

Escola Universitària Politécnica de Mataró

Centre adscrit a:



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA

**Enginyeria Tècnica Industrial:
Especialitat Electrònica Industrial**

MÒDUL EXPERIMENTACIÓ MOTOR PAP PER ENTRENADOR MCLS-8051

Memòria

**XAVIER ACEÑA
PONENT: VICENÇ DELÒS**

TARDOR 2013



TecnoCampus
Mataró-Maresme

Dedicatòria

A la meva família

Resum

Aquest projecte aporta els coneixements necessaris per al disseny de dos mòduls d'interfície que permetin la experimentació entre l'entrenador didàctic MCLS de Lucas Nülle equipat amb el microcontrolador C515C i els motors pas a pas en configuració unipolar i bipolar. També es documenten els fonaments teòrics principals d'aquests tipus de motors i de l'entorn de treball per poder elaborar propostes de guions de pràctiques docents.

Resumen

Este proyecto aporta los conocimientos necesarios para el diseño de dos módulos de interfaz que permitan la experimentación entre el entrenador didáctico MCLS de Lucas Nülle equipado con el microcontrolador C515C y los motores paso a paso en configuración unipolar y bipolar. También se documentan los fundamentos teóricos principales de estos tipos de motores y del entorno de trabajo para poder elaborar propuestas de guiones de prácticas docentes.

Abstract

This project provides the necessary knowledge for the design of two interface modules that allow experimentation between the Lucas Nülle MCLS-modular training system equipped with the C515C microcontroller and stepper motors in unipolar and bipolar configuration. The main theoretical foundations of these types of engine and the work environment are also documented in order to propose training manuals for students.

Índex.

Índex de figures.....	V
Índex de taules.....	IX
Glossari de termes.....	XI
1. Objectius.....	1
1.1. Propòsit.....	1
1.2. Finalitat.....	1
1.3. Objecte.....	1
1.4. Abast.....	1
2. Fonaments teòrics dels motors pas a pas.....	3
2.1. Característiques funcionals.....	4
2.1.1. Angle de pas.....	4
2.1.2. Parell.....	4
2.1.3. Robustesa.....	5
2.1.4. Resistència i inductància de les bobines.....	6
2.2. Consideracions entre els diferents tipus de motors pas a pas.....	9
2.2.1. Motors de reluctància variable, d'imant permanent i híbrids.....	9
2.2.2. Unipolars i Bipolars.....	10
2.3. Motor de reluctància variable.....	10
2.4. Motor d'imant permanent.....	11
2.4.1. Motor unipolar.....	11
2.4.2. Motor bipolar.....	12
2.4.3 Motor de bobinats bifilars.....	13
2.5. Motors híbrids.....	14
2.6. Seqüències de control.....	15
2.6.1. Full-step.....	16
2.6.2. Half-step.....	16
2.6.3. Microstepping.....	17
2.7. Control de direcció del corrent.....	18
2.7.1. Controlador Unipolar.....	18
2.7.2. Controlador Bipolar.....	19
2.8. Control del corrent.....	20

2.8.1. Resistència limitadora del corrent.....	20
2.8.2. Control Chopper.....	21
3. Entrenador MCLS-modular basat en μC 8051.....	25
3.1. Presentació i descripció de l'equip de treball.....	25
3.2. Components del MCLS-modular.....	27
3.2.1. Mòdul PSD1-Flash.....	27
3.2.2. Unitat adaptadora.....	28
3.2.3. Plataforma S04000-1F.....	29
3.3. Característiques μC C515C.....	30
4. Disseny dels mòduls d'interfície.....	33
4.1. Mòdul d'interfície unipolar.....	33
4.1.1. Introducció i diagrama de blocs.....	33
4.1.2. Selecció de components.....	36
4.1.3. Esquema electrònic.....	38
4.1.4. Muntatge en protoboard i proves.....	40
4.1.5. Disseny PCB.....	41
4.2. Mòdul d'interfície bipolar.....	47
4.2.1. Introducció i diagrama de blocs.....	47
4.2.2. Selecció de components.....	48
4.2.3. Esquema electrònic.....	54
4.2.4. Muntatge en protoboard i proves.....	55
4.2.5. Disseny PCB.....	56
5. Aplicacions pràctiques.....	61
5.1. Entorn de treball IDE.....	61
5.2. Propostes de guions de pràctiques.....	62
6. Pressupost.....	65
6.1. Cost del prototip.....	65
6.1.1 Cost del material.....	65
6.1.2. Costos de recursos humans.....	66
6.1.3. Amortització equips, instrumental i software.....	66
6.1.4. Despeses indirectes.....	67
6.1.5. Cost de fabricació del prototip.....	67
6.2. Preu de venda en el mercat.....	68
6.2.1. Càlcul del cost total per unitat.....	68

6.2.2. Càlcul del preu de venda per unitat.....	68
7. Impacte mediambiental.....	69
8. Conclusions.....	71
9. Referències.....	73

Índex de figures.

Fig. 2.1. Circuit RL	7
Fig. 2.2. Transitoris del corrent en les interrupcions del circuit RL	7
Fig. 2.3. Forma d'ona del corrent per diferents freqüències en el circuit RL	8
Fig. 2.4. Esquema d'un motor PaP de reluctància variable	10
Fig. 2.5. Esquema d'un motor unipolar d'imant permanent	11
Fig. 2.6. Esquema d'un motor bipolar d'imant permanent	12
Fig. 2.7. Esquema d'un motor bifilar d'imant permanent	13
Fig. 2.8. Esquema d'un motor híbrid	14
Fig. 2.9. Motor PaP unipolar	15
Fig. 2.10. Motor PaP de reluctància variable	15
Fig. 2.11. Motor PaP bipolar	15
Fig. 2.12. Seqüència "one-phase-on", un sol bobinat del motor actiu en cada pas	16
Fig. 2.13. Seqüència "two-phase-on", dos bobinats del motor actius en cada pas	16
Fig. 2.14. Seqüència "Half-step"	16
Fig. 2.15. Esquema dels bobinats de 4 fases unipolar i de la direcció del flux	18
Fig. 2.16. Esquema de control de la direcció del corrent unipolar	19
Fig. 2.17. Esquema dels bobinats de 2 fases bipolar i de la direcció del flux	19
Fig. 2.18. Esquema de control de la direcció del corrent bipolar	19
Fig. 2.19. Esquema i forma d'ona del corrent limitat per resistència	21
Fig. 2.20. Pont H amb control chopper	22
Fig. 2.21. Formes d'ona del corrent de fase, de la font i dels polsos del control chopper	23
Fig. 2.22. Forma d'ona del corrent de fase amb control chopper	23

Fig. 3.1. Exemple d'entrenador MCLS-modular	25
Fig. 3.2. Una solució de concepte modular	26
Fig. 3.3. Modul PSD1-Flash	27
Fig. 3.4. Unitat adaptadora.....	28
Fig. 3.5. Plataforma S04000-1F	29
Fig. 3.6. Diagrama de blocs del C515C	31
Fig. 4.1. Crouzet 82910001.....	33
Fig. 4.2. Diagrama del disseny.....	33
Fig. 4.3. Diagrama de blocs funcionals de la interfície entre el motor PAP unipolar i l'MCLS.....	34
Fig. 4.4. Esquema bàsic del circuit de control unipolar	35
Fig. 4.5. Circuit de sortida bàsic del Ports 1 a 5 i 7.....	35
Fig. 4.6. Resistència R68 i 17W.....	37
Fig. 4.7. Mòdul amb array de leds per al MCLS.....	37
Fig. 4.8. Imatge, connexions del pins i diagrama esquemàtic del ULN2803A TTL/CMOS.....	37
Fig. 4.9. Imatge, diagrama esquemàtic del sensor òptic CNY70 i circuit de l'encoder	38
Fig. 4.10. Esquema del controlador per al motor unipolar PAP.....	39
Fig. 4.11. Programa UniPolar.asm desenvolupat amb l'entorn IDE	40
Fig. 4.12. Disseny PCB circuit unipolar.....	42
Fig. 4.13. Capa superior (TOP) de la PCB de la interície per al motor unipolar.....	43
Fig. 4.14. Capa inferior (BOT) de la PCB de la interície per al motor unipolar	44
Fig. 4.15. Capa d'acoblament (AST) de la PCB de la interície per al motor unipolar	45
Fig. 4.16. Capa de perforacions (DRL) de la PCB de la interície per al motor unipolar.....	46
Fig. 4.17. Motor HY200 3424.....	47
Fig. 4.18. Diagrama de blocs funcionals de la interfície entre el motor PAP bipolar i l'MCLS.....	47

Fig. 4.19. Diagrama de blocs funcionals de l'LMD18245 de Ti.....	48
Fig. 4.20. Circuit integrat L297 en format DIP20 i diagrama de blocs funcionals.....	49
Fig. 4.21. Circuit integrat L298 en format Multiwatt15 i diagrama de blocs funcionals.....	49
Fig. 4.22. Circuit de control bàsic per al motor PaP bipolar de dues fases.....	50
Fig. 4.23. Circuit oscil·lador RC.....	51
Fig. 4.24. Circuit Vref	51
Fig. 4.25. Esquema leds indicadors amb circuit inversor M74HC04	52
Fig. 4.26. Esquema jumpers per als senyals MODE i HALF/FULL.....	52
Fig. 4.27. Radiador SK88 de 75mm de Fischer Elektronik	53
Fig. 4.28. Esquema del controlador per al motor unipolar PAP	54
Fig. 4.29. Programa Bipolar.asm desenvolupat amb l'entorn IDE.....	55
Fig. 4.30. Disseny PCB circuit bipolar.....	56
Fig. 4.31. Capa superior (TOP) de la PCB de la interfície per al motor bipolar.....	57
Fig. 4.32. Capa inferior (BOT) de la PCB de la interfície per al motor bipolar	58
Fig. 4.33. Capa d'acoblament (AST) de la PCB de la interfície per al motor bipolar	59
Fig. 4.34. Capa de perforacions (DRL) de la PCB de la interfície per al motor bipolar.....	60
Fig. 5.1. Esquema funcionament IDE.....	61

Índex de taules.

Taula 2.1. Avantatges i desavantatges dels motors Pap	3
Taula 3.1. Característiques mòdul PSD1-Flash.....	27
Taula 3.2. Característiques unitat adaptadora 8 bits	28
Taula 3.3. Característiques de la plataforma S04000-1F.....	29
Taula 4.1. Especificacions per realitzar una PCB al Tecnocampus.....	41
Taula 6.1. Cost del material.....	65
Taula 6.2. Cost dels recursos humans.....	66
Taula 6.3. Cost de les amortitzacions	66
Taula 6.4. Cost del prototip	67
Taula 6.5. Cost total per unitat	68
Taula 6.6. Preu de venda per unitat	68

Glossari de termes.

DSP	Processador de senyals digitals
μ C	Microcontrolador
μ P	Microprocessador
PaP	Pas a pas
PCB	Printed circuit board
PWM	Modulació de l'ample de pols (<i>Pulse Width Modulation</i>)
THT	Tecnologia d'orifici passant (<i>Through hole technology</i>)
VRM	Variable Reluctance Motor

1. Objectius.

1.1. Propòsit.

Dissenyar dos mòduls d'accionament de motors pas a pas, un per a motors unipolars i l'altre per a motors bipolars, per l'entrenador MCLS modular amb el microcontrolador C515C que es basa en el μ C8051. També es pretén desenvolupar programari per a les rutines bàsiques d'accionament del motor, així com proposar guions per a pràctiques amb aquest entorn.

1.2. Finalitat.

Es busca crear una solució que possibiliti fer pràctiques amb l'entrenador MCLS-8051 per el control de motors pas a pas unipolars i bipolars.

1.3. Objecte.

El que s'obté és el prototip funcional i la memòria del disseny dels dos mòduls d'interfície.

1.4. Abast.

El disseny adapta solucions genèriques existents per al control de motors pas a pas a les especificacions pròpies de l'entrenador MCLS amb el microcontrolador C515C i els motors pas a pas unipolar Crouzet 82910001 i bipolar MAE HY200 3424. Es pensa per a ser construït en plaques de circuit imprès de mesures Eurocard 160x100mm. L'alimentació continua, tant de la circuiteria lògica a +5V, com del motor fins a +36V, és subministrada per una font externa.

El programari de les rutines d'accionament és únicament per a la comprovació del correcte funcionament de cada motor. Es deixa per una altra ocasió l'aprofundiment en totes les possibilitats de treball que aquests motors ofereixen.

Els enunciats de pràctiques proposats es citen a nivell orientatiu, sent objecte d'un altre estudi la concreció dels punts de treball així com l'elaboració dels seus guions.

2. Fonaments teòrics dels motors pas a pas.

El motor PaP és un dispositiu electromecànic que converteix una sèrie d'impulsos elèctrics en desplaçaments angulars discrets, el que significa que és capaç d'avançar una sèrie de graus depenent de les seves senyals d'entrada. Els motors pas a pas ocupen un lloc únic en el món del control al permetre posicionaments sense realimentació i són usats habitualment en mesuraments. Exemple d'aquestes aplicacions en són les impressores raig de tinta, màquines de control numèric computeritzat (CNC) i bombes volumètriques entre d'altres.

Avantatges dels motors PaP
1. L'angle de rotació és proporcional als polsos d'entrada.
2. El motor té parell màxim quan el mateix està enclavat (bobines energitzades), això permet mantenir una posició estacionària.
3. Exactitud en la posició i repetició de moviments. Els motors PaP tenen un error del 3 al 5% del pas i aquest error no és acumulatiu d'un pas a un altre.
4. Excel·lent resposta davant l'arrencada, la parada i el canvi de sentit de gir.
5. Molt fiable atès que no hi ha contacte de escombretes en el motor.
6. El motor respon a polsos d'entrada digitals, el que permet un control de llaç obert, fent un control més simple i barat.
7. És possible assolir una velocitat de rotació molt baixa en forma sincrònica amb càrrega acoblada directament sobre l'eix.
8. La velocitat no depèn de la càrrega mentre no es sobrepassi el parell màxim del motor.
9. Poden tenir un gran rang de velocitats de rotació, ja que la mateixa és proporcional a la freqüència dels polsos d'entrada.
Desavantatges dels motors PaP
1. Pot ocórrer un fenomen de ressonància si el motor no és controlat adequadament.
2. Molt difícil d'operar a altes velocitats, en alguns casos cal una rampa d'acceleració.
3. És necessària l'adequació del parell motor al parell resistent.

Taula 2.1. Avantatges i desavantatges dels motors Pap

Classes de motors pas a pas

Hi ha tres classes bàsiques de motors PaP:

- De reluctància variable
- D'imant permanent
- Híbrids

Els motors de reluctància variable tenen rotors dentats de ferro dolç, els d'imant permanent tenen magnetitzat el rotor mentre que els híbrids són una combinació d'ambdues tecnologies.

2.1. Característiques funcionals.

2.1.1. Angle de pas.

És una de les més importants, ja que està determinat per la resolució necessària en la nostra aplicació en particular. És inversament proporcional al nombre de passos per revolució, tal com es veu a (3.1). Els angles més comuns, per a motors d'imant permanent són entre 7.5° i 3.6°, corresponent de 48 a 100 passos per revolució respectivament. En els híbrids, la mida de pas típic va de 3.6° a 0.9°, és a dir de 100 a 400 passos per revolució. Alguns motors posseeixen caixes reductores que permeten aconseguir mida de passos menors, la qual cosa incrementa el parell disponible, a costa de reduir la velocitat final del motor.

$$\text{Angle de pas} = \frac{360^\circ}{N} = \frac{360^\circ}{N_{ph} \cdot Ph} \quad (2.1)$$

N: nombre de passos per revolució; N_{ph} : Nombre de pols del rotor; Ph: Nombre de fases

2.1.2. Parell.

Estàtic:

De retenció (detent torque): És el parell mínim necessari per rotar l'eix mentre els enrotllaments no estan energitzats.

De manteniment (holding torque): És el parell mínim necessari per rotar l'eix mentre els enrotllaments estan energitzats.

Dinàmic:

D'arrencada sense error (pull-in torque): És el parell mínim amb què un motor pot accelerar des de zero sense perdre passos a una freqüència de passos determinada.

Màxim de treball (pull-out torque): És el parell màxim amb que el motor pot accelerar des de zero sense perdre passos a una freqüència de passos determinada.

Totes o gairebé totes aquestes dades són proveïdes pel fabricant de cada motor.

Els parells dinàmics, pull in i pull out, són funció de la taxa de passos. Aquests són importants per determinar quan el motor pot perdre passos, i en aquest cas el controlador perd la posició del motor (control en llaç obert). Per tant, el motor ha de ser adequadament dimensionat per evitar que això passi o bé utilitzar un control en llaç tancat. El parell de pull in brindat pel motor depèn fortament del moment d'inèrcia de qualsevol càrrega rígida acoblada a aquest, la qual cosa és un problema donat que rarament es té coneixement exacte del moment d'inèrcia de la càrrega.

2.1.3. Robustesa.

Els motors pas a pas, per la seva naturalesa són molt robustos perquè no tenen escombretes. Típicament molts components del sistema es desgastaran abans que el motor ho faci. No obstant això, fins als millors motors fallen si no es prenen les consideracions apropiades. A continuació es llisten una guia de disseny que influeix en la longevitat del motor:

- Els motors han de triar-se de manera que treballin del 40 al 60% del seu parell màxim.
- Protegir el motor d'ambients abrasius: humitat, agents químics, brutícia, etc.
- Refrigeració adequada: Els motors generen calor, i aquest ha de ser dissipat. Per a motors que ja incloguin dissipadors de calor, s'ha d'assegurar la circulació de l'aire. En particular, els motors híbrids són particularment sensibles a la calor.
- Finalment, els motors han de ser manejats apropiadament. Cal tenir especial cura que no s'excedeixin els corrents en les bobines.

2.1.4. Resistència i inductància de les bobines.

Les bobines dels motors PaP estan fetes amb una gran quantitat de voltes de fil de coure. La resistència i inductància són dues propietats inherents a la construcció física de les bobines. Aquests dos factors bàsics també limiten les prestacions del motor.

La resistència del bobinatge és responsable de la major pèrdua d'energia, per tant de l'escalfament del motor. La mida i les característiques tèrmiques de les bobines limiten la màxima potència permesa. Aquesta potència es calcula tal com es veu a (2.2):

$$P_r = R \cdot I_m^2 \quad (2.2)$$

La inductància fa que les bobines del motor s'oposin als canvis de corrent, per tant això limita les altes velocitats, tal com es veu a la Fig. 2.1. Quan la tensió és aplicada, el corrent creix tal com es veu a (2.3):

$$i(t) = \frac{V}{R} \cdot \left(1 - e^{-t \frac{R}{L}} \right) \quad (2.3)$$

Inicialment el corrent creix amb una velocitat de V/L (pendent del corrent en el temps inicial). Aquesta velocitat decreix al apropar-se al valor final $I_{\max} = V/R$. On el valor de la constant de temps s'obté tal com es veu a (2.4):

$$\tau = \frac{L}{R} \quad (2.4)$$

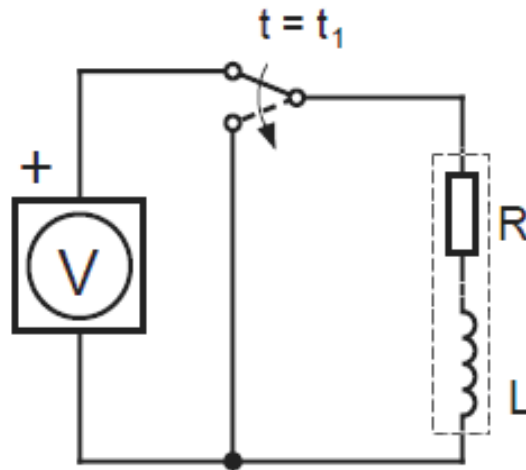


Fig. 2.1. Circuit RL

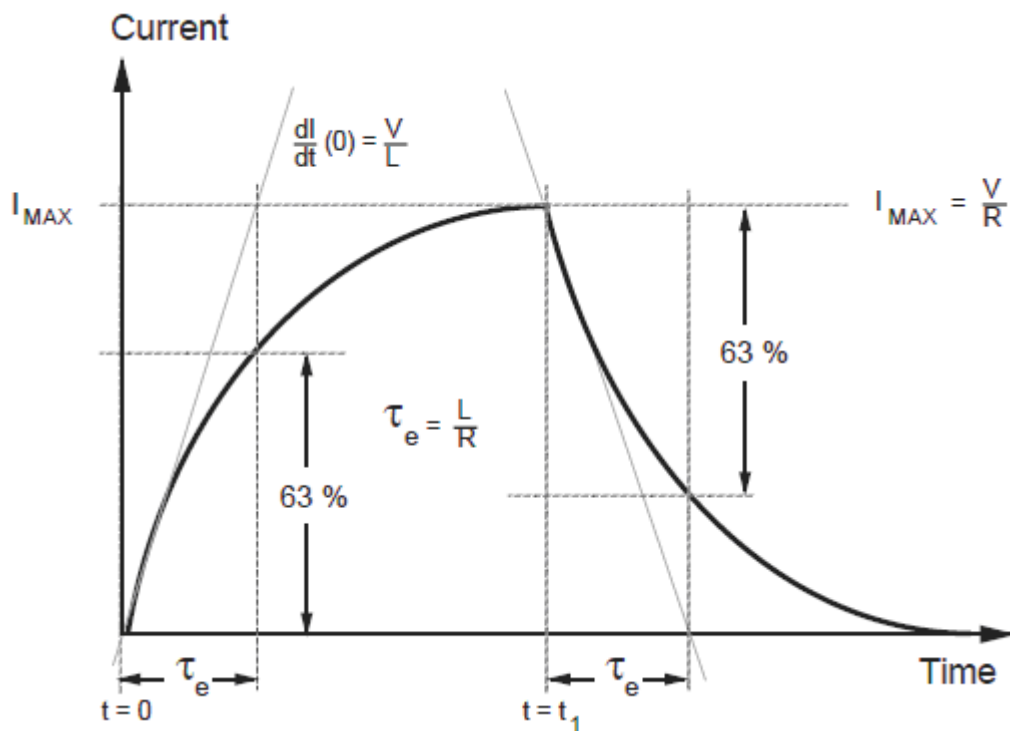


Fig. 2.2. Transitoris del corrent en les interrupcions del circuit RL.

Quan es posa en curt la bobina, tal com es veu a la Fig. 2.2, el corrent decreix amb el mateix pendent i d'acord amb la següent equació:

$$i(t) = \frac{V}{R} \cdot e^{-\frac{R}{L}t} \quad (2.5)$$

Tal com es veu a la Fig. 2.3, quan s'aplica un senyal de tensió d'ona quadrada el corrent varia en funció de la freqüència: Per sobre de la freqüència (B), com ara (C), el corrent mai arriba al màxim valor. El parell del motor és aproximadament proporcional al corrent, per tant el parell es veu reduït a mesura que s'incrementa la freqüència dels passos.

Per resoldre aquest problema hi ha dues possibilitats, incrementar la velocitat amb la que creix i decreix el corrent i/o baixar la constant de temps. Si s'opta per la segona en incrementar la resistència, hi ha sempre un augment de l'energia dissipada. És preferible que la relació V/L sigui incrementada per augmentar les prestacions a altes velocitats. Per això hem d'usar la tensió màxima possible i mantenir la inductància al mínim.

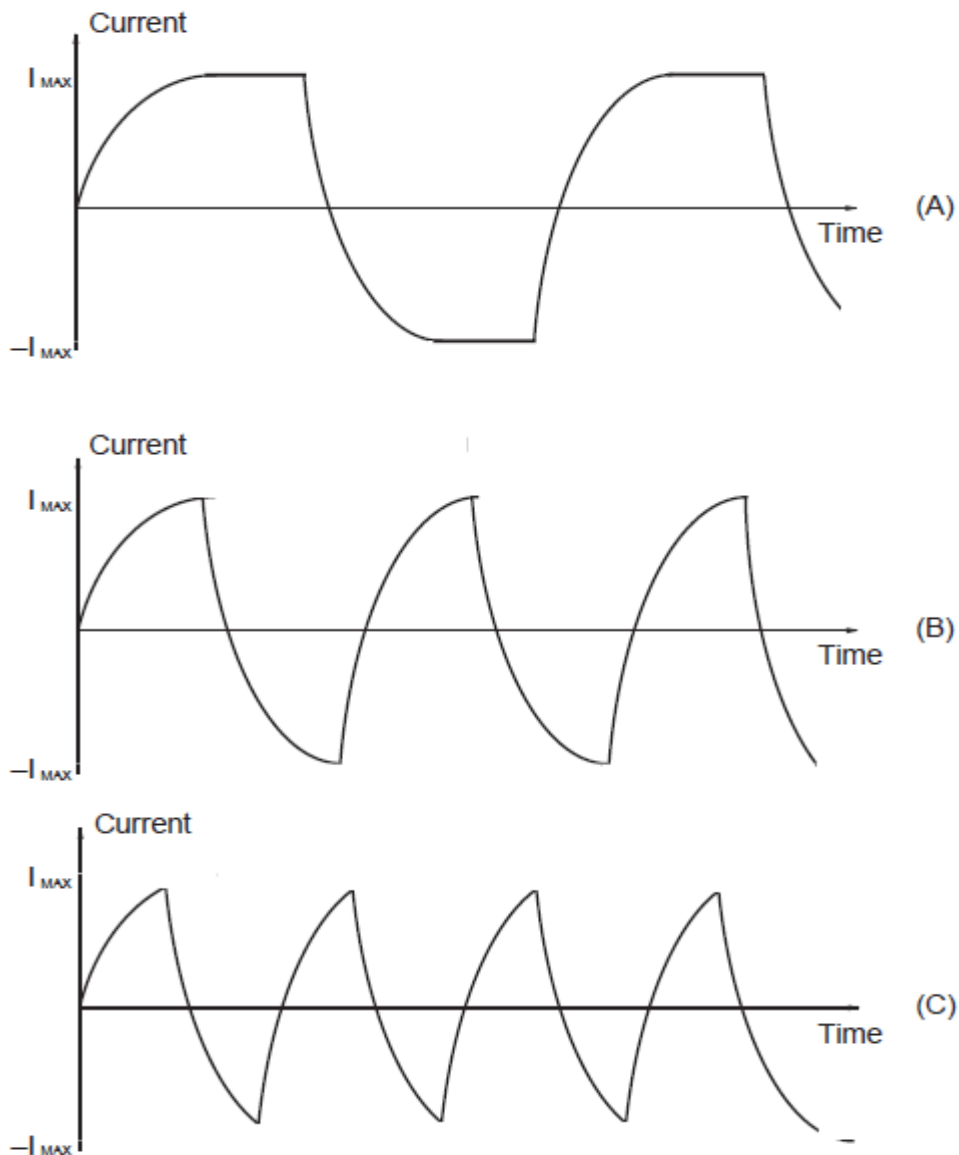


Fig. 2.3. Forma d'ona del corrent per diferents freqüències en el circuit RL

2.2. Consideracions entre els diferents tipus de motors pas a pas.

2.2.1. Motors de reluctància variable, d'imant permanent i híbrids.

Els motors VRM tenen un disseny simple, ja que no precisen d'un rotor d'imant permanent complex i són generalment més robusts. En tots els motors, el parell decreix amb la velocitat, però aquesta caiguda és menys pronunciada en els VRM, que poden assolir velocitats de 10.000 passos per segon, mentre que pocs motors d'imant permanent o híbrids ofereixen un parell útil a 5000 passos per segon (la majoria treballa a velocitats per sota de 1000 passos per segon). La baixa disminució del parell amb la velocitat en els VRM permet l'ús d'aquests motors sense necessitat de caixes reductores.

Els VRM són molt més sorollosos que els d'imant permanent o híbrids. A diferència dels VRM, els motors d'imant permanent i els híbrids, quan es giren manualment en absència d'alimentació deixen sentir l'efecte de l'eix dentat. Això es deu al fet que l'imant permanent en aquests motors atrauen els pols de l'estator tot i que no hi hagi alimentació. Aquest romanent magnètic és desitjable en algunes aplicacions, però pot ser font de problemes quan es vol un moviment més suau. Tant els d'imant permanent com els híbrids, són aptes per al control microstep, permetent el posicionament en fraccions de pas i no és així en els VRM. És necessari un limitador de corrent complex per fer aconseguir altes velocitats en els VRM.

En el moment de triar entre un motor híbrid i un d'imant permanent, els dos aspectes fonamentals a tenir en compte són el cost i la resolució. El mateix control electrònic i connexions són aplicables a ambdós tipus de motors. Els motors d'imant permanent són els més econòmics que es poden trobar al mercat, atès que són més senzills de bobinar que els motors híbrids o els VRM.

Els motors híbrids pateixen alguns dels problemes de vibració propis dels VRM, però no tan acusant. Generalment poden girar-se a velocitats superiors que els d'imant permanent, però, molt pocs ofereixen un parell útil per damunt dels 5000 passos per segon.

2.2.2. Unipolars i Bipolars.

Els motors PAP d'imant permanent i híbrids poden tenir configuració unipolar o bipolar. L'elecció al moment d'usar unipolar o bipolar es basa en la relació entre la simplicitat del controlador i la potència respecte de la càrrega. Els motors bipolars tenen aproximadament 30% més de parell que el seu equivalent unipolar per un mateix volum. Això és degut a que en els motors unipolars, només la meitat del bobinatge està energitzat en un instant de temps i en els motors bipolars, tot el bobinatge és energitzat. El major parell en el motors bipolars, no és gratuït, ja que precisa d'una electrònica de control més complexa, i això tindrà impacte en el cost de l'aplicació. Davant del dubte, motors unipolars són una bona opció, ja que aquests poden ser configurats com a unipolars o bipolars.

2.3. Motor de reluctància variable.

Tenen de 3 a 5 bobines connectades a un terminal comú. Tal com es veu a la Fig. 2.4, es mostra un tall transversal d'un motor VRM de tres bobines i 30° d'angle de pas. El rotor té 4 dents i l'estator 6 pols, amb cada bobina enrotllada sobre dos pols oposats.

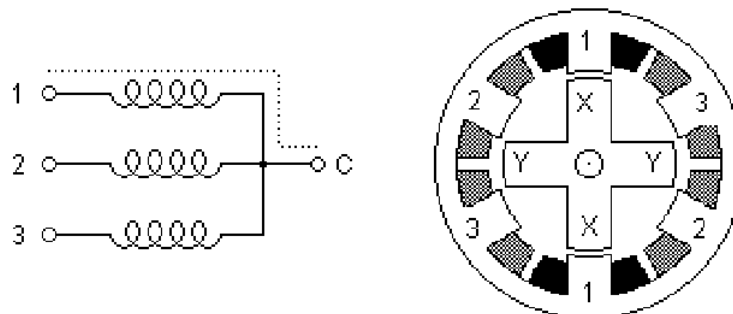


Fig. 2.4. Esquema d'un motor PaP de reluctància variable

Les dents de rotor marcats amb una X són atrets a la bobina 1 quan aquesta és activada. L'atracció és causada pel camí magnètic del flux generat al voltant de la bobina i el rotor. El rotor experimenta una torsió i es mou fins alinear-se amb les bobines energitzades, minimitzant el camí de flux. El moviment del motor és en el sentit de les agulles del rellotge quan la bobina 1 és apagada i la bobina 2 és energitzada, les dents de rotor marcats amb la Y són atrets cap a la bobina 2. Aquest és en un gir de 30° en el sentit de les agulles

del rellotge un cop Y s'alinea amb la bobina 2. S'aconsegueix un gir continu cap a la dreta, al energitzar i desenergitzar en seqüència les bobines al voltant de l'estator.

Tal com es veu a la Fig. 2.4, s'il·lustra el motor reluctància variable més bàsic. A la pràctica, aquests motors típicament tenen més pols i dents per aconseguir angles de pas més petits. El nombre de pols pot incrementar afegint bobines, per exemple, passant a 4 o 5 bobines, però per a petits angle de pas, la solució habitual és utilitzar trossos de pols dentats que treballin contra un rotor dentat. Els motors de reluctància variable que fan servir aquest disseny, permeten angles de pas propers a un grau.

2.4. Motor d'imat permanent.

2.4.1. Motor unipolar.

Els motors PAP estan formats per dues bobines amb punt mig; aquest punt s'extreu fora del motor a través d'un sol fil o de dos fils separats, tal com es veu a la Fig. 2.5. Com a resultat aquests motors unipolars tenen 5 o 6 cables. Els cables dels punts mitjos, es connecten a la font d'energia i els finals de les bobines es connecten seqüencialment a terra.

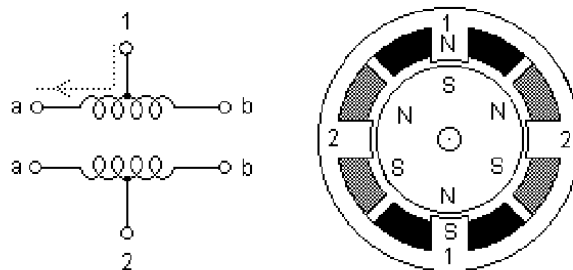


Fig. 2.5. Esquema d'un motor unipolar d'imat permanent

Els motors PAP unipolars, tant els d'imat permanent com els híbrids, operen de manera diferent als motors de reluctància variable. Funcionen per la reducció al mínim de la longitud del camí del flux entre els pols de l'estator i les dents de rotor, o sigui per l'atracció del pol nord o del pol sud del rotor permanentment magnetitzat als pols de l'estator.

Així, en aquests motors, la direcció del corrent per l'enrotllament de l'estator determina

quin pol del rotor serà atret a quin pol de l'estator. La direcció del corrent en els motors PAP unipolars depèn de la meitat de la bobina que és energitzada. Físicament, les meitats de les bobines són enrotllades paral·lelament una amb l'altra. Per tant, una bobina actua tant com pol nord o pol sud depenent de quina bobina és energitzada. La figura anterior mostra la secció transversal d'un motor unipolar de 30° per fase. L'enrotllament 1 és distribuït entre la part superior i inferior dels pols de l'estator, mentre l'enrotllament 2 és distribuït entre els pols de l'esquerra i la dreta de motor. El rotor és un imant permanent amb sis pols, tres pols nord i tres pols sud, tal com es veu a la Fig. 2.5, on s'il·lustra el motor unipolar més bàsic. Per resolucions angulars més grans, el rotor ha de tenir més pols. S'han construït rotors d'imant permanent amb 100 pols. Quan el rotor té una alta quantitat de pols, els pols de l'estator són sempre dentats perquè cada bobina de l'estator treballi contra un nombre gran de pols del rotor.

2.4.2. Motor bipolar.

Els motors PAP bipolars estan compostos per dues bobines i tenen quatre cables. A diferència de motors unipolars, els bipolars no tenen punt mig. L'avantatge de no tenir punt mitjà és que el corrent circula per una bobina sencera al mateix temps en comptes de per mitja bobina. Com a resultat, els motors bipolars produeixen més moment de rotació que els motors unipolars de la mateixa mida. L'inconvenient dels motors bipolars, comparats amb els motors unipolars és que el circuit de control requerit és més complex. El flux de corrent en la bobina d'un motor bipolar és bidireccional. Això requereix un canvi de la polaritat dels bobinats.

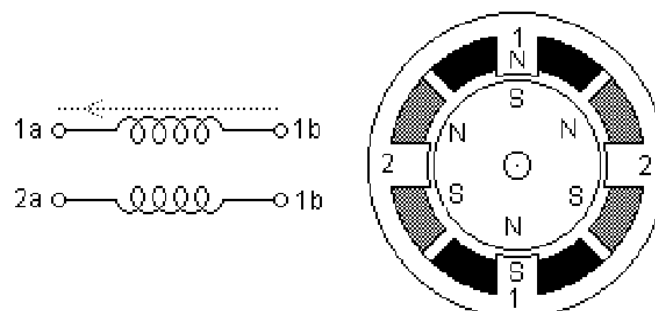


Fig. 2.6. Esquema d'un motor bipolar d'imant permanent

Tal com es veu a la Fig. 2.6, el corrent fluirà de l'esquerra a la dreta en la bobina 1 quan 1a és positiu i 1b és negatiu. El corrent fluirà en la direcció contrària quan la polaritat és

canviada. Un circuit de control conegut com Pont H, és usat per canviar la polaritat sobre els bobinats. Cada motor bipolar té dos bobinats, per tant, es necessiten dos circuits Pont H per a cada motor.

Tal com es veu en la Fig. 2.6, es mostra un motor bipolar de 30° per pas. La bobina 1 del motor és distribuïda entre la part superior i inferior de l'estator, mentre que la bobina 2 del motor està distribuïda entre els pols de l'esquerra i la dreta de l'estator. El rotor és un imant permanent amb 6 pols, 3 sud i 3 nord alineats al seu voltant en circumferència.

2.4.3 Motor de bobinats bifilars.

El terme bifilar literalment significa dos filaments. Els motors amb bobines bifilars són idèntics en el rotor i l'estator als motors bipolars amb una excepció, cada bobina és construïda de dos cables paral·lels bobinats. Com a resultat, els motors bifilars normalment tenen 8 cables en comptes dels 4 cables d'un motor bipolar.

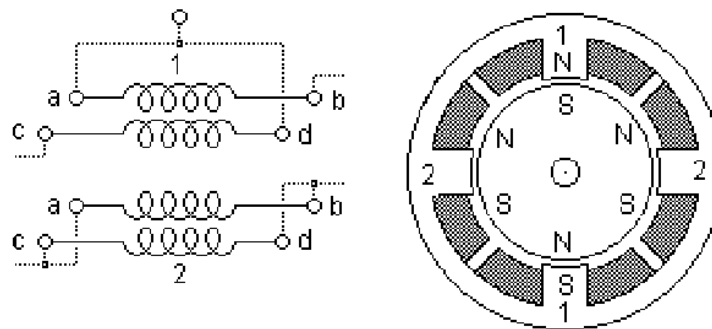


Fig. 2.7. Esquema d'un motor bifilar d'imant permanent

Els motors bifilars són controlats com els motors bipolars o els unipolars.

Per utilitzar un motor bifilar com un unipolar, es connecten les bobines en sèrie, i el punt de connexió s'utilitza com a punt mitjà. Tal com es veu a la Fig. 2.7, es mostra aquesta configuració en la connexió de la bobina 1.

Per utilitzar un motor bifilar com un bipolar, es connecten els dos extrems de cada bobina en paral·lel o en sèrie. Tal com es veu a la Fig. 2.7, es mostra en la bobina 2 la configuració de la connexió paral·lel. Una connexió paral·lel permet operar amb alta corrent, mentre que una connexió sèrie permet operar amb alta tensió.

De manera interessant, els motors unipolars també poden ser bobinats usant enrotllaments bifilars de manera que la connexió externa serveix com a punt mitjà. Com a resultat, els motors unipolars poden ser usats com un motor bipolar amb el mateix el voltatge i la meitat del corrent nominals especificats per al motor.

2.5. Motors híbrids.

Els motors híbrids comparteixen les principals característiques dels PAP d'imants permanents i dels de reluctància variable. El rotor d'un motor híbrid és multidentat tal i com es veu a la Fig. 2.8, igual que el motor de reluctància variable, i conté un imant axialment magnetitzat i concèntric al voltant del seu eix. Les dents sobre el rotor proporcionen un camí que ajuda a dirigir el flux magnètic a posicions preferides en el buit d'aire. L'imant magnètic concèntric augmenta el fre mecànic, l'adherència i les característiques dinàmiques de torsió del motor són comparables tant amb els de reluctància variable com amb els d'imant permanent. Es poden trobar en les configuracions: unipolar, bipolar i amb bobinats bifilars.

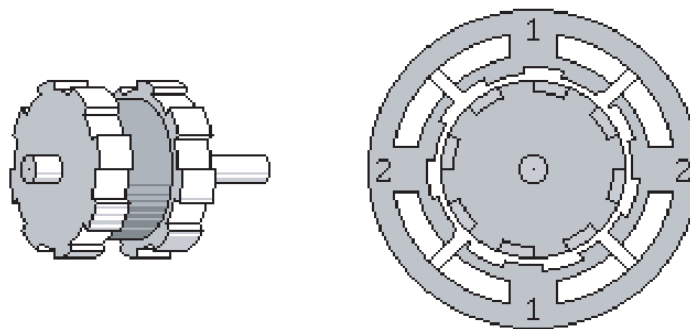


Fig. 2.8. Esquema d'un motor híbrid

2.6. Seqüències de control.

Els motors unipolars, tal com es veu en la Fig. 2.9, i els de reluctància variable, tal com es veu en la Fig. 2.10, es controlen fent servir les mateixes seqüències que els bipolars, la diferència radica en que el Pont en H és substituït per 4 transistors Darlington discrets o per un circuit integrat Quad Darlington Array.

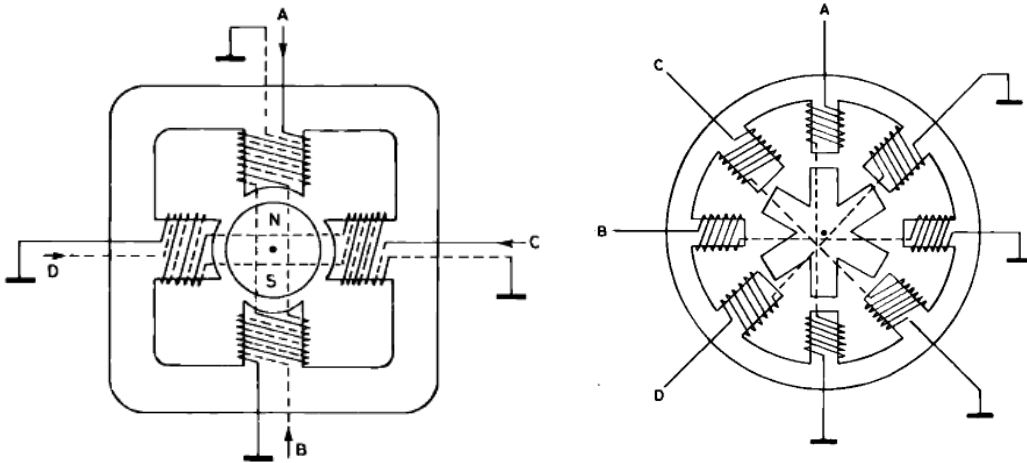


Fig. 2.9. Motor PaP unipolar

Fig. 2.10. Motor PaP de reluctància variable

Amb un adreçament adequat, en seqüències, del corrent per les bobines s'aconsegueix que el motor giri controladament. A continuació es mostra quines són les seqüències de control utilitzades en el cas del motor bipolar, l'esquema és tal com es veu en la Fig. 2.11:

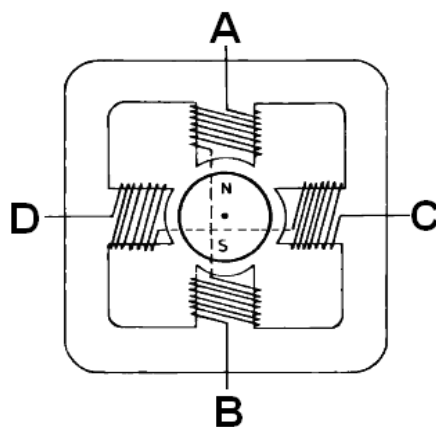


Fig. 2.11. Motor PaP bipolar

2.6.1. Full-step.

Un mètode és donar energia a les bobines en la seqüència i els sentits: AB / CD / BA / DC. Aquesta seqüència de passos complets es coneix com “one-phase-on” (sols una bobina activa). Tal com es veu a la Fig. 2.12, una sola bobina és la que lliura el parell necessari.

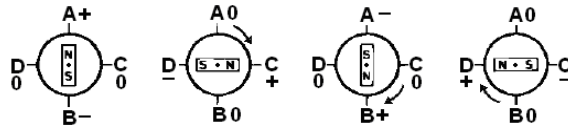


Fig. 2.12. Seqüència “one-phase-on”, un sol bobinat del motor actiu en cada pas

Una altra possibilitat és energitzar dues bobines al mateix temps, en aquest cas el rotor s’alinea entre les posicions dels dos pols tal com es veu a la Fig. 2.13. Aquesta manera d’operació es diu “two-phase-on” i s’utilitza habitualment atès que maximitza el parell.

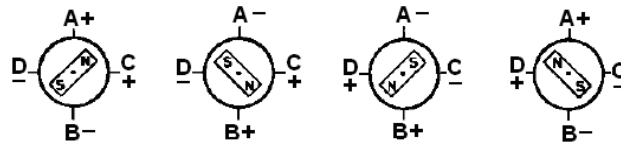


Fig. 2.13. Seqüència “two-phase-on”, dos bobinats del motor actius en cada pas

2.6.2. Half-step.

La tercera opció, tal com es veu a la Fig. 2.14, és utilitzar les dues anteriors de forma conjunta, aconseguint situar el rotor en un pol, després entre els pols i rotar novament cap al següent pol. Aquesta manera d’operació s’anomena “half-step” atès que es mou en increments de mig pas.

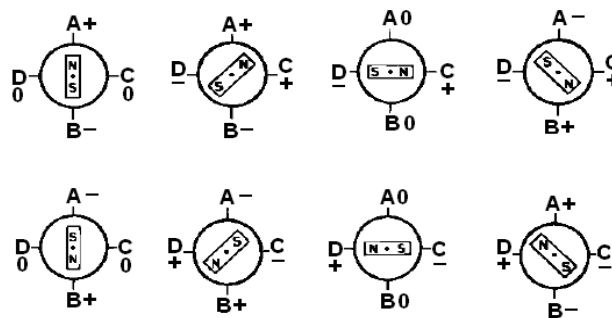


Fig. 2.14. Seqüència “Half-step”

2.6.3. Microstepping.

Si es fa girar al motor a passos únics, el seu moviment és a batzegades, especialment quan la velocitat és baixa. El microstepping és usat per incrementar la resolució del pas i transicions més suaus entre aquests. En la majoria de les aplicacions, el microstepping augmenta les prestacions del sistema, mentre limita els problemes de soroll i ressonància.

El microstepping, es basa en el principi de transferir el corrent d'una espira a una altra gradualment. Això s'aconsegueix amb la PWM de la alimentació en les bobines. El cicle de treball del senyal que energitza a una bobina creix, mentre que en una altra bobina decreix.

És desitjable, que el moviment d'un motor pas a pas sigui lineal. Això significa que els passos han de ser del mateix ample sense que es noti acceleració o desacceleració en l'eix mentre el motor gira. Una tècnica coneguda com microstepping sinus-cosinus, ajusta el corrent en cada bobina, de manera que el parell resultant sigui constant. En un motor ideal, el parell produït per cada bobina, és proporcional al corrent sobre la mateixa, i els parells es sumen linealment. La saturació i l'efecte de camp sobre la vora fan no ideals als motors reals, encara que en la pràctica es poden menysprear.

Una segona manera d'implementar el microstepping maximitza el parell en els motors, tot i que aquest no és constant mentre el motor gira. En aquest mètode, una bobina és energitzada mentre que el corrent en l'altra bobina baixa, s'inverteix i torna a créixer. La segona bobina roman llavors energitzada mentre que la primera bobina passa per la polaritat inversa. Amb aquest mètode, també s'aconsegueix un moviment suau del motor, canviant el corrent en les bobines de manera sinusoidal.

En un motor ideal, el microstepping pot ser usat per assolir una resolució angular arbitràriament petita, però en la realitat, la fricció i les separacions de la corba del parell sinusoidal ideal respecte l'angle de l'eix el fan impracticable. A la pràctica rarament val la pena subdividir el pas d'un motor en més de 32 microsteps. Usant 32 microsteps per pas, podem fer increments de $0,23^\circ$ usant un motor econòmic d'imant permanent amb $7,5^\circ$ de pas. Podem aconseguir la mateixa resolució usant una caixa reductora de 01:32.

2.7. Control de direcció del corrent.

Els controladors per a motors PaP han de complir dos objectius principals:

- Canviar la direcció del corrent i flux magnètic en les fases del motor.
- Controlar el corrent sobre el bobinat, minimitzar el temps de pujada i baixada del corrent tant com sigui possible, per a altes prestacions a altes velocitats.

Control de direcció del flux magnètic:

El control dels passos d'un motor PAP requereix que es produeixi un canvi de direcció del flux, independentment en cada fase.

2.7.1. Controlador Unipolar.

El controlador unipolar requereix que el bobinatge tingui un punt mitjà accessible o dues bobines separades per cada fase, tal com es veu a la Fig. 2.15. La direcció del flux s'inverteix en passar el corrent de mitja bobina cap a l'altra mitja.

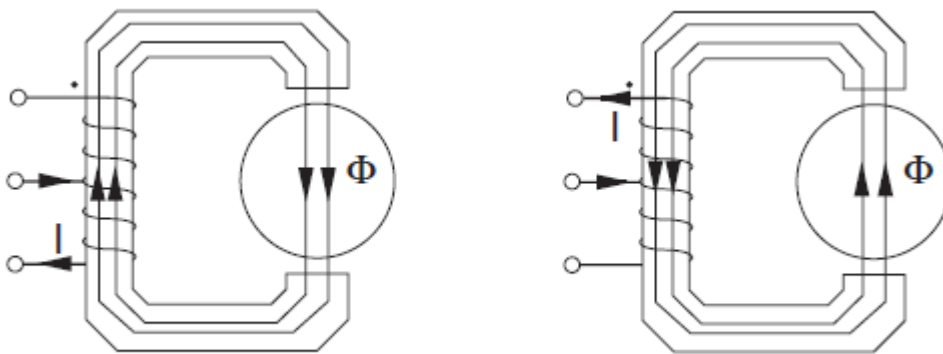


Fig. 2.15. Esquema dels bobinats de 4 fases unipolar i de la direcció del flux

Aquest mètode només requereix dos interruptors per fase, tal com es veu a la Fig. 2.16. D'altra banda, els controladors unipolars utilitzen només la meitat del bobinatge, de manera que tenen la meitat de potència respecte a un de bipolar amb la mateixa tensió aplicada.

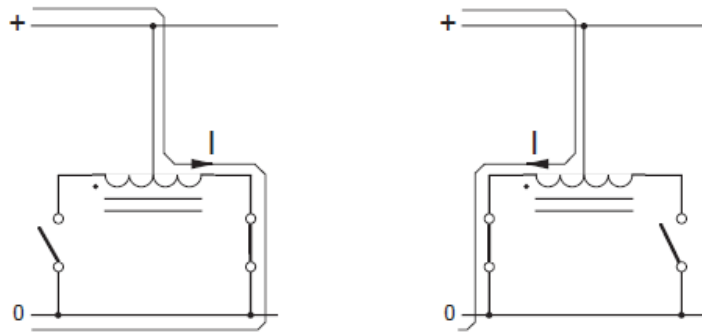


Fig. 2.16. Esquema de control de la direcció del corrent unipolar

2.7.2. Controlador Bipolar

El mètode bipolar es basa en el principi amb el qual es canvia la direcció del corrent sobre un bobinatge en canviar la polaritat de la tensió aplicada, tal com es veu a la Fig. 2.17.

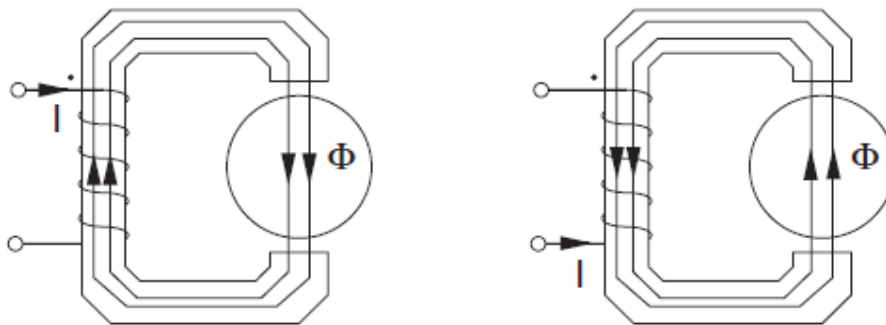


Fig. 2.17. Esquema dels bobinats de 2 fases bipolar i de la direcció del flux

Per canviar la polaritat es necessiten un total de quatre interruptors per fase, formant el que s'anomena un pont H, tal com es veu a la Fig. 2.18.

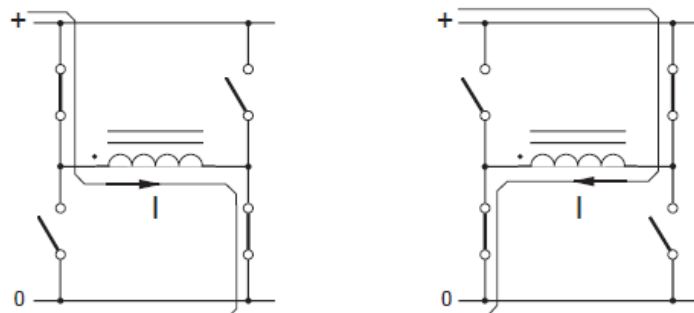


Fig. 2.18. Esquema de control de la direcció del corrent bipolar

2.8. Control del corrent.

Per controlar el parell així com també limitar la dissipació de potència en la resistència del bobinatge, el corrent ha de ser controlat o limitat. És més, quan s'utilitza mig pas, és necessari un valor de corrent nul, mentre en el cas de microstepping es requereix un corrent variable gairebé tot el temps. Hi ha dos principis per limitar el corrent, resistència limitadora de corrent i control Chopper. Qualsevol mètode pot funcionar tant en configuració unipolar com bipolar.

2.8.1. Resistència limitadora del corrent.

En aquest mètode bàsic, el corrent és limitat per la font d'alimentació i la resistència del bobinatge, i si és necessari per una resistència addicional, externa al motor, anomenada resistència limitadora de corrent, R_{ext} . Pel que el corrent màxim queda definit tal com es veu a (2.5):

$$I_{m\grave{a}x} = \frac{V_{font}}{R_{motor} + R_{ext}} \quad (2.6)$$

Si la tensió aplicada és la mateixa que la tensió nominal, llavors no és necessària la utilització d'una resistència extra. Per a certs motors, una millora en el seu comportament a altes velocitats s'aconsegueix incrementant la tensió aplicada. En augmentar aquesta tensió, cal limitar el corrent al valor nominal mitjançant una resistència limitadora que s'ha d'afegir en sèrie amb el bobinatge. Llavors la constant de temps disminueix, de manera que baixa el temps de pujada del corrent, tal com es veu a (2.6) i a la Fig. 2.19.

$$\tau = \frac{L}{R + R_{Ext}} \quad (2.7)$$

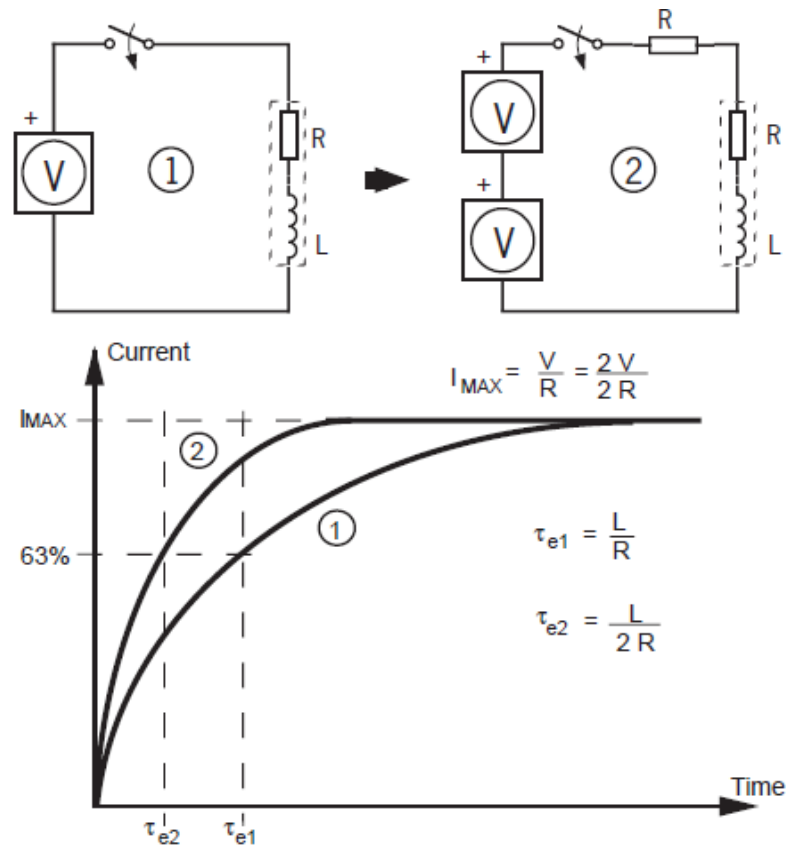


Fig. 2.19. Esquema i forma d'ona del corrent limitat per resistència

El problema d'utilitzar aquest mètode és la potència que es dissipa en el resistor addicional. En molts casos, és molt considerable el valor de la potència dissipada en els resistors i per això cal tenir especial cura amb la grandària dels resistors i la seva correcta ventilació.

2.8.2. Control Chopper.

El control chopper és una solució òptima per a tots dos requeriments, control de corrent i ràpida resposta a la inversió del corrent. La idea bàsica és utilitzar una font de tensió la qual lliura una tensió molt més alta que la tensió nominal del motor. La velocitat de pujada del corrent és inicialment V/L , la qual pot ser incrementada substancialment. Controlant el cicle de treball del chopper, es pot obtenir un corrent mig i una tensió mitjana propera a la nominal.

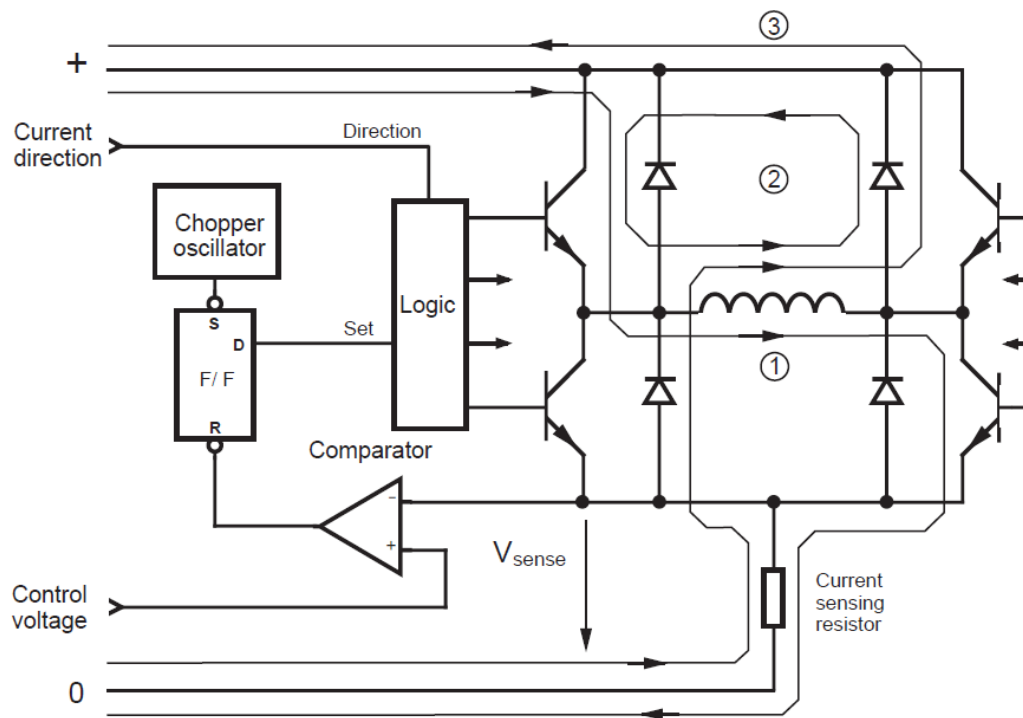


Fig. 2.20. Pont H amb control chopper

El control chopper, tal com es veu a la Fig. 2.20, és usualment configurat per regular un corrent constant. Això s'aconsegueix mitjançant el control en l'etapa de sortida. Això es realitza mitjançant el sensat del corrent a través del bobinat gràcies a una resistència connectada en sèrie amb el mateix. Quan el corrent augmenta, la tensió en la resistència realimenta el comparador i a partir d'un nivell predeterminat, definit per una tensió de referència, el comparador restableix el flip-flop el qual obre l'etapa de sortida. Llavors el corrent decreix fins que l'oscil·lador canvia l'estat la bàscula F/F novament, la qual tanca l'etapa de sortida repetint així el cicle.

L'avantatge d'un control de corrent constant és el control precís del parell, més enllà de les variacions de la font. També ofereix el mínim temps possible en les inversions de corrent i en el temps de pujada. La potència dissipada és minimitzada, tal com es veu a la Fig. 2.21.

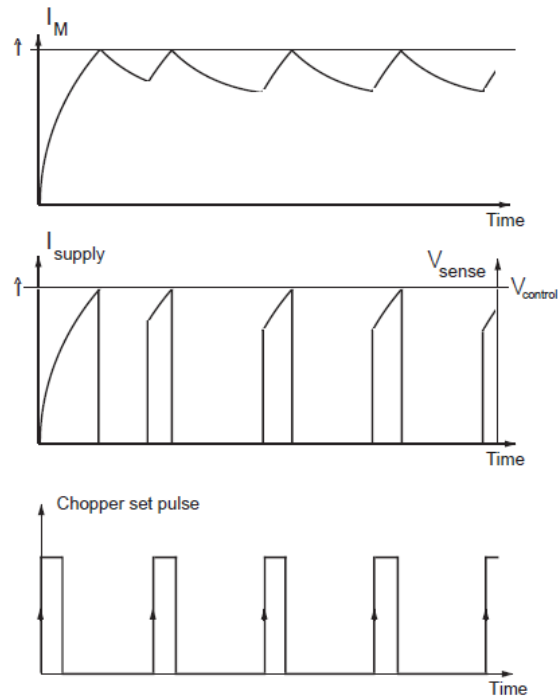


Fig. 2.21. Formes d'ona del corrent de fase, de la font i dels polsos del control chopper

Depenent de com estiguin els interruptors en el pont H, tal com es veu a les Fig. 2.20 i 2.22, el corrent pot recircular a través d'un transistor i un díode (trajecte 2), donant una caiguda lenta del corrent, o recircular el corrent de tornada cap a la font (trajecte 3). L'avantatge de retornar la potència a la font és que el corrent decau ràpidament. El desavantatge amb la ràpida caiguda de corrent és que es veu incrementat el ripple de corrent, el qual pot causar pèrdues en el motor.

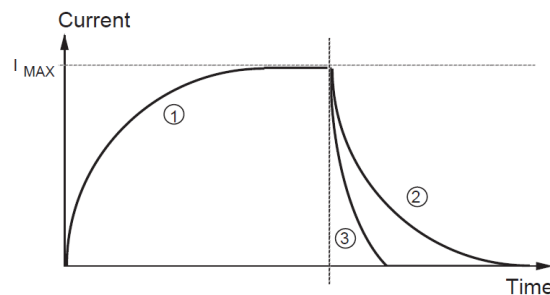


Fig. 2.22. Forma d'ona del corrent de fase amb control chopper

Els ponts H tenen un perill inherent, que cal esmentar. Sota cap circumstància, els transistors del mateix costat del pont poden ser commutatats simultàniament, ja que es provocarien danys en el circuit de control.

3. Entrenador MCLS-modular basat en μC 8051.

3.1. Presentació i descripció de l'equip de treball.

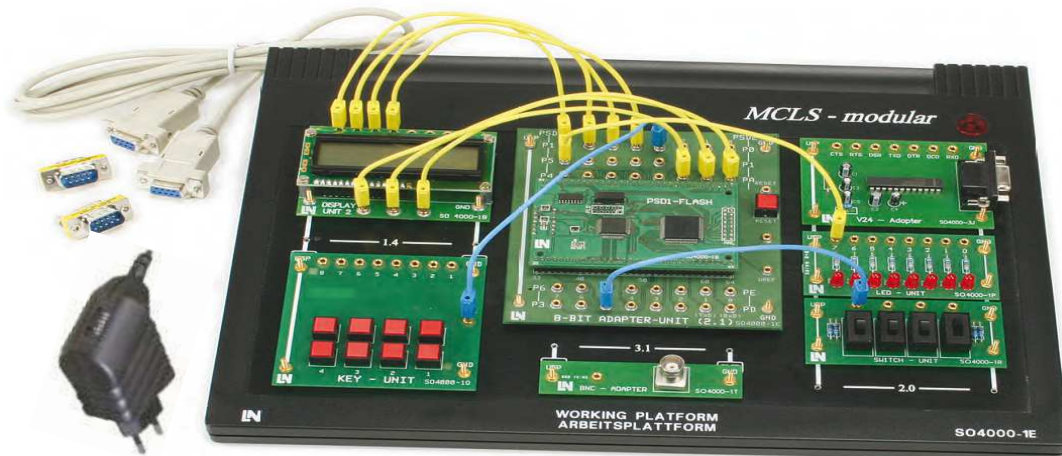


Fig. 3.1 Exemple d'entrenador MCLS-modular

L'equip que s'utilitzarà al qual cal adaptar els mòduls d'interfície per als motors unipolar i bipolar, és el fabricat per LUCAS-NÜLLE, que en base a la situació de mercat i a la demanda dels centres de formació, ha creat un sistema d'ensenyament i entrenament en microcontroladors per mòduls adaptable.

Les seves principals característiques són:

1. Arquitectura de hardware oberta, es a dir:

- Accepta μC , μP i DSP de diferents fabricants (Infineon, Motorola, ATMEL, MICROCHIP, Texas Instruments, etc.) de manera intercanviable i actualitzable.
- Profunda selecció ampliable de components perifèrics de hardware (mòduls d'experimentació) com ara: convertidors A/D o D/A, displays, teclats, leds, etc.
- Estructura configurable lliurement per la realització d'experiments i assajos.
- Els components perifèrics de hardware poden ser complementats lliurement.

2. En quant al software de programació dels controladors:

- Interfície d'usuari (IDE) homogènia para Windows NT, 2000 i XP. Per a altres sistemes és necessària l'instal·lació d'una màquina virtual que permeti executar-la.
- La seva instal·lació no suposa grans requeriments per als PC actuals.
- Connexió RS-232 (pot ésser canviada a USB a través d'adaptador).
- Es disposa de suport directe a través de Internet.
- Fiabilitat i robustesa en l'ús en entrenaments i pràctiques.
- Permet estructurar els assajos de forma sistemàtica i ergonòmica.
- Possibilita el seguiment dels senyals amb instruments de mesura i anàlisi.
- Utilitzable com a plataforma de desenvolupament.

Aquesta estructura és adequada a les exigències especials del camp de la formació. La llarga vida útil del sistema, així com la possibilitat d'adquirir components, complementar-los i modernitzar-los, ajuda considerablement a minimitzar costos i cuidar recursos.

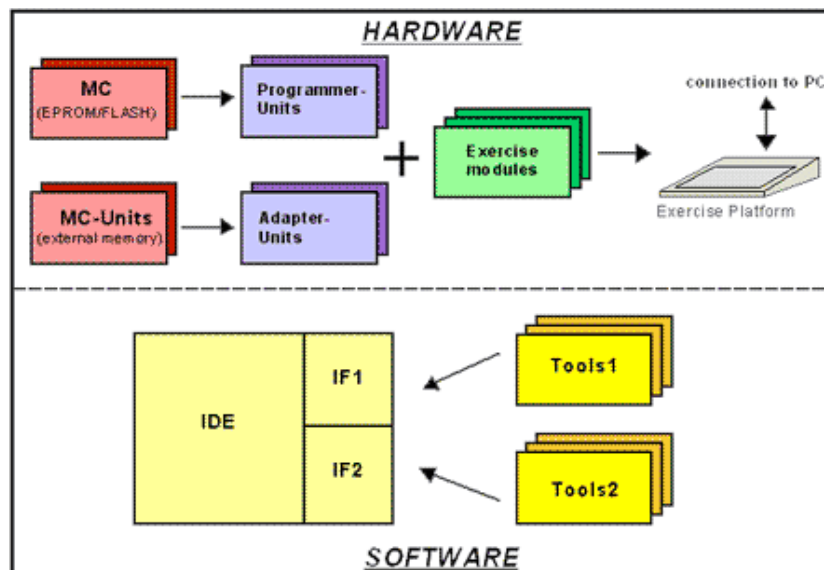


Fig. 3.2 Una solució de concepte modular

3.2. Components del MCLS-modular.

3.2.1. Mòdul PSD1-Flash



Fig. 3.3 Modul PSD1-Flash

El mòdul PSD1-Flash és un mòdul de microcontrolador complet de tecnologia de muntatge superficial (SMD) amb el controlador C515C de Infineon Technologies AG. El microcontrolador ha estat ampliat a través del xip de suport amb memòria RAM i Flash per a la programació C i per a la utilització en el sistema d'entrenador en μC . Altres components addicionals són un convertidor de nivell per a la comunicació sèrie i un circuit especial per a la generació del senyal de Reset. Les connexions externes del C515C s'han reduït mitjançant el chip auxiliar PSD854F2 de la companyia STMicroelectronics a 20 línies de port programables. A més a més, el mòdul PSD1-Flash també es compatible amb el mòdul PSD1. A continuació es detallen les principals dades tècniques del mòdul.

Tensió de servei:	+5 V / 0,035A
Interfície sèrie:	TxD RxD compatible amb RS232
Microcontrolador:	Infineon C515C
Joc d'instruccions:	compatible amb 8051
Freqüència:	6MHz
Ports:	4 ports bidireccionals convertidor A/D de 10 bits amb 8 entrades multiplex 3 temporitzadors programables de 16 bits controlador full CAN entrada per tensió de referència
Memòria externa:	256kByte Flash 32kByte sRAM
Depuració:	a través de monitor de destí d'alt rendiment (on-board)

Taula 3.1. Característiques mòdul PSD1-Flash

3.2.2. Unitat adaptadora.

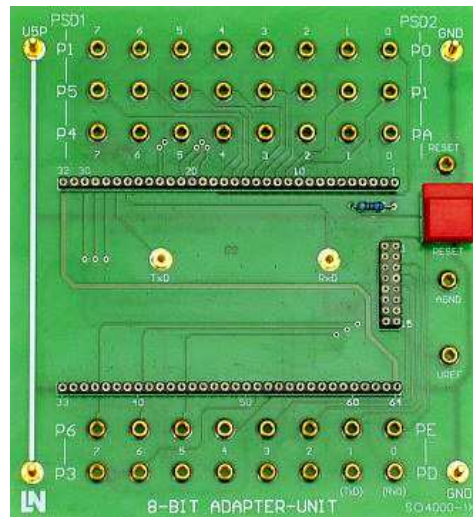


Fig. 3.4 Unitat adaptadora

La unitat adaptadora de 8 bit serveix per a l'allotjament del mòdul del microcontrolador descrit anteriorment amb la finalitat principal de tancar contactes amb la perifèria on-chip del microcontrolador. A més, mitjançant la unitat adaptadora es realitza la connexió en sèrie del mòdul microcontrolador i de la plataforma d'experimentació i posa a disposició una sortida central de Reset per mòduls d'experimentació i l'accés als recursos de connexió disponibles del microcontrolador. Les diferents unitats d'adaptador són per a la programació de μC amb memòria de programes EEPROM o FLASH i les unitats d'usuari. Es poden utilitzar en cada unitat d'adaptador diversos mòduls de microcontrolador amb diferents μC . A continuació es mostren les principals característiques:

Tensió de servei:	+5 V
Altura:	25 mm
Amplada:	112 mm
Fons :	122 mm
Pes:	0.065 kg
U5P	Alimentació de corrent dels mòduls PSD amb +5V
GND	Massa de l'aparell.
Pulsador Reset	Reset pel microcontrolador.
Salida Reset	Reset per components perifèrics.
Entrada ANGND	Massa analògica per al ADU- ON-Chip.
Entrada UREF	Tensió de referència per al ADU-ON-Chip.
Casquets Portx i ANPORT	Connexions als ports digitals i analògics del microcontrolador

Taula 3.2. Característiques unitat adaptadora 8 bits

3.2.3. Plataforma S04000-1F.



Fig. 3.5 Plataforma S04000-1F

Com a plataforma s'utilitza una caixa inclinada en forma de pupitre. A la part superior consta d'un camp d'endolls per a la connexió indirecta del microcontrolador, que com ja s'ha comentat es realitza a través de la unitat adaptadora (sistema d'endolls de laboratori de 2 mm). La plataforma es connecta en sèrie a l'ordenador principal mitjançant el casquet SUB-D de 9 pols. Per a la utilització de la plataforma s'utilitza com a font d'alimentació primària la unitat d'alimentació SO4000-1F, que estableix correctament la tensió de +5V necessària. A la caixa de la plataforma hi ha instal·lada una alimentació de corrent secundària a prova de curtcircuits. Els potencials generats al interior (entre U5P i GND) estan cablejats amb casquets del camp d'endolls per a l'alimentació dels mòduls. Per tal de generar altres tensions es poden connectar mòduls d'experimentació especials o fins i tot generar-se des de l'exterior. La plataforma compta amb els casquets per a l'alimentació de la tensió continua bruta d'un regulador de connexió. A continuació es mostren les dades tècniques d'aquesta plataforma.

Tensión continua bruta:	DC 7.5...12V (6 W)
Tensión de servicio:	+5 V / 0.5A Polarity protected, Overvoltage protection 40 V
GND	Massa de l'aparell.
U5P	Alimentació de corrent dels mòduls de treball a +5V.
RxD	Connexió de la senyal de recepció en sèrie del PC al panell del microcontrolador.
TxD	Connexió de la senyal de transmissió en sèrie del panell del microcontrolador al PC.
Casquet SubD de 9 pòls	Connexió mitjançant la interfície en sèrie (V.24 / RS232).
Entrada tensió continua bruta	Connexió de la unitat d'alimentació SO4000-1F.

Taula 3.3 Característiques de la plataforma S04000-1F

3.3. Característiques μ C C515C.

Si fem una ullada a la història dels microcontroladors, la potència, la mida i la complexitat dels microcontroladors van avançar de manera dràstica el 1980 quan Intel va anunciar el 8051, el primer dispositiu de la família de microcontroladors MCS-51. En comparació amb el 8048, aquest dispositiu comptava amb més de 60.000 transistors, 4Kbytes de ROM, 128 bytes de RAM, 32 línies d'entrada/sortida, un port sèrie i dos temporitzadors de 16 bits; que va ésser una quantitat molt alta de circuits presents en un sòl integrat per l'època.

Posteriorment s'han agregat nous membres a aquesta família de μ C i existeixen versions que milloren les especificacions. Per exemple Siemens Corporation, la segona proveïdora de components per la família MCS-51, va llençar el SAB80515, una versió millorada del 8051 amb 68 terminals que representen sis ports d'entrada/sortida de 8bits, 13 fonts d'interrupció i un convertidor analògic-digital de 8 bits amb vuit canals d'entrada. La família del 8051 està molt ben establerta como a base d'un dels microcontroladors de 8 bits més versàtils i poderosos.

L'Infineon C515C, que és el μ C que munta el mòdul PSD1-Flash que equipa l'entrenador MCLS, és una versió actualitzada i millorada del microcontrolador SAB 80C515A de 8 bits que addicionalment proveeix una interfície CAN complerta, una interfície sèrie síncrona compatible amb SPI, mètodes d'estalvi d'energia ampliat, RAM on-chip addicional, memòria de programa on-chip de 64K, 2 noves interrupcions externes i millores relacionades amb RFI. Amb un cicle de rellotge extern màxim de 10 MHz assoleix un temps de cicle de 600 ns (1 μ s a 6 MHz).

A continuació es llisten altres característiques destacades:

- 256 bytes de RAM on-chip
- 2 Kbytes de XRAM on-chip
- Fins a 64 Kbytes de memòria de dades externa
- Arquitectura amb 8 datapointers
- Eight ports: 48 + 1 digital I/O lines, 8 analog inputs

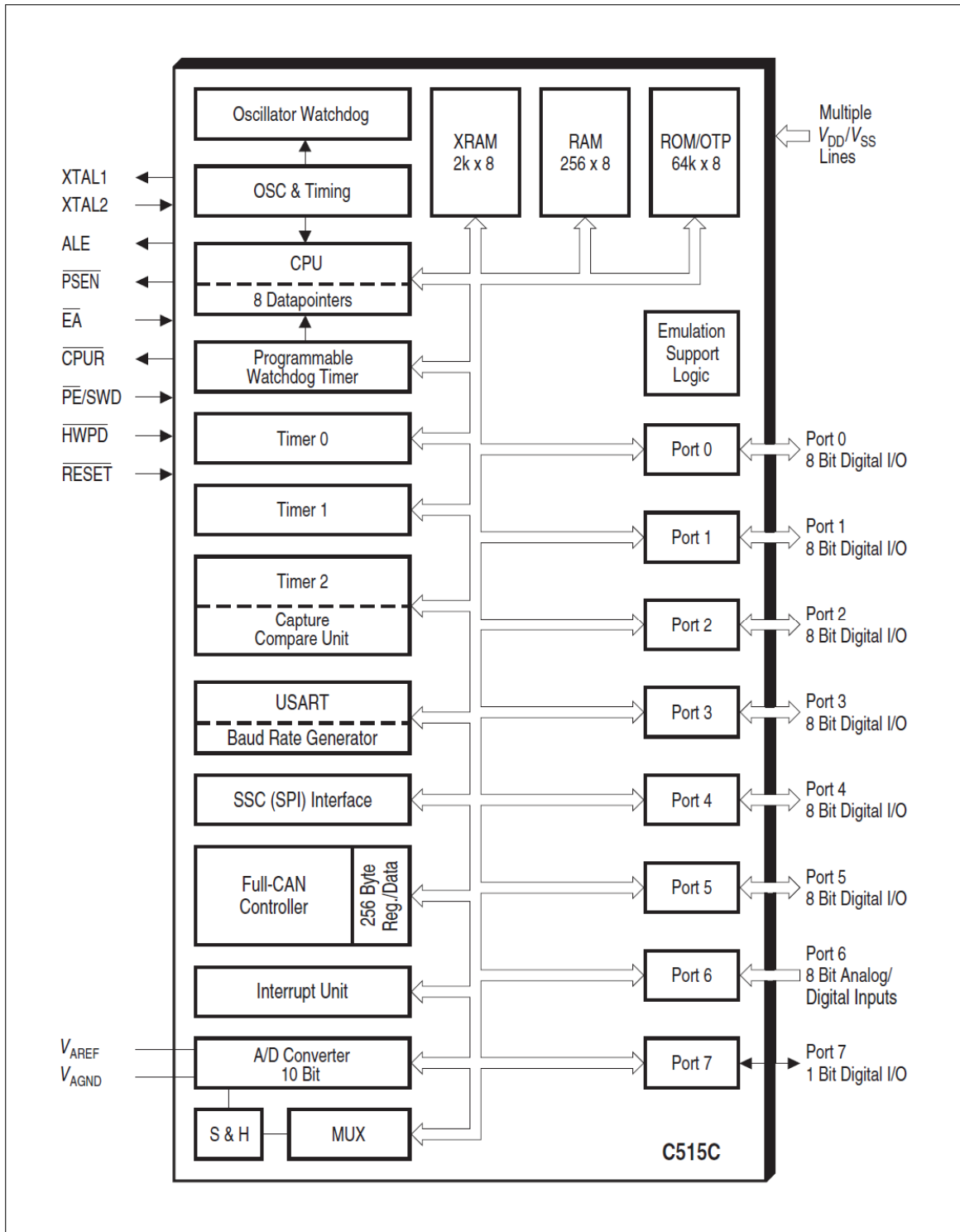


Fig. 3.6 Diagrama de blocs del C515C

4. Disseny dels mòduls d'interfície.

En aquest apartat es vol dur a terme el procés de disseny que porti solucions a les especificacions que són la finalitat d'aquest projecte.



Fig.4.1 Crouzet 82910001

4.1. Mòdul d'interfície unipolar.

4.1.1. Introducció i diagrama de blocs.

Per dissenyar el mòdul unipolar s'ha seguit l'esquema que es veu a la Fig. 4.2 i tingut en compte el diagrama de blocs de la Fig. 4.3.

El mòdul d'interfície unipolar és un dispositiu encarregat de permetre la interacció entre l'entrenador MCLS amb la targeta PSD1-Flash i un motor unipolar.

Segons les especificacions d'aquest projecte, el controlador a implementar utilitzarà resistències limitadores per al control del corrent tal i com s'ha vist a l'apartat 2.8.1. Per al control de la direcció del corrent, tal i com s'ha vist a l'apartat 2.7.1, seran necessaris quatre dispositius capaços de transmetre les ordres d'interrupció del microcontrolador a les quatre fases del motor. Es disposa del motor unipolar Crouzet 82910001, a partir del qual es dimensionarà la nostra interfície tenint en compte per a l'elecció dels components les següents especificacions:

- Tensió màxima de l'alimentació 36V
- Corrent màxim per fase de motor 0.52A

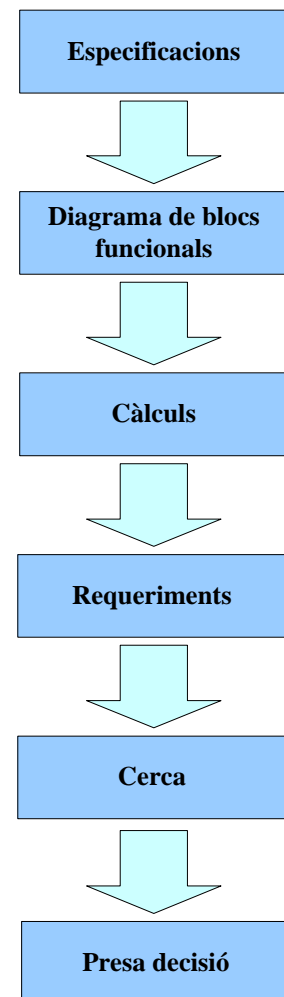
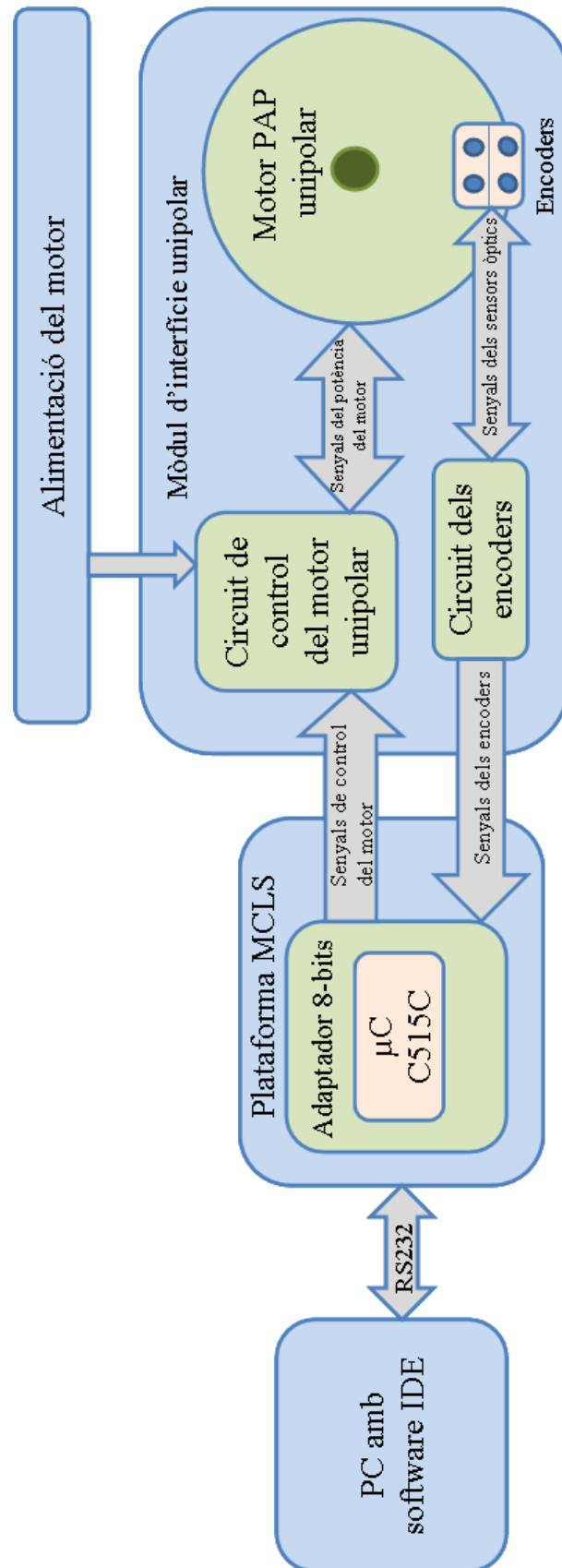


Fig. 4.2 Diagrama de disseny



4.3 Diagrama de blocs funcionals de la interfície entre el motor PAP unipolar i l'MCLS.

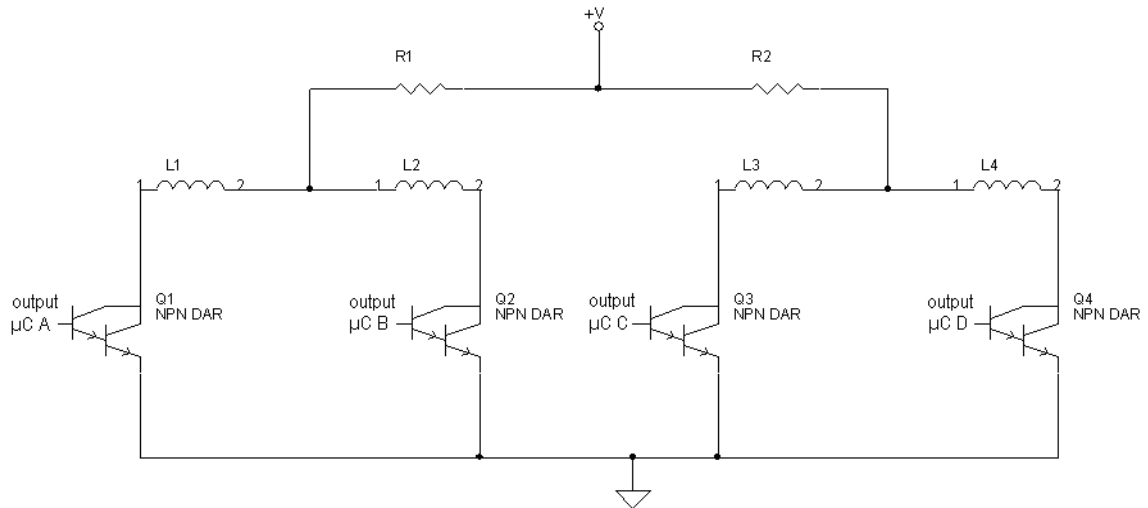


Fig. 4.4 Esquema bàsic del circuit de control unipolar

Una altra consideració a tenir en compte és que els ports quasi-bidireccionals del microcontrolador C515C per actuar com a sortida necessiten una resistència de pull-up, aquesta alhora ens facilita l'instal·lació d'un led que actuarà amb lògica inversa per la monitorització de cada fase. Això és així degut a la naturalesa del μC , que és un dispositiu de control i no de potència, on cada port també té resistències internes de pull-up de gran magnitud que debiliten la capacitat de conducció del corrent de sortida.

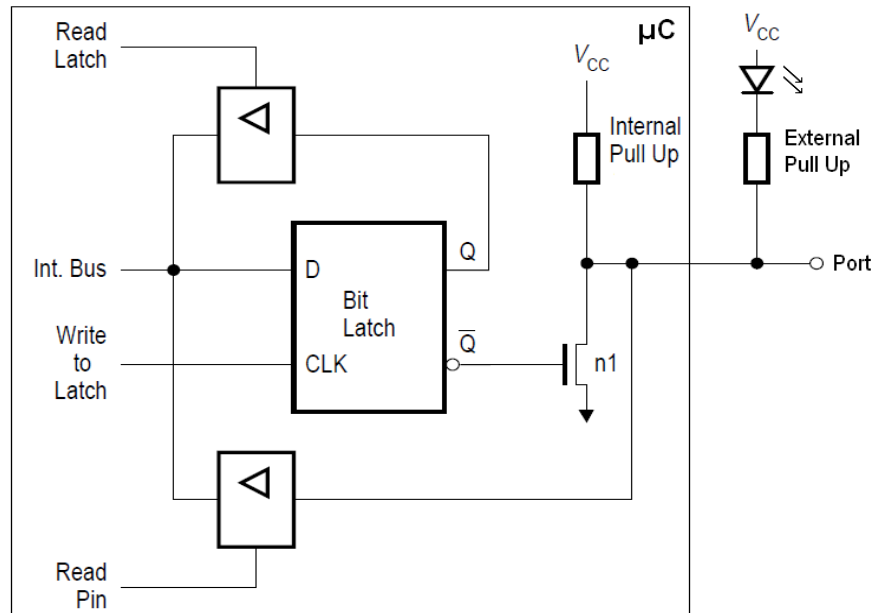


Fig. 4.5 Circuit de sortida bàsic del Ports 1 a 5 i 7

Per escollir el valor de les resistències limitadores de corrent es pren el valor de tensió màxima especificat i es calcula la resistència mínima necessària tal com es veu a (2.5):

$$R_{ext.mín} = \frac{V_R}{I_{màx}} = \frac{V_{font} - (I_{màx} \cdot R_{motor})}{I_{màx}} = \frac{36V - (0.52A \cdot 9\Omega)}{0.52A} = 60\Omega \quad (4.1)$$

S'escull el valor superior immediat de les resistències comercials que és 68Ω i es calcula la potència que aquesta ha de dissipar:

$$\begin{aligned} P &= V \cdot I = \left(V_{font} \cdot \frac{R_{ext}}{R_{ext} + R_{motor}} \right) \left(\frac{V_{font}}{R_{motor} + R_{ext}} \right) = \\ &= \left(36 \cdot \frac{68}{68+9} \right) \left(\frac{36}{9+68} \right) = 31.79V \cdot 0.47A = 15W \end{aligned} \quad (4.2)$$

4.1.2. Selecció de components.

Donades les especificacions de l'apartat anterior s'escullen resistències de fil bobinat amb carcassa ceràmica de 68Ω i $17W$ de potencia nominal màxima, per la seva disponibilitat i cost econòmic.

En quant a les resistències de pull-up, el seu valor ha de permetre una intensitat suficient per al bon funcionament d'un led vermell standard i que pugui ser drenada a massa per el microcontrolador sense causar cap dany a l'equip. Per aquest motiu, d'acord amb les característiques de funcionament del fabricant del led vermell d'alta eficiència THR52 Vishay, decidim que aquest corrent sigui com a màxim de $10mA$. Segons la corba de la gràfica I-V en conducció del led, la caiguda de tensió al led és de $1.7V$. Llavors, aplicant la llei d'Ohm, calculem el valor de la resistència tal com es veu a (4.3):

$$R_{pull-up} = \frac{V_R}{I_R} = \frac{V_{font} - V_{led}}{I_{màx}} = \frac{5V - 1.7V}{0.01A} = 330\Omega \quad (4.3)$$

Com a comprovació addicional, podem apreciar que el fabricant de l'entrenador Lucas Nülle, subministra una matriu de leds amb resistències del mateix valor que hem calculat; i el corrent que condueixen també acaba essent drenat per els ports del μC , així que podem assegurar que amb $10mA$ el circuit funciona correctament.



Fig. 4.6 Resistència R68 i 17W

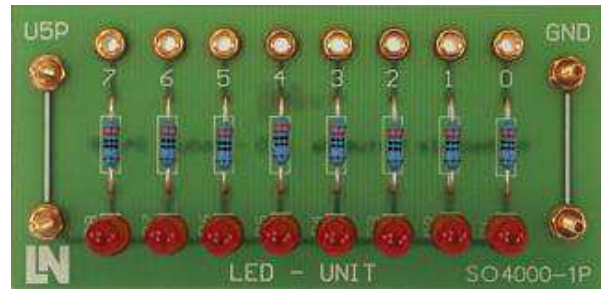


Fig. 4.7 Mòdul amb array de leds per al MCLS

L'altre component important a triar és el dispositiu interruptor. Bàsicament hi ha tres tecnologies de transistor que poden ser aptes per aquest ús: BJT, el MOSFET i l'IGBT. Per raons de guany de corrent del transistor, tensió i corrent màxim admesos, integració i economia es pensa en una matriu de transistors Darlington. Concretament en el circuit integrat ULN2803A del fabricant STMicroelectronics, que permet una tensió de sortida fins a 50V i 500mA, es compatible amb els nivells lògics del μC i també incorpora díodes de recirculació. També es té en compte la seva disponibilitat i cost econòmic.

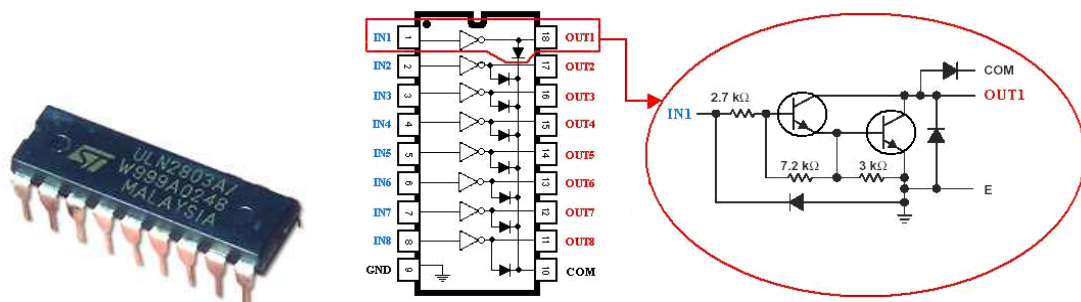


Fig. 4.8 Imatge, connexions del pins i diagrama esquemàtic del ULN2803A TTL/CMOS

Un altre component a escollir és el sensor òptic per a l'encoder de dos canals, que permeti detectar el sentit de gir i verificar els moviments. L'elecció es basa principalment en la disponibilitat del sensor òptic reflector amb sortida de transistor CNY70 del fabricant Vishay. Aquest compleix els requeriments gràcies a un diode emissor d'infrarojos de 950nm de longitud d'ona i un fototransistor receptor enfocats en la mateixa direcció i separats 2.8mm. Quanta més llum de l'emissor sigui captada per la base del receptor més condueix el fototransistor. Això genera una sortida analògica que ha de ser degudament tractada per el μC .

Per ajustar la sensibilitat, és necessària una resistència variable multivolta de $20k\Omega$ a la sortida de l'emissor del fototransistor. I per el correcte funcionament del diode també cal una resistència de 220Ω en sèrie.

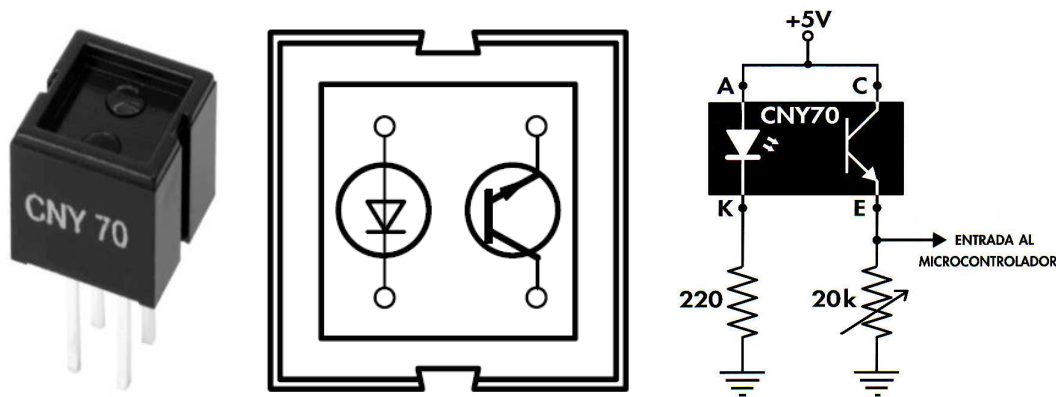


Fig. 4.9 Imatge i diagrama esquemàtic del sensor òptic CNY70 i circuit de l'encoder

A part s'instal·la un condensador de $100nF$ entre l'alimentació de la lògica de control de $5V$ i la massa per evitar possibles transitoris que puguin generar errors; i un led indicador de alimentació. També es trien els dos connectors que permetran les connexions amb la font d'alimentació i el motor, s'escullen connectors del fabricant Weidmüller de pas $5.08mm$ ja que es tenen disponibles i compleixen degudament els requeriments.

L'últim necessari son els connectors tipus banana femella de $2mm$ per la connexió amb l'entrenador que usa aquest sistema ja que permet la ràpida manipulació del cablejat.

4.1.3. Esquema electrònic.

L'esquema electrònic del controlador per al motor unipolar queda definit tal com es veu a la Fig. 4.10. L'únic element que no pertany pròpiament a la placa és el connector J3 que va cargolat als cables del motor. Tots els altres components aniran soldats a la PCB amb THT.

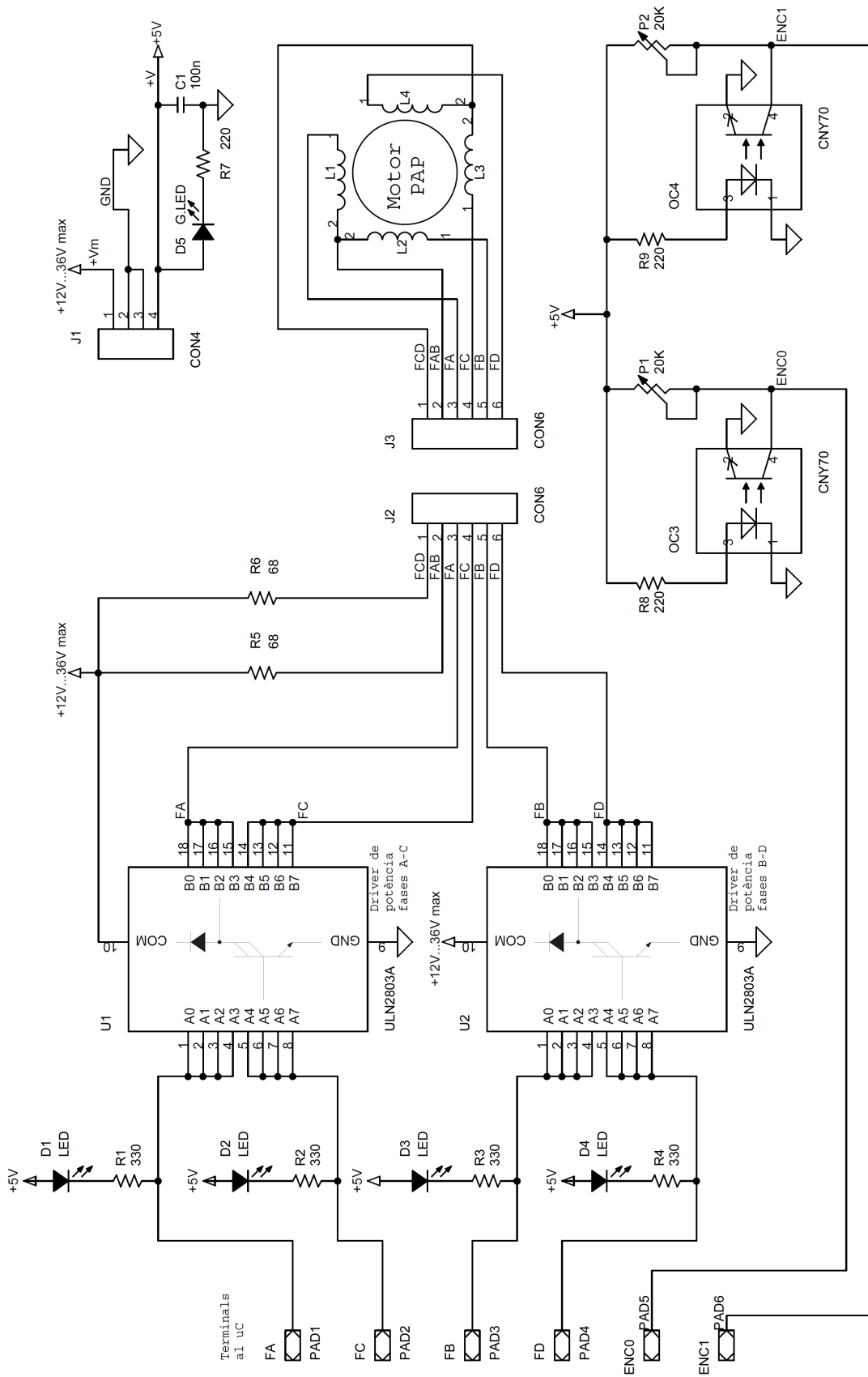


Fig. 4.10 Esquema del controlador per al motor unipolar PAP

4.1.4. Muntatge en protoboard i proves.

Un cop definit l'esquema electrònic es munta aquest sobre una protoboard per comprovar-ne el correcte funcionament. Seguidament es verifiquen totes les línies i es connecta el circuit dissenyat, amb el motor inclòs, a la font d'alimentació i a l'entrenador MCLS.

Es programa un codi bàsic que permeti observar la posada en marxa del motor i el seguiment dels moviments programats. S'observa que el sistema respon adequadament a les instruccions programades i es decideix dissenyar una placa de circuit imprès perquè sigui més estable i pugui ser reproduït quan es desitgi.

```

MCLS-modular - [UniPolar.asm]
Proyecto Archivo Procesar Buscar Ver Start Opciones Ventana Ayuda
Proyecto Editor Herramientas Ventana
PapPC Superficie de trabajo
Proyecto
  Microcontrolador
  Archivo
    UniPolar.asm
: -----Declarations required for Assembler-----
CPU      80515      ; CPU-selection for Assembler
INCLUDE  stddef51  ; Embed SFR-definitions
SEGMENT  code      ; Program code segment starts here
ORG      0000H     ; Program code starts at 0000H
:
: *****
: *      MAIN PROGRAM LED Flasher
: *****
START:
MOV P1, #00CH
CALL  TIMER      ; SR time delay

MOV P1, #006H
CALL  TIMER      ; SR time delay

MOV P1, #003H
CALL  TIMER      ; SR time delay

MOV P1, #009H
CALL  TIMER      ; SR time delay

SJMP  START      ; Program as closed loop
: *****
:
: -----
: Sub Routine ZEIT, approx. 131ms
: -----
: 2 nested DJNZ loops
TIMER: MOV  R7,#00H ; Counter for outer loop
Z01:  MOV  R6,#00H ; Counter for inner loop
Z00:  DJNZ R6,Z00  ; 256*2µs (inner loop)
      DJNZ R7,Z01  ; 256*inner loop
      RET
: -----
END
1:1

```

Fig. 4.11 Programa UniPolar.asm desenvolupat amb l'entorn IDE

4.1.5. Disseny PCB.

Per al disseny de la PCB, primer cal conèixer les dimensions de la placa a utilitzar i les normes per a realitzar-la que ens marca l'empresa a qui se li encarrega la fabricació.

En quant a la mida de la placa, s'escullen les dimensions 160x100mm de l'estàndard Eurocard. D'aquesta manera es disposa d'un espai suficient per integrar el motor en el seu interior sense perjudicar la complexitat de la xarxa de línies de senyal.

Per fabricar les plaques en el Tecnocampus, cal complir uns paràmetres mínims tal com es veu a la taula 4.1.

Especificacions per realitzar una placa de circuit imprès:	
1. Mínim d'ample de pista:	0.5mm
2. Separació mínima entre pistes o pads:	0.2mm
3. Diàmetre mínim de taladre:	0.6mm
4. Paret mínima de corona de pad:	0.4mm
5. Diàmetre mínim de pad:	1,4 mm
6. Distància mínima entre pistes i vora de la placa:	3mm

Taula 4.1 Especificacions per realitzar una PCB al Tecnocampus

Seguidament, cal tenir en compte el programa de disseny assistit per ordinador que s'utilitzarà per elaborar els diferents arxius a entregar per fabricar de la placa. S'escull, el software Cadence OrCAD, el qual consta del programa Capture CIS per la realització de l'esquema electrònic previ i el Layout Plus per a la creació del disseny de la PCB.

En el programa Layout Plus, quan li exportem el disseny creat amb el Capture CIS, primerament ens demana que assignem a cada component el seu footprint. Això significa que hem de trobar per cadascun d'ells, entres la gran varietat de formes que hi ha a les llibreries, alguna que coincideixi plenament o sinó editar-les manualment.

Un cop els tenim tots, cal dibuixar el contorn de la placa i fer l'emplaçament de tots els components. Després, es dicten les normes per a cadascuna de les xarxes, vies, perforacions, etc. El programa ofereix una interfície tal com es mostra a la Fig. 4.12.

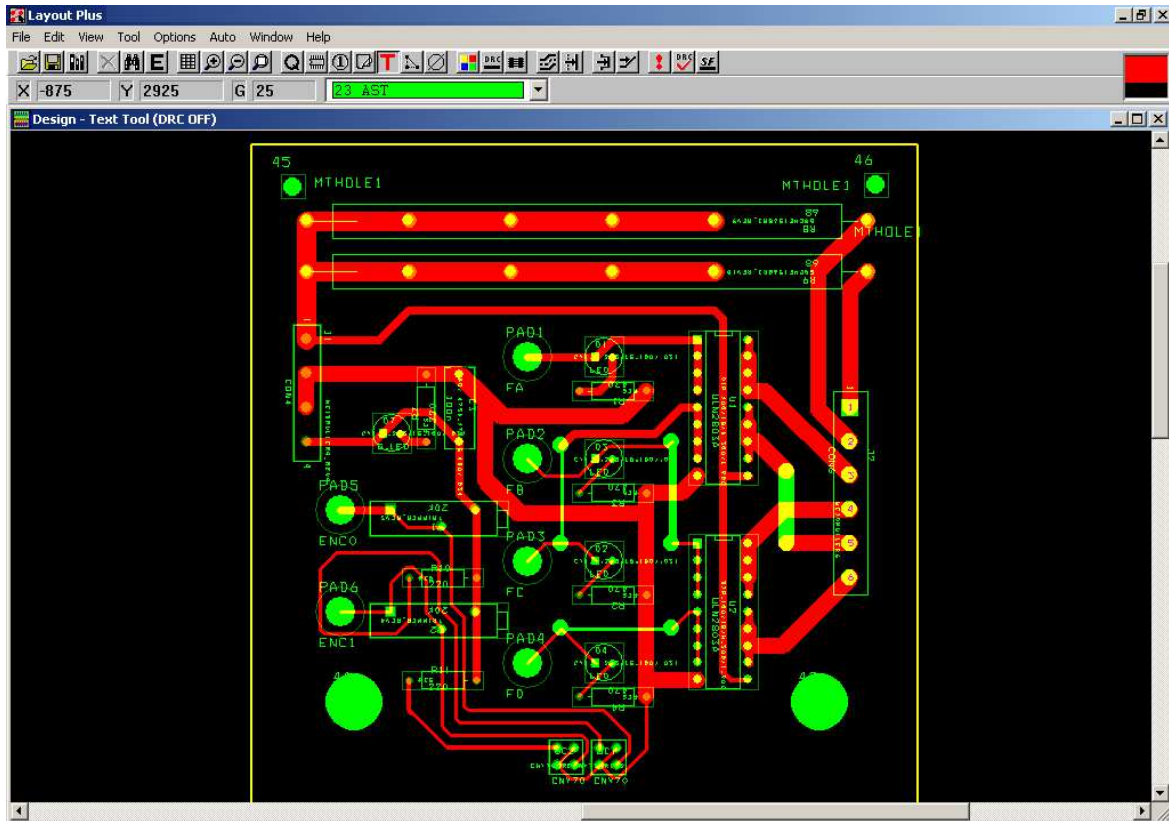


Fig. 4.12 Disseny PCB circuit unipolar

I en acabat s'extreuen els arxius: TOP, BOT, AST i DRL, tal com es veu a les Fig. 4.13, 4.14, 4.15 i 4.16 respectivament perquè el sistema computeritzat pugui fabricar la PCB.

En aquest punt, cal dir que per no disposar de més temps no s'encarrega la fabricació de la placa; i la resta de proves es duen a terme amb el prototip funcional muntat en protoboard.

No podem assegurar doncs, que el disseny proposat per la fabricació de la PCB sigui operativa al 100%. Queda doncs per a ésser objecte d'un proper estudi la seva realització i comprovació abans de dur-ne a terme la fabricació en sèrie.

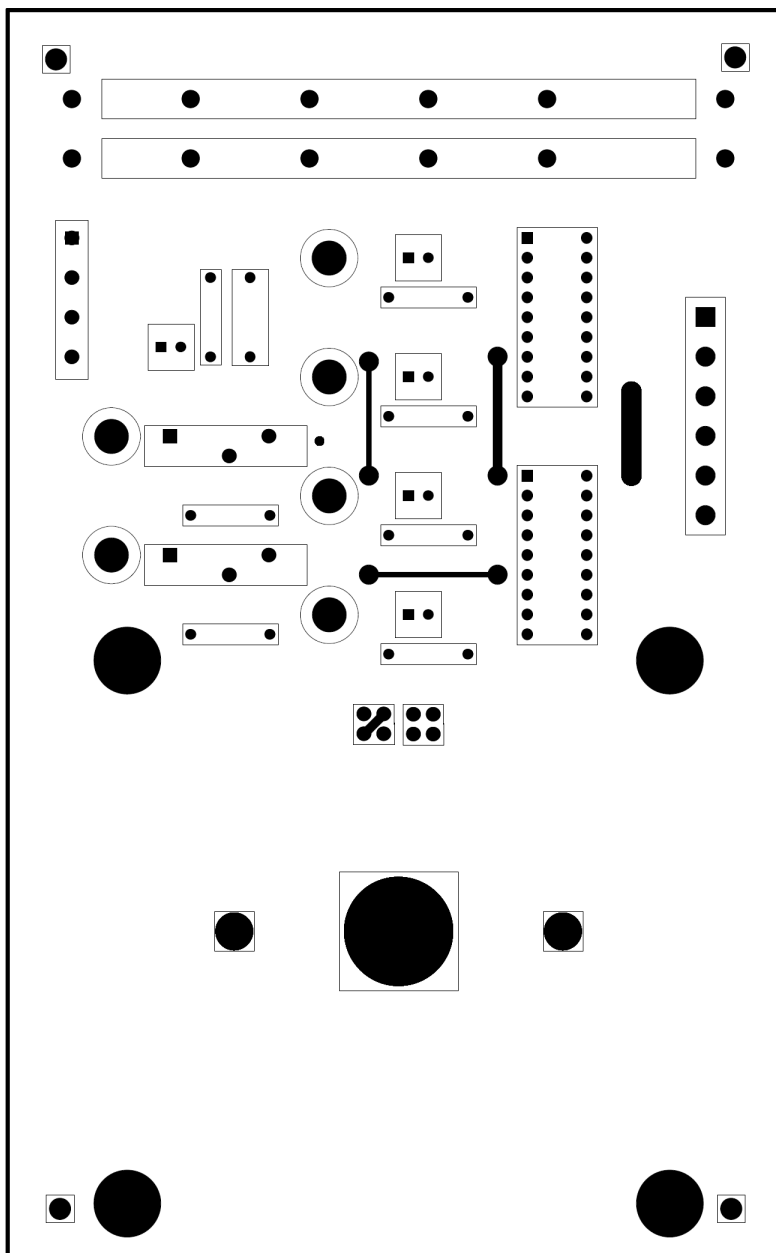


Fig. 4.13 Capa superior (TOP) de la PCB de la interfície per al motor unipolar

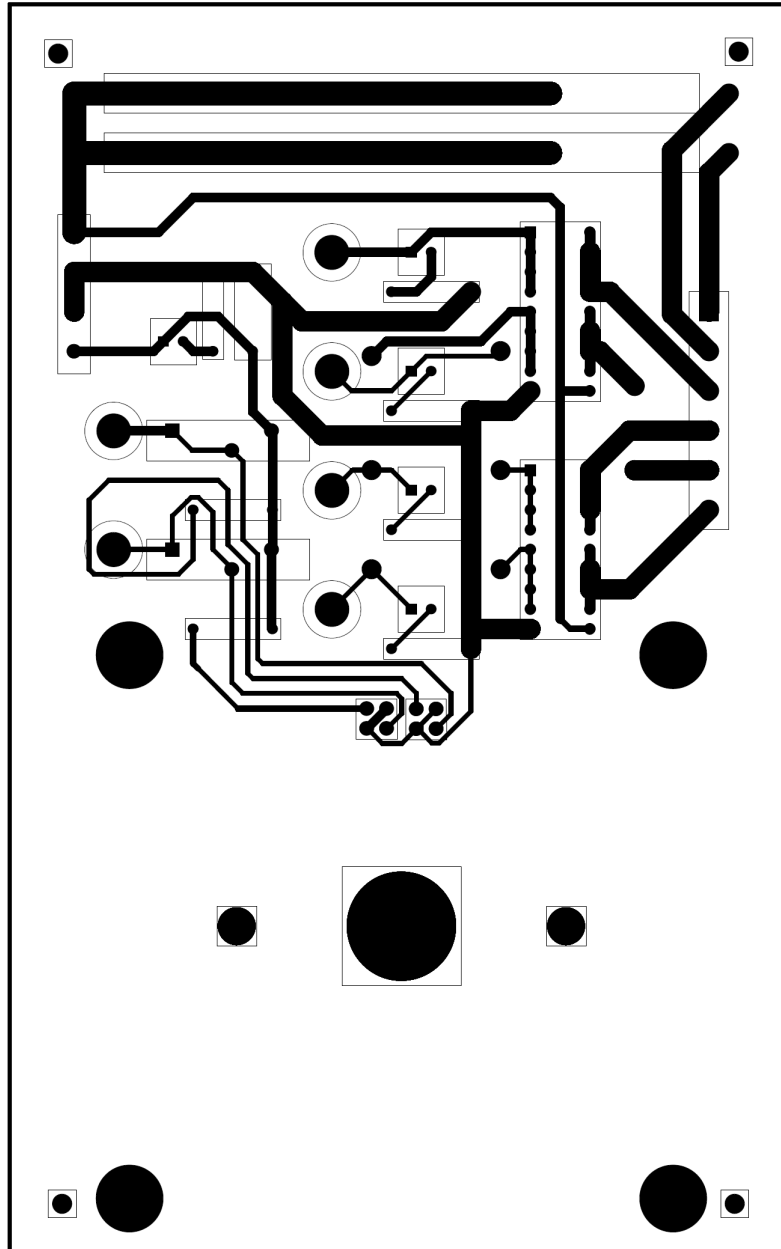


Fig. 4.14 Capa inferior (BOT) de la PCB de la interfície per al motor unipolar

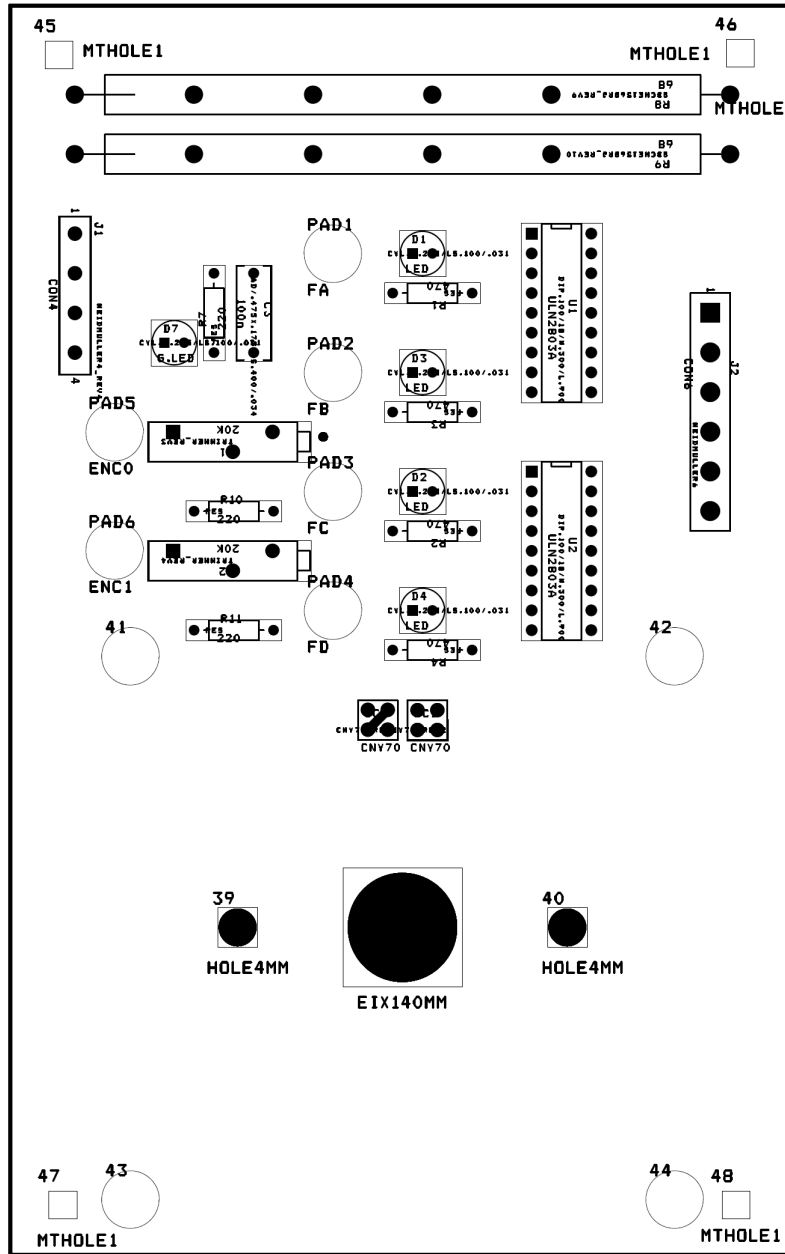


Fig. 4.15 Capa d'acoblament (AST) de la PCB de la interfície per al motor unipolar

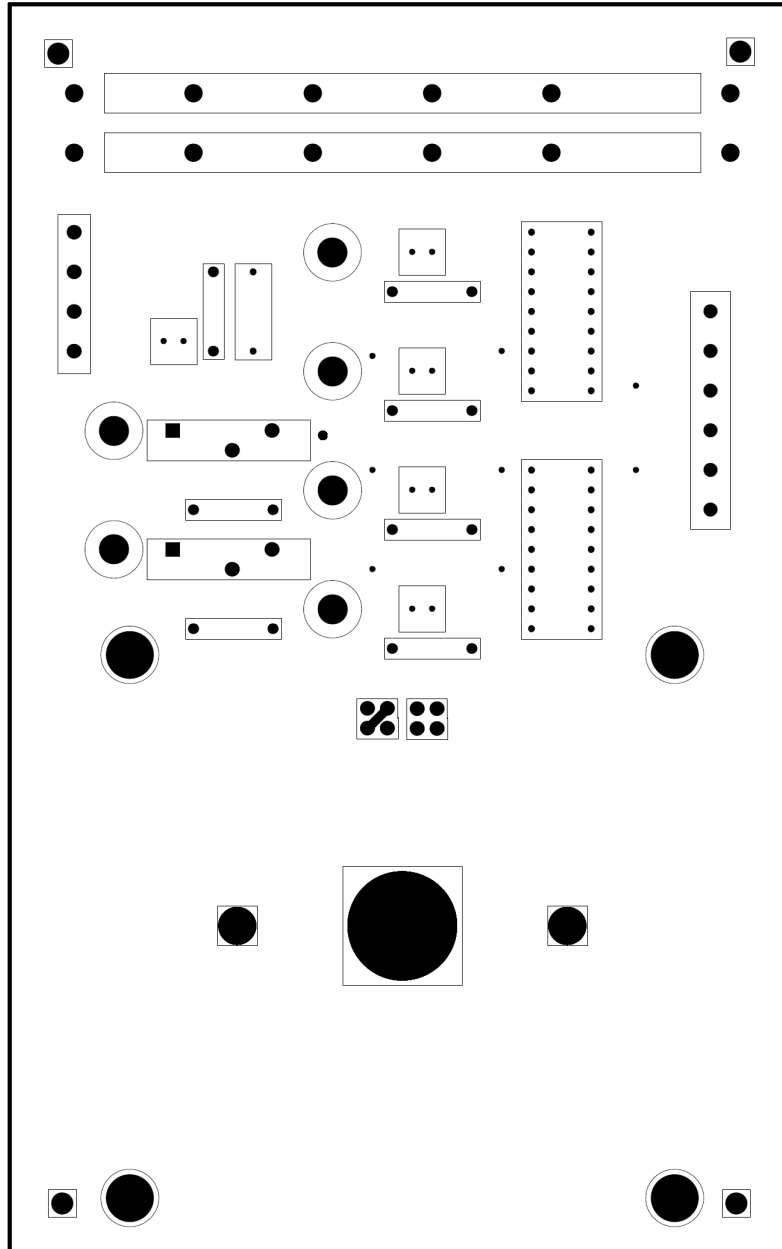


Fig. 4.16 Capa de perforacions (DRL) de la PCB de la interfície per al motor unipolar

4.2. Mòdul d'interfície bipolar.

Per a aquesta interfície la solució tecnològica escollida per l'enunciat del projecte és la del control chopper, a continuació es mostra el procés del seu disseny.

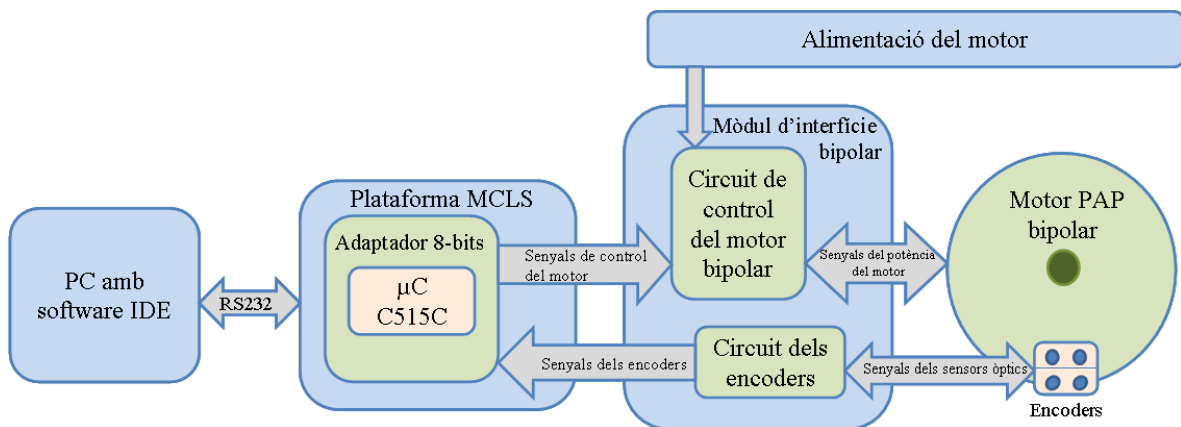
4.2.1. Introducció i diagrama de blocs

El mòdul d'interfície bipolar és un dispositiu encarregat de permetre la interacció entre l'entrador MCLS que munta el μC C515C i un motor bipolar.



Fig. 4.17 Motor HY200 3424

L'esquema a seguir per al seu disseny, és el mateix que per a l'apartat 4.1.1 tal com es veu a la Fig. 4.1. En aquest cas el diagrama de blocs funcionals coincideix amb el del motor unipolar, tal com es veu a la Fig.4.3, amb l'única diferència que degut a que la placa equipa més components i la mida del motor bipolar també és major, aquest no es pot integrar dins del mòdul i es connecta externament a través de cables.



4.18 Diagrama de blocs funcionals de la interfície entre el motor PAP bipolar i l'MCLS.

Es vol dissenyar un controlador de corrent chopper com ja s'ha explicat a l'apartat 3.8.2; a la Fig.3.20 es pot veure clarament que hi ha d'haver una part lògica i una altra de doble pont H per on circuli la potència. A més a més, cal complir les següents especificacions:

- Corrent de fase màxim del motor: 2A
- Tensió mínima de sortida de fase: 36V

4.2.2. Selecció de components.

Segons aquests criteris es fa una cerca al mercat observant les diferents solucions que els principals distribuïdors de circuits integrats com Texas Instruments, STMicroelectronics, Microchip, Toshiba, Trinamic, etc. ofereixen.

Després d'estudiar-ne varies com ara:

- El Trinamic TMC246 SMD que no arriba a les especificacions amb 34V i 1.5A
- El Toshiba TB6559FG amb transistors LDMOS tecnologia SMD i fins a 2.5A de corrent de sortida.
- El Ti UC3770 corrent de sortida de 2A i a més permet el mode microstepping.
- El Ti LMD18245 amb transistors DMOS, tecnologia THT, 3A de sortida i microstep.

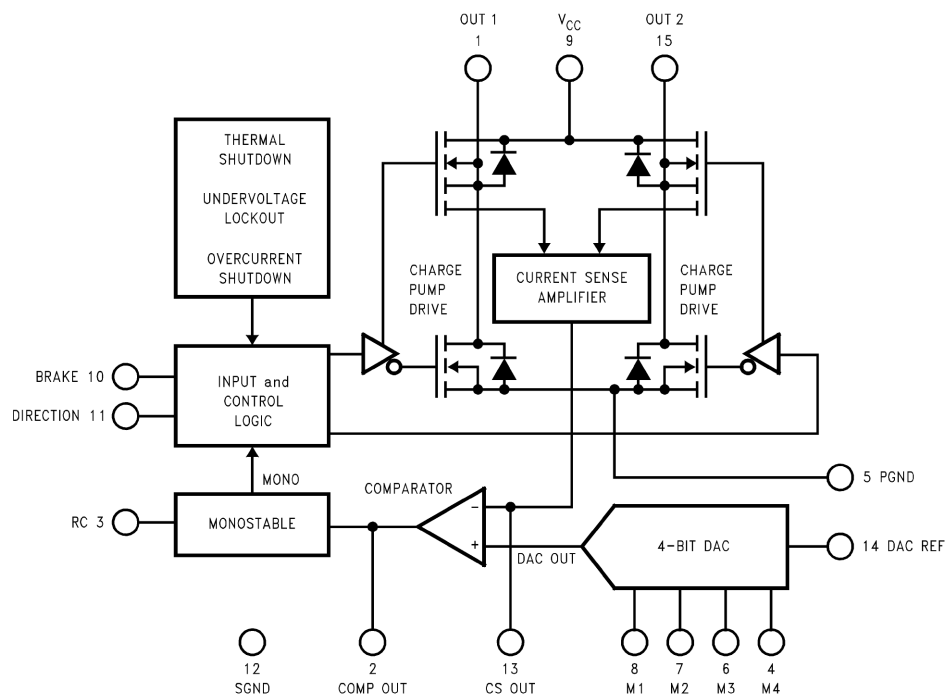


Fig. 4.19 Diagrama de blocs funcionals de l'LMD18245 de Ti

Aquestes solucions vistes fins ara, excepte el TMC246, incorporen tot el circuit de control en un sol integrat però únicament disposen d'un pont H, el que significa que se'n necessiten dos per maniobrar el motor, un per cada fase.

Microchip ofereix solucions basades en el PIC16F684, però no son adequades al nostre objectiu ja que únicament es vol haver de programar el microcontrolador de l'entrenador.

Però sense cap mena de dubte, la solució que compleix amb els requeriments, té millor cost econòmic i se'n disposa de més informació ja que des de la seva aparició ha estat la que més s'ha implementat arreu, és la que ofereix STMicroelectronics i els seus integrats L297 i L298. Això fa que també sigui la més indicada per les finalitats didàctiques. Evidentment, es podria optar per substituir l'etapa L298 per components discrets, 4 transistors independents i les portes lògiques corresponents, però això únicament afegeix complexitat innecessària al disseny del PCB.

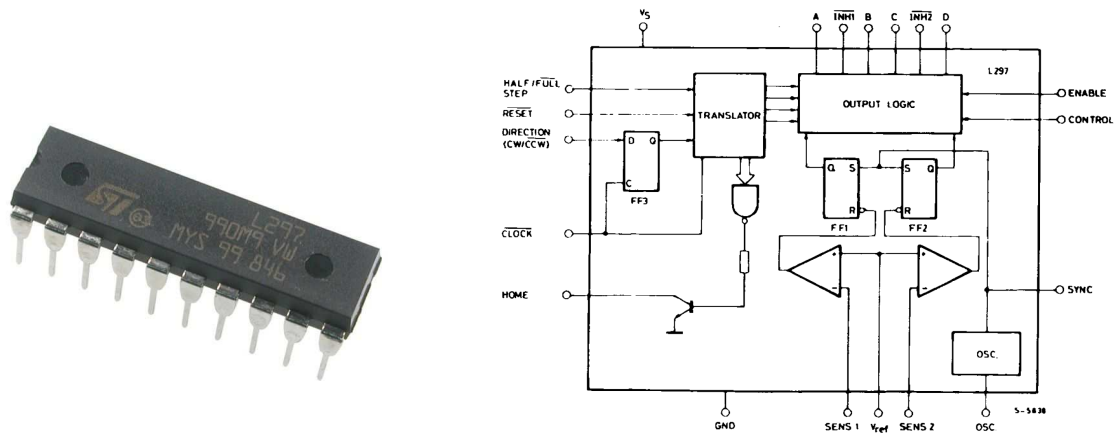


Fig. 4.20 Circuit integrat L297 en format DIP20 i diagrama de blocs funcionals

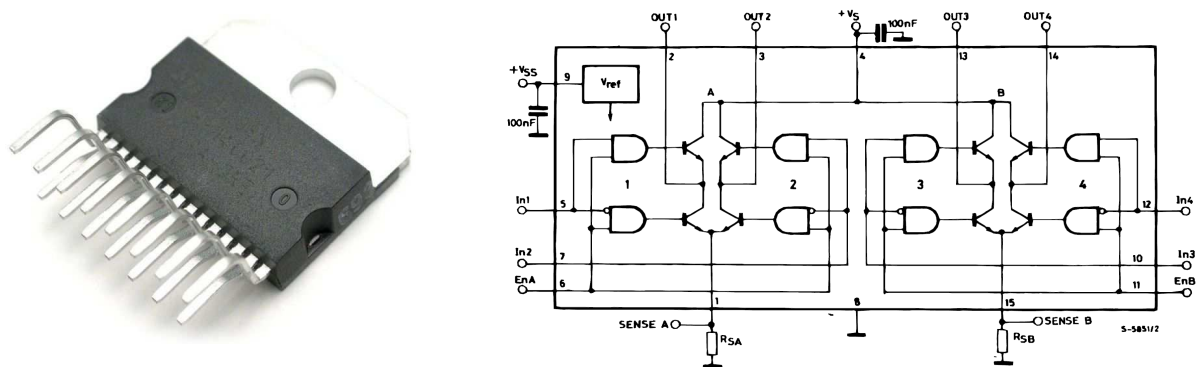


Fig. 4.21 Circuit integrat L298 en format Multiwatt15 i diagrama de blocs funcionals

Es descarta la opció del mateix fabricant L6208 per, tot i tenir millors prestacions que superen àmpliament les especificacions, presentar un encapsulat que no permet el muntatge d'un dissipador adherit verticalment i tenir un cost econòmic més elevat que sobrepassa el compliment del pressupost marcat.

Un cop escollit que el controlador que es muntarà és L297+L298, el mateix fabricant ens indica quin és l'esquema electrònic bàsic a seguir tal com es veu a la Fig. 4.22.

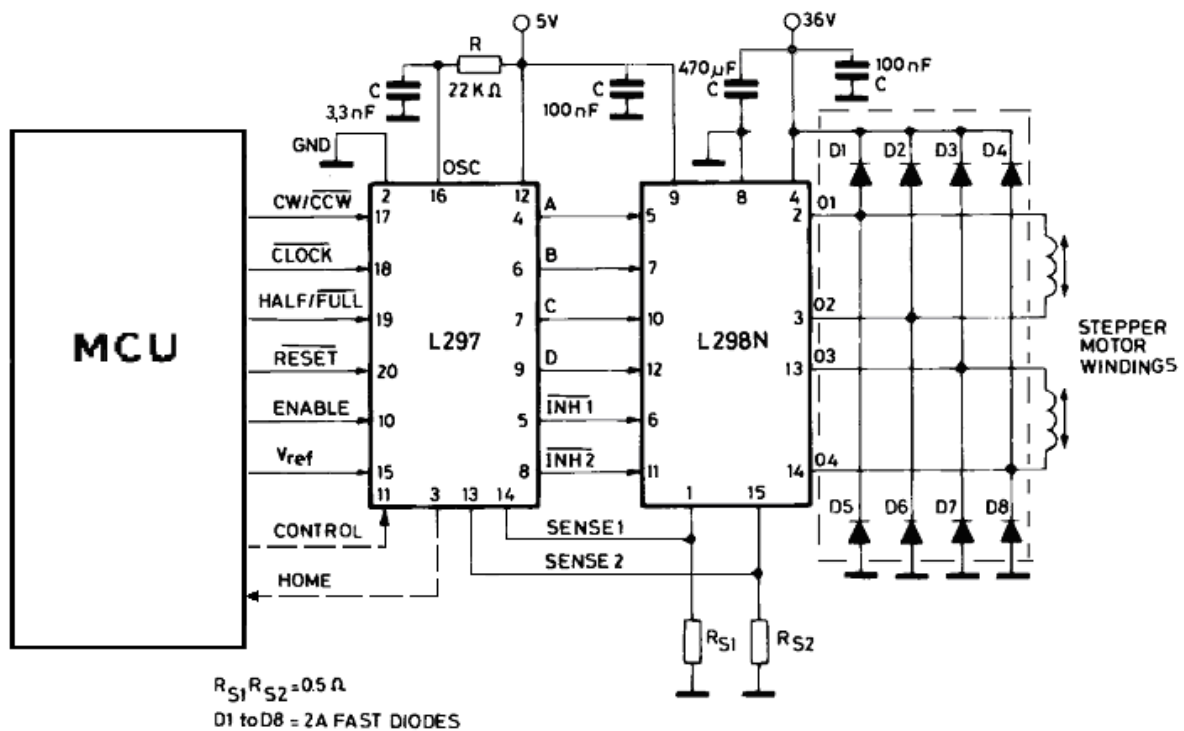


Fig. 4.22 Circuit de control bàsic per al motor PaP bipolar de dues fases.

D'aquest esquema, es pot observar com són necessàries 2 resistències de sensat de magnitud baixa per reduir les pèrdues, per exemple de 0.5Ω de fil bobinat i de com a mínim més d'1W de potència, ja que si hi circulen 2A hauran de ser capaces de dissipar-la.

També es precisa d'un pont de 8 díodes que permetin la ràpida recirculació del corrent que circuli per la càrrega inductiva en el moment en que commutin els transistors interns de l'L298. Per fer aquesta funció els més indicats són els díodes Schottky, capaços de suportar alta freqüència i grans corrents amb petites pèrdues. S'escull el model SB560.

A part, la freqüència amb la que el comparador actuarà, vindrà donada per el circuit RC connectat al pin 16 de l'L297. Segons les notes d'aplicació del fabricant, aquesta freqüència es pot calcular amb la fórmula tal com es veu a (4.4), on R sempre ha de ser més gran a 10KΩ.

$$f = \frac{1}{0.7 \cdot RC} \quad (4.4)$$

Per aquest motiu, es col·loca una resistència de 10KΩ entre el pin 16 i la tensió de +5V en sèrie amb una resistència variable de 200KΩ. Per al condensador es segueix la recomanació del fabricant i es tria de 3.3nF. D'aquesta manera s'aconsegueix un rang de treball dels 43KHz als 2KHz. Es fa menció de passada a que el rang audible per als éssers humans va dels 20Hz als 20KHz, lo qual significa que quan es treballi en la banda inferior als 20KHz serà perceptible una vibració sonora que deixarà d'escaltar-se un cop superada aquesta frontera.

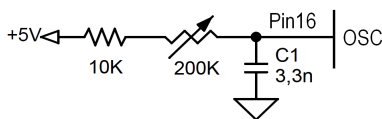


Fig. 4.23 Circuit oscil·lador RC

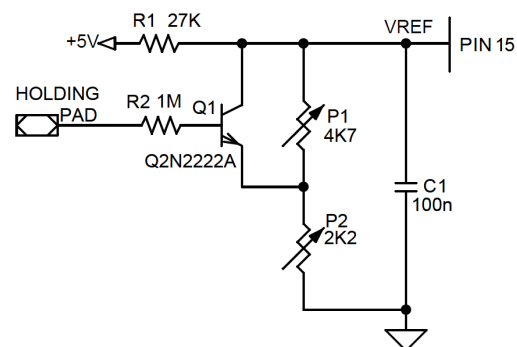


Fig. 4.24 Circuit Vref

Sobre l'entrada Vref, pin15 de l'L297, que marca la referència sobre la qual es comparen les caigudes de tensió a les resistències de sensat, es decideix crear un circuit amb el qual des de el µC es pugui decidir quin parell ha de tenir el motor, si el màxim de treball (per a situacions dinàmiques) o el de manteniment (per a situacions estàtiques). Per això s'ha dissenyat una xarxa amb un divisor de tensió format per 2 potenciòmetres i un transistor. S'ha tingut en compte que la manipulació dels potenciòmetres no pugui provocar que es sobrepassi en desmesuradament el corrent de fase màxim de 2A.

$$V_{ref} = 5V \cdot \frac{2k\Omega + 5k\Omega}{34k\Omega} = 1.03V \quad (4.5)$$

Un altre aspecte a comentar, és que s'ha volgut donar una visió més didàctica i intuïtiva al mòdul d'interfície i per això s'han disposat leds a les línies MODE, HALF/FULL i HOME; a més d'un led indicatiu d'alimentació per evitar curtcircuits accidentals. Com ja s'ha comentat a l'aparta 4.1.1, les sortides del μC no poden conduir el corrent suficient per a que aquest funcionin, però en aquest cas enlloc de muntar leds amb lògics inversa, que en aquest disseny pot ser més conflictiu, s'ha optat per un circuit integrat de 6 inversors M74HC04.

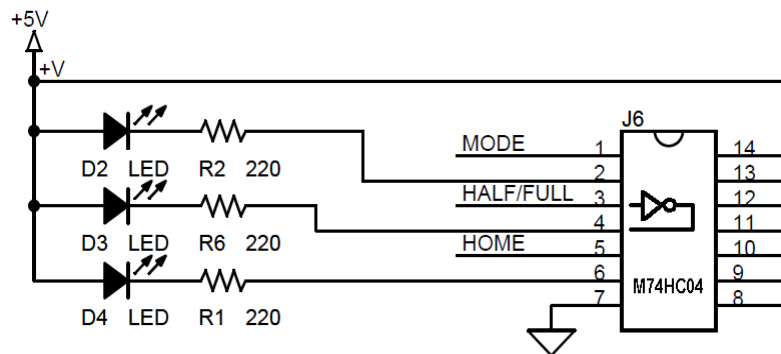


Fig. 4.25 Esquema leds indicadors amb circuit inversor M74HC04

Finalment, un últim detall a destacar, és que s'ha volgut possibilitar la placa de controls manuals per a les sortides MODE i HALF/FULL per millorar l'experimentació i l'aprenentatge. Això s'ha aconseguit gràcies a la instal·lació de 4 jumpers que commuten el mode AUTO/MANUAL i els nivells ALT/BAIX.

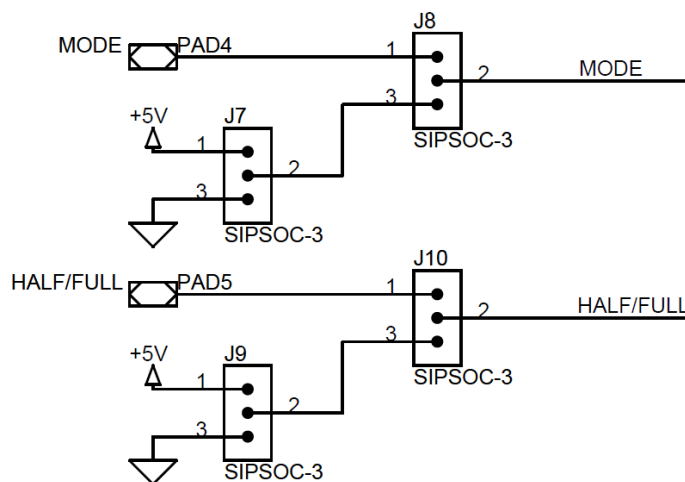


Fig. 4.26 Esquema jumpers per als senyals MODE i HALF/FULL

Degut als 4 amperes d'intensitat que és capaç de conduir el circuit integrat L298 i a les pèrdues en forma de calor que això provoca, és indispensable buscar una solució tèrmica que ajudi a mantenir el chip dins del rang de temperatura de funcionament. Primer cal doncs dimensionar quin tipus de radiador es necessita. Per fer-ho calculem la resistència tèrmica màxima que es pot suportar:

$$\Delta T = T_j - T_{amb} = P \cdot R_{th} \rightarrow 150^\circ - 35^\circ = 25W \cdot R_{th_{j-amb}} \quad (4.6)$$

$$R_{th_{j-case}} + R_{th_{case-radiador}} + R_{th_{radiador-amb}} = R_{th_{j-amb}} < \frac{115^\circ}{25W} = 4,6^\circ C/W \quad (4.7)$$

Segons el fabricant STMicroelectronics: $R_{th_{j-case}} = 3^\circ C/W$ i $R_{th_{case-radiador}} = 0,2^\circ C/W$

$$R_{th_{j-amb}} > R_{th_{j-case}} + R_{th_{case-radiador}} + R_{th_{radiador-amb}} \rightarrow R_{th_{radiador-amb}} < 4,6 - 3 - 0,2 = 1,4^\circ C/W \quad (4.8)$$

Es consulten diferents catàlegs de radiadors i es decideix acoblar el model SK88 de 75mm del distribuïdor Fischer Elektronik que compleix amb marge per sota dels $1,4^\circ C/W$.

$$R_{th_{radiador-amb}}(SK88_75mm) = 1,1^\circ C/W$$

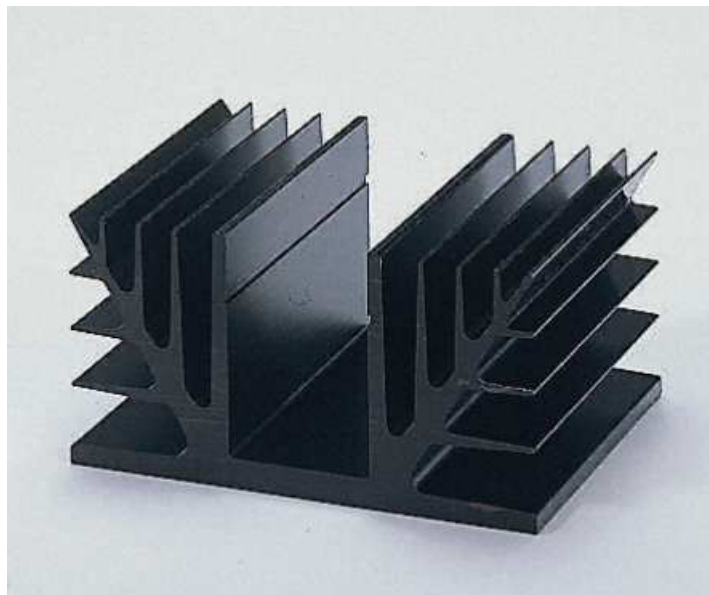


Fig. 4.27 Radiador SK88 de 75mm de Fischer Elektronik

4.2.3. Esquema electrònic.

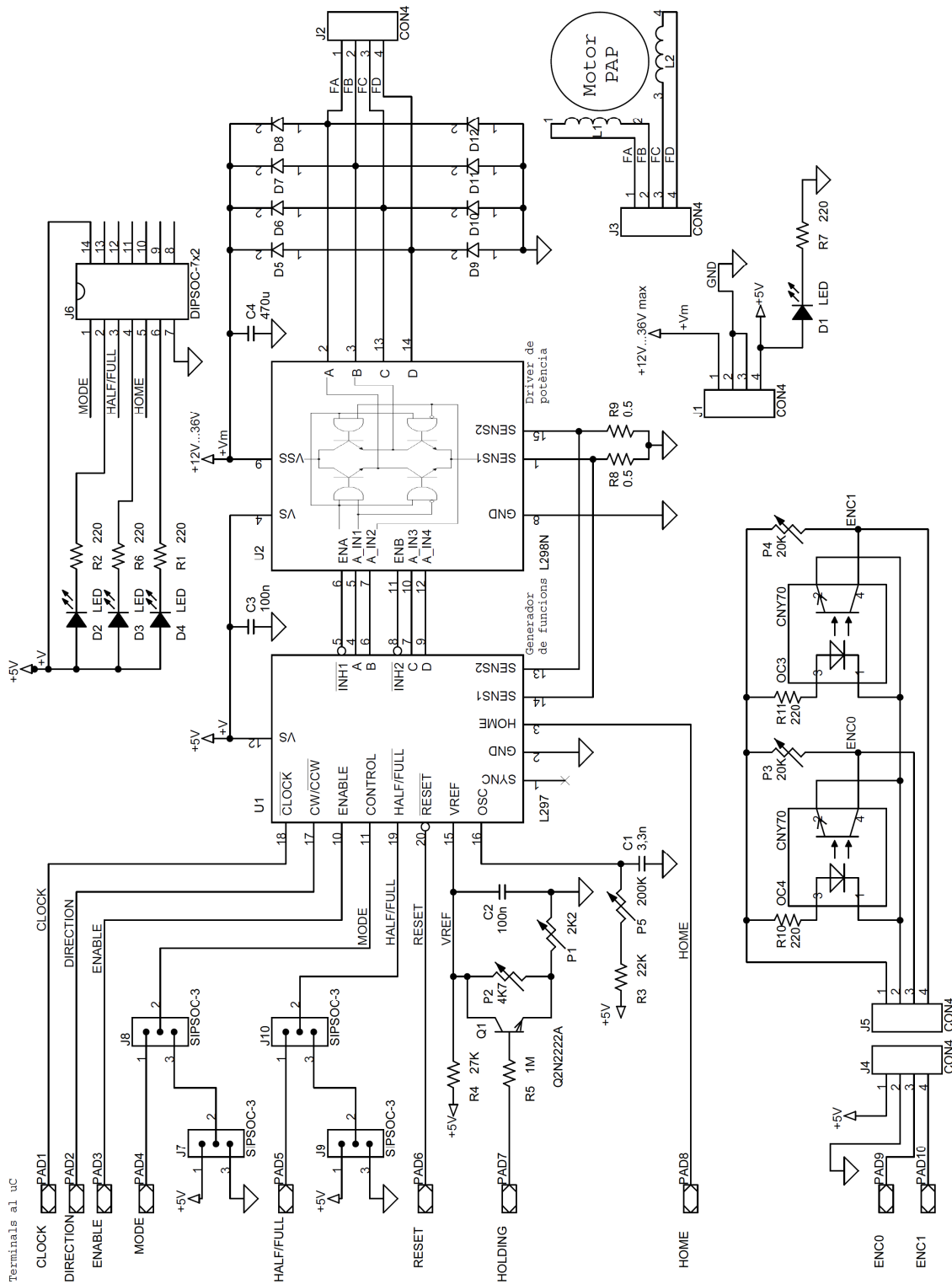


Fig. 4.28 Esquema del controlador per al motor unipolar PAP

4.2.4. Muntatge en protoboard i proves.

Un cop definit l'esquema electrònic es munta aquest sobre una protoboard per comprovar-ne el correcte funcionament. Seguidament es verifiquen totes les línies i es connecta el circuit dissenyat, amb el motor inclòs, a la font d'alimentació i al port 5 de l'entrenador MCLS.

Es programa un codi bàsic, tal i com es veu a la Fig. 4.29, que determina l'estat de les diferents entrades a L297 i li dona una senyal de rellotge, això permet observar la posada en marxa del motor i el seguiment del moviment programats. Es fan diferents proves (canvi de sentit de gir, de la freqüència del rellotge, del mode de les seqüències de fase, del control del chopper, del reset, de la Vref, de l'habilitació i de la lectura del home) i s'observa que el sistema respon adequadament a les instruccions programades i es decideix dissenyar una placa de circuit imprès perquè sigui més estable i pugui ser reproduït quan es desitgi.

```

MCL5-modular - [Bipolar.asm]
-----
* Project:   Flashing LED program, dated 23.09.1999
* Project file:   Bipolar
* Source file:   BiPolar.asm
* MC-Tools:   as, p2hex, debug51
* Profile:     User-profile 80C535-AS
-----

;-----Declarations required for Assembler-----
CPU      80515           ; CPU-selection for Assembler
INCLUDE  stddef51       ; Embed SFR-definitions
SEGMENT code           ; Program code segment starts here
ORG      0000H          ; Program code starts at 0000H

;-----
; *****
; ***** MAIN PROGRAM LED Flasher *****
; *****
START:
MOV P5, #026H
CALL TIMER             ; SR time delay

MOV P5, #027H
CALL TIMER             ; SR time delay

SJMP START             ; Program as closed loop
; *****

;-----
; Sub Routine ZEIT, approx. 131ms
;-----
; 2 nested DJNZ loops
TIMER:  MOV R7,#000H   ; Counter for outer loop
Z01:   MOV R6,#000H   ; Counter for inner loop
Z00:   DJNZ R6,Z00    ; 256*2µs (inner loop)
        DJNZ R7,Z01    ; 256*inner loop
        RET

END

```

Fig. 4.29 Programa Bipolar.asm desenvolupat amb l'entorn IDE

4.2.5. Disseny PCB.

Després de nombroses modificacions en l'esquema electrònic i les respectives rectificacions del disseny del circuit imprès, s'ha aconseguit un disseny que implementa l'esquema tal com es veu a la Fig. 4.28. Com s'aprecia, a la Fig. 4.30 a la part superior s'ha respectat un espai perquè hi pugui ser muntat el radiador. El problema és que no resta més temps per a la finalització del projecte i no s'ha materialitzat el prototip. Això fa que no es disposi de suficients demostracions de que la placa és operativa amb la màxima fiabilitat. De tota manera, es presenten les Figs.4.31, 4.32, 4.33 i 4.34 (corresponents a les capes TOP, BOT, AST i DRL respectivament) per la fabricació del PCB perquè puguin ser més endavant tingudes en compte, revisades i provades si se'n té ocasió.

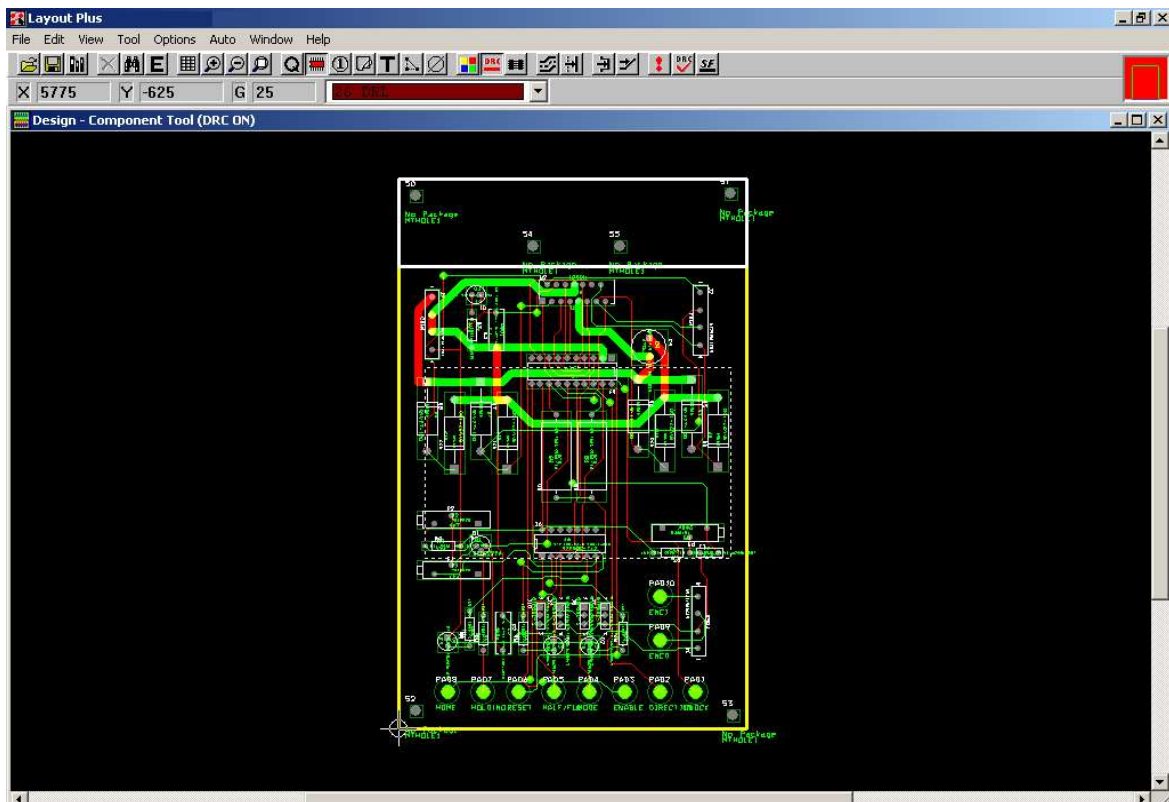


Fig. 4.30 Disseny PCB circuit bipolar

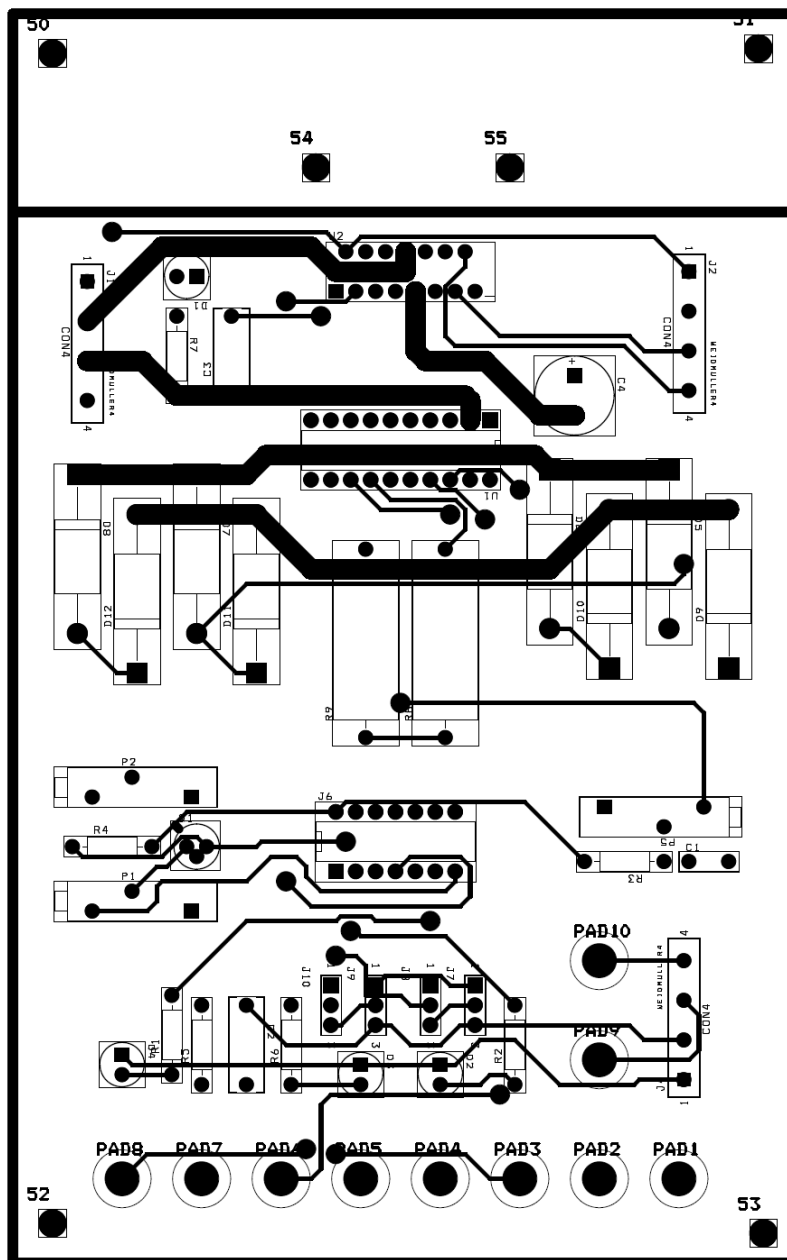


Fig. 4.31 Capa superior (TOP) de la PCB de la interfície per al motor bipolar

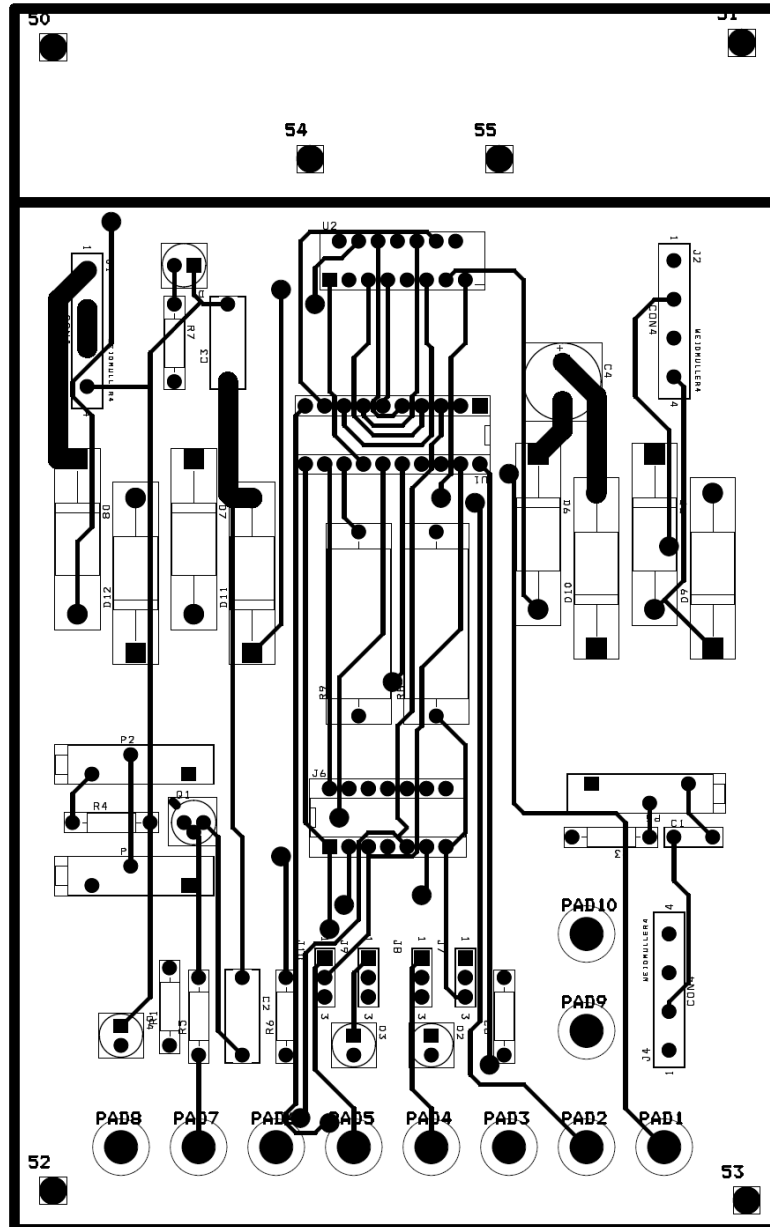


Fig. 4.32 Capa inferior (BOT) de la PCB de la interfície per al motor bipolar

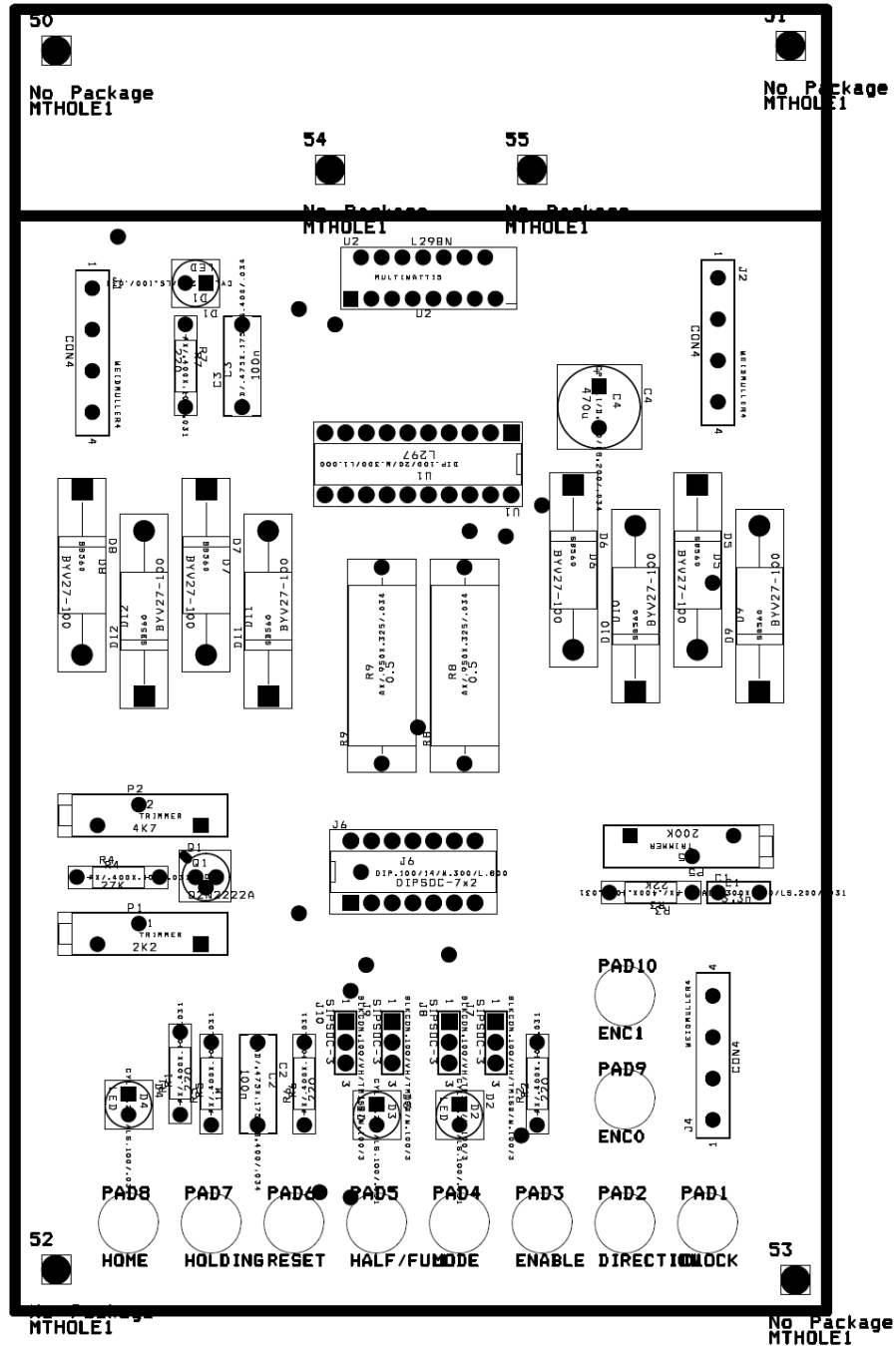


Fig. 4.33 Capa d'acoblament (AST) de la PCB de la interfície per al motor bipolar

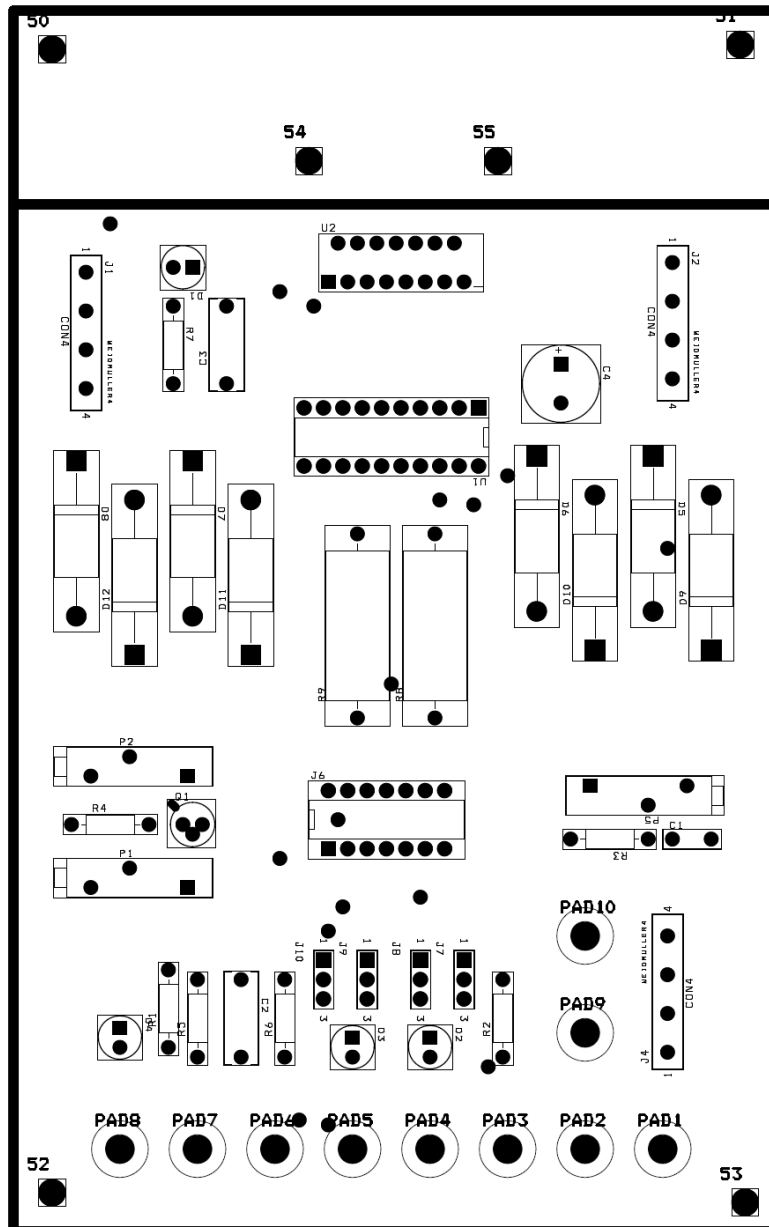


Fig. 4.34 Capa de perforacions (DRL) de la PCB de la interfície per al motor bipolar

5. Aplicacions pràctiques.

5.1. Entorn de treball IDE.

L'entorn de desenvolupament integrat (IDE) ha estat especialment concebut per MCLS-modular. Aquest entorn de treball permet la integració de totes les eines de desenvolupament de software necessàries, administrar projectes entre microcontroladors de destí y una interfície d'usuari basada en els conceptes operacionals de Windows. Aquest fet en facilita la seva utilització ja que no és necessari coneixements especials de l'usuari. A més a més també permet la integració fàcil i flexible de eines externes de desenvolupament. En aquest projecte s'ha utilitzat l'entorn de treball IDE 3.10. És possible treballar amb aquest software en les versions de Windows NT, 2000 y Windows XP per a les versions més modernes és necessari treballar des de màquines virtuals. A la figura 5.1 es mostra l'esquema de funcionament del software.

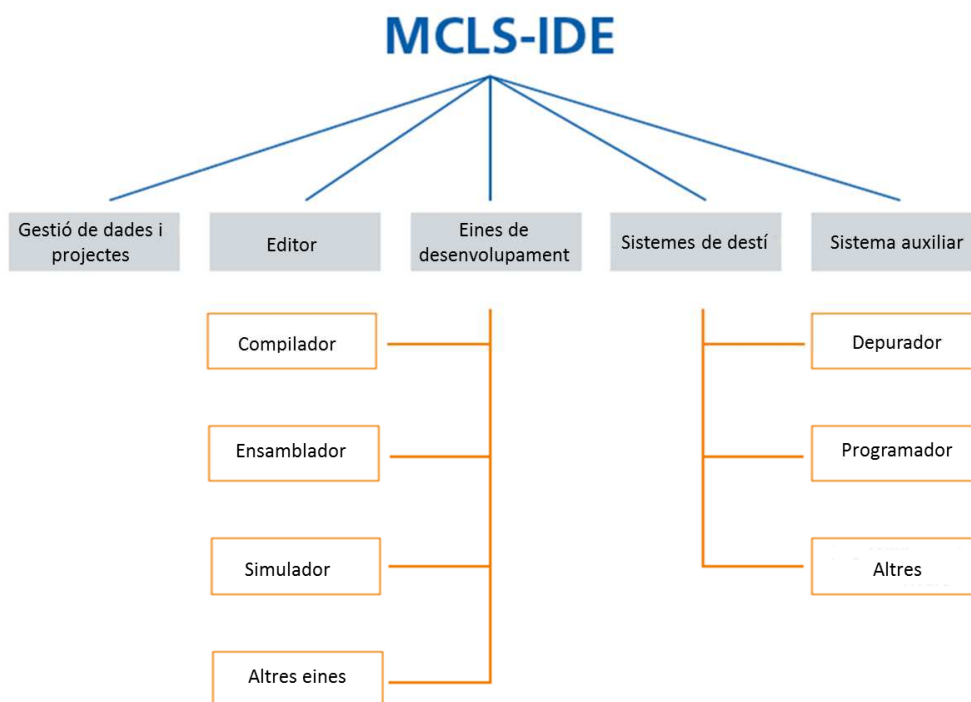


Fig. 5.1 Esquema funcionament IDE

En aquest entorn tot és flexible i obert pel que es refereix software per a programació específica de controladors. Es possible utilitzar software de diferents fabricants i compte amb assistència directa a través d'Internet. La elecció de les diferents eines de desenvolupament anirà lligada al sistema de destí i al objectiu del usuari. Al marge de les eines que ja venen configurades pels respectius microcontroladors també es poden integrar altres eines. Les diferents configuracions poden ser editades, guardar-se i carregar-se molt fàcilment per tal de utilitzar-les en diferents aplicacions.

5.2. Propostes de guions de pràctiques.

Una vegada conegut l'entorn i vistos els dos mòduls d'interfície entre l'entrenador MCLS i els motors PAP unipolar i bipolar i quines possibilitats ofereixen, és l'hora de veure quins enunciats els hi poden treure més rendiment acadèmic.

Pràctica 1. (Només por fer-se amb el motor bipolar, no s'ha d'utilitzar l'entrenador)

Connecta les 8 senyals d'entrada a l'L297 de forma manual i introdueix la freqüència de rellotge amb un generador de funcions. Augmenta i disminueix la freqüència per veure com accelera i frena el motor, inverteix sentit de gir, canvia les seqüències de control HALF/FULL, posa la V_{ref} en mode de parell de manteniment, amb l'oscil·loscopi observa les variacions del corrent de fase monitoritzant les resistències de sensat quan es canvia el sistema d'inhibició del chopper o la seva freqüència modulant el potenciòmetre, monitoritza la senyal de home o les dels encoders, etc.

En definitiva, respectant la part de potència, que no pot contactar mai amb la resta, aprèn jugant amb la interfície per al motor bipolar totes les possibilitats que té de ser manipulada.

Objectiu: Aprendre de manera interactiva totes les funcions que es capaç de gestionar el controlador chopper del motor bipolar L297.

Pràctica 2. (Pot fer-se amb motors unipolars i bipolars amb seqüència de control lliure)

Enunciat: Crea una rutina que faci que el motor giri i quan l'encoder detecti la marca, s'aturi d'immediat en aquest lloc. Després:

- La primera vegada 4 girs de 180°, dos en un sentit i 2 en l'altre i reposi 2 segons.

- La segona vegada faci un gir complet en cada direcció i reposi indefinidament.
- Comprova amb la lectura de l'encoder si s'ha tornat a la marca d'inici.

Objectius: En aquest exercici la velocitat de gir és lliure, o sigui que no cal programar temporitzadors progressius per generar rampes, únicament un temporitzador qualsevol. Es busca crear les rutines de moviment i aprendre a llegir les entrades de l'encoder.

Pràctica 3. (Pot fer-se amb motors unipolars i bipolars amb seqüència de control lliure)

Enunciat: Amb una càrrega a l'eix del motor, amb l'encoder fes que es situï sobre la marca, aturat 1 segon, i fes un nombre de voltes X (suficients per comptar el temps) tant ràpid com sigui possible sense perdre passos. Quan s'acaben les voltes completes la marca ha de tornar a coincidir amb l'encoder sinó el temps no és vàlid, guanya qui fa el menor temps.

Objectius: Fer notar la necessitat d'una rampa d'acceleració. També hi juga l'estratègia de la seqüència de control, ja que si bé una ofereix més parell l'altra avança més ràpidament. Els temps s'han de comparar per motors i càrregues iguals.

Altres.

Aquestes tres pràctiques únicament són a tall d'exemple. Depenent del temps disponible a dedicar a l'aprenentatge amb l'entrenador MCLS i els motors pas a pas, es pot anar aprofundint en la complexitat de la programació del microcontrolador per extreure el màxim rendiment tant d'un com altre equipaments.

6. Pressupost.

En aquest pressupost es mostren les despeses econòmiques relacionades amb el disseny i execució del projecte, des del material necessari fins a les hores de dedicació pel kit de dues plaques conjuntes.

6.1. Cost del prototip.

6.1.1 Cost del material.

UNITATS	DESCRIPCIÓ DEL MATERIAL	REFERENCIA	PREU (€)	TOTAL (€)
1	Controlador motors bipolars de 2 fases	L297	5.72	5.72
1	Driver doble de ona completa TTL	L298N	6.99	6.99
2	Eight darlington arrays	ULN2803A	0.53	1.06
1	CMOS HEX inverter	M74HC04	0.56	0.56
1	Sòcol PCB 20pin per circuits integrats	W30520TRC	0.56	0.56
2	Sòcol PCB 18pin per circuits integrats	W30518TRC	0.61	1.22
2	Sòcol PCB 16pin per circuits integrats	W30516TRC	0.74	1.48
9	Red LED, ø5 mm Tinted Non-Diffused	TLHR62	0.09	0.81
2	Green LED, ø5 mm Tinted Non-Diffused	TLHG62	0.09	0.18
1	Connector PCB 6vies mascle 90°	SL 5.08/6/90	1.08	1.08
1	Connector cargolat 6vies femella	BL 5.08/6	2.58	2.58
1	Connector PCB 4vies mascle 90°	SL 5.08/4/90	0.61	0.61
1	Connector cargolat 4vies femella	BL 5.08/4	1.87	1.87
2	Connector PCB cargolat 4vies	282836-4	0.98	1.96
1	Transistor Unipolar, 60V, 0.8A, 0.5W	2N2222A	1.28	1.28
2	Resistències fil bobinat de 0.5Ω i >2W	ER581R0JT	0.71	1.42
6	Resistències carbó de 0.25W i 220Ω	CFR16J220R	0.11	0.66
9	Resistències carbó de 0.25W i 470Ω	CFR16J470R	0.11	0.99
1	Resistències carbó de 0.25W i 1MΩ	CFR16J1M0	0.03	0.03
1	Resistència carbó de 0.25W i 27KΩ	CFR16J27K	0.03	0.03
1	Resistència carbó de 0.25W i 22KΩ	CFR16J22K	0.03	0.03
1	Trimmer multivolta 2KΩ	3296X-1-202LF	1.97	1.97
1	Trimmer multivolta 4K7Ω	3296X-1-502LF	1.97	1.97
4	Trimmer multivolta 10KΩ	3296X-1-103LF	1.97	7.88
3	Cond. multicapa polièster metal. 100nF	SR215C104KAR	0.13	0.39
1	Cond. multicapa polièster metal. 33nF	SR205C333KAR	0.16	0.16
16	Connectors banana femella 2mm	A-2.004-B	0.99	15.84
8	Díodes Schottky Si-Di, 60 V, 5 A	SB560	0.26	2.08
2	Resistències cos ceràmic de 68Ω i 17W	SBCHE1568RJ	1.24	2.48
4	Sensors òptic reflexiu de sortida transistor	CNY70	1.01	4.04
1	Radiador 1.1 K/W	SK88-75-SA	8.00	8.00
2	PCB Europea fresada 2 cares 160x100mm	Eurocard	12.00	24.00
TOTAL MATERIAL				99.93

Taula 6.1 Cost del material

6.1.2. Costos de recursos humans.

<u>Concepte</u>	<u>Hores</u>	<u>Preu/hora (€)</u>	<u>Total (€)</u>
Estudi i documentació (Enginyer sènior)	50	60	3.000
Disseny (Enginyer sènior)	50	60	3.000
Muntatge i posada a punt (Enginyer júnior)	100	30	3.000
Redacció memòria (Enginyer sènior)	50	60	3.000
TOTAL RECURSOS HUMANS			12.000

Taula 6.2 Cost dels recursos humans

6.1.3. Amortització equips, instrumental i software.

<u>Equip utilitzat</u>	<u>Hores d'utilització</u>	<u>Preu/hora (€)</u>	<u>Total (€)</u>
Ordinador	200	0,50	100
Software ORCAD	20	2,00	40
Microsoft Office	50	1,00	50
Oscil·loscopi	20	3,00	60
Multímetre	10	0,50	5
Font d'alimentació	100	0,50	50
Equip de soldadura	10	10	100
TOTAL AMORTITZACIONS			405

Taula 6.3 Cost de les amortitzacions

6.1.4. Despeses indirectes.

Les despeses indirectes consideren les despeses diverses per l'ús de les instal·lacions on s'ha desenvolupat el projecte/treball, com poden ser els consums d'energia elèctrica i aigua, el lloguer del local, etc.

Aquestes despeses indirectes s'acostumen a incloure amb un percentatge sobre el cost del projecte d'entre el 15 i el 25%, per això es decideix aplicar un 20%.

6.1.5. Cost de fabricació del prototip.

Costos de material	99,93 €
Costos de recursos humans	12.000 €
Costos d'amortització	405 €
Subtotal	12.504,93 €
Despeses indirectes (20%)	2.500,99 €
TOTAL	15.005,92 €

Taula 6.4 Cost del prototip

6.2. Preu de venda en el mercat.

6.2.1. Càlcul del cost total per unitat.

Cost total del material per un prototip	99,93 €
Descompte de material 20%	-19,99€
Cost total del material per una unitat	79,94 €
Cost de fabricació per una unitat	10 €
Cost total per unitat	89,94 €

Taula 6.5 Cost total per unitat

Al produir 200 unitats s'espera obtenir un descompte del 20% respecte el preu pagat per la realització del prototip. El cost de fabricació es produeix en externalitzar el muntatge.

6.2.2. Càlcul del preu de venda per unitat.

Cost total per 200 unitats	17.988 €
Cost desenvolupament	15.005,92 €
COST TOTAL	32.993,92 €
Preu de venda unitari (COST TOTAL/200 unitats)	164,97 €
Marge comercial 40%	65,99 €
PREU DE VENDA UNITARI	230,96 €

Taula 6.6 Preu de venda per unitat

No hi ha comparació possible al mercat degut a que es tracta d'una solució personalitzada.

7. Impacte mediambiental.

En primer lloc indicar que en aquest treball tan sols es busca la construcció d'un prototip funcional, per això la quantitat de materials usats és força baixa i per tant les seves conseqüències mediambientals són escasses. Malgrat això, tota activitat comporta una petjada ecològica i per tal de conèixer l'impacte ambiental produït per a la realització d'aquest treball s'hauran de tenir en compte diferents factors.

En primer lloc cal tenir en compte els materials utilitzats i per tan el cost energètic i la contaminació que se'n deriva de la seva producció. Així doncs podem apuntar que pel sol fet d'utilitzar els diferents elements primaris per a la construcció dels components ja comportem efectes negatius per a l'atmosfera, l'explotació del sòl i la contaminació de les aigües a través de la indústria. A més a més, cal afegir que tots els components són plàstics i metàl·lics i per tant comporten més pol·lució per a la seva extracció amb l'agreujaent de que són recursos finits. Per tal de minimitzar aquests efectes una opció interessant a tenir en compte seria la utilització de materials reciclats.

La utilització d'estany i plom en la construcció del prototip, també pot acabar suposant efectes nocius pel medi ambient. La ingestió de plom és altament tòxica i per tant és un greu contaminant per a tots els ecosistemes. L'estany en si no és molt tòxic però pot formar compostos orgànics que si que ho són i que poden mantenir-se en el medi durant molt de temps. En aquest cas al tractar-se d'un prototip no s'ha tingut en compte la directiva RoHS però en cas de voler produir-se en sèrie s'hauria de comprovar que el prototip s'ajusta a tos els seus paràmetres.

També cal remarcar la creixent preocupació per la utilització de retardants de flama en la construcció de les PCB. Aquests compostos són utilitzats per tal de protegir aquests plaques contra incendis i són considerats contaminants orgànics persistents. Ja des de fa anys la indústria electrònica ha mostrat preocupació per a utilització d'aquests compostos halogenats degut a que diferents estudis han reportat efectes adversos sobre la salut humana i el medi ambient.

Finalment cal considerar l'eliminació dels residus que no siguin reutilitzables mitjançant els punts indicats de recollida de material electrònic.

8. Conclusions.

Aquest projecte ha tractat quatre àrees fonamentals en el món de l'electrònica industrial que coneixem avui dia, aquestes han estat:

1. Motors; en aquest cas motors els pas a pas.
2. Disseny electrònic, tant analògic com digital.
3. Elaboració de prototips funcionals.
4. Programació de microcontroladors.

El primer punt, ha permès conèixer de manera amplia, les principals característiques que ofereixen el profund ventall de motors pas a pas que es poden trobar al mercat. No tan sols hem descobert els seus avantatges, com ara la seva precisió en llaç obert, la poca inèrcia que mostren i les possibilitats que ofereix el seu control, sinó que també s'ha conegut els seus inconvenients com les ressonàncies, la limitació en les revolucions per minut o el risc de sobrepassar el parell màxim del motor i perdre alguns passos. Per descobrir tot això ha calgut veure com es construeixen internament les diferents variants disponibles: d'imant permanent, de reluctància variable o híbrids.

Seguidament s'ha entrat a tractar el disseny electrònic, que és la clau per comunicar sistemes entre si, com en el nostre cas on s'aconsegueix un parell de força mecànic gràcies a la gestió de forces electromagnètiques. Aquí s'ha vist diferents tipus de solucions com són la lògica interna d'alguns circuits integrats que utilitzen l'electrònica digital i el comportament analògic de components discrets com ara els transistors.

En tercer lloc s'ha afrontat el repte de portar la teoria a la pràctica i experimentar de primera mà quins són els perills reals i les sorpreses alhora de intentar plasmar les idees en objectes físics, que tenen multitud d'aspectes a considerar alhora d'escollir-los.

Y per acabar, s'ha introduït la programació de microcontroladors, en aquest cas un C515C basat en la família 8051; que demostra la gran capacitat que tenen aquests dispositius de baix cost en assolir prestacions considerables coneixent-ne la seva estructura interna de funcionament.

9. Referències.

- [1] Takashi Kenjo, *Stepping Motors and their microprocessor controls*. Monographs In Electronical And Electronic Engineering, Oxford Science Publications, Clarendon Press 1984.
- [2] Paul Acarnley, *Stepping Motors a guide to theory and practice*. IET Control Engineering Series 63, Prof. D.P. Altherton and Prof. G.W. Irwin. 4th Edition, 2007.
- [3] P. Krause, O. Wasynczuk, S. Pekarek, *Stepper Motors*, Electromechanical Motion Devices, John Wiley & Sons, Inc., 2012, pp. 415-450.
- [4] Condit, R., & Jones, D. W. (2004). *Stepping motors fundamentals*. Microchip Application Note: AN907,[Online]. Available: www.microchip.com.
- [5] Sax, Herbert. "*Stepper Motor Driving*." AN235, 1995.
- [6] P. Krause, O. Wasynczuk, S. Pekarek, *Drive circuit basics*, Electromechanical Motion Devices, John Wiley & Sons, Inc., 2012.
- [7] <http://www.astelweb.com/download/pdf/prodotti/motoripp/H200/HY%20200%203424.pdf>
- [8] <http://www.crouzet.com/english/catalog/stepper-motors-direct-drive-stepper-motors-7-5-5-watts-2-phases-Part%20number-82910001.pdf>
- [9] SGS-THOMSON Microelectronics. *The L297 Stepper Motor Controller*, SGS-THOMSON Microelectronics Group of companies, Application note, 1995.
- [10] STMicroelectrònics. *L298 DUAL FULL-BRIDGE DRIVER*, <http://www.st.com>, 2000.
- [11] <http://mcls-modular.de/english/home.htm>