



EPS

Escola Politècnica
Superior

Projecte/Treball Fi de Carrera

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

Títol: Cap mòbil amb tecnologia led RGBW controlat per DMX

Document: 1. Memòria

Alumne: David Moreno Cabruja

Director/Tutor: Miquel Rustullet Reñé

Departament: Enginyeria Elèctrica, Electrònica i Automàtica

Àrea: Enginyeria de Sistemes i Automàtica

Convocatòria (mes/any): setembre/2009

ÍNDEX

1. Introducció	3
1.1. Antecedents	3
1.2. Objecte.....	5
1.3. Especificacions i abast	6
2. El microcontrolador	7
3. El protocol DMX512	9
3.1. Valors, canals i direccions DMX	9
3.2. Instal·lacions DMX.....	10
4. El control dels motors pas a pas	12
4.1. Funcionament.....	12
4.2. Seqüències de maneig	14
4.3. Característiques	15
4.4. Posicionament inicial dels motors.....	16
5. El focus de leds.....	17
6. La interfície de comunicació.....	19
7. Efectes.....	22
8. El firmware del microcontrolador	24
8.1. Recepció DMX	24
8.2. Configuració dels PWM	26
8.3. Control dels motors	27
8.4. Control dels leds.....	29
8.5. Les interrupcions	32
8.6. El menú del display	34
8.7. La memòria EEPROM	35
9. Diagrama de flux del programa	36
10. Resum del pressupost	37
11. Conclusions	38

12. Relació de documents.....	39
13. Bibliografia.....	40
14. Glossari	45
A. Càlculs.....	46
A.1. Font d'alimentació 5v/3A	47
A.2. Font d'alimentació 5v/1A	49
A.3. Motors	51
A.4. Focus de leds	53
B. Convertidor USB/DMX512	56
B.1. El PIC16C745.....	56
B.2. El circuit.....	57
B.3. Programar el PIC.....	59
B.4. El software	60
C. Codi informàtic.....	62

1. Introducció

Aquest projecte consisteix en el disseny tant a nivell de hardware com de software d'un cap mòbil amb tecnologia led RGBW controlat pel protocol DMX512.

1.1. Antecedents

Amb el pas del temps, els pesats i voluminosos equips d'il·luminació han estat reemplaçats per tecnologies molt més lleugeres.

Fins fa pocs anys, s'utilitzava l'anomenat control analògic lineal, sistema amb el qual cadascun dels dimmers necessitava d'un control amb un conductor provinent de la consola. Amb l'aparició dels projectors que cada vegada permetien més i més funcions van fer que aquest sistema no fos factible. Òbviament, quant més augmentava el número de canals, també ho feia el nombre de contactes i de connectors. Els cables i els connectors multipolars eren pesats i costosos. Els problemes eren freqüents i la incompatibilitat estava assegurada ja que cada casa productora utilitzava diferents connectors i els voltatges i les intensitats de control eren diverses i freqüentment amb polaritats diferents.

Això va portar que al 1986, a petició de la USITT (Institut Americà de les Tecnologies Teatral) es desenvolupés un protocol de transmissió de dades anomenat DMX512, normalment abreviat com DMX (Digital Multiplex), per convertir el sistema de comunicació entre consoles i aparells en un estàndard eficient, simple i digital. Aquesta senzilla interfície, formada per un parell de cables més el cable de massa, teòricament, permet controlar fins a 512 unitats de llum encara que a la pràctica, el límit es troba en 32 connexions. L'aparició dels ordinadors encara va facilitar molt més les coses i va ampliar el ventall d'opcions.

Un gran canvi que ha aparegut en els últims quinze anys, ha estat la introducció generalitzada de llums mòbils fins arribar, actualment, a una ampla gamma amb diferents tipus de sofisticació, precisió i sortida de llum.

Els llums mòbils funcionen sota dos principis bàsics; en ambdós casos l'objectiu és moure horitzontalment (pan) i moure verticalment (tilt) el feix de llum que surt de la lluminària.

Quan aquests moviments els realitza tota la lluminària sencera, aquesta llum mòbil s'anomena més concretament cap mòbil o moving head. L'alternativa és utilitzar una

Il·luminària fixa amb un mirall mòbil encarregat de reflectir la llum; en aquest cas passen a anomenar-se scanners.

Cadascun té els seus avantatges i inconvenients: un cap mòbil aconsegueix 360° o més de moviment horitzontal (normalment 440°) i al voltant de 300° d'inclinació limitats per la base de la lluminària. En canvi, un scanner només pot aconseguir 180° de moviment horitzontal (encara que els millors poden arribar als 300°) i està limitat al voltant de 85° d'inclinació. No obstant, en un cap mòbil, un moviment ràpid d'alta precisió és difícil d'aconseguir degut a la massa de la lluminària; en canvi, un mirall permet fer moviments ràpids i precisos.

Dins de la lluminària, la prioritat és aconseguir un posicionament precís del feix de llum la qual cosa s'aconsegueix mitjançant motors pas a pas. Aquests tipus de motors són uns dispositius que quan se'ls hi aplica una seqüència determinada de polsos elèctrics, es mouen de forma esglaonada a un angle definit. Una rotació continua s'aconsegueix amb un flux de polsos, però la rotació pot parar-se en una posició angular precisa i aquesta posició es manté electromagnèticament. Un motor pas a pas típic sol tenir 200 posicions en una revolució, és a dir, que per cada impuls o pas gira un angle de $1,8^\circ$.

En els scanners o caps mòbils professionals, aquests motors s'utilitzen amb una configuració especial anomenada micropassos o microstepping, que implica una seqüència de polsos més complexa per aconseguir posicions intermèdies i buscar una precisió encara més elevada. Centrant-nos en els caps mòbils, les xifres de rendiment típiques pel moviment horitzontal són de $0,013^\circ$ per pas i la inclinació de $0,007^\circ$ per pas.

La característica més destacada de tots els caps mòbils i scanners és el canvi de color, el qual es fa mitjançant un o més filtres disposats en les anomenades rodes de color (color wheels) motoritzades. És possible aconseguir una àmplia gamma de colors mitjançant l'ús del principi de la mescla de colors. Actualment també s'utilitza la tecnologia LED la qual s'ha anat imposant poc a poc dins el món de la il·luminació espectacular gràcies a la seva qualitat, pes, durabilitat i estalvi energètic, a més d'oferir efectes molt interessats.

No obstant, hi ha altres efectes interessant com són els gobos (màscare de figures simples), efectes de prisma, iris (variar el diàmetre del feix de llum), zoom, enfocament...

Per tant, el control de les llums mòbils és força complexa ja que cada lluminària requereix el control d'intensitat, moviment vertical i horitzontal, a més del control d'un nombre variable

d'atributs mencionats anteriorment, arribant així a utilitzar fins a 20 canals DMX. Gràcies als programes d'ordinador existents actualment, es pot ampliar molt més la seva versatilitat, podent crear efectes o memoritzar seqüències d'una manera molt còmode, ràpida i visual.

1.2. Objecte

Aquest projecte té com a propòsit crear un prototipus amb tots els elements necessaris, tant de hardware com de software, per aconseguir un cap mòbil de prestacions semblants als professionals controlat per DMX, el protocol més utilitzat en il·luminació espectacular.

Un dels principals objectius és aconseguir governar aquest dispositiu amb software existent gratuït i utilitzant com a interfície un convertidor USB/DMX512 per integrar-lo completament dins el món de la il·luminació.

A nivell de hardware, es pretén que, mitjançant la recepció de comandes de DMX, puguem controlar dos motors pas a pas que permetin direccionar el flux de llum a qualsevol punt de l'espai i un focus format per leds blancs i leds RGB. A més, s'utilitzaran dos sensors per l'autoposicionament inicial dels motors i una pantalla LCD acompanyada d'uns polsadors com a interfície de comunicació. El conjunt estarà governat per un microcontrolador PIC que podrà ser actualitzat fàcilment gràcies a la seva programació per ICSP.

A nivell de software, el cap mòbil tindrà dotze canals DMX que permetran regular la intensitat de manera independent dels quatre colors primaris (vermell, verd, blau i blanc) per formar tota la gamma de colors, el moviment horitzontal (pan) i el moviment vertical (tilt) amb una resolució de 8 i 16 bits, la velocitat del moviment horitzontal i vertical, la intensitat de tot el focus (dimmer) i l'efecte estroboscòpic (strobe).

A més a més, també hi haurà alguns efectes predeterminats com la memorització de colors o jocs de llums predeterminats i una versió demostració en què el cap mòbil anirà fent aleatòriament diferents efectes. Els menús pels quals podrem navegar gràcies a la pantalla LCD ens permetran configurar i controlar de forma manual totes aquestes opcions.

Per tant, es dissenyarà i es realitzarà, amb els mínims costos possibles, un cap mòbil actualitzable i compatible amb els existents al mercat.

1.3. Especificacions i abast

Aquest projecte es limita al disseny i a la realització de tots els elements de software i hardware necessaris per crear un prototipus de cap mòbil que pugui ser controlat mitjançant el protocol DMX.

Per tant, està encarat completament cap a la vessant electrònica i de programació sense fer referència als materials i elements constructius utilitzats o sobre el disseny i estètica del producte.

2. El microcontrolador

L'element més important és el microcontrolador PIC18F6520 de l'empresa Microchip. Aquest xip, de 64 pins i únicament amb encapsulat TQFP, presenta unes característiques ideals per aquest projecte. El seu diagrama de pins es pot veure a la figura 1:

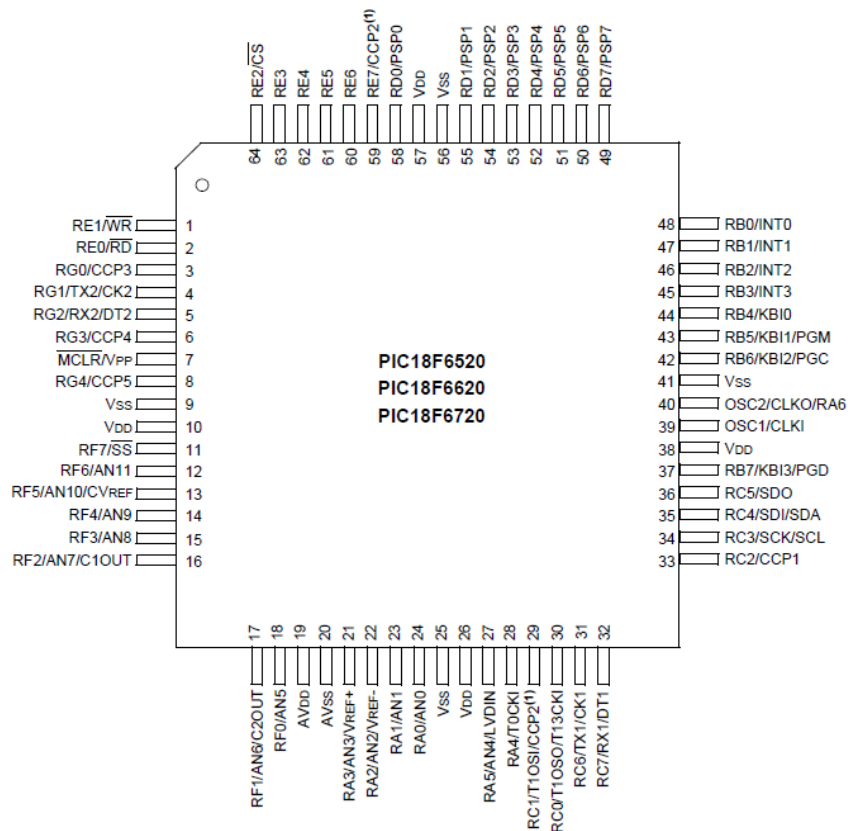


Figura 1. Diagrama de pins

El primer factor és la necessitat d'un microcontrolador amb un nombre d'entrades/sortides superior a trenta per poder connectar tots els perifèrics com són la pantalla LCD, els polsadors, els leds de senyalització, entre d'altres.

Quatre dels cinc mòduls CCP dels que consta el xip seran utilitzats per regular la lluminositat de cada color (vermell, verd, blau i blanc) independentment mitjançant PWM. D'aquesta manera, estalviarem la utilització de timers i de codi de programa addicional.

A més, els 1024 bytes de memòria EEPROM permetran guardar algunes dades com són el número de canal inicial en el que col·locarem el cap mòbil o la configuració predeterminada com és la durada de la il·luminació de la pantalla LCD.

Gràcies al PLL (Phase Locked Loop) intern del PIC podrem multiplicar per 4 la freqüència de l'oscil·lador extern. Per tant, col·locant un cristall de 10MHz, la freqüència interna del rellotge serà de 40MHz amb la qual cosa podrem processar totes les dades DMX que li arribin, mostrar la informació per la pantalla LCD i atendre interrupcions sense tenir problemes de velocitat.

Dos de les tres interrupcions externes que té el microcontrolador s'utilitzaran pel posicionament inicial dels motors del cap mòbil, la interrupció del port sèrie s'usarà per la recepció de les trames DMX i la interrupció per desbordament d'alguns dels timers permetran controlar algunes accions com el temps que romandrà encesa la pantalla LCD, o el temps que mantenim premut un polsador per incrementar més ràpidament el comptatge.

Com gairebé tots els PIC's, també disposa de programació per ICSP (In Circuit Serial Programming) la qual cosa anirà molt bé per si es requereix alguna actualització del firmware sense necessitat d'haver de treure el microcontrolador de la placa.

3. El protocol DMX512

El DMX512 és un protocol de transmissió de dades que es basa en l'estàndard internacional EIA RS485. La RS485 s'utilitza en totes aquelles aplicacions on es necessita una transmissió serial fiable i simple. A diferència de la més coneguda RS232, la RS485 permet abastar distàncies superiors ja que transfereix la informació a través d'una parella de conductors i no a través d'un sol conductor.

Aquest tipus de comunicació s'anomena diferencial o balancejada i la seva principal característica és l'elevada immunitat a les interferències elèctriques o electromagnètiques comunes (referides a massa). Això és gràcies a que s'eliminen totes les senyals no desitjades del mateix signe, presents al mateix temps en els dos conductors, mentre s'amplifica la senyal diferencial. Actualment, els amplificadors diferencials utilitzats en el DMX512 són en realitat petits circuits integrats com és el cas del MAX485, l'usat en aquest projecte, o el DS75176.

3.1. Valors, canals i direccions DMX

El protocol DMX512 es basa en la utilització de canals per transmetre comandes als dispositius receptors. El DMX512 té un límit de 512 canals per univers i cada canal ocupa un byte amb la qual cosa el valor transmès per canal es pot regular des de 0 fins a 255 valors. Cada trama DMX512 porta els 512 bytes corresponents a la dada de cada canal, independentment de que s'utilitzin o no tots els canals. Actualment, les taules professionals poden suportar fins a 8 universos DMX i amb la tecnologia Ethernet-DMX, aquests poden ser ampliat encara més.

En DMX512 es transmeten les dades de mode asincrònic, a 250kbits per segon. Això significa que les senyals del transmissor i dels receptors no estan en sincronia, però els receptors es sincronitzen cada vegada que la consola envia una determinada senyal.

Bàsicament, la trama DMX complerta es compon d'una senyal de sincronització i dels 512 bytes d'informació que es corresponen amb els 512 valors DMX. Els receptors reben tota la trama, però processen només la informació relativa als canals pels que estan configurats.

La informació es transmet seguint el diagrama de temps de la figura 2:

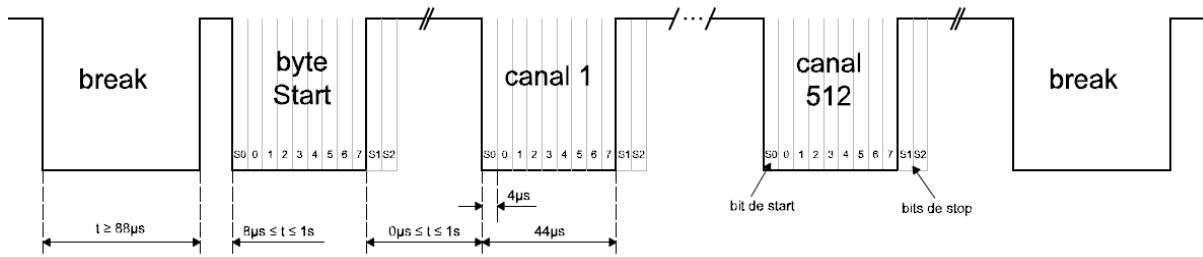


Figura 2. Diagrama de temps d'una trama DMX

Com es pot observar, la trama completa té varies parts: una senyal de Break de nivell baix de 88µs mínim, una marca rere el Break de nivell alt de 8µs mínim, el byte Start que sempre val 0, un temps entre bytes que pot arribar fins a 1 segon i la trama de 512 bytes que són les dades dels 512 canals formats cadascun d'ells per un bit de Start, 8 bits de dades i dos bits de Stop a nivell alt. Amb això, tenim que la duració mínima per una trama completa és de 22,7 ms i la màxima velocitat de refresc de la informació és de 44 vegades per segon. La USART del microcontrolador serà l'encarregada de recollir totes aquestes dades.

Com dèiem, com que pel bus DMX viatja la informació dels 512 canals, cada dispositiu ha de ser configurat per "escoltar" els que necessiti. Quan un dispositiu necessita la utilització de varis canals, es configura només la direcció del primer d'ells, quedant reservats per aquest dispositiu tots els que necessiti a partir del primer.

Normalment, un dispositiu utilitza varis canals i s'identifica físicament amb el codi del canal d'inici. D'aquesta manera, si un cap mòbil utilitza 12 canals, com és aquest cas, i està identificat amb el codi 128, automàticament reservarà del canal 128 al 139 per ell mateix. Per tant, s'ha de tenir en compte que les direccions DMX dels aparells no estiguin mai superposades.

3.2. Instal·lacions DMX

Amb DMX512 es poden abastar distàncies de comunicació, entre els extrems del bus, de fins a 500m. No obstant, aquesta distància és per un cas ideal ja que a la pràctica és estrany trobar línies de transmissió de més de 100 metres de longitud. Si fos necessari augmentar les distàncies seria precís utilitzar buffers o splitters.

Habitualment, els dispositius DMX tenen una entrada i una sortida, de manera que és fàcil configurar-los en cadena, un rere l'altre tal i com es pot observar a la figura 3. És obligatori col·locar en els extrems del bus una resistència de 120Ω 1/4W, entre els conductors de les senyals de dades. Oblidar-se de col·locar aquesta resistència sol ser causa freqüent d'averies en instal·lacions DMX o falles en la comunicació.

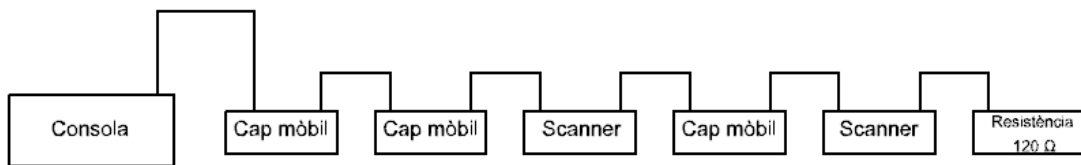


Figura 3. Topologia d'una instal·lació DMX512

Els cables habitualment utilitzats en DMX són els de par trenat ja que ofereixen una major immunitat al soroll. Com hem comentat abans, ambdós fils reben la mateixa quantitat de soroll i això permet als amplificadors diferencials eliminar-lo per quedar-se només amb la informació vàlida.

Els connectors estàndards són els XLR, tal com es mostren a la figura 4, dels que n'hi ha dos models: de 3 i de 5 pins. Antigament s'utilitzaven molt els de 3, però actualment, són més freqüents els de 5 pins.

La configuració dels pins 1 al 3 en un connector de 3 pins és la mateixa a la dels pins 1 al 3 d'un connector de 5 pins. Un cable de 5 pins està configurat de la següent manera: el pin 1 és la senyal de referència o massa, el pin 2 és la senyal invertida (DMX-), el pin 3 és la senyal positiva (DMX+) i els pins 4 i 5 són opcionals i la seva utilització varia segons l'aparell ja que els fabricant no han arribat a un acord de com utilitzar-lo. La intenció original era tenir realimentació dels aparells i establir amb aquests un enllaç bidireccional.



Figura 4. Connectors XLR de 5 pins

4. El control dels motors pas a pas

Per aquest projecte s'han utilitzat motors pas a pas (PAP) d'imant permanent pel moviment horitzontal i vertical perquè permeten efectuar moviments molt precisos i poden quedar enclavats en una posició si una o més bobines estan energitzades o pel contrari, poden quedar totalment lliures si no circula corrent per cap de les seves bobines.

La seva principal característica és el fet que es poden moure un pas per cada pols que se'ls hi aplica. En la nostre aplicació s'han utilitzat motors de 200 passos ($1,8^\circ$) ja que presenten una bona relació precisió/preu.

4.1. Funcionament

Els motors utilitzats estan formats per un rotor sobre el qual hi ha els diversos imants permanents i per un nombre determinat de bobines excitadores bobinades a l'estàtor. La commutació (o excitació de les bobines) es fa mitjançant el microcontrolador PIC18F6520 i com a interfície entre el xip i el motor s'utilitza un driver de potència.

Són motors pas a pas unipolars, fàcilment recognoscibles perquè tenen 5 o 6 cables de sortida depenent de si els 2 comuns estan units o no tal i com s'observa a la figura 5. S'han escollit unipolars perquè la seva activació pot ser feta directament per un microcontrolador.

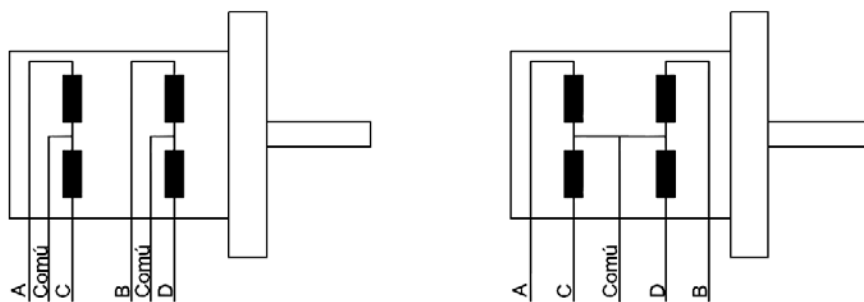


Figura 5. Esquema cables motor pas a pas unipolar de 5 i 6 cables

El motor més petit, l'encarregat de fer el moviment vertical (tilt), utilitza l'integrat ULN2003A, format per un array de 7 transistors tipus Darlington d'interfície 5v TTL capaç de suportar fins a 500mA. Podem veure el seu diagrama lògic a la figura 6.

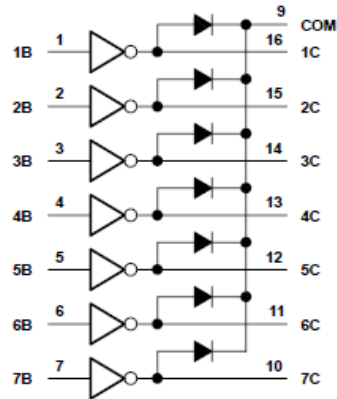


Figura 6. Diagrama lògic del ULN2003A

Com que el motor més gran, l'encarregat de fer el moviment horitzontal (pan), té un consum molt més elevat no s'ha pogut fer servir cap integrat i per tant, s'han utilitzat 4 transistors de potència TIP122 capaços de suportar fins a 5A. Com veiem a la figura 7, es tracta d'un transistor tipus Darlington que ja porta integrat un díode entre el col·lector i l'emissor per evitar corrents inverses que puguin malmetre el transistor.

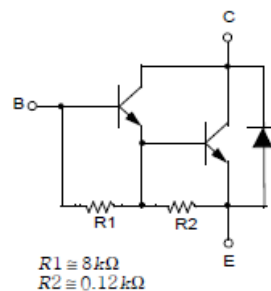


Figura 7. Diagrama lògic del transistor TIP122

4.2. Seqüències de maneig

S'han utilitzat dues de les tres seqüències possibles per aquest tipus de motors: la seqüència normal i la seqüència del tipus mig pas. Aquestes seqüències comencen novament pel pas 1 una vegada s'ha arribat al pas final (4 o 8). Per invertir el sentit de gir, només s'han d'executar les seqüències en mode invers.

La seqüència normal s'utilitza quan la resolució dels moviments pan i tilt és de 8 bits. Amb aquest sistema sempre hi ha dues bobines activades, obtenint un alt parell de pas i de retenció. Amb aquesta seqüència aconseguim que el motor efectui 200 passos per volta ($1,8^\circ$ per pas). A la taula 1, veiem com s'activen les bobines per utilitzar aquesta seqüència.

Pas	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D
1	ON	ON	OFF	OFF
2	OFF	ON	ON	OFF
3	OFF	OFF	ON	ON
4	ON	OFF	OFF	ON

Taula 1. Seqüència normal

La seqüència del tipus mig pas s'ha s'utilitza quan la resolució dels moviments pan i tilt és de 16 bits. Amb aquest sistema s'activen les bobines de tal manera que obtenim un moviment igual a la meitat del pas real aconseguint així molta més precisió. Amb aquesta seqüència aconseguim que el motor efectui 400 passos per volta ($0,9^\circ$ per pas). Com veiem a la taula 2, la seqüència completa consta de 8 moviments en lloc de 4.

Pas	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D
1	ON	OFF	OFF	OFF
2	ON	ON	OFF	OFF
3	OFF	ON	OFF	OFF
4	OFF	ON	ON	OFF
5	OFF	OFF	ON	OFF
6	OFF	OFF	ON	ON
7	OFF	OFF	OFF	ON
8	ON	OFF	OFF	ON

Taula 2. Seqüència del tipus mig pas

4.3. Característiques

A continuació, s'exposen les característiques més destacades d'aquests i la connexió correcta dels fils.

En el motor Epson EM-196, cada bobina té una resistència de $10\ \Omega$. L'ordre de connexió dels fils és el que es presenta a la figura 8.

Ordre	Color
1	Rosa
2	Carn
3	Gris
4	Carn fosc
V _{DD}	Gris fosc




Figura 8. Connexió fils motor Epson EM-196

En el motor Lexmark 23LM-C355-P6V, cada bobina té una resistència de $1,5\ \Omega$. L'ordre de connexió dels fils per tal que efectuï correctament els passos és el que es presenta a la figura 9.

Ordre	Color
1	Blau
2	Vermell
3	Taronja
4	Groc
V _{DD}	Blanc i negre



Figura 9. Connexió fils motor Lexmark 23LM-C355-P6V

Per conèixer la connexió correcta dels fils s'ha seguit el següent procediment:

Per identificar el cable o cables comuns agafem un tèster i anem mirant la resistència entre parells de cables; el cable o els cables comuns són aquells que tenen la meitat del valor de la resistència entre ell i la resta de cables. Això és degut a que el cable comú té una bobina entre ell i qualsevol altre cable, mentre que cadascun dels altres cables tenen dos bobines entre ells.

Per identificar l'ordre de connexió dels cables de les bobines (A, B, C i D) apliquem un voltatge de 5v al cable comú. Seleccionem un cable i el connectem a massa (aquest l'anomenarem A). Mantenint el cable A connectat a massa, provarem quin dels tres cables restants provoca un pas en sentit antihorari al ser connectat també a massa (aquest l'anomenarem B).

Mantenint el cable A connectat a massa, provarem quin dels dos cables restants provoca un pas en sentit horari al ser connectat també a massa (aquest l'anomenarem D). El cable sobrant (el qual serà el C), mantenint el cable A connectat a massa, no hauria de generar cap moviment al connectar-lo a massa ja que és la bobina oposada a A.

4.4. Posicionament inicial dels motors

Com s'ha comentat, en un cap mòbil és molt important la precisió i que un mateix valor de DMX sempre es correspongui amb una mateixa posició. Per aconseguir això, sempre que es connecti el cap mòbil, tindrem una fase de posicionament automàtica dels motors, per tal que sempre estiguin a la mateixa posició inicial. D'aquesta manera, sigui quina sigui la posició en què han quedat l'última vegada, sempre es tornaran a situar al mateix punt inicial.

Per fer això, s'ha utilitzat un encoder en cada motor, format per un disc amb dos forats i un optointerruptor com el que es veu a la figura 10 juntament amb el seu esquema equivalent. Aquest serà l'encarregat de transformar els impulsos lluminosos en impulsos elèctrics els quals seran tractats pel microcontrolador situant així el cap mòbil a la posició inicial.

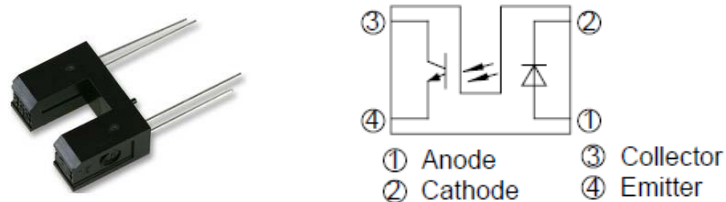


Figura 10. Imatge i esquema de l'optointerruptor Sharp GP1S58VJ000F

5. El focus de leds

Com s'observa a la figura 11, el focus és una placa de circuit imprès de 73 mm de radi en la què hi ha un total de 61 leds distribuïts en forma de cercles concèntrics.

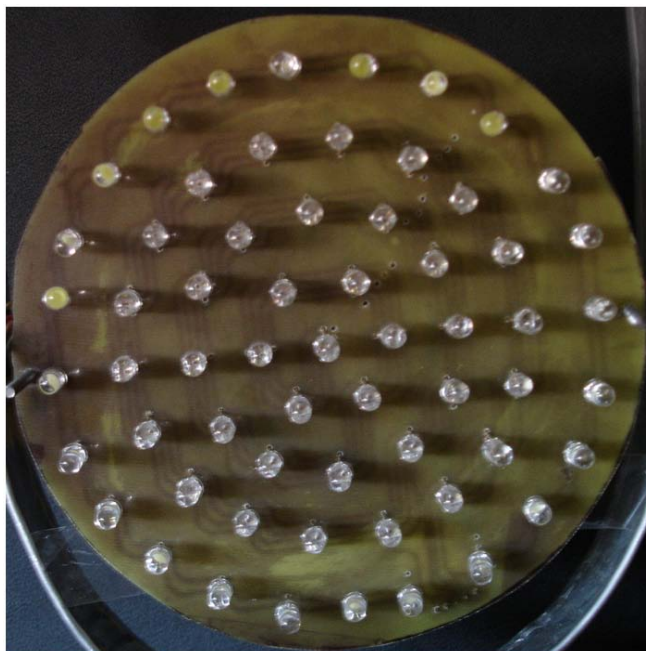


Figura 11. Distribució dels leds sobre la placa

A la part interior trobem els 37 leds RGB de 5mm que permeten generar els 3 colors primaris (vermell, verd i blau) com si de 3 leds independents es tractessin mentre que el cercle exterior està format per 24 leds blancs de 5mm tal i com es pot veure a la figura 12.

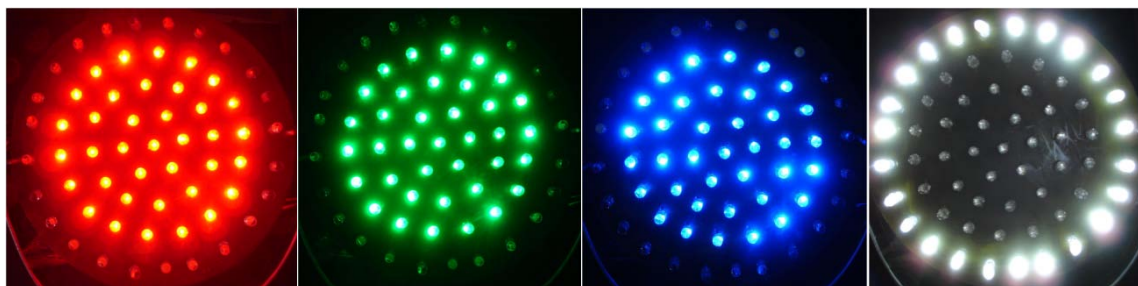


Figura 12. Colors primaris del focus de leds

Els leds RGB són d'ànode comú, tenen una lluminositat de 8.000 mcd i un angle d'obertura de 25°. La seva equivalència com si de 3 leds independents es tractessin, es pot veure a la figura 13. Els leds blancs presenten una lluminositat de 55.000 mcd i un angle d'obertura de 25°.

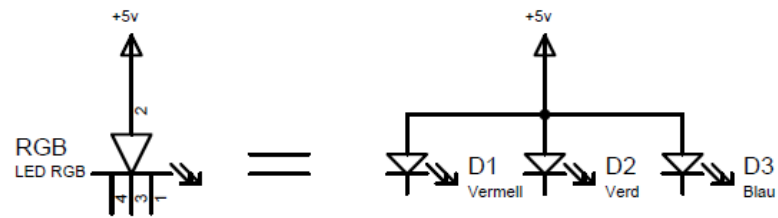


Figura 13. Equivalència dels leds RGB

Per tant, en total tenim 4 colors mitjançant la barreja dels quals podrem projectar tota la gamma cromàtica.

6. La interfície de comunicació

La interfície de comunicació està formada per una pantalla LCD de 4 línies x 16 caràcters amb llum de fons incorporat tal i com podem veure a la figura 14. Mitjançant dos potenciòmetres, podem ajustar de forma manual el contrast dels caràcters i la lluminositat de la pantalla LCD.



Figura 14. Pantalla LCD 4x16 amb backlight

Per navegar pels diferents menús, s'utilitzen 4 polsadors amb les següents funcions.

Enter: serveix per entrar als diferents apartats de configuració del cap mòbil, per seleccionar una funció i per confirmar les opcions escollides.

Amunt (+) i avall (-): serveixen per navegar pel menú o ajustar valors. Si per ajustar un valor, volem anar més ràpid només cal que deixem premut més d'1 segon el botó i els valors en comptes d'avançar unitat a unitat, ho farà de deu en deu.

Sortir: serveix per tirar enrere un nivell en els diferents apartats de configuració i per sortir del menú.

També hi ha quatre leds que permeten veure de forma més visual les indicacions que es descriuen a continuació.

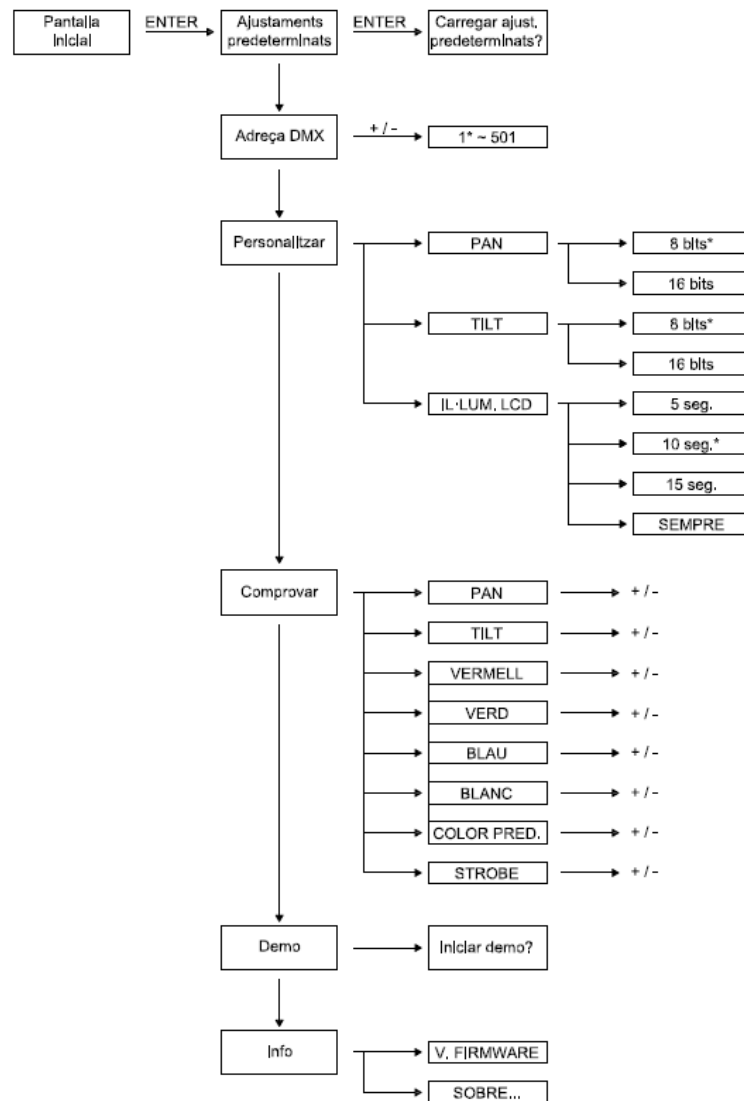
Led verd: amb intermitència, indica que el cap mòbil s'està col·locant a la posició inicial. Si es manté fix, indica que el cap mòbil ha estat correctament posicionat.

Led groc: indica que s'estan rebent dades DMX correctament.

Led taronja: indica que el microcontrolador PIC18F6520 està alimentat correctament.

Led vermell: serveix per anunciar-nos que estem navegant pel menú. A més, s'atura la recepció de dades DMX per donar prioritat al que fem a través del display LCD. Només quan tornem a la pantalla inicial, podrem continuar rebent dades DMX i el led vermell s'apagarà.

A la figura 15, apareix un esquema dels diferents nivells i opcions del menú del cap mòbil. Les opcions que apareixen amb un asterisc són les que vénen per defecte.



* Opcions que vénen per defecte

Figura 15. Menú de la pantalla LCD

Quan engeguem el cap mòbil i aparegui la pantalla de presentació al display LCD, estarem apunt per navegar i canviar les característiques necessàries a través del menú.

Al prémer el botó enter, trobem com a primera opció els Ajustos predeterminats els quals permeten carregar les opcions per defecte que vénen de sèrie en cas que hàgim fet algun canvi i vulguem tornar als ajustos inicials. Abans de ser aplicats, ho haurem de confirmar tornant a prémer el botó enter.

El següent menú és el que permet seleccionar a partir de quina adreça DMX volem que el cap mòbil es trobi. Per defecte, l'adreça serà la 1, però podrem canviar-la a qualsevol de les 512, tenint en compte que les 11 següents quedaran reservades per aquest ja que aquest cap mòbil consta de 12 canals DMX.

En el següent menú podem personalitzar algunes de les característiques modificables del cap mòbil com és el cas de la precisió de gir del moviment vertical (tilt). Encara que per defecte, treballem amb 8 bits, també podrem fer-ho amb 16 bits. Una altra modificació possible, és el temps que es mantindrà encesa la pantalla LCD després de prémer per última vegada algun dels polsadors. Podrem escollir entre 5, 10 o 15 segons o bé, deixar-la sempre encesa. Per defecte, estarà activa durant 5 segons.

L'altre menú permet modificar de forma manual el valor dels canals DMX de colors i de moviment de 0 a 255 podent així provar quina és la funció de cada canal. Al sortir al menú tots el valors modificats tornaran a l'estat inicial.

El penúltim menú serveix per fer una demostració de manera que els valors de cada canal DMX aniran canviant contínuament i el cap mòbil es mourà de forma aleatòria. Abans d'iniciar-la, ho haurem de confirmar tornant a prémer el botó enter.

I per acabar, a l'últim apartat, trobarem informació sobre el cap mòbil com la versió del firmware actual, la data en què es va fer i el nom del creador.

7. Efectes

En aquest apartat es descriuran de forma més extensa els efectes que pot produir aquest cap mòbil.

Pan i tilt: moviment horitzontal i vertical amb una resolució de 8 bits.

Pan i tilt 16 bits: moviment horitzontal i vertical amb una resolució de 16 bits.

Velocitat pan i tilt: podem limitar la velocitat dels moviments horitzontal i vertical provocant així moviments retardats o bé que el cap mòbil vagi a temps real.

Dimmer: La intensitat total pot ser ajustada del 0 al 100%.

Vermell, verd, blau i blanc: La intensitat de cada color pot ser ajustada del 0 al 100%.

Colors principals: hi ha 13 colors predeterminats: vermell, taronja, groc, verd clar, verd, verd fosc, verd-blau, blau clar, blau, lila, rosa i rosa-vermell amb els quals s'obté tota la gamma de colors principals.

Efecte estroboscòpic: la intermitència del focus de leds pot ser ajustada linealment des d'una velocitat mínima de 0,5 segons fins a una velocitat màxima de 0,02 segons o bé es pot mantenir desactivat.

Macros: tenim 3 seqüències de moviments i canvis de color predeterminats que permeten tenir actiu el cap mòbil sense necessitat de rebre DMX.

A continuació, a la taula 3, apareix la correspondència dels efectes explicats anteriorment amb el canal de DMX.

Canal	Valor DMX	Percentatge	Funció
1	0-255	0-100	Moviment horitzontal 540° (pan)
2	0-255	0-100	Moviment vertical 300° (tilt)
3	0-255	0-100	Moviment horitzontal (pan) 16 bits resolució
4	0-60	0-24	Moviment vertical (tilt) 16 bits resolució
5	0-5	0-2	Velocitat pan/tilt real
	6-255	3-100	Moviments retardats (ràpid → lent)
6	0-255	0-100	Dimmer 0→100%
7	0-255	0-100	Vermell 0→100%
8	0-255	0-100	Verd 0→100%
9	0-255	0-100	Blau 0→100%
10	0-255	0-100	Blanc 0→100%
11	0-1	0	Inactiu: barreja de colors amb control RGB-W
	2-21	1-8	Color vermell
	22-42	9-16	Color taronja
	43-63	17-25	Color groc
	64-84	26-33	Color verd clar
	85-105	34-41	Color verd
	106-126	42-49	Color verd fosc
	127-147	50-58	Color verd-blau
	148-168	59-66	Color blau clar
	169-189	67-74	Color blau
	190-210	75-82	Color lila
	211-231	83-91	Color rosa
232-255	92-100	Color blanc	
12	0-14	0-5	Llum fixa
	15-75	6-29	Strobe (lent → ràpid)
	76-135	30-53	Macro 1
	136-195	54-76	Macro 2
	196-255	77-100	Macro 3

Taula 3. Canals DMX i efectes

8. El firmware del microcontrolador

El programa gravat en el microcontrolador PIC18F6520 està format per diverses parts les quals es descriuran a continuació punt per punt.

8.1. Recepció DMX

Per tal de rebre les trames de DMX haurem d'habilitar el port sèrie i captar les dades a través d'interrupció. El port sèrie del PIC18F6520 es controla a través de 3 registres: el RCSTA, el TXSTA i el SPBRG, els quals serveixen per configurar la recepció, la transmissió (que no l'utilitzarem) i la velocitat de comunicació (baud rate) respectivament.

Per trobar el valor SPBRG, el qual permetrà generar el rellotge de recepció a partir de l'oscil·lador extern, ho farem a través de l'equació 1 habilitant la recepció asíncrona (SYNC=0), treballant a alta velocitat (BRGH=1) i sabent que la freqüència del rellotge intern és de 40MHz i el Baud Rate de 250.000bits/segon (velocitat de la comunicació DMX).

$$\text{SPBRG} = \frac{F_{\text{osc}}}{16 \cdot \text{Baud rate}} - 1 = \frac{40 \text{ MHz}}{16 \cdot 250000} - 1 = 9 \quad (\text{Eq.1})$$

Dins el registre RCSTA, configurem i habilitem RX/DT i TX/CK com a pins del port sèrie (SPEN=1), habilitem la recepció de 9 bits: 1 de start i 8 de dades (RX9=1) i activem la recepció contínua (CREN=1). Desactivem la detecció de direcció ja que rebrem tots els bits (ADDEN=0). A més, habilitarem el bit d'error de trama (FERR=1) i el bit d'error de desbordament (OERR=1) per tal de determinar si hi ha hagut algun error en la recepció.

Amb tots els bits dels diferents registres configurats i per tal de determinar l'inici de la trama DMX farem una màquina d'estats formada per 4 parts, expressada de la següent manera en el codi.

```
#define ESPERA_BYTE_SEGUENT    0
#define ESPERA_SENYAL_BREAK    1
#define ESPERA_SENYAL_START    2
#define REBRE_DADES            3
```

Situats per defecte a l'estat 1 i quan, per interrupció s'hagi rebut una dada, el registre RCIF es posa a 1.

Llavors, passem la dada present en el registre RCREG, una pila FIFO capaç de guardar fins a dos bytes, a la variable anomenada data i fem una còpia del registre d'estat de la USART. A continuació, mirem si hi ha hagut error de desbordament (OERR=1), és a dir, si la pila està plena i arriba una altra dada; si és així, reiniciem la lògica de recepció i esperem a què arribi un byte correcte abans de tornar a buscar la senyal de break, anant a l'estat 0.

A partir d'aquí plantejarem què passa en cadascun dels estats.

Si estem a l'estat Espera el byte següent (0) i no detectem error de trama, és a dir, si no es detecta un 0 lògic com a bit de parada, passarem a l'estat següent.

Si estem a l'estat Espera la senyal de break (1) i detectem un error de trama (FERR=1), és a dir, es detecta un 0 lògic com a bit de parada, haurem d'assegurar-nos que la dada és 0 ja que això significarà que hem rebut una senyal de break de com a mínim 44µs (1 bit start + 8 bits de dades + 2 bits de stop). Per tant, si a més, la dada rebuda val 0, podem passar a l'estat següent.

Si estem a l'estat Espera la senyal de start (2) i detectem un error de trama (FERR=1) tornarem a l'estat 0 per tal d'esperar que rebem un byte correcte abans de buscar la senyal de break. En canvi, si no rebem error de trama i la dada que ens arriba val 0, significarà que hem rebut la senyal de start, iniciant l'apuntador al buffer de recepció. En aquest punt, determinarem a quin punt de la trama DMX volem començar a rebre dades. Amb això, ja podem passar a l'últim estat.

Si estem a l'estat Rebre dades (3) tornem a mirar si hi ha error de trama. Si n'hi ha, pot ser l'inici d'un nou paquet o un vertader error de trama. Si és l'inici d'un nou paquet la dada rebuda serà 0 i per tant, tornarem a l'estat 2. Si no és així, serà realment un error de trama i tornarem a l'estat 0. No obstant, si no hi ha error de trama, emmagatzemem la dada rebuda al buffer de recepció mitjançant un apuntador. Anem fent així, fins que hàgim rebut els dotze canals desitjats. Un cop tots rebuts, tornem a esperar una nova senyal de break (1) i passem les dades del buffer de recepció a la variable del canal DMX corresponent.

A la figura 16, apareix el diagrama del procés de recepció del DMX.

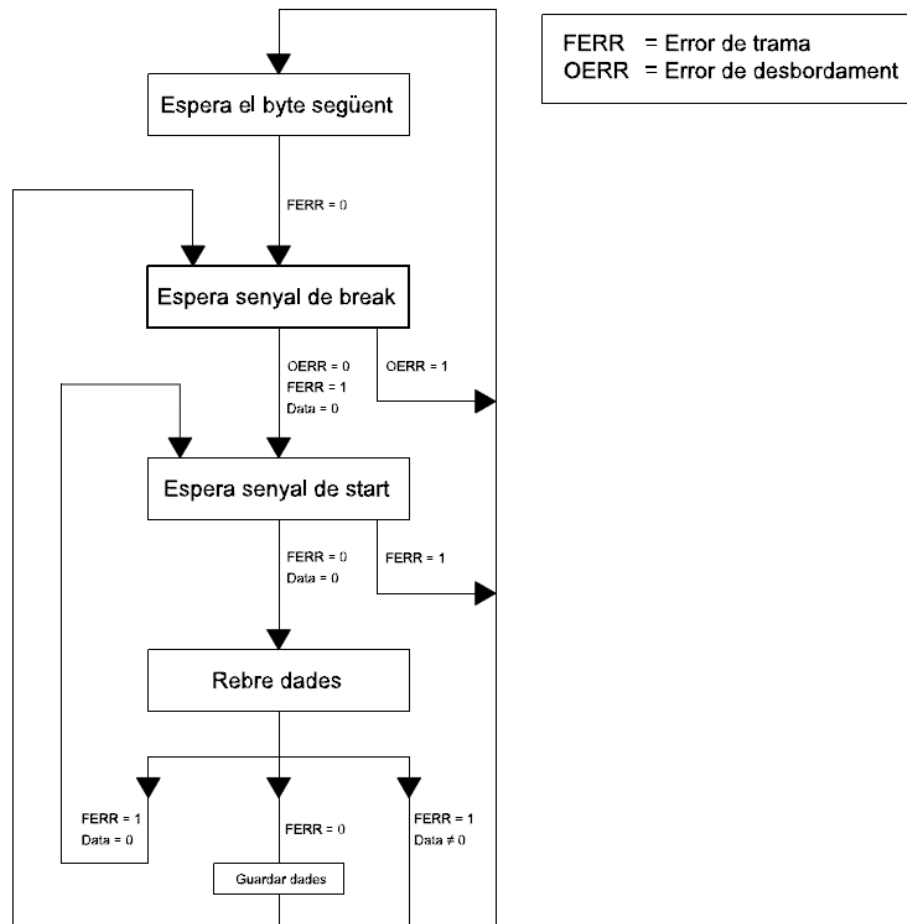


Figura 16. Diagrama de recepció dels paquets DMX

8.2. Configuració dels PWM

Tal i com s'observa a la següent línia de codi, per configurar el temps de cicle de tots els PWM utilitzem el timer2 amb un preescaler de 4, un període màxim de 255 i un postscale de 1.

```
setup_timer_2(T2_DIV_BY_4,255,1);
```

Per veure amb quin temps de cicle estem treballant, tenint en compte que treballem amb una freqüència del rellotge intern de 40MHz, només cal utilitzar la fórmula que apareix a l'equació 2.

$$T = (\text{Període}+1) \cdot 4 \cdot \text{TMR2 Preescaler} \cdot \frac{1}{\text{Clock}} = (255+1) \cdot 4 \cdot 4 \cdot \frac{1}{40 \cdot 10^6} = 102,4 \mu\text{s} \quad (\text{Eq.2})$$

Per conèixer la freqüència només s'ha d'invertir el període trobat anteriorment tal i com apareix a l'equació 3.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{819,2 \mu\text{s}} = 9.765 \text{ Hz} \quad (\text{Eq.3})$$

Un cop configurat el timer2, només cal configurar els mòduls CCP com a PWM i a partir d'aquí, donar un valor entre 0 i 255 al PWM per aconseguir la quantitat de llum desitjada per a cada color com es veu a les següents línies de codi pel PWM2 corresponent al color verd.

```
setup_ccp2(CCP_PWM);
set_pwm2_duty(248);
```

Farem el mateix pel PWM3, PWM4 i PWM5 corresponents al color blau, vermell i blanc respectivament.

8.3. Control dels motors

Els canals DMX de l'1 al 5 són els que permeten controlar els dos motors pas a pas encarregats de generar el moviment horitzontal i vertical del cap mòbil.

Per excitar les bobines de cada motor s'ha creat una taula amb l'activació de les sortides adients del PIC pel correcte gir del motor. Si ens desplaçem d'esquerra a dreta de la taula, el motor girarà en sentit horari i si ens desplaçem de dreta a esquerra, el motor girarà en sentit antihorari.

Com veiem a les següents línies de codi, per cada motor s'usen dues taules. La primera és la seqüència normal que permet 200 passos per volta i és utilitzada en la resolució de 8 bits, i la segona és la seqüència del tipus mig pas que permet 400 passos per volta i és utilitzada en la resolució de 16 bits.

```
const char taula1[4]={0b00110000,0b01100000,0b11000000,0b10010000};
const char taula3[8]={0b00010000,0b00110000,0b00100000,0b01100000,0b01000000,
0b11000000,0b10000000,0b10010000};
```

A continuació, per relacionar el valor de DMX que arriba amb el número de passos que ha de fer el motor, s'utilitzen les variables n, passos i numpassos.

Referent al motor del moviment horitzontal i amb una resolució de 8 bits (canal 1), si ha de girar 540° i cada pas és de $1,8^\circ$, per fer un moviment complet haurà de fer $540/1,8=300$ passos. Per cada valor de DMX que li arribi, haurà de fer $300/255=1,177$ passos tal i com podem observar a les línies de codi següents. Llavors, transformem aquest número en un enter i comparem aquest valor amb els passos que havíem fet la última vegada. Això determinarà cap a quin sentit haurà de girar el cap mòbil.

```
passos=1.177*Valor_DMx[0];
numpassos=(int16)passos;
if (n<numpassos)
{
    numpas=numpas+1;
    if (numpas>3)
    {
        numpas=0;
    }
    ledon=taula1[numpas];
    delay_ms(temps);
    PORTF=ledon;
    n=n+1;
}
```

Per a una resolució de 16 bits (canal 1 i 3) el raonament és similar. Tenint en compte que l'angle de gir serà el mateix (540°) però que ara cada pas és de $0,9^\circ$, per fer un moviment complet haurà de fer $540/0,9=600$ passos. Per cada valor de DMX que li arribi, haurà de fer $600/255=2,353$ passos, és a dir, 2 passos aproximadament. Per tant, serà el canal 3 (Pan16bit), l'encarregat d'afinar aquests passos que es perden, tal com es pot veure a continuació.

```
prepassos=2.353*Valor_DMx[0];
passos=prepassos+0.0055*Valor_DMx[2];
numpassos=(int16)passos;
if (n<numpassos)
{
    numpas=numpas+1;
    if (numpas>7)
```

```

    {
        numpas=0;
    }
    ledon=taula3[numpas];
    delay_ms(temps);
    PORTF=ledon;
    n=n+1;
}

```

Igual que abans, transformem aquest número en un enter i comparem aquest valor amb els passos que havíem fet la última vegada. Això determinarà cap a quin sentit haurà de girar el cap mòbil.

Pel moviment vertical és exactament el mateix procediment. L'única diferència és que l'angle de gir del tilt és de 300°.

Per últim, el canal 5 és l'encarregat d'aplicar un retard entre pas i pas que fa que els moviments siguin més lents com més gran és la variable temps que apareix en la següent línia de codi.

```
temps=Valor_DMx[4]+0.01;
```

8.4. Control dels leds

Els canals DMX del 6 al 12 són els que permeten controlar i crear efectes amb els leds. Com s'ha comentat en la secció anterior, per regular la intensitat de cada color (canals 7, 8, 9 i 10) només cal portar el valor de DMX capturat al PWM corresponent mitjançant una variable.

No obstant, si volem controlar la intensitat total del focus mitjançant el dimmer (canal 6), haurem de crear una nova variable, anomenada pwm, que ens controlarà el tan per u de llum del focus segons el valor que arribi pel canal 6 de DMX. Aquest valor obtingut de 0 a 1 és multiplicat pel valor DMX del color corresponent obtenint així la intensitat desitjada en funció del dimmer i del propi color. Això es pot observar a les següents línies de codi tenint en compte que aquest 0.00393 és 1/255.













```
pwm=Valor_DMx[5]*0.00393;
pwm2=pwm*Valor_DMx[6];
```

Respecte els colors predeterminats presents al canal 11, només cal donar un valor de PWM determinat a cada color per obtenir el color desitjat tenint en compte que cal desactivar els colors que estiguin actius mitjançant una variable anomenada DesactivaRGB.

Cal destacar que aquests també poden veure modificada la seva intensitat mitjançant el dimmer (Canal 6) amb la qual cosa torna a aparèixer la variable pwm tal i com s'observa a aquestes línies de codi.

```
pwm=Valor_DMx[5]*0.00393;
color1=pwm*255;
color2=pwm*127;
```

Per obtenir els diferents colors, s'han utilitzat els valors que apareixen a la taula 4.

Colors predet.	Quantitat vermell	Quantitat verd	Quantitat blau	Quantitat blanc
 Vermell	255	0	0	0
 Taronja	255	127	0	0
 Groc	255	255	0	0
 Verd clar	127	255	0	0
 Verd	0	255	0	0
 Verd fosc	0	255	127	0
 Verd-blau	0	255	255	0
 Blau clar	0	127	255	0
 Blau	0	0	255	0
 Lila	127	0	255	0
 Rosa	255	0	255	0
 Blanc	255	255	255	255

Taula 4. Colors predeterminats del canal 11

Un altre efecte que tenim és el de l'efecte estroboscòpic mitjançant el qual aconseguim generar una intermitència de major a menor durada del focus de leds.

Es tracta d'afegir una nova variable, anomenada intermitència, que provoqui un retard per posar a 0 tots els pwm. Segons el valor que arribi pel canal 12, aquesta intermitència tindrà un valor més gran (intermitència més lenta) o més petit (intermitència més ràpida).

Les principals línies de codi que generen aquest efecte es veuen a continuació i afecten tant als colors independents com als colors predeterminats.

```
delay_ms(intermitencia);  
set_pwm4_duty(0);  
set_pwm2_duty(0);  
set_pwm3_duty(0);  
set_pwm5_duty(0);  
delay_ms(intermitencia);
```

A la taula 5, es presenta la durada de la intermitència en funció del valor DMX que arriba pel canal 12.

Valor DMX	Durada intermitència (ms)
0-14	0
15-25	300
26-35	200
36-45	100
46-55	50
56-65	25
66-75	10

Taula 5. Temps d'intermitència en funció del valor de DMX

Per últim, a la resta de valors del canal 12, hi ha les 3 macros que permeten generar seqüències de moviments i canvis de color predeterminats.

8.5. Les interrupcions

Per tal de controlar algunes característiques del cap mòbil sense haver d'estar contínuament pendent del seu estat, s'utilitzen 5 interrupcions del PIC que permeten atendre les rutines corresponents. Les interrupcions utilitzades són la del port sèrie (int_rda), la del timer0 (int_timer0), la del timer1 (int_timer1) i dues externes (int_ext i int_ext1). Com que se n'han utilitzat vàries, és important establir un ordre de prioritat mitjançant la comanda següent.

```
#priority rda,timer0,timer1,ext,ext1
```

La interrupció de més alta prioritat és la interrupció del port sèrie (int_rda: RS232 receive data available) i és la que s'utilitza per a la recepció de les trames DMX. Cada vegada, que arriba una dada s'atén la rutina d'interrupció que serà l'encarregada de fer el que s'ha explicat a l'apartat 3.1 d'aquest capítol.

La següent interrupció és la del timer0, utilitzada per augmentar el comptatge de 10 en 10 si es manté premut el polsador més de dos segons per evitar esperes molt llargues per arribar al valor desitjat a l'hora d'escollir el canal DMX inicial o donar un cert valor a un canal.

Primer de tot calculem quina és la màxima temporització del timer1 mitjançant l'equació 4, sabent que és un timer de 16 bits i el preescaler màxim és de 8.

$$TMR1.Max = (65536 - \text{precàr.}) \cdot \text{Preescaler} \cdot 4 / F_{osc} = (65536 - 0) \cdot 8 \cdot 4 / 40\text{MHz} = 0,0525 \text{ s.} \quad (\text{Eq.4})$$

Per tal que surtin números més exactes, si volem que hi hagi interrupció cada 0.05 s, haurem de buscar amb quin valor hem de precarregar el timer1 mitjançant l'equació 5.

$$\text{Precàrrega} = - \frac{\text{Temporització} / (4 / F_{osc})}{\text{Preescaler}} + 65.536 = - \frac{0.05 / (4 / 40\text{MHz})}{8} + 65.536 = 3.036 \quad (\text{Eq.5})$$

Amb això, estem apunt per configurar el timer1 de la següent manera.

```
setup_timer_1(T1_INTERNAL | T1_DIV_BY_8);
set_timer1(3036);
```

Per tant, si mantenim el polsador pitjat durant més de dos segons (0.1-20 interrupcions) el comptatge es farà de 10 en 10 fins que parem de prémer.

La següent interrupció és la del timer0 utilitzada per mantenir il·luminada el display LCD durant el temps desitjat. Com abans, calculem quina és la màxima temporització del timer0 mitjançant l'equació 6, sabent que és un timer de 16 bits i el preescaler màxim és de 256.

$$TMR0.Max = (65536 - \text{precàr.}) \cdot \text{Preescaler} \cdot 4/F_{osc} = (65536-0) \cdot 256 \cdot 4/40\text{MHz} = 1,677 \text{ s. (Eq.6)}$$

Si volem que hi hagi interrupció cada segon, haurem de buscar amb quin valor hem de precarregar el timer0 mitjançant l'equació 7.

$$\text{Precàrrega} = - \frac{\text{Temp orització}/(4/F_{osc})}{\text{Preescaler}} + 65.536 = - \frac{1/(4/40\text{MHz})}{256} + 65.536 = 26.473 \quad (\text{Eq.7})$$

Amb això, estem apunt per configurar el timer0 de la següent manera.

```
setup_timer_0(RTCC_DIV_128);
set_timer0(26473);
```

Segons el valor que carreguem a la variable Temps_Iluminacio (5, 10 o 15 segons) esperarem les interrupcions corresponents per apagar el display.

I per últim tenim les dues interrupcions externes (int_ext i int_ext1) que permetran dur el cap mòbil a la posició inicial cada vegada que sigui necessari. A part d'inicialitzar la interrupció corresponent, haurem dir-li si volem que detecti interrupció per flanc de pujada o de baixada tal com es pot veure a la següent línia de codi.

```
ext_int_edge(H_TO_L);
```

Amb això, cada vegada que detecti un flanc de baixa, generarà interrupció i incrementarem la variable numdeteccions o numdeteccions2 per tal de portar els dos motors a la posició correcta.

8.6. El menú del display

Per crear el menú del display que servirà com a interfície de comunicació i canviar algunes opcions, s'ha creat una màquina d'estats formada per 16 punts tal i com es pot veure a les següents línies de codi que permetrà navegar pels diferents menús mitjançant els polsadors Enter, Amunt, Avall i Sortir.

```
#define VCaratula          0
#define VMenu_Principal   1
#define VMenu_Ajustos     2
#define VMenu_Ajustos_OK  3
#define VMenu_Direccio    4
#define VMenu_Pers        5
#define VMenu_Pers_Pan    6
#define VMenu_Pers_Tilt   7
#define VMenu_Pers_Illum  8
#define VMenu_Comp        9
#define VMenu_Comp_DMX   10
#define VMenu_Demo       11
#define VMenu_Demo_Entrar 12
#define VMenu_Info       13
#define VMenu_Info_Firm  14
#define VMenu_Info_Sobre 15
```

A cada menú anterior tenim una sèrie d'opcions. Per estalviar línies de codi i facilitar la navegació a través dels diferents menús, s'han creat unes taules com les que es veuen a continuació per desplaçar-nos a través d'aquestes opcions mitjançant una variable anomenada comptador, el valor de la qual ve determinada pel nombre de vegades que es pitja el polsador.

```
const char Menu_Pers[3][17]={"Pan", "Tilt", "Il.lumin. LCD"};
const char Menu_Pers_Pan[2][16]={"8 bits", "16 bits"};
const char Menu_Pers_Tilt[2][16]={"8 bits", "16 bits"};
const char Menu_Pers_Illum[4][16]={"5 segons", "10 segons", "15 segons", "Sempre"};
```

8.7. La memòria EEPROM

És interessant poder guardar algunes opcions per no haver de configurar-les cada vegada que es torna a engegar el cap mòbil. És per això, que s'ha utilitzat la memòria EEPROM del PIC per emmagatzemar aquestes dades. Mitjançant la instrucció que apareix a continuació comencem a guardar aquestes dades a partir de la primera posició de la memòria EEPROM.

```
#ROM 0xF00000 = {1,0,0,10,0,1,0,0,10,0}
```

Els 5 primers valors són els que vénen per defecte els quals són: l'adreça inicial de DMX 1, una resolució del moviment horitzontal i vertical de 8 bits, una duració de la pantalla encesa de 10 segons o si la volem sempre encesa. Els 5 valors restants representen el mateix que els anteriors però aquests són els que poden ser modificats per l'usuari segons les seves conveniències. Per tant, quan vulguem tornar als ajustos per defecte només s'han de copiar els 5 primers valors als 5 següents valors.

Cal destacar que cada posició de memòria EEPROM és de 8 bits i tenim que l'adreça inicial de DMX pot anar de 1 a 501 amb la qual cosa s'ha hagut de dividir aquesta variable en 2 bytes mitjançant la instrucció `make8`. Llavors, escrivint cada byte en una posició de memòria podem guardar la direcció tal com es pot veure a continuació.

```
DireccioMSB=make8(Direccio,1);  
write_eeprom(11,DireccioMSB);  
write_eeprom(10,Direccio);
```

9. Diagrama de flux del programa

A la figura 17, es presenta un diagrama de flux simplificat del que realitza el programa.

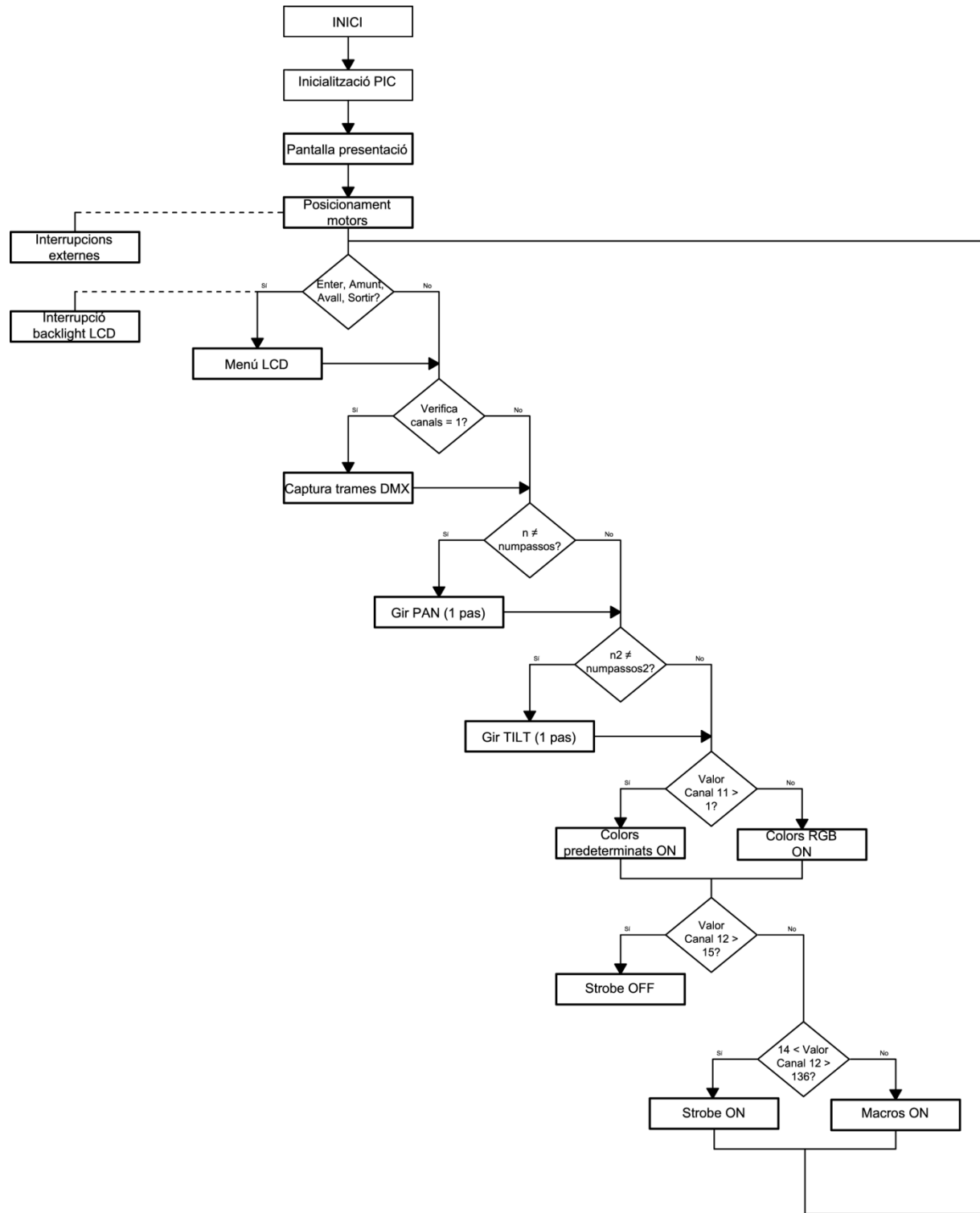


Figura 17. Diagrama de flux del programa

10. Resum del pressupost

El cap mòbil amb tecnologia led RGBW controlat per DMX realitzat amb una part de hardware i una altra de software tindrà un cost de dos mil quatre-cents dinou amb trenta-sis cèntims, sense IVA.

11. Conclusions

El disseny i la construcció de tots els elements de hardware i l'elaboració del programa del microcontrolador i de les llibreries necessàries pel control de l'aparell des de l'ordinador han format part de la creació del cap mòbil amb tecnologia led RGBW controlat per DMX.

A nivell de hardware, s'han controlat dos motors pas a pas de característiques diferents amb la consegüent utilització de drivers de potència específics per cadascun d'ells. A més, l'ús d'optointerruptors han permès posicionar-los inicialment fent que un mateix valor de DMX es correspongui sempre a una mateixa posició. L'utilització dels mòduls PWM del microcontrolador PIC han facilitat el control de la lluminositat i la combinació dels quatre colors per formar tota la gamma cromàtica. I s'ha utilitzat una interfície de comunicació per configurar les diferents opcions del cap mòbil.

A nivell de software, s'ha elaborat la rutina de captació de les trames DMX, el menú del display LCD i s'han creat un total de 12 canals DMX capaços de controlar des de la posició i la velocitat dels motors pas a pas fins a la intensitat i el color dels LED's, la memorització d'efectes predeterminats, la intensitat total del focus, l'efecte estroboscòpic i les macros.

Així doncs, s'ha assolit l'objectiu principal d'aquest projecte: crear un prototipus de cap mòbil, tant a nivell de hardware com de software, controlat pel protocol d'il·luminació més utilitzat, el DMX512.

David Moreno Cabruja

Enginyeria tècnica industrial, especialitat en electrònica industrial

Girona, 16 de juliol de 2009

12. Relació de documents

El projecte consta de cinc documents: la memòria, els plànols, el plec de condicions, l'estat d'amidaments i el pressupost.

13. Bibliografia

ACCADEMIA DELLA LUCE. Light Education – educazione alle tecniche della luce (<http://lighteducation.com/article.php?sid=43>, 9 de juny de 2009)

ATE-Universidad de Oviedo. Adaptación de salidas: Control de motores (<http://www2.ate.uniovi.es/fernando/Doc2008/Presentaciones/Control%20de%20motores.pdf>, 22 de març de 2009)

CANTO, C. Motores de paso o stepper motors (http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/microcontroladores/SLIDES_8051_PDF/21_MOTOR.PDF, 23 de març de 2009)

CASAS, J.A. Tutorial de motores paso a paso (<http://www.fer.nu/easybots/ARTICLES/PaP/Tutorial%20de%20motores%20paso%20a%20paso.pdf>, 23 de març de 2009)

CAUM, J. Motores paso a paso: Aproximación teórica (<http://www.micropap.com/documentacion%20centro/TeorPaP%20Una%20aproximacion%20teorica%20J%20Caum.pdf>, 23 de març de 2009)

CCS (<http://www.ccsinfo.com/forum/index.php>, 25 de maig de 2009)

CEDIM (Centro de Desarrollo e Investigación en Mecatrónica). Motor paso a paso (http://yboon.net/~cedim/Descargas/AREA_ELECTRONICA/DESARROLLO_I_2004_I_2.pdf, 22 de març de 2009)

CLEARVICTORY. LCD CM164-1 Datasheet (<http://www.futurlec.com/LED/LCD16X4BL.shtml>, 15 d'abril de 2009)

COOPER CONTROLS. LightFactory (<http://www.lifact.com/support.php>, 4 de març de 2009)

DEME-X. Bitàcora de DeMe-X (<http://barrapunto.com/journal.pl?op=display&uid=13427&id=11891>, 4 d'abril de 2009)

DMXCONTROL. The intelligent lighting controller for your PC (<http://www.dmxcontrol.org/>, 18 d'abril de 2009)

ELECTRONICA KMPOS (<http://electronicakmpo.crearforo.com/index.php>, 15 de març de 2009)

ELEKTOR. USB/DMX Converter (<http://www.elektor.com/magazines/2006/september/usb-dmx512-converter.58548.lynkx>, 15 de març de 2009)

ELEKTOR. Stage-Lighting Control with DMX512 protocol (<http://www.scribd.com/doc/11626626/Stage-Lighting-Control-With-DMX512-Protocol>, 15 d'abril de 2009)

ENTTEC. Lighting Control, RDM, DMX, USB PRO (http://enttec.com/index.php?main_menu=Products&prod=70550&show=purchase, 28 de març de 2009)

EURO P.A. DMX512. The Anatomy Of DMX512 (<http://www.euro-pa.be/dmx.html>, 1 de març de 2009)

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR. BD137 Datasheet (<http://www.fairchildsemi.com/ds/BD%2FBD139.pdf>, 2 de març de 2009)

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR. TIP122 Datasheet (<http://www.fairchildsemi.com/ds/TI%2FTIP122.pdf>, 2 de març de 2009)

FERNANDEZ, B. MicroPIC (<http://micropic.wordpress.com/>, 5 de maig)

FREESTYLER. Freestyler website (<http://users.telenet.be/freestylerdmx/>, 28 de març de 2009)

GARCIA, D. 05. Apuntes Iluminación. ANEXO DMX (<http://www.scribd.com/doc/7858778/05-Apuntes-Iluminacion-ANEXO-DMX>, 4 d'abril de 2009)

GRIFFITHS, P. Power Mosfet RGB LED PWM (<http://picprojects.org.uk/projects/bigmosfetrgb/index.htm>, 15 d'abril de 2009)

HISPAVILA. COM. Las fuentes de alimentación (<http://www.hispavila.com/3ds/lecciones/lecc3.htm>, 24 d'abril de 2009)

HITTACHI. HD44780U LCD-II (<http://web.media.mit.edu/~ayah/documents/hd44780u.pdf>, 19 de maig de 2009)

KAR, U. DMX512 Page from Ujjal... details of DMX512 (<http://www.dmx512-online.com/index.html>, 5 de maig de 2009)

LIENHER, J.M. Oksidizer Electronic USB DMX512 interface (http://www.whoow.org/people/Jean-Marc.Lienher/usb2dmx/index_en.html, 16 de març de 2009)

MARTIN. Martin entertainment (<http://www.martin.com/frontpage/frontpage.asp?empty=0>, 28 de març de 2009)

MAXIM. MAX485 Datasheet (<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX1487-MAX491.pdf>, 10 de març de 2009)

MDESIGN (<http://www.mdesign.es/>, 10 de març de 2009)

MICROCHIP. PIC16C745 Datasheet. (<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41124c.pdf>, 3 de març de 2009)

MICROCHIP. PIC18F6520 Datasheet. (<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39609b.pdf>, 5 de març de 2009)

MICROPIC (<http://www.micropic.es/>, 12 de març de 2009)

MOLINA. Las fuentes de alimentación (http://profesormolina2.iespana.es/electronica/componentes/fuente_reg/fuente.htm, 1 de juny de 2009)

MUÑOZ CERON, E. Gobierno de una mesa indexada empleando un motor paso a paso controlado por un microcontrolador (http://voltio.ujaen.es/mysite/mysite/profesores/jaguilar/download/Proyectos/emilio_munoz.ppt, 22 de març de 2009)

MUSIK.COM. Sistemas de control de la iluminación de escenarios y para entretenimiento (<http://www.musik.com.ar/tutoriales/idx.php/0/005/article/Sistemas-de-control-de-la-iluminacion-de-escenarios-y-para-entretenimiento.html>, 10 de juny de 2009)

NEUTRIK. Neutrik Connectors (http://www.neutrik.com/fl/en/lighting/203_11/XLR_Cable_Connectors_group.aspx, 12 d'abril de 2009)

PALAZZESI, A. LCD – Ucontrol (<http://www.ucontrol.com.ar/wiki/index.php/LCD>, 25 de maig de 2009)

RODRIGUEZ, J.M. UART: Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter - EUSART (http://www.roso-control.com/Espanol/EDU/MICRO/20_Clases/10_Teoria/60_Tema_05/Tema_05.pdf, 19 de maig de 2009)

RUEDA, L. ERO-PIC (http://perso.wanadoo.es/luis_ju/ebasica2/mpp_01.html, 7 de febrer de 2009)

SHARP. Sharp GP1S58VJ000F Datasheet (http://sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp1s58v_e.pdf, 10 de juny de 2009)

STAGEGEAR LTD. SLC Technical Information – dmx512 (<http://www.sound-light-company.co.uk/dmx-512-tech-.html>, 12 de maig de 2009)

STMICROELECTRONICS. ULN2003A Datasheet (<http://www.st.com/stonline/products/literature/ds/5279.pdf>, 5 de maig de 2009)

SUFFOLK, B. The bus powered usb dmx interface (http://www.usbdmx.com/usb_dmx_interface.html, 3 març de 2009)

TODOPIC. Proyectos con microcontroladores (<http://www.todopic.com.ar/>, 18 d'abril de 2009)

TODOROBOT. Tutorial sobre motores paso a paso (<http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm>, 7 de febrer de 2009)

UNIVERSIDAD CASTILLA-LA MANCHA. Microcontroladores PIC: USART (<http://oreta.iele-ab.uclm.es/~miniasta/USART.pdf>, 8 d'abril de 2009)

UPV. Control de motores paso a paso mediante microcontroladores (<http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/LSED/2002-03/MotoresPasoPaso/Motorespasoapaso.pdf>, 22 de març de 2009)

WIKIPEDIA. DMX (<http://es.wikipedia.org/wiki/DMX>, 12 de març de 2009)

14. Glossari

ICSP (In Circuit Serial Programming). Mètode mitjançant el qual es pot gravar el microcontrolador PIC sense treure'l del circuit original.

Strobe. Efecte que genera flaixos de llum.

TQFP (Thin Quad Flat Pack), encapsulat. És un tipus d'encapsulat SMD que sol tenir entre 64 i 80 pins.

UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter). S'encarrega de controlar els ports i dispositius sèrie.

A. Càlculs

Es dissenyaran tres fonts d'alimentació independents per tal d'aconseguir una major autonomia entre els 3 blocs principals que formen el projecte: els dos motors pas a pas, els 61 leds que conformen el focus i el microcontrolador juntament amb la pantalla LCD, els sensors de posicionament i el max485.

Tots aquests elements estan alimentats a una tensió de 5v; no obstant, la intensitat que consumeixen cadascun d'ells és molt diferent. Com podem veure a la taula 6 i segons els requeriments es necessitaran dos transformadors de 7,5v/3A i un altre de 7,5v/1A.

Font d'alimentació	Element	Consum aproximat	Característiques transformador
1	Motor EM-196	0.5 A	7,5v/3A
	Motor 23LM-C355-P6V	2.0 A	
2	61 leds	2.7 A	7,5v/3A
3	Altres	0.5 A	7,5v/1A

Taula 6. Transformadors necessaris per intensitats requerides

Respecte els motors i com s'ha comentat anteriorment, s'utilitzaran configuracions diferents per cadascun d'ells. Com que l'encarregat de fer el moviment horitzontal (pan) ha d'arrossegar un pes molt més gran que el del moviment vertical (tilt) s'ha escollit un motor de més potència.

Per últim, també serà necessari calcular els diferents circuits de potència necessaris per alimentar correctament el focus de leds tenint en compte que cada color té uns requeriments diferents.

A.1. Font d'alimentació 5v/3A

Començarem dimensionant les fonts d'alimentació 1 i 2, les quals seran idèntiques. A la figura 18, podem veure l'esquema d'una d'elles.

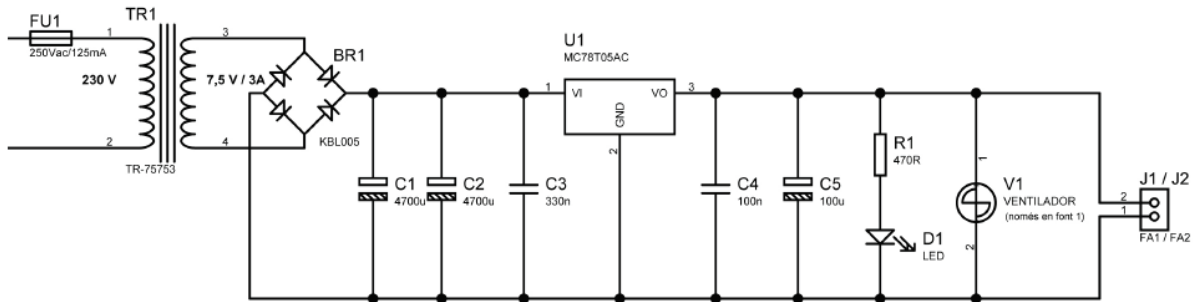


Figura 18. Font d'alimentació 5v/3A

Pel rectificat s'utilitzarà el pont de díodes KBL005 de Fairchild Semiconductor (BR1) que pot suportar fins a 50V/4A. Establint un rissat màxim admissible de 2v de pic, una intensitat de sortida màxima de 3A i una freqüència de 50Hz, obtindrem el condensador de filtrat a través de l'equació 8:

$$C = \frac{I_L}{2 \cdot f \cdot V_{rpp}} = \frac{3 \text{ A}}{2 \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 4} = 7.500 \mu\text{F} \quad (\text{Eq.8})$$

Vist el resultat, utilitzarem dos condensadors de 4700µF/35v (C1 i C2).

Com a regulador de tensió s'utilitzarà l'integrat MC78T05AC (U1) que permet mantenir una tensió constant de 5v i pot subministrar fins a 3A. Va acompanyat de dos condensadors (C4 i C5) recomanats pel fabricant de 330nF i 100nF respectivament. El condensador C6 s'utilitza per acabar de filtrar la senyal de sortida.

Per últim, s'ha afegit un led (D1) pel qual hi passen 10mA (5v/470Ω) per saber quan tenim la font d'alimentació connectada.

Com a mesura de protecció, s'ha posat un fusible (FU1) al primari de cada transformador. Per obtenir el valor adequat del fusible primer calcularem la relació de transformació del transformador mitjançant l'equació 9 i a continuació, la intensitat de primari a través de l'equació 10.

$$N1/N2=V1/V2= 220/7,5=29,3 \quad (\text{Eq.9})$$

$$I1 = \frac{I2}{\frac{N1}{N2}} = \frac{3 \text{ A}}{29,3} = 102\text{mA} \quad (\text{Eq.10})$$

Per assegurar-nos que el fusible no salti quan no toqui, prendrem un marge del 20%, agafant un fusible de 250Vac/125mA.

Com que estem treballant amb intensitats força elevades necessitarem un dissipador per l'integrat MC78T05AC el qual té un encapsulat TO-220.

Mitjançant l'equació 11 trobarem la potència o el flux tèrmic del MC78T05AC i amb l'equació 12, trobarem la temperatura d'unió a la que està sotmès, establint una temperatura ambient de 50°C.

$$P_{\max} = (V_{\text{imax}} - 2 \cdot V_{\text{diode}} - V_o) \cdot I = (7,5 \cdot \sqrt{2} - 2 \cdot 0,7 - 5) \text{V} \cdot 3\text{A} = 12,6\text{W} \quad (\text{Eq.11})$$

$$T_j = T_a + (W \cdot R_{\text{th_ja}}) = 50 \text{ }^\circ\text{C} + 12,6 \text{ W} \cdot 65 \text{ }^\circ\text{C/W} = 869 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{Eq.12})$$

Com veiem és una temperatura força elevada ja que segons el datasheet del fabricant, la temperatura d'unió màxima a la que pot estar sotmès és de 150 °C. Per tant, serà necessari un dissipador de calor.

Segons l'equació 13, la resistència tèrmica del dissipador haurà de ser:

$$T_j > T_a + W \cdot (R_{\text{th_jc}} + R_{\text{th_d}}) \rightarrow 150 \text{ }^\circ\text{C} > 50 \text{ }^\circ\text{C} + 12,6 \text{ W} \cdot (2,5 + R_{\text{th_d}}) \rightarrow R_{\text{th_d}} < 5,43 \text{ }^\circ\text{C/W}. \quad (\text{Eq.13})$$

Aquest serà el valor màxim; qualsevol valor inferior a aquest serà vàlid per assolir la temperatura adequada. Per tant, agafarem un dissipador amb una $R_{th,d}$ de $5\text{ }^{\circ}\text{C/W}$, una longitud de $12,7\text{mm}$ i una alçada de $25,4\text{mm}$.

A més, a la sortida de la font 1 també s'hi connectarà un petit ventilador de $0,9\text{W}$ per refrigerar la caixa que conté tots els elements.

A.2. Font d'alimentació 5v/1A

A continuació, dimensionarem la font d'alimentació 3, de $7,5\text{V}/1\text{A}$, l'esquema de la qual es pot veure a la figura 19.

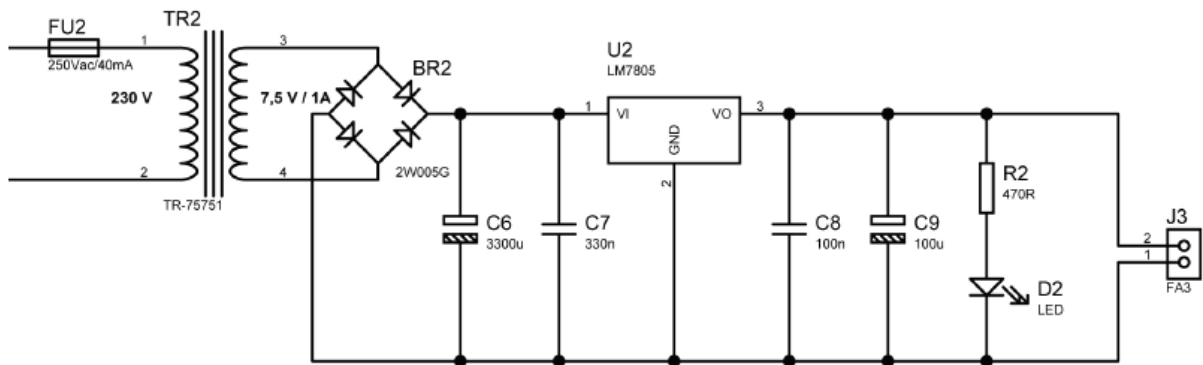


Figura 19. Font d'alimentació 5v/1A

Pel rectificat s'utilitzarà el pont de díodes 2W005G de Vishay (BR2) que pot suportar fins a $50\text{V}/2\text{A}$. Establint un rissat màxim admissible de $1,5\text{V}$ de pic, una intensitat de sortida màxima de 1A i una freqüència de 50Hz , obtindrem el condensador de filtrat a través de l'equació 14:

$$C = \frac{I_L}{2 \cdot f \cdot V_{rpp}} = \frac{1\text{ A}}{2 \cdot 50\text{Hz} \cdot 3} = 3.300\mu\text{F} \quad (\text{Eq.14})$$

Vist el resultat, utilitzarem un condensadors de $3.300\mu\text{F}/35\text{V}$ (C6).

Com a regulador de tensió s'utilitzarà l'integrat LM7805 (U2) que permet mantenir una tensió constant de 5v i pot subministrar fins a 1A. Va acompanyat de dos condensadors (C7 i C8) recomanats pel fabricant de 330nF i 100nF respectivament. El condensador C9 s'utilitza per acabar de filtrar la senyal de sortida.

Per últim, s'ha afegit un led (D2) pel qual hi passen 10mA ($5v/470\Omega$) per saber quan tenim la font d'alimentació connectada.

Com a mesura de protecció, també s'hi ha posat un fusible (FU2) al primari del transformador. Com abans, calcularem la intensitat de primari a través de l'equació 15.

$$I_1 = \frac{I_2}{\frac{N_1}{N_2}} = \frac{1 \text{ A}}{29,3} = 34\text{mA} \quad (\text{Eq.15})$$

Per assegurar-nos que el fusible no salti quan no toqui, prendrem un marge del 20%, agafant un fusible de 250Vac/40mA.

També tindrem un interruptor per poder activar o desactivar la font.

Anem a comprovar si per aquest regulador de tensió, el LM7805 el qual té un encapsulat TO-220, necessitarem un dissipador de calor.

Mitjançant l'equació 16 trobarem la potència o el flux tèrmic del LM7805 i amb l'equació 17, trobarem la temperatura d'unió a la que està sotmès, establint una temperatura ambient de 50°C.

$$P_{\max} = (V_{\text{imax}} - 2 \cdot V_{\text{diode}} - V_o) \cdot I = (7,5 \cdot \sqrt{2} - 2 \cdot 0,7 - 5) \text{V} \cdot 1 \text{A} = 4,2 \text{W} \quad (\text{Eq.16})$$

$$T_j = T_a + (W \cdot R_{\text{th}_{ja}}) = 50 \text{ }^\circ\text{C} + 4,2 \text{ W} \cdot 65 \text{ }^\circ\text{C/W} = 323 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{Eq.17})$$

Com veiem sobrepassa la temperatura màxima aconsellada en el datasheet del fabricant, de 150 °C. Per tant, serà necessari un dissipador de calor.

Segons l'equació 18, la resistència tèrmica del dissipador haurà de ser:

$$T_j > T_a + W \cdot (R_{th_{jc}} + R_{th_{d}}) \rightarrow 150 \text{ }^\circ\text{C} > 50 \text{ }^\circ\text{C} + 4,2 \text{ W} \cdot (5 + R_{th_{d}}) \rightarrow R_{th_{d}} < 18,8 \text{ }^\circ\text{C/W}. \quad (\text{Eq.18})$$

Aquest serà el valor màxim; qualsevol valor inferior a aquest serà vàlid per assolir la temperatura adequada. Per tant, agafarem un dissipador amb una $R_{th_{d}}$ de 18 $^\circ\text{C/W}$, una longitud de 8,3mm i una alçada de 29,4mm.

A.3. Motors

Respecte el motor Epson EM-196, no cal fer cap càlcul ja que l'integrat ULN2003A s'ajusta perfectament a les necessitats de voltatge i corrent. Alimentant el motor a 5v, aquest consumirà $5\text{v}/10\Omega = 500\text{mA}$.

Respecte el motor Lexmark 23LM-C355-P6V, a la figura 20 veiem l'esquema de potència per una bobina del motor, on R_1 representa la resistència de la bobina. A través del transistor TIP122, connectem una sortida del microcontrolador a la bobina del motor. Per les tres bobines restants el muntatge és el mateix.

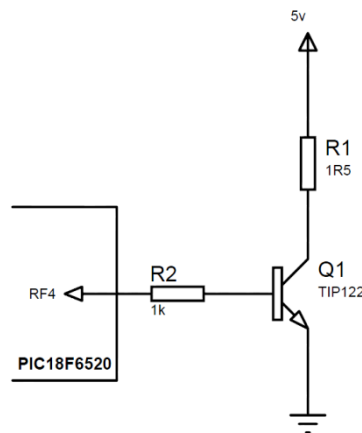


Figura 20. Esquema de potència per cada bobina del motor

Amb una alimentació de 5v, una resistència de bobina de $1,5\Omega$ i tenint en compte que $V_{CEsat} = 2v$ i $\beta_{mín}=1000$, calcularem el consum del motor a partir de l'equació 19.

$$5 - I \cdot 1,5\Omega - 2 = 0 \rightarrow I = \frac{5-2}{1,5} = 2A \quad (\text{Eq.19})$$

A continuació, a partir de l'equació 20, trobarem la intensitat de base I_B . Aquest corrent servirà per calcular la resistència R_B que saturarà el transistor tal i com es veu a l'equació 21.

$$I_B = \frac{I_C}{\beta_{mín}} = \frac{2A}{1000} = 2mA \quad (\text{Eq.20})$$

$$R_B = \frac{5-2,5}{2 \text{ mA}} = 1.250\Omega \rightarrow 1,2 \text{ k}\Omega \quad (\text{Eq.21})$$

A continuació, comprovarem si és necessari la utilització de dissipadors de calor pels transistors TIP122 que presenten un encapsulat TO-220. Mitjançant l'equació 22 trobarem la potència o el flux tèrmic del transistor i amb l'equació 23, trobarem la temperatura d'unió a la que està sotmès, establint una temperatura ambient de 50°C .

$$P_{\max} = V_{CE(sat)} \cdot I_C = 2V \cdot 2A = 4W \quad (\text{Eq.22})$$

$$T_j = T_a + W \cdot R_{th_ja} = 50 \text{ }^\circ\text{C} + 4 \text{ W} \cdot 62,5 \text{ }^\circ\text{C/W} = 300 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{Eq.23})$$

Com veiem és una temperatura força elevada ja que segons el datasheet, la temperatura d'unió màxima a la que pot estar sotmès és de $150 \text{ }^\circ\text{C}$. Per tant, serà necessari un dissipador de calor per cadascun dels 4 transistors.

Segons l'equació 24, la resistència tèrmica del dissipador haurà de ser:

$$T_j > T_a + W \cdot (R_{th_jc} + R_{th_d}) \quad (\text{Eq.24})$$

$$150 \text{ }^\circ\text{C} > 50 \text{ }^\circ\text{C} + 4 \text{ W} \cdot (1,92 + R_{th_d}) \rightarrow R_{th_d} < 23,08 \text{ }^\circ\text{C/W}.$$

Aquest serà el valor màxim; qualsevol valor inferior a aquest serà vàlid per assolir la temperatura adequada. Per tant, agafarem un dissipador amb una $R_{th,d}$ de 20 °C/W, una longitud de 11mm i una alçada de 19mm.

A.4. Focus de leds

S'ha dissenyat un circuit de potència per cada color. Tenim 4 esquemes idèntics al que es pot veure a la figura 21, formats per un transistor BD137, una resistència de base (R1), una resistència de col·lector (R2) i el conjunt de leds corresponents a cada color connectats en paral·lel.

La base de cada transistor està connectada a un PWM del microcontrolador amb el qual podrem controlar la intensitat i per tant, la lluminositat dels leds.

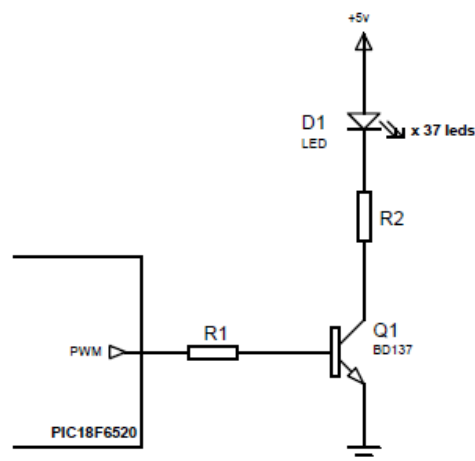


Figura 21. Esquema de potència per cada color

Començant pels leds RGB, considerant-los com a 3 leds independents amb un consum de 20mA per unitat, calcularem la intensitat de col·lector a partir de l'equació 25.

$$I_c = 37 \text{ unitats} \cdot 20\text{mA/unitat} = 740 \text{ mA (per cada color)} \quad (\text{Eq.25})$$

El transistor BD137 presenta una $V_{CEsat}=0,5\text{v}$ i una $\beta_{min}=40$; els leds vermell, verd i blau tenen una caiguda de tensió de 2v, 3,4v i 3,4v respectivament. Tenint en compte això, a partir de l'equació 26 trobarem la R_2 pels leds verd i blau i la seva potència a partir de l'equació 27.

$$5v - 3,4v - R_2 \cdot 740mA - 0,5=0 \rightarrow R_{2G,B} = \frac{5-3,4-0,5}{740 \text{ mA}} = 1,49\Omega \rightarrow 1,5 \Omega \quad (\text{Eq.26})$$

$$P_{R_{2G,B}} = (740mA)^2 \cdot 1,5\Omega = 0,82 \text{ W} \rightarrow 1W \quad (\text{Eq.27})$$

Pel led vermell farem el mateix però tenint en compte que la seva caiguda de tensió és diferent tal i com es pot veure a l'equació 28.

$$5v - 2v - R_2 \cdot 740mA - 0,5=0 \rightarrow R_{2R} = \frac{5-2-0,5}{740 \text{ mA}} = 3,38\Omega \rightarrow 3,3 \Omega \quad (\text{Eq.28})$$

La seva potència la trobarem a partir de l'equació 29.

$$P_{R_{2R}} = (740mA)^2 \cdot 3,3\Omega = 1,81 \text{ W} \rightarrow 2W \quad (\text{Eq.29})$$

Mitjançant l'equació 30, trobarem la intensitat de base que ens permetrà calcular la R_1 , la mateixa pels 3 colors, amb l'equació 31 i la seva potència amb l'equació 32.

$$I_C = \beta_{\min} \cdot I_B \rightarrow I_B = \frac{I_C}{\beta_{\min}} = \frac{740 \text{ mA}}{40} = 18,5 \text{ mA} \quad (\text{Eq.30})$$

$$5v - 18,5mA \cdot R_1 - 0,7=0 \rightarrow R_1 = \frac{5-0,7}{18,5 \text{ mA}} = 232,43 \Omega \rightarrow 220 \Omega \quad (\text{Eq.31})$$

$$P_{R_1} = (18,5mA)^2 \cdot 220\Omega = 0,07 \text{ W} \rightarrow 0,25W \quad (\text{Eq.32})$$

Amb els leds blancs farem el mateix tenint en compte que hi ha un total de 24 leds.

Calcularem la I_C amb l'equació 33, trobarem la resistència de col·lector amb l'equació 34 i la seva potència amb l'equació 35.

$$I_c = 24 \text{ unitats} \cdot 20mA/\text{unitat} = 480 \text{ mA (per cada color)} \quad (\text{Eq.33})$$

$$5v - 3,4v - R_2 \cdot 480mA - 0,5=0 \rightarrow R_{2B} = \frac{5-3,4-0,5}{480 \text{ mA}} = 2,29\Omega \rightarrow 2,2 \Omega \quad (\text{Eq.34})$$

$$P_{R_{2B}} = (480mA)^2 \cdot 2,2\Omega = 0,51 \text{ W} \rightarrow 1W \quad (\text{Eq.35})$$

Mitjançant l'equació 36, trobarem la intensitat de base que ens permetrà calcular la R_1 amb l'equació 37 i la seva potència amb l'equació 38.

$$I_C = \beta_{\min} \cdot I_B \rightarrow I_B = \frac{I_C}{\beta_{\min}} = \frac{480 \text{ mA}}{40} = 12 \text{ mA} \quad (\text{Eq.36})$$

$$5\text{V} - 12\text{mA} \cdot R_1 - 0,7\text{V} = 0 \rightarrow R_1 = \frac{5-0,7}{12 \text{ mA}} = 358,33 \Omega \rightarrow 330 \Omega \quad (\text{Eq.37})$$

$$P_{R1} = (12\text{mA})^2 \cdot 330\Omega = 0,05 \text{ W} \rightarrow 0,25\text{W} \quad (\text{Eq.38})$$

A continuació, comprovarem si és necessari la utilització de dissipadors de calor pels transistors BD137.

Mitjançant l'equació 39 trobarem la potència o el flux tèrmic del transistor i amb l'equació 40, trobarem la temperatura d'unió a la que està sotmès, establint una temperatura ambient de 50°C .

$$P_{\max} = V_{CE(\text{sat})} \cdot I_C = 0,5\text{V} \cdot 740\text{mA} = 0,37\text{W} \quad (\text{Eq.39})$$

$$T_j = T_a + W \cdot R_{\text{th}_{ja}} = 50 \text{ }^\circ\text{C} + 0,37 \text{ W} \cdot 100 \text{ }^\circ\text{C/W} = 87 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{Eq.40})$$

Segons el datasheet del fabricant, la temperatura d'unió màxima a la que pot estar sotmès és de $150 \text{ }^\circ\text{C}$; per tant, no serà necessari la utilització de dissipadors de calor.

B. Convertidor USB/DMX512

Aquest convertidor USB/DMX512 es pot connectar a qualsevol ordinador equipat amb un connector USB i un equip amb Windows 98 o superior. El USB serà el que ens subministrerà l'energia necessària al circuit dissenyat. El circuit transmet 512 canals DMX a un ritme d'aproximadament 42 fotogrames per segon utilitzant un ordinador equipat amb una interfície USB 2.0. La velocitat màxima definida per l'estàndard és de 44 fotogrames per segon. Aquesta taxa de transmissió pot ser una mica inferior amb una connexió USB 1.0.

Cal destacar, que aquest circuit, al igual que alguns convertidors DMX que es venen, no inclouen un complet aïllament elèctric. Això no és perillós quan s'utilitza un dispositiu DMX que funciona correctament, però podria resultar fatal per l'ordinador si, per desgràcia, un conductor d'alimentació d'un projector o de qualsevol altre dispositiu entrés en contacte amb la línia DMX512.

B.1. El PIC16C745

El PIC16C745, del qual el diagrama de blocs es pot veure a la figura 22, és un microcontrolador de baix cost i un dels primers en portar incorporada interfície USB. En realitat es tracta d'una interfície USB del tipus 1.1 (baixa velocitat). La taxa de transmissió del bus USB en el mode de baixa velocitat és de 1,5 Mbps. No obstant, la velocitat del bus DMX512 és de 250 Kbps; per tant, com podem comprovar el USB és 6 vegades més ràpid que la velocitat del DMX512 amb la qual cosa no hi ha cap inconvenient per qüestions del tipus d'interfície.

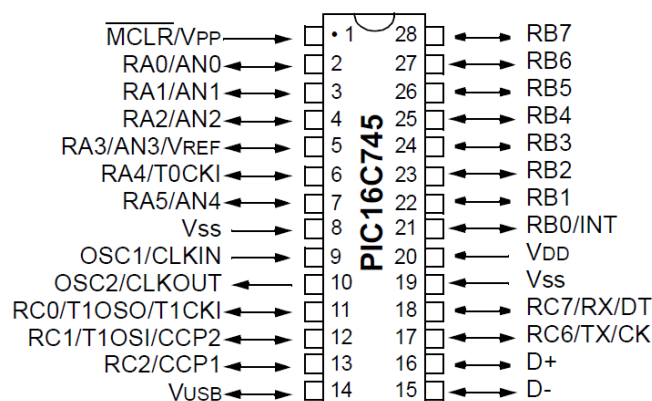


Figura 22. Diagrama de pins

Per l'estàndard USB es defineixen bàsicament dos modes de transferència de dades a baixa velocitat: transferència de control i transferència per interrupció. En el primer cas s'utilitza tot l'ample de banda i és, d'acord amb l'estàndard, reservat per les configuracions del receptor USB. El segon mode s'utilitza en la transferència de dades i la velocitat està limitada a 800 bytes per segon.

En aquest convertidor USB/DMX512, s'utilitza el PIC16C745 en una configuració que no es troba en els estàndards USB ja que s'ha utilitzat el mode de transferència de control amb la finalitat d'intercanviar dades entre l'ordinador i el microcontrolador. Òbviament, tenint en compte que el bus USB no ha estat dissenyat per aquest ús, s'utilitza un controlador especial per el sistema operatiu Microsoft Windows.

B.2. El circuit

El circuit, tal i com es pot veure a la figura 23, només té dos components actius: el PIC16C745 i el MAX485.

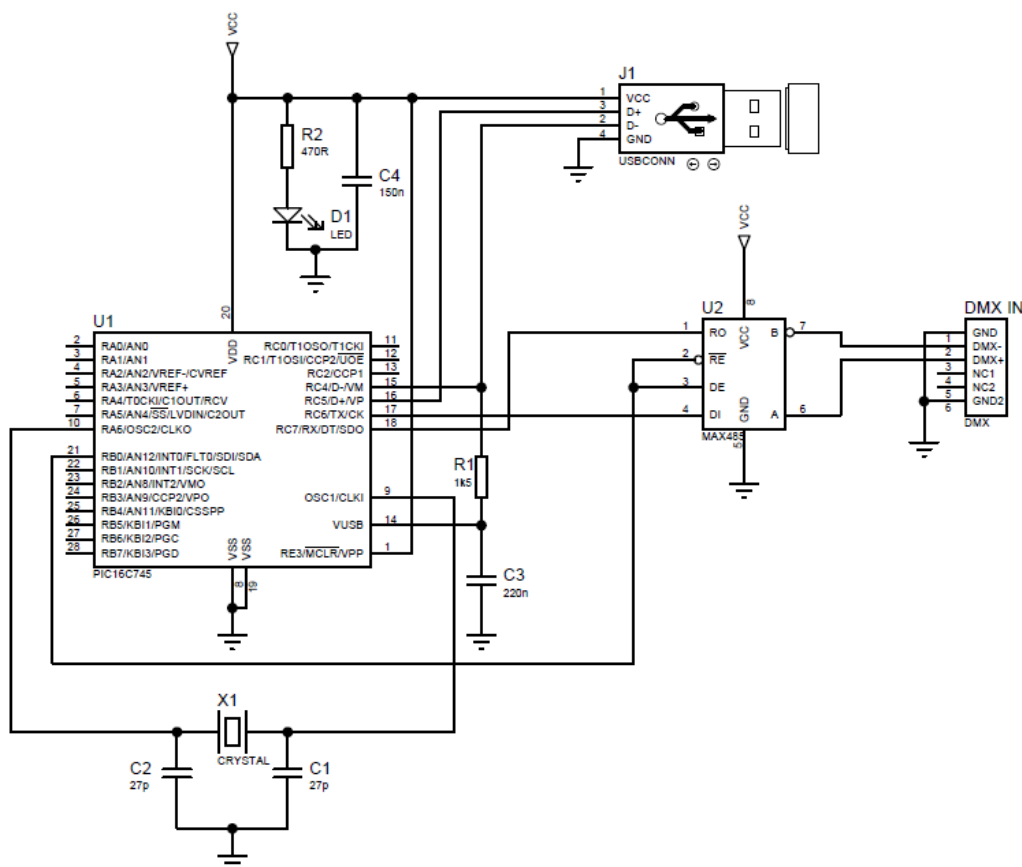


Figura 23. Circuit convertidor USB/DMX512

En primer lloc, tenim el microcontrolador de 28 pins, PIC16C745 (U1) acompanyat d'un cristall de 6MHz amb els seus corresponents condensadors de 27pF. La freqüència interna del microcontrolador està fixada a 24MHz, gràcies a la seva PLL integrada, reduint així la pèrdua de radiació que podria donar-se quan s'utilitza un oscil·lador extern a aquesta freqüència.

El PIC genera la tensió de 3,3 v necessaris a la resistència de 1,5k (R1) connectada a la línia D- del cable USB. El condensador de 220nF (C3) s'encarrega de suavitzar aquesta tensió subministrada directament pel microcontrolador. Els pins D+ i D- del PIC estan directament connectats al bus USB. El condensador de 150nF (C4) s'encarrega d'eliminar les fluctuacions en els 5 volts de tensió.

Per últim trobem el transceptor MAX485 el qual està connectat a la USART (Universal Synchronous & Asynchronous Receiver Transmitter) del PIC i que permet la comunicació bidireccional; no obstant, el firmware del PIC no està preparat per utilitzar-lo com a entrada DMX512. El buffer de sortida no inversor del MAX485 està connectat al pin 3 del connector XLR i l'inversor està connectat al pin 2; el pin 1 està connectat a massa.

El cable USB consta de 4 cables, un parell de cables més gruixuts que són els d'alimentació i dos cables més fins trenats, per a la transmissió de dades. A continuació, a les figures 24 i 25, es relacionen els colors i els pins dels connectors USB (tipus B) i XLR (Neutrik NC5FBH), respectivament.

Pin	Nom	Color del cable	Descripció
1	Vcc	Vermell	+5v
2	D-	Blanc	Data-
3	D+	Verd	Data+
4	GND	Negre	Massa



Figura 24. Connector USB del tipus B

Pin	Nom	Descripció
1	GND	Massa
2	DMX-	Data-
3	DMX+	Data+
4 i 5	Opcionals (sense ús)	

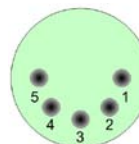


Figura 25. Connector DMX femella 5 pins

A la taula 7 podem veure el llistat de components que s'han utilitzat per construir aquest convertidor USB/DMX512.

Descripció	Quantitat
Resistència 470Ω/0.25W	1,0
Resistència 1,5kΩ/0.25W	1,0
Condensador 27pF/50v	2,0
Condensador 150nF/50v	1,0
Condensador 220nF/50v	1,0
Transmissor MAX485CPA	1,0
Microcontrolador PIC16C745	1,0
Cristall 6MHz	1,0
Led vermell 5mm 6mcd	1,0
Connector USB tipus B femella	1,0
Connector XLR Femella Neutrik NC5FBH 90°	1,0

Taula 7. Components del USB/DMX512

B.3. Programar el PIC

El microcontrolador PIC16C745 és del tipus OTP (One Time Programmable), és a dir, que només pot ser gravat una sola vegada per l'usuari sense la possibilitat d'esborrar el que s'hi ha gravat, tal com indica la lletra C en el seu nom. Sabent això, l'arxiu hexadecimal que hi haurem de gravar amb el programador adequat serà l'anomenat `usb2dmx.hex`. L'arxiu `usb_main.asm` conté un bucle de lectura sense fi de les dades enviades per l'ordinador. Aquestes dades són utilitzades per l'arxiu `dmx512.asm` que sincronitza la recepció USB amb la transmissió en el bus DMX512. En aquest arxiu, també hi trobem el codi de programa que s'utilitza per generar la pausa requerida al final de cada paquet de DMX.

Un cop fet el circuit i al connectar per primera vegada el USB a l'ordinador, el nou dispositiu serà detectat i se'ns obrirà l'assistent d'instal·lació. Quan se'ns demani el driver, buscarem l'arxiu `OGENINT.INF` el qual farà possible la instal·lació del driver. Aquest crearà una associació entre el driver i el mòdul USB. A partir d'aquí, i si tot ha sortit correcte, cada vegada que connectem el nostre convertidor USB/DMX512 a l'ordinador serà detectat automàticament.

B.4. El software

Existeixen alguns programes gratuïts que suporten aquest convertidor USB/DMX512 com són el MasterPeace, el DMX Control i el FreeStyler, tots ells en anglès. El primer imita una taula professional d'il·luminació mentre que el segon i el tercer són programes bastant complets que permeten el control d'una gran varietat de caps mòbils, scanners i altres aparell d'il·luminació del mercat amb un munt d'opcions configurables. A la figura 26, tenim un exemple de la interfície gràfica del FreeStyler 3.0.

FreeStyler és un software escrit en Visual Basic que permet controlar un equip de DMX512 utilitzant una impressionant varietat de convertidors ja sigui per port paral·lel, USB o Ethernet. Dins dels convertidors USB trobem el que s'explica aquí utilitzant com a referència el nom de Oksidizer USB2DMX.

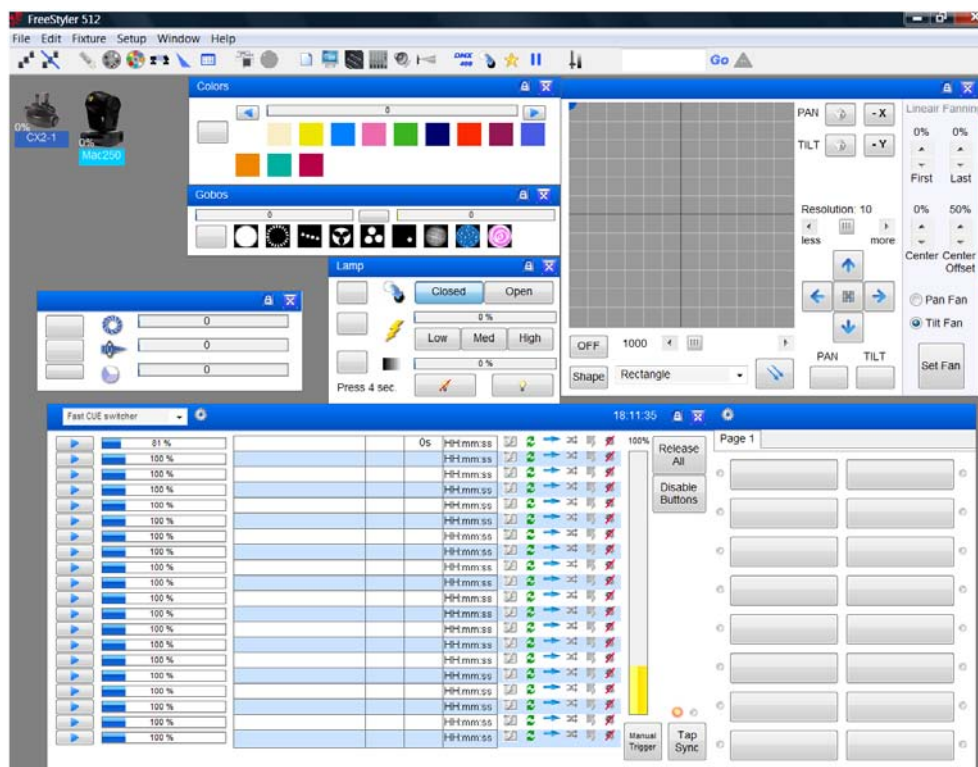


Figura 26. Interfície gràfica del FreeStyler 3.0

A més, el programa incorpora un programa anomenat Fixture Creator que permet crear la llibreria de qualsevol aparell lluminós d'una manera molt senzilla podent així configurar el nombre de canals i les seves propietats. Aquest programa s'ha utilitzat per crear la llibreria del cap mòbil d'aquest projecte.

L'altre programa utilitzat, el DMXControl 10.0, presenta algunes característiques més interessants. Permet controlar cadascun dels canals mitjançant l'anàlisi de la música utilitzant un plugin que s'afegeix al reproductor de música WinAmp o bé seguint el ritme de la música. També es poden generar efectes predeterminats i sincronitzar-los amb la música.

Mitjançant l'editor DDFCreator també permet crear la llibreria de qualsevol equip DMX i integrar-la fàcilment dins el programa DMXControl.

A la figura 27 es presenten algunes de les finestres d'aquest programa que permet personalitzar totalment l'espai de treball dins la pantalla de l'ordinador.

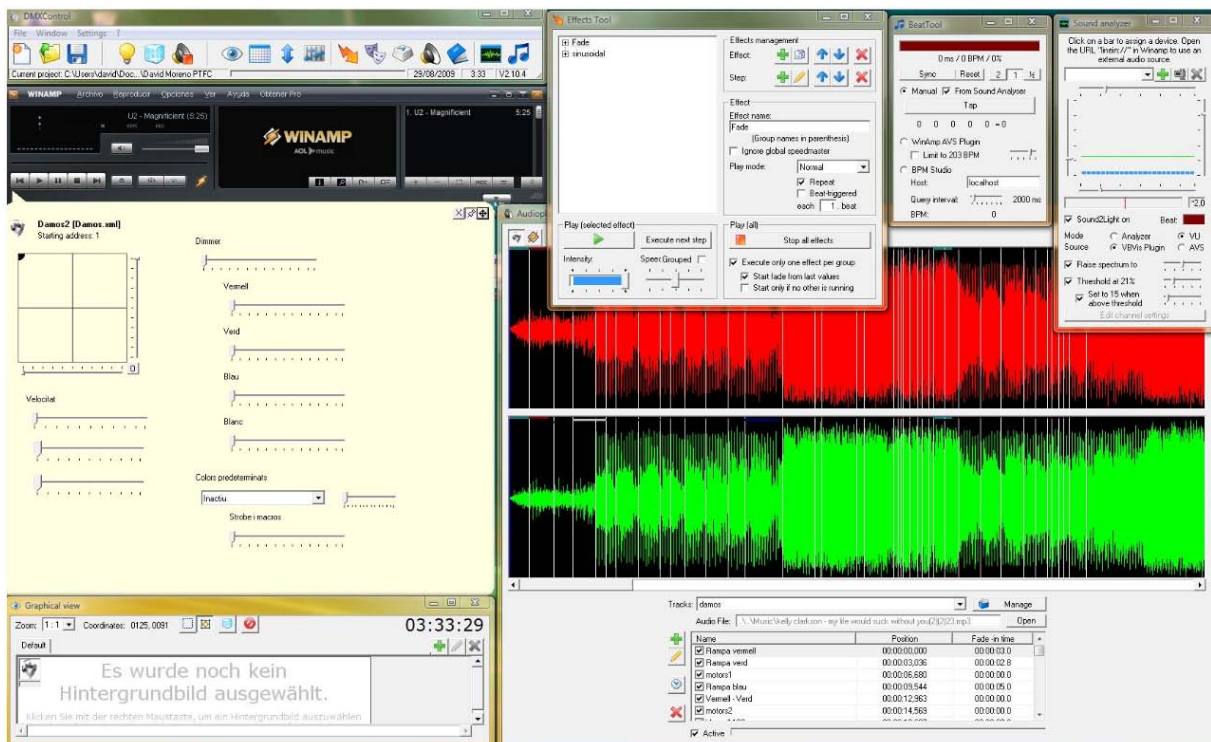


Figura 27. Interfície gràfica del DMXControl 10

C. Codi informàtic

A continuació, es presenta, en format digital, la versió 1.0 del codi informàtic compilat amb el programa PCWH Compiler v. 4.023 de l'empresa CCS Inc., juntament amb les llibreries utilitzades i proporcionades pel mateix programa.