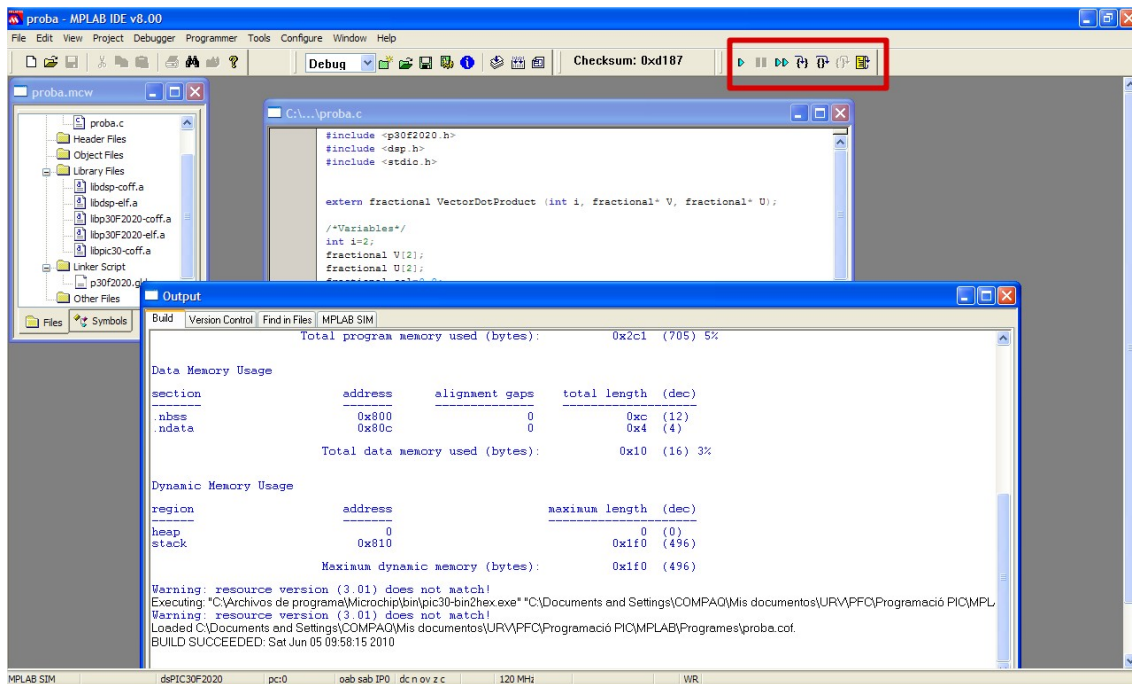


Figura 7.10 MPLAB SIM

Aquestes eines ens permeten actuar sobre l'execució del projecte.

7.1.2.2- Mode MPLAB ICD 2 (Programmer)

Aquest mode ens permet programar el dsPIC físicament i realitzar proves amb aquest. Per utilitzar aquest mode és necessari tenir connectat el ICD 2 a l'ordinador i al dsPIC, a més el dsPIC ha d'estar correctament alimentat. Per activar el mode MPLAB ICD 2 (programmer) fem *Programmer>Select Programmer>MPLAB ICD 2*.

Nota: És possible que Windows no permeti la correcta connexió del ICD 2, en aquest cas, activem primer el mode MPLAB ICD 2 (programmer) i utilitzem la funció *Programmer>MPLAB ICD 2 Setup Wizard...* Ens apareixerà la següent pantalla:



Figura 7.11 Connexió del ICD 2 (I)

Aquest menú ens permet fer la configuració del dispositiu ICD 2



Figura 7.12 Connexió ICD 2 (II)

En aquesta etapa seleccionem el tipus de connexió del ICD 2, port paral·lel amb la seva respectiva velocitat (en baudis) o amb connexió USB.

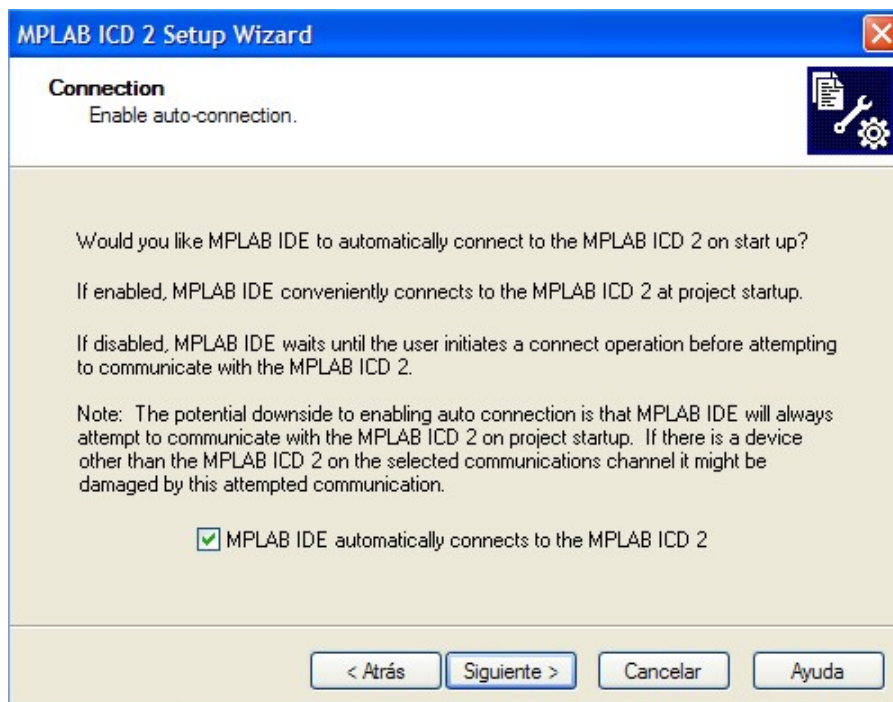


Figura 7.13 Connexió ICD 2 (III)

Activem la connexió automàtica entre MPLAB IDE amb el MPLAB ICD 2.

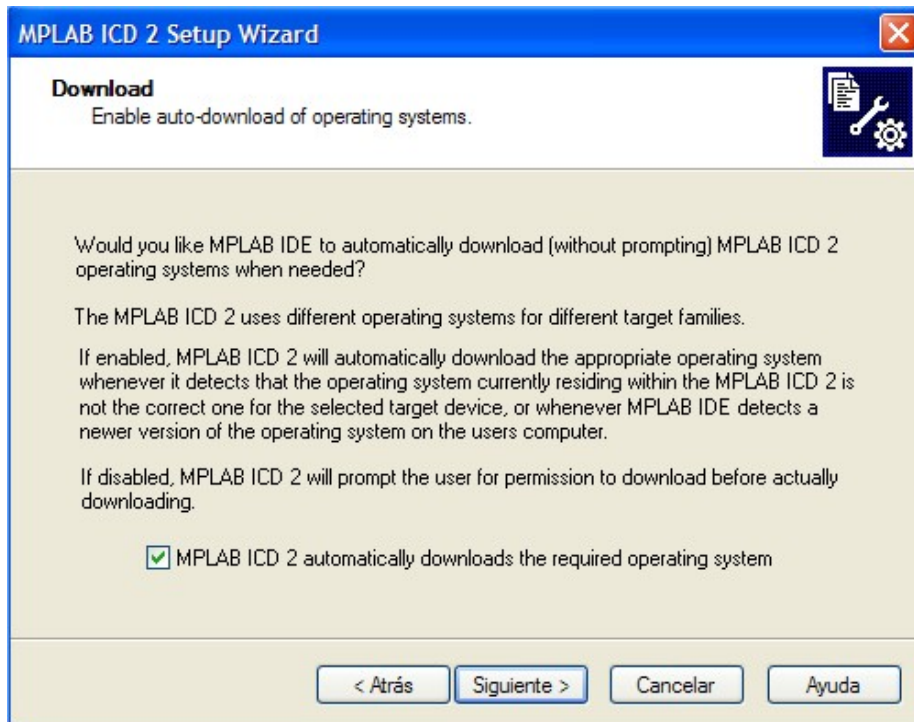


Figura 7.14 Connexió ICD 2 (IV)

Activem la descàrrega automàtica del sistema operatiu necessari pel bon ús del ICD 2.

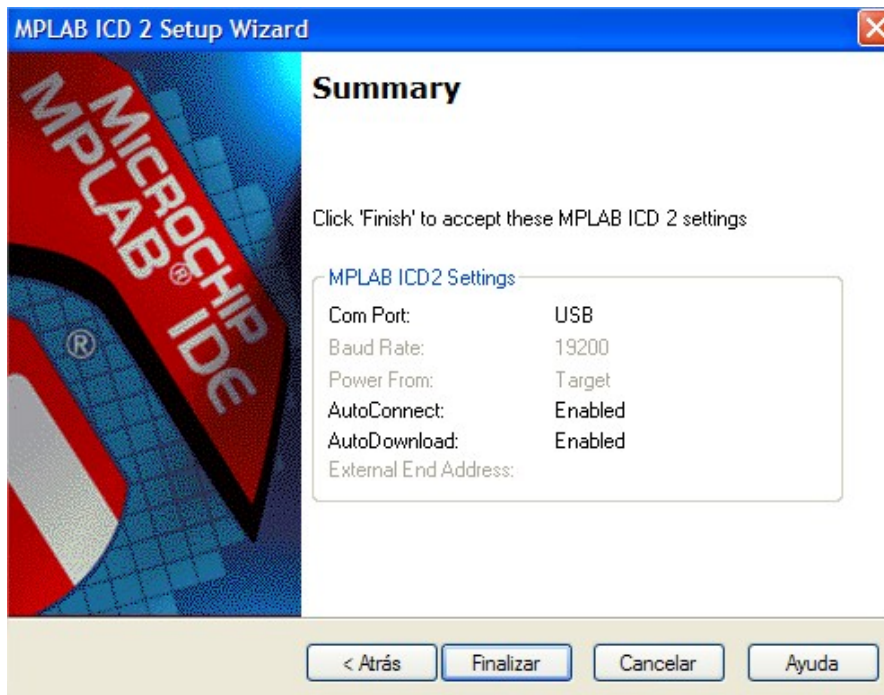


Figura 7.15 Connexió ICD 2 (V)

Un cop realitzats els passos anteriors, sol cal ressatejar la connexió, compilar el programa i carregar-lo al dsPIC.

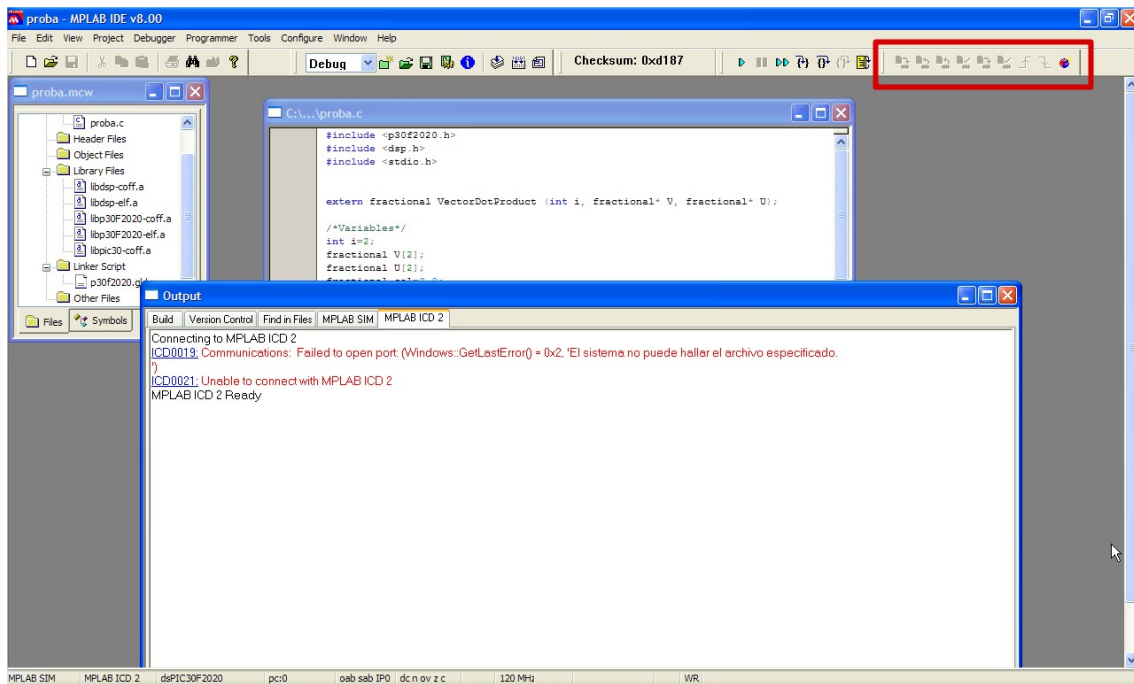


Figura 7.16 Opcions del mode MPLAB ICD 2 (Programmer)

Aquestes opcions serveixen per ressatejar la connexió del ICD 2 i per carregar el programa al dsPIC. Recordar que mentre el cable RJ-11 del ICD 2 està connectat al port de programació del dsPIC, el programa carregat a aquest, romandrà parat fins que aquest és retirat. Si es torna a connectar, el programa es torna a parar.

7.1.2.3- Mode MPLAB ICD 2 (Debugger)

Aquest mode ens permet realitzar el mateix que el mode anterior per ens dóna més prestacions, ja que podem parar i respondre el programa des del MPLAB IDE, ens permet observar variables, registres, temps d'execució,... Aquestes eines d'observació s'explicaran més endavant. Per activar aquest mode fem *Debugger>Select Tool>MPLAB ICD 2*.

Nota: És possible que en mode debugger, si el programa va ajustat de temps aquest no funcioni correctament, ja que una part del temps d'execució s'utilitza pel debugger.

7.1.3- Eines d'observació

En aquest apartat es veuran algunes de les eines del MPLAB IDE que permeten parar el programa, observar temps, variables i registres.

7.1.3.1- Punts de ruptura

La introducció d'un punt de ruptura és una acció que realitza el programador, en la qual, ordena al codi que s'aturi en un moment determinat i així observar l'estat d'alguna variable o esbrinar si s'ha produït algun succés determinat. Per introduir-lo, el primer que cal tenir és un programa fet, compilat, i preparat per executar. Es pot posar un punt de ruptura al costat de cada instrucció que ens interessi, mirar el seu temps d'execució o el valor d'alguna variable o registre.

Per col·locar un punt de ruptura sol cal fer doble clic sobre la línia on es desitja ficar el punt de ruptura i ens apareix el següent al costat de la línia en qüestió:

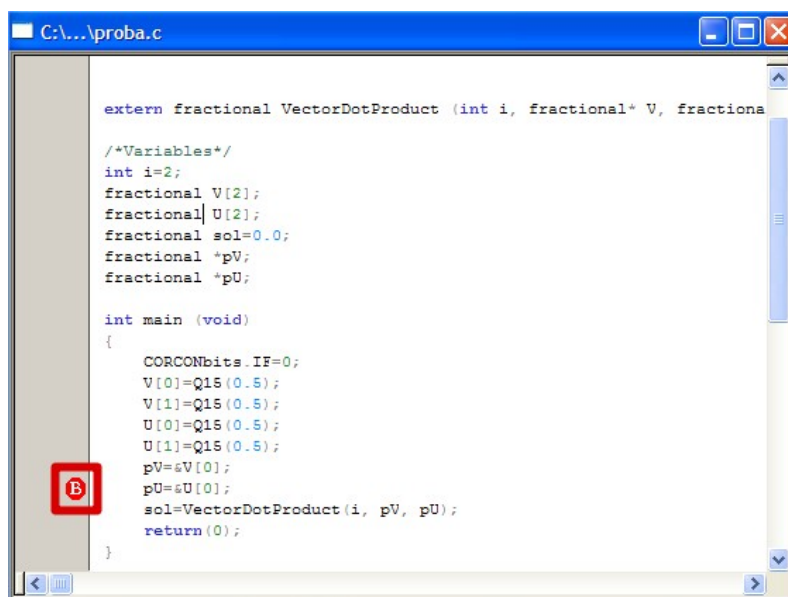


Figura 7.17 Punt de ruptura

7.1.3.2- Watch

L'eina watch s'utilitza per veure el valor de registres i variables, a més es pot triar el format en el qual es volen veure les dades. Per activar aquesta eina hem de fer *View>Watch*. I s'obrirà la següent finestra:

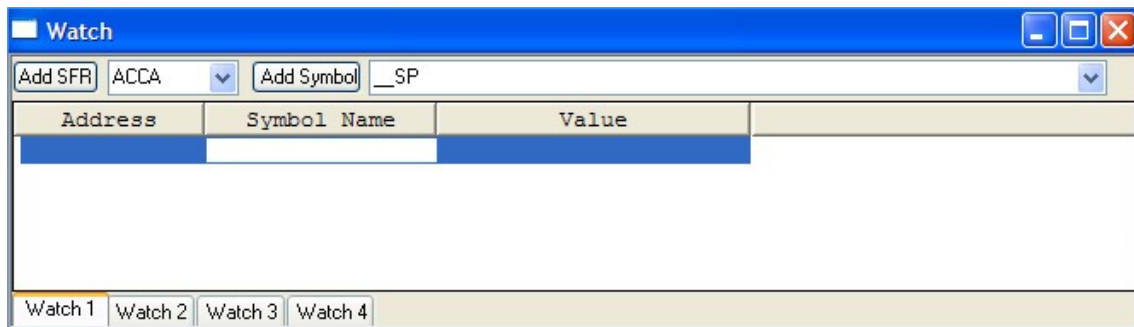


Figura 7.18 Finestra watch

Un cop activada l'eina watch, solament hem d'incloure les variables i registres que volem observar. Si el que volem observar és un registre hem d'obrir el desplegable de l'esquerra i buscar el registre en qüestió, seleccionar-lo i premar *Add SFR*. Si pel contrari volem visualitzar una variable, la busquem al desplegable de la dreta, la seleccionem, i pressionem *Add symbol*.

Per poder utilitzar aquesta eina hem d'estar en mode MPLAB SIM o en mode MPLAB ICD 2 (debugger). S'ha de compilar el programa i ficar-lo en funcionament. Les dades no es visualitzen en temps real, per això és necessari parar el programa per visualitzar-les.

Si volem veure les dades en diferents formats, hem de clicar amb el secundari sobre del registre que volem veure en diferent format, entrar a *Proputies...* i ens apareixerà la següent finestra:

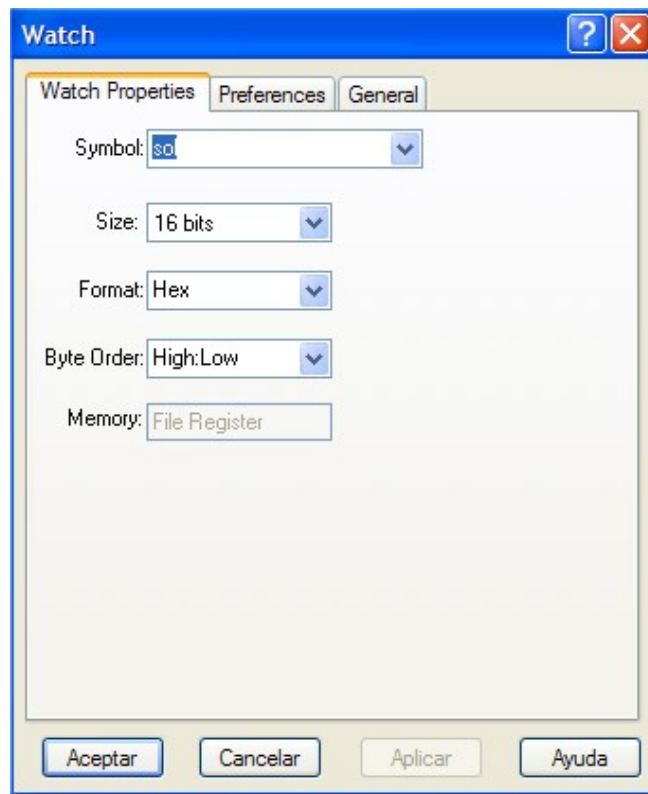


Figura 7.19 Opcions del match

En aquesta finestra es pot canviar el mida (en bits) del registre/variable, i el format de les dades que pot ser: hexadecimal, íntegre, fraccional, binari, float, decimal...

Aquesta eina es pot combinar amb punts de ruptura per observar el valor de registres/variables que canvien durant l'execució del programa. D'aquesta manera podem observar l'evolució de les dades en busca d'errors.

Nota: Si no podem veure el contingut d'alguna variable creada per nosaltres, hem de decidir nosaltres a l'hora de crear la seva adreça (ex: a continuació del programa principal) per poder-la veure.

7.1.3.3- Stopwatch

Aquesta eina és utilitzada per observar els temps d'execució del programa o d'alguna instrucció, a més podem veure el nombre de cicles d'instrucció. Per utilitzar-lo tenim que compilar el programa i ficar-lo en mode MPLAB SIM o MPLAB ICD 2 (Debugger). Per activar-lo hem de fer *Debugger>Stopwatch* i ens apareixerà la següent finestra:

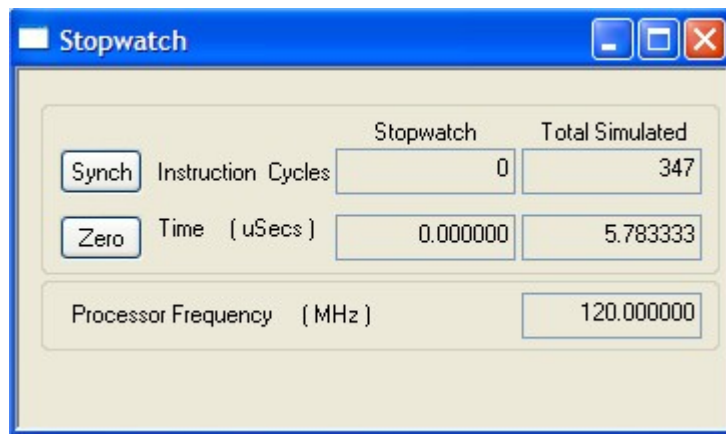


Figura 7.20 Stopwatch

Com es pot veure a la figura 7.20, és possible ressatejar el comptador de temps, la qual cosa ens permet saber el temps que tarda a executar una línia de programa si utilitzem el stopwatch juntament amb els punts de ruptura. Podem posar un punt abans de la línia que ens interessa el seu temps d'execució i un després, si ressategem el temps al primer punt de ruptura, quant el programa es pari al següent punt de ruptura sabrem el temps que utilitza el dsPIC en executar aquella línia de codi.

7.2- Treball en nombres fraccional

A l'hora de parlar de nombres decimals en llenguatge C, ens ve al cap el tipus de dades “float” els quals són nombres de 32 bits que van des de el $1,17549e-38$ fins $3,40282e+38$. Aquest tipus de dades són molt utilitzades al llenguatge C, ja que es sol programar sobre un PC el qual no té problemes de temps a causa de la seva elevada velocitat de computació.

Però quan parlem de dsPICs la cosa canvia, ja que és molt important els temps d'execució i els càlculs en coma flotant (*float*) són molt lents a causa del gran nombre de cicles que ocupen.

Per aquest motiu els dsPICs tenen un altre tipus de dades per tractar els nombres decimals, els anomenats “fractionals”, els quals consisteixen en la representació d'un nombre decimal com si fos un enter. El valor fraccional té un rang des de -1 fins 1.

Per realitzar operacions en nombres fraccional es poden utilitzar funcions intrínseques localitzades a les llibreries “*dsp.h*” i “*libq.h*”. Per més informació sobre aquestes llibreries i les funcions que les componen consultar els respectius datasheets.

Els valors fraccional poden ser de la forma que veurem a continuació.

7.2.1- Nombres fraccional de 16 bits

Dels 16 bits, 15 són utilitzats per representar la magnitud del valor i 1 bit de signe. Tal com es mostra a la figura 7.21

Sig.	2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}	2^{-4}	2^{-5}	2^{-6}	2^{-7}	2^{-8}	2^{-9}	2^{-10}	2^{-11}	2^{-12}	2^{-13}	2^{-14}	2^{-15}
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

Figura 7.21 Bits d'un nombre en format fraccional

Com és pot veure a la figura 7.21 els pesos dels bits van invertit i en negatiu. El bit 15 és el signe, si és '1' el nombre és negatiu i si és '0' el nombre és positiu.

Per convertir un nombre decimal positiu en un nombre fraccional:

$$\text{Nombre_fraccional} = \frac{\text{Nombre_decimal}}{2^{15}} \quad (7.1)$$

Nota: Recordar que el nombre decimal té que estar comprès entre 0 i 1.

Per convertir un nombre decimal negatiu en un nombre fraccional:

$$|\text{Nombre_fraccional}| = 1 - \frac{\text{Nombre_decimal}}{2^{15}} \quad (7.2)$$

Nota: Recordar que el nombre decimal ha d'estar comprès entre -1 i 0 a més, el bit 15 s'ha de ficar a '1' per marcar que el nombre és negatiu.

7.2.2- Nombres fraccionaris de 32 bits

En aquest cas, 31 bits representen la magnitud del valor i 1 bit de signe.

Per convertir un nombre decimal positiu en un nombre fraccional:

$$\text{Nombre_fraccional} = \frac{\text{Nombre_decimal}}{2^{31}} \quad (7.3)$$

Nota: Recordar que el nombre decimal té que estar comprès entre 0 i 1.

Per convertir un nombre decimal negatiu en un nombre fraccional:

$$|\text{Nombre_fraccional}| = 1 - \frac{\text{Nombre_decimal}}{2^{31}} \quad (7.4)$$

Nota: Recordar que el nombre decimal ha d'estar comprès entre -1 i 0 a més, el bit 31 s'ha de ficar a '1' per marcar que el nombre és negatiu.

7.3- Funcions intrínseques

Aquestes funcions es troben localitzades a les llibreries “*libq.h*” i “*dsp.h*”, són utilitzades per a fer càlculs amb nombres fraccionaris. Ja que, ens permeten fer càlculs molt ràpids.

Per fer el càlcul del duty cycle hem utilitzat la funció “*VectorDotProduct()*”, la qual està localitzada a la llibreria “*dsp.h*”. La forma d’implementar-la és la següent:

- *VectorDotProduct()*

Descripció:

Realitza la suma dels productes de dos vectors.

Estructura:

```
external fractional VectorDotProduct(  
    int num_elements,  
    fractional* Vec_1,  
    fractional* Vec_2  
);
```

Arguments:

num_elements: Nombre d’elements dels vectors.

Vec_1: Punter al primer vector.

Vec_2: Punter al segon vector.

Per utilitzar aquesta funció no és necessari declarar-la, ja que podem ficar la seva llibreria “*dsp.h*” on ja esta declarada, però hem d’incloure l’apartat Library Files:

- *libdsp-coff.a*
- *libdsp-elf.a*
- *libp30F2020-coff.a*
- *libp30F2020-elf.a*
- *libpic30-coff.a*

- *Q15()*

Aquesta funció pertany a la llibreria “*dsp.h*” i és utilitzada per passar nombres decimals entre -1 a 1 al format fraccional.

7.4-Programa implementat

```
#include <p30f2020.h>
#include <dsp.h>
#include <stdio.h>

/*Variables globals*/

fractional Vconst[7];
fractional Verror[7]={0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
fractional V0, V1, V2, V3, U1, U2, U3;
int num=7;
fractional *pV;
fractional *pU;
int c=0;
fractional b=0;
fractional p=0;
fractional d=0;
fractional fer0=0;
fractional fer1=0;
fractional fer2=0;
fractional flim_h=0;
fractional flim_l=0;

//-----//

/*Declaració de funcions*/

void __attribute__((interrupt, no_auto_psv)) _ADCInterrupt();
void ini_pi();
void ini_pwm();
void ini_CAD();
void ini_irq();
extern fractional VectorDotProduct( int num, fractional* Vconst, fractional*
Verror);

//-----//

/*Programa*/

int main (void)
{
    ini_pwm();           /*Inicialitzacions*/
    ini_CAD();
}
```

```

ini_irq();
ini_pi();
fer0=Q15(0);
fer1=Q15(1);
fer2=Q15(-1);
flim_h=Q15(0.04);
flim_l=Q15(0);

CORCONbits.IF=0;           /*Permetem l'ús de fraccional*/
pV=&Vconst[0];            /*Punte al vector de constants*/
pU=&Verror[0];             /*Punter al vector d'errors*/
PTCON=0x8000;             /*Activem el mòdul PWM*/
while(1){}                /*Bucle infinit*/
}

//-----//

void __attribute__((interrupt, no_auto_psv)) _ADCInterrupt()
{
    b=ADCBUF0;             /*Llegim el buffer del A/D*/
    if (b>=fer0)           /*Error*/
    {
        p=(fer1-b);
    }
    else
    {
        p=(fer2-b);
    }

    Verror[0]=p;          /*Actualitzem l'error actual*/
    d=VectorDotProduct(num, pV, pU); /*Càlcul del nou dc*/
    if (d>=flim_h)        /*Comprovació que el dc no surt dels límits*/
    {
        PDC1=0x24E8;
        d=flim_h;
    }
    else if (d<=flim_l)
    {
        PDC1=0x0008;
        d=flim_l;
    }
    else
    {
        c=d;              /*Convertim de fraccional a enter*/
        PDC1=c*50;        /*(*2 divisor), (*10 acumulació) i (*2.5 CAD)*/
    }
}

```

```

IFS0bits.ADIF      =0;    /*Netegem el flag de interrupció del CAD*/
ADSTATbits.PORDY  =0;    /*Netegem el flag de conversió del CAD*/

Verror[3]=Verror[2];    /*Actualitzem els errors*/
Verror[2]=Verror[1];
Verror[1]=Verror[0];
Verror[6]=Verror[5];
Verror[5]=Verror[4];
Verror[4]=d;
}

//-----//

/*Funcions d'inicialització*/
void ini_pi (void)
{
    V0=Q15(0.01012);    /*Constants PI a fraccionals (/17.34) i (/10)*/
    V1=Q15(-0.00856);
    V2=Q15(-0.00949);
    V3=Q15(0.00803);
    U1=Q15(-0.197);    /*No (/17.34) ni (/10)*/
    U2=Q15(0.8485);
    U3=Q15(0.3485);

    Vconst[0]=V0;    /*Carregem els valors al vector*/
    Vconst[1]=V1;
    Vconst[2]=V2;
    Vconst[3]=V3;
    Vconst[4]=U1;
    Vconst[5]=U2;
    Vconst[6]=U3;
}

//-----//

void ini_pwm (void)
{
    PTPER=0x24E8;    /*Període de 10us*/

    IOCON1bits.PENH    =1;    /*Sortida alta controlada pel PWM*/
    IOCON1bits.PENL    =1;    /*Sortida baixa controlada pel PWM*/
    IOCON1bits.POLH    =0;    /*Sortida alta activada a nivell alt*/
    IOCON1bits.POLL    =0;    /*Sortida baixa activada a nivell baix*/
    IOCON1bits.PMOD    =1;    /*Mode de sortida independent*/
    IOCON1bits.OVRENH  =0;    /*Sortida alta override desactivada*/
    IOCON1bits.OVRENL  =0;    /*Sortida baixa override desactivada*/
}

```

```

TRGCON1bits.TRGDIV =0; /*Trigger cada cicle*/
TRGCON1bits.TRGSTRT =0; /*Contatge des del principi*/
TRIG1=0x0008;

PWMCON1bits.FLTIEEN =0; /*Baixa el fault interrup flag*/
PWMCON1bits.FLTSTAT =0; /*Baixa el flag del fallo*/
PWMCON1bits.TRGIEEN =0; /*Deshabilitem les interrupcions de Trigger*/
PWMCON1bits.CLIEN =0; /*Baixa el current limit interrup flag*/
PWMCON1bits.CLSTAT =0;
PWMCON1bits.TRGSTAT =0; /*Baixa el PWM trigger interrup flag*/
PWMCON1bits.ITB =0; /*La base de temps donada pel PTMR*/
PWMCON1bits.MDCS =0; /*El duty cycle ve donat pel PDC*/
PWMCON1bits.DTC =2; /*No dead time*/
PWMCON1bits.XPRES =0; /*No resset extern del PTMR*/
PWMCON1bits.IUE =0; /*Carrega del dc al final del periode*/

PHASE1=0;
PDC1=500; /*dc d'inici*/
}

//-----//

void ini_CAD (void)
{
    ADCONbits.GSWTRG =1;
    ADCONbits.ADSIDL =0; /*Operació en Idle mode*/
    ADCONbits.FORM =1; /*Format de dades fraccional*/
    ADCONbits.EIE =1; /*Generació irq final primera conversió*/
    ADCONbits.ORDER =0; /*Primer canal par*/
    ADCONbits.SEQSAMP =1; /*Mostreig individual*/
    ADCONbits.ADCS =3; /*Divisor del rellotge*/

    ADPCFG=0xFFFC; /*Configurem AN0 i AN1 entrades analògiques*/
    ADSTAT =0; /*Borrem el registre d'estat*/

    ADCPC0bits.TRGSRC0 =0x4; /*Sincronitzem el CAD amb el PWM1*/
    ADCPC0bits.IRQEN0 =1; /*Permetem irq dels canals AN0 i AN1*/

    ADCONbits.ADON =1; /*Activem el CAD*/
}

//-----//

```

```
void ini_irq (void)
{
    INTCON1=0x0000;
    INTCON2=0x0000;
    IFS0bits.ADIF      =0;    /*Netegem el flag de la interrupció del CAD*/
    IPC2bits.ADIP      =4;    /*Fixem la prioritat*/
    IEC0bits.ADIE      =1;    /*Activem les interrupcions del CAD*/
}

//-----//
```

El DEEEA

El tècnic

Dr. Enric Vidal Idiarte

Rolan Sanjuan Ferrús