

**EPS**

Escola Politècnica
Superior

Projecte/Treball Fi de Carrera

Estudi: Enginyeria Tècn. Ind. Electrònica Ind. Pla 2002

Títol: Disseny d'un doble pont trifàsic totalment controlat de tiristors controlat per un sistema microprocessat

Document: 1. Memòria

Alumne:

Director/Tutor:

Departament: Selecciona un departament:

Àrea:

Convocatòria (mes/any):

Índex

1	Introducció.....	3
1.1	Antecedents.....	3
1.2	Objecte.....	4
1.3	Especificacions i abast.....	4
2	Equip didàctic anterior.....	6
3	Nou equip didàctic.....	8
4	Lògica de control.....	11
5	Controlador.....	12
5.1	Gestió i configuració dels ports.....	13
5.2	Configuració de les interrupcions.....	14
5.2.1	Definició de la interrupció exterior per RB0.....	15
5.2.2	Definició de la interrupció per canvi d'estat en B4-B7.....	16
5.3	Configuració dels temporitzadors.....	16
5.3.1	Definició del Timer0.....	17
5.3.2	Definició del Timer1.....	18
5.4	Configuració del converso A/D.....	18
6	Circuit de sincronisme.....	21
7	Tensió de referència.....	23
8.1	Commutació dels ponts.....	24
8.2	Angle de disparament.....	24
8.3	Determinació del quadrant.....	24
8	Visualització amb display.....	27
9	Senyalització amb leds.....	29
9.1	Senyalització del pont.....	30
9.2	Senyalització dels quadrants.....	30
10	Tensió d'excitació.....	32
11	Etape de potència.....	33
12	Doble pont de tiristors.....	36
13	Tiristor.....	37
13.1	Mètodes de funcionament.....	38
13.2	Àrea de disparament segura.....	39
13.3	Dissipador de calor del tiristor.....	40
14	Font d'alimentació.....	41
14.1	Estructura bàsica.....	41
14.2	Regulador de tensió.....	42
14.2.1	Dissipador de calor de la font d'alimentació.....	43

15	Programació.....	45
15.1	Definició i configuració de registres.....	45
15.2	Diagrama de fluxes.....	48
15.3	Detecció de connexió de les fases.....	51
15.4	Detecció de seqüència directa.....	52
15.5	Conversió A/D.....	53
15.6	Visualització angle, pont i quadrants.....	54
15.7	Sincronització.....	56
15.8	Visualització dels errors.....	59
16	Comprovacions.....	61
17	Resum del pressupost.....	64
18	Conclusió.....	65
19	Relacio de documents.....	66
20	Bibliografia.....	67
21	Glosari.....	68
A	Programa.....	69
B	Càlculs.....	82
B.1	Cicle de treball.....	82
B.2	Desbordament timers.....	82
B.3	Resolució.....	82
B.4	Resistència de col·lector.....	83
B.5	Angle de conducció.....	84
B.6	Fusible font d'alimentació.....	84
B.7	Condensadors del filtre.....	85
B.8	Resistències de realimentació del regulador U2.....	85
B.9	Potència dissipada pel regulador.....	86
B.10	Radiador.....	87
C	Manual de funcionament.....	88

1 INTRODUCCIÓ

El disseny d'un equip per controlar un doble pont trifàsic totalment controlat de tiristors, consta de diferents parts: disseny i programació de la lògica de control, el disseny de l'etapa de potència per augmentar la senyal de la lògica de control i atacar els tiristors, el disseny del doble pont de tiristor per rectificar la senyal trifàsica i el disseny de la font d'alimentació per alimentar tot l'equip.

El projecte engloba només la mecanització de la lògica de control i de l'etapa de potència, el doble pont de tiristor i la font d'alimentació només hi ha documentació teòrica. Al ser un prototip es realitzen proves al laboratori per comprovar el correcte funcionament.

La finalitat d'aquest projecte és el disseny d'una nou equip, principalment la renovació de tota la lògica de control, per substituir l'aparell que s'ha utilitzat fins ara, ja que, aquest últim es considera que s'ha quedat obsolet.

El nou equip servirà per la realització de pràctiques al laboratori d'electrotècnia per l'estudi del motor de corrent continua. Amb les novetats introduïdes es considera que l'alumne podrà observar, estudiar i entendre millor, la rectificació controlada i el funcionament del motor de manera més directa, pràctica i segura.

1.1 Antecedents

Per la realització de l'estudi del motor de corrent continua, el laboratori d'electrotècnia disposa a dia d'avui d'un equip amb unes dimensions molt grans, ja que, el control de la lògica de control es fa amb un total de 6 TCA-785.

L'aprenentatge del alumne a nivell experimental queda molt limitat per la poca funcionalitat de l'equip. No disposa de cap informació visual de l'angle de disparament, tampoc del pont que treballa ni de com treballa el motor. Únicament disposa de punts de mesura per observar les senyals.

A més, l'equip no és gaire segur perquè no detecta cap error, ja sigui de falta de connexió d'alguna de les fases o de falta d'alimentació d'excitació. Tampoc disposa de cap polsador d'emergència per provocar la parada automàtica de l'equip en cas d'emergència.

Incorpora una font d'alimentació pròpia que proporciona +5V i +15V mitjançant els reguladors 7805 i 7815 respectivament. La font pot subministrar fins un total de 2A en total.

1.2 Objecte

Reduir les dimensions de la lògica de control i etapa de potència de l'equip anterior. Fer més pràctic i segura les pràctiques al laboratori.

Noves prestacions de la lògica de control: disparament dels tiristors mitjançant un microprocessador, visualització de l'angle de disparament, senyalització del pont i del quadrant de treball del motor, detecció de falta de connexió de qualsevol de les fases, detecció d'error a la connexió de la seqüència trifàsica i detecció de falta d'alimentació d'excitació al estator provocant la parada automàtica de tot l'equip.

Utilització del mínim d'entrades possibles del microprocessador per possibles ampliacions futures.

Plantejament teòric d'una font d'alimentació més rendible.

1.3 Especificacions i abast

Renovació de la lògica de control amb l'incorporació del microprocessador PIC16F877 que disposa de 33 terminals E/S digitals, 7 d'aquests analògics. Visualització de l'angle de disparament mitjançant 3 displays de 7 segments, a més de 3 descodificadors 4511B. Es fa servir 4 leds de colors diferents per la senyalització del pont seleccionat i del quadrant de treball del motor.

Detecció d'errors de connexió de les fases i seqüència utilitzant 3 circuits d'entrada, formats per un transformador cadascú, més configuració de les fonts d'interrupció del microprocessador que detecten el pas per zero de la senyal trifàsica, a la vegada, aquestes fonts d'interrupció serveixen per la sincronització de la senyal trifàsica de la xarxa amb els polsos de disparament, i per últim, la detecció de falta d'alimentació d'excitació al estator mitjançant un circuit, format per un relè estàtic connectat a la tensió d'excitació.

A més, la lògica de control genera els 12 polsos pel disparament dels tiristors, selecciona el pont i varia l'angle de disparament amb un potenciòmetre multi voltes, i incorpora un polsador d'emergència per provocar la parada automàtica de l'equip.

L'equip no té incorporada la font d'alimentació, però es planteja a nivell teòric una font regulada amb el LM2676 per ser més moderna i més sostenible, substituint els 78xx i 79xx que es consideren ja obsolets.

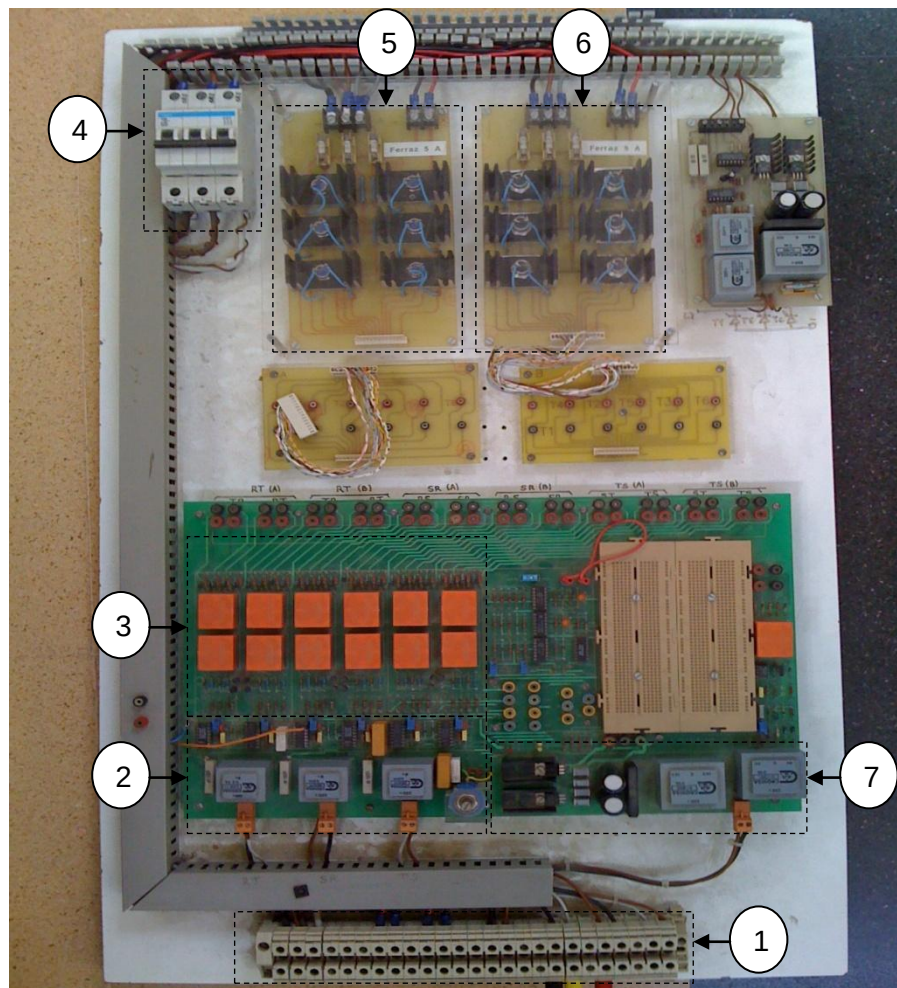
El programa del pic s'ha escrit amb llenguatge C utilitzant el compilador CCS C. S'ha definit totes les directives: definició del pic, freqüència d'oscil·lador i incloent el fitxer del pic. També s'han configurat totes les funcions utilitzades: timers, converso A/D i interrupcions. S'ha declarat la posició en la memòria RAM dels ports, dels terminals del pic i de tots els registres utilitzats en el programa. Per últim, la creació de totes les variables, la definició dels terminals de sortida i entrada, i les instruccions que executen el programa.

El circuit elèctric s'ha dissenyat amb el programa Proteus Isis i la placa del circuit imprès s'ha dissenyat amb el programa Proteus Ares PCB. Alhora de dissenyar el circuit imprès, s'ha tingut en compte que les pistes connectades a la xarxa elèctrica o les pistes de tota la etapa de potència havien de ser més gruixudes. S'ha realitzat un pla de massa per a tota la placa.

2 EQUIP DIDÀCTIC ANTERIOR

Els laboratoris d'electrotècnia ja fa uns quants anys que disposen d'un equip didàctic, per la realització de pràctiques amb motors de corrent continua i l'estudi de la rectificació.

Les dimensions de l'equip són 500mm d'amplada i 800mm d'alçada, està muntat sobre un tauló de fusta de 2 mm de gruix. A continuació, es pot veure l'equip i les parts que el formen a la fotografia 1.



Fotografia 1. Equip didàctic anterior

L'equip antic està format per les següents parts tal com s'observa a la taula 1.

Núm.	Part de l'equip	Descripció
1	Connexió xarxa trifàsica	Fases R, S i T
2	Lògica de control	Format per 6 TCA-785 per sincronitzar la xarxa trifàsica i per generar els 12 polsos pel disparament dels tiristors. També inclou el potenciòmetre multi voltes per seleccionar l'angle de disparament i el pont.
3	Etapa de potència	12 transformadors de polsos per amplificar els 12 polsos generats per la lògica de control.
4	Interruptor magneto tèrmic	De 2C-25A-III 400V per protegir el doble pont trifàsic de sobrecarregues i curtcircuits.
5	Pont trifàsic A	Format per 6 tiristors SKT 10/08D per treballar a 5A.
6	Pont trifàsic B	Format per 6 tiristors SKT 10/08D per treballar a 5A.
7	Font d'alimentació	Subministra +5V i +15V mitjançant un regulador 7805 i 7815 respectivament.

Taula 1. Parts equip anterior

No és un equip còmode de treball, a causa de les seves grans dimensions, ni pràctic perquè no disposa d'informació visual de l'angle de disparament, tampoc del pont que treballa ni de com treballa el motor. Únicament disposa de punts de mesura per observar les senyals.

A més, l'equip no és gaire segur perquè no detecta cap error, ja sigui de falta de connexió d'alguna de les fases o de falta d'alimentació d'excitació. Tampoc disposa de cap polsador d'emergència per provocar la parada automàtica de l'equip.

3 NOU EQUIP DIDÀCTIC

L'idea inicial era la renovació de tot l'equip. Però principalment de renovar la part de la lògica de control per afegir noves prestacions. S'ha dissenyat un equip nou, però només s'ha mecanitzat la part de la lògica de control i l'etapa de potència en una sola placa.

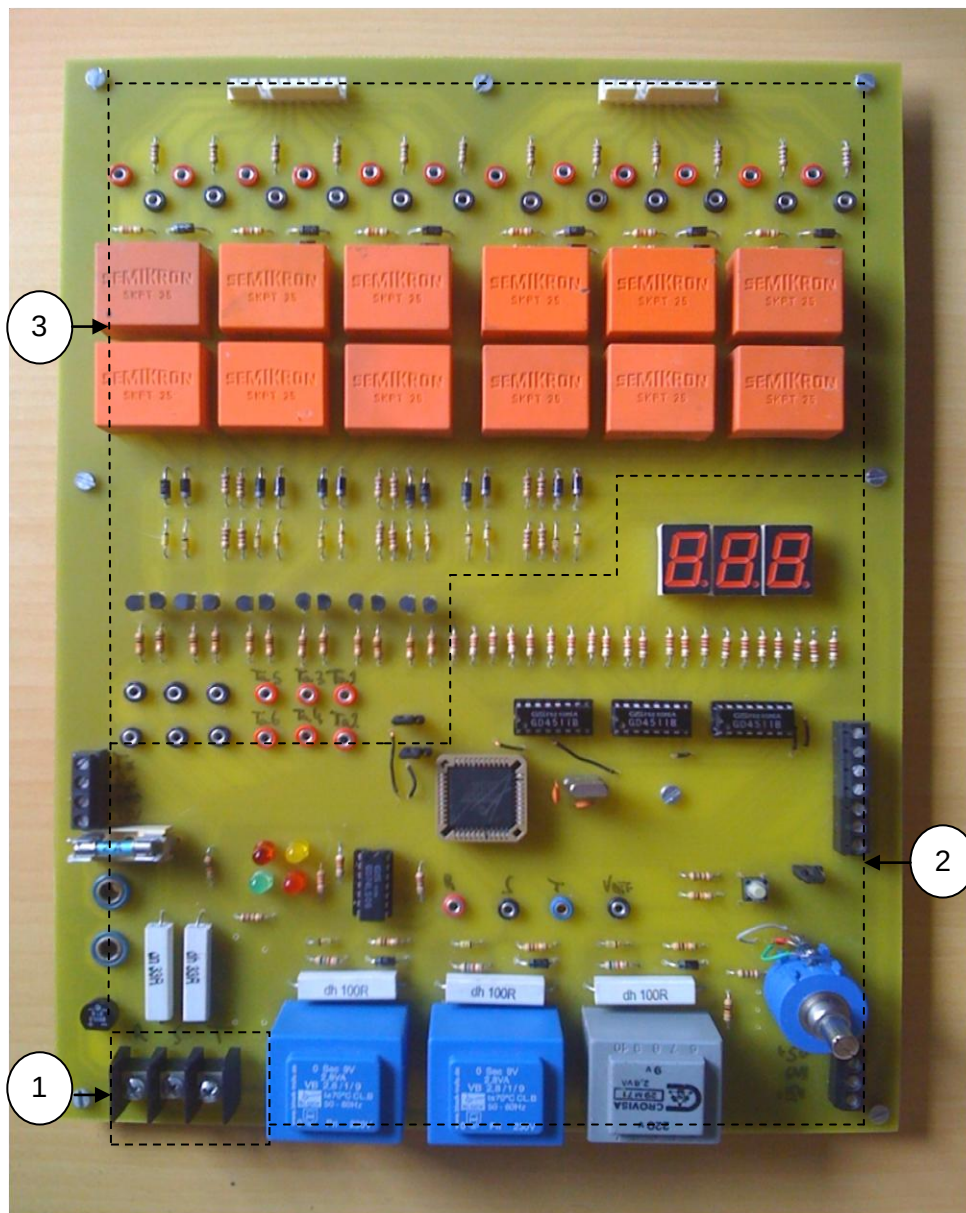
Les noves dimensions d'aquest prototip són 271mm d'amplada i 290mm d'alçada. Si ho comparem amb l'anterior, es pot veure que les dimensions s'han reduït. En aquest nou equip falta el doble pont de tiristors i la font d'alimentació, ja que és un prototip.

S'ha distribuït els elements de la lògica de control de tal manera que sigui còmode per realitzar les practiques. A la part de baix, a l'esquerra s'han col·locat els connectors per la xarxa trifàsica, per fer més una fàcil l'accessibilitat als cables de la xarxa trifàsica. A la dreta, el connector per l'alimentació de l'equip i els connectors amb les 5 sortides del port A per futures ampliacions. Els displays es troben al centre de la placa per visualitzar de seguida l'angle de disparament o els errors. A l'esquerra, hi ha els 2 connectors de sortida de la tensió d'excitació, s'utilitza els mateixos connectors de la xarxa trifàsica per això és necessària la seva proximitat. També al costat esquerra es troba el connector per establir la comunicació sèrie amb un dispositiu RS-232, aquest connector disposa de +5V I GND per alimentar aquesta placa. Els connectors estan separats uns dels altres per no tenir encreuaments de cables ja que resulten molt molestos alhora de treballar.

Tota l'etapa de potència de control es troba situada a la part superior de la placa, separada de la lògica de control. Els connectors al pont trifàsic estan situats a dalt de tot de la placa. D'aquesta manera és més de fàcil la connexió al doble pont trifàsic.

El circuit elèctric s'ha dissenyat amb el programa Proteus Isis i la placa PCB amb el programa Proteus Ares PCB. Alhora de dissenyar el circuit imprès, s'ha tingut en compte que les pistes connectades a la xarxa elèctrica o les pistes de tota l'etapa de potència havien de ser més gruixudes. S'ha fet un pla massa per tota la placa.

A continuació es pot veure el nou disseny del equip didàctic mitjançant la fotografia 2.



Fotografia 2. Nou equip didàctic

L'equip nou està format per les següents parts tal com s'observa a la taula 2:

Num.	Part de l'equip	Descripció
1	Connexió xarxa trifàsica	Fases R, S i T
2	Lògica de control	Està format pel controlador PIC16F877per sincronitzar la xarxa trifàsica i per generar els 12 polsos, a més de detectar els errors i visualitzar l'angle i el pont que treballa i com treballa el motor. També inclou el potenciòmetre multi voltes per seleccionar l'angle de disparament i el pont.
3	Etape de potència	12 transformadors de polsos per amplificar els 12 polsos generats per la lògica de control.

Taula 2. Parts nou equip

L'equip es connecta a la xarxa trifàsica treballant a 230V i a 50Hz. Treballa amb les tres fases, R, S i T. L'equip ha de treballar amb seqüència directa RST, desfasament de 120° entre cada fase. En cas que falti la connexió d'una fase o es produeixi un error al connectar la seqüència de fases, l'equip deixarà de treballar, però s'informarà de quin és l'error perquè es pugui solucionar.

La lògica de control sincronitza la senyal trifàsica amb la generació dels polsos. Aquesta sincronització es fa mitjançant la fase R. La lògica de control també genera 12 polsos, un per cada tiristor. També detecta els errors de connexió i falta de tensió d'excitació.

El valor de tensió de sortida de la lògica de control és insuficient per disparar directament els tiristors, és per això, que és necessària una etapa de potència per amplificar el valor de tensió dels polsos .

En els capítols següents es pot veure tota la informació detallada de cada part del equip.

4 LÒGICA DE CONTROL

La lògica de control està formada per diferents blocs tal com s'observa a la figura 1:

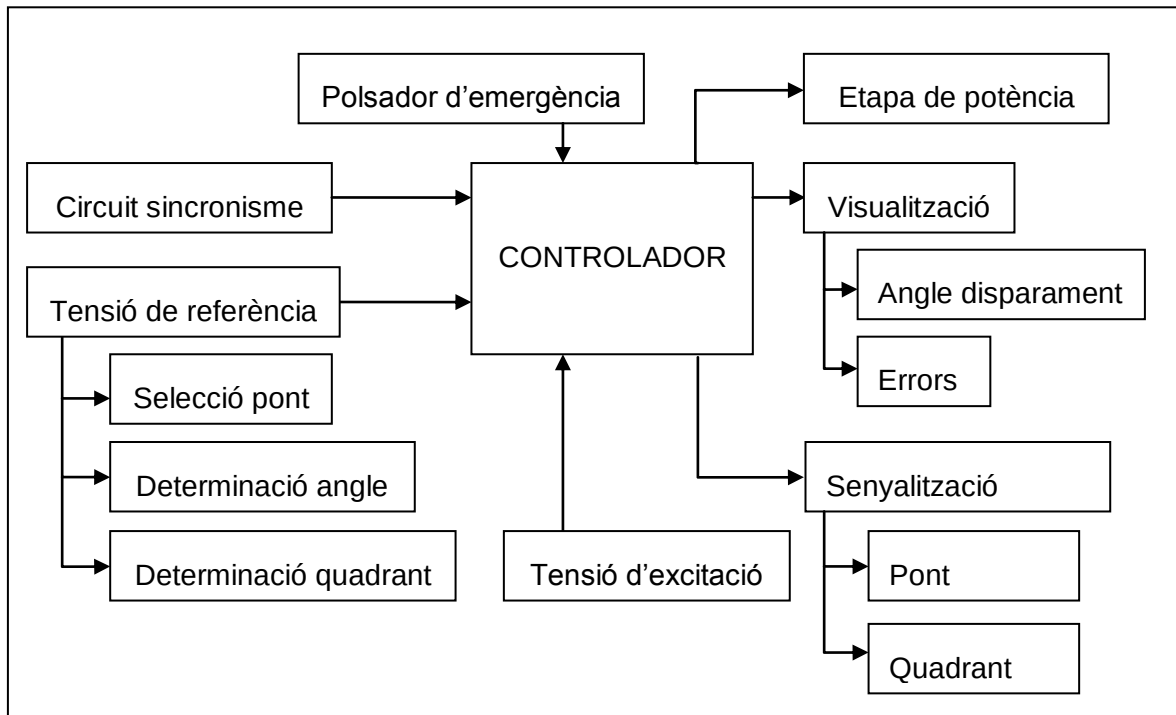


Figura 1. Lògica de control

El bloc principal i més important és el controlador que engloba totes les entrades i sortides, mitjançant un microprocessador que controla tot els processos de l'equip.

Les senyals d'entrada al pic són: el circuit per la detecció de sincronisme de la senyal trifàsica, la tensió de referència (permet determinar l'angle de disparament, seleccionar el pont que es vol que treballi i com es vol que treballi), el circuit per detectar la falta de tensió d'excitació i el pulsador d'emergència per la parada de l'equip.

Les senyals de sortida del pic són: el circuit per la visualització de l'angle de disparament i dels errors, el circuit per la senyalització dels quadrants i del pont, i l'etapa de potència.

5 CONTROLADOR

El microcontrolador utilitzat és el pic 16F877 és de la família PIC16F87X ,de gama mitja i de 8 bits. La principal característica és que disposa de interrupcions, temporitzadors i d'un converso A/D .

Les característiques electròniques que cal tenir em compte per treballar amb el pic són: la freqüència de rellotge amb la que treballarà, l'alimentació, el circuit de reset, la gestió dels ports, un polsador d'emergència i la comunicació sèrie.

El rellotge o oscil·lador s'utilitza per generar la base del temps de treball del microcontrolador. La senyal de rellotge es genera mitjançant amb un cristall HS de quars de 20Mhz i 2 condensadors de 15pF. La connexió del oscil·lador al pic es fa a través dels terminals OSC1 i OSC2 del dispositiu.

El pic utilitza per cada cicle d'instrucció, 4 cicles de rellotge diferents. El temps necessari per executar les instruccions és el cicle de treball, T_{CM} , i es calcula amb l'equació 1. El seu valor es de 200ns.

$$T_{CM} = \frac{4}{f} \quad (\text{Eq. 1})$$

El pic s'alimenta connectant els dos terminals Vdd a +5V i connectant els dos terminals Vss a massa.

El pic disposa d'un reset que fa reiniciar l'execució del programa i permet programar-lo. El circuit de reset està implementat al terminal MCLR del dispositiu. El circuit està implementat al terminal MCLR del dispositiu. Està format per una resistència de 10k, alimentada a +5V en sèrie a un polsador connectat a massa. En paral·lel al polsador, i connectada al terminal del pic, hi ha una resistència de 100Ohms, recomanada pel fabricant per evitar possibles corrents induïdes de més de 80mA que podrien bloquejar el dispositiu.

L'equip disposa per seguretat d'un polsador d'emergència per la parada immediata de l'equip, alimentat a +5V i connectat a massa. El terminal comú es connecta al terminal RB6 del pic mitjançant una resistència de 10k connectada a massa i una altra resistència de

100Ohms a l'entrada del terminal. L'entrada es manté en estat baix fins que es pren el polsador passant a estat alt provocant la parada immediata de l'equip.

Tan el circuit de reset com el circuit del polsador d'emergència es poden veure a l'esquema 3 del document de plànols.

Per programar l'equip es fa via sèrie mitjançant els terminals RC6 i RC7 del pic on es troben les senyals RX i TX respectivament. S'ha disposat d'un connector per connectar l'equip a un interfície RS-232 per establir la comunicació en sèrie per programar el pic.

També cal tenir en compte les característiques programables del pic alhora de fer el programa d'execució. Cal configurar els ports, les interrupcions, els temporitzadors i la conversió A/D.

5.1 Gestió i configuració dels ports

El pic disposa d'un total de 5 ports A,B,C,D i E amb un format de encapsulat de PLCC. Els ports B, C i D consten de 8 terminals cadascun, el port A consta de 5 terminals i el port E de només 3, és a dir, un total de 33 terminals que poden treballar com E/S.

Les E/S són digitals, però el port A i el port E, disposen d'un conversor A/D en que poden treballar com entrada analògica. Les digitals tenen dos estats possibles, nivell alt (1) que equival a +5V o nivell baix (0) que equival 0V. El corrent màxim de sortida dels terminals és de 25mA i el corrent màxim d'entrada és de 200mA.

Tal com s'observa a la taula 3 es pot veure el nombre total de terminals utilitzats per a cada bloc:

Bloc	E/S	Terminals
Sincronisme	Entrada digital	3
Polsador d'emergència	Entrada digital	2
Tensió de referència	Entrada analògica	1
Tensió d'excitació	Entrada digital	1
Visualització angle	Sortida digital	7
Senyalització pont i quadrant	Sortida digital	3
Etapa de potència	Sortida digital	12
Total		28

Taula 3. Terminals E/S per cada bloc

Es pot veure que el nombre de terminals no arriba fins els 33 que disposa el pic, era un dels condicionants d'aquest projecte, dissenyar tot l'equip amb el mínim de entrades/sortides per futures ampliacions.

Els 5 terminals que queden lliure són del port A, s'han connectat a un bloc de 5 terminals per poder connectar circuits exteriors. S'ha deixat lliure els terminals del port A perquè es pugui treballar amb valors digital o analògics, només cal configurar-los.

Els ports es caracteritzen per ser independent, i es pot programar cada terminal com una entrada o sortida digital. La configuració dels ports es realitza mitjançant el registre TRISx, però primer cal definir cada port i cada terminal a la seva posició de la memòria RAM. Un valor 0 en el registre TRISx indica que el terminal corresponent del port és de sortida, en canvi un valor 1 indica que serà d'entrada.

La configuració dels ports es pot veure en el capítol programació d'aquest document.

5.2 Configuració de les interrupcions

Les interrupcions permeten a qualsevol succés interior, funcions del programa, o exterior, perifèrics, interrompre la execució del programa en qualsevol moment. En el moment que es produeix la interrupció, el PIC executa un salt a la rutina de la interrupció, prèviament definida, on s'executarà la demanda de la interrupció. Quan acaba d'executar la rutina, retorna a la execució del programa principal a la mateixa posició de la memòria de programa

on es va produir la interrupció. Aquesta part s'utilitza per detectar la falta de tensió d'excitació, per detectar la senyal d'entrada de la fase R, S i T, i per detectar el polsador d'emergència.

El PIC 16F877 té fonts d'interrupcions, és a dir, terminals establerts per detectar diferents interrupcions externes, a més posseeix uns registres de control on mitjançant la utilització de banderes, l'usuari pot veure què és el què ha provocat la interrupció.

Les interrupcions es configuren mitjançant registres i seleccionant els seus bits, 1 i 0. Un dels registre és el INTCON, que permet l'habilitació d'interrupcions i el control de les banderes principals. És un registre molt important perquè habilita les interrupcions més necessàries amb les que l'equip treballa. Els bits del registre per habilitar les interrupcions genèriques són: El bit GIE, habilita les interrupcions globals, és imprescindible perquè si no està activat no hi haurà cap interrupció. El bit PEIE, habilita les interrupcions dels perifèrics, és a dir, habilita interrupcions externes provocades en algun terminal d'algun port habilitat per això.

El registre INTCON es pot trobar al datasheet del PIC16F877, i la configuració dels bits al capítol programació d'aquest document.

Per treballar amb les interrupcions, el compilador C té unes directives ja predestinades en aquest format `#INT_XXXX`. Hi ha moltes directives, però les utilitzades en aquest projecte es poden veure a la taula 4.

Interrupcions	Descripció
<code>#INT_EXT</code>	Interrupció externa (RB0)
<code>#INT_RB</code>	Canvi d'estat en B4-B7

Taula 4. Directives de interrupcions

5.2.1 Definició de la interrupció exterior per RB0

És una interrupció bàsica, permet generar una interrupció després del canvi de nivell d'alt a baix o de baix a alt a la entrada RB0. La directiva utilitzada per saltar a la rutina d'interrupció és `#INT_EXT`.

Per habilitar la interrupció al terminal RB0 quan hi ha un canvi d'estat, és necessari definir el terminal com a entrada mitjançant el registre TRISB i seleccionar el bit INTE del registre ITCN per habilitar la interrupció. El bit INTF del mateix registre, és la bandera per avisar que hi ha hagut una interrupció. El canvi d'estat pot ser de flanc de pujada o flanc de baixada, mitjançant el bit INTEDG del registre OPTION_REG es determina el flanc que es vol utilitzar. El registre OPTION_REG es pot trobar al datasheet del pic i la configuració dels bits al capítol programació d'aquest document.

Aquesta interrupció s'utilitza per detectar la falta de tensió d'excitació.

5.2.2 Definició de la interrupció per canvi d'estat en B4–B7

Aquesta interrupció a diferència de l'anterior que podia detectar el flanc de pujada o de baixada només detecta interrupció pel flanc de pujada.

Per habilitar la interrupció en el PORTB quan hi ha un canvi d'estat en algun terminal B4, B5, B6 o B7 és necessari definir el pin com a entrada mitjançant el registre TRISB i seleccionar el bit RBIE del registre ITCN per habilitar la interrupció. El bit RBIF del mateix registre, és la bandera per avisar que hi ha hagut una interrupció. En el registre OPTION_REG es troba també el bit RBPU, aquest bit configura les resistències internes. Si es vol referència a massa o a la tensió d'alimentació. La configuració dels bits es pot veure al capítol programació d'aquest document.

Aquesta interrupció s'utilitza per detectar la senyal d'entrada de la fase R, S i T, i per detectar el polsador d'emergència.

5.3 Configuració dels temporitzadors

Els timers, temporitzador, són mòduls integrats al pic que permeten realitzar comptes tan de processos interns com externs. Quan el compta és intern es parla de temporització, i quan el compta és extern es parla de comptador. Els timers es configuren mitjançant registres i amb els seus bits. El pic disposa de 3 timers, però per aquest projecte només es fan servir 2, el Timer0 i el Timer1. Aquesta part s'utilitza per detectar la falla de connexió de qualsevol de les 3 fases, i per detectar l'error de seqüència de fases i per sincronitzar la senyal trifàsica de la fase R amb el disparament de polsos.

Els timers també provoquen interrupcions i disposen de directives, les utilitzades són les que es poden veure a la taula 5:

Interrupcions	Descripció
#INT_TIMER0	Desbordament timer0
#INT_TIMER1	Desbordament timer1

Taula 5. Directives d'interrupció dels timers

5.3.1 Definició del Timer0

El Timer0 és un temporitzador/comptador de 8 bits, incrementat per hardware i programable. El seu valor màxim és de 255 bits. Pot treballar de dos maneres: com a comptador, compta els esdeveniments externs mitjançant el pin RA4/TOCK1, i com a temporitzador, compta els polsos interns del rellotge. Per determinar la manera de treball, temporitzador o comptador, es fa a través del bit T0CS del registre OPTION_REG.

Es pot introduir un prescaler, és a dir, un divisor de freqüència programable que permet dividir la freqüència per 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 o 256 segons el temps que es busqui de temporitzador.

El temps de desbordament del Timer0 es calcula amb l'equació 2.

$$T = T_{CM} * \text{Prescaler} * (256 - \text{Carga TMR0}) \quad (\text{Eq. 2})$$

El bit que assigna el divisor de freqüència és el PSA i els que determina el prescaler són els bits PS2:PS1:PS0. Tots dos bits del registre OPTION_REG.

Hi ha interrupció quan es desborda el temps del Timer0, és a dir, quan arriba al valor de 255 bits. Per habilitar la interrupció del Timer0 es fa a través del bit T0IE, i la bandera per avisar d'interrupció és el bit T0IF, tot dos bits són del registre ITCON. La configuració dels bits es pot veure al capítol programació i el càlcul del temps de desbordament a l'annex càlcul de d'aquest document.

Aquesta interrupció s'utilitza per detectar la falta de connexió de qualsevol de les 3 fases.

5.3.2 Definició del Timer1

El Timer1 és un temporitzador/comptador de 16 bits amb 2 registres TMR1H i TMR1L. Els dos registre es poden llegir i escriure. El seu valor màxim de bit és 65536. Igual que el Timer0, es pot introduir un prescaler que pot dividir per 1, 2, 4, 8. Els bits per seleccionar el prescaler són: T1CKPS1:T1CKPS0 del registre T1CON.

Igual que el Timer0, el Timer1 pot treballar de les dos mateixes maneres: com temporitzador, compta els polsos interns del rellotge, i com a comptador, compta els esdeveniments externs mitjançant el pin RC1/T1OSI i RC0/T1OSO.

Per determinar la forma de treball, temporitzador o comptador, es fa a través del bit TMR1CS i per iniciar el compta es fa a través del bit TMR1ON. Tos dos bits del registre T1CON.

Per habilitar la interrupció del Timer1 es fa a través del bit TMR1IE del registre PIE1 i la bandera per avisar de d'interrupció és el bit TMR1F del registre PIR1. El registres T1CON, PIE1 i PIR1 es poden trobar al datasheet del pic. La configuració dels bits es pot veure al capítol programació i el càlcul del temps de desbordament a l'annex càlcul de d'aquest document.

El temps de desbordament del Timer1 es calcula amb l'equació 3.

$$T = T_{CM} * \text{Prescaler} * (65536 - \text{Carga TMR1}) \quad (\text{Eq. 3})$$

Aquesta interrupció s'utilitza per detectar l' error de seqüència de fases i per sincronitzar la senyal trifàsica de la fase R amb el disparament de polsos.

5.4 Configuració del converso A/D

El pic incorpora un mòdul de 7 terminals per convertir una senyal analògica en una senyal digital a través del port A. Les tensions a convertir sempre han de ser positives i pot convertir fins a 10 bits.

La resolució del convertidor és de 0,0048mV i es calcula amb l'equació 4.

$$\text{resolució} = \frac{V_{IN}}{2^N - 1} \quad (\text{Eq. 4})$$

Els registres que s'han de configurar pel control del conversor A/D són: ADCON0, ADCON1, ADRESH i ADRESL. També cal definir el terminal que llegirà la tensió analògica i l'entrada mitjançant el registre TRISA.

Per iniciar el procés cal configurar les entrades del mòdul A/D. Per escollir el tipus d'entrades, analògiques o digitals, es realitza amb els bits PCFG3:PCFG2:PCFG1:PCFG0 del registre ADCON1. Després s'ha de seleccionar el terminal d'entrada del conversor A/D amb els bits CHS2:CHS1:CHS0 del registre ADCON0, també seleccionar el rellotge per la conversió a través del bit ADCS1:ADCS0 del mateix registre. Cal esperar un temps d'adquisició, T_{acq} , aproximament de 20µs per adquirir la tensió.

Un cop adquirit el valor de tensió cal iniciar la conversió activant el bit GODONE del registre ADCON0. Cal esperar un temps de conversió, T_{ad} , temps necessari per obtenir el valor digital de la tensió analògica d'entrada. Depèn de la font de rellotge que es seleccioni per a la conversió. Segons el datasheet del pic el temps correcte seria de 1,6µs.

Un cop finalitzat la conversió hi ha interrupció, l'habilitació de la interrupció és a través del bit ADIE del registre PIE1 i la bandera per avisar de la interrupció és el bit ADIF del registre PIR1. La seva directiva es `#INT_AD`.

El resultat de la conversió es guarda en dos registres de 8 bits, ADRESL i ADRESH. El registre ADRESH són els 8 bits més significatius i el registre ADRESL són els 8 bits menys significatius. Amb el bit ADFM es selecciona com es vol justificar els 8 bits menys pes i els 2 bits més significatius als registres, ADRESH i ADRESL, tal com s'observa a la figura 3 extreta del datasheet del pic.

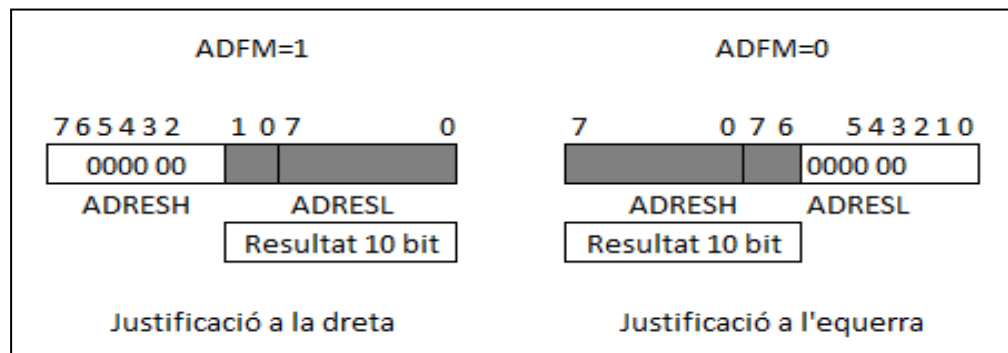


Figura 2. Justificació mitjançant bit ADFM

El registres ADCON0, ADCON1, ADRESL i ADRESH es poden trobar al datasheet del pic i la configuració dels bits al capítol programació d'aquest document.

La conversió A/D s'utilitza per determinar l'angle de disparament. Converteix la tensió de referència que proporciona el potenciòmetre o una tensió exterior, a digital. Mitjançant l'entrada RA0.

6 CIRCUIT DE SINCRONISME

És necessari sincronitzar el disparament dels polsos generats pel pic respecte el període de la senyal trifàsica de la fase R, també es vol detectar si hi ha falta de connexió de qualsevol de les tres fases R-S-T de les senyals trifàsiques i si hi ha error de seqüència a la connexió de les fases R-S-T al equip.

La xarxa trifàsica no es pot connectar directament el pic per les seves elevades tensions i per tant es necessari dissenyar un circuit d'entrada per adaptar la senyal trifàsica a una senyal d'entrada permesa al pic.

S'ha dissenyat 3 circuits, un per cada fase, amb el mateix esquema electrònic. Cada circuit s'ha connectat a un entrada del pic. En el plànol 3 del document plànols es pot veure l'esquema dels 3 circuits d'entrada de la senyal trifàsica.

La tensió màxima permesa pel fabricant no pot superar els +5V i no pot ser de valor negatiu. Cal doncs adaptar la tensió trifàsica a aquesta tensió d'entrada.

El primer pas és reduir la tensió de fase de 230V, mitjançant un transformador d'aïllament amb un sol debanat al secundari, ja que redueix la tensió del primari 230V a 9V en el secundari. S'utilitza tres transformadors per cada fase, el primer connectat entre RS, el segon connectat entre ST i l'últim entre TR. S'utilitza un connector trifàsic per connectar les senyals trifàsiques.

Un terminal del secundari de cada transformador es connecta a una resistència de potència de 100Ω, per suportar corrents elevats, i l'altre terminal del transformador es connecta a massa. A continuació de cada resistència és connecta un diode que només rectifica pel semi període positiu de l'ona, a sortida del diode es connecta un divisor de tensió format per una resistència de 10k i una altra de 5k6 per obtenir una tensió de 2,7V, és una tensió de seguretat d'entrada al pic. A més, en paral·lel es connecta un zener de 4,9V per protegir el pic de tensions més elevades de 5V.

Entre la sortida del zener i l'entrada al pic per cada fase s'ha incorporat un born de mesura de 2mm per poder fer comprovacions de les tensions d'entrada al pic i per veure l'ona d'entrada al pic. Són de tres colors diferents per separar cada entrada, el de color vermell és l'entrada RS, el de color negre és la entrada ST i l'últim és de color blau que és l'entrada TR.

Cada circuit d'entrada va connectat a una entrada del pic. El circuit de la fase RS es connecta al terminal B6, el de la fase ST al terminal B4 i de la fase TS al terminal B5 del pic. Tots 3 terminals estan configurats com entrades. La característica d'aquestes entrades és que estan configurades per provocar interrupció, dins de l'execució del programa, per cada flanc de pujada. Mitjançant les interrupcions s'obté el sincronisme, es detecta la falta de connexió de qualsevol de les 3 fases i també si hi ha un error de seqüència a la connexió de les fases R-S-T al equip. Tota la programació es pot veure al complet en el capítol programació.

L'equip funciona sempre que hagi les 3 interrupcions, però si durant l'execució del programa falla la connexió de qualsevol de les tres fases, per tan no hi ha interrupció en un dels terminals d'entrada, el programa ho detecta provocant la parada immediata del equip.

La detecció per error de connexió en la seqüència de fases és comprova diferent, sàpiguen que el desfasament entre fases es de 120° que equival a un temps de 6,6ms, es compta la diferència de temps entre la interrupció de la fase R i S, si el temps resulta ser major que 6,6ms es considera que hi ha un error a la connexió en la seqüència de fases provocant la parada del equip.

7 TENSÍO DE REFERÈNCIA

Per poder determinar l'angle de disparament, commutar els ponts i per poder seleccionar com es vol que treballi el motor, si com a generador o com a motor, es treballa amb una tensió de referència.

Aquesta tensió de referència esta relacionada amb la variació de l'angle de disparament. Cada valor de tensió equival a un angle i permet també commutar els ponts i seleccionar com treballa el motor. S'utilitza un potenciòmetre multi voltes de 10k per fer variar la tensió de referència. Al ser multi voltes permet obtenir més precisió, necessari per seleccionar exactament l'angle que es vol. El potenciòmetre està connectat a +5V i a massa, per tant la tensió de referència pot variar entre +5V i 0V. La pressa intermèdia del potenciòmetre es connecta a un jumper de selecció de tres terminals, el terminal comú es connecta a l'entrada AN0 del pic i l'altre terminal es connecta a una sortida externa del equip. El jumper permet seleccionar si es vol treballar amb la tensió de referència que proporciona el potenciòmetre multi voltes o una tensió de referència externa proporcionada per un controlador PID per fer diferents proves. A més, abans de l'entrada al pic s'ha incorporat un born de mesura de 2mm per poder fer comprovacions de la tensió de referència, comprovar que el valor de tensió correspongui a l'angle seleccionat.

L'entrada AN0 forma part del port analògic del pic i permet fer la conversió analògica digital. Mitjançant el programa es configura l'entrada perquè faci la conversió analògica digital de la tensió de referència. Tota aquest part programable es pot veure el capítol programació d'aquest document.

A continuació, es pot veure a la taula 6 amb resultats de la conversió A/D respecte els valors de tensió de referència.

Analògic	Digital
5,00V	1023
3,75V	767
2,50V	511
1,25V	256
0,00V	0

Taula 6. Resultats conversió A/D

L'esquema del circuit de la tensió de referència es pot veure a l'esquema 3 del document plànols.

7.1 Commutació dels ponts

La tensió de referència varia entre +5V i 0V, amb aquesta tensió s'ha d'escollir dos ponts, per tant, la tensió de referència es divideix entre dos. La tensió de referència entre +5V i 2,6V selecciona el pont A, i la tensió de referència entre 2,4V i 0V selecciona el pont B. Hi ha un punt intermedi que és el 2,5V que no determina cap pont i serveix per establir el punt inicial per començar les pràctiques.

7.2 Angle de disparament

Es recorda que un tiristor pot disparar entre $0^\circ \rightarrow 360^\circ$ i condueix quan la tensió ànode - càtode és positiva i deixa de conduir quan la tensió ànode - càtode està per sota de 0, també es recorda que el pont A commuta pel semiperíode positiu de l'ona i el pont B commuta pel semiperíode negatiu.

Així doncs els tiristors del pont A s'han de disparar entre $0^\circ \rightarrow 180^\circ$ del període de la senyal per sincronitzar el disparament amb el semiperíode positiu de l'ona, en canvi el tiristors del pont B s'han de disparar entre $180^\circ \rightarrow 360^\circ$ del període de la senyal per sincronitzar el disparament amb el semiperíode negatiu de l'ona. Per tant, és necessari relacionar l'angle de disparament respecte una tensió de referència.

Anteriorment s'ha determinat com es selecciona el pont A i B, per tant es pot deduir que la variació dels angles de 0° a 180° dels tiristors del pont A equival a la variació entre la tensió de 5V i 2,6V. En canvi els tiristors del pont B, la variació dels angles de 180° a 360° equival a la tensió de referència entre 2,4V i 0. A nivell pràctic el pont B no es relaciona entre 180° a 360° sinó que de 0° a 180° .

7.3 Determinació del quadrant

Amb un doble pont de tiristors, el motor de continua pot treballar amb els 4 quadrants, és a dir, pot girar en els dos sentits de girs, per tant, es pot comportar com a motor o com a generador.

Tal com s'observa a la figura 3 es pot veure com treballa el motor depenent del quadrant.

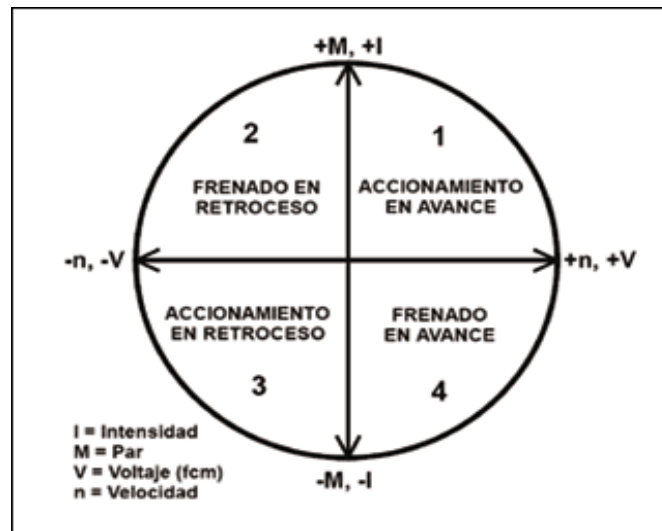


Figura 2. Quadrant del motor

(Font: P. Trujillo. Motores DC. Universidad de Toledo. Escuela Politécnica Superior. (<http://mipsandchips.blogspot.com.es/2011/07/motores-dc.html>, 16 de juliol de 2012)

Quadrant I: En el primer quadrant el motor gira en la direcció de les agulles del rellotge. Donat que el par segueix la mateixa direcció que la velocitat, l'accionament s'accelera. Treballa com a motor.

Quadrant II: En el segon quadrant el motor segueix girant a la direcció de les agulles del rellotge, però el par està en la direcció oposada, així que l'accionament es desaccelera. Treballa com a generador.

Quadrant III: En el tercer el motor gira en direcció contrària a les agulles del rellotge. Donat que el par segueix a la mateixa direcció que la velocitat, l'accionament s'accelera. Treballa com a motor.

Quadrant IV: En el quart quadrant el motor segueix girant en direcció contrària a les agulles del rellotge però el par està en la direcció oposada, així que l'accionament es desaccelera. Treballa com a generador.

La commutació del pont A pot fer treballar la càrrega en el quadrant I o III, en canvi la commutació del pont B pot fer treballar la càrrega en el quadrant II o IV.

Si la tensió de referència per determinar el pont s'ha dividit entre dos fraccions, ara cada fracció es torna a fraccionar en dos més per determinar com treballa el motor per cada pont. Tant el pont A com el pont B treballen igual respecte l'angle, és a dir, de $90^\circ \rightarrow 0^\circ$ treballen com a motor i de $91^\circ \rightarrow 180^\circ$ treballen com a generador.

A continuació es pot veure a la taula 7 un resum de tot el que s'ha explicat abans:

Analògic	Digital	Angle	Pont	Comportament
5,00V	1023	0°	A	Motor
3,75V	767	90°	A	Motor
2,60V	512	180°	A	Generador
2,50V	511	X	Punt inicial	X
2,40V	510	180°	B	Generador
1,25V	256	90°	B	Motor
0,00V	0	0°	B	Motor

Taula 7. Valors de tensió de referència

8 VISUALITZACIÓ AMB DISPLAY

La novetat respecte a l'equip anterior, és que, es vol visualitzar l'angle de disparament dels tiristors, a més, també es vol aprofitar per informar dels errors de falta de connexió, error de la connexió de la seqüència de fases i falta de tensió d'excitació. La visualització es fa amb un conjunt de tres displays de 7 segments de càtode comú.

S'ha dissenyat un circuit que només utilitza 7 sortides del pic per fer funcionar els 3 displays. A més de les sortides del pic i dels displays, és necessari un descodificador HEF4511b connectat entre les sortides del pic i els displays. Es tracta d'un operacional que funciona amb 5 bits: 4 de bcd i 1 d'activació. Cada valor enter, del 0 a l'9, equival a una combinació binària de 4 bits formada per zeros i uns.

Aquest descodificador converteix els 4 bits bcd d'entrada a 7 bits bcd de sortida. Els 4 bits d'entrada bcd del operacional estan connectades a les sortides RC0, RC1, RC2 i RC3 del pic. Aquests terminals estan configurats com a sortides digitals. Els tres operacionals comparteixen els mateixos 4 bits bcd, per això, és necessari el bit d'activació per cada operacional per determinar a quin display es visualitza la combinació de zeros i uns que es vol visualitzar, es tracta del terminal LE/STB dels operacionals. El terminal RE0 del pic activa l'operacional que gestiona el display de les unitats, el terminal RE1 el display de les desenes i el terminal RE2 el display de les centenes.

Mitjançant el programa es realitza la combinació de 0 i 1 necessària per visualitzar el número desitjat. Aquesta combinació necessària i la seva conversió es pot veure el datasheet del descodificador. Dins del document plànols es pot veure en l'esquema 3 el circuit de visualització.

A més de visualitzar l'angle de disparament s'utilitza els displays per informar dels diferents errors que pot detectar l'equip mitjançant un codi numèric, a la taula 7 es pot veure l'error amb el seu codi corresponent:

Error	Codi de visualització	Codi binari
Falta de connexió de la fase R	xx1	0001
Falta de connexió de la fase S	xx2	0010
Falta de connexió de la fase T	xx3	0011
Error de seqüència	x4x	0100
Falta de tensió d'excitació	5xx	0101

Taula 8. Codis d'errors

9 SENYALITZACIÓ AMD LEDS

Una nova novetat que introdueix aquest equip és la senyalització del pont seleccionat i del quadrant de treball del motor mitjançant 4 leds de diferent colors, 2 per senyalitzar el pont i els altres dos per determinar com treballar el motor.

Per l'activació dels leds s'ha dissenyat un muntatge format per dos circuits idèntics. Aquest muntatge permet utilitzar només un total de 3 terminals del pic, configurats com a sortida, per activar els 4 leds. Els terminals són: el terminal RB1, el terminal RB2 i el terminal RB3. Aquest muntatge també utilitza l'operacional TL7409 de portes lògiques AND, compartit pels dos circuits, que permet estalviar una sortida del pic. Disposa d'un total de 4 portes lògiques AND però en aquest muntatge s'utilitza un total de 2 portes lògiques AND.

L'operacional TL7904 està alimentat a +5V i connectat a massa. Els terminals 2 i 4 del operacional estan connectades entre si, sent el terminal comú. Aquest terminal està connectat al terminal RB2 del pic perquè segons el seu valor de sortida del pic, 0 o 1, habiliti un led o un altre de cada circuit. A part del terminal comú del operacional que es connecta al terminal RB2 del pic, també es connecta el terminal 1 de la primera porta lògica al terminal RB1 del pic i el terminal 5 de la segona porta lògica al terminal RB3 del pic. Els terminals 3 i 6 fan de sortides.

El circuit connectat al terminal RB1 senyalitza el pont seleccionat i el circuit connectat al terminal RB3 senyalitza com treballa el motor. La sortida RB2 del pic es connecta al terminal comú de les dues portes lògiques AND.

El funcionament dels dos circuits és idèntic per tots dos. El terminal de sortida està connectat en paral·lel a un led alimentat a +5V i en sèrie a un terminal de la primera porta lògica AND. Entre l'ànode del led i l'alimentació es connecta una resistència de 220Ω per limitar el corrent. Aquest led s'encén quan la sortida del pic hi ha un 0 digital i en canvi està apagat quan hi ha un 1. La sortida d'aquesta primera porta lògica està connectada a una resistència de 220Ω, en sèrie al segon led i connectat a massa, per limitar el corrent. Aquest segon led treballa al contrari del primer, quan hi ha un 0 digital a la sortida del pic el led està apagat, en canvi quan hi ha un 1 digital el led s'encén. A la taula 8 es pot veure quins són els leds que funcionen segons el valor dels bits de sortida.

Els terminals de sortida del operacional són de col·lector obert, la sortida es troba oberta sense resistència al col·lector del transistor de sortida. Es necessari connectar una resistència a cada sortida del operacional, alimentada a +5V, perquè el segon led s'encengui. Aquesta resistència es calcula mitjançant l'equació 5 i el seu valor és de 220Ohms, es pot comprovar el resultat al annex càlculs.

$$R = \frac{V_{CC} - V_{OL}}{N_1(I_{OH}) + N_2(I_{IH})} \quad (\text{Eq. 5})$$

El pic només proporciona zeros i uns, amb aquests valors no permet tenir els leds apagats, és mitjançant aquest muntatge amb aquest operacional que s'obté el punt inicial on tots els 4 leds es troben apagats. Al capítol programació es pot veure tota la programació d'aquesta part. Dins del document plànols es pot veure en l'esquema 3 el circuit de visualització.

9.1 Senyalització del pont

EL circuit per senyalitzar el pont està format pel led 1 de color vermell que senyalitzar el pont A, i el led 2 de color verd senyalitzar el pont B.

Quan la sortida RB1 del pic està en estat alt, el led 1 està apagat i el led 2 està encès senyalitzant que s'ha seleccionat el pont B si la sortida del terminal RB2 també està en estat alt. En canvi quan la sortida RB1 està en estat baix, és el contrari, el led 1 està encès i el led 2 està apagat senyalitzant el pont A, indiferentment de l'estat del bit de sortida del terminal RB2.

9.2 Senyalització dels quadrants

El circuit per senyalitzar com treballar el motor està format pel led 3 de color blau que senyalitza que el motor treballa com a motor, i el led 4 de color groc senyalitza que el motor treballa com a generador.

Quan la sortida RB3 del pic està en estat alt, el led 3 està apagat i el led 4 està encès senyalitzant que s'ha seleccionat el pont B si la sortida del terminal RB2 també està en estat alt. En canvi quan la sortida RB3 està en estat baix, és el contrari, el led 3 està encès i el led 4 està apagat senyalitzant el pont A indiferentment del bit de sortida del terminal RB2.

Amb els leds que determinen el pont i els leds que determinen com treballa el motor, es pot deduir en quin quadrant treballa el motor. Si treballa en el pont A com a motor, es troba en el primer quadrant, en canvi si treballa com a generador, es troba en el quart quadrant. En canvi, si treballa en el pont B com a motor, es troba en el tercer quadrant i en canvi si treballa com generador, es troba en el segon quadrant.

La posició inicial, on tots els 4 leds estan apagats, es quan a les sortides RB1 i RB3 estan en estat alt , i la sortida RB2 es troba en estat baix.

A continuació, amb la taula 9 es pot veure millor les combinacions per encendre els leds i el quadrant de treballar del motor.

RB1	RB3	AND	Led 1	Led 2	Led 3	Led 4	Pont/Treball	Quadrant
0	0	0	ON	OFF	ON	OFF	A/M	I
0	0	1	ON	OFF	ON	OFF	A/M	I
0	1	0	ON	OFF	OFF	OFF	X	X
0	1	1	ON	OFF	OFF	ON	A/G	IV
1	0	0	OFF	OFF	ON	OFF	X	X
1	0	1	OFF	ON	ON	OFF	B/M	III
1	1	0	OFF	OFF	OFF	OFF	P.I.	P.I.
1	1	1	OFF	ON	OFF	ON	B/G	II

Taula 9. Combinacions leds

10 TENSIO D'EXCITACIO

Una altra novetat incorporada al equip és un sistema de detecció de falta de tensió d'excitació al estator. Amb aquesta novetat es vol protegir el motor d'intensitats molt elevades per la falta d'alimentació al estator. Un cop es detecta la falta de tensió es desconnecta instantàniament l'equip.

Igual que per l'entrada de sincronisme, no es pot connectar directament la tensió d'excitació al pic, per tan és necessari un circuit d'entrada per adaptar-la. El circuit d'entrada es connecta a la xarxa trifàsica mitjançant els mateixos connectors d'alimentació dels transformadors de sincronisme, però només a la fase R i S. La senyal trifàsica es rectifica amb un pont de díodes per obtenir sempre una senyal d'ona positiva, ja que el pic no pot suportar tensió negativa a les entrades. A la sortida del rectificador es connecten en paral·lel dos resistències de potència de 330hms. S'ha connectat un fusible 2A després de la resistència per protegir de sobreintensitats. La sortida de cada una de les resistències són els borns d'alimentació del estator del motor. Els dos borns són de 4mm per poder connectar les bananes.

Quan hi ha consum d'intensitat a l'excitació, un mínim de 0.1A, la caiguda de tensió total a les resistències és de 6,6V. Amb aquesta caiguda de tensió s'activa el contacte commutat del relè de 6V. El relè està connectat a massa i en paral·lel a una resistència de 10k connectada a +5V positius. En paral·lel a la resistència i en sèrie al relè a una resistència de 100hms que va al terminal RB0 del pic, terminal configurat com entrada. Amb aquest muntatge l'entrada RB0 del pic es troba en estat alt quan hi ha tensió d'excitació però canvia a estat baix quan commuta el relè per falta de tensió d'excitació. Dins del document plànols es pot veure en l'esquema 3 el circuit de falla de tensió d'excitació.

Aquest terminal es configura perquè provoqui interrupció quan canvia d'estat, quan passa de l'estat alt a l'estat baix provocant la parada de l'equip i la visualització del codi corresponent a la falta de tensió a l'excitació. Al capítol programació es pot veure tota la programació d'aquesta procés.

11 ETAPA DE POTENCIA

La màxima intensitat de sortida que pot subministrar un terminal del pic són 25mA. El tiristor que s'utilitzen pel doble pont trifàsic són el model SKT10. Aquest tiristor necessita un corrent de porta de 150mA per iniciar la conducció. Com es pot veure el corrent de sortida que proporciona el pic és insuficient per atacar la porta del tiristor. És per això que és necessari dissenyar una etapa de potència per amplificar els polsos generats pel pic. Els polsos generats pel pic tenen una durada de 100ms i una amplitud de 5V.

El doble pont trifàsic està format per dos ponts de 6 tiristors cadascú, el pont A i el pont B. S'utilitza una sortida del pic per cada tiristor, en total es necessiten 12 sortides. Les 6 sortides del pic que fan disparar els 6 tiristors corresponents del pont A, es poden veure a la taula 10.

Sortida	Tiristor
RD0	Ta1
RD1	Ta2
RD2	Ta3
RD3	Ta4
RC4	Ta5
RC5	Ta6

Taula 10. Sortides pel pont A

Les 6 sortides del pic que fan disparar els 6 tiristors corresponents del pont B, es poden veure a la taula 11.

Sortida	Tiristor
RC6	Tb1
RC7	Tb2
RD4	Tb3
RD5	Tb4
RD6	Tb5
RD7	Tb6

Taula 11. Sortides pel pont B

L'etapa de potència és el mateix muntatge que es fa servir en l'equip anterior. Es tracte d'un muntatge format per un total de 12 circuits idèntics. Cada un dels circuits està connectat a

una de les 12 sortides del pic. Aquest circuit comença amb un transistor NPN model BC307 connectat a la sortida del pic. El transistor funciona com a commutador, condueix segons l'estat del terminal de sortida del pic. Si el terminal es troba en estat alt, el transistor es satura i condueix. En canvi, si el terminal de sortida del pic es troba en estat baix, el transistor es troba en tall i no condueix perquè es troba obert. Entre el terminal de sortida del pic i la base del transistor es connecta una resistència en sèrie de 10k. La resistència protegeix els corrents de base al transistor. L'emissor del transistor es connecta a massa i el col·lector a un circuit alimentat a 15 volts positius i format per una resistència de 100Ohms, un zener de 4,7V, un diode i un transformador de polsos.

Els 15V alimenten una resistència de 100Ohms, a continuació connectat en sèrie, un zener de 4,7V i en sèrie al zener un diode. En paral·lel al zener i el diode, i en sèrie a la resistència, un transformador d'impulsos, el SKPT 25b3. El càtode del zener i un terminal de transformador es connecta a la resistència del 100Ohms i el càtode del diode i l'altre terminal del transformador al col·lector del transistor.

Quan el pic genera un pols, el transistor es satura, el transformador condueix i amplifica el pols generat pel pic d'amplitud de 5V a una amplitud de 230V, elevant el corrent de sortida del pic, que era de 25mA, passa a una intensitat de 200mA. Aquests valors són suficients per atacar el tiristor i fer-lo disparar. En canvi quan no hi ha pols el transistor es troba en tall, per tant el circuit es troba obert. El corrent que subministra la tensió d'alimentació al transformador quan el circuit es troba obert, permet mantenir la intensitat necessària per alimentar la porta del tiristor perquè segueixi conduint. El zener i el diode serveixen per protegir el transformador durant el transistor es troba en estat de tall.

Un terminal de sortida del transformador es connecta en sèrie a un diode, en paral·lel al transformador es connecta una resistència de 220Ohms. En sèrie al diode i en paral·lel a la resistència es connecta una resistència de 100Ohms, aquesta resistència serveix perquè faci de fusible en cas de corrents elevats a la porta del tiristor. La sortida d'aquesta resistència s'ha de connectar a la porta del tiristor i l'altre terminal del transformador s'ha de connectar al càtode del tiristor. Aquestes sortides no es connecten directament a la porta i al càtode de cada tiristor, ja que el disseny de la placa del prototip només planteja la lògica de control i la etapa de potència. El doble pont de tiristors, on es troben els 12 tiristors, es dissenya en una placa apart. Es per això, que les sortides pel pont A i les sortides pel pont B van a parar a un connector format de 6 terminals per cada pont.

A cada sortida del pic, entre el terminal i el transistor, es col·loca un born de mesura de 2mm per comprovar els polsos de sortida del pic. Són de dos colors, els de color vermell pel pont A i els de color negre pel pont B. A cada porta i cada càtode de cada tiristor es col·loca un born de mesura de 2mm per comprovar la senyal a la porta i al càtode de cada tiristor. Són de 2 colors diferents, igual que abans, el color vermell per la porta del tiristor i el de color negre pel càtode del tiristor

Els terminals RC6 i RC7 generen els polsos pels tiristor Tb1 i Tb2 del pont B respectivament, però aquests terminals també serveixen per la comunicació en sèrie, per tan s'ha disposat d'un jumper per seleccionar què es vol fer funcionar, si la comunicació en sèrie o la generació de polsos.

Tot aquest muntatge es pot veure el document plànols a l'esquema 4.

12 DOBLE PONT DE TIRISTOR

Al ser un prototip el doble pont de tiristor es planteja a nivell teòric, és a dir, no es farà el muntatge. La estructura del doble pont es planteja igual que el de l'equip anterior, dos plaques, una pel pont A i l'altre placa pel pont B. L'únic element que varia respecte a l'equip anterior, és el dimensionat del dissipador de calor dels tiristors, aquest punt es pot veure el capítol següent. Perquè varia el valor de corrent que es vol que suporti com a màxim els tiristors. Per aquest projecte es vol dissenyar un tiristor que suportin fins a 3A i no 5A com els de l'equip anterior.

El doble pont està alimentat a 230V de la xarxa elèctrica mitjançant un connector trifàsic. Es connecten les 3 fases R, S i T. Cada un dels ponts té el seu connector trifàsic per connectar-se a la xarxa. Per connectar la càrrega a la sortida del doble pont trifàsic s'utilitzen borns de 4mm per poder connectar bananes. En total s'utilitzen 4, 2 pel pont A i 2 pel pont B. Un born es de color vermell i l'altre de color negre per determinar el signe positiu i negatiu per fer les connexions correctament a la càrrega. La càrrega es tracta d'un motor de continua que amb el doble pont podrà treballar amb els 4 quadrants. D'aquesta manera l'alumne podrà observar com treballa el motor quan treballa com a motor o quan treballa com a generador.

El pont A treballa pel semicicle positiu de l'ona sinusoïdal i en canvi, el pont B treballa per el semiperíode negatiu, d'aquesta manera el doble pont treballa per tota l'ona sinusoïdal. Quan el pont A treballa de 0 a 90°, el motor treballa com a motor (I quadrant) i quan treballa de 90° a 180°, el motor treballa com a generador (IV quadrant). En canvi, quan el pont treballa de 180° a 270°, el motor treballa com a generador (II quadrant) i quan treballa de 270° a 360, el motor treballa com a motor (III quadrant).

El fet de variar l'angle de disparament dels tiristors, el moment d'inicial de la conducció dels tiristors respecte la senyal trifàsica, permet variar el voltatge de sortida del doble pont. D'aquesta manera es pot controlar la rectificació i la tensió continua que rep la càrrega.

El doble pont està protegit per un magneto tèrmic de 2C 15A 400W, s'ha dimensionat per cinc vegades la intensitat nominal, que es recorda que és de 3A. A cada fase s'ha connectat un fusible de 3A per protegir de sobreintensitats.

13 TIRISTOR

El doble pont trifàsic està format per 12 tiristors (SCR). Està format per tres terminals: ànode (A), càtode (K) i porta (G) tal i com s'observa a la figura 4. És capaç de manipular potències molt més grans que qualsevol altre semiconductor de potència.

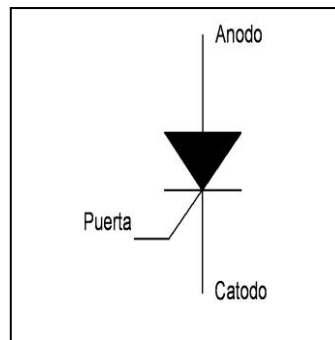


Figura 3. Símbol del tiristor

(Font: AGUILAR PEÑA, JUAN DOMINGO. El tiristor. Universidad de Jaén. Escuela Politécnica Superior. (<http://www.redeya.com>, 16 de juliol de 2012)

La corba de característiques del SCR és la representada a la figura 5. Es pot veure la zona de conducció, la zona de bloqueig directe i de bloqueig invers. També es representen els paràmetres d'intensitat en directe i en invers, les pèrdues en conducció i les tensions màximes.

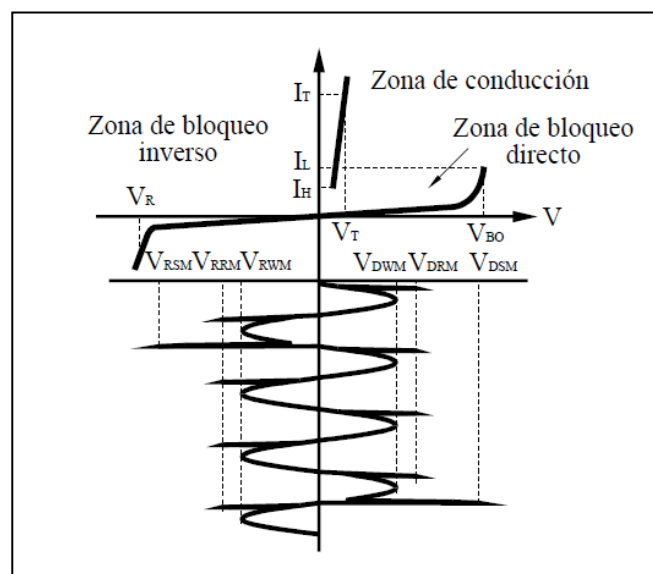


Figura 4. Corba característiques del tiristor

(Font: AGUILAR PEÑA, JUAN DOMINGO. El tiristor. Universidad de Jaén. Escuela Politécnica Superior. (<http://www.redeya.com>, 16 de juliol de 2012)

On els valors dels tiristors són els de la taula 12:

Valor	Descripció
V_{DRM}	Valor màxim de voltatge repetitiu directe
V_{RRM}	Valor màxim de voltatge repetitiu invers
V_T	Caiguda de tensió de treball
I_T	Intensitat directe de treball
I_H	Intensitat de manteniment en estat de conducció
I_{DRM}	Intensitat directa en estat de bloqueig
I_{RRM}	Intensitat inversa en estat de bloqueig

Taula 12. Valors del tiristor

El SCR escollit és el SKT10. Aquest SCR és molt habitual pel control de la rectificació i per treballar amb motors DC. Pot suportar fins a 600V de V_{DRM} . Té una caiguda de tensió com a màxim de 1,6V i una intensitat directe de 30A. Es el mateix que es feia servir en l'equip anterior.

13.1 Mètodes de funcionament

El tiristor funciona com un commutador. Té dos estats, zona de bloqueig i zona de conducció, que varien segons la tensió ànode – càtode que s'aplica al tiristor. A la taula 13 es veu els dos estats segons la tensió ànode – càtode.

Tensió ànode – càtode	Zona de treball	Estat SCR
$V_{AK} < 0$	Zona de bloqueig invers	SCR bloquejat
$V_{AK} > 0$ (sense excitar porta)	Zona de bloqueig directe	SCR bloquejat
$V_{AK} > 0$ (excitada en porta)	Zona de conducció	SCR condueix

Taula 13. Estats del SCR

Perquè el SCR condueixi, primer cal un impuls positiu de corrent entre G i K per iniciar la conducció corrent. La durada d'aquest impuls ha de ser d'un temps mínim perquè $I_A = I_L$. Durant la conducció, SCR es comporta com un díode.

El SCR es bloqueja quan el corrent directa (I_T) < corrent de manteniment (I_H).

13.2 Àrea de disparament segura

En la figura 6 s'obté les condicions de dispar del SCR. Les tensions i corrents admissibles per el dispar es troben en el interior de la zona formada per les corbes.

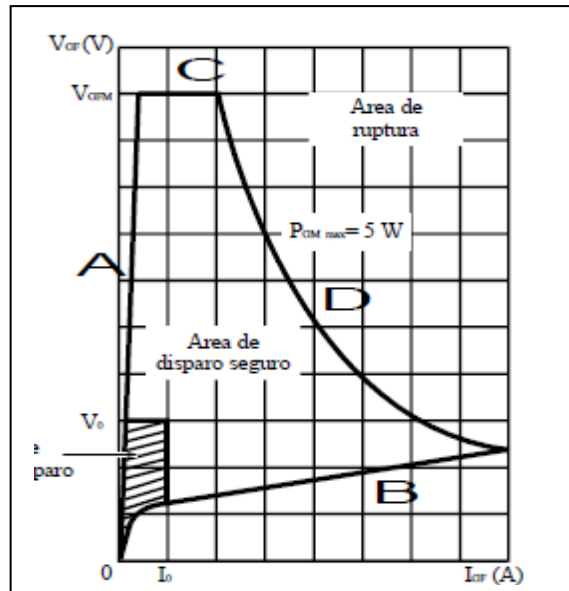


Figura 5. Corba característiques de porta del tiristor

(Font: AGUILAR PEÑA, JUAN DOMINGO. El tiristor. Universidad de Jaén. Escuela Politécnica Superior. (<http://www.redeya.com>, 16 de juliol de 2012)

La corba A i B és el límit superior o inferior de la tensió porta – càtode en funció del corrent positiu de porta, per un corrent nul d'ànode, la corba C és la tensió directa de pic admissible (V_{GF}) i la corba D és la hipèrbola de la potència mitjana màxima, P_{GAV} , que no es pot sobrepassar.

Hi ha diferents mètodes per fer disparar el SCR, disparament per tensió excessiva, disparament per derivada de tensió (dv/dt), aquests dos són mètodes no dessitjats, a causa de tensions molt elevades. Els mètodes controlats són per disparament per llum i per impuls de porta. Amb aquest equip es treballa per impuls de porta. El pols de porta per fer disparar el tiristor ve donat pel pic i amplificat per l'etapa de potència. Aquest impuls ha d'estar sincronitzat amb la xarxa trifàsica perquè sinó, no es podria determinar correctament l'angle de conducció del SCR. El pols que genera el pic és de 100us.

El corrent i la tensió mitjà del SCR depèn del angle de conducció, es calcula amb l'equació 6. A major angle de conducció, s'obté una sortida major de potència.

$$\text{Angle de conducció} = 180^\circ - \text{angle de dispar} \quad (\text{Eq. 6})$$

13.3 Dissipador de calor del tiristor

Per col·locar el dissipador de calor, primer s'ha de saber la potència total que dissipa el tiristor. Cal mirar la figura 7 extreta del datasheet del SCR:

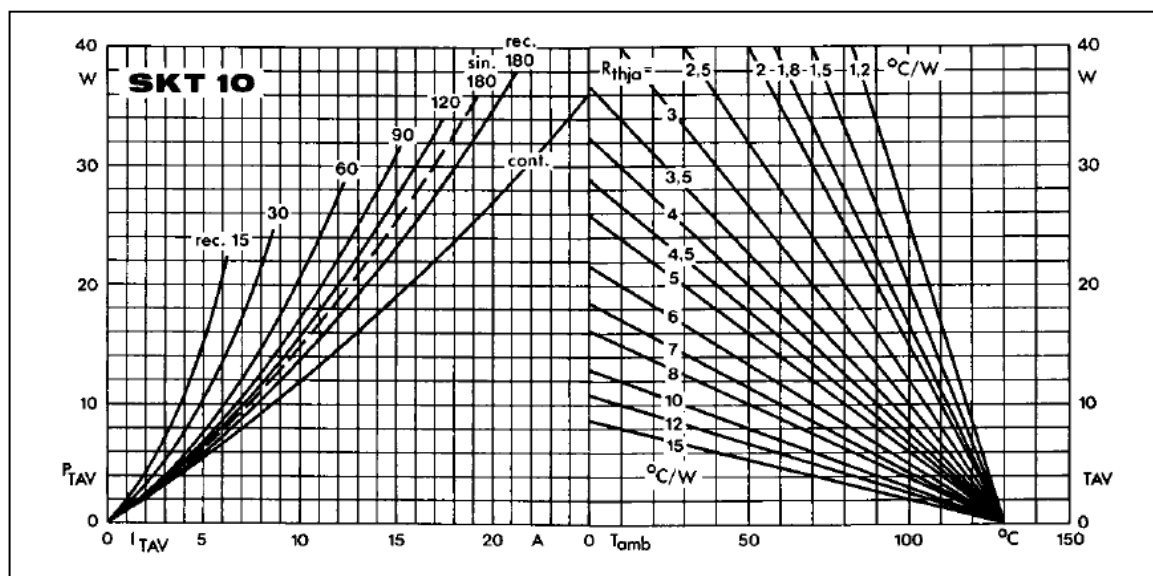


Figura 6. Potència respecte la intensitat directa mitjana

(Font: AGUILAR PEÑA, JUAN DOMINGO. El tiristor. Universidad de Jaén. Escuela Politécnica Superior. (<http://www.redeya.com>, 16 de juliol de 2012)

En el pitjor dels casos, seria una intensitat mitjana de 20A, per tant la potència que dissiparia el tiristor seria de 36W. Amb la qual cosa la resistència tèrmica del SCR a una temperatura ambient de 25°C serà 3°C/W

14 FONT D'ALIMENTACIÓ

Es busca renovar la font d'alimentació per obtenir una font més moderna, més sostenible, amb més rendiment i menys dissipació. És per això que es proposa el disseny d'una font regulada amb l'operacional LM2676, de 7 terminals i d'encapsulat TO-263.

Les necessitats de l'equip són de +5V per alimentar tota la lògica de control i de +15V per alimentar la etapa de potència, aquestes són les tensions que haurà de subministrar la font d'alimentació. La intensitat que ha de subministrar la font d'alimentació no està del tot clar, és per això, que només es fa el disseny i no la mecanització. Amb el prototip es fa un estudi per establir de les necessitats reals d'intensitat de l'equip per un futur construir-la a mida.

Aquest regulador té un rendiment de 94%, subministrar tensions fixes de 3,5V, 5V i 12V, i un tensió ajustable entre 1,2V i 37V, a més dissipa millor la calor. Respecte la intensitat, el regulador pot subministrar fins a 3A de corrent. Per tant, aquests valors de tensió i de corrent són més que suficients per cobrir les necessitats plantejades per l'equip, a més d'obtenir un millor rendiment i amb menys dissipació. En total es fan servir dos reguladors, el regulador U1 per subministrar +5V i el regulador U2 per subministrar +15V.

14.1 Estructura bàsica

Tal com s'observa a la figura 8 es veu la estructura bàsica d'una font d'alimentació composta en els diferents mòduls:

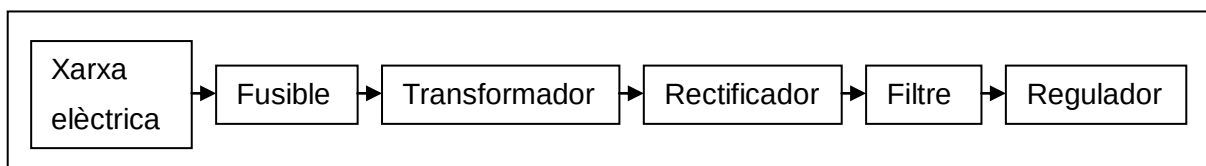


Figura 7. Estructura font d'alimentació

La font d'alimentació es connecta a la xarxa trifàsica de 230V i 50 Hz de freqüència. Es col·loca un fusible a l'entrada per protegir la font d'alimentació de pujades fortes de corrent, el seu valor és de 1A. A continuació del fusible es connecta dos transformador toroïdal en paral·lel, el primer transformador està format per un sol debanat de 230/12V i 18VA, subministra una tensió de 12V i un corrent de 1,5A, aquest transformador alimenta el primer regulador U1. El segon transformador, igual que el primer, està format per un sol debanat, però aquest amb pressa inter mitja de 230V/15V-15V i 7,5VA, i la pressa inter mitja es troba

connectada a massa. Aquest transformador subministra una tensió de 30V i un corrent de 0,5A, i serveix per alimentar el segon regulador U2.

Per calcular quin el valor del fusible d'entrada, cal calcula la intensitat nominal en el primari dels dos transformadors i es sumen. Per calcular la intensitat nominal al primari, I1, s'ha d'aïllar la I1 de la relació de transformació en vuit de l'equació 7.

$$\frac{U1}{U2} = \frac{I2}{I1} \quad (\text{Eq. 7})$$

Per calcular els valors dels transformadors, a quina tensió han de transformar la tensió trifàsica, i la tensió necessària a l'entrada dels reguladors, cal saber la tensió de pic de la senyal sinusoïdal d'entrada. Mitjançant l'equació 8 es calcula la relació entre tensió eficaç i tensió de pic.

$$V_{ef} = \frac{V_{pk}}{\sqrt{2}} \quad (\text{Eq. 8})$$

A la sortida de cada transformador es connecta un pont de díodes de 230V i 2A per rectificar la ona sinusoïdal i obtenir una ona completa amb només semiperíodes positius. Per eliminar la ondulació d'aquesta senyal es filtra la senyal de sortida de cada pont de díodes utilitzant dos filtres, dos condensadors connectats en paral·lel a cada pont de díodes i connectats a massa, un per cada tensió d'alimentació. Per calcular el valor de cada condensador s'utilitza l'equació 9.

$$C = \frac{I_{max} \cdot T}{V_{max} - V_{min}} \quad (\text{Eq. 9})$$

S'utilitzen dos condensadors electrolítics de 3300uF. Es pot trobar els càlculs al annex càlculs d'aquest document.

14.2 Regulador de tensió

La fot proporciona dos tensions, per tant s'utilitzen dos reguladors LM2676. Un per subministrar +5V i 1,5A, i l'altre per subministrar +15V i 0,5A. Es considera que amb aquests valors de corrents són més que suficients per treballar però amb l'estudi es podrà veure quin són els valors reals.

En paral·lel a l'entrada de cada regulador i els dos condensadors electrolítics de 3300uF que fan de filtre, es connecta un condensador electrolític de 33uF i un condensador ceràmic de 470nF tot dos connectats a massa.

A la sortida del regulador U1 que subministra +5V es connecta en sèrie una bobina de 33uH, i en paral·lel a la bobina i connectats a massa, un diode SR305 i un condensador de 220uF. El regulador LM2676 disposa d'un terminal de realimentació, per ajustar millor el valor de sortida, aquest terminal es connecta directament a la de la bobina i el terminal GND del regulador cal connectar-lo a massa. En canvi, a la sortida del regulador U2 que subministra +15V és connectar en sèrie una bobina de 68uH, i en paral·lel a la bobina i connectats a massa, un diode SR305 i un condensador de 33uF. El terminal de realimentació es connecta a un divisor de tensió format per una resistència de 1K connectada a massa i l'altre resistència connectada a la sortida de la bobina, de 12K. El terminal GND del regulador cal connectar-lo a massa.

Tots aquests valors de condensadors i bobines es troben a les taules del datasheet del regulador, només cal seguir els passos per trobar els valors dels condensadors i bobines, saber la tensió d'entrada per cada regulador, en aquest cas 30V per tots dos reguladors, la tensió que es vol subministrar, +5V i +15V, i el corrent que es vol que subministrin els reguladors, 1,5A i 0,5A. El segon regulador, subministra una tensió més de les tensions fixes que pot subministrar, s'ha dit abans que pot proporcionar una tensió ajustable. Per subministrar una tensió diferent a les fixes, simplement es col·loquen dos resistències al terminal de realimentació del regulador fent de divisor de tensió. Per calcular les resistències s'utilitza l'equació 10.

$$V_{out} = V_{fb} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (\text{Eq. 10})$$

14.2.2 Dissipador de calor de la font d'alimentació

Per col·locar el dissipador de calor, primer s'ha de saber la potència total que dissipa cada regulador en els pitjors dels casos, és a dir, quan la tensió d'entrada és màxima. La potència màxima en els pitjors dels casos es calcula amb l'equació 11.

$$P = V \cdot I \quad (\text{Eq. 11})$$

La potència total que dissipa el regulador U1 és de 15,85W i el regulador U2 és de 13,01W. L'encapsulat del dos reguladors és el S i es vol muntar horitzontalment contra la placa, mirant el dataashet del regulador, es determina que la resistència tèrmica per l'encapsulat S i muntat horitzontalment contra la placa és de 35°C/W. Per tant, la temperatura que arribarà l'encapsulat del regulador serà de 565,45°C pel regulador U1 i de 458,85°C pel regulador U2, amb aquests valors es necessari un dissipador de calor per cada un dels reguladors.

Per calcular el circuit tèrmic, s'utilitza la llei d'ohm igual com si fos un circuit electrònic, però substituint la intensitat per la potència, la tensió per temperatura i la resistència per la resistència tèrmica. Per trobar la resistència del radiador s'ha d'aïllar de l'equació 12. La temperatura ambient es defineix a 25°C.

$$R_{\text{radiador}} = \frac{T_{\text{unió}} - T_{\text{ambient}}}{\text{Potència}} - R_{\text{thj-case}} \quad (\text{Eq. 12})$$

La resistència tèrmica del radiador pel regulador U1 és de 2,10°C/W i pel regulador U2 és de 2,99°C/W, per tant, es proposa el radiador de resistència 2,1°C/W pel U1 i de 3°C/W pel U2.

15 PROGRAMACIÓ

El programa del pic s'ha escrit amb el llenguatge C utilitzant el compilador CCS C. Anteriorment, en el capítol controlador d'aquest document s'ha fet una introducció dels registres i de les constants que s'han de configurar i definir. A continuació, es pot veure la definició de les directives, la definició de la posició de memòria RAM de cada port, de cada terminal, de les funcions específiques del pic i la definició de les variables utilitzades per realitzar el programa. També la configuració dels registres de les funcions específiques, la utilització de les interrupcions i temporitzadors, la creació de noves funcions per la realització del programa i la execució de la funció principal.

15.1 Definició i configuració dels registres

Els primer pas que s'ha fet, és definir les característiques bàsiques del pic mitjançant directives que s'introdueixen amb el símbol `#`. S'ha afegit el fitxer del pic 16F877 mitjançant la directiva `#include`, és una directiva estàndard de C, també s'ha especificat el nombre de bits de la conversió A/D, un total de 10, mitjançant la directiva `#device`, és una directiva per especificació de dispositius. També s'ha definit la freqüència d'oscil·lador del pic, de 20Mhz, mitjançant la directiva `#use`, és una directiva de predefinides de la llibreria, i per últim, s'ha especificat les opcions del pic mitjançant la directiva `#fuses`, és una directiva també per especificació de dispositiu, totes les directives `#fuses` utilitzades es poden veure a la taula 14 amb la seva definició.

Directiva <code>#fuses</code>	Definició
NOWDT	Cap temporitzador de reset
HS	Oscil·lador d'alta velocitat
PUT	Estabilització tensió inicialment
NOPROTECT	Codi no protegit de lectura
BROWNOUT	Reset de voltatge baix
NOLVP	Pin RB3 s'utilitza com entrada i sortida digital
NOCPD	Sense protecció de la memòria EE
NOWRT	Sense protecció de escriptura

Taula 14. Definició de les directives `#fuses`

Un cop definides totes les directives, cal definir la posició de memòria RAM de tots els ports i dels seus terminals. Els ports es declaren amb els registres `TRISx` i `PORTx`, definint la seva

posició en la memòria RAM com a variables C, es declaren com a bytes mitjançant la directiva `#BYTE`, que és una directiva de control de memòria. La posició de memòria on s'ha de guardar surt especificat al datasheet del pic. Un cop definides aquestes variables es poden configurar i controlar els ports en el programa mitjançant constants d'assignació (`TRISx` i `PORTx`).

També cal definir la posició de memòria RAM dels terminals de cada port (A,B,C,D i E). Si el port es defineix com un byte, els pins són els bits que formen el byte. Es defineix la seva posició en la memòria RAM amb un format `PIN_Xn`, on 'X' és el port i 'n' és el número de pin, mitjançant la directiva `#BIT`, és una directiva de control de memòria. La posició de memòria on s'ha de guardar surt especificat al datasheet del pic i té relació amb el port corresponent. Igual que els ports, un cop definides aquestes variables es poden configurar i controlar els pins en el programa mitjançant constants d'assignació.

Per últim cal definir la posició de memòria RAM de tots els registres de funcions específiques (FSR) que habiliten les interrupcions, temporitzadors i la conversió AD. Es declaren com a bytes mitjançant la directiva `#BYTE`. Tots aquests registres estan esmentats en el capítol controlador d'aquest document i es poden veure resumits a la taula 15.

Registres FSC	Definició
INTCON	Habilitació de interrupcions i flancs
PIR1	Habilitació de les banderes dels perifèrics
T1CON	Configuració del timer1
PIE1	Habilitació de les banderes dels perifèrics
ADRESH	Registre 8 bits més significatiu de la conversió AD
ADCON1	Configuració de la conversió AD
OPTION_REG	Configuració del hardware del TIMER0/WDT

Taula 15. Registres FSC

A més dels registres FSC que es defineix com a byte cal definir la posició de memòria RAM de tots els seus bits, mitjançant la directiva `#bit`. Aquests bits serveixen per més tard, configurar cada registre. La posició de memòria on es guarda cadascun dels registres i bits està especificat al datasheet del pic.

El llenguatge C permet redefinir terminals del pic amb un nou nom, per fer més clar el programa. Es fa mitjançant la directiva `#define` i s'utilitza per renombrar els terminals que

estan associats a la sortida dels tiristors. És a dir, els terminals de sortida de polsos es nombre amb el tiristor corresponent. Per exemple, el terminal D0 està associat al tiristor 1 del pont A, per tant es defineix com "Ta1", i així amb tots. Per els del pont B es substitueix la "a" per "b".

Un cop definit cada una de les posicions de memòria de cada bit dels registres FSC, cal configurar-los per establir com es vol que treballin durant l'execució del programa, durant el programa es poden considerar com a constants. Aquests bits s'han vist tots en el capítol controlador, on es troba la definició de cadascun i perquè serveixen, ara es veurà com s'han configurat.

Primer s'habiliten els bits del registre ITCON que habilita totes les interrupcions utilitzades a l'execució del programa. És necessari posar en estat alt el bit GIE per habilitar les interrupcions globals. El bit PEIE per habilitar les interrupcions dels perifèrics. El bit T0IF per habilitar la interrupció per desbordament del timer0. El bit INTE per habilitar la interrupció externa de RB0. El bit RBIE per habilitar el canvi d'estat en el portB. El bit TMR1IE per habilitar la interrupció per desbordament del timer1 i el bit ADIE per habilitar la interrupció de la conversió A/D. Les banderes d'estat de cada interrupció es posen en estat baix perquè inicialment no hi ha cap interrupció, aquests bits són: T0IF (desbordament timer0), INTF (interrupció RB0), RBIF (canvi d'estat portB), TMR1F (desbordament timer1), i ADIF=0 (conversió A/D).

Un cop habilitades les interrupcions, es configuren els timers, les interrupcions i la conversió A/D. El timer0 es configura mitjançant el registre OPTION_REG, la procedència de la senyal de rellotge serà interna mitjançant el bit T0CS en estat baix, el bit T0SE és indiferent perquè es treballa amb una senyal de rellotge intern. També es determina que el valor de prescaler sigui de 256 amb els bits PS2:PS1:PS0, tots en estat alt i per últim el bit PSA que determina el rang de divisor de la freqüència. Aquests valors es poden trobar el datasheet del pic.

El timer1 es configura amb el registre T1CON, el prescaler seleccionat es de 4 amb el bit T1CKPS0 en estat baix i el bit T1CKPS1 en estat alt, la procedència de la senyal de rellotge serà interna mitjançant el bit TMR1ON en estat baix, el bit T1SYNC també és indiferent perquè s'utilitza una senyal de rellotge intern i tan el bits T1OSCEN i TMR1ON en estat baix perquè inicialment no s'inicia el temporitzador.

La conversió A/D es configura amb els bits del registre ADCON0 i ADCON1. Del registre ADCON0 es selecciona el rellotge ($F_{osc}/32$) per la conversió de valor amb els bits ADCS1 en estat alt i el bit ADCS2 en estat baix i es selecciona el canal (AN0) per fer la conversió mitjançant els bits CHS2:CHS1:CHS0 tots en estat baix. Els bits GODONE i ADCON es configuren en estat baix perquè és durant l'execució del programa que es posen en estat alt, són els bits que inicien la conversió. Del registre ADCON1 es configura la justificació del resultat de la conversió, es justifica a la dreta mitjançant el bit ADFM en estat alt, i es configuren els altres terminals del port A com a sortides digitals mitjançant els bits PCFG3:PCFG2:PCFG1:PCF0, tots en estat baix.

Per últim es configura cada terminal dels ports, si són entrades o sortides, mitjançant la constant TRISx (1=entrada, 0=sortida). Totes les sortides del port C, D i E es posen en estat baix. Es pot veure la seva configuració a la taula 16.

Port	Configuració	Pins d'entrada	Pins de sortida
TRISA	0b00000001	A0	La resta
TRISB	0b11100001	B0, B5, B6 i B7	B1, B2, B3 i B4
TRISC	0b00000000	Cap	Tots
TRISD	0b00000000	Cap	Tots
TRISE	0b000	Cap	Tots

Taula 16. Configuració ports

Els leds de senyalització tenen un punt inicial on tots els 4 leds es troben apagats. Aquest estat inicial s'obté amb el terminal RB1 en estat alt, el terminal RB2 en estat baix i el terminal RB3 en estat alt. Tots els altres terminals configurats com a sortida es posen en estat baix. Amb aquesta configuració dels terminals s'inicia l'execució del programa.

Tot aquesta part s'agrupa a la funció inici del programa, la primera funció del programa que s'executa per iniciar correctament tots els processos.

15.2 Diagrama de fluxes

A continuació s'explica, de forma genèrica, cada un dels processos que formen part del programa.

El programa ha de detectar primerament, si alguna de les 3 fases no s'ha connectat. En cas de que falti una fase es provoca la parada immediata de l'equip i es visualitza pels displays el codi amb l'error corresponent. Per detectar la falta de connexió s'utilitza la interrupció per desbordament del timer0 i la interrupció per canvi d'estat al portB .

Si no hi ha cap error de connexió de cap de les fases, el següent pas es detecta si s'ha connectat les fases amb seqüència directa, R-S-T. En cas de que no s'hagi connectat en seqüència directa es provoca la parada immediata de l'equip i es visualitza pels displays el codi amb l'error corresponent. Per detectar la seqüència directa s'utilitza el timer1 com a temporitzador i la interrupció per canvi d'estat al portB.

Si no s'ha produït cap error de connexió i la seqüència de fases és la correcta, s'inicia la conversió A/D per visualitzar pels displays l'angle seleccionat amb el potenciòmetre, a més de la senyalització del pont seleccionat i de com es vol que treballi el motor mitjançant els leds. Mitjançant unes operacions es relaciona la tensió de referència en graus. Per la visualització de l'angle s'utilitza la interrupció de la conversió A/D.

Un cop seleccionat l'angle, ja es poden generar els impulsos per disparar els tiristors. Però abans cal sincronitzar la senyal trifàsica de la senyal R amb l'equip. Per la sincronització s'utilitza la interrupció per canvi d'estat al portB i la interrupció per desbordament del timer1.

Un cop sincronitzat la senyal R amb l'equip, el programa genera els 6 impulsos, amb el desfasament corresponent entre ells, per disparar els 6 tiristors del pont seleccionat. Per la generació dels polsos s'utilitza la interrupció per desbordament del timer1.

L'equip consta d'un interruptor d'emergència, en el moment en que es polsa es provoca la parada immediata de l'equip. Es treballa amb la interrupció per canvi d'estat al portB (entrada RB7).

L'equip també pot detectar la falta de tensió d'excitació. En cas que no hi hagi tensió d'excitació es provoca la parada immediata de l'equip. Per detectar la falta de tensió d'excitació s'utilitza la interrupció de RB0.

A part de les funcions de les interrupcions, cal definir-ne de noves per portar a terme els diferents processos necessaris per l'execució del programa. Aquestes funcions, a diferència

de les funcions de les interrupcions que s'executen quan hi ha la interrupció, cal cridar-les durant el programa perquè s'executin, ja que per si soles no ho fan.

A més de les funcions, és necessari crear variables per executar els diferents processos dins de la funció principal, `void main()`. Totes les variables definides en aquest programa són de tipus global, d'aquesta manera es poden utilitzar per totes les funcions, generalment s'utilitzen en més d'una funció. Hi ha de tipus "int" de 8 bits, de tipus "int16" de 16 bits i de tipus "float" de 16 bits. Es poden veure totes al annex programa. La majoria treballen com les banderes de les interrupcions. S'utilitzen per informar de l'estat dels processos i per avançar durant l'execució del programa. Totes les variables es troben dins de la funció variables per poder reiniciar al seu valor inicial sense haver de reiniciar tot el programa. A la figura 9 es pot veure l'estructura bàsica del programa:

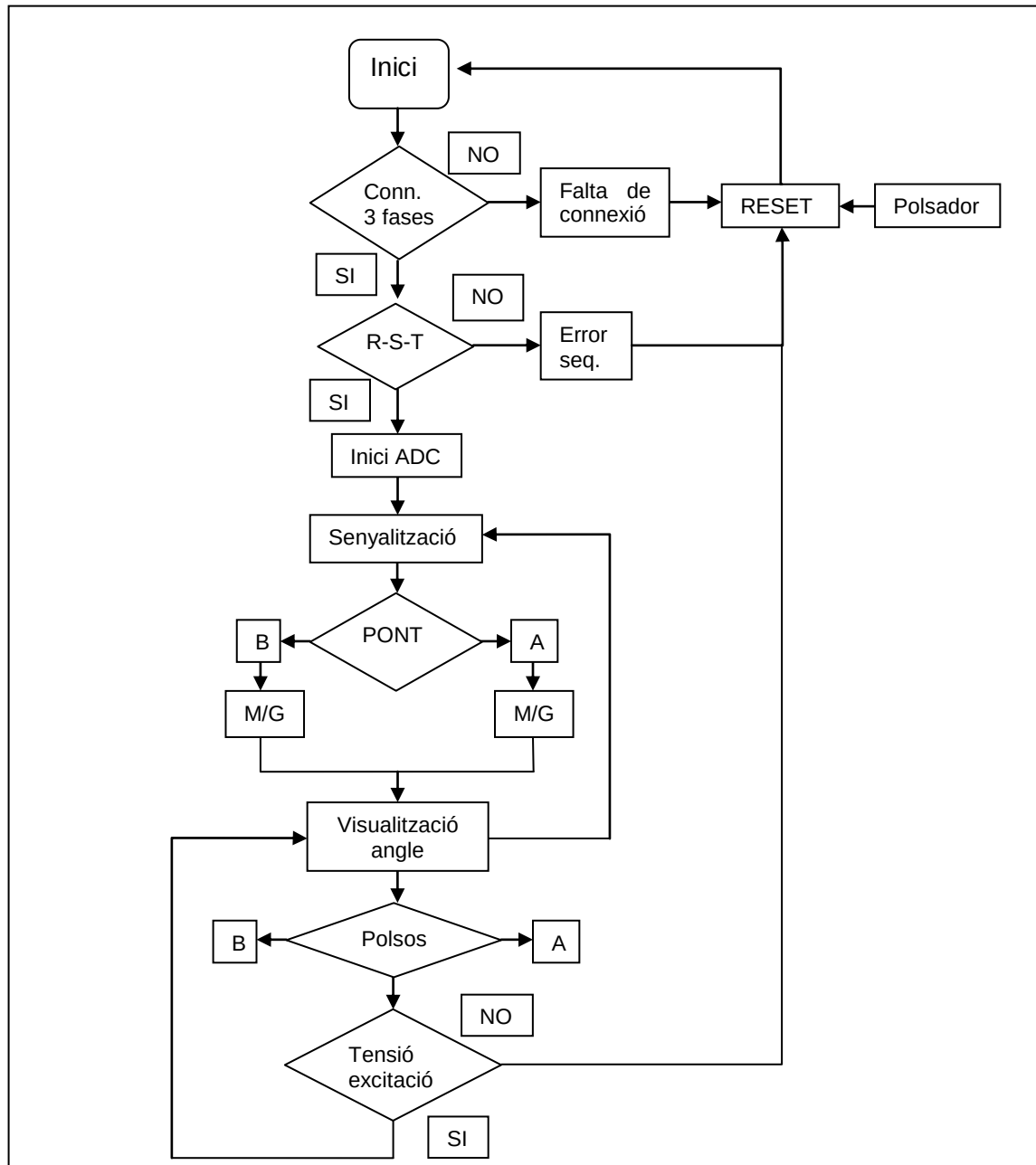


Figura 8. Diagrama de fluxes

15.3 Detecció de connexió de les fases

Durant l'execució del programa el timer0 funciona tota l'estona. Es calcula un temps de desbordament de 13,10ms, s'ha calculat amb la eq. 2 que es pot trobar al capítol controlador i el valor del resultat al annex càlculs. D'aquesta manera cada 13,10ms hi ha un interrupció del timer0. A cada interrupció del timer0 s'incrementa la variable "i".

Les 3 senyals d'entrada tenen una entrada associada RB4, RB5, RB6 com ja s'ha explicat abans. Cada una d'aquestes entrades provoca interrupció quan detecta un flanc de pujada. El programa sap d'on prové la interrupció mitjançant la següent funció: `bit_test(var, bit)`, que permet llegir l'estat d'un bit/pin específic d'un port. D'aquesta manera, quan hi ha la interrupció es llegeix només aquell pin que està en estat alt.

S'ha creat la variable "seq", que estableix la seqüència d'interrupcions del portB. Quan hi ha una interrupció de R passa a 1, quan hi ha interrupció de S passa a 2 i quan hi ha interrupció de T, la variable "seq" passa a 0 i també es reinicia la variable "i". La variable "seq" reinicia la seqüència i la variable "i" descarta la falta de connexió d'algunes de les fases. Si falla alguna de les interrupcions la variable "seq" no varia provocant la no reiniciació de la variable "i" detecten que hi ha un error a la connexió. A més, la variable "seq" assegura que el programa no segueixi executant-se si falla alguna connexió

Quan la variable "i" no es reinicia es posa la variable "reset" en estat alt provocant la parada del equip mitjançant la funció reiniciar. Es crea la variable "errorcon" per determinar de quin error es tracta per visualitzar-lo posteriorment pel displays, també es crea la variable "reset" per provocar la parada del equip. Amb la variable "seq" dependent de quin és el seu últim valor es sap quina ha sigut la última interrupció. Al iniciar l'execució, es deixa 5 segons de marge, `i==380`, per comprovar les connexions. Passats aquest 5 segons, si falta alguna de les fases per connectar es provoca la parada del equip. Durant l'execució, aquest temps es redueix a 1 segon, `i==76`. Per acabar, cal posar la bandera T0IF en estat baix cada vegada que hi ha interrupció.

15.4 Detecció de seqüència directa

Cada senyal, menys la senyal T, té associada una variable, la senyal R té associada la variable "senyal_R" i la senyal S té associada la variable "senyal_S", aquestes variables s'incrementen per cada interrupció en el seu terminal corresponent.

Si inicialment no hi ha cap error de connexió es procedeix a comprovar si la connexió de la seqüència R-S-T és correcta. Aquesta comprovació només cal fer-la una vegada, i s'inicia dins de la funció principal mitjançant la variable "seq_sincro" que es troba en estat baix si encara no s'ha produït la comprovació. En el moment en que es produeix passa a estat alt si hi ha seqüència directa, sinó es torna a reiniciar el programa des del principi. La comprovació de la seqüència és simplement mirar la diferència de temps entre la interrupció

de la senyal R i la interrupció de la senyal S. Es fa passat 3 segons de l'engegada del equip mitjançant el increment del valor de les variables "senyal_R" i "senyal_S". Se sap quan han passat 3 segons, perquè cada interrupció és fa cada 20ms, només cal dividir els 3 segons pels 20ms i s'obté un total de 150 interrupcions. Quan hi ha la interrupció 150 de la variable "senyal_R" s'activa el timer1 i quan hi ha la interrupció 150 de la variable "senyal_S" es desactiva el timer1, són interrupcions consecutives gràcies a la variable "seq", d'aquesta manera es mira la diferència de temps entre les dos interrupcions per comprovar la seqüència directa a través de la funció temps_seq.

Dins de la funció "temps_seq" amb la eq. 3, capítol controlador, es calcula teòricament a quin valor de bits del timer1 equival 6,66ms, és el temps de desfasament entre R i S. El valor és de 8325, es pot comprovar el valor al annex de càlculs. Un cop passat els 3 segons es mira la diferència de temps entre la interrupció de la senyal R i la interrupció de la senyal S mitjançant el timer1. El valor del timer1 es guarda a la variable "temps", si el valor obtingut està dins d'aquest marge $8000 \leq \text{temps} \leq 8100$, error aproximadament del 2%, significa que la seqüència de fases es correcta i es pot prosseguir amb l'execució del programa posant la variable "seq_sincro" en estat alt, sinó, és que hi ha un error al connectar la seqüència de fases i per tant es provoca la parada de l'equip mitjançant la variable "reset" i indicant amb la variable "errorseq" de quin error es tracta.

15.5 Conversió A/D

Si la connexió de la seqüència de fases és correcta s'inicia la conversió A/D per establir l'angle de disparament. La conversió s'inicia posant el bit GODONE en estat alt dins de la funció principal.

La interrupció de la conversió A/D provoca interrupció cada vegada que finalitza la conversió analògic digital. Aquesta interrupció es repeteix sempre. El resultat de la conversió té un valor de 10 bits i es guarda en dos registres per separat, ADRESL i ADRESH. Cada registre té associada una variable, "mesural" de 8 bits i "mesurah" de 16 bits respectivament. Al final la suma del valor de les dos variables es guarda dins de la variable "mesura" de 16 bits. Al valor màxim de la conversió en binari és de 1023.

Per estalviar repetir el procés de visualització de l'angle de disparament cada vegada que es fa una conversió, es defineix la variable "valor_antic". Aquesta variable guarda el valor de la variable "mesura" per poder comparar-la amb el pròxim valor de "mesura" de la següent

conversió. Amb aquesta variable es compara el valor de la nova conversió amb el valor antic. Si el valor és el mateix, és a dir, no s'ha variat la posició del potenciòmetre es posa en estat baix la variable "var_pot" indicant que no hi ha hagut variació i que l'angle de disparament és el mateix que de la conversió anterior. En canvi si varia, es guarda el nou valor a la variable "valor_ant" i es posa en estat alt la variable "var_pot".

15.6 Visualització angle, pont i quadrants

Després de comprovar la seqüència, de fer la conversió es senyalitza el pont, com treballa el motor, i es visualitza l'angle de disparament. Aquest procés s'inicia dins de la funció principal i s'inicia quan es varia el valor de la variable "mesura", és a dir, es varia la posició del potenciòmetre. En aquest moment s'utilitza al què s'explica al capítol tensió de referència. Un cop es deixa quiet el potenciòmetre no inicia de nou aquest procés sinó, es manté amb els darrers valors seleccionats.

Es pot veure millor amb la taula 17 com es distribueix el valor de la variable "mesura". Segons els valor de la variable "mesura" s'activa el pont A o el pont B i si treballa com a motor o com a generador.

512>=mesura<=1023	Pont A	RB1=0	768>=mesura<=1023	Motor	RB3=0
		RB2=1	512>=mesura<=767	Generador	RB3=1
0>=mesura<=510	Pont B	RB1=1	0>=mesura<=255	Motor	RB3=0
		RB2=1	256>=mesura<=510	Generador	RB3=1
Mesura=511	Punt inicial				

Taula 17. Classificació dels valors de mesura

El punt inicial és el valor mig de la variable "mesura" i on els terminals RB1, RB2 i RB3 es posen en l'estat inicial per tenir tots els leds apagats de senyalització. Les sortides es troben amb valor de l'estat inicial. Es pot veure com varien les sortides segons els leds que han d'activar.

Tan pel pont A com pel pont B, l'angle de disparament varia de 0° a 180°. En canvi en binari no comparteixen els mateixos valors, l'angle varia de 512 a 1023 pel pont A i de 0 a 510 pel pont B. Es necessari convertir els valors binaris a graus. El valor d'aquesta conversió es guarda sempre a la variable "valor_graus". La variable "pont" determina el pont, amb estat alt determina el pont B i en estat baix determina el pont A.

L'equació 13 relaciona els graus amb els valors binari del pont A.

$$\text{valor_graus} = (1023 - \text{mesura}) * 0.35 \quad (\text{Eq. 13})$$

Quan el valor de la variable “mesura” val 1023, la variable valor_graus val 0° i en canvi, quan la variable “mesura” val 512, la variable valor_graus val 180°.

L'equació 14 relaciona els graus amb els valors binari del pont B

$$\text{valor_graus} = \text{mesura} * 0.35 \quad (\text{Eq. 14})$$

Quan el valor de la variable “mesura” val 0, la variable valor_graus val 0° i en canvi, quan la variable “mesura” val 510, la variable valor_graus val 180°

Un cop convertit el valor de la variable “mesura” a graus s'inicia la visualització de l'angle de disparament mitjançant la funció “vis_display”. Dins d'aquesta funció, es classifica la variable “valor_graus” segons les unitats que la componen per a posterior visualitzar cada unitat de mesura pel seu display:

Si $100 \leq \text{valor_graus} \leq 181 \Rightarrow$ visualitza la centena, la desena i la unitat del valor.

Si $10 \leq \text{valor_graus} \leq 99 \Rightarrow$ visualitza la desena i la unitat del valor, centena es igual a 0.

Si $\text{valor_graus} \leq 9 \Rightarrow$ visualitza la unitat només. La desena i centena es iguala 0.

Per determinar cada unitat, es divideix la variable “valor_graus” amb l'operador “%” que serveix per guardar el valor del residu d'una divisió. Es creen les variables “unitat”, “desenes” i “centenes” per guardar el valor de residu corresponent.

Dintre de les variables creades, es crea la variable “portc”. És una matriu de 10 posicions binaries per definir la combinació de 0 i 1 equivalent per cada número. És la combinació binaria que s'envia pel port C i que els descodificadors interpreten per visualitzar el valor corresponent. A continuació a la taula 18 es pot veure per cada número quina combinació binaria li pertoca.

Número	Codi binari
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001

Taula 18. Combinació binària per cada número

Amb les funcions `display_uni`, `display_des` i `display_cen` es visualitza cada valor de mesura pel seu display corresponent. Amb aquestes funcions, el què és fa es activar el terminal que correspon de cada descodificador per determinar quin display ha d'activar.

15.7 Sincronització

Un cop es visualitza tot, l'angle, el pont i com treballa el motor, s'inicia la sincronització del disparament de polsos amb la senyal R. Aquest procés s'inicia a la funció principal. Quan es determina el valor de l'angle de disparament, es converteix els graus en el temps de retard del primer pols respecte el període de la senyal R. S'utilitza el temps de desbordament del `timer1`.

Per entrar dins d'aquest procés el valor de la variable "mesura" ha de ser estable i només s'inicia cada vegada que es varia el potenciòmetre i es deixa estable. Perquè no torni a iniciar el procés de sincronització s'utilitza la variable "proces_sincro". Passa en estat baix quan s'inicia la sincronització, impedit que torni a entrar en el procés i no es reinicia fins que no es torna a variar l'angle de disparament.

Per calcula el retard quan es selecciona el pont A s'utilitza l'equació 15.

$$\text{valor_retard} = (1023 - \text{mesura}) * 0.0195 \quad (\text{Eq. 15})$$

Per calcula el retard quan es selecciona el pont B s'utilitza l'equació 16.

$$\text{valor_retard} = (510 - \text{mesura}) * 0.0195 \quad (\text{Eq. 16})$$

A continuació es pot veure a la taula 19, la relació dels valors de la variable "valor_retard" respecte els valors de la variable "mesura" i amb el valor de graus.

Valors "mesura"	Graus (°C)	Retard (ms)
1023	0°	0
767	90°	5
512	180°	10
510	180°	20
255	90°	15
0	0°	10

Taula 19. Relació valors mesura amb el retard

Amb l'equació 17 es determina quin és el valor del temps de desbordament del timer1 respecte al valor dels temps de retard pel tiristors del pont A. El valor de desbordament es guarda a la variable "temps_T1".

$$\text{temps_T1} = 44536 - (\text{valor_retard} * 1250) \quad (\text{Eq. 17})$$

A continuació es pot veure a la taula 20, el resultat de la relació dels valors de la variable "temps_T1" respecte els valors de la variable "valor_retard" pel pont A.

Retard (ms)	temps_T1
0	44536
2	42036
5	38286
7	35786
10	32036

Taula 20. Relació del retard amb el temps del timer1

Pel pont B s'utilitza l'equació 18.

$$\text{temps_T1} = 32036 - (\text{valor_retard} * 1250) \quad (\text{Eq. 18})$$

A continuació es pot veure a la taula 21, el resultat de la relació dels valors de la variable "temps_T1" respecte els valors de la variable "valor_retard" pel pont B.

Retard (ms)	temps_T1
0	32036
2	29536
5	25786
7	23286
10	19536

Taula 21. Relació del retard pel pont B amb el temps del timer1

Quan la variable "sincro_R" es troba en estat alt, a la següent interrupció de la senyal R es produeix la sincronització ja que s'inicia el timer1 amb el temps de desbordament establert. Sempre s'inicia en el moment de la interrupció de la senyal R, però perquè no es repeteixi aquesta execució durant el procés de disparament es crea la variable "no_rep" que es reinicia amb la interrupció AD. Perquè la interrupció timer1 sàpiga que es tracta d'aquest procés es crea la variable "disp_SCR". Si treballa el pont A s'activa la variable disp_Ta1 i si treballa el pont B s'activa la variable disp_Tb1.

Passat el temps establert per la variable "temps_T1" es produeix la interrupció per desbordament del timer1, dins d'aquesta interrupció s'activa la variable "disparament" que permet cridar la funció disparament_pulsos per iniciar la generació de impulsos.

No es disparen tots els tiristors alhora sinó que hi ha un desfasament entre ells. A la taula 22 següent es pot veure aquest desfasament:

T1	$T3 = T1 + 120^\circ$	$T5 = T1 + 240^\circ$
$T2 = T1 + 180^\circ$	$T4 = T3 + 180^\circ$	$T6 = T5 + 180^\circ$

Taula 22. Desfasament dels dispars

Aquest procés és igual pel dos ponts, només varia els terminals de sortides que s'activen segons el pont que treballi. S'explica el procés pel tiristors del pont A.

El primer tiristor que s'activa es el T1 mitjançant la variable "disp_Ta1", cada tiristor té una variable associada, només varia el número de la variable. Es provoca un impuls d'amplada de 100us posant la sortida associada a Ta1, es fa un delay de 100us i es torna a posa en

baix la sortida. A continuació es desactiva la variable “disp_Ta1” perquè no torni a entra fins la pròxima generació de impulsos i es posa en alt la variable del tiristor següent, en aquest cas es “disp_Ta3”. Es reinicia el timer1 amb el valor de desbordament equivalent al desfasament. I així successivament per cada tiristor.

L'ordre de disparament és, primer Ta1, després Ta3, Ta2, Ta5, Ta4. Quan dispara Ta4 també es dispara Ta1 que reinicia de nou la seqüència si el potenciòmetre no ha variat el seu valor, ja que timer1 en cap moment s'atura.. Però després de dispara Ta1 es dispara Ta6. Aquest procés es para si es mou el potenciòmetre ja que dins de la interrupció de la conversió A/D es desactiva el timer1.

Un cop generat els impulsos, alimentat el doble pont trifàsic i treballant amb el motor si en algun moment no hi hagués alimentació a l'excitació del motor, l'equip ho detectaria mitjançant la interrupció l'entrada RB0 provocant la parada immediata de l'equip mitjançant la variable “reset” i activant la variable “errorexc” per informar de que l'error es tracta i poder visualitzar l'error corresponent.

15.8 Visualització dels errors

Per visualitzar tots els errors hi ha la funció reiniciar. Quan hi ha qualsevol dels errors, sempre la variable “reset” es posa en estat alt, aquesta variable permet cridar a la funció reiniciar que es troba en el funció principal del programa. Quan el programa entra dins d'aquesta funció deixa d'executar-se, ja que es desabilita'n les interrupcions, els timers i es reinicien les variables. Es posa el registre GIE, T0IE i TMR1ON en estat baix per inhabilitar les interrupcions, el timer0 i el timer1 respectivament. Les variables es posen totes a zeros criden a la funció variables del programa. També els terminals RB1, RB2 i RB3 es posen en l'estat inicial per tenir tots els leds apagats de senyalització.

Per determinar cada error s'ha definit una variable, la variable “errorcon” determina la falta de connexió d'algunes de les fases i per determinar la fase es mira l'últim valor de la variable “seq” per saber on s'ha produït la falla de connexió. A posterior es visualitza el codi corresponent mitjançant les funcions display_uni, display_des i display_cen que activen el display corresponent i mitjançant la variable “portc” es treu el valor corresponent de l'error en binaria. Amb la variable “errorseq” determina la falla en la seqüència de fases R-S-T, la variable “errorexc” determina la falta de tensió d'excitació i la visualització de cada error es a igual que per la variable “errorcon”. Per últim també hi ha una variable per detectar el

pulsador d'emergència i en aquest cas no hi ha visualització de cap valor, els displays es queden en blanc.

Si es polsa automàticament es posa en alt la variable "reset" provocant la parada immediata del equip i amb la variable "polsemerg" es determina l'error per visualitzar-lo posteriorment pel displays.

Un cop es detecta un error o es polsat el pulsador d'emergència cal pulsar el boto de reset per reiniciar l'execució del programa des del principi

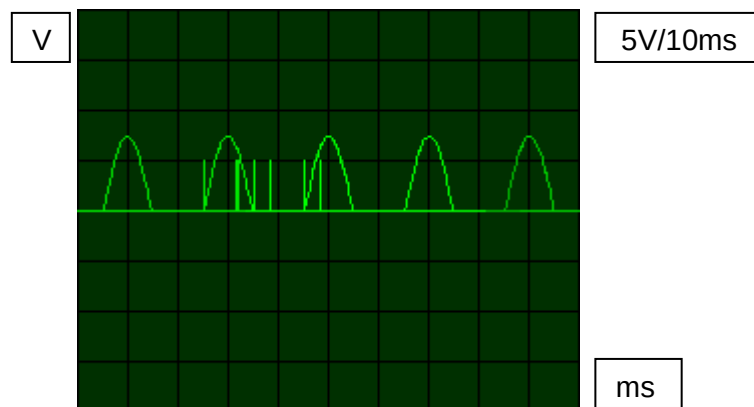
16 COMPROVACIONS

Les proves per la comprovació de les diferents parts de l'equip s'han realitzat al laboratori d'electrotècnica. El material necessari per fer les proves és un ordinador, una interfície R amb sortida RS-232 per programar el pic, i una font d'alimentació que subministri +5V i +15V per alimentar l'equip, a més dels cables per connectar les 3 fases de la xarxa trifàsica. Els equips necessaris per les comprovacions són un oscil·loscopi i un tester.

S'ha comprovat tots els errors, el pic detecta cadascun dels errors i visualitza l'error corresponent.

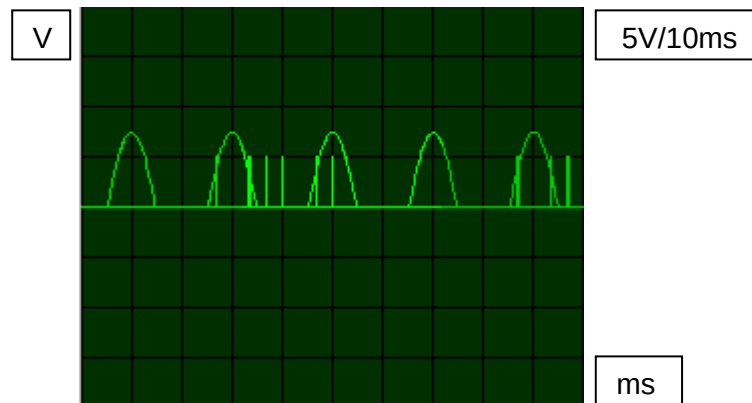
La visualització de l'angle de disparament i la senyalització del pont i de com treballar els motor és la correcta.

A continuació es pot veure a la gràfica 1 la generació de polsos per un $\alpha = 0^\circ$ del pont A respecte la senyal R d'entrada al pic.

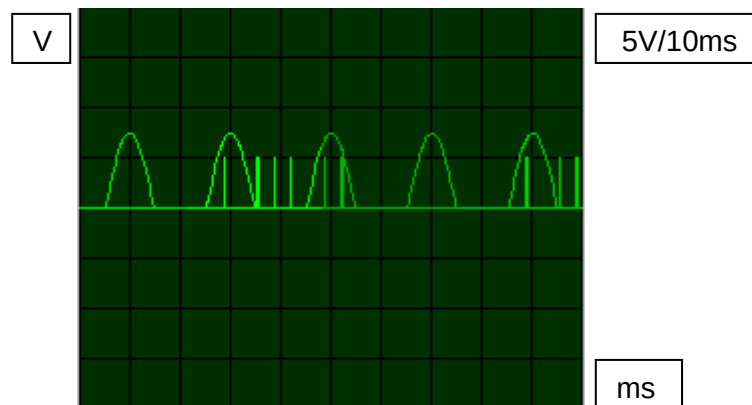


Gràfica 1. $\alpha = 0^\circ$

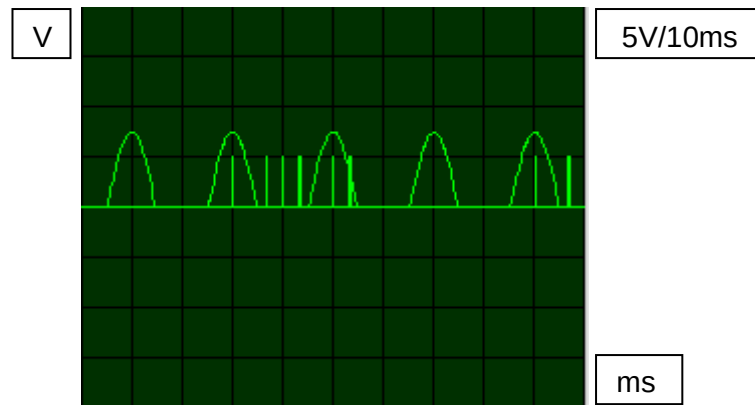
A continuació es pot veure a la gràfica 2 la generació de polsos per un $\alpha = 30^\circ$ del pont A respecte la senyal R d'entrada al pic.



A continuació es pot veure a la gràfica 3 la generació de polsos per un $\alpha = 60^\circ$ del pont A respecte la senyal R d'entrada al pic.

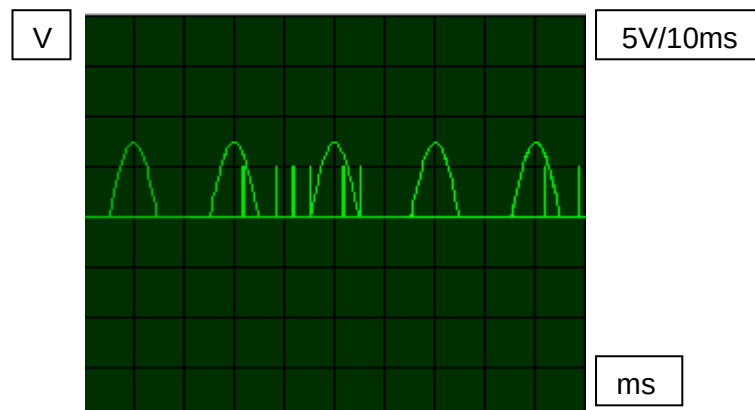


A continuació es pot veure a la gràfica 4 la generació de polsos per un $\alpha = 90^\circ$ respecte la senyal R d'entrada al pic.



Gràfica 4. $\alpha = 90^\circ$

A continuació es pot veure a la gràfica 5 la generació de polsos per un $\alpha = 120^\circ$ del pont A respecte la senyal R d'entrada al pic.



Gràfica 5. $\alpha = 120^\circ$

En el pont B les gràfiques són iguals però varia que els polsos es desapareixen a partir del semiperíode negatiu.

17 RESUM DEL PRESSUPOST

El valor estimat del projecte és de dos mil quatre cents vuit euros amb noranta cinc cèntims, sense IVA.

18 CONCLUSIONS

Amb les noves prestacions introduïdes es considera que s'ha millorat les prestacions de l'equip envers a l'anterior. Disposa de molta més informació que abans per l'estudi de la rectificació controlada mitjançant els displays, els leds i els punts de mesura. A més, de ser més fiable perquè de seguida detecta errors, falta de connexió, seqüència incorrecta o falta de tensió a l'estator. En definitiva es considera que la realització de les pràctiques en el laboratori per l'alumne seran més pràctiques i més segures..

Les dimensions de l'equip no s'han reduït tan com s'esperava, però a favor seu es pot dir que la lògica de control al ser controlada per un microprocessador és molt més rica en funcionalitat.

S'han utilitzat un total de 27 entrades de les 33 disponibles del microprocessador, per tant, s'ha deixat lliure 5 terminals per futures ampliacions o futures aplicacions, es pot considerar que s'ha utilitzat al mínim d'entrades possibles.

La font d'alimentació dissenyat amb els reguladors LM2676 es veu que es molt més rendible que els 7806 a nivell de rendiment i de dissipador de calor, però en contra, és de major cost econòmic.

Raúl Rodríguez Luque
Enginyer tècnic electrònic

Girona, 14 de juliol de 2012

19 RELACIÓ DE DOCUMENTS

El següent projecte consta dels següents documents: memòria, plànols, plec de condicions, estat d'amidaments i pressupost.

20 BIBLIOGRAFIA

AGUILAR PEÑA, JUAN DOMINGO. El tiristor. Universidad de Jaén. Escuela Politécnica Superior. (<http://www.redeya.com>, 16 de juliol de 2012)

CAMPS I FREIXES, EDUARD. Frenat regeneratiu d'un motor de corrent continu. Projecte/Treball Fi de Carrera. Enginyeria Tècnica Electrònica Industrial. Escola Politècnica Superior. Universitat de Girona. Setembre 2002.

GARCÍA BREIJO, EDUARDO. Compilador C CCS y simulador Proteus para microcontroladores. Ediciones Técnicas 2009. Editorial Marcombo. Barcelona 2009.

MCBTEC. Fuentes de alimentación lineales (http://www.mcbtec.com/fuentes_lineales.htm, 14 de juliol de 2012)

RS-ONLINE. Catàleg i relació de preus. (<http://es.rs-online.com/web/>, 3 de juliol de 2012).

ZENERS ELECTRÒNICA. Catàleg i relació de preus. Girona. 3 de juliol de 2010.

21 GLOSSARI

A/D: Analògic digital

BCD: Binari decimal codificat

E/S: Entrades sortides

HS (High Speed): Alta velocitat

MCLR (Master clear): Esborrat

PLCC: (Plastic leaded chip carrier): De plàstic amb operacional de plom

Vdd: Voltatge drenador drenador

Vss: Voltatge sortidor sortidor

A PROGRAMA

```
#include <16F877.h>          // definició de pic
#define adc=10               // definició del conversor A/D
#define delay(clock=20000000) // definició de la freqüència de rellotge

// definició a la posició de memòria dels ports i dels seus terminals

#define BYTE TRISA =0x85
#define BYTE PORTA =0x05

#define BYTE TRISB =0x86
#define BYTE PORTB =0x06
#define BIT RB1=0x06.1
#define BIT RB2=0x06.2
#define BIT RB3=0x06.3

#define BYTE TRISC =0x87
#define BYTE PORTC =0x07
#define BIT RC0=0x07.0
#define BIT RC1=0x07.1
#define BIT RC2=0x07.2
#define BIT RC3=0x07.3
#define BIT RC4=0x07.4
#define BIT RC5=0x07.5
#define BIT RC6=0x07.6
#define BIT RC7=0x07.7

#define BYTE TRISD =0x88
#define BYTE PORTD =0x08
#define BIT RD0=0x08.0
#define BIT RD1=0x08.1
#define BIT RD2=0x08.2
#define BIT RD3=0x08.3
#define BIT RD4=0x08.4
#define BIT RD5=0x08.5
#define BIT RD6=0x08.6
#define BIT RD7=0x08.7

#define BYTE TRISE=0x89
#define BYTE PORTE=0x09
#define BIT RE0=0x09.0
#define BIT RE1=0x09.1
#define BIT RE2=0x09.2

// definició dels registres FSR a la posició de memòria

// interrupcions

#define BYTE INTCON =0x0B // habilitació de interrupcions i flancs genèriques
#define bit GIE=0x0B.7   // bit global de les interrupcions
#define bit PEIE=0x0B.6   // habilitació de les interrupcions de perifèrics
#define bit T0IE=0x0B.5   // habilitació de la interrupció per desbordament
                           // del Timer0
#define bit INTE=0x0B.4   // habilitació de la interrupció externa RB0/INT
#define bit RBIE=0x0B.3   // habilitació de la interrupció per canvi en el
                           // PORTB
#define bit T0IF=0x0B.2   // bandera de la interrupció del TMR0
#define bit INTF=0x0B.1   // bandera de la interrupció del RB0/INT
```

```

#bit RBIF=0x0B.0          // bandera de la interrupció per canvi en PORTB

#BYTE PIR1 =0x0C          // habilitació de banderes dels perifèrics
#bit ADIF=0x0C.6          // bandera d'estat de la conversió A/D

#BYTE T1CON =0x10         // configuració del timer1
#bit T1CKPS1=0x10.5       // prescaler del timer1
#bit T1CKPS0=0x10.4       // prescaler del timer1
#bit T1OSCEN=0x10.3       // tipus d'oscil·lador
#bit T1SYNC=0x10.2        // tipus d'oscil·lador extern
#bit TMR1CS=0x10.1        // tipus de rellotge (intern o extern)
#bit TMR1ON=0x10.0        // habilitació del timer1

#BYTE PIE1 =0x8C          // habilitació de banderes dels perifèrics

#bit ADIE=0x8C.6          // bandera de la interrupció de la conversió A/D
#bit TMR1IE=0x8C.0        // bandera de la interrupció del TMR1

#BYTE ADRESH =0x1E        // registre 8 bits més significatius de la
                          // conversió
#BYTE ADRESL =0x9E        // registre 8 bits de menys pes de la conversió
#BYTE TMR1H=0x0F          // registre 8 bits de més pes del valor TMR1
#BYTE TMR1L=0x0E          // registre 8 bits de menys pes del valor TMR1

#BYTE ADCON0 =0x1F        // habilitació de la conversió A/D
#bit ADCS1=0x1F.7         // freqüència de la conversió A/D
#bit ADCS0=0x1F.6         // freqüència de la conversió A/D
#bit CHS2=0x1F.5          // assignació del canal per al conversió A/D
#bit CHS1=0x1F.4          // assignació del canal per al conversió A/D
#bit CHS0=0x1F.3          // assignació del canal per al conversió A/D
#bit GODONE=0x1F.2        // iniciació de la conversió A/D
#bit ADON=0x1F.0          // habilitació de la conversió A/D

#BYTE ADCON1 =0x9F        // habilitació de la conversió A/D
#bit ADFM=0x9F.7          // justificació de la conversió A/D
#bit PCFG3=0x9F.3         // configuració dels terminals del port
#bit PCFG2=0x9F.2         // configuració dels terminals del port
#bit PCFG1=0x9F.1         // configuració dels terminals del port
#bit PCFG0=0x9F.0         // configuració dels terminals del port

#BYTE OPTION_REG=0x81     // configurar el hardware del TIMER0/WDT
#bit RBPU=0x81.7          // bit habilitació resistències PORTB
#bit INTEDG=0x81.6        // bit de selecció del flanc de interrupció de RB0
#bit T0CS=0x81.5          // procedència de les senyals TRM0 0
#bit T0SE=0x81.4          // tipus de flanc en el RA4
#bit PSA=0x81.3           // assignació del divisor de freqüències 0=TMR0
                          // 1=WDT
#bit PS2=0x81.2           // determina el divisor de freqüències
#bit PS1=0x81.1           // determina el divisor de freqüències
#bit PS0=0x81.0           // determina el divisor de freqüències

// definició dels terminals de sortida pel tiristors del pont A

#define Ta1 PIN_D0         // defineix el pin D0 com a Ta1
#define Ta2 PIN_D1         // defineix el pin D1 com a Ta1
#define Ta3 PIN_D2         // defineix el pin D2 com a Ta1
#define Ta4 PIN_D3         // defineix el pin D3 com a Ta1
#define Ta5 PIN_C4         // defineix el pin C4 com a Ta1
#define Ta6 PIN_C5         // defineix el pin C5 com a Ta1

// definició dels terminals de sortida pel tiristors del pont B

```

```
#define Tb1 PIN_C6      // defineix el pin C6 com a Tb1
#define Tb2 PIN_C7      // defineix el pin C7 com a Tb1
#define Tb3 PIN_D4      // defineix el pin D4 com a Tb1
#define Tb4 PIN_D5      // defineix el pin D5 com a Tb1
#define Tb5 PIN_D6      // defineix el pin D6 com a Tb1
#define Tb6 PIN_D7      // defineix el pin D7 com a Tb1

// variable amb codi bcd

byte const numero[10]={0b0000, 0b0001, 0b0010, 0b0011, 0b0100, 0b0101,
0b0110, 0b0111, 0b1000, 0b1001};

// variables conversió ADC

int16 mesura;
int16 mesurah;
int mesural;
int valor_graus;
int unitats, desenes, centenes, var_pot;
float valor_retard;

// variables detecció falla de connexió

int16 i;
int errorcon;
int seq;

// variables detecció falla de seqüència

int16 temps;
int errorseq;

// variables detecció falta de tensió d'excitació
Int errorexcc;

// variables per determinar el pont

int pont;

// variables determinar sincronisme

int seq_sincro;

// variables senyals trifàsiques

int senyal_R, senyal_S;

// variables provoca un sol impuls

int disparament;
int16 temps_T1;
int disp_Ta1, disp_Ta2, disp_Ta3, disp_Ta4, disp_Ta5, disp_Ta6;
int disp_Tb1, disp_Tb2, disp_Tb3, disp_Tb4, disp_Tb5, disp_Tb6;

// variable per provoca reset

int reset=0;
int polsemerg=0;
```



```

void inici()
{

// CONFIGURACIÓ REGISTRES ADC

    ADCON1 = 0x8E;      // ADFM=1   PCFG3:PCFG0=0000
    ADCON0 = 0x81;      // ADCS1:ADCS2=10   CHS2:CHS0=000   GODONE=0   ADON=1
    ADIF=0;

// INTERRUPTIÓ REGISTRE ITCON

    GIE=1;              // habilitació interrupcions globals
    PEIE=1;             // habilitació interrupcions perifèrics
    T0IE=1;             // habilitació la interrupció del TMR0
    T0IF=0;             // bit d'estat interrupció TMR0
    INTE=1;            // interrupció RB0
    INTF=0;            // bit d'estat interrupció B0
    RBIE=1;            // habilitació canvi en el PORTB
    RBIF=0;            // bit d'estat interrupció PORTB (pins RB7:RB4)

// REGISTRE PIE1

    TMR1IE=1;          // habilitació de interrupció desbordament TMR1
    TMR1IF=0;          // bit d'estat interrupció TMR1
    ADIE=1;            // habilitació de interrupció ADC

// Configuració TIMER1, registre T1CON

    T1CKPS0=0;         // prescaler primer bit
    T1CKPS1=1;         // prescaler segon bit //PRESCALER VALOR 4
    T1OSCEN=0;         // oscilador habilitat
    T1SYNC=0;
    TMR1CS=0;          // rellotge intern
    TMR1ON=0;          // habilitació del TMR1

// Configuració ports

    TRISA=0b00000001;  // entrada pin A0
    TRISB=0b11110001;
//
Entrades: B0 (tensió d'excitació), B4 (senyal R), B5 (senyal T), B6 (senyal
S) i B7 (polsador d'emergència).
Sortides: B1 (habilitació), B2 (quadrant) i B3 (ponts)
//

    TRISC=0b00000000;  // tot els terminals del port C com sortida
    TRISD=0b00000000;  // tot els terminals del port D com a sortida
    TRISE=0b00000000;  // tot els terminals del port E com a sortida

// configuració dels terminals sortides

    RB1=1;
    RB2=0;
    RB3=1;

    RC0=0;
    RC1=0;
    RC2=0;
    RC3=0;
    RC4=0;

```

```
    RC5=0;
    RC6=0;
    RC7=0;

    RD0=0;
    RD1=0;
    RD2=0;
    RD3=0;
    RD4=0;
    RD5=0;
    RD6=0;
    RD7=0;

    RE0=0;
    RE1=0;
    RE2=0;
}

int variables()
{
    mesura=0;
    mesurah=0;
    temps=0;
    mesural=0;
    pont=0;
    seq_sincro=0;
    senyal_R=0;
    senyal_S=0;
    valor_graus=0;
    valor_retard=0;
    errorcon=0;
    errorseq=0;
    seq=0;
    unitats=0;
    desenes=0;
    centenes=0;
    valor_antic=0;
    i=0;
    temps_T1=0;
    no_rep=0;
    disparament=0;
    disp_SCR=0;
}

#INT_TIMER0 // Falla de connexió
void TIMER0_isr()
{
    i++;
    if(i==300 || ( seq_sincro==1 && i==76)) // Si hi ha falta de connexió

    {
        reset=1; // variable implica la pulsació del reset
        errorcon=1; // visualitza l'error de falla de connexió
    }

    T0IF=0; // Bandera interrupció TMR0
}

#INT_EXT // interrupció flanc de baixada de falta d'excitació
void RB0_isr()
{
```

```

    errorex=1;
    reset=1          // activació del reset
}

#INT_RB              // interrupció qualsevol entrada PORT B
void RB_isr()
{
    RBIF=0;

    if( (bit_test(portb, 4) == 1) && (seq==0)) // interrupció entrada R
    {
        senyal_R++; // incrementació variable per cada interrupció
        seq=1;      // variable que determinar sempre la seqüència de
                    // interrupcions

        if(sincro_R==1&&no_rep==0)//sincronització
        {
            set_timer(temps_T1);
            TMR1ON=1; // activa el timer1
            sisp_SCR=1; // determina la interrupció del timer1
            no_rep=1; //no repetició
            disp_Ta1=1; // activa el primer pols
        }

        if( (bit_test(portb, 6) == 1) && (seq==1 ) ) // Interrupció entrada S
        {
            senyal_S++; // incrementació variable per cada interrupció
            seq=2;      // reiniciem la variable seq per determinar una
                    //nova seqüència
        }

        if ( (bit_test(portb, 5) == 1) && (seq==2 ) ) // Interrupció entrada T
        {
            seq=0;      // reiniciem la variable seq
            i=0;        // i=0 per descartar un falla de connexió
        }

        if (bit_test(portb, 7) == 1) // pulsador d'emergència
        {
            reset=1;
            polsemerg=1;
        }
    }

#INT_TIMER1
void TIMER1_isr()
{
    if(disp_SCR==1)
    {
        disparament=1; // activació del disparament
    }
}

#INT_AD
void AD_isr()
{
    mesural=ADRESL;
    mesurah=(ADRESH<<8);
}

```

```

    mesura=(mesurah+mesural);
//
Es guarda els 8 bits del registre ADRESL que són els de menys pes, la
variable es de 8 bits.
Es desplaça 8 bits a l'esquerra ja que s'han de guarda els 8 bits de mes
pes del registre ADRESH, la variable es de 16 bits.
El valor final de la conversió es un valor format per 10 bits. Aquest valor
es guarda en dos registres, es necessari dos variables, una de 8 bits per
guarda els 8 bits de menys pes i l'altre de 16 bits per guardar els 2 bits
de mes pes per això s'ha de desplaçar 8 bits a l'esquerra per fer la suma
correcte.

```

Inicialment comp_mesura es igual a 0 com mesura no serà igual a 0 s'activa la visualització del nou valor nomes es tornarà a visualitzar si el valor a variat.

```

//
    if(valor_antic==mesura)
        valor_pot=0;
    else
    {
        valor_pot=1;                //el vlaor de mesura ha canviat
        valor_antic=mesura;
        disp_SCR=0;                 // reiniciar
        no_rep=0;                   // reiniciar
        TMR1ON=0;                   // parada del timer1
        proces_sincro=1;
    }
}

```

```

int display_uni()
{
    RE2=0;                        // activació del display de les unitats
    delay_ms(1);
    RE2=1;
}

```

```

int display_des()
{
    RE1=0;                        // activació del display de les desenes
    delay_ms(1);
    RE1=1;
}

```

```

int display_cen()
{
    RE0=0;                        // activació del display de les centenes
    delay_us(1);
    RE0=1;
}

```

```

int reiniciar()
//
Funció per quan hi ha falla de connexió o error de sincronisme, desactiva
totes les interrupcions desactivant tot el programa. Implica la pulsació
del reset per reiniciar el programa.

```

```

//
{
    T0IE=0;                       // deshabilita el timer0
    GIE=0;                        // deshabilita totes les interrupcions
    TMR1ON=0;                     // deshabilita el timer1
}

```

```
RB2=0;                // punt inicial
RB1=1;

if(errorcon==1)        // fase R. Visualització per display de xx1
{
    if(seq==0)
    {
        portc=0b0100;
        display_uni();
        delay_us(1);
        portc=0b1111;
        display_des();
        delay_us(1);
        portc=0b1111;
        display_cen();
    }

    if(seq==1)          // fase S. Visualització per display de xx2
    {
        portc=0b0101;
        display_uni();
        delay_us(1);
        portc=0b1111;
        display_des();
        delay_us(1);
        portc=0b1111;
        display_cen();
    }

    if(seq==2)          // fase T. Visualització per display de xx3
    {
        portc=0b0110;
        display_uni();
        delay_us(1);
        portc=0b1111;
        display_des();
        delay_us(1);
        portc=0b1111;
        display_cen();
    }
}

else if(errorseq==1)    // error falla de seqüència x4x
{
    portc=0b1111;
    display_uni();
    delay_us(1);
    portc=0b0100;
    display_des();
    delay_us(1);
    portc=0b1111;
    display_cen();
}

else if(polsemerg==1)   // polsador d'emergència
{
    portc=0b1111;
    display_uni();
    delay_us(1);
    portc=0b1111;
    display_des();
}
```

```

        delay_us(1);
        portc=0b1111;
        display_cen();
        RB2=1;
        RB3=0;
        RB1=0;
    }
}

int temps_seq()
//
// adquisicio del valor del TMR1 i comparació de valor per obtenir sincronisme
//
{
    temps=get_timer1(); // Es guardar el valor del TIMER1
    if(temps>=8000 && temps <=8100) // equival a 6.6ms
    {
        seq_sincro=1; // seq. correcte
    }

    else if(temps>=8101) // temps més gran error de seqüència de fases
    {
        reset=1;
        errorseq=1;
    }
}

int16 vis_display() // funció valor per display
{
    if(valor_graus>=100 && valor_graus<=181) // franja unitats, desenes i
                                                // unitats
    {
        unitats=valor_graus%10; // unitats és el valor del residu de la
                                // divisió
        valor_graus=valor_graus/10; // es divideix per obtenir del valor
                                // de les desenes
        desenes=valor_graus%10; // desenes és el valor del residu de
                                // la divisió
        centenes=valor_graus/10; // centenes és l'últim valor
    }
    else if (valor_graus>=10 && valor_graus<=99) // franja unitats,
                                                // desenes i centenes=0
    {
        unitats=valor_graus%10;
        desenes=valor_graus/10;
        centenes=0;
    }
    else if (valor_graus<=9) // franja unitats, desenes i centenes
                                // igual a 0
    {
        unitats=valor_graus;
        desenes=0;
        centenes=0;
    }
    portc=numero[unitats]; // sortida pel PORTC el valor de les
                            //unitats
    display_uni(); // funció per habilitar el display unitats
    delay_us(1); // retard per seguretat sinó el display no pot
                // seguir
    portc=numero[desenes]; // sortida pel PORTC el valor de les desenes
    display_des(); // funció per habilitar el display desenes
}

```

```

    delay_us(1);
    portc=numero[centenes]; // sortida pel PORT el valor de les centenes
    display_cen();          // funció per habilitar el display centenes
}

int disparament_pulsos()
{
    if (pont==0) //pont A
    {
        if(disp_Ta1==1 && disparament==1)
        {
            set_timer1(57866);          // temps de commutació del T1
            output_high(Ta1);
            delay_us(100);
            output_low(Ta1);
            disp_Ta1=0;
            disp_Ta3=1;
            disparament=0;
        }
        if(disp_Ta2==1 && disparament==1)
        {
            set_timer1(61411); // temps commutació del T2=160
            output_high(Ta2);
            delay_us(100);
            output_low(Ta2);
            disparament=0;
            disp_Ta2=0;
            disp_Ta5=1;
        }
        if(disp_Ta3==1 && disparament==1)
        {
            set_timer1(61411);          //T2=180-120=60
            output_high(Ta3);
            delay_us(100);
            output_low(Ta3);
            disparament=0;
            disp_Ta3=0;
            disp_Ta2=1;
        }
        if(disp_Ta5==1 && disparament==1)
        {
            set_timer1(57286);
            output_high(Ta5);
            delay_us(100);
            output_low(Ta5);
            disparament=0;
            p=0;
            disp_Ta5=0;
            disp_Ta4=1;
        }
        if(disp_Ta4==1 && disparament==1)
        {
            set_timer1(61411);
            output_high(Ta4);
            output_high(Ta1);
            delay_us(100);
            output_low(Ta4);
            output_low(Ta1);
            delay_us(100);
            disparament=0;
            disp_Ta4=0;
        }
    }
}

```

```

        disp_Ta6=1;
    }
    if(disp_Ta6==1 && disparament==1)
    {
        set_timer(61411);
        delay_us(100);
        output_low(T3);
        disparament=0;
        disp_Ta3=1;
        disparament=0;
        disp_Ta6=0
    }
}

if (pont==1) // pont B
{
    if(disp_Tb1==1 && disparament==1)
    {
        set_timer1(57866); // temps de commutació del T1
        output_high(Tb1);
        delay_us(100);
        output_low(Tb1);
        disp_Tb1=0;
        disp_Tb3=1;
        disparament=0;
    }
    if(disp_Tb2==1 && disparament==1)
    {
        set_timer1(61411); // temps commutació del T2=160
        output_high(Tb2);
        delay_us(100);
        output_low(Tb2);
        disparament=0;
        disp_Tb2=0;
        disp_Tb5=1;
    }
    if(disp_Tb3==1 && disparament==1)
    {
        set_timer1(61411); //T2=180-120=60
        output_high(Tb3);
        delay_us(100);
        output_low(Tb3);
        disparament=0;
        disp_Tb3=0;
        disp_Tb2=1;
    }
    if(disp_Tb5==1 && disparament==1)
    {
        set_timer1(57286);
        output_high(Tb5);
        delay_us(100);
        output_low(Tb5);
        disparament=0;
        p=0;
        disp_Tb5=0;
        disp_Tb4=1;
    }
    if(disp_Tb4==1 && disparament==1)
    {
        set_timer1(61411);
        output_high(Tb4);
    }
}

```



```

        output_high(Tb1);
        delay_us(100);
        output_low(Tb4);
        output_low(Tb1);
        delay_us(100);
        disparament=0;
        disp_Tb4=0;
        disp_Tb6=1;
    }
    if(disp_Tb6==1 && disparament==1)
    {
        set_timer(61411);
        delay_us(100);
        output_low(T3);
        disparament=0;
        disp_Tb3=1;
        disparament=0;
        disp_Tb6=0
    }
}

}

void main()
{
    variables();
    inici();
    OPTION_REG=0x87;    //10000111
                        //RBP=1 resistències habilitades
                        //INTEDG=0 Interrupció flanc de baixada de RB0
                        //T0CS=0 Procedència del senyal, rellotge intern
                        //TOSE=0 Tipus de flanc de TOCK1
                        //PSA=0 Assignació de divisor de freqüències, TMR0
                        //PS2:PS1:PS0=111 Prescaler TMR0=256
    set_timer0(0x00);    // Posem el timer1 a 0
    set_timer1(0x00);    // Posem el timer1 a 0

    while(1)
    {
        if (reset==1)
        {
            reinicia();
        }
        else if(reset==0)
        {
            if (seq_sincro==0)
            {
                if(senyal_R==150 && senyal_S==149 )
                {
                    TMR1ON=1;
                }
                if( senyal_R==150 && senyal_S==150)
                {
                    TMR1ON=0;
                    temps_seq();
                }
            }
        }
        if(seq_sincro==1)
        {
            GODONE=1;        // inicia la conversio AD
            if(var_pot==1)
            {

```

```

if(mesura>=512 && mesura<=1023) // valors del pont A
{
    valor_graus=(1023-mesura)*0.35;
    RB2=1;
    RB1=0;
    if(mesura>=768 && quadrant<=1023) // Motor
    {
        RB3=0;
    }
    else // Generador
    {
        RB3=1;
    }
}
else if(mesura>=0 && mesura <=510) // Valors del pont B
{
    valor_graus=mesura*0.35;
    RB2=1;
    RB1=1;
    if(mesura>=256 && quadrant<=510) // Generador
    {
        RB3=1;
    }
    else // Motor
    {
        RB3=0;
    }
}
else
{
    valor_graus=0;
    RB2=0;
    RB3=1;
    RB1=1;
}
vis_display();
}
else if(var) // Detecció de sincronisme
{
    if(pont==0) //pont A
    {
        valor_retard=(1023-mesura)*0.0195;
    }
    else if(pont==1) // pont B
    {
        valor_retard=(510-mesura)*0.0195;
    }
    temps_T1=44536-(valor_retard*1250);
    proces_sincro=0; // no repetir la generació de polsos
    sincro_R=1; // per sincronitzar amb la senyal R
}
if (disparament==1)
{
    disparament_pulsos();
}
} // end sincro
ADIF=0;
} // end while(1)
//end main
}

```

B CÀLCULS

B.1 Cicle de treball

El cristall que s'utilitza proporciona una freqüència d'oscil·lador de 20Mhz. Per calcular el cicle de treball s'utilitza l'equació 1.

$$T_{CM} = \frac{4}{f} = 200 \text{ ns} \quad (\text{Eq. 1})$$

f= freqüència de l'oscil·lador = 20Mhz

El temps necessari per executar les instruccions és de 200ns.

B.2 Desbordament dels timers

Es vol establir com a temps de desbordament del Timer0 al seu valor màxim. Es calcula amb l'equació 2. Per establir el valor màxim s'inicia amb un valor de carga igual a 0 i amb el valor de prescaler més gran, 256.

$$T = T_{CM} * \text{Prescaler} * (256 - \text{Carga TMR0}) = 13,10\text{ms} \quad (\text{Eq. 2})$$

T_{CM} = cicle de treball = 200ns

Prescaler = 256

Carga TMR0 = 0

Cada 13,10ms es desborda el Timer0 provocant una interrupció. D'aquesta manera si es vol establir un avís passat un temps determinat, només cal dividir el temps que es vol que transcorri abans de l'avís, pel temps de desbordament del timer0 per saber el nombre d'interrupcions que hi haurà.

Es vol establir com a temps de desbordament del timer1 al seu valor màxim. Es calcula amb l'equació 3. Per establir el valor màxim s'inicia amb un valor de carga igual a 0 i amb el valor de prescaler més gran, 4.

$$T = T_{CM} * \text{Prescaler} * (65536 - \text{Carga TMR1}) = 52,42\text{ms} \quad (\text{Eq. 3})$$

T_{CM} = cicle de treball = 200ns

Prescaler = 4

Carga TMR1 = 0

El programa converteix la tensió de referència amb un temps de retard, aquest temps de retard es resta aquest valor màxim per obtenir el temps que cal introduir com a carga per calcular el desfasament entre la senyal trifàsica i el pols de sortida.

B.3 Resolució

Cal un resolució per establir els valors de la conversió analògica digital. El número de bits que s'utilitza són de 10, amb el qual es pot representar fins un total de 1023 valors diferents, i es configura per utilitzar la tensió d'alimentació com a tensió d'entrada. Es calcula amb l'equació 4.

$$\text{resolució} = \frac{V_{IN}}{2^N - 1} = 0,0048\text{mV} \quad (\text{Eq. 4})$$

V_{in} = tensió d'alimentació = 5V

N = nº de bits = 10

Cada 0,0048mV equival a un valor discret. Per obtenir el valor en binari d'una tensió de referència, simplement cal multiplicar la tensió de referència per la resolució.

B.4 Resistència de col·lector obert

Cal connectar una resistència a la sortida de cada porta lògica del operacional 7409. Aquesta resistència es calcula amb l'equació 5.

$$R = \frac{V_{CC} - V_{OL}}{N_1(I_{OH}) + N_2(I_{IH})} = 220\Omega \quad (\text{Eq. 5})$$

V_{CC} = tensió d'alimentació = 5V

V_{OL} = tensió mínim de sortida = 0V

N_1 = intensitat de sortida mínima = 20mA

N_2 = intensitat d'entrada mínima = 1mA

El valor de la resistència és de 220Ω, perfecte, perquè és un valor comercial.

B.5 Angle de conducció

L'angle de conducció varia segons l'angle de dispar que és vol i es calcula amb l'equació 6, aquest angle de dispar es selecciona mitjançant la variació del potenciòmetre.

$$\text{Angle de conducció} = 180^\circ - \text{angle de dispar} \quad (\text{Eq. 6})$$

B.6 Fusible font d'alimentació

Primer es calcula la intensitat que necessita cada transformador al primari, i s'aïlla de l'equació 7.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (\text{Eq. 7})$$

U_1 = tensió al primari

U_2 = tensió al secundari

I_2 = intensitat al secundari

El primer transformador està connectat a 230V, la tensió al secundari que ha de subministrar és de 12V i la intensitat és de 1,5A. La intensitat és $I_1=0.078A$

Es fa el mateix per calcular la intensitat necessària pel transformador 2. La tensió al primari és la mateixa però la tensió al secundari és de 15V i la intensitat és de 0,5A. La intensitat és $I_1=0,032A$.

El valor total de la intensitat que necessita subministrar la xarxa pels dos transformadors, és la suma de les dos intensitats del primari, és de 0,11A. El fusible escollit amb les possibilitats del mercat és de 1A, suficient per suportar el corrent total en el primari

Cal tenir en compte la diferència entre la tensió eficaç i la tensió de pic per fer els càlculs dels diferents elements que componen la font d'alimentació. La tensió de pic s'aïlla de l'equació equació 8.

$$V_{ef} = \frac{V_{pk}}{\sqrt{2}} \quad (\text{Eq. 8})$$

V_{ef} = Tensió eficaç

Pel regulador U1, la tensió eficaç és de 12V, per tant la tensió de pic és de 16,97V.

Pel regulador U2, la tensió eficaç és de 30V, per tant la tensió de pic és de 42,42V.

B.7 Condensadors del filtre

Per eliminar l'ondulació s'estableixen dos condensadors electrolítics a l'entrada de cada regulador. Es calcula amb l'equació 9. El període d'una ona rectificada és de 10ms.

$$C = \frac{I_{max} \cdot T}{V_{max} - V_{min}} \quad (\text{Eq. 9})$$

I_{max} = Intensitat màxima en el secundari = 1,5A

T = període rectificador de l'ona completa = 10ms.

$V_{max} = V_{pk} = 16,97V$

$V_{min} = V_{ef} = 12V$

Pel regulador U1, la intensitat màxima que circula és la intensitat de secundari, 1,5A. La tensió màxima és la tensió de pic calculada amb l'equació 8 per regulador U1 i la mínima és la tensió eficaç, 12V. El valor del condensador C1 és de 3018uF.

Pel regulador U2, la intensitat màxima que circula és la intensitat de secundari, 0,5A. La tensió màxima és la tensió de pic calculada amb la equació 8 per regulador U2 i la mínima és la tensió eficaç, 30V. El valor del condensador C2 és de 402uF.

Es decideix escollir dos condensadors però del mateix valor. Es tria el de valor més elevat per obtenir una senyal amb la mínima ondulació possible. Mirant el mercat es decideix escollir un condensador de 3300uF per tot dos.

B.8 Resistències de realimentació del regular U2

Perquè el regulador U2 subministri els +15V cal implementar un circuit format per dues resistències connectades al terminal de realimentació del regulador. Aquest circuit ve detallat al datasheet del regulador. Només cal seguir els passos. La resistència R1

s'estableix que el seu valor és de 1k, per tant, només cal aïllar la resistència R2 de l'equació 10.

$$V_{out} = V_{fb} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \Rightarrow R_2 = 12K \quad (\text{Eq. 10})$$

V_{out} = tensió de sortida = 15V

V_{fb} = tensió de realimentació = 1,21V

$R_1 = 1k$

El valor de la resistència R2 és de 12k, perfecte, perquè és un valor comercial.

B.9 Potència dissipada pel regulador

Primer cal calcular la potència total que dissipa cada regulador en els pitjors dels casos. S'utilitza l'equació 10. La caiguda de tensió en el dispositiu és la tensió màxima, menys la caiguda de tensió al díode multiplicada per dos perquè condueixen dos díodes, menys la tensió de sortida i multiplicat per la intensitat de sortida.

$$P = V \cdot I \quad (\text{Eq. 11})$$

V = Caiguda de tensió = $V_{max} - 2 \cdot V_{díode} - V_{sortida}$

I = Intensitat de sortida

Pel regulador U1, la caiguda de tensió en el dispositiu és la tensió màxima, 16,97V, la caiguda de tensió del díode és 1,4V, la tensió de sortida és de +5V i la intensitat de sortida és de 1,5A. La potència total que dissipa el regulador que subministra +5V és de 15,85W

Pel regulador U2, la caiguda de tensió en el dispositiu és la tensió màxima, 42,42V, la caiguda de tensió del díode és 1,4V, la tensió de sortida és de +15V i la intensitat de sortida és de 0,5A. La potència total que dissipa el regulador que subministra +15V és de 13,01W

La resistència tèrmica per l'encapsulat S i muntat horitzontalment contra la placa és de 35°C/W. Per tant, la temperatura que arribarà serà de 565,45°C pel regulador de +5V i 458,85°C pel regulador de +15V, amb aquests valors es necessita un dissipador de calor per cada un dels reguladors.

B.10 Radiador

Per calcular el circuit tèrmic, s'utilitza la llei d'ohm igual que si fos un circuit electrònic, però substituint la intensitat per la potència, la tensió per temperatura i la resistència per la resistència tèrmica. Per trobar la resistència del radiador s'ha d'aïllar de la equació 11. La temperatura ambient es defineix a 25°C, la temperatura de la unió donada amb un marge es defineix a 90°C i la la resistència tèrmica de l'unió donat pel datasheet del regulador és de 2°C/W.

$$R_{\text{radiador}} = \frac{T_{\text{unió}} - T_{\text{ambient}}}{\text{Potència}} - R_{\text{thj}} - \text{case} \quad (\text{Eq. 12})$$

$T_{\text{unió}}$ = temperatura de la unió donat pel datasheet (marge de seguretat)

T_{ambient} = temperatura ambient

Potència

$R_{\text{thj-case}}$ = resistència tèrmica de l'unió donat pel datasheet del fabricant

El valor del radiador pel regulador U1 és de 2,09°C/W i pel regulador U2 és de 2,99°C/W.

Mirant el mercat es decideix escollir un radiador de 2,1°C/W pel primer i de 3°C/W pel segon.

C MANUAL DE FUNCIONAMENT

Abans d'iniciar el treball, comprovar el bon estat dels instruments. En cas contrari, comunicar al professor. Al acabar, deixar el lloc net, ben ordenat i amb tots els instruments. En el cas que es detecti una averia o falta de material, comunicar-ho al professor. Per seguretat s'ha instal·lat un fusible de 1A per protegir de sobre intensitat la connexió de l'excitació, en cas de que es fongui s'haurà de substituir per un fusible del mateix valor.

Connectar l'equip a +5V, a +15V i a massa mitjançant els connectors d'alimentació. Connectar les 3 fases de la xarxa trifàsica amb seqüència directa R-S-T. Col·locar els jumpers a la posició de terminal.

Si es vol programar el pic, el jumper ha d'estar amb la posició RX i TX, i connectar una placa amb RS-232 el connector de la comunicació sèrie.

Si es vol treballar amb el potenciòmetre de la placa, el jumper ha d'estar a la posició del potenciòmetre, si es vol utilitzar un PID exterior s'ha de col·locar el jumper en la posició de tensió de referència exterior i connectar el PID al connector de tensió exterior.

Engregar la font d'alimentació, puja els ploms de la xarxa trifàsica i pulsar el botó de reset per iniciar l'execució del programa.

En el cas que marqui un error de connexió o de seqüència, es recorda els errors a la taula següent:

Error	Codi de visualització	Codi binari
Falta de connexió de la fase R	xx1	0001
Falta de connexió de la fase S	xx2	0010
Falta de connexió de la fase T	xx3	0011
Error de seqüència	x4x	0100
Falta de tensió d'excitació	5xx	0101

Primer cal baixar els ploms de la xarxa trifàsica i solucionar el problema que indica els displays. Un cop resolt el problema es torna iniciar el procés des del principi.

Passats 3 segons, si l'equip no detecta cap error es senyalitza el pont i com treballa el motor, i es visualitza l'angle de disparament on es troba situat el potenciòmetre en el moment inicial. Cal varia el potenciòmetre a la posició inicial, on cap dels leds estigui encès i el 3 displays visualitzin el valor de 0, per a partir d'aquest punt es selecciona l'angle que és vol.

Es pot comprovar la sortida dels polsos mitjançant els punts de mesura associat a cada tiristor.

En cas d'error desconegut es pot polsa el botó de reset per reinicia el procés des del principi o en cas de perill hi el polsador d'emergència que provoca la parada immediata de l'equip