



**UNIVERSITAT
JAUME·I**

ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA I CIÈNCIES EXPERIMENTALS

MÀSTER UNIVERSITARI EN ENGINYERIA INDUSTRIAL

***DISSENY D'UN CARREGADOR PER A UN KART CROSS
ELÈCTRIC***

TREBALL FI DE MÀSTER

AUTOR/A: Alexandre Faus Redón

DIRECTOR/A: Enriquer Belenguer Balaguer

Castelló, Juliol de 2022

DEDICATÒRIA

Dedicat a la meua família, als meus pares, Silvia Redón i Emili Faus, la meua germana, Eva , els meus avis Emilio i Rosa, Manolo i Reme i també a tots els membres de la família als quals em sent molt unit.

Menció especial a la meua avia Rosa Roselló a la qual li vaig prometre que llegiríem junts aquest treball, gràcies per creure sempre en mi i estar tan orgullosa del teu nét! Molt agraït d'haver-te tingut a la meua vida i orgullós d'haver sigut el teu nét!

Com et vaig dir en el seu moment, açò i tot el que faja està dedicat a tu! Et vull molt iaia!!

Descansa 

“Buen porte y buenos modales abren puertas principales”

AGRAÏMENTS

Aquest treball, és el final d'una carrera de fondo molt dura. Des de la meua infantesa fins a la meua maduresa m'he anat fent un home i he anat aprenent de la gent del meu voltant. En la meua vida m'he trobat amb molta gent la qual m'ha fet a créixer com a persona i m'han ensenyat molt de la vida i he après molt de tots ells. No ha sigut fàcil arribar fins ací, i la gent que ha estat al meu costat ho sap, junts hem passat tots els obstacles i dificultats.

Abans de començar amb la presentació del treball, vull agrair a totes les persones que he trobat en aquest temps a les quals he d'agrair el fet d'haver-les conegut i haver treballat amb ells.

Primer, agrair a Enrique Belenguer Balaguer, el meu tutor del TFG, qui m'ha permès realitzar aquest treball i m'ha guiat quan ha sigut necessari gràcies a la seua experiència i saber fer. He tingut molta sort de tindre'l de professor a electrotècnia i després de que ell em donarà l'oportunitat de fer conjuntament aquest projecte del kart cross elèctric. M'he sentit realitzat com a enginyer i com a estudiant trobant el sentit a tot el que he fet. Per tot i més, moltes gràcies!

Igualment, agrair a tots els meus companys de carrera a l'UJI (Ana Tomàs, Natalia Arbeloa, Manel Martínez, Ferran Vilar, Pau Giménez, Rafa Fabregat, Pablo Vázquez, Alex Roca...) i a l'INSA LYON (David Tomás, Florian/F10 Oualid, Adela Guerra, Nicolas Molina, David Padilla, Pepe Feliu, Juan Elenter, Francisco el Perro...).

Jo voldria agrair també l'equip d'ensenyants de l'UJI i de l'INSA de LYON per haver-me format aquests anys i haver-ho fet amb la qualitat amb la que ho han fet. Tanmateix a l'equip de secretaria de les dos universitats els quals m'han ajudat molt quan ha sigut necessari.

Finalment, jo no puc oblidar-me d'agrair a la meua família (Silvia, Emili i Eva) i a la meua núvia (Clara Llopis) per recolzar-me i animar-me durant este temps.

MOLTES GRÀCIES A TOTS!

RESUM

El present projecte descriu el procés de concepció, disseny, dimensionament i muntatge d'un carregador per un kart cross elèctric prèviament construït a l'UJI. L'objectiu d'aquest projecte és elaborar aquest per a la bateria del kart de 60Ah i elaborar el control amb una placa Arduino UNO.

Per al desenvolupament del projecte, inicialment s'ha realitzat un anàlisi de la bateria seleccionada i de la normativa vigent per establir una llista de requeriment que haurà de tenir el carregador així aplicar aquestes restriccions a la fase de disseny. També s'ha investigat els diferents modes de càrrega, característiques del material de la bateria, tipus de control, i algorismes de control entre altres contrastant diferents fonts d'informació com: articles científics, informes tècnics, tesis, fòrums...

A l'inici del projecte s'ha realitzat una llista de requeriments i basant-se en la normativa vigent s'han decidit els muntatges necessaris de control, potència i protecció i s'han especificat les característiques del carregador les quals seran restriccions a la fase de disseny. Després d'aquest anàlisi s'ha decidit que el sistema de potència per al carregador serà un convertidor reductor de tensió AC/DC i el mètode de control de càrrega el de corrent constant-tensió constant el qual necessita del control del corrent i tensió de càrrega de la bateria.

A la fase de disseny i dimensionament s'ha calculat i seleccionat els components per al carregador amb l'objectiu que aquest acoblen de manera satisfactòria i el funcionament sigui el desitjat. Per comprovar-ho, durant aquesta fase s'han realitzat simulacions amb ORCAD, CADE-SIMU i LT-Spice per observar el comportament del sistema de potència, proteccions i comandament respectivament. Aquestes han confirmat en gran majoria les hipòtesis fetes i refutat els càlculs. Malgrat això, també han corregit incoherències o errades.

Posteriorment s'ha implementat el control del carregador el qual s'ha decidit per simplicitat i eficiència realitzat un PI per controlar el corrent o tensió en funció de l'etapa. El càlcul i simulació del sistema s'ha realitzat amb MATLAB/Simulink i aquest s'ha implementat amb el software d'Arduino UNO aplicant un mètode de control seqüencial en forma de GRAFCET en C.

Finalment s'ha muntat el carregador físicament i s'han realitzat proves que han permès concloure que el funcionament del sistema és correcte, s'han proposat millores i fixat futurs treballs a realitzar.

ABSTRACT

This project describes the process of conception, design, sizing, and assembly of a charger for an electric go-kart previously built at the UJI. The aim of this project is to develop this for the 60mAh battery of the go-kart and to develop the control of the system with an Arduino UNO board.

For the development of the project, initially an analysis of the selected battery and the current regulations has been carried out in order to establish a list of requirements that the charger will have to have in order to apply these restrictions to the design phase. We have also investigated the different charging modes, characteristics of the battery material, types of control, and control algorithms among others, contrasting different sources of information such as: scientific articles, technical reports, theses, journals...

At the beginning of the project, a list of requirements was drawn up and, based on the current regulations, the necessary control, power, and protection assemblies were decided, and the characteristics of the charger were specified, which will be restrictions in the design phase. After this analysis it has been decided that the power system for the charger will be a buck model and the charge control method will be constant current-constant voltage, which requires control of the current and charge voltage of the battery.

In the design and dimensioning phase, the components for the charger have been calculated and selected with the aim that the charger will work satisfactorily and works as desired. To verify this, during this phase simulations have been carried out with ORCAD, CADE-SIMU and LT-Spice to observe the behaviour of the power system, protections and command respectively. These have largely confirmed the hypotheses made and refuted the calculations. However, they also corrected inconsistencies or errors.

Subsequently, the control of the charger has been implemented and it has been decided for simplicity and efficiency to make a PI to control the current or voltage depending on the stage. The calculation and simulation of the system has been carried out with MATLAB/Simulink and it has been implemented with the Arduino UNO software by applying a sequential control method in the form of a GRAFCET in C.

Finally, the charger has been physically assembled and tests have been carried out which have allowed us to conclude that the system works correctly, improvements have been proposed and future work to be carried out has been established.

ÍNDEX GENERAL

1. MEMÒRIA TÈCNICA
2. PLÀNOLS
3. PRESSUPOST
4. PLEC DE CONDICIONS
5. ANNEXES

MEMÒRIA TÈCNICA

ÍNDIX

DEDICATÒRIA.....	4
AGRAÏMENTS.....	5
RESUM	6
ABSTRACT	7
ÍNDIX GENERAL	8
1. INTRODUCCIÓ.....	13
1.1 ANTECEDENTS	13
1.2 JUSTIFICACIÓ	14
1.3 OBJECTIUS.....	15
1.4 ABAST DEL PROJECTE	15
2. LLISTA DE REQUERIMENTS	17
3. DISSENY DEL CARREGADOR.....	20
3.1 SELECCIÓ CIRCUIT POTÈNCIA	21
3.1.1 Etapa AC/AC	21
3.1.2 Etapa AC/DC.....	22
3.1.3 Etapa DC/DC.....	25
ESQUEMA DE POTÈNCIA PER SIMULAR.....	29
3.2 SELECCIÓ DEL MÈTODE DE CÀRREGA.....	29
3.3 SELECCIÓ DE L'ESQUEMA DE COMANDAMENT	30
3.4 QUADRE ELÈCTRIC	31
3.5 ELEMENTS AUXILIARS	32
<i>Divisor resistiu</i>	33
<i>Sensor de corrent</i>	35
<i>Sensor de temperatura</i>	38
<i>Convertidor AC/DC 15V</i>	40
<i>Radiador</i>	41
4. CONTROL	43
4.1 FUNCIÓ DE TRANSFERÈNCIA	43
<i>Control de corrent</i>	43
<i>Control de tensió</i>	44
4.2 CONTROL ESCOLLIT	44
4.3 DISSENY PI AMB MATLAB.....	45
<i>PI Corrent</i>	45
<i>PI tensió</i>	46
4.4 DISCRETITZAR EL PI	47
5. SIMULACIÓ.....	48

ORCAD	48
MATLAB/SIMULINK.....	52
<i>PI CORRENT</i>	52
<i>PI TENSIO</i>	54
6. PROGRAMACIÓ ARDUINO	57
GRAFCET	57
7. RESULTATS.....	58
8. CONCLUSIÓ	62

1. INTRODUCCIÓ

El present Treball de Fi de Màster consta de la concepció, disseny, i programació d'un carregador elèctric per a un kart cross de 19 kW de potència amb una bateria LFP de 60 Ah. Aquest carregador es dissenyarà doncs per a la bateria d'aquest kart la qual ha sigut proveïda per l'empresa Abervian.

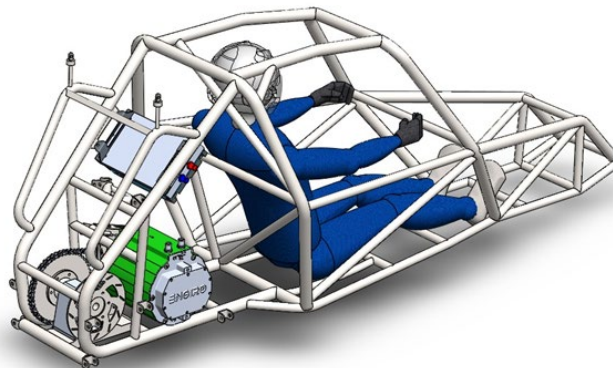
Al treball es realitzarà el disseny de la potència i control del carregador per a la bateria del kart exposada realitzant el seu muntatge i simulacions per verificar el funcionament.

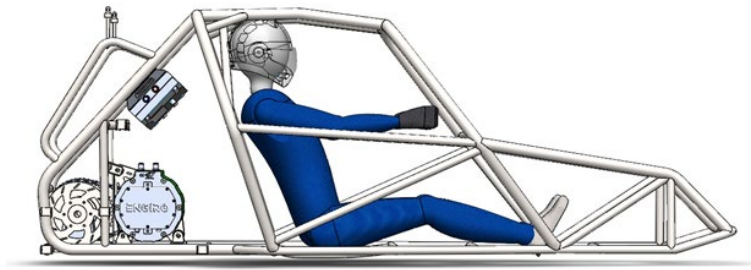
Aquest treball s'utilitzarà de base per una posterior construcció del carregador per part del departament d'Enginyeria de sistemes industrials i disseny de l'UJI.

1.1 Antecedents

Al meu TFG al setembre de 2020 vaig realitzar el disseny del sistema elèctric per a un Kart Cross amb motor de combustió per a la seva transformació en vehicle elèctric. Les característiques principals del vehicle són la utilització d'un motor síncron amb imants permanents (PMSM) de 19 kW de potència nominal (39 kW de potència màxima).

El projecte es va realitzar a la Universitat Jaume I (UJI) a l'Àrea d'Enginyeria Elèctrica del Departament d'Enginyeria de Sistemes Industrials i Disseny. És important destacar que a banda del disseny purament elèctric i electrònic es farà també el disseny mecànic del conjunt, per a una correcta integració del elements dins del vehicle. A la finalització del TFG es va obtenir el següent disseny del kart i es van seleccionar i programar motor i controlador quedant el vehicle així com es veu a la imatge 1.





Imatge 1 Kart TFG

Durant el curs 2020-21 i el curs actual s'ha dissenyat i fabricat la bateria per part d'Abervian amb una capacitat de 60 Ah per aquest kart la qual es col·loca com es pot veure a la imatge 2 en 3D.



Imatge 2 Situació del kart actual

Aquest TFM llavors serà la finalització d'allò que vaig començar a l'estiu de 2020 on a aquest projecte es realitzarà d'una banda el disseny elèctric i electrònic del carregador i d'altra banda la simulació i control de la càrrega mitjançant una placa arduino uno i utilitzant la ferrament Matlab.

1.2 Justificació

Actualment s'està centrant i invertint molt per la mobilitat elèctrica. En la nostra societat, el transport representa quasi un 40% del consum d'energia primària, per tant no resulta exagerat afirmar que el vehicle elèctric és el vehicle del futur perquè ofereix millores substancials als principals reptes i problemes del nostre temps (disminuir l'impacte ambiental, reduir la dependència del petroli).

Els vehicles elèctrics són l'alternativa que no emet contaminació mentre s'utilitza, i que, si l'energia per a carregar i produir les bateries provenen d'energies renovables, un dia es podria arribar a la xifra de 0 emissions en el cercle energètic global.

Aquest vehicles necessiten energia, i aquesta prové de la xarxa elèctrica i llavors cal que es dissenye un dispositiu que adapte l'energia elèctrica de la xarxa al que necessita el vehicle, el carregador.

Seguint el projecte ja començat quan estava a quart de carrera, el disseny d'un kart cross elèctric, vista la necessitat de continuar amb aquest projecte propose aquest projecte final de màster per completar la meua coneixença en el tema i per conèixer el funcionament d'un carregador.

1.3 Objectius

L'objectiu del TFM és el disseny i muntatge d'un carregador per a un kart cross de 19kW de potència nominal. La finalitat del projecte és poder aplicar aquesta investigació a l'ensenyament universitari, i tanmateix es podran extraure conclusions per poder treballar en aquest camp en un futur, millorant tot allò que resulta fonamental per poder adaptar aquests canvis a qualsevol vehicle de combustió.

Amb la progressiva implantació del vehicle elèctric creixerà la necessitat d'enginyers amb coneixements específics en aquest àmbit, que els permetrà investigar per millorar el funcionament d'aquest.

S'ha treballat en el disseny del carregador elèctric d'un Kart Cross amb la finalitat de :

- Dimensionar el sistema de potència segons les característiques de la bateria.
- Seleccionar els components mecànics i elèctrics per al disseny del carregador.
- Implementar un carregador que module la velocitat de càrrega de la bateria.
- Programar les funcionalitats del carregador.
- Adaptar tots el elements del carregador per evitar pèrdues de potència.
- Dissenyar el quadre de proteccions per al carregador, per la bateria i per l'usuari.

1.4 Abast del projecte

L'abast del projecte queda definit en els següents punts:

- Programació del control de la càrrega de la bateria.

- Selecció del tipus de càrrega desitjada per al vehicle.
- Disseny dels sistemes elèctrics de potència per al carregador.
- Selecció dels components del carregador.
- Disseny i selecció dels elements del quadre elèctric del carregador.
- Muntatge físic del carregador.

2. LLISTA DE REQUERIMENTS

Per a realitzar aquest projecte es parteix de la realització prèvia d'un kart cross amb tracció elèctrica (Faus Redon, 2020). Per al disseny del carregador es tindrà en compte la **bateria** dissenyada per **Abervian** per al kart en qüestió la qual té les següents especificacions:

Configuración	24s3p
Tensión Nominal	76.8 V
Capacidad Nominal	60 Ah
Tensión máxima	91.2 V
Tensión mínima	62.4 V
Rango de funcionamiento	67.2 V – 88.8 V
Corriente de descarga óptima	< 30 A (0.5C)
Corriente máxima de descarga	180 A (3C)
Pico máximo de descarga	< 600 A (10C)
Corriente de carga óptima	< 39 A
Corriente máxima de carga	< 60 A
Vida útil (80% DoD a 20°C)	> 2000 ciclos a 0.5C > 1500 ciclos a 1C
Autodescarga	< 3% al mes
Temperatura de operación (carga)	0 a 45 °C
Temperatura de operación (descarga)	-25 a 55 °C
Dimensiones	
Peso	65 kg

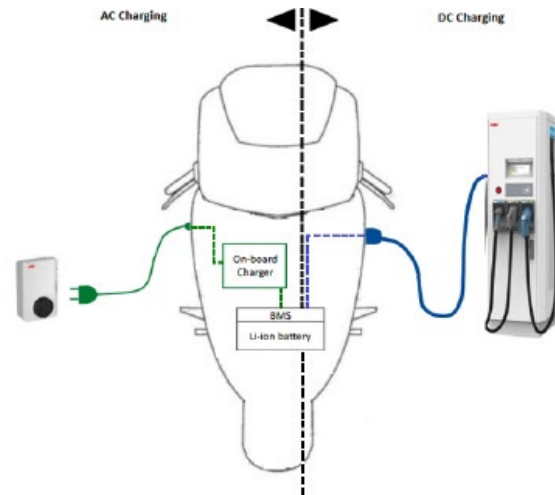
Imatge 3 Especificacions de la bateria.

De la imatge 3, es prenen els valors importants i que afecten al disseny del rectificador com que la bateria té una tensió màxima de càrrega de **91,2 V** i un **rang de funcionament de [67,2 , 88,8] V** i una capacitat de **60Ah**.

A més a més, s'han fet proves al laboratori per determinar la resistència interna de la bateria obtenint una $R_i = 0,1 \Omega$.

Totes les bateries del mercat es carreguen en continu. La xarxa proporciona corrent altern, per tant, per carregar una bateria des de la xarxa elèctrica s'ha de dur a terme una transformació de corrent altern a corrent continu. Aquesta transformació es realitza emprant un circuit electrònic anomenat **convertidor AC/DC**, també conegut com a rectificador, que pot estar ubicat dins o fora del vehicle.

En l'actualització de la norma **UNE/IEC 61851-1** es contempen dos grups de carregadors tenint en compte el lloc on es duu a terme la conversió AC/DC, és a dir, tenint en compte el lloc on es troba ubicat el rectificador:



Imatge 4 Esquerra carregador on-board, dreta carregador off-board

- On-board: situats a l'interior del vehicle com es mostra a l'anterior imatge i el procés de conversió AC/DC es fa a l'interior del vehicle.
- Off-board: el procés de conversió AC/DC no es duu a terme a l'interior del vehicle, sinó que es duu a terme fora d'aquest, al carregador, sent aquí on es troba ubicat doncs el rectificador.

Per al kart es dissenyarà un **carregador off-board**.

A la norma anteriorment nomenada (UNE/IEC 61851-1), des de les definicions inicials, es descriuen dues classes de carregadors en funció de la seva classe d'aïllament:

- **Carregadors Classe I** Corresponen als carregadors amb aïllament i proteccions bàsiques i amb terminal de connexió i terra.
- **Carregadors Classe II** Corresponen als carregadors amb aïllament reforçat i proteccions suplementàries.

Per evitar confusions, es recorda que és preceptiu que tots els carregadors disposin d'un dispositiu de protecció diferencial amb protecció mínima equivalent al tipus A (Residual Current Device) i protecció contra sobreintensitats (magnetotèrmic o similar). Així doncs, els sistemes de recàrrega, a més de realitzar la funció per a la qual han estat dissenyats, han de garantir la seguretat i que els diversos paràmetres elèctrics es mantinguin dins de certs intervals, compliment amb els requisits establerts a les Directives 2006/95/CE (Baixa Tensió) i la 2004/108/CE sobre Compatibilitat Electromagnètica. Aleshores serà necessari l'elaboració d'un **quadre elèctric** amb les proteccions mencionades

La configuració del carregador serà en funció de la seua connexió a la xarxa elèctrica, en aquest cas a la xarxa elèctrica de l'UJI amb una tensió monofàsica de **230V** eficaços i una freqüència de **50 Hz** aleshores el carregador serà de tipus **monofàsic**.

A part, per al control PWM d'aquest primer dispositiu de càrrega es compta amb un **Arduino UNO** amb les característiques esmentades al marc teòric i annexes.

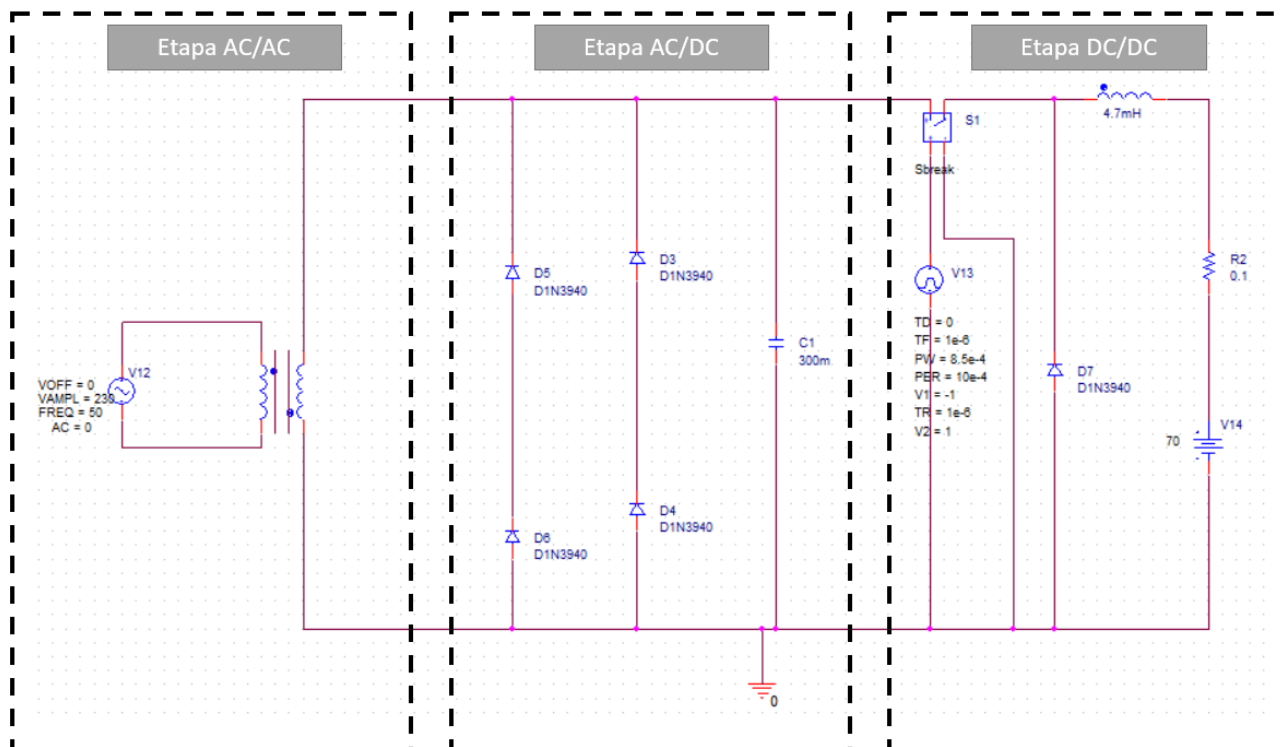
3. DISSENY DEL CARREGADOR

Estudis realitzats per la Reial Acadèmia d'Enginyeria recomanen la càrrega d'una bateria LFP a una taxa de càrrega inferior a 1C, ja que és habitual que, si se supera aquesta taxa de càrrega, s'acceleri la degradació de les cel·les i se'n redueixen vida útil i en situacions de sobrecàrrega, el material catòdic podria col·lapsar (Real Academia de Ingeniería, 2017). La majoria dels fabricants recomanen si és possible, una taxa de càrrega de 0.1C, encara que això suposi en condicions ideals un temps de càrrega de 10 hores. La taxa de càrrega de corrent constant especificada pel fabricant és la velocitat de càrrega màxima que la bateria pot tolerar sense ser malmesa. Un valor de taxa de càrrega igual a 0.1C permet que el corrent màxim del convertidor sigui més petit, facilitant així el disseny i permetent l'elaboració d'un carregador més compacte i econòmic. Per al projecte es prendrà una corrent de càrrega de 30A, el que suposa una càrrega a 0,5C la qual ens diu el fabricant de la bateria que seria una càrrega òptima per a la seua bateria.

Aleshores les especificacions del carregador al complet serien:

- Tensió d'alimentació 230 V eficaços i freqüència 50 Hz.
- Tensió màxima d'eixida 91,2 V CC.
- Corrent límit de càrrega 30 A.

El circuit de potència del convertidor dissenyat és el següent de la imatge 5:



Imatge 5 Esquema FINAL

3.1 Selecció circuit potència

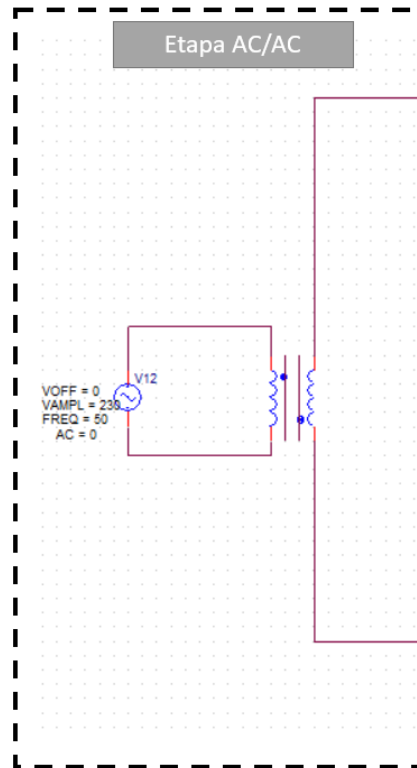
Per a dissenyar el circuit de potència es va a separar aquesta concepció en tres fases:

3.1.1 Etapa AC/AC

La topologia seleccionada per al disseny del circuit de potència complet requereix una primera etapa que s'encarregui de convertir l'energia elèctrica alterna proporcionada per la xarxa, d'un cert nivell de tensió, en energia alterna d'un nivell de tensió inferior, així com de proporcionar aïllament galvànic. Aquest aïllament és un mètode de protecció que garanteix la seguretat. Els dispositius elèctrics dissenyats per permetre les dues premisses es denominen transformadors.

Es distingeixen dos tipus de transformadors atenent la freqüència a què funcionen: transformadors de 50 Hz i transformadors d'alta freqüència. El transformador d'aquesta etapa serà de 50 Hz ja que aquesta és la freqüència a què es troba la xarxa a què es connectarà i, per tant, la freqüència a què treballarà. Si bé és cert que aquest tipus de transformadors presenten l'inconvenient que per a una mateixa potència aparent són més voluminosos que un transformador d'alta freqüència, pel fet que el prototip del carregador a dissenyar és per a un carregador off-board i no comercial no es estima que suposi un gran desavantatge.

D'aquesta manera, la primera etapa del sistema de conversió de potència que facilitarà l'intercanvi energètic entre la xarxa elèctrica i la bateria, tenint en compte que la xarxa és una xarxa alterna monofàsica i que la freqüència és de 50 Hz, estarà formada per un transformador monofàsic de 50 Hz.



Imatge 6 Transformador monofàsic

Es necessita reduir la tensió AC/AC de la xarxa elèctrica llavors com la bateria té una tensió màxima de 91,2V s'ha triat un transformador monofàsic el qual converteix els 230 V eficaços de la xarxa en 70V eficaços per a posteriorment la sortida de l'etapa, com es mostra a la imatge 5, es connectarà a l'etapa AC/DC a la qual alhora es troba connectada l'etapa DC/DC reductora i a aquesta última la bateria.

El transformador tindrà la següent estructura:

- Debanat primari:
 - Tensió: 230V
 - Corrent: 6,5A
- Debanat secundari
 - Tensió: 70V
 - Corrent: 30A

Aquest transformador tindrà una potència de 2,1 kVA i s'encomanarà a una empresa externa a l'UJI experta en la matèria per a la seua construcció.

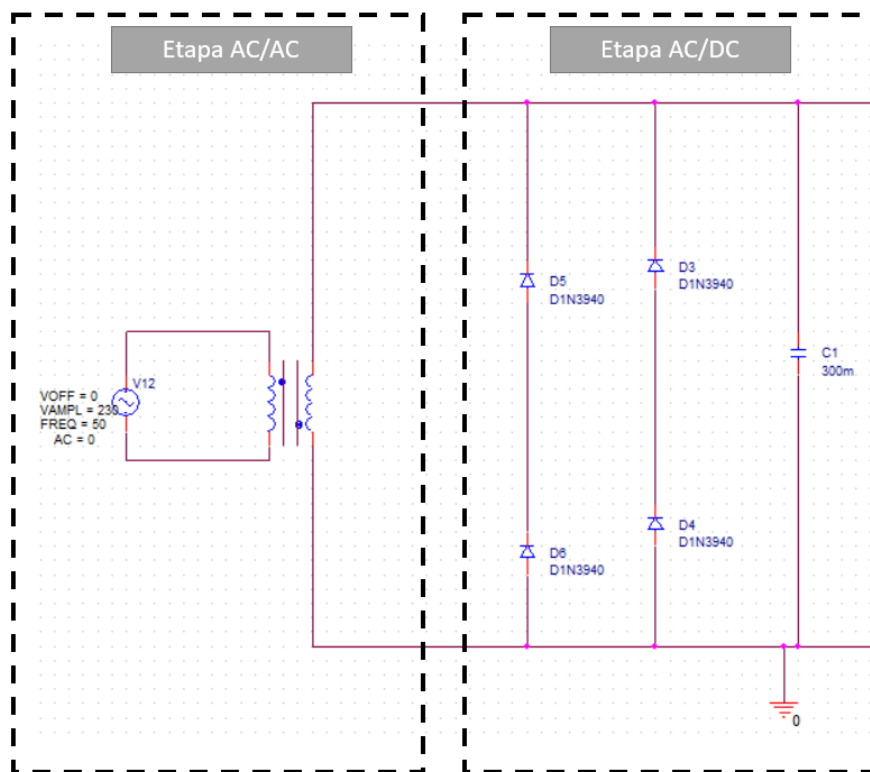
3.1.2 Etapa AC/DC

Totes les bateries del mercat es carreguen en continua, amb corrent i tensió continua. La primera etapa de què consta la topologia seleccionada per al disseny del circuit de potència complet proporciona corrent i tensió alterna, de manera que es requereix una segona etapa que s'encarregue de dur a terme el procés de conversió AC/DC, és a dir, que sigui capaç de

convertir el corrent i la tensió altern proporcionada per l'etapa d'entrada AC/AC, en corrent i tensió contínua, tal com requereix la bateria per ser carregada. Els circuits electrònics dissenyats per permetre aquesta transformació es denominen convertidors AC/DC, també coneguts com a rectificadors. D'aquest n'hi ha dos tipus:

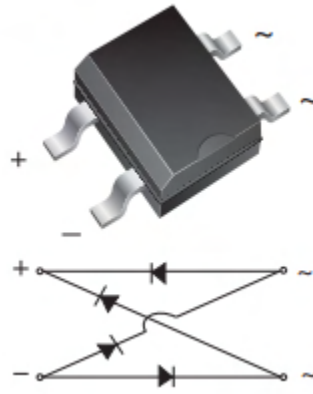
- Rectificadors de línia commutada basats en díodes: Aquests convertidors AC/DC de línia commutada són els més simples i usen díodes com a dispositius semiconductors per transformar l'energia elèctrica de corrent altern a corrent continu.
- Rectificador de línia commutada basats en tiristors: aquests són més complexes i funcionen amb semiconductors controlats que permeten ajustar el flux de potència.

Per aquest prototip inicial de carregador s'escolleixen els **rectificadors de línia commutada basats en díodes**, per rectificar l'ona que prové del transformador com es veu a la imatge 7.



Imatge 7 Etada AC/AC & Pont de díodes

Com a l'eixida del transformador es tindrà una tensió pico-pico de $V_{pp} = \sqrt{2} \cdot V_{eff} \approx 100V$ i una corrent de 30A, es selecciona el següent pont de díodes de la casa RS, del qual la datasheet es troba als annexes:



Imatge 8 Pont de diodes seleccionat

Una vegada la senyal elèctrica està rectificada, com es veu a la imatge 8, aquesta s'aplana amb la utilització d'un condensador com es veu a la imatge 7 i la capacitat del mateix es calcula a continuació:

Càlculs etapa AC/DC rectificadora (Live Code File Format MATLAB)

Per transformar la tensió de la xarxa elèctrica s'utilitza un transformador d'alterna monofàsic amb un transformador el qual es connecta a un pont de diodes per rectificar l'ona de forma completa. Per aplanar-la s'usa un condensador.

Tenint en compte l'expressió del llibre "Análisis de circuitos con diodos semiconductores" sugereix aplicar la següent expressió:

$$C = \frac{V_{\max}}{\Delta V \cdot f \cdot R_L} = \frac{I_{\max}}{\Delta V \cdot f}$$

Aleshores s'obté aquesta expressió en funció del corrent màxim, la freqüència de la xarxa i de l'arissat de tensió.

Tenint en compte les tensions màxima i mínima de la bateria i la corrent que consumeix es calcula la potència màxima que s'haurà d'injectar a la bateria i la resistència equivalent a aquesta.

f_xarxa= 50 Hz;

I_max= 30A;

Com l'ona s'ha rectificat per complet s'ha de tenir en compte que la freqüència es multiplica per 2.

Es vol un arissat màxim d'un volt , llavors:

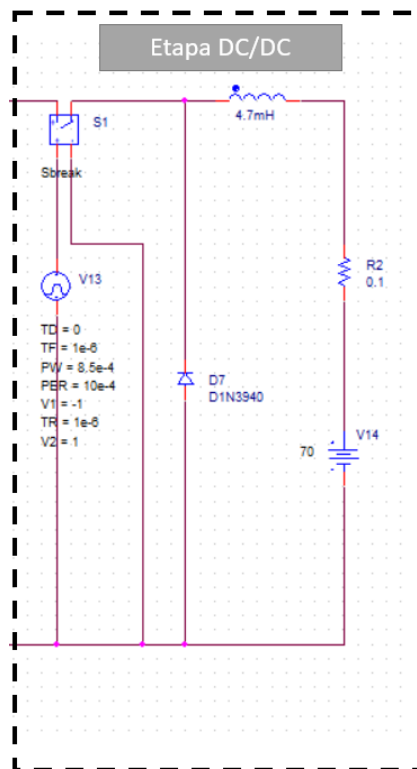
$$C_{\text{rect}} = I_{\text{max}} / (2 * f_{\text{xarxa}} * 1)$$

$$C_{\text{rect}} = 0,3000\text{F}$$

El condensador seleccionat és de 300mF.

3.1.3 Etapa DC/DC

Els convertidors DC/DC són sistemes d'electrònica de potència amb un rang d'ús ampli. La seva funció és adaptar la naturalesa de l'energia elèctrica a les necessitats de la càrrega. Dins dels convertidors DC/DC, quan cal aplicar una tensió a la càrrega menor que la tensió d'entrada, com és el cas que ens ocupa, s'empra un convertidor DC/DC reductor de tensió com el de la imatge 9.

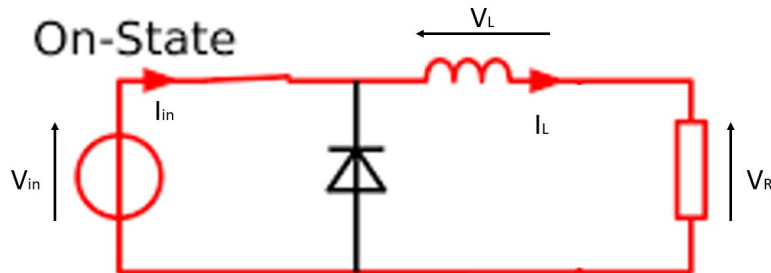


Imatge 9 Esquema reductor DC/DC buck

En aquest projecte s'ha realitzat una xicoteta modificació del convertidor reductor de tensió buck convencional i com es veu a la imatge 9 s'ha suprimit el condensador del filtre LC inicial perquè aquest té la funció de filtrar altes freqüències com aquest carregador té un condensador abans que filtra ja la senyal, s'opta per no posar el condensador,

Per modular la tensió que arriba a la càrrega es té l'interruptor S el qual normalment és un Transistor BJT, MOSFET, o IGBT. L'estat d'aquest interruptor obert o tancat és el que regula el comportament d'aquest sistema:

- **Interruptor S tancat, mode ON:** Ens trobem en aquest interval quan el dispositiu de commutació permet que el corrent circuli transmetent la tensió d'entrada a un extrem de l'inductor. D'aquesta manera, el corrent circula per la inductància, deixant el díode bloquejat i impedit que circuli corrent a través d'aquest, tal com es mostra a la imatge 10.

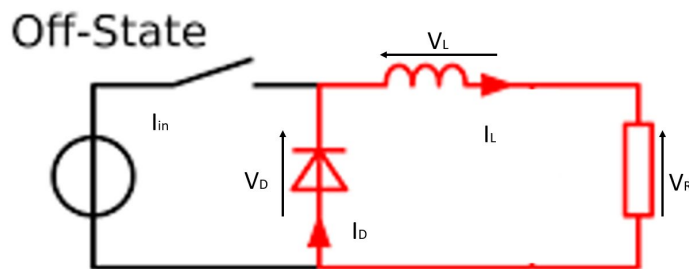
Imatge 10 Reductor en mode ON ($0 < t < T_{on}$)

En aquest estat es té que:

$$i_L = i_R = i_{in}$$

$$V_{in} = V_L + V_R$$

- **Interruptor S obert, mode OFF:** Per contra, ens trobem en aquest interval quan la tensió d'entrada es troba aïllada pel fet que el dispositiu de commutació es comporta com un circuit obert, de manera que l'energia emmagatzemada a la bobina circula a través del díode, tal com es aprecia a la imatge 11.

Imatge 11 Reductor en mode OFF ($T_{on} < t < T$)

A aquesta fase es té que

$$i_L = i_R$$

$$V_L = V_R$$

La selecció d'aquest muntatge tindrà com efectes en el sistema com que la càrrega no serà constant del tot, tindrà variacions petites generades per la bobina L i la tensió de sortida serà

$$V_{out} = \alpha \cdot V_{in} \text{ sent el cicle de treball } \alpha = \frac{T_{ON}}{T}$$

Càlculs etapa DC/DC reductora (Live Code File Format MATLAB)

Tenint en compte les etapes anteriors a la DC/DC reductora, segons el disseny s'ha pres un transformador AC/AC amb tensió eficaç de $V_{eff} = 70V$ i $I_{eff} = 30A$ aleshores s'obté una tensió rectificada igual a V_{DC} .

$$V_{eff_AC} = 70V;$$

$$V_{DC} = V_{eff_AC} \cdot \sqrt{2}$$

$$V_{DC} = 98,9949V$$

Tenint en compte les tensions màxima i mínima de la bateria es dissenya aquest divisor.

$$V_{max} = 91.2V;$$

$$V_{min} = 62.4V;$$

Coneixent aquest valor i el comportament d'aquest convertidor es poden determinar els límits del possible duty cycle per modular voltatge:

$$D_{max} = V_{max} / V_{DC}$$

$$D_{max} = 0,9213$$

$$D_{min} = V_{min} / V_{DC}$$

$$D_{min} = 0,6303$$

Per obtenir L s'utilitza la condició de que la corrent que passa per la bobina no pot variar més del 5% del seu valor mitjà, el qual és igual a la corrent de càrrega de la bateria.

$$\Delta L = \frac{V_{DC} - V_{bat}}{L} \cdot D \cdot T_s < 0,05 \cdot I_L$$

Es pren com freqüència de mostreig a 7,8 kHz perquè es va a escalar l'Arduino obtenint aquesta freqüència de commutació i un període de mostreig de:

$$T_s = 1/7800$$

$$T_s = 1,2821e-04 \text{ s}$$

$$L_{max} = (V_{DC} - V_{min}) \cdot D_{min} \cdot T_s / (0,05 \cdot I_{ref})$$

$$L_{max} = 0,002 \text{ H}$$

$$L_{min} = (V_{DC} - V_{max}) * D_{max} * T_s / (0.05 * I_{ref})$$

$$L_{min} = 0,00062 \text{ H}$$

Prenent un marge de seguretat es pren $L = 4,7\text{mH}$.

$$L = 0.0047\text{H};$$

Selecció de components

El díode seleccionat per al disseny, tenint en compte que ha de suportar una corrent inferior 30A es selecciona el següent:



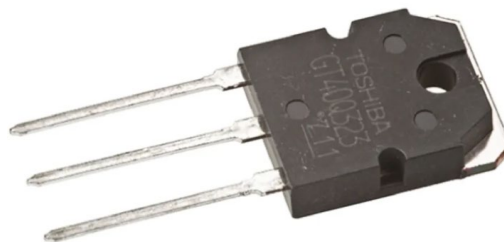
Imatge 12 Díode

La inductància hauria de ser de 4,7mH, aleshores s'ha pres la següent que suporti la corrent de càrrega de la bateria:



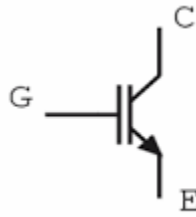
Imatge 13 Bobina 4,7mH

D'entre els diferents commutadors donada l'elevada intensitat que passa pel commutador es selecciona un IGBT com ha dispositiu a controlar.



Imatge 14 IGBT

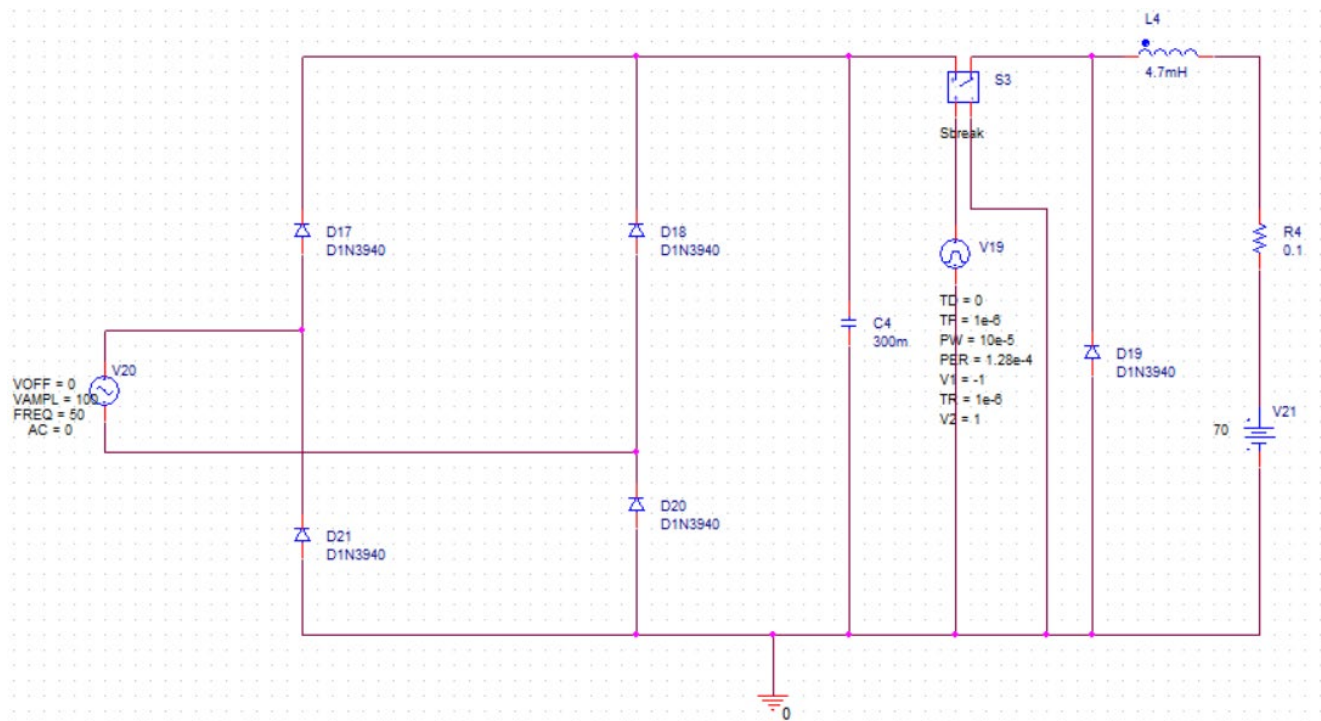
Aquest IGBT suportarà la corrent de 30A desitjada i per fer-lo commutar caldrà una tensió de 15V entre la porta G i E tal i com es veu a la imatge per fer-lo commutar.



Imatge 15 IGBT.

Esquema de potència per simular

Aquest esquema de la imatge 16 que s'ha elaborat amb ORCAD per posteriorment simular-lo. En aquest disseny s'ha omés la part del transformador AC/AC i per simplificar la simulació s'ha afegit una font d'alterna amb 100V pic-pic i la resta com s'ha dissenyat.



Imatge 16 Esquema de potència final ORCAD.

3.2 Selecció del mètode de càrrega

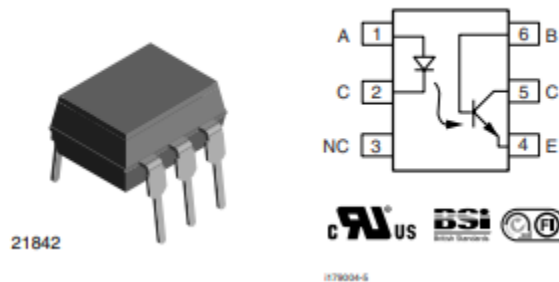
El mètode de càrrega escollit tenint en compte l'esmentat al marc teòric i amb (Hussein & Batarseh, 2011), per a realitzar una càrrega efectiva i segura amb una bateria LFP el mètode de càrrega requerit serà el conegut com CC-CV, amb un control de la corrent constant i altre de la tensió constant al final de la càrrega. El procés de càrrega serà doncs el següent:

1. Càrrega a corrent constant de 30A fins arribar a 85V.

2. Càrrega a tensió constant de 89V fins arribar a 88,8V.

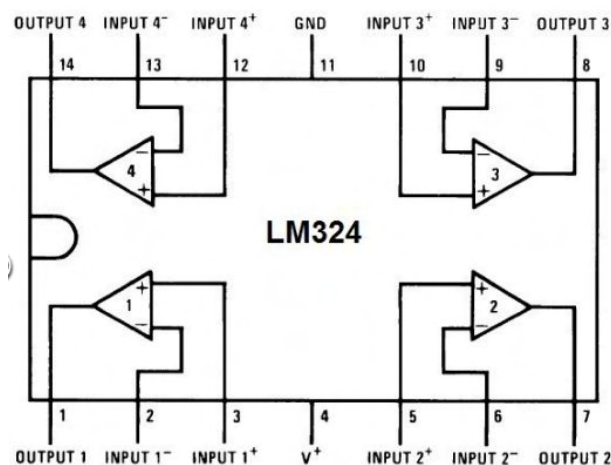
3.3 Selecció de l'esquema de comandament

Per controlar la commutació de l'IGBT caldrà realitzar un muntatge que entre les dues portes G-E de l'interruptor es genere un pols rectangular de 15V amb el control PWM de l'Arduino. Aquest muntatge presenta un problema inicial i és que les eixides PWM de l'Arduino són de 5V. Llavors per aïllar l'Arduino i aconseguir una tensió rectangular s'ha utilitzat un optoacoblador. Al laboratori en teníem ja aleshores s'ha pres aquest del laboratori, un 4N25 (imatge 17) i una font de tensió de 15V independent.



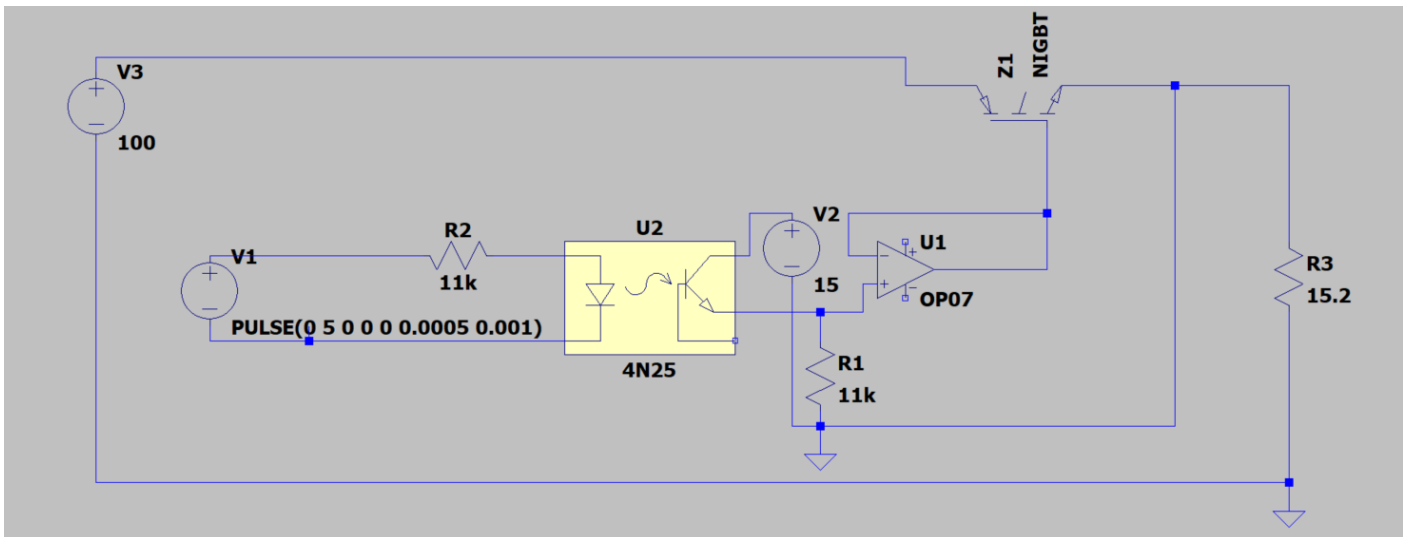
Imatge 17 Optoacoblador 4N25.

Experimentalment s'ha comprovat que amb aquest optoacoblador no es genera suficient corrent per fer saltar l'IGBT, llavors s'ha decidit que per augmentar el corrent es posa un seguidor de tensió amb un LM324 el qual s'alimenta amb +Vcc i GND (terra) el qual ens simplifica la tasca al no haver de connectar-lo a +/-Vcc com altres i amplifica el corrent. L'esquema es presenta a la imatge 18.



Imatge 18 LM324.

L'esquema de comandament acaba sent aquest el qual s'ha representat amb la ferramenta LT Spice i muntat experimentalment als laboratoris de l'UJI i ha resultat ser el que es troba a la imatge 19:

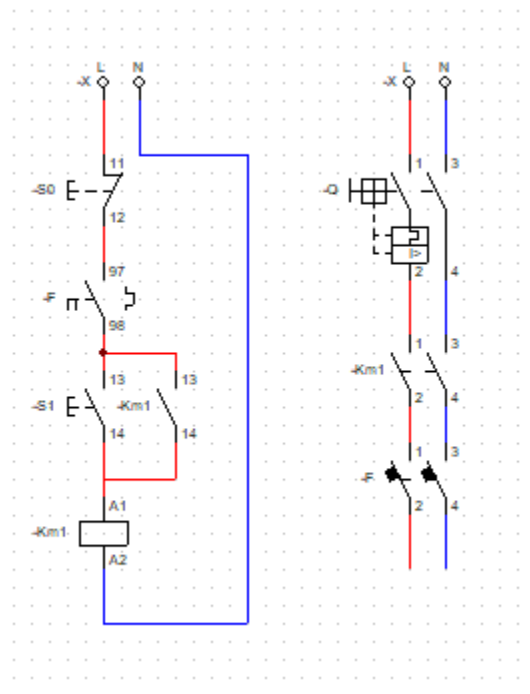


Imatge 19 Esquema de comandament.

Al software no es trobava el amplificador operacional LM324, per això s'ha col·locat el OP07. Físicament si que s'ha muntat el LM324.

3.4 Quadre elèctric

Seguint la normativa esmentada al marc teòric i a la llista de requeriments es necessita l'elaboració d'un quadre elèctric per aïllar el carregador de la xarxa elèctrica, aleshores s'ha elaborat el següent quadre elèctric amb protecció de sobreintensitats i de sobretensions. L'esquema s'ha elaborat amb CADESIMU i és el presentat a la imatge 20:



Imatge 20 Esquema de potència i comandament del quadre elèctric.

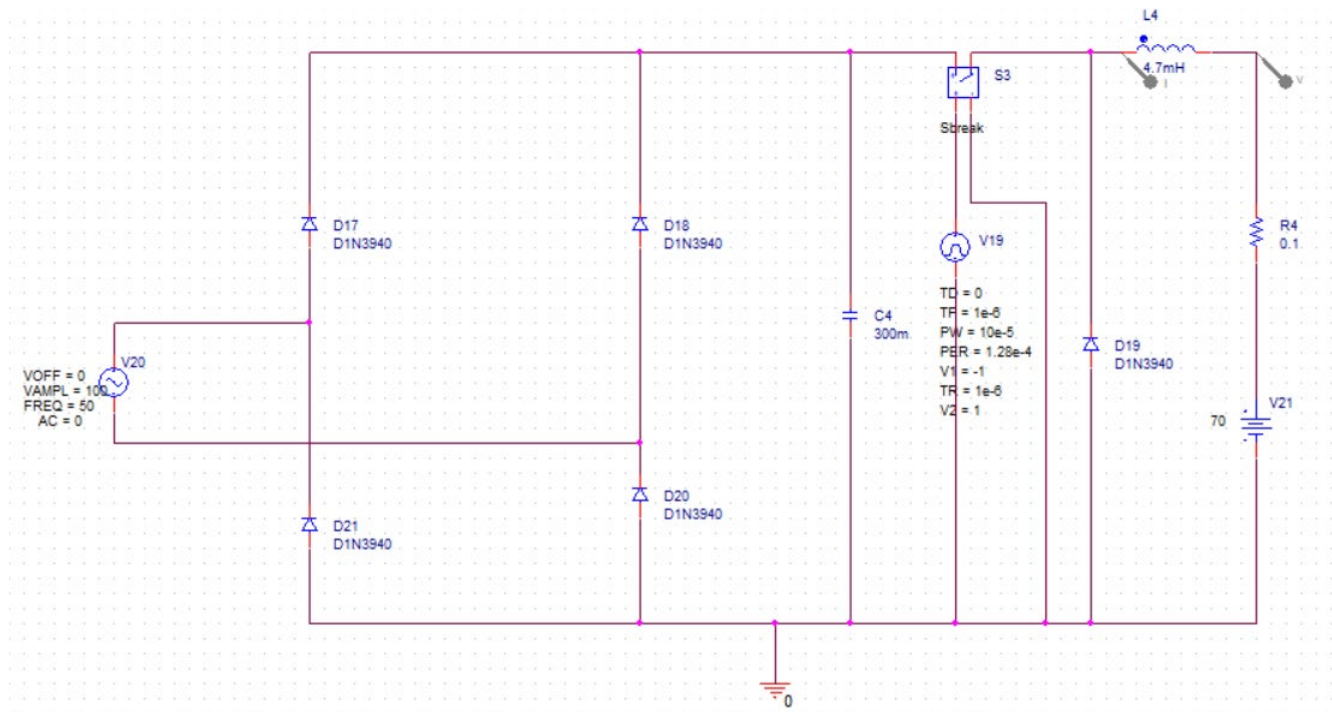
El funcionament del següent quadre és un parada-marxa on el sistema de proteccions del carregador funcionarà quan es polse el botó de marxa mentre no es polse el boto de parada d'emergència o si salta alguna protecció. Els elements seleccionats són els següents:

- Protecció de sobreintensitats monofàsic: s'ha seleccionat un protector de sobreintensitats regulable de 6 a 10A que controlaria l'entrada de corrent del transformador i es fixaria a un valor màxim d'entre 8-10A.
- Diferencial monofàsic: diferencial de 230V per protegir persones i elements elèctric de sobretensions o curtcircuits.
- Contactor de 230V: contactor de Schneider per realitzar la maniobra d'arrencament paro-marxa realimentat del quadre elèctric del carregador.
- Botó de marxa: polsador normalment obert.
- Botó de paro: polsador normalment tancat.

3.5 Elements auxiliars

La tensió en la bateria, la corrent de càrrega i la temperatura de l'IGBT són paràmetres que caldrà mesurar i adaptar perquè l'Arduino UNO realitzi el control de manera adequada. En el cas de tensió i corrent determinaran la funció de control i en cas de la temperatura de l'IGBT s'haurà d'activar un mecanisme de regulació de temperatura per reduir-la o dissipar-la fins un valor acceptable.

A l'esquema final de potència se li vol mesurar la intensitat i tensió als dos punts marcats a la imatge 21:



Imatge 21 Col·locació dels sensors a l'esquema de potència.

Divisor resistiu

Per mesurar la tensió s'opta per dissenyar un divisor resistiu com bé s'ha esmentat al marc teòric, és un bon muntatge per mesurar la tensió en DC. Cal tenir en compte que les entrades analògiques d'Arduino llegeixen fins a 5V de tensió i tenen una resolució de 1024 bits, aleshores s'ha d'adaptar aquest divisor de tensió:

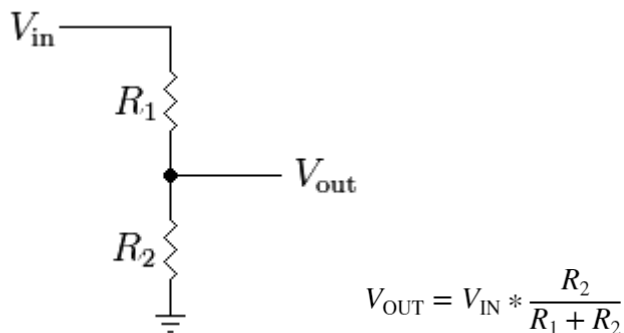
Càlculs per adaptar el divisor resistiu a Arduino

Tenint en compte les tensions màxima i mínima de la bateria es dissenya aquest divisor.

$$V_{\max} = 91.2V;$$

$$V_{\min} = 62.4V;$$

Les entrades analògiques d'arduino poden llegir valors de 0 a 5V llavors farem un divisor resistiu perquè la tensió màxima a l'entrada de l'arduino sigui 4V. A més, com no se vol consumir molta potència a aquest sensor es seleccionen resistències molt grans de l'ordre de $M\Omega$. Arbitràriament es defineix aleshores $R1 = 1 M\Omega$.



Vout_max= 4V;

R1= $10^6\Omega$

R1 = 1000000 Ω

rel_R= (Vout_max/Vmax)/(1-Vout_max/Vmax)

rel_R = 0,0459

R2= R1*(Vout_max/Vmax)/(1-Vout_max/Vmax)

R2 = 4,5872e+04 Ω

R2= 44,6 k Ω . (valor comercial suma de 20k+24k+1,6k)

R2= 4.46e4 Ω ;

Vout_max= Vmax*R2/(R1+R2)

Vout_max = 3,8939V

Vout_min= Vmin*R2/(R1+R2)

Vout_min = 2,6642V

Valor_max= 1023*Vout_max/5

Valor_max = 796,6826

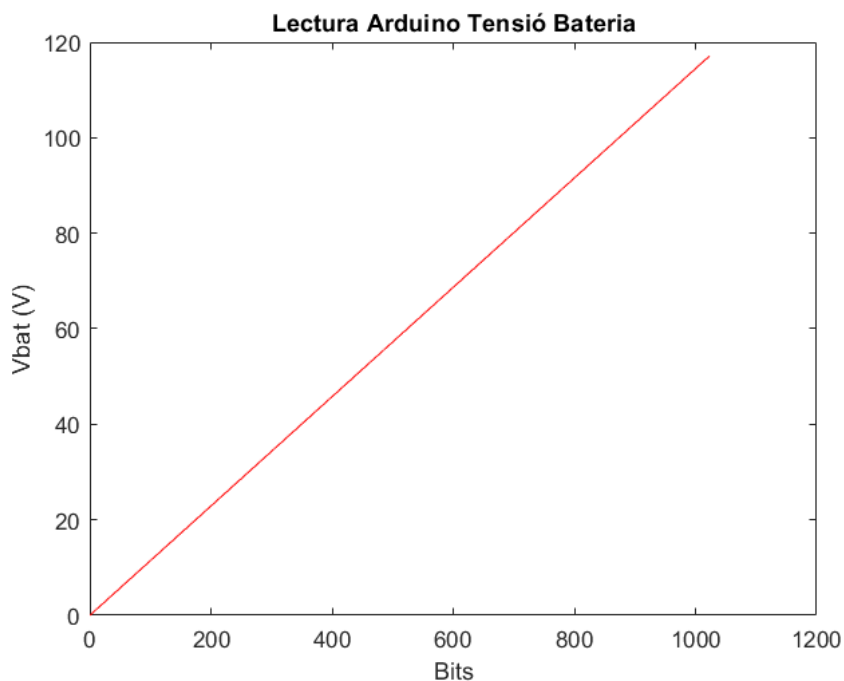
Valor_min= 1023*Vout_min/5

Valor_min = 545,0986

Obtenció de la funció característica per convertir valors llegits d'arduino a realitat.

$$y = m * x$$

```
x= linspace(0,1023,1024);
m= (Vmax-Vmin)/(Valor_max-Valor_min);
Vbat= m*x;
figure
plot(x,Vbat,'r')
title('Lectura Arduino Tensió Bateria')
xlabel('Bits')
ylabel('Vbat (V)')
```



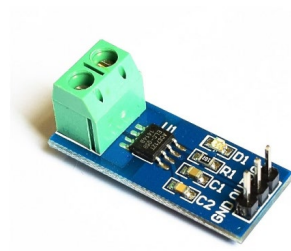
La potència màxima que consumiria aquest sensor és molt xicoteta 8 mW, llavors està correcte.

$$P_{\text{divisor}} = V_{\text{max}}^2 / (R_1 + R_2)$$

$$P_{\text{divisor}} = 0,0080 \text{ W}$$

Sensor de corrent

Per mesurar la corrent s'opta per comprar un sensor de corrent d'efecte hall, el qual mesura una corrent màxima de 30A . Aquest sensor es compatible amb la placa Arduino UNO i és el següent:



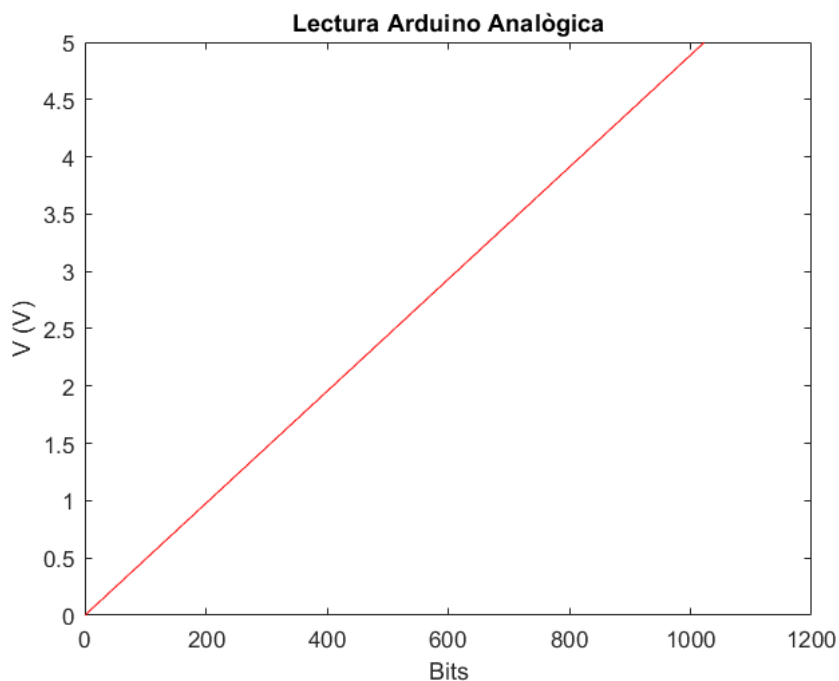
Imatge 22 Sensor corrent

El sensor proporciona una tensió d'eixida igual a 2,5V quan la corrent és 0A i una tensió de 5V quan val 30A.

Càlculs per transformar la eixida del sensor de corrent a Arduino:

L'Arduino llig valors de 0 a 1023 bits en funció del voltatge que li arriba, sent 0 bits per 0V i 1023 bits per 5V

```
x= linspace(0,1023,1024);
v= linspace (0,5,1024);
figure
plot(x,v,'r')
title('Lectura Arduino Analògica')
xlabel('Bits')
ylabel('V (V)')
```



Corba inicial que llegiria l'arduino

```

P1=[0 -30];P2=[1023, 30];
m= (P2(2)-P1(2))/(P2(1)-P1(1));
n= -30;
y= m*x + n ;
figure
plot(y,'r--')
title('Valors de Corrent i bits')
xlabel('Bits')
ylabel('I (A)')

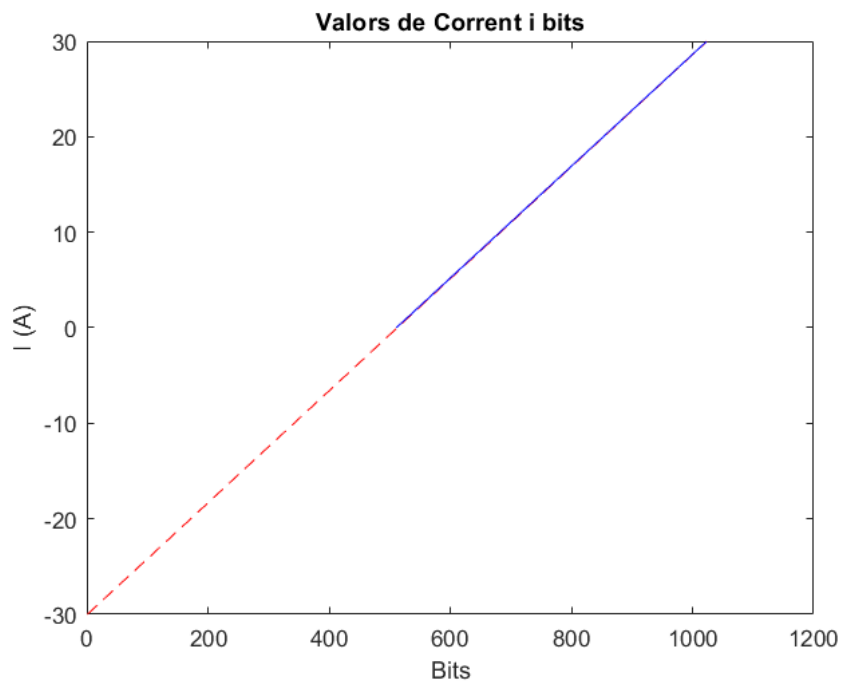
```

En el nostre cas sols es van a mesurar corrents positive perquè el carregador dissenyat és unidireccional, llavors s'ha de transformar aquesta corba perquè a 0A llegeix 0 bits i a 30A llegeix 512:

```

x1= linspace(0,511,512);
rango= linspace(511,1023,512);
y1= (x1*m);
hold on
plot(rango,y1,'b')

```

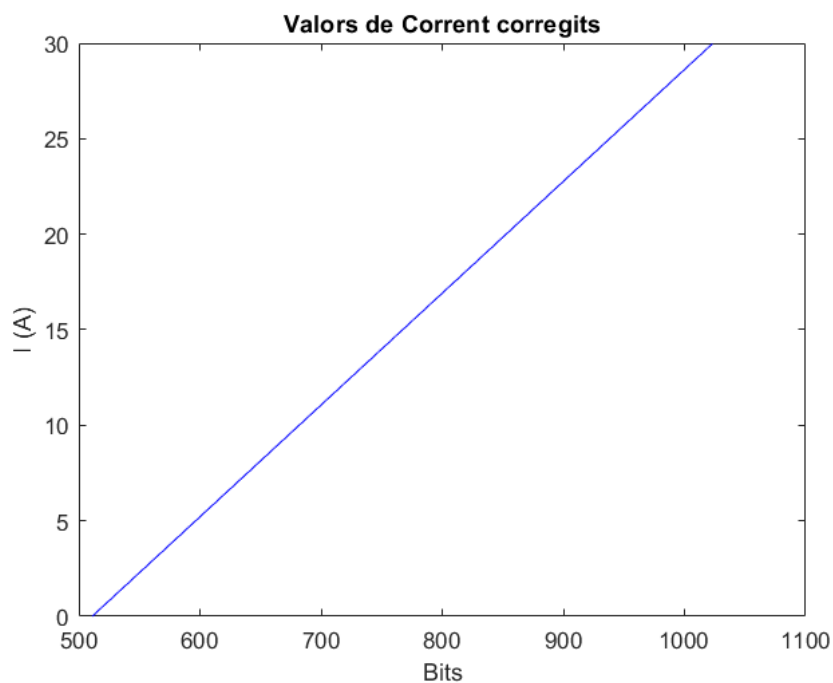


Llavors per transformar-la, tenint en compte que sols es mesuren valors de corrent positius [0,30] es transforma la funció inicial perquè tingui 512 punts i s'ajusta a 0:

```

y= m*x1 + n ;
yt= (y+30);
figure
plot(rango,yt,'r')
hold on
plot(rango,y1,'b')
title('Valors de Corrent corregits')
xlabel('Bits')
ylabel('I (A)')

```



Llavors, per transformar els bits a corrent llegirà l'arduino s'haurà de transformar de la següent manera, tenint en compte que el sensor ens llig des del bit 511 fins al 1023 per rang en el qual treballa

```

corrent_sensor= rango*30/512 - 30;

```

Sensor de temperatura

Per mesurar la temperatura de la bateria s'usa una sonda PT100. Tenint en compte que el rang de temperatures de funcionament de la bateria quan es carrega és de: (0,45)^{°C}, aquest sensor funciona de manera lineal amb la següent equació característica:

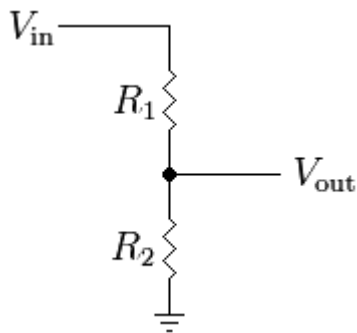
$$R_T(\Omega) = 100 * (1 + \alpha T)$$

Imatge 23 [PT100](#)

Aquest sensor té un material ceràmic que varia la seua resistència en funció de la temperatura. Sent 100 quan està a 0°C i tenint un incremente de la resistència en funció de la temperatura de 0,385 $\Omega/^\circ\text{C}$ en el rang de temperatures de [0, 100] °C.

Càlculs per adaptar l'eixida del sensor de temperatura a Arduino:

Per mesurar aquesta temperatura a l'Arduino es realitza com per a mesurar la tensió un divisor resistiu on $V_{in} = 5V$ i es mesura al pin A2 analògic.



$$V_{OUT} = V_{IN} * \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Si es col·loca R_t a la posició de R_1 i a la posició de R_2 una resistència de valor $1k\Omega$ s'obté:

$$V_{out} = 5 * \frac{10}{11 + \alpha \cdot T}$$

Lavors si es calcula la T i es té en compte

$$V_{out} = 5 \frac{A_2}{1023}$$

Sent A_2 la lectura de l'Arduino.

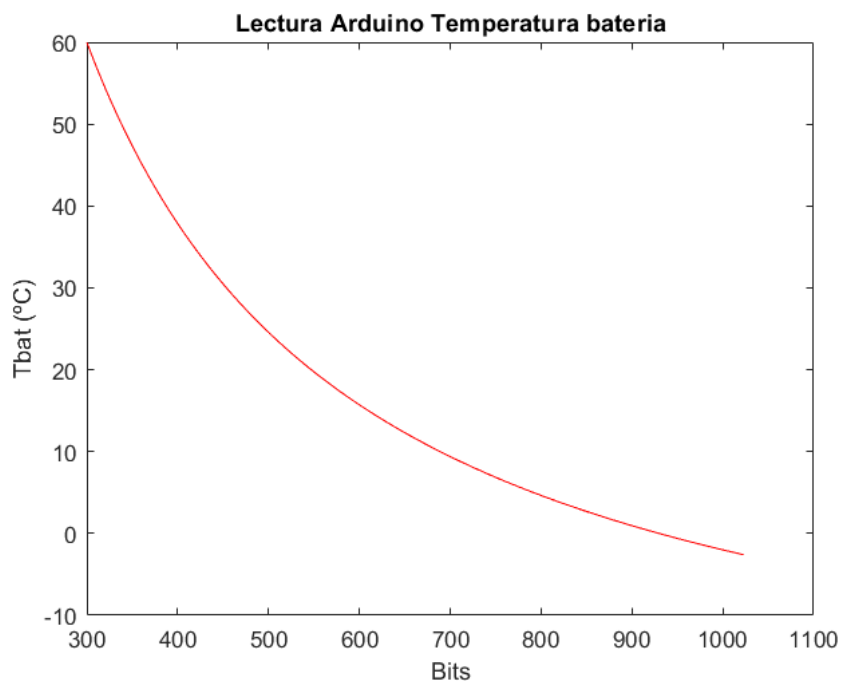
$$T = \left(\frac{10230}{A_2} - 11 \right) \cdot \frac{1}{\alpha}$$

alpha= 0.385;

A2= linspace(300,1023,723);

T= (10230./A2-11)/alpha;

```
figure
plot(A2,T,'r')
title('Lectura Arduino Temperatura bateria')
xlabel('Bits')
ylabel('Tbat (°C)')
```



El sensor quan la T sigui igual a 0, A2 valdrà 930 bits i aleshores la $T=0$ °C a la conversió. La temperatura que accionarà el mecanisme de paro per seguretat serà quan la temperatura excedeix dels 100°C i aquest mecanisme programat parerà el programa per complet i encendrà una lluminària d'emergència.

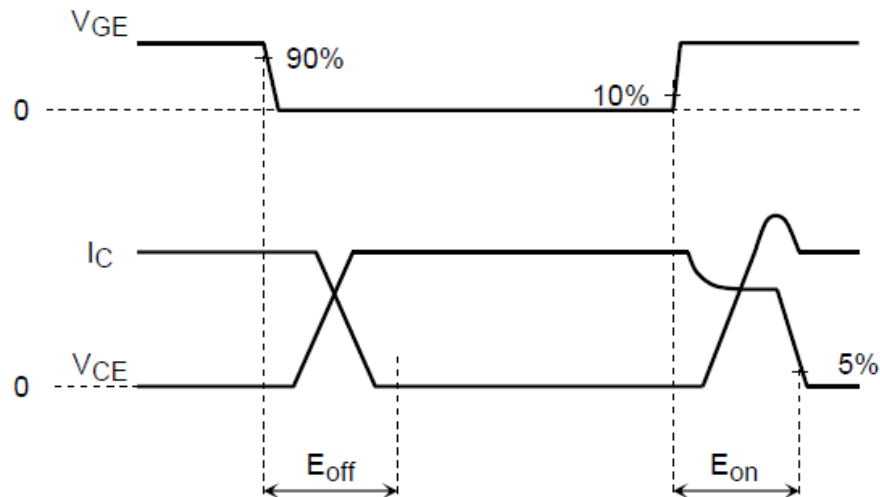
Convertidor AC/DC 15V

Per poder realitzar totes les connexions i el comandament de manera adequada caldrà disposar d'una font d'alimentació de 15V com la seleccionada a la imatge 24 per connectar elements elèctrics a 15V com son l'operacional, el optoacobrador...

Imatge 24 Convertidor a 15V CC.

Radiador

El disseny del radiador té com objectiu regular la temperatura de l'IGBT a causa de les pèrdues de commutació que sofreix.



Imatge 25 Pèrdues de commutació

A la imatge 25 s'observa com en el canvi d'ON a OFF i d'OFF a ON, es produeixen pèrdues de commutació degut a la slew-rate que tenen els semiconductors a l'encendre i apagar-se genera aquesta pèrdua. Aquestes pèrdues es precisen al manual de l'IGBT seleccionat com E_{off} i E_{on} .

$$E = E_{on} + E_{off} = 1,8 \text{ mJ}$$

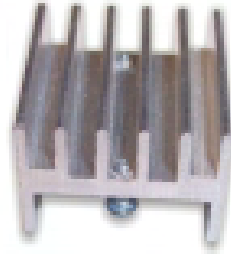
Tenint en compte que la freqüència de commutació de l'IGBT serà de 7,8 kHz la potència que dissiparà en forma de calor serà:

$$W = E \cdot f = 14,04 \text{ W}$$

Per transferir el calor de l'IGBT es decideixen col·locar aletes per transferir el calor per conducció. Aquestes aletes seran d'alumini amb una constant $\lambda = 220 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$. Tenint en compte que la potència en conducció de l'alumini és:

$$P = \frac{\lambda \cdot A \cdot \Delta T}{d}$$

On A és l'àrea de dissipació d'energia, d la distància al focus emissor de calor i ΔT la variació de temperatura. Si es selecciona el dissipador de calor amb aletes d'alumini de la imatge 26 el qual s'acobla per mesures a l'IGBT seleccionat:



Imatge 26 Dissipador alumini

La potència emesa pel dissipador suposant un salt màxim de temperatura de 100°C respecte la temperatura ambient el dissipador seria capaç d'emetre una potència $P = 545\text{W}$, llavors com s'estima que dissiparà una 15W està més que sobredimensionat per evitar sobreescalfaments a l'IGBT.

4. CONTROL

4.1 Funció de transferència

Control de corrent

A aquest primer control, es pretén controlar la corrent d'entrada a la bateria respecte la tensió d'entrada V_{DC} .

$$V_{in} = L \cdot \dot{I} + R \cdot I + V_{bat}$$

Mitjançant la transformada de Laplace i calculant s'obté:

$$I = \frac{1}{R + L \cdot s} \cdot (V_{in} - V_{bat})$$

Tenint en compte l'IGBT i que aquest és el que regula la tensió d'entrada, utilitzant la següent relació $V_{in} = u \cdot V_{DC}$ s'obté:

$$\frac{I}{u} = \frac{V_{DC}}{R + L \cdot s} - W_{BAT}$$

En aquest cas es pren la tensió de la bateria com una pertorbació la qual varia de (V_{min} a V_{max})

Finalment s'obté:

$$\frac{I}{u} = \frac{\frac{V_{DC}}{R}}{1 + \frac{L}{R} \cdot s} - W_{BAT}$$

Amb aquesta equació queda definit el procés de l'etapa de control de corrent on la V_{DC} serà un guany. Per igualació es simplificarà aquest model a:

$$\frac{I}{u} = \frac{Kc}{1 + \tau \cdot s} - W_{BAT}$$

$$R_i = 0.1 \Omega;$$

$$Kc = 1/R_i$$

$$Kc = 10$$

$$\tau_{c} = L/R_i$$

$$\tau_{c} = 0,047$$

Control de tensió

Per al control de la corrent es calcula la tensió a la entrada de la bateria V_O en funció de la tensió d'entrada $V_{in} = u \cdot V_{DC}$

$$u \cdot V_{DC} = L \cdot \dot{I} + R_i \cdot I + V_{BAT}$$

$$V_O = R_i \cdot I + V_{BAT}$$

Substituint la intensitat $I(s)$ s'obté la següent equació:

$$V_O = \frac{R_i \cdot u \cdot V_{DC}}{R_i + L \cdot s} + W_{BAT}$$

La tensió de la bateria es prendrà com una perturbació llavors s'obté si s'aïlla la bateria del sistema el procés quedaria definit així: :

$$G_p(s) = \frac{V_O}{u} = \frac{R_i \cdot V_{DC}}{R_i + L \cdot s}$$

On per igualació s'obté:

$$\frac{V_O}{u} = \frac{K_V}{1 + \tau \cdot s} + W_{BAT}$$

$$K_V = 1;$$

$$\tau_{c} = L/R_i;$$

$$0,047$$

4.2 Control escollit

Ara que es té la funció de transferència de bucle obert, cal dissenyar el regulador per al llaç tancat. Per això hi ha diversos mètodes: disseny al lloc de les arrels, per cancel·lació, ajust experimental del regulador pel mètode de Ziegler-Nichols, etc...

Els anteriors són mètodes de disseny del regulador en continu, que després caldria discretitzar. També es podria discretitzar la FdT en bucle obert i obtenir el regulador directament en discret mitjançant el disseny algebraic, amb reguladors per assignació de pols, de temps mínim o de temps finit.

Atès que aquest no és un sistema especialment complex i no es requereix un control molt estricte, sinó que simplement compleixi les especificacions, es realitzarà el disseny del regulador PI en continu amb Matlab i després es discretitzarà.

4.3 Disseny PI amb MATLAB

Per simplificar la part de disseny i obtenir les constants de control necessàries per realitzar el control del nostre sistema s'ha decidit utilitzar el comando pidtune del software MATLAB per fer el disseny i així amb aquest obtenir les constants K_p i K_i necessàries per a discretitzar el controlador.

PI Corrent

```
s= tf('s');
Gi= V_DC*Kc/(1+Tao_c*s)
```

$$G_i = \frac{989,9}{0,047 \cdot s + 1}$$

Continuous-time transfer function.

```
[Cp,iCp]=pidtune(Gi,'pi',20,pidtuneOptions('PhaseMargin',60))
```

$$C_p = K_p + K_i \cdot \frac{1}{s}$$

with $K_p = 0,000317$, $K_i = 0,027$

Continuous-time PI controller in parallel form.

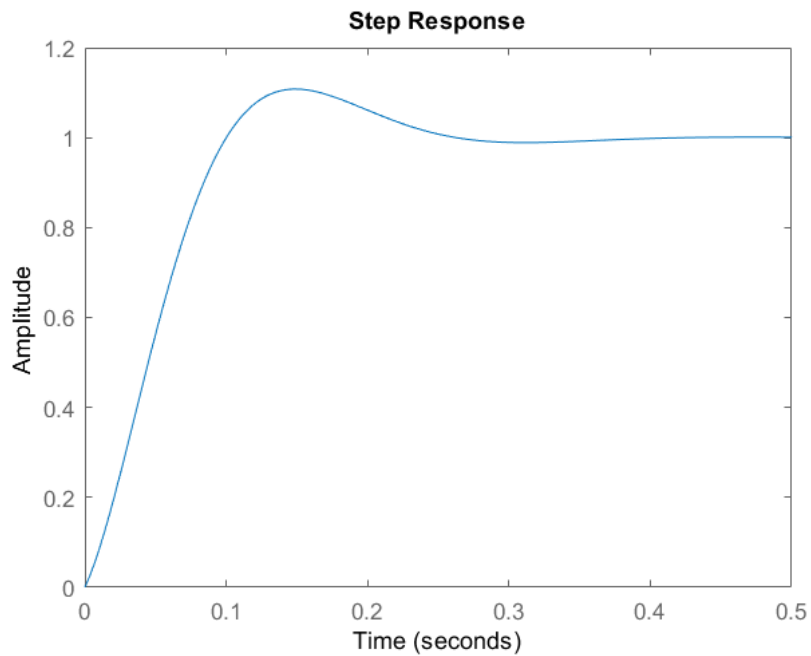
iCp = struct with fields:

Stable: 1

CrossoverFrequency: 20

PhaseMargin: 60.0000

```
step(Cp*Gi/(1+Cp*Gi))
```



$$q_{i_c} = C_p \cdot K_i / T_s$$

$$q_{i_c} = 210,5360$$

PI tensió

`s = tf('s');`

`G = V_DC * K_v / (1 + T_a_o_v * s)`

$$G = \frac{98,99}{0,047 \cdot s + 1}$$

Continuous-time transfer function.

`[C,iC]=pidtune(G,'pi',20,pidtuneOptions('PhaseMargin',60))`

$$C = K_p + K_i \cdot \frac{1}{s}$$

with $K_p = 0.00317$, $K_i = 0.27$

Continuous-time PI controller in parallel form.

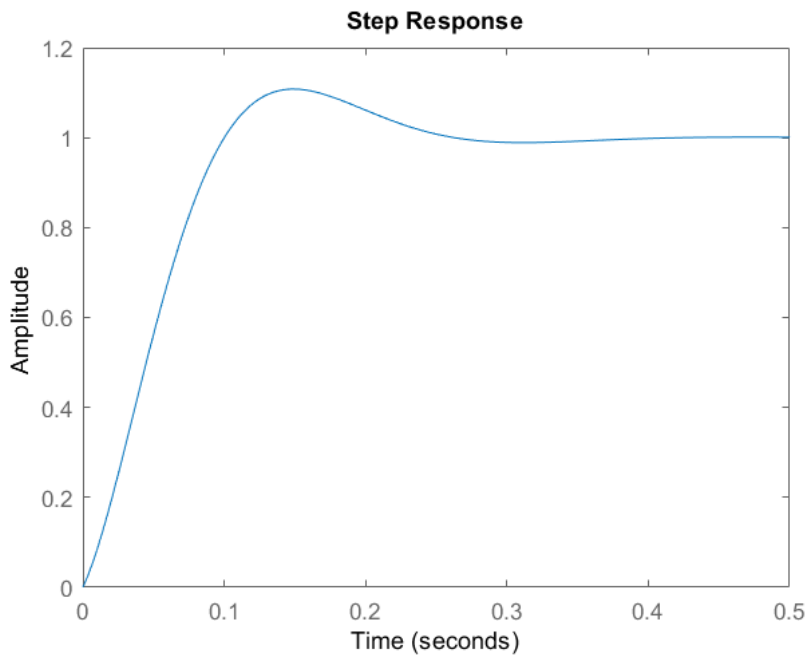
iC = struct with fields:

Stable: 1

CrossoverFrequency: 20

PhaseMargin: 60.0000

`step(C*G/(1+C*G))`



$$q_i_v = C \cdot K_i / T_s$$

$$q_i_v = 2,1054e+03$$

4.4 Discretitzar el PI

El sistema que s'ha programat amb MATLAB és un sistema continu el qual cal discretitzar i aplicar el control d'aquesta forma. El PI s'aplicarà de forma periòdica cada $T_s = 1,2821e-04s$. La seqüència serà la següent i tindrà un sistema d'antiwind-up perquè la comanda pot valdre de 0 a 1 soles, llavors:

- $e0 = r0 - y0$;
- $I = I + q_i \cdot e0$;
- $u = K_p \cdot e0 + I$;
- if $((u < u_{min}) \mid (u > u_{max}))$ $I = I - q_i \cdot e0$;
- if $(u > u_{max})$ $u = u_{max}$;
- if $(u < u_{min})$ $u = u_{min}$;
- `analogWrite(9, u * escala_u);`

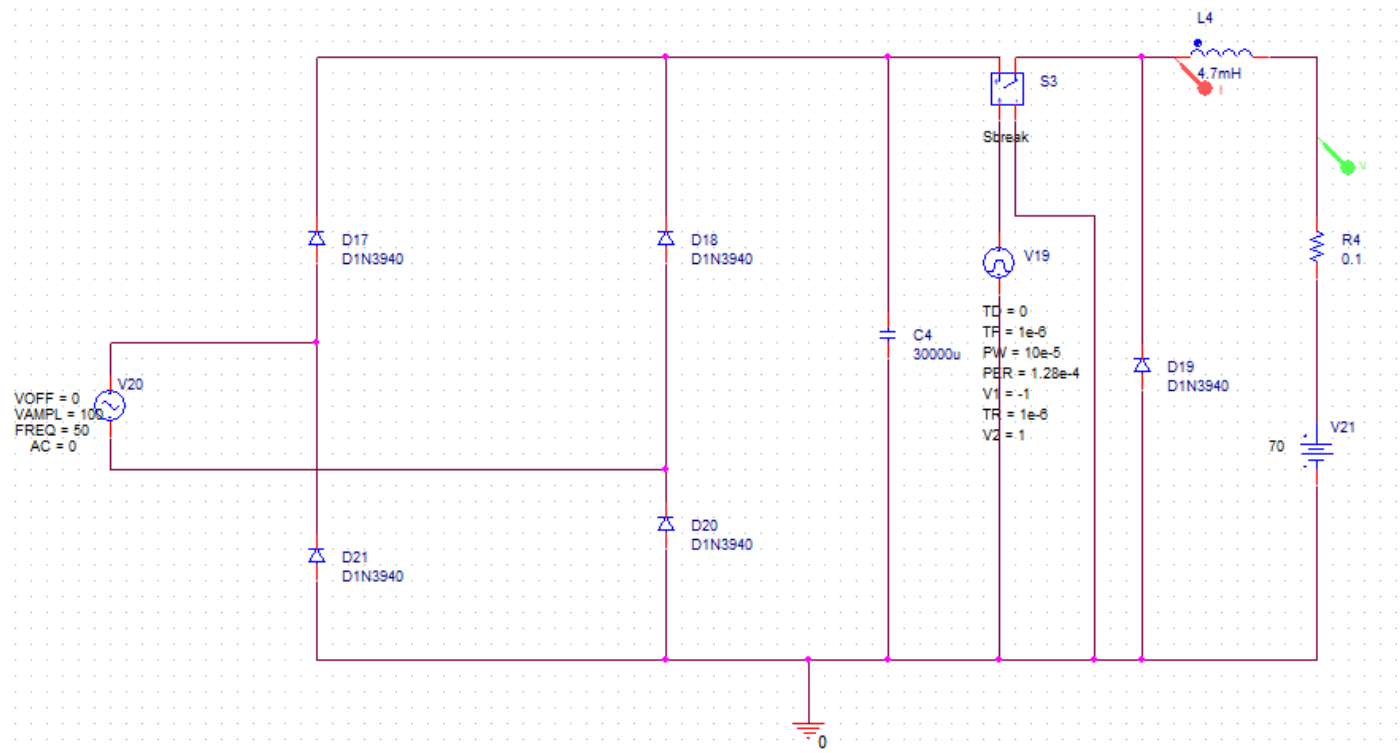
Sent K_p i q_i els valors obtinguts per cada control. R_0 serà la referència de tensió o corrent i y_0 la mesura del sensor de corrent o tensió corresponent.

5. SIMULACIÓ

Al llarg d'aquest capítol es durà a terme el disseny del control, així com la simulació de cada etapa mitjançant el programari de modelització i simulació MATLAB®/Simulink® i ORCAD, exposant-ne els resultats obtinguts.

ORCAD

Per simular el comportament del sistema i comprovar que els càlculs i hipòtesis fetes durant el disseny d'aquest carregador es verifiquen s'ha realitzat mitjançant el software ORCAD simulacions de l'esquema elèctric proposat a la imatge 27:



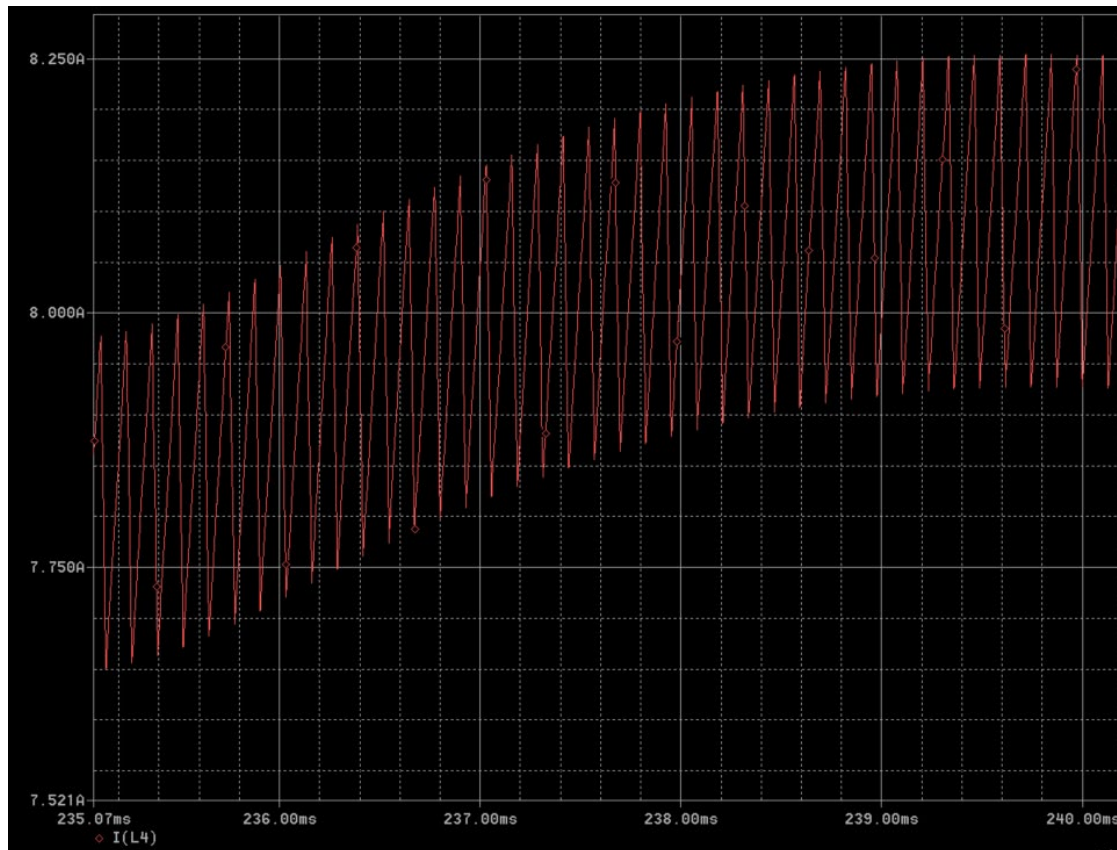
Imatge 27 Esquema ORCAD.

D'aquest sistema ens interessa conèixer la corrent de càrrega, que sigui més o menys constant i analitzar el seu comportament i es veu a la imatge 28.



Imatge 28 Simulació del corrent de càrrega

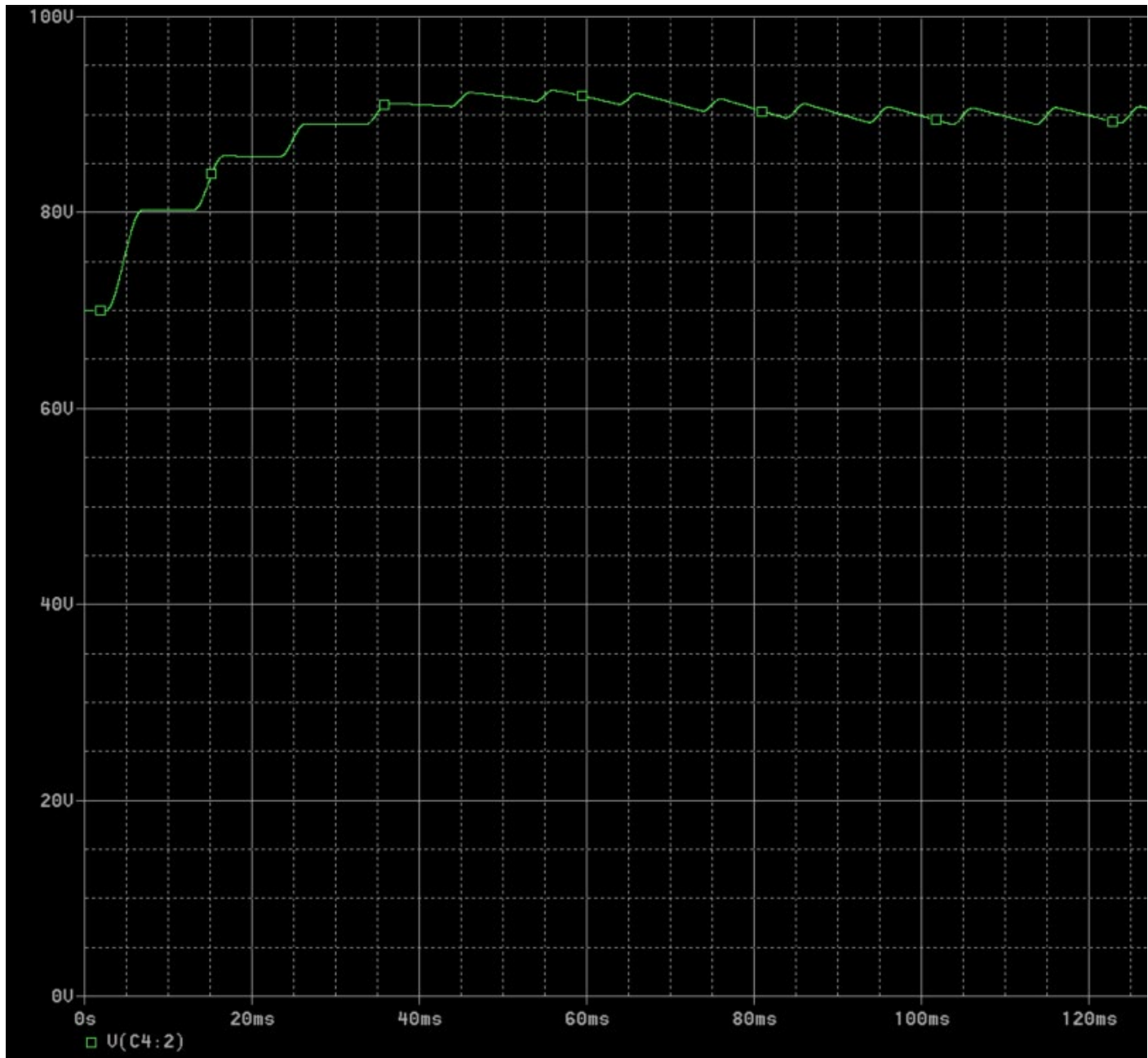
Com es pot observar a aquesta simulació s'obté una càrrega més o menys constant a 8A i un temps d'establiment aproximat de 100ms. El corrent de 8A es deu al cicle de treball simulat en ORCAD. En la imatge 29 s'analitzarà l'oscil·lació del corrent:



Imatge 29 Oscil·lació del corrent

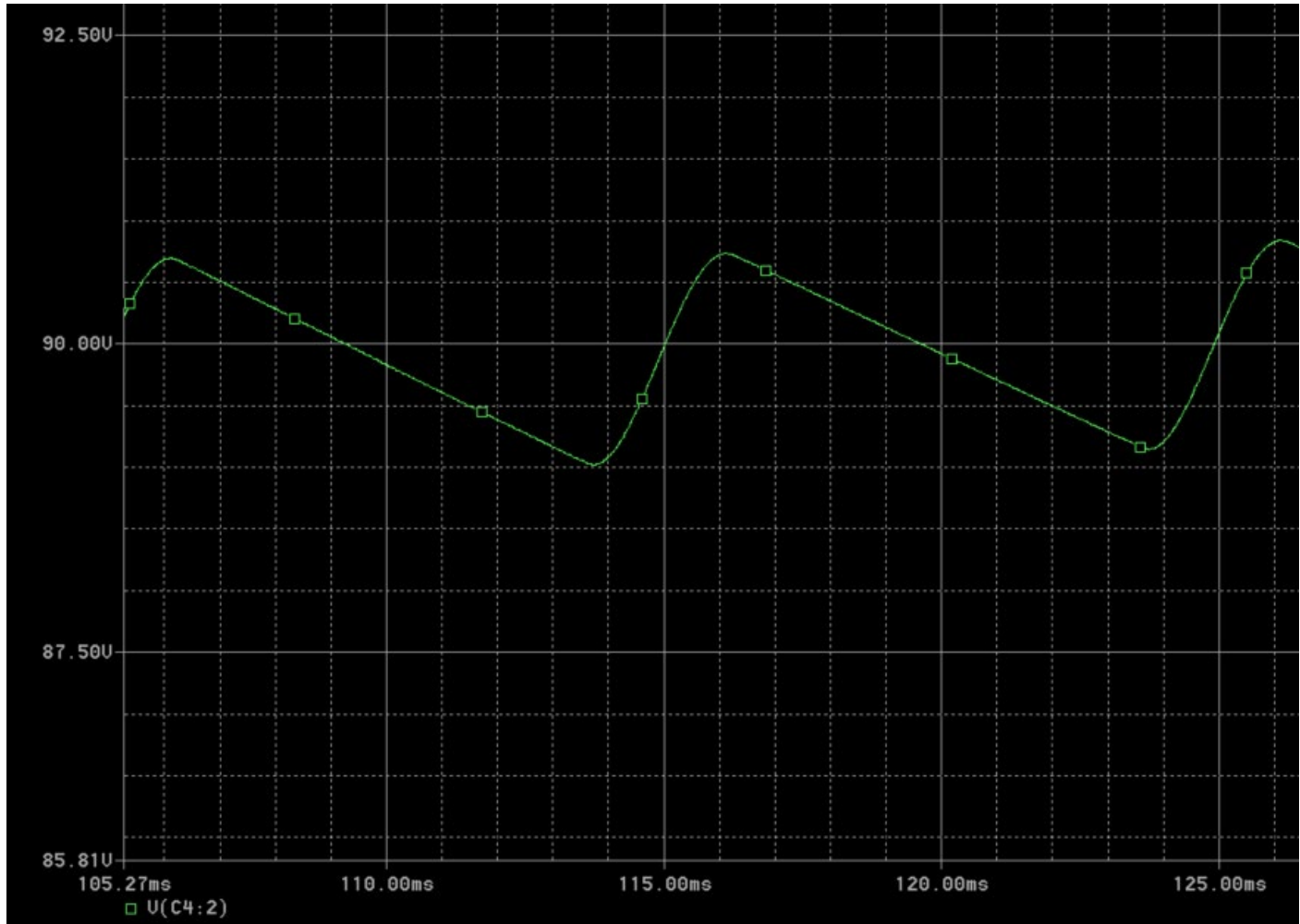
Es pot veure com el corrent oscil·la amb una amplitud de 0,125A, un valor acceptable i les oscil·lacions més grans es deuen a l'arissat de la corrent alterna el qual genera que el corrent varie entre 7,75A i 8,25A.

Tot això es pot justifica si s'analitza la tensió a l'eixida del transformador AC/DC a la imatge 30:



Imatge 30 Tensió de sortida AC/DC.

Aquest sistema té una dinàmica més ràpida que el corrent però es pot justificar a l'analitzar el temps que tarda el sistema en arribar a 90V aproximadament, uns 40ms i que quan arriba aquest a la consigna de tensió, comença el corrent a evolucionar. L'arribat de la tensió de sortida seria d'un volt màxim com s'observa a la imatge 31:



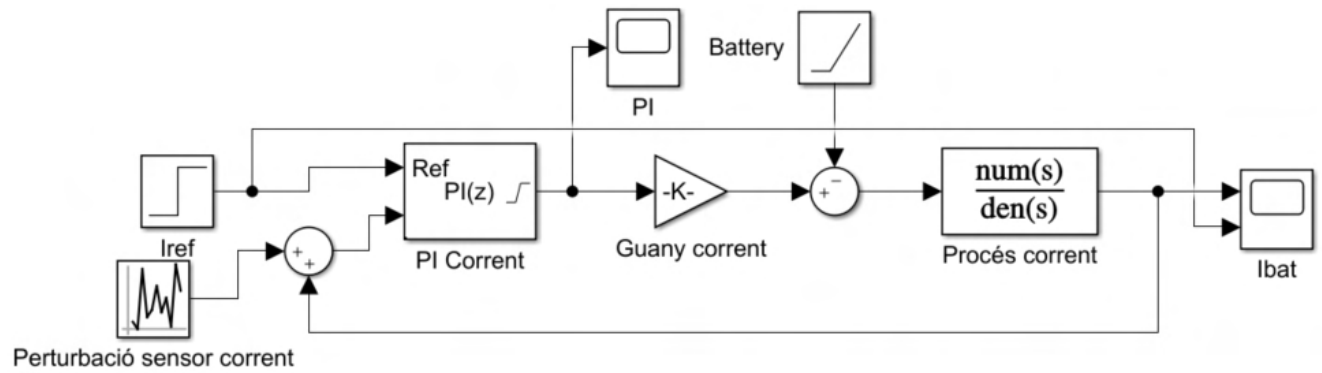
Imatge 31 Arrissat de la tensió.

Es conclou que al simular s'obtenen els valors esperats i prèviament calculats i dissenyats.

MATLAB/Simulink

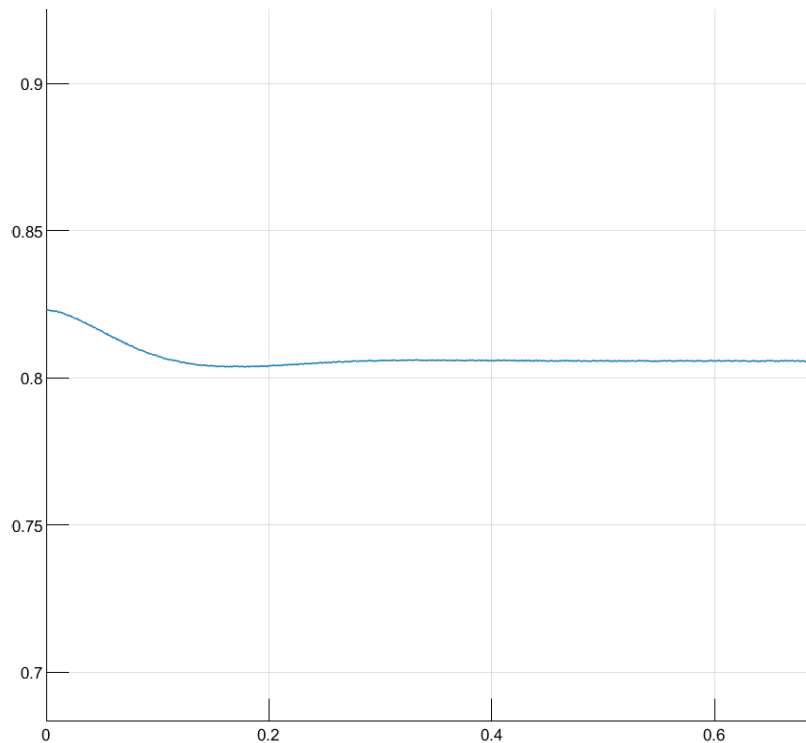
PI CORRENT

Per analitzar el comportament del sistema de control dissenyat es parteix de la modelització del sistema que s'ha fet amb MATLAB i tot i seguit es construeix amb simulink el model de PI amb els càlculs previs i s'executa l'acció de control. El control del corrent s'ha representat mitjançant aquest diagrama de blocs:

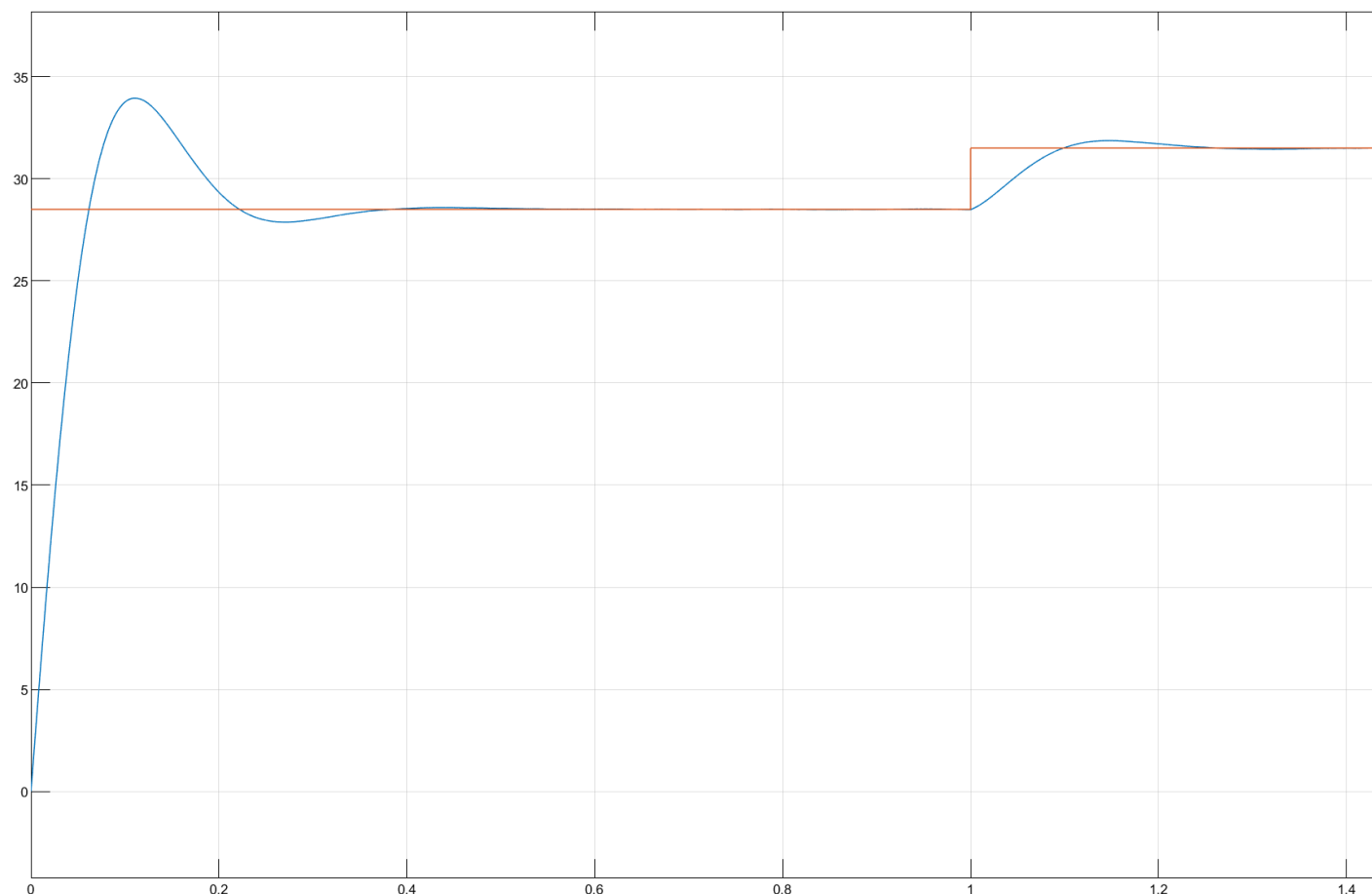


Imatge 32 Diagrama Simulink Control Corrent

S'ha representat el PI de corrent, tenint en compte el guany del sistema, la pertorbació de la bateria, el procés del carregador i que l'acció de control és discreta amb el període de mostreig correcte. Inclouent en la simulació pertorbacions pel sensor de corrent i modificacions en la referència per analitzar el comportament de l'acció de control. Per això s'ha visualitzat la comanda i el corrent d'eixida:



Imatge 33 Acció de control PI corrent.

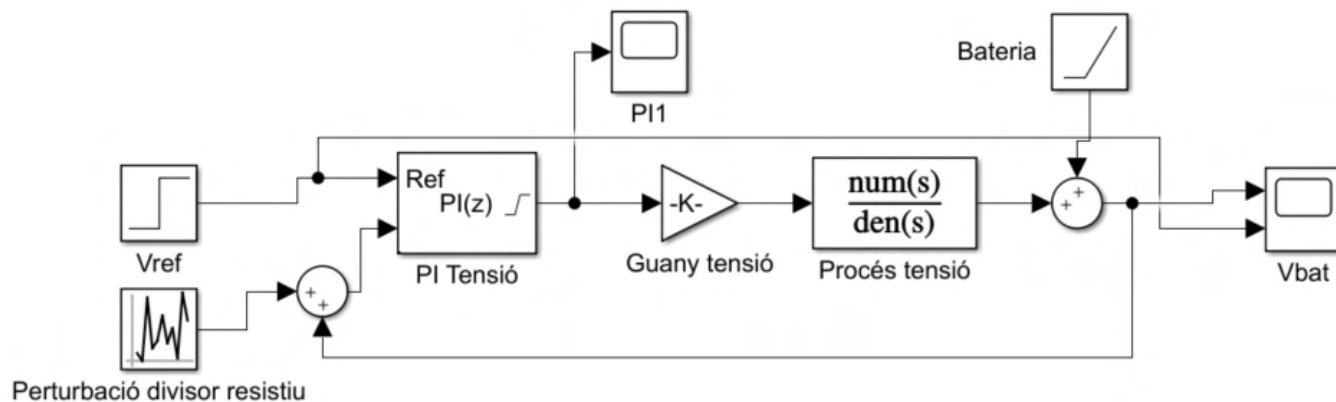


Imatge 34 Corrent d'eixida del carregador

Aquesta simulació mostra com el PI de corrent aconsegueix la demanda requerida al seu disseny i és capaç de seguir la comanda ràpid i amb precisió i mitjançant un control estable i robust com s'havia prèviament definit.

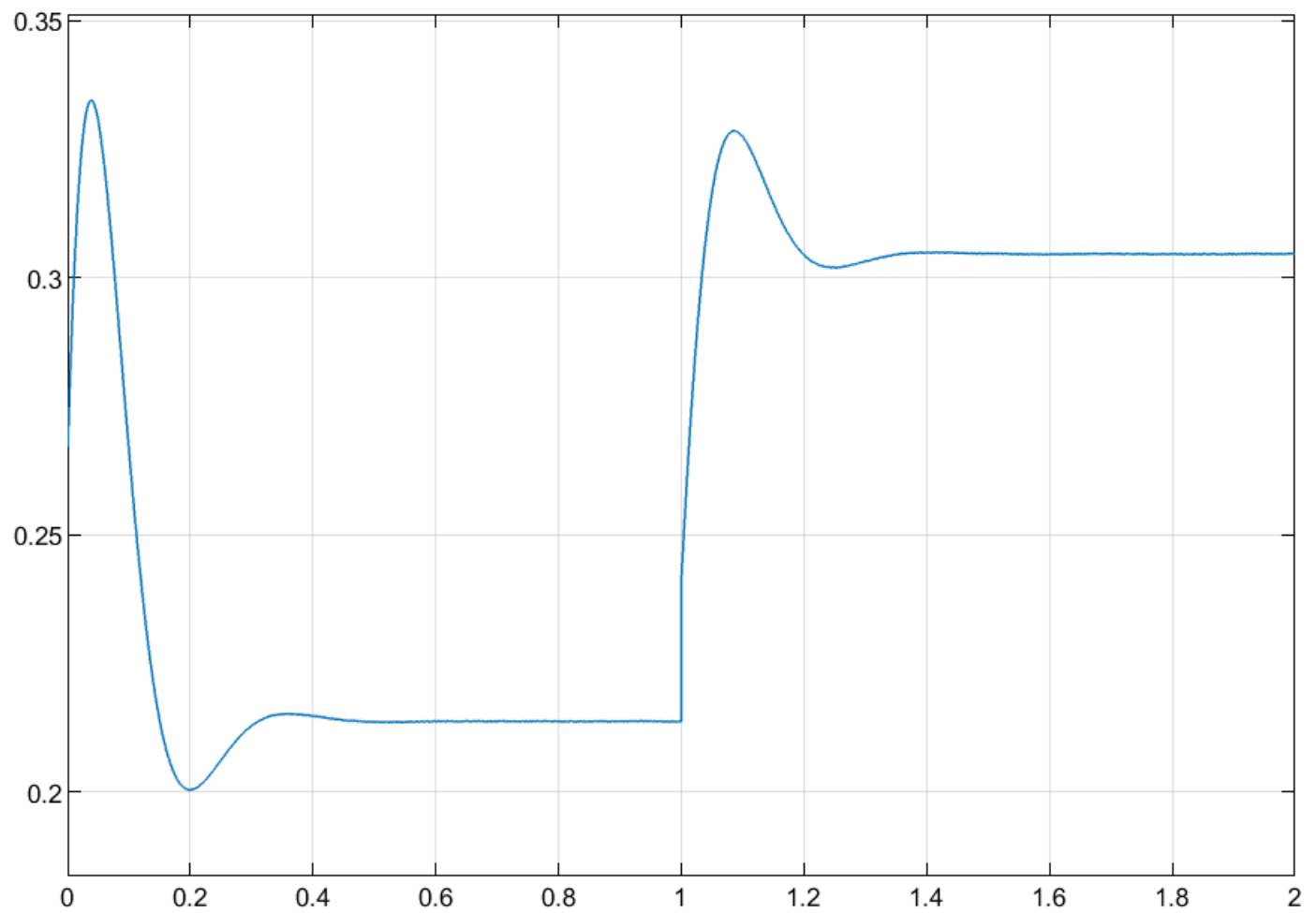
PI TENSIÓ

S'ha realitzat la mateixa tasca amb el PI de tensió, on l'esquema és pràcticament el mateix però modificant el procés i les pertorbacions:

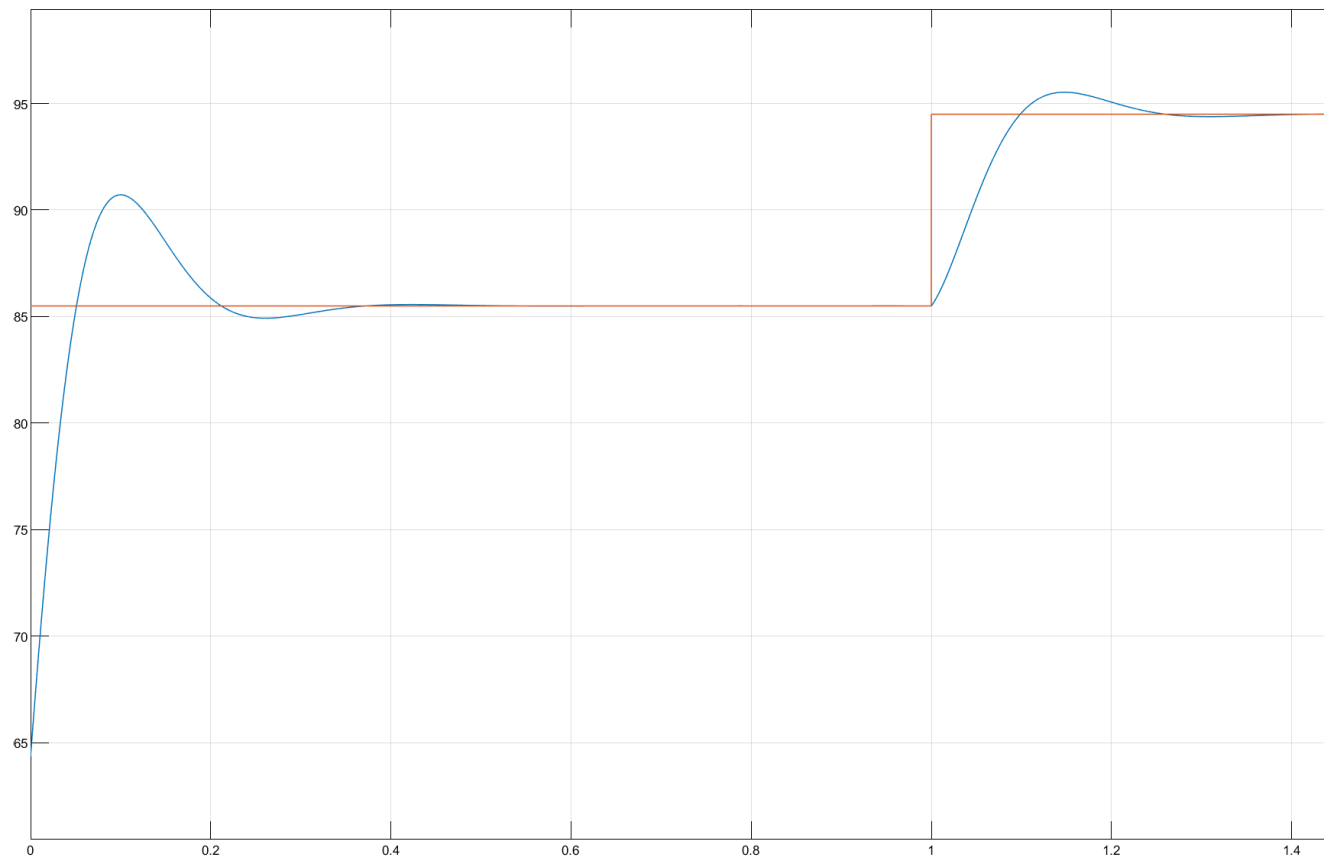


Imatge 35 Diagrama Simulink Control Tensió

A l'igual que anteriorment es visualitza el comportament de l'acció de control i de l'eixida del model i s'observa :



Imatge 36 Acció de control tensió.



Imatge 37 Tensió d'eixida del carregador

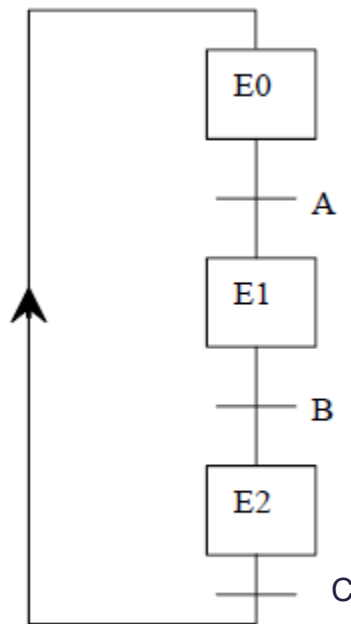
Com s'observa també a aquest control l'acció de control es realitza de manera satisfactòria i la tensió segueix la comanda correctament. El sistema escollit és estable i robust.

6. PROGRAMACIÓ ARDUINO

En aquest apartat es presenta la programació realitzada amb arduino i el mètode de programació d'un GRAFCET amb C.

GRAFCET

El GRAFCET resultant de l'acció de control escollida és el mostrat a la imatge 38:



Imatge 38 GRAFCET Carregador

Com es pot apreciar en aquest disseny el carregador constarà de 3 etapes i 3 transicions :

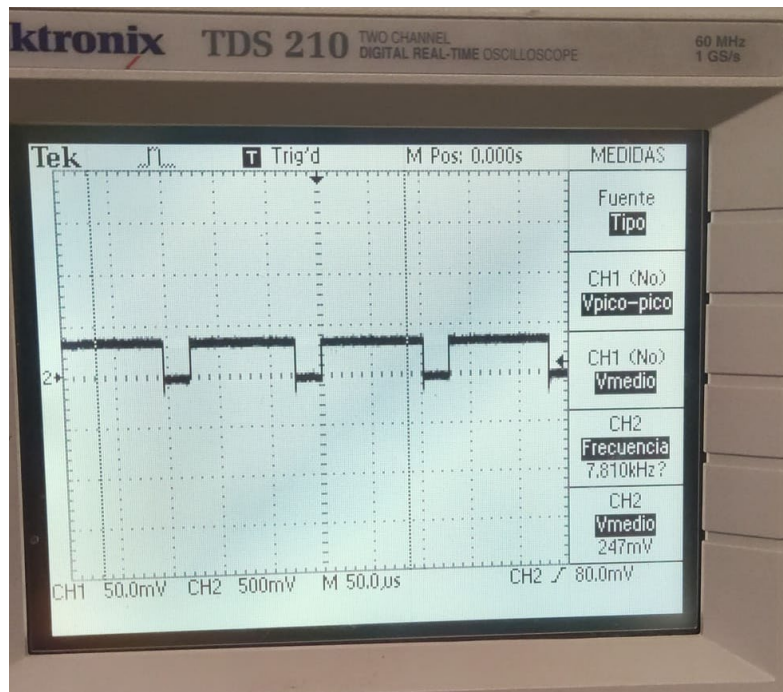
- Etapa E0: Aquesta etapa serà l'etapa inicial on el sistema estarà en pausa esperant a ser inicialitzat.
- Transició A: Es polsarà el boto de marxa i no estarà polsat el boto de paro ni l'alarma de sobreescalfament de l'IGBT activa.
- Etapa E1: Aquesta etapa correspon a la fase de càrrega a corrent constant.
- Transició B: Quan s'aplegue a la tensió de 85V es passa a la següent etapa.
- Etapa E2: Aquesta etapa correspon a la fase de càrrega a tensió constant.
- Transició C: La càrrega finalitza si s'arriba a la tensió de 89V o es polsa el botó de paro i llavors es torna a l'etapa inicial.

A més a més, a mode de seguretat, en cas de sobreescalfament o que es polse el botó de paro, estigui en l'etapa que estigui el carregador tornarà a l'etapa E0 i si es tracta d'un sobreescalfament apareixerà una senyal d'avís. El codi corresponent es troba al [annexes](#).

7. RESULTATS

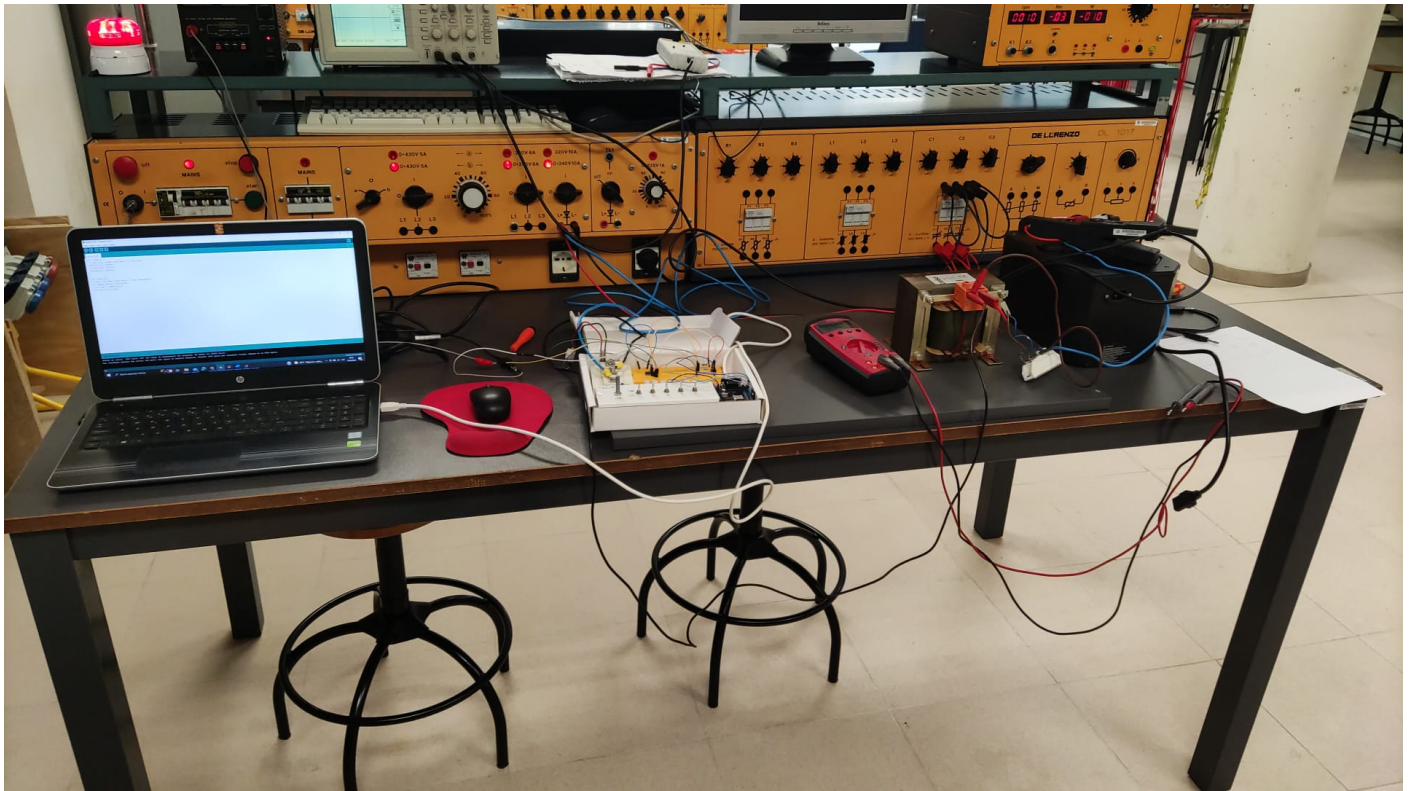
Aquest carregador s'ha muntat a l'UJI i a causa de l'etapa del projecte on estem sols s'ha pogut realitzar la càrrega amb una bateria de 75V i una font d'alimentació continuada als laboratoris de l'UJI.

El primer que es vol mostrar es la obtenció una freqüència de 7,8 kHz amb l'Arduino UNO gràcies al codi implementat. Es mostra a la imatge 39:

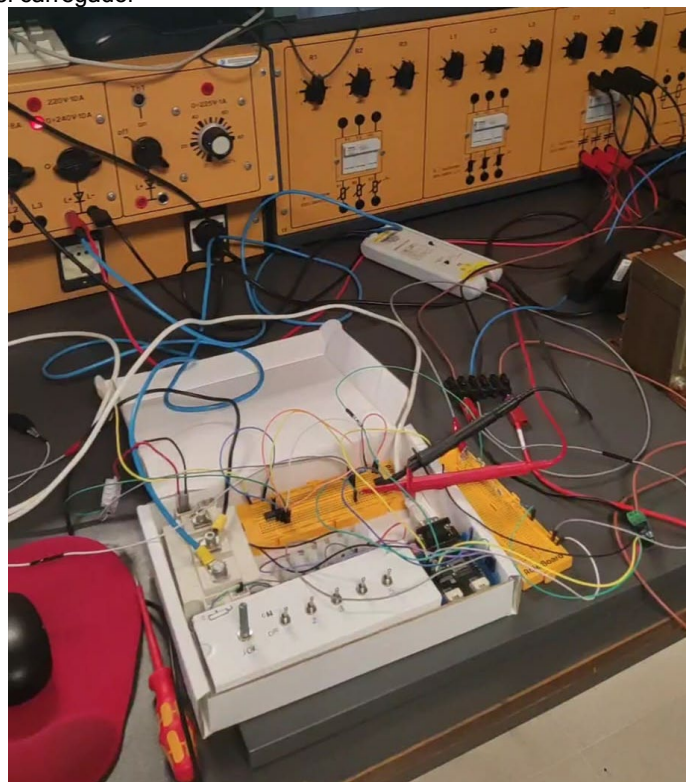


Imatge 39 Arduino a 7,8 kHz

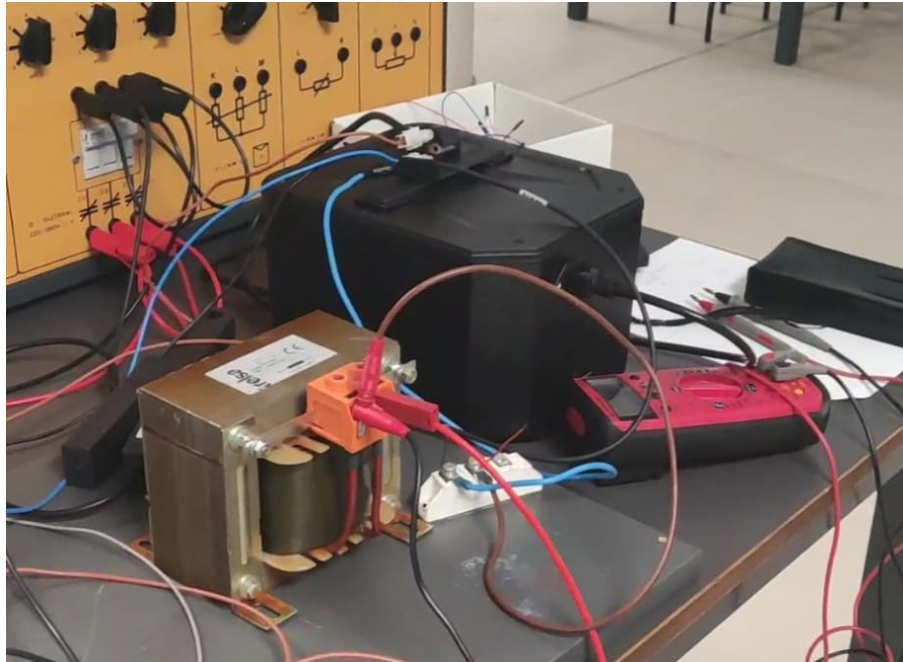
A més a més adjunte imatges del banc de proves amb botonera, sensors i la bateria de prova:



Imatge 40 Banc de proves del carregador

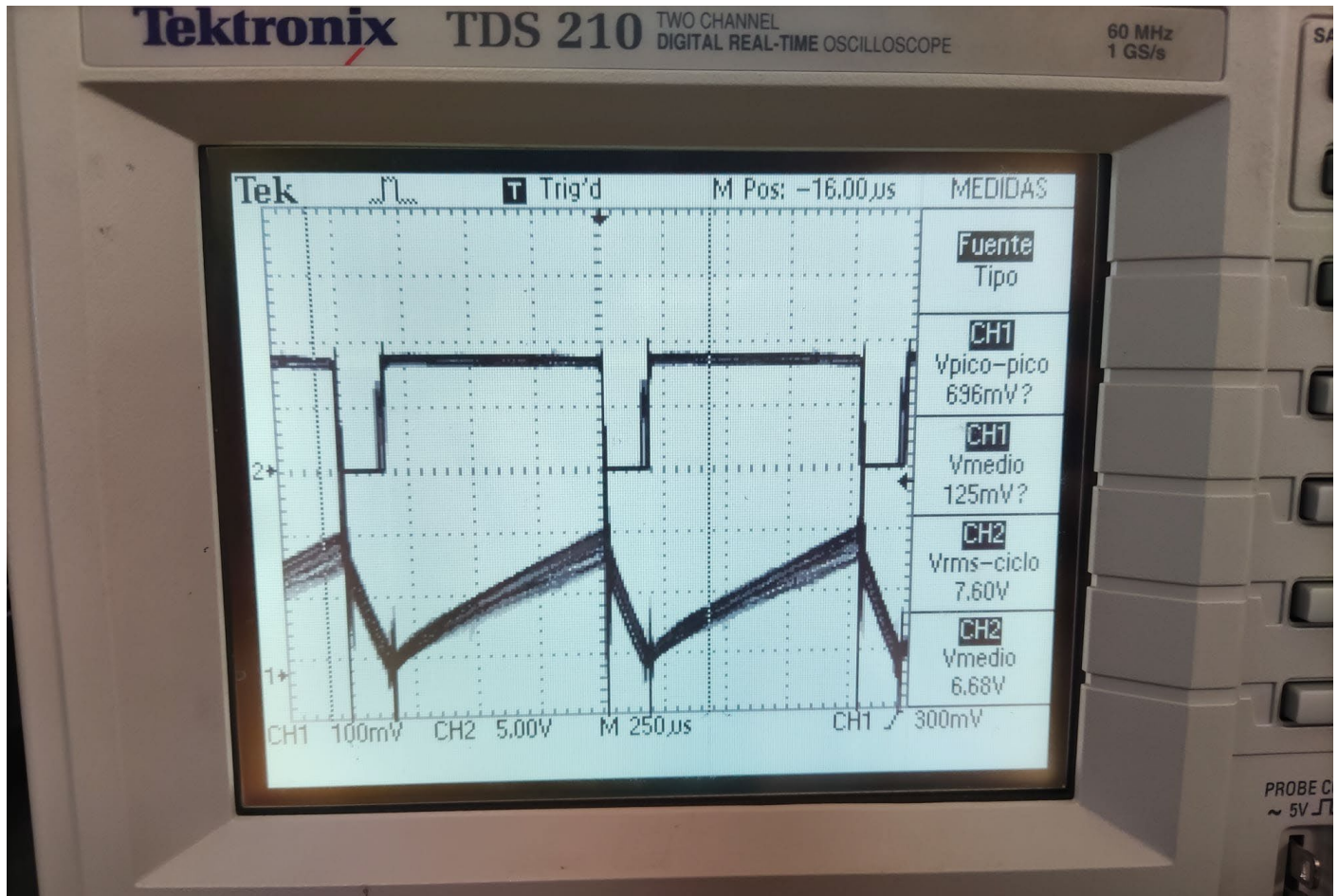


Imatge 41 Control del carregador.



Imatge 42 Sistema reductor DC/DC del carregador.

Com s'observa a les imatges 40, 41 i 42, el muntatge físic s'ha realitzat a les instal·lacions de l'UJI i a les proves realitzades s'ha pogut carregar la bateria com s'observa a la imatge 45 de l'oscil·loscopi on s'observa al canal 1 la corrent de càrrega de la bateria i al canar 2 la tensió al díode resultats satisfactoris i acorde amb el simulat i previst.



Imatge 43 Càrrega de la bateria de 75V.

En aquest cas la corrent de càrrega era més baixa del que seria en el sistema real però aquesta corrent estava limitada pel banc de proves el qual ens proporcionava al sistema un corrent de 0,66A. Aleshores el control PI no podia efectuar-se com al disseny inicial perquè les condicions del procés, i variables tractades al càlcul no eren les prèviament preses en compte.

Ara que es té un sistema que funciona caldrà esperar a l'elaboració del transformador i la posterior connexió de la bateria per fer proves ja més correctes i adaptades al sistema dissenyat.

8. CONCLUSIÓ

Tots els objectius proposats a l'inici del projecte han estat aconplits de manera satisfactòria aconseguint, simular, controlar i muntar físicament el sistema de càrrega per a la bateria del kart cross.

Durant la fase de disseny del sistema elèctric s'ha invertit molt de temps en l'anàlisi i característiques necessàries del muntatge del carregador per la bateria que s'han pogut simular amb ORCAD i ens ha permès anar sobre segur en la part de potència. Una vegada el sistema de potència va estar clar el sistema de comandament va suposar un repte perquè s'havia de modifica la freqüència de l'Arduino i a més a més s'havia d'aconseguir fer commutar l'IGBT una tasca que ha donat molta feina i ha suposat moltes hores al laboratori dissenyat possibles circuits amb el material disponible a l'UJI. És de veres que si hagués comprat un optoacobrador amb una eixida de corrent més elevada hagués sigut suficient però ha estat interessant enginyar-se-les per treure el projecte avant.

Amb la fase de disseny del sistema elèctric finalitzada, altra fita era elaborar el control PI amb Arduino i implementar un GRAFCET amb C per fer la seqüència de control. Gràcies a l'ajuda de Nacho Peñarrocha ha sigut més fàcil, encara que s'han tingut problemes d'estabilitat del sistema o de saturació que s'han arreglat a la fase de simulació fixant paràmetres com el marge de fase o el guany. A part d'això, seleccionar els elements del kart perquè acoblen ha suposat també una dificultat que s'ha resolt satisfactòriament.

Finalment el carregador s'ha muntat físicament i s'ha provat a carregar una bateria de 75V, donant un resultat satisfactori en termes de funcionalitat, perquè el carregador carregava però no amb el control perquè el sistema pilot muntat al laboratori estava incomplet i no ens podia donar el corrent necessari per executar l'acció de control i el PI saturava.

Aleshores per a un futur s'hauria d'obtenir un transformador amb les propietats esmentades, una eixida de tensió eficaç de 70V i una eixida de corrent de 30A. Aquest es provaria als laboratoris de l'UJI per verificar les seues propietats i llavors muntar el sistema complet però primer amb la bateria de 75V. Com al model la bateria és una pertorbació, aquesta no afecta a la consecució del corrent a la fase de càrrega a corrent constant i a la fase de càrrega a tensió constant s'hauria de modificar la tensió de càrrega de referència per no trencar la bateria. Si amb aquesta bateria el control funciona correctament ja es podrà carregar la bateria

del kart amb aquest sistema. A més a més, s'hauria de mecanitzar el quadre elèctric del carregador i comprovar que aquest funciona mitjançant les proves convencionals provocant un salt tèrmic, un salt del diferencial i parant el sistema amb el paro d'emergència del quadre. Analitzant bé el sistema també seria interessant per al futur treballar amb algun altre microprocessador que tingui més freqüència enlloc de modificar la nominal d'Arduino això doncs s'aconseguiria un període de mostreig més petit que suposaria una inductància menor i una menor mida del carregador i que s'adapte doncs a la mida dels carregadors comercials actuals. Altre element que es podria modificar en un futur a l'augmentar el corrent de càrrega és el sensor de corrent, per un amb més rang de mesura i amb més precisió.

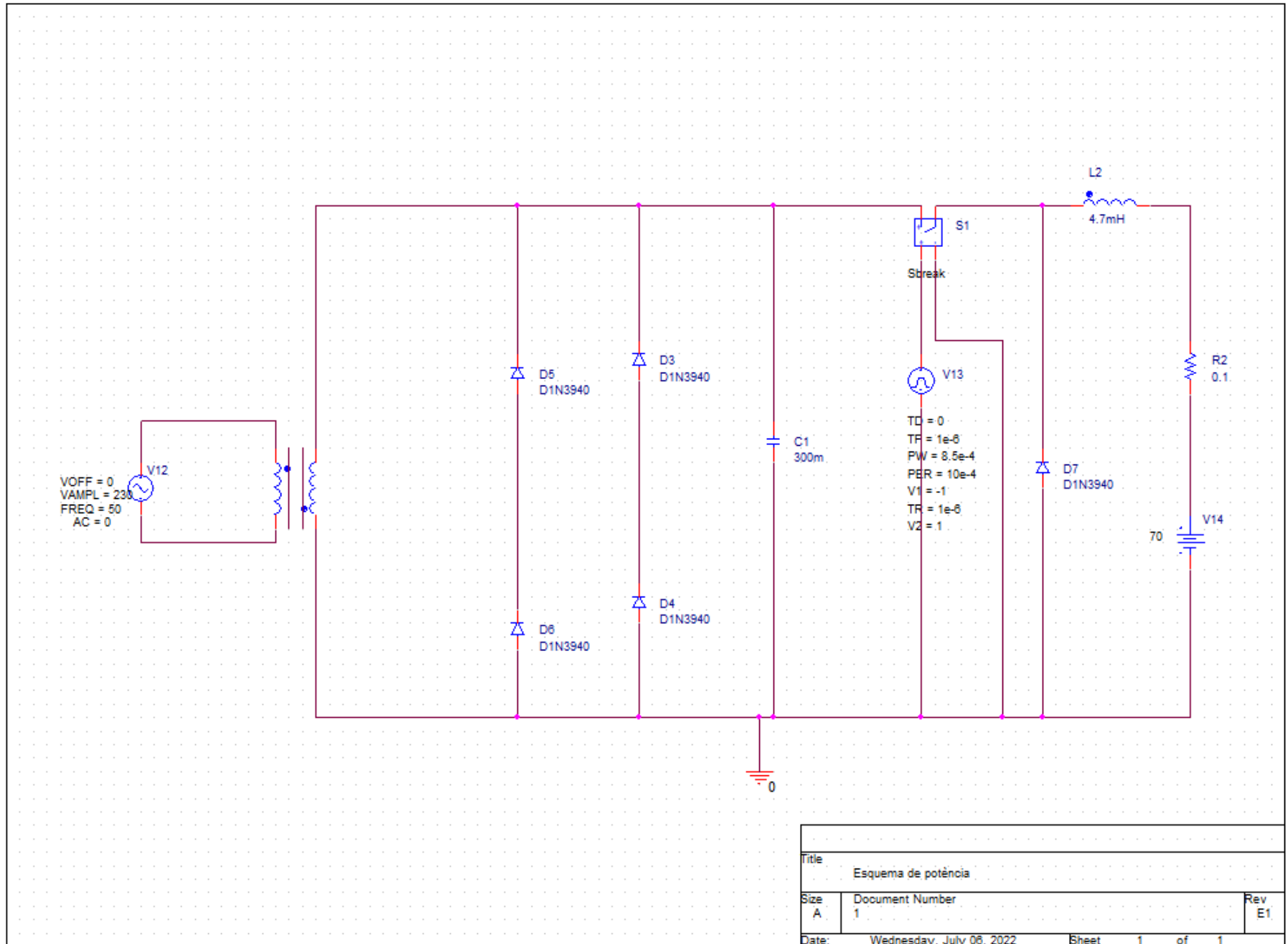
M'agradaria afegir una valoració personal. Per a mi ha sigut un plaer tindre l'oportunitat d'ajudar en un projecte d'aquesta magnitud. He après molt, tant des de la part de concepció del projecte, el dimensionament del sistema, el disseny del sistema elèctric, la selecció dels components, el seu muntatge i finalment l'estudi de la viabilitat del projecte. M'ha servit per a aprofundir en el funcionament del sistema elèctric d'un carregador i per a enllaçar conceptes vistos al màster els qual he pogut aplicar en aquest projecte.

Agraeix la confiança depositada en mi al deixar-me treballar en aquest projecte i desitge seguir ajudant en un futur a la consecució dels objectius que ens hem marcat.

BIBLIOGRAFIA

- Colet Subirachs, A. (2019). *Generació distribuïda per a la carrega ràpida de vehicles elèctrics, noves tecnologies - Infotrànsit*. L'Institut de Recerca En Energia de Catalunya (IREC). <https://infotransit.blog.gencat.cat/2019/03/06/generacio-distribuida-per-a-la-carrega-rapida-de-vehicles-electrics-noves-tecnologies/>
- Faus Redon, A. (2020). *DISSENY DEL SISTEMA ELÈCTRIC D'UN KART CROSS AMB TRACCIÓ ELÈCTRICA*.
- Hussein, A. A. H., & Batarseh, I. (2011). A Review of Charging Algorithms for Nickel and Lithium Battery Chargers. *Vehicular Technology, IEEE Transactions On*, 60, 830-838.
- Lestari, I. P., Arinawati, M., Hutama, A. P., Yudha, C. S., Rahmawati, M., Widiyandari, H., Nur, A., & Purwanto, A. (2021). Synthesis LiFePO₄ at Various Atmosphere Condition . *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1096(1), 012141. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1096/1/012141>
- Principios básicos del sensor de efecto Hall - Urany®*. (n.d.). Retrieved June 22, 2022, from <https://urany.net/blog/adquiere-precisi%C3%B3n-con-efecto-hall>
- Real Academia de Ingeniería. (2017). *El almacenamiento de energía en la distribución eléctrica del futuro*. https://issuu.com/raing/docs/almacenamiento_energia_final_b

PLÀNOLS



PRESSUPOST

TAULES

Taula 1 Costos en recursos humans.	3
Taula 2 Costos en I+D+I.	3
Taula 3 Costos en materials.	4
Taula 4 Costos totals.	4

PRESSUPOST

A aquest apartat es presenta la viabilitat econòmica del projecte en forma de pressupost:

Recursos humans	Preu per hora (€/h)	Hores de treball (h)	Cost (€)
Investigació	30	100	3.000
Disseny	30	100	3.000
Redacció	15	75	1.125
Total		275	7.125

Taula 1 Costos en recursos humans.

I+D+I	Preu unitari (€)	Amortització (€)
Hardware		
Ordinador	900	150
Software		
ORCAD (estudiant)	0	0
LT-Spice (versió estudiant)	0	0
MATLAB/Simulink (versió estudiant)	0	0
Arduino	0	0
Total	900	150

Taula 2 Costos en I+D+I.

Material/Components	Quantitat	Preu unitat (€)	Preu (€)
Transformador 70V Veff	1	130	130
Disjuntor Guardamotor	1	23,62	23,62
Diferencial monofàsic Schneider	1	23,97	23,97
Contactador 230V	1	27,68	27,68
Polsador amb retorn NO verd	2	20,5	41
Polsador amb retorn NC roig	1	19,1	19,1
Transformador 230V/15V	1	66,85	66,85
Condensador 300mF	1	14,02	14,02
Bobina 4,7mH	1	10,18	10,18
Diode de recirculació	1	3,404	3,404
IGBT	1	2,79	2,79
Arduino	1	26,99	26,99
Sensor Corrent	1	4	4

Sensor temperatura	1	3,63	3,63
Radiador IGBT	1	0,59	0,59
LM324	1	0,41	0,41
Optoacobrador 4n25	1	0,53	0,53
Pack resistencies	1	1	12,99
Total			281,75

Taula 3 Costos en materials.

Cost total (€)	Cost (€)
Recursos humans	7.125
Recursos I+D	150
Materials i Components	281,75
Base imposable	7.556,75
IVA (21%)	1.586,92
Total	9.143,67

Taula 4 Costos totals.

El projecte costa finalment uns 9.150€ per a l'UJI, aquest pressupost s'ajusta al que es tenia previst pel departament d'enginyeria de sistemes i disseny industrial. Es un projecte viable i que el cost de llicències i material per fer el projecte ha sigut menor a 300€ i a més a més s'ha reaprofitat material en stock de l'UJI cosa la qual fa el projecte més rendible i econòmicament sostenible.

PLEC DE CONDICIONS

PLEC DE CONDICIONS

El present apartat fa referència a les condicions que han de complir el carregador i els seus components, integrants en disseny elèctric. Les condicions aquí establertes s'exigeixen per a proporcionar les garanties suficients de bon funcionament de tots els elements integrats en el kart, assignant així mateix, les normes de seguretat i proteccions que ha de tenir el mateix.

CONDICIONS D'EXECUCIÓ I MUNTATGE DEL CABLEJAT

- Normativa UNE/IEC 61851-1.
- Normativa la ITC-BT 52 i la ITC-BT-04.
- Condició tèrmica de no sobrepassar la intensitat màxima admissible determinada pel REBT (Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión de España).
- Condició de la màxima de caiguda de tensió la qual no pot depassar un valor màxim permès entre l'inici de la instal·lació i el punt més llunyà. Valor present al REBT.
- Cables de baixa tensió per damunt dels d'alta tensió
- Els cables de baixa tensió es podran instal·lar paral·lelament a altres de baixa o alta tensió, mantenint entre ells una distància mínima de 0,10 m amb els cables de baixa tensió i 0,25 m amb els cables d'alta tensió.
- Eviti torçar el cable sobre el seu eix.
- Eviteu danyar o raspar el recobriments.
- Eviteu angles pronunciats en les voltes del cable.
- No col·locar objectes pesats sobre el cable.
- Deixar un espai per permetre al cable un xicotet desplaçament.
- La curvatura del cable no ha d'excedir 8 vegades el seu diàmetre.
- No realitzi mes de 3 angles de curvatura amb el mateix cable.
- Eviteu l'exposició lliure de el coure dels parells trenats (tall o connexió).
- Procureu evitar la instal·lació dels cables i els seus terminals propers a fenòmens electromagnètics (com bobines, motors, transformadors i altres).
- Es recomana utilitzar cables amb protecció addicional (blindats o amb pantalla), per evitar perturbacions en el senyal i la transmissió.
- Desconnectar de la font d'energia la part de la instal·lació on se va a treballar.
- Preveure qualsevol tipus de retroalimentació (connectar a terra o en curtcircuit les possibles fonts de voltatge).
- Verificar absència de voltatge als elements actius de la zona de treball.
- Diferenciació de les línies de baixa, mitja i alta tensió. Alta tensió color taronja.

- Cada cable amb un color específic segons la senyal que transporti.
- Apagar equips al realitzar manteniment.
- Utilització de ferramentes dissenyades per a l'operació i homologades.
- Treballar amb calçat amb sola aïllant i mai sobre sol mullat. Calçat adequat segons la norma INEN 1 926/1 992-08.
- Mai manipular elements o equips electrònics amb mans mullades o humides.
- Utilització de guants aïllants segons la normativa IEC 60903:2002.
- Utilització de lents de seguretat.

ANNEXES

ÍNDEX

ANNEXES	1
MARC TEÒRIC	3
<i>Bateria</i>	3
CARREGADOR	4
<i>Investigació dels modes de càrrega</i>	5
<i>Mètodes de control</i>	8
<i>Sensors</i>	11
<i>Arduino</i>	12
<i>GRAF CET en C</i>	14
<i>Algoritmes de control</i>	15
ARDUINO	18
CODI ARDUINO	19
MANUAL BATERIA	25
IGBT	41
LM324	51

Marc teòric

Al següent capítol es descriu i analitzen els components, elements i conceptes necessaris per a la comprensió i l'elaboració del projecte. Aquests han sigut la base d'on s'ha partit per desenvolupar el projecte.

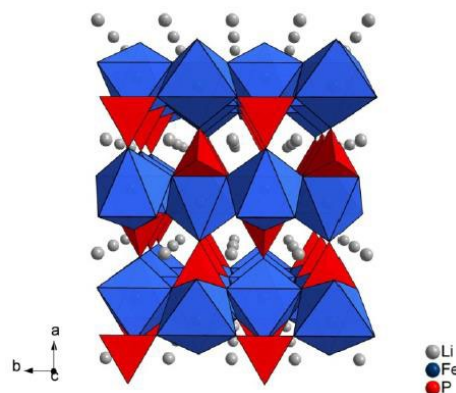
Bateria

La bateria és l'element crític a l'hora de produir vehicles elèctrics (EV) on els factors claus per al seu disseny són els costos de fabricació, el pes i sobretot l'autonomia (Colet Subirachs, 2019). Per a aquest estudi el que és veritablement important és conèixer la tipologia de la bateria la qual es va a carregar i comprendre conceptes com són la capacitat, la vida útil de la bateria i la seua degradació.

2.1.1 Bateries LFP

Les tecnologies d'emmagatzematge d'energia elèctrica en bateries han evolucionat molt des dels seus inicis, i actualment les bateries més usades per vehicles elèctrics són les LiFePo₄. Aquestes són semblants a les anteriors bateries LCO, però aquestes no utilitzen cobalt, el que els proporciona d'una major estabilitat i seguretat d'ús que les primeres (les LCO són altament inflamables) (Lestari et al., 2021).

Les bateries LiFePo₄, a causa de la seva estructura posseeixen una resistència electroquímica baixa, el que es tradueix en el fet que permet uns cicles de vida més llarg, encara que li introdueixin altes corrents de càrrega i descàrrega (Faus Redon, 2020). Podem veure la seva estructura química a la imatge 48.



Imatge 44 Estructura química de les bateries LFP.

Els avantatges que posseeix respecte a les anteriors bateries que existeixen, és que posseeix una major vida útil amb la possibilitat d'introduir valors alts d'intensitat, això és degut a que posseeix un ànode de Li₄Ti₅O₁₂ en comptes del grafit de les bateries LCO i LMO. Com a

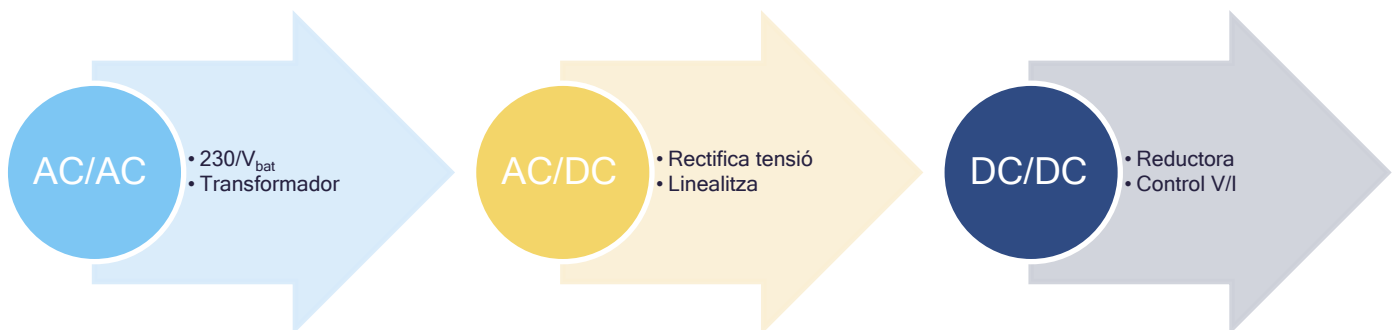
inconvenients a destacar és que posseeix una baixa tensió de cel·la, una major taxa de autodescàrrega i un preu més elevat. (Faus Redon, 2020)

Carregador

El medi físic que permet l'emmagatzematge d'energia a la kart, presentat al capítol anterior (bateria d'ions de liti) ha de ser degudament manejat, així com correctament carregat per disposar de tota la seva capacitat i conservar-ne la vida útil. És per això que requereix un sistema de conversió de potència per facilitar l'intercanvi energètic amb la xarxa elèctrica quan en requereixi per ser recarregat. En aquest cas, el sistema de conversió de potència és el carregador. D'aquesta manera, l'electrònica de potència és una tecnologia fonamental per a la connexió a xarxa dels sistemes d'emmagatzematge d'energia. A aquest apartat es tractaran els diferents sistemes elèctrics de potència propis d'un carregador d'un vehicle elèctric.

2.2.1 Estructura convertidor

Per a aquest projecte es convertirà l'energia elèctrica de la xarxa elèctrica, la qual és CA a 230V i es transformarà a CC, per a realitzar-ho el convertidor constarà de 3 etapes:



Imatge 45 Etapes del convertidor.

Etapa 1. AC/AC: Aquesta etapa redueix la tensió en alterna de la xarxa elèctrica a una tensió també en alterna que pico-pico sigui major que la de la bateria.

Etapa 2. AC/DC: Aquesta etapa rectifica i linealització la tensió i corrent mitjançant elements com un pont de díodes/tiristors i amb condensadors.

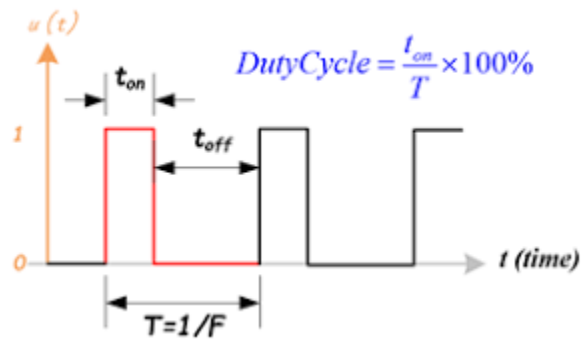
Etapa 3. DC/DC: Amb un interruptor d'estat sòlid es regula la tensió i corrent que arriba a la bateria per modular-la i carregar-la segons el control escollit.

2.2.2 Control convertidor

La tècnica de modulació PWM permet encendre i apagar els semiconductors de potència (Mosfets, IGBTs...), per obtenir una tensió trossejada a la sortida a partir de la qual interessa percebre únicament el valor mitjà de la tensió esmentada o corrent.

Es necessita un circuit intern que produeix una sortida digital modulada per amplada de pols. Des del microprocessador, s'escriu un valor digital proporcional al cicle de treball. Té gran aplicació al control de motors elèctrics. Per generar les sortides PWM cal un temporitzador i un valor de comparació. Quan els comptes del temporitzador arriben a aquest valor, la sortida digital associada canvia de valor. Quan els comptes del temporitzador baixen per sota (bé perquè es reinicia el comptador, bé perquè és de comptatge ascendent descendent), es torna a canviar el valor de la sortida digital associada.

L'efecte que s'aconsegueix amb les sortides modulades per amplada de pols és similar al del convertidor digital-analògic (DAC). En aquest cas, si s'utilitza un Arduino UNO el rang és fix (un valor mitjà que va de 0 a 5 V, com les sortides digitals), i la resolució la marca la mateixa resolució del temporitzador (el nombre de bits del comptador de polsos de rellotge). Ara bé, si s'escull un període determinat a la unitat PWM, la resolució la marca el màxim de comptes programat al temporitzador.



Imatge 46 Cicle de treball PWM

Com s'observa a la imatge, una senyal PWM té un cicle de treball (anomenat en anglés duty cucle) el qual és la raó entre el temps en ON i el període total.

Investigació dels modes de càrrega

El carregador és l'encarregat d'absorbir l'electricitat en forma alterna, directament des de la xarxa elèctrica i la transforma en corrent contínuu, la qual es emmagatzemada en la bateria. En aquesta part s'introduiran els diferents tipus de modes de recàrrega.

2.3.2 Modes de recàrrega

Avui en dia, un dels reptes dels enginyers es reduir el temps de recàrrega dels vehicles elèctrics, el qual és molt llarg en comparació al temps que tarda un depòsit d'un vehicle de combustió en omplir-se.

En l'actualitat existeixen diferents tipus de carregadors, uns de càrrega ràpida i altres de càrrega lenta. Els qual es diferencien per la seua velocitat de càrrega i el temps que tarda en

carregar la bateria del vehicle en qüestió. Els punts de recàrrega d'un vehicle elèctric solen estar situats en habitatges o a la via pública.

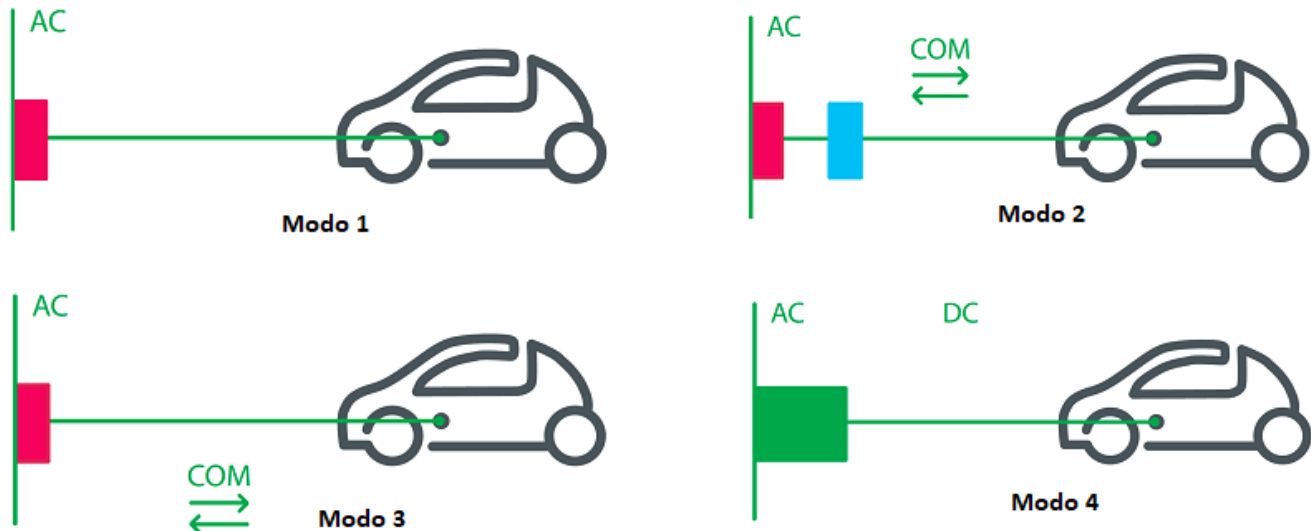
Dins de l'àmbit domèstic ha dos tipus de recàrrega:

- Recàrrega estàndard lenta. La intensitat de corrent queda limitada a 16 A. El temps de recàrrega per a aquest tipus s'estima entre 8-10 hores.
- Recàrrega estàndard ràpida. La intensitat de corrent es limita a 32 A amb una demanda de potència de 7,4 kW.

Per punts de recàrrega en via pública i electrolineres es té:

- Recàrrega semi-ràpida. Les potències demandades ronden dels 11 kW. Aquest tipus de recàrrega sol tenir una durada d'aproximadament 1 hora.
- Recàrrega ràpida. Aquest tipus de recàrrega és habitual en les fotolineres a on la demanda de potència puja a uns 50 kW. Permet recàrregues amb una durada d'aproximadament 30 minuts.

D'altra banda, actualment, i segons l'estàndard europeu, comptem amb 4 modes de recàrrega, tres en corrent alterna i un en contínua. Cadascun s'adapta a una situació diferent i al tipus de vehicle. A la imatge 51 detallem cadascun d'ells:



Imatge 47 Modes de recàrrega.

Mode 1 :

En aquesta manera no existeix comunicació cap entre la presa i el vehicle. A més, es tracta d'una presa Schuko domèstica, per la qual cosa el punt de recàrrega no està destinat específicament a la recàrrega del vehicle. És una càrrega lenta, monofàsica, en alterna i amb

una intensitat màxima de 16 A i voltatge de 230 V, per la qual cosa la potència màxima de càrrega és de 3,7 kW.

Aquesta presa no té seguretat ni protecció, per la qual cosa el seu ús està més indicat per a la recàrrega de ciclomotors, bicicletes o patinets elèctrics. També la poden utilitzar els cotxes elèctrics i les motocicletes de gran bateria, però el seu ús no és recomanable, tant per seguretat com per demora del temps de recàrrega.

Mode 2 :

Es tracta d'un mode exactament idèntic que el 1, però amb la diferència que el cable equipa un sistema de protecció i un interruptor diferencial, d'aquesta manera s'evita qualsevol problema de connexió amb la xarxa activant o desactivant la recàrrega, una forma d'afegir seguretat en el procés i un grau baix de comunicació entre punt i vehicle.

Normalment, la Mode 2 compta amb una caixa de recàrrega amb un connector Schuko, i el cable es connecta des del vehicle amb aquesta connector, però amb l'afegit del sistema de protecció que hem comentat anteriorment.

Es tracta per tant d'una recàrrega lenta, monofàsica, en alterna i amb una intensitat que normalment és de 16 A, un voltatge de 230 V i una potència estàndard de 3,7 kW. Aquest mode és ideal per a cotxes elèctrics amb una bateria petita o híbrids endollables, encara que també per a motocicletes elèctriques.

Mode 3 :

Aquest mode és el que s'està estandarditzant en les recàrregues de destí, com pot ser la nostra llar, el lloc de treball o els garatges comunitaris, així com centres comercials, restaurants, hotels o altres establiments. És el que coneixem col·loquialment com Wallbox, i la seva funció és únicament per a la recàrrega de vehicles elèctrics o híbrids endollables.

Incorpora diversos sistemes de protecció necessaris per a la seguretat de la instal·lació elèctrica i del vehicle, així com de control per a monitoritzar i detectar la recàrrega, per la qual cosa el grau de comunicació entre punt i vehicle és alt. La recàrrega és semirápida i es realitza mitjançant un cable que uneix punt i vehicle.

Utilitza corrent altern i actua com a monofàsica i, en cas que es pugui, també en trifàsica. La intensitat normal és de 32 A, per la qual cosa la potència màxima és de 7,4 kW. No obstant, si la recàrrega és en trifàsica, la intensitat pot ser de fins a 63 A i fins a un màxim de 43 kW.

En aquest mode de recàrrega, necessitarem un connector Tipus 2 (Mennekes) o Tipus 1 (SAE J1772), depenent del que utilitzi el vehicle, encara que actualment el 90% de vehicles utilitza el Tipus 2.

Mode 4 :

Aquest mode està destinat a la recàrrega ràpida en corrent continu gràcies al convertidor d'alterna a contínua que incorpora. Generalment el trobem en punts de recàrrega públics, ja que el seu elevat cost limita el seu ús a aquest àmbit.

En aquest cas, el cable ja ve incorporat en el punt de recàrrega, per la qual cosa només cal connectar el costat del vehicle. Les recàrregues són de mínim 50 kW, la qual cosa suposa que en mitja hora podem recarregar pràcticament el 80% de la bateria del nostre cotxe elèctric, sempre depenent de la capacitat de la bateria. No obstant, la potència de recàrrega també pot ser ultraràpida, podent arribar fins als 350 kW.

La comunicació entre el punt de recàrrega i el vehicle és total. Així mateix, cal remarcar que s'ha d'evitar abusar d'aquest mode de recàrrega, ja que a la llarga pot danyar la bateria del vehicle i precipitar la seva deterioració.

En l'actualitat els modes que s'estan convertint com l'estàndard, són el 3 i el 4, per la qual cosa la comunicació entre punt i vehicle és essencial per al desenvolupament òptim del procés de recàrrega. (Faus Redon, 2020)

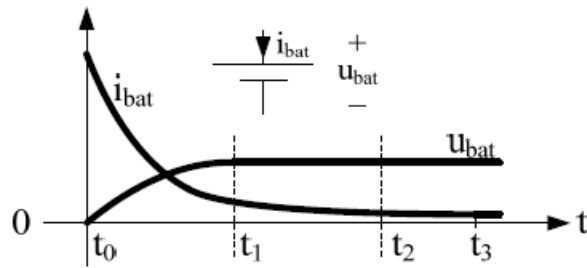
Mètodes de control

En aquest apartat es defineixen els diferents mètodes de càrrega de bateries i diferents tipus de control més específics per bateries de vehicles elèctrics.

Mètodes de càrrega

Voltatge constant

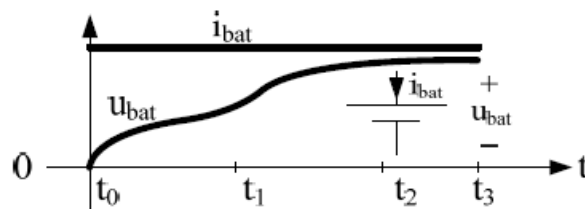
Un carregador de voltatge constant és bàsicament una font d'alimentació de CC que en la seva forma més simple pot consistir en un transformador de pas de la xarxa amb un rectificador per proporcionar el voltatge i carregar la bateria. Les cel·les d'àcid de plom usades per a automòbils i sistemes d'energia de suport solen utilitzar carregadors de voltatge constant. A més, les cèl·lules de ions de liti també els utilitzen sovint, encara que solen ser més complexos amb la finalitat de protegir tant les bateries com la seguretat de l'usuari. És una de les tecnologies més utilitzades gairebé en qualsevol química de bateries sobretot en els carregadors de bateries de cotxes barats.



Imatge 48 Mètode de tensió constant

Corrent constant

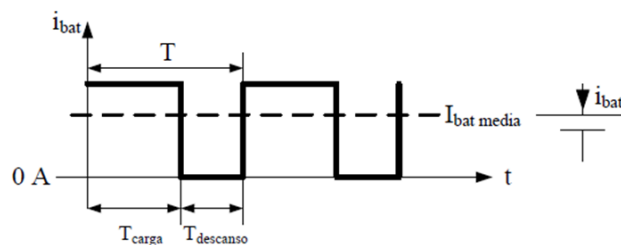
Els carregadors de corrent constant varien el voltatge que apliquen a la bateria per mantenir un flux de corrent constant, apagant quan la tensió arriba al nivell d'una càrrega completa. Aquest disseny es fa servir generalment per bateries o bateries de níquel-cadmi i níquel-metall-hidrur. El desavantatge principal que presenta és la dificultat d'establir el punt de càrrega completa. Hi ha diversos mètodes per determinar-lo, encara que normalment es fa servir una combinació entre els límits d'increment de temperatura, increment de tensió i temps de càrrega.



Imatge 49 Mètode corrent constant

Càrrega per polsos

Es basa en carregar la bateria mitjançant polsos de corrent d'una durada determinada. La velocitat de càrrega (basada en el corrent mitjana) pot controlar amb precisió variant l'amplada dels impulsos. Durant el procés de càrrega, els períodes de repòs curts (de 20 a 30 mil·lisegons entre impulsos) permeten que les accions químiques en la bateria s'estabilitzin igualant la reacció en tota la massa de l'elèctrode abans de reiniciar la càrrega. Un desavantatge d'aquest mètode és que pot produir reaccions químiques no desitjades en la superfície de l'elèctrode com ara formació de gasos o el creixement de cristalls.



Imatge 50 Càrrega per polsos

Càrrega de flotador (float charge)

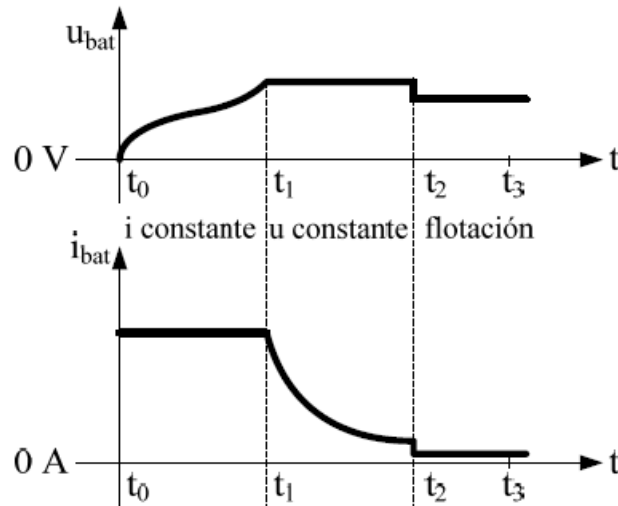
La bateria i la càrrega es connecten permanentment en paral·lel a través de la font de càrrega de CC i es mantenen a una tensió constant per sota el límit de tensió superior de la bateria. S'usa per a sistemes de suport d'emergència. S'utilitza principalment amb bateries de plom àcid (Faus Redon, 2020).

Mètodes de control de càrrega

Corrent constant-Voltatge constant (CC-CV)

Aquesta tecnologia combina la càrrega a tensió constant i la càrrega a corrent constant. S'utilitza per carregar bateries de liti i altres que poden ser vulnerables a danys si es sobrepassa el límit de tensió superior. La taxa de càrrega de corrent constant especificada pel fabricant és la velocitat de càrrega màxima que la bateria pot tolerar sense danyar la bateria. Es necessiten precaucions especials per maximitzar la taxa de càrrega i per assegurar-se que la bateria està completament carregada mentre que a el mateix temps evita la sobrecàrrega. Per aquesta raó, es recomana que el mètode de càrrega canviï a tensió constant abans que la tensió de la cel·la arribi al seu límit superior. Cal tenir en compte que això implica que els carregadors de les cèl·lules de ions de liti han de poder controlar tant el corrent de càrrega com el voltatge de la bateria.

Per mantenir la velocitat de càrrega de corrent constant especificada, la tensió de càrrega ha d'augmentar a l'uníson amb la tensió de la cel·la per superar l'EMF posterior de la cèl·lula a mesura que es carrega. Això passa molt ràpidament durant la manera de corrent constant fins que s'arriba al límit de tensió superior de cel·la, després de la qual cosa es manté la tensió de càrrega a aquest nivell, conegut com nivell de flotador, durant la manera de tensió constant. Durant aquest període de tensió constant, el corrent disminueix a una càrrega de degoteig a mesura que la càrrega s'aproxima a la terminació. El tall es produeix quan s'ha arribat a un punt de corrent mínim predeterminat, que indica una càrrega completa.



Imatge 51 Càrrega CC-CV

Sensors

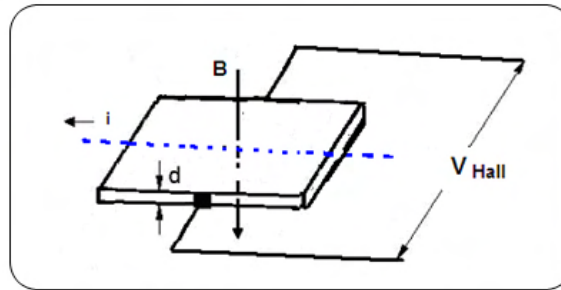
A aquest apartat s'esmentaran els sensors utilitzats a aquest projecte, el seu funcionament i esquema elèctric.

2.5.1 Sensor de corrent

Un sensor de corrent és aquell que s'utilitza per obtenir la corrent elèctrica en ampers en corrent continu o alterna. L'entrada d'aquest sensor pot ser tensió o corrent mentre que l'eixida és generalment una senyal de voltatge analògica.

En la actualitat la majoria de sensors utilitzats per a mesurar corrent son de tipus hall. L'efecte Hall és descrit usualment com la potència diferencial que apareix perpendicular a les línies del flux d'un corrent elèctric, quan aquest és sotmès per força perpendicular d'un camp magnètic. El sensor Hall, per tant, rep aquest nom perquè el seu funcionament està basat en l'efecte Hall. Amb base a això, l'efecte Hall es representa com segueix: un material conductor amb espessor (d), condueix un corrent (i) al llarg; aquest corrent està sotmès a un camp magnètic (B) aplicat perpendicularment. Com a resultat, s'obté una tensió de forces coneguda com a tensió de Hall o voltatge Hall, la magnitud de la qual està donada per la següent equació i és proporcional a la constant R_H del material:

$$V_{Hall} = \frac{R_H}{d} \cdot I \cdot B$$

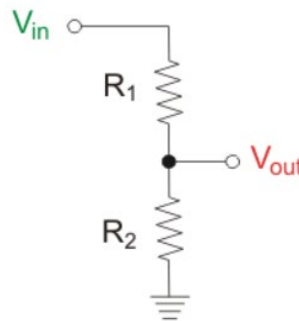


Imatge 52 Efecte Hall (*Principios Básicos Del Sensor de Efecto Hall - Urany@, n.d.*)

Altra forma també molt utilitzada per obtenir la corrent en un circuit i mesurar-la és mitjançant una resistència molt petita de valors coneguts i exactes que mitjançant la llei d'ohm al mesurar la caiguda de tensió entre aquests bornes es calcula la $I = \frac{V}{R}$.

2.5.2 Sensor de tensió

Un sensor de tensió és aquell que s'utilitza per obtenir la tensió elèctrica en volts en corrent continuada o alterna. L'entrada d'aquest sensor sol ser tensió mentre que l'eixida és generalment una senyal de voltatge analògica. En l'actualitat existeixen dos tipus de sensors de tensió, el sensor capacitiu i el sensor resistiu. Com al projecte es mesurarà el voltatge a corrent continu, s'explicarà com funciona el sensor resistiu. Aquest es basa en el principi de funcionament dels divisors de tensió:



Imatge 53 Divisor resistiu

La tensió d'eixida que s'obté seria:

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Aleshores es pot obtenir mitjançant càlculs la corba característica de la tensió d'entrada en funció de l'eixida V_{out} i les dues resistències per així determinar aquesta tensió amb una simple transformació lineal.

Arduino

Arduino és una plataforma de creació d'electrònica de codi obert, que està basada en maquinari i programari lliure, flexible i fàcil d'utilitzar per als creadors i desenvolupadors.

Aquesta plataforma permet crear diferents tipus de microordinadors d'una sola placa als quals la comunitat de creadors els pot donar diferents tipus d'ús.

El programari lliure són els programes informàtics el codi dels quals és accessible per qualsevol perquè qui vulgui pugui utilitzar-lo i modificar-lo. Arduino ofereix la plataforma Arduino IDE (Entorn de Desenvolupament Integrat), que és un entorn de programació amb què qualsevol pot crear aplicacions per a les plaques Arduino, de manera que se'ls pot donar tota mena d'utilitats.

El Arduino és una placa basada en un microcontrolador ATMEL. Els microcontroladors són circuits integrats on es poden gravar instruccions, les quals les escrius amb el llenguatge de programació que pots utilitzar a l'entorn Arduino IDE. Aquestes instruccions permeten crear programes que interactuen amb els circuits de la placa.

El microcontrolador d'Arduino posseeix el que s'anomena una interfície d'entrada, que és una connexió on podem connectar a la placa diferents tipus de perifèrics. La informació d'aquests perifèrics que connectis es traslladarà al microcontrolador, el qual s'encarregarà de processar les dades que us arribin a través.

El tipus de perifèrics que puguis utilitzar per enviar dades al microcontrolador depèn en gran mesura de quin ús li estiguis pensant donar. Poden ser càmeres per obtenir imatges, teclats per introduir dades, o diferents tipus de sensors.

La placa que es disposa per realitzar aquest projecte es una Arduino UNO. Aquesta placa té 14 pins digitals d'entrada/sortida, és l'Arduino Pinout dels quals 6 els pot utilitzar com a sortides PWM, 6 entrades analògiques, un oscil·lador de vidre de 16 MHz, una connexió USB, un connector d'alimentació, una capçalera ICSP i un botó de reset. Presenta les següents característiques:

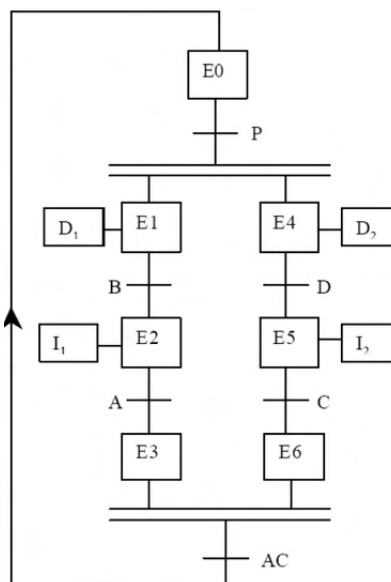
- Microcontrolador: ATmega328
- Voltatge d'operació: 5V
- Voltatge d'entrada (recomanat): 7-12V
- Voltatge d'entrada (límits): 6-20V
- Pins d'E/S digitals: 14 (dels quals 6 proporcionen sortida PWM)
- Pins d'entrada analògica: 6
- Corrent DC per pin d'E/S: 40 mA
- Corrent DC per a 3.3V Pin: 50 mA
- Memòria Flash: 32 KB dels quals 0,5 KB utilitzats pel bootloader
- SRAM: 2 KB (ATmega328)
- EEPROM: 1 KB (ATmega328)

- Velocitat de rellotge: 16 MHz

L'esquema i components de la placa es troben explicats als annexes.

GRAF CET en C

Un diagrama d'etapa-transició (GRAF CET) és un graf orientat format per dos tipus de nodes, les etapes (simbolitzades per un quadrat) i les transicions (simbolitzades per una línia recta horitzontal) units alternativament per altres línies rectes perpendiculars a les transicions. Es poden unir etapes amb transicions i viceversa, però mai elements iguals. L'orientació del graf és sempre de dalt a baix (es passa d'una etapa a la transició de baix i d'aquesta a l'etapa de baix), excepte en què la línia que uneix l'etapa i la transició ha de tenir una fletxa indicant el sentit de devolució.



Imatge 54 Exemple de GRAF CET

Per programar aquests sistemes seqüencials s'ha desenvolupat un programa que reproduïx la forma d'evolució de les diferents variables del GRAF CET, seguint totes les regles d'evolució. En particular, cal posar especial atenció en 2 situacions especials, que són l'existència d'etapes inestables, i l'existència de transicions actives per flanc, en què cal modificar el GRAF CET per evitar-les.

Per a la programació s'associa una variable interna (1 bit) a cada etapa (el bit estarà a 1 si l'etapa està activa i a zero en cas contrari). Les equacions lògiques intentaran modificar aquests bits segons canvien les entrades d'acord amb les regles d'evolució del GRAF CET.

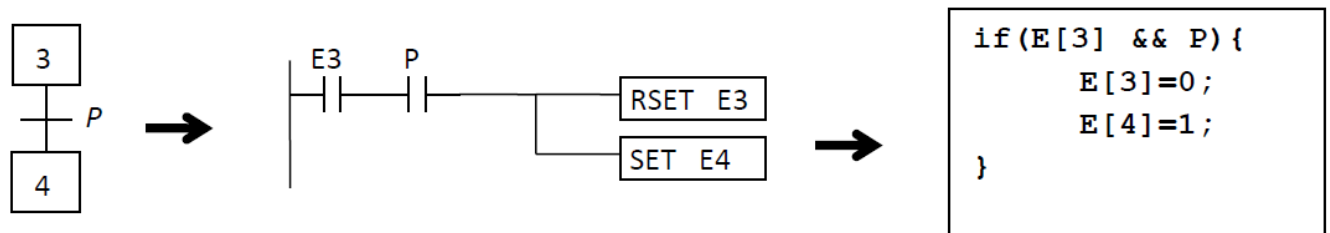
L'algoritme s'executa en un bucle infinit, de manera que a cada cicle d'aquest bucle s'executa l'algoritme, es refresquen els senyals d'entrada i de sortida i es fan les tasques necessàries de comunicació o gestió de temporitzadors.

Per dotar aquest projecte de complexitat i innovació s'ha programat el GRAFCET corresponent a la seqüència de càrrega en C.

Per inicialitzar aquest GRAFCET es genera un array (vector) amb una longitud igual al nombre d'etapes que hi ha a la seqüència, per exemple, si hi ha 3 etapes, s'inicialitzaria el GRAFCET amb aquest vector:

- boolean E[3]={1,0,0};

A continuació i en funció de la lectura de les entrades i l'etapa anterior a la funció loop s'activen i desactiven etapes com al següent exemple:



Imatge 55 Exemple transició en C

En aquest cas quan P està activa, si el procés es troba a l'etapa 3, doncs passa a l'etapa 4.

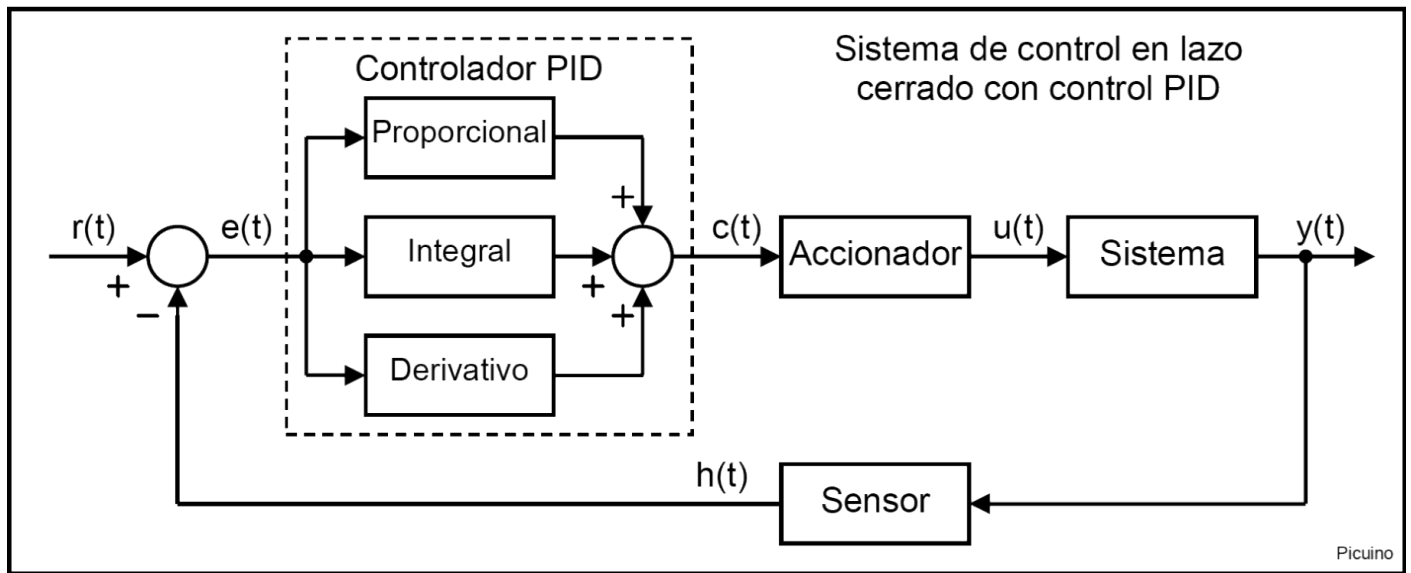
Algoritmes de control

Generalment, els convertidors AC/DC com aquest que es dissenya en aquest projecte transformen la tensió de la xarxa elèctrica la qual no sol estar regulada per altra continuada i regulada. Per a fer possible aquesta tasca un convertidor de potència s'ha constituït amb interruptors d'estat sòlid controlats. Aleshores, per garantir l'estabilitat del convertidor en tot rang de funcionament la variable que cal controlar pot ser tant la tensió de sortida com el corrent de la bobina o del díode. Per realitzar el control s'implementa un circuit capaç d'ajustar automàticament el temps que roman encès l'interruptor controlat del convertidor. On la magnitud a controlar mesurada pel sensor és comparada amb la tensió o corrent de referència i a partir de la comparació de totes dues, el regulador i el modulador generen el cicle de treball adequat per mantenir la tensió de sortida igual a la tensió de referència, davant les pertorbacions que pugui patir el convertidor.

Per aconseguir aquest ajustament automàtic, es realitza la modulació per amplada de pols en anglès Pulse-Width Modulation (PWM), que es defineix com la relació entre el temps que l'interruptor està tancat (T_{on}) i el període complet de commutació (T). Els interruptors als que es controla el seu encès i apagat són Transistors BJT, MOSFET, i IGBT.

L'algoritme de control més utilitzat i del qual es partirà per fer el disseny del controlador és el control PID. El controlador PID està format per tres elements que proporcionen una acció

Proporcional, Integral i Derivativa. Aquestes tres accions són les que donen nom al controlador PID.



Imatge 56 Esquema del PID per blocs.

El senyal $r(t)$ s'anomena referència i indica l'estat que es vol aconseguir a la sortida del sistema $i(t)$. En un sistema de control de temperatura, la referència $r(t)$ serà la temperatura desitjada i la sortida $i(t)$ serà la temperatura real del sistema controlat.

Com es pot veure a l'esquema anterior, l'entrada al controlador PID és el senyal d'error $e(t)$. Aquest senyal indica al controlador la diferència que hi ha entre l'estat que es vol aconseguir o la referència $r(t)$ i l'estat real del sistema mesurat pel sensor, senyal $h(t)$.

Si el senyal d'error és gran, vol dir que l'estat del sistema és lluny de l'estat de referència desitjat. Si l'error és petit, significa que el sistema ha assolit l'estat desitjat. Per regular aquest control i fer el sistema més ràpid, estable o robust es modifiquen i calculen els tres termes del PID:

- **Control proporcional** : Com el vostre nom indica, aquesta acció de control és proporcional al senyal d'error $e(t)$. Internament l'acció proporcional multiplica el senyal d'error per una K_p constant. Aquesta acció de control intenta minimitzar l'error del sistema. Quan l'error és gran, l'acció de control és gran i tendeix a minimitzar aquest error. Augmentar l'acció proporcional K_p té els efectes següents:
 - Augmenta la velocitat de resposta del sistema.
 - Disminueix l'error del sistema en règim permanent.
 - Augmenta la inestabilitat del sistema.
- **Control integral** : Aquesta acció de control com el nom indica, calcula la integral del senyal d'error $e(t)$. La integral es pot veure com la suma o l'acumulació del senyal d'error. A mesura que passa el temps petits errors es van sumant per fer que l'acció

integral sigui cada vegada més gran. Amb això s'aconsegueix reduir l'error del sistema en règim permanent. El desavantatge d'utilitzar l'acció integral consisteix que aquesta afegeix una certa inèrcia al sistema i, per tant, el fa més inestable.

Augmentar l'acció integral K_i té els efectes següents:

- Disminueix l'error del sistema en règim permanent.
 - Augmenta la inestabilitat del sistema.
 - Augmenta una mica la velocitat del sistema.
- **Control derivatiu** : Com el seu nom indica, aquesta acció de control és proporcional a la derivada del senyal d'error $e(t)$. La derivada de l'error és una altra manera de cridar a la "velocitat" de l'error. Tot seguit es veurà perquè és tan important calcular aquesta velocitat. A les gràfiques anteriors, quan la posició es troba per sota de 150mm, l'acció de control proporcional sempre intenta augmentar la posició. El problema ve en tenir en compte les inèrcies. Quan el sistema es mou a una velocitat alta cap al punt de referència, el sistema es passarà de llarg degut a la seva inèrcia. Això produeix un sobre-pols i oscil·lacions al voltant de la referència. Per evitar aquest problema, el controlador ha de reconèixer la velocitat a què el sistema s'acosta a la referència per poder frenar-lo amb antelació a mesura que s'acosti a la referència desitjada i evitar que la sobrepassi.

Augmentar la constant de control derivativa K_d té els efectes següents:

- Augmenta l'estabilitat del sistema controlat.
- Disminueix una mica la velocitat del sistema.
- L'error en règim permanent romandrà igual.

Amb aquest regulador es poden afegir al sistema un conjunt de pols i zeros per garantir l'estabilitat del sistema en llaç tancat i regular millor aquest sistema.

ARDUINO



1. Botó de reset. Serveix per inicialitzar novament el programa carregat al microcontrolador de la placa. Quan deixeu de respondre l'Arduino Un és el botó d'encesa o apagat perquè es torni a restablir.
2. & 3. Pins o ports d'entrada i sortida són els pins on connectar els sensors, components i actuadors que necessitin senyals digitals
4. Port USB. Utilitzat tant per connectar amb un ordinador i transferir o carregar els programes al microcontrolador com per donar electricitat a l'Arduino. També s'usa com a port de transferència sèrie a la placa, tant per a transmissió com per a recepció de dades.
5. Xip d'interfície USB és l'encarregat de controlar la comunicació amb el port USB.
6. Rellotge oscil·lador. És l'element que fa que l'Arduino vagi executant les instruccions. És l'encarregat de marcar el ritme al qual cal executar cada instrucció del programa.
7. Led d'encesa. És un petit LED que s'il·lumina quan la placa està correctament alimentada.
8. Microcontrolador. Aquest és el cervell de qualsevol placa Arduino. És el processador que s'encarrega d'executar les instruccions dels programes.
9. Regulador de tensió. Aquest serveix per controlar la quantitat d'electricitat que s'envia als pins, de manera que assegura que no es faci malbé el que connectem a aquestes pins.
10. Port de corrent continu. Aquest port és el que es fa servir per donar electricitat a la placa si no es fa servir alimentació USB.
11. Sòcol de tensió. Aquí estaran els pins amb què alimentarem el nostre circuit.
12. Entrades analògiques. Sòcol amb diferents pins d'entrada analògica que permeten llegir entrades analògiques.

CODI ARDUINO

```
//Biblioteca
#include <MsTimer2.h>
float Ts = 0.0001282;

//InicIALIZACIÓ DEL GRAFCET
boolean P=0, Q=0, X=0, C=0, D=0, A=0, R=0;
boolean E[3]={1, 0, 0};

//Pins
const int pinP =2, pinQ =3, pinI =4, pinC =5, pinD =6, pinA =7, pinR =8;

//REFERÈNCIES
float I_ref = 30.0; // valor de 0,5C
float V_ref = 90.0; // valor tensió constant

//SENSORS
int estat_A0 = 0; //lectura sensor corrent
int estat_A1 = 0; //lectura sensor voltatge
int estat_A2 = 0; //lectura sensor temperatura
float Vbat;
float lbat;
float T;
float m ;
float alpha;
float lbat_m=0.0;
int n=0 ;

//PI corrent
float u_c = 0.0 ;
volatile float I=0.0 ;
float e;
float kp_c= 0.000317;
float qi_c= 210.536;
```

```
//PI tensió
volatile float u_v = 0.0;
float kp_v=0.00317;
float qi_v=2105.54;

//Variables Antiwindup
float umax = 1.0;
float umin = 0.0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  // Frecuencia de commutació 7,8kHz
  setPWMPrescaler(pinC, 8);

  //Entrades Digitals
  pinMode(pinP, INPUT_PULLUP); //Polsador Marxa
  pinMode(pinQ, INPUT); //Polsador Paro

  //Eixides digitals
  pinMode(pinD, OUTPUT); //Llum temperatura
  pinMode(pinA, OUTPUT); //Llum marxa
  pinMode(pinR, OUTPUT); //Llum paro

  //Constants
  m = 28.8 / 254.0;
  alpha= 0.385;

  //Rutina periòdica
  MsTimer2::set(Ts * 1000, rutina_periodica);
  MsTimer2::start();
}

void loop() {
```

```

//botonera
P= digitalRead(pinP); //estat marxa
Q= digitalRead(pinQ); //estat paro

//mesura de corrent, temperatura i tensió
estat_A0 = analogRead(A0); //valor corrent
estat_A1 = analogRead(A1); //valor tensió
estat_A2 = analogRead(A2); //valor sensor temp

//lectura dels sensor
Ibat = (estat_A0 * 30.0 / 512.0 - 30.0); //operació per transformar a corrent
Vbat = estat_A1 * m; //operació per transformar a voltatge
T= (10230.0/estat_A2-11)/alpha; //operació obtenir temperatura

//mitjana Corrent
Ibat_m= Ibat_m+Ibat;
n++;

//GRAFCECT
if (!Q||T>100){ //si polse el paro o la temperatura de l'IGBT és superior a 100, va a l'etapa
inicial.
    E[0]=1; E[1]=0;E[2]=0;
    }
if (E[0] && P){ //transició A
    E[0]=0; E[1]=1;
    }
if (E[1] && Vbat>85){//transició B
    E[1]=0; E[2]=1;
    }
if (E[2] && Vbat>89){//transició C
    E[2]=0;
    E[0]=1;
    }

```

```
//ACTIVACIÓ D'EIXIDES GRAFCET
A = (E[1] || E[2]);
R= (E[0]);
D= (T>100);
digitalWrite(pinD, D); //borne 6
digitalWrite(pinA, A); //borne 7
digitalWrite(pinR, R); //borne 8
}
```

```
// control
void rutina_periodica() {
  if (E[1]) {
    //Control I
    e = I_ref - Ibat_m/n;
    I = I + qi_c * e;
    u_c = kp_c * e + I;

    //Antiwind_up
    if (u_c > umax) {
      u_c = umax;
      I = I - qi_c * e;
    }
    if (u_c < umin) {
      u_c = umin;
      I = I - qi_c * e;
    }
    analogWrite(pinC, u_c * 255.0);
  }
  if (E[2]) {
    //Control V
    e = V_ref - Vbat;
    I = I + qi_v * e;
    u_v = kp_v * e + I;

    //Antiwind_up
```

```

if (u_v > umax) {
    u_v = umax;
    l = l - qi_v * e;
}
if (u_v < umin) {
    u_v = umin;
    l = l - qi_v * e;
}
analogWrite(pinC, u_v*255.0);
}
lbat_m= 0.0;
n=0;
}

```

//Escalar l'arduino a la freqüència desitjada

```

void setPWMPrescaler(uint8_t pin, uint16_t prescale) {
    byte mode;
    if(pin == 5 || pin == 6 || pin == 9 || pin == 10) {
        switch(prescale) {
            case 1: mode = 0b001; break;
            case 8: mode = 0b010; break;
            case 64: mode = 0b011; break;
            case 256: mode = 0b100; break;
            case 1024: mode = 0b101; break;
            default: return;
        }
    }
    else if(pin == 3 || pin == 11) {
        switch(prescale) {
            case 1: mode = 0b001; break;
            case 8: mode = 0b010; break;
            case 32: mode = 0b011; break;
            case 64: mode = 0b100; break;
            case 128: mode = 0b101; break;
            case 256: mode = 0b110; break;
            case 1024: mode = 0b111; break;
        }
    }
}

```



```
    default: return;
  }
}
if(pin==5 || pin==6) {
  TCCR0B = TCCR0B & 0b11111000 | mode;
} else if (pin==9 || pin==10) {
  TCCR1B = TCCR1B & 0b11111000 | mode;
} else if (pin==3 || pin==11) {
  TCCR2B = TCCR2B & 0b11111000 | mode;
}
}
```

MANUAL BATERIA



ABERVIAN

Manual de Usuario

Batería Electric KartCross

9/11/2021

Batería Electric KartCross

Manual de Usuario

CONTENIDO

1. Alcance	2
2. Especificaciones Técnicas.....	2
2.1. Esquema Eléctrico	2
2.2. Pinout de conectores	3
2.3. Hoja de especificaciones	5
3. Instalación	6
4. Puesta en Marcha	7
5. Guía de Uso.....	7
5.1. Pantalla Táctil	7
5.2. Configuración de parámetros.....	9
5.3. <i>Multi-Purpose Input</i>	12
6. Listado de Alarmas	12
7. Mantenimiento	13
7.1. Mantenimiento General.....	13
7.2. Almacenamiento a largo plazo.....	14
7.3. Otras precauciones para el correcto mantenimiento de la batería.....	14
7.4. Transporte y reciclaje de la batería.....	15
8. Obligaciones	15

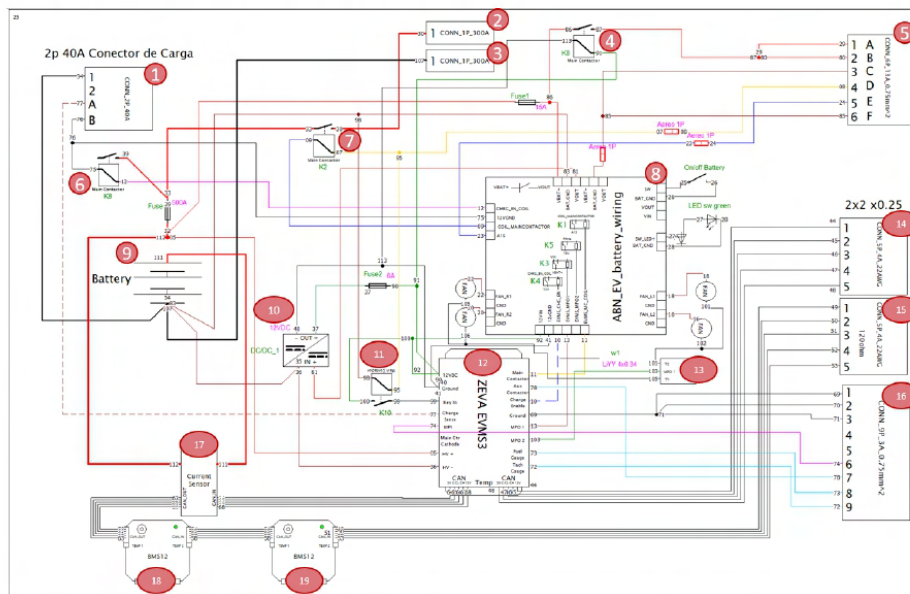
1. Alcance

El objetivo de este manual es proporcionar las indicaciones necesarias para el correcto uso, instalación y mantenimiento de la batería del KartCross. El uso y mantenimiento de la batería está destinado a personal sin una formación especial, para la instalación, será necesario un técnico cualificado.

El producto entregado tiene la categoría de **prototipo** y como tal no es objeto de aplicabilidad ninguna normativa o certificación. Es responsabilidad única y exclusiva del usuario un uso correcto y seguro, aun siguiendo las directrices del presente manual.

2. Especificaciones Técnicas

2.1. Esquema Eléctrico



1. **Conector de carga de la batería:** Permite la carga de las baterías.
2. **Conector principal de descarga (Borne +):** Borne positivo de la batería del KartCross.
3. **Contacto principal de descarga (Borne -):** Borne positivo de la batería del KartCross.
4. **Contacto 1:**
5. **Conector externo 1 (6 pins)**
6. **Contacto 2:** Activar/desactivar la carga de la batería desde el exterior.

Bateria Electric KartCross

Manual de Usuario

7. **Contactador 3:** Activar/desactivar la carga entre los bornes de la batería
8. **Placa cableado de la batería**
9. **Batería:** Conjunto de celdas que conforman la batería.
10. **Convertidor DC/DC:** Transforma la tensión de la batería a 12 V.
11. **Contactador 4**
12. **ZEVA EVMS (Electric Vehicle Management System)**
13. **Lógica de activación de ventiladores.**
14. **Connector externo 2 (5 pines con protocolo CAN)**
15. **Connector externo 3 (5 pines con protocolo CAN)**
16. **Connector externo 4 (9 Pines)**
17. **Sensor de corriente**
18. **BMS1 (Battery Management System)**
19. **BMS2 (Battery Management System)**

2.2. Pinout de conectores

Conector de carga

PIN	PIN OUT
1	V BAT
2	BAT GND
A	Charge sense (No accesible desde el exterior)
B	GND (No accesible desde el exterior)

Conector principal de descarga (Borne +)

PIN	PIN OUT
1	V BAT

Conector principal de descarga (Borne -)

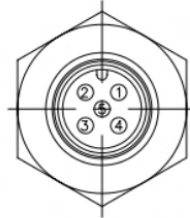
PIN	PIN OUT
1	BAT GND

Conector externo 1 (6 Pines) - DS3102A-18-12S AMPHENOL

PIN	PIN OUT	TENSIÓN (V)	CORRIENTE (A)
1	Key switch	90	5
2	Positivo Alimentación DC/DC 300W	90	4,5
3	Negativo Batería	90	5
4	Bobina Contactador	90	2,5
5	Bobina contactor a través de relé interno	90	2,5
6	Refuerzo Negativo Batería	90	5

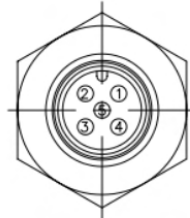
Bateria Electric KartCross

Manual de Usuario

Conector externo 3 (5 Pines) – Protocolo CAN - TWM12P-05PMMS-SC AMPHENOL

PIN ASSIGNMENTS
FRONT VIEW 前視圖

PIN	PIN OUT	TENSIÓN (V)	CORRIENTE (A)
1	12V OUT	12	2
2	GND OUT	12	2
3	CAN H	-	-
4	CAN L	-	-
5	Shield	-	-

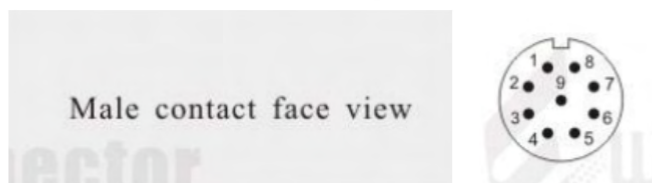
Conector externo 3 (5 Pines) – Protocolo CAN

PIN ASSIGNMENTS
FRONT VIEW 前視圖

PIN	PIN OUT	TENSIÓN (V)	CORRIENTE (A)
1	12V OUT	12	2
2	GND OUT	12	2
3	CAN H	-	-
4	CAN L	-	-
5	Shield	-	-

Bateria Electric KartCross

Manual de Usuario

Conector externo 4 (9 Pines) – SP1312/S9 WEIPU

PIN	PIN OUT	TENSIÓN (V)	CORRIENTE (A)
1	GND	-	-
2	GND	-	-
3	GND	-	-
4	-	-	-
5	-	-	-
6	MPI	12	<0,1
7	Aux Contactor	12	0,5
8	Fuel Gauge	12	0,5
9	Tach Gauge	12	0,5

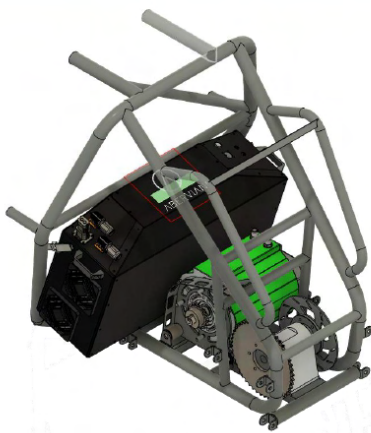
2.3. Hoja de especificaciones

Configuración	24s3p
Tensión Nominal	76.8 V
Capacidad Nominal	60 Ah
Tensión máxima	91.2 V
Tensión mínima	62.4 V
Rango de funcionamiento	67.2 V – 88.8 V
Corriente de descarga óptima	< 30 A (0.5C)
Corriente máxima de descarga	180 A (3C)
Pico máximo de descarga	< 600 A (10C)
Corriente de carga óptima	< 39 A
Corriente máxima de carga	< 60 A
Vida útil (80% DoD a 20°C)	> 2000 ciclos a 0.5C > 1500 ciclos a 1C
Autodescarga	< 3% al mes
Temperatura de operación (carga)	0 a 45 °C
Temperatura de operación (descarga)	-25 a 55 °C
Dimensiones	
Peso	65 kg

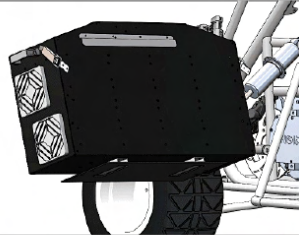

3. Instalación



La conexión eléctrica debe realizarse con el sistema apagado



La batería va ubicada en la posición indicada en la figura superior. Para el propio anclaje:

<p>1. Apoye la batería en la bandeja auxiliar destinada a tal efecto, soldada en el chasis del KartCross. Por su peso, se necesitan dos personas para instalar la batería sobre la bandeja.</p>	
<p>2. Utilice los cierres situados a cada lado de la batería, en la zona superior, para sujetar la batería.</p>	
<p>3. Fije la batería atomillando las 4 posiciones destinadas a tal efecto, situadas en la parte inferior de la batería.</p>	

Batería Electric KartCross

Manual de Usuario

Realizar las conexiones auxiliares:

1. Conector externo 1
2. Conectores externos 3 para la comunicación CAN.
3. Conector externo 4.

Una vez realizadas las conexiones de los elementos auxiliares, conectar los conectores principales de potencia:

Naranja		Positivo
Negro		Negativo

4. Puesta en Marcha

Una vez instalada correctamente en el vehículo, el arranque se realiza siguiendo los pasos siguientes:



Una conexión incorrecta de los bornes podría producir daños irreparables en la batería y en los sistemas acoplados

1. Pulsar el botón de encendido.
2. Monitorizar el estado de la batería desde la pantalla siguiendo las indicaciones de 5 Guía de Uso.

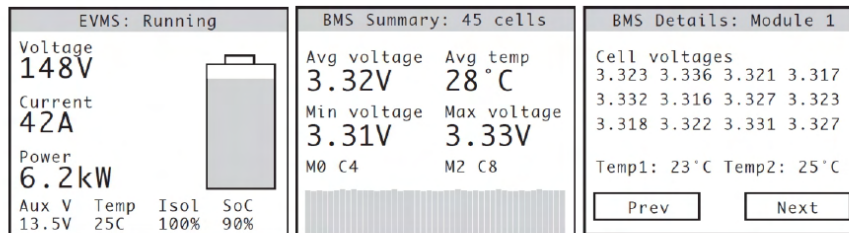
5. Guía de Uso

5.1. Pantalla Táctil

El sistema incorpora una pantalla táctil para ofrecer toda la información relevante de la batería. Se puede navegar por los diferentes paneles **pulsando sobre la mitad izquierda o derecha** de la pantalla.

Bateria Electric KartCross

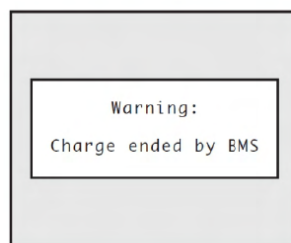
Manual de Usuario



1. Pantalla principal con la información de tensión total, corriente, potencia, tensión auxiliar, temperatura, nivel de aislamiento y estado de carga.
2. Pantalla resumen de los datos del BMS. Número total de celdas, tensión media por celda, temperatura media, tensión y localización de las celdas con valores máximos y mínimos. En la parte inferior se presenta un gráfico de barras con la tensión de cada celda de forma individual. La celda se representará en diferentes colores en función de su estado:

Verde	La celda se encuentra dentro de rango.
Azul	Aviso por tensión baja de celda.
Naranja	La celda está siendo balanceada.
Rojo	Aviso por tensión elevada de la celda.
3. Información detallada de un módulo de BMS individual mostrando la tensión de cada celda con 3 cifras decimales y dos indicaciones de temperatura. Las indicaciones naranjas bajo la tensión de cada celda indican que los *shunts* de esa celda están activos. Se habilitan 2 botones de navegación para cambiar entre los diferentes módulos BMS que se incluyen. Una pulsación en el resto de la pantalla cambia de panel de la manera habitual.

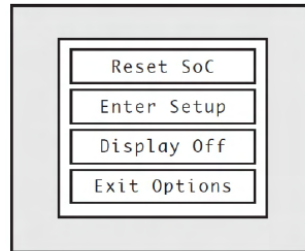
En el momento en el que salte alguna alarma se mostrará una pantalla de advertencia mostrando dicho error y, en la mayoría de los casos, un botón de confirmación de recepción del error.



El sistema incorpora un menú de configuración accesible manteniendo pulsado durante un segundo en cualquier punto de la pantalla. Aquí puedes hacer un reset del estado de carga (devolverlo al 100%), entrar en el menú de configuración y apagar la pantalla.

5.2. Configuración de parámetros

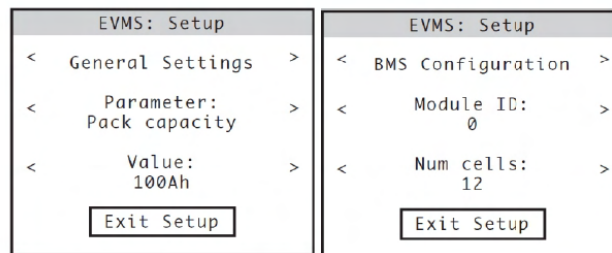
Con la pantalla apagada, pulsa y mantén pulsado en cualquier lugar durante un segundo para encenderla de nuevo. Si ocurre alguna alarma la pantalla se encenderá automáticamente para mostrar el aviso.



El acceso al modo de configuración sólo es posible cuando no se está conduciendo ni cargando el vehículo.



Toda modificación realizada en los parámetros de configuración se realizará bajo la responsabilidad del usuario.



El menú de configuración se estructura en dos grandes categorías, *General Settings* y *BMS Configuration*. Alternar entre uno y otro se realiza pulsando sobre las flechas situadas a izquierda y derecha de la primera fila del menú de configuración.

El menú de *BMS Configuration* permite informar a cada módulo BMS de cuantas celdas tiene monitorizadas.

En el apartado de *General Settings* la segunda fila indica el parámetro a modificar y el tercer nivel el valor del parámetro. En la siguiente tabla se muestran los diferentes parámetros accesibles. Algunos parámetros de configuración podrían mostrarse en la pantalla, pero no aparecer en esta tabla; estos parámetros o bien no están disponibles en el sistema o bien su configuración por defecto es fundamental para el correcto funcionamiento de la batería.

Bateria Electric KartCross

Manual de Usuario

Nombre	Rango (Valor por defecto)	Descripción
<i>Pack Capacity</i>	5 – 1250Ah (100Ah)	Capacidad nominal de la batería en Ah.
<i>SoC Warning</i>	0 – 99% (20%)	Nivel de estado de carga mínimo. Al alcanzar este nivel se levantará una alarma. Utiliza el 0% para eliminar la alarma.
<i>Full Voltage</i>	1 – 400V (160V)	El sistema utiliza este umbral de tensión para detectar cuando a carga ha finalizado. Tras una hora por encima de este nivel de tensión, el SoC será reseteado al 100%.
<i>Warm Current</i>	0 – 1200A (Off)	El sistema elevará una alarma cuando la corriente supere este valor. Un valor superior a 1200A desactiva esta alarma.
<i>Trip Current</i>	0 – 1200A (Off)	El sistema elevará una alarma y desconectará el sistema cuando la corriente supere este valor. Un valor superior a 1200A desactiva esta alarma.
<i>EVMS Temp Warning</i>	0 – 150°C (Off)	El sistema elevará una alarma cuando la temperatura del controlador supere este valor. No desconectará el sistema, pero se recomienda detener la conducción y analizar el origen del problema. Esta alarma es independiente de las alarmas de temperatura proporcionadas por los módulos de BMS.
<i>Min Aux Voltage</i>	0 – 14V (10V)	Si la alimentación Auxiliar de 12V cae por debajo de este valor durante más de 5 segundos, se elevará una alarma para avisar de una posible deficiencia en la batería de 12V o en el DC/DC.
<i>Min Isolation</i>	0 – 100% (50%)	Una alarma se elevará si la integridad del aislamiento entre el circuito de tracción y el chasis desciende por debajo del valor establecido.
<i>Tacho PPR</i>	1 – 6 (2)	El sistema puede hacer trabajar el tacómetro del vehículo como amperímetro mostrando cientos de amperios en lugar de miles de revoluciones por minuto. Normalmente los tacómetros esperan un valor de Pulsos por Revolución.
<i>Fuel Gauge Full</i>	0 – 100%	Estos parámetros permiten variar la configuración de los indicadores físicos del vehículo para ajustar la salida. Mientras se modifica cada parámetro el sistema habilitará las salidas para que el ajuste se pueda realizar visualmente.
<i>Fuel Gauge Empty</i>	0 – 100%	
<i>Temp Gauge Hot</i>	0 – 100%	
<i>Temp Gauge Cold</i>	0 – 100%	
<i>BMS: Min Voltage</i>	1.50 – 4.00V (2.5V)	Umbral de aviso por tensión de celda insuficiente.
<i>BMS: Max Voltage</i>	2.00 – 4.50V (3.8V)	Umbral de aviso por tensión de celda insuficiente.
<i>Balance Threshold</i>	2.00 – 4.50V, Dynamic, Off. (Dynamic)	Tensión de balanceo a partir de la cual los módulos BMS balancearán las celdas altas. Se puede fijar una tensión concreta



Batería Electric KartCross

Manual de Usuario

		(normalmente la tensión máxima de carga) a modo de "límite de carga", un balanceo dinámico para que se balanceen todas las celdas constantemente a la tensión media o apagar para deshabilitar el balanceo.
<i>BMS: Min Temp</i>	Off, -39 – 100°C (Off)	Rango de temperaturas fuera del cual se apagará automáticamente el sistema. Cuando está en funcionamiento, se lanzará un aviso y 10 segundos después se apagará el sistema. Se puede anular el apagado confirmando la recepción del aviso.
<i>BMS: Max Temp</i>	Off, -40 – 100°C (Off)	
<i>Sleep Delay</i>	1 – 5 min, Off (5min)	Configura el tiempo para entrar en modo de ahorro de energía cuando está en reposo. Se puede desactivar, pero la electrónica seguirá consumiendo, lo que reducirá la duración de la batería.
<i>MPI Function</i>	Varios	Configura las funciones de <i>Multi-Purpose Input</i> . Más información en la sección 5.3.
<i>MPO1 Function</i>	Varios	Ambas MPO están configuradas por defecto para ser utilizadas en el uso del botón de encendido y del control de los ventiladores respectivamente. ¡OJO! Modificar este parámetro puede ocasionar un mal funcionamiento del sistema.
<i>MPO2 Function</i>		
<i>Parallel Strings</i>	1 – 20 (1)	El sistema calcula la tensión total de la batería mediante la suma de sus celdas. En el caso de tener múltiples grupos en paralelo, configura este parámetro para informar al sistema.
<i>Enable Precharge</i>	Yes / No (Yes)	Se puede deshabilitar el sistema de precarga interna. ¡OJO! Asegúrese de que el sistema no lo necesita o la batería podría dañarse para siempre.
<i>Rev Current Disp.</i>	Yes / No (No)	<i>Reverse Current Display</i> . Por defecto, la corriente se muestra positiva en la descarga y la carga negativa.
<i>Night Brightness</i>	0 – 100% (20%)	Ajusta el brillo de la pantalla LCD en momentos de baja luminosidad ambiente. Puedes alternar entre el modo noche y el diurno desplazando el dedo de arriba abajo en la pantalla o utilizando la MPI como sensor de luminosidad.
<i>Buzzer On</i>	Yes / No (Yes)	Permite desactivar las alertas sonoras.
<i>Use Fahrenheit</i>	Yes / No (No)	Cambia la visualización de las unidades de temperatura.
<i>SoC Display</i>	<i>Percent / Amp-Hours (Percent)</i>	Preferencia de visualización del estado de carga, en porcentaje o en Amperios-Hora.

5.3. Multi-Purpose Input

La salida MPI está cableada y disponible en el pin 6 del Connector externo 4. Es una entrada con alta impedancia para que su consumo sea mínimo.

Nombre	Descripción
<i>Wake up</i>	Conectar a masa para despertar el sistema de su estado de reposo. (Todas las otras opciones también despertarán al sistema).
<i>Hdlight In</i>	Al conectar 12V en esta entrada se entenderá que la iluminación del vehículo está activada y se aplicará la configuración de baja luminosidad ambiente.
<i>Ctr Aux Sw</i>	Conectar a la salida auxiliar del contactor principal (con el otro lado conectado a masa) para informar al sistema del estado del contactor principal.

6. Listado de Alarmas

Alarma	Descripción
<i>Overcurrent Warning</i>	La corriente de batería ha sobrepasado el umbral definido durante más de 1 segundo.
<i>Overcurrent Shutdown</i>	La corriente de batería ha sobrepasado el umbral definido durante más de 1 segundo. Esta alarma supondrá un apagado de la batería.
<i>BMS – Low Cell</i>	Un módulo de BMS ha reportado una tensión de celda inferior al umbral mínimo definido.
<i>Shutdown by BMS</i>	Una celda ha reportado una tensión inferior a la definida durante más de 10 segundos.
<i>BMS – High Cell</i>	Un módulo de BMS ha reportado una tensión de celda superior al umbral máximo definido.
<i>Charge Ended by BMS</i>	La carga se ha detenido porque una celda ha superado su umbral máximo definido.
<i>BMS – Overtemp</i>	Un módulo de BMS ha reportado una temperatura superior al umbral definido y el sistema se apagará por seguridad.
<i>BMS – Undertemp</i>	Un módulo de BMS ha reportado una temperatura inferior al umbral definido y el sistema se apagará por seguridad.
<i>Low Battery Charge</i>	El estado de carga de la batería es inferior al umbral configurado.
<i>Over-Temperature</i>	El sensor de temperatura interno ha reportado una temperatura superior al umbral configurado.
<i>Isolation Fault</i>	Una fuga de corriente entre el circuito de potencia y el chasis superior al umbral definido ha sido detectada.
<i>Low 12V Battery</i>	La tensión de la alimentación de 12V es inferior al umbral definido.
<i>Precharge Failed</i>	Se ha detectado un error durante la secuencia de precarga, bien al intentar arrancar o bien porque ha tardado mucho en finalizar.

<i>Contactor Fault</i>	Si se utilizan contactores con conector auxiliar conectada a la MPI se mostrará este error cuando el estado proporcionado no coincida con el esperado.
<i>BMS – Comms Error</i>	Se ha perdido la comunicación con algún módulo BMS durante más de 1 segundo.
<i>No Comms to EVMS</i>	Se ha perdido la comunicación con la unidad de control central. Existe un problema en el bus CAN.
<i>Corrupt Settings</i>	Se ha detectado un error al guardar la configuración. Los parámetros se han actualizado a sus valores por defecto.

7. Mantenimiento

En este apartado se detallan todos los pasos a seguir para un correcto mantenimiento de la batería. Las baterías recargables de iones de litio requieren un mantenimiento rutinario y cuidado en su uso y manipulación. Lea y siga las directrices de este documento para utilizar de forma segura las baterías de iones de litio y lograr la máxima vida útil de la batería.



Un incorrecto mantenimiento de la batería puede desencadenar en daños irreparables.



Para realizar la carga de las baterías utilice siempre un cargador apropiado para baterías LFP y respete las corrientes máximas estipuladas en la tabla de especificaciones técnicas.

7.1. Mantenimiento General

Se deberá anotar el tiempo de funcionamiento para la batería cargada al 100% nueva y utilizar esta medida como referencia. El tiempo de funcionamiento puede variar en función de la configuración y uso del producto. Comprobar rutinariamente el estado de carga de la batería.

Es imprescindible monitorizar el estado de la batería frecuentemente para evitar daños en el producto. Revisar especialmente los siguientes puntos:

- Si el tiempo de funcionamiento de la batería se reduce hasta un 80% respecto a la medida original.
- Si el tiempo de carga de la batería aumenta considerablemente.



A medida que la batería envejece, estas comprobaciones deben volverse más frecuentes. Si en algún momento se observan estos signos de envejecimiento, considere que la vida útil de su batería está cercana a su fin.



Las baterías tienen una vida limitada y pierden gradualmente su capacidad útil. Este envejecimiento es inherente a la tecnología; es inevitable e irreversible.

7.2. Almacenamiento a largo plazo



Las baterías de iones de litio siguen descargándose lentamente cuando no se utilizan o cuando están almacenadas.

Para almacenar la batería durante largos periodos de tiempo se deben seguir las siguientes indicaciones:

1. Cargar o descargar la batería a aproximadamente un 50% de su capacidad antes de ser almacenada.
2. Cargar la batería alrededor de un 50% de su capacidad siempre que esta baje del 10% o de los 67.5V.
3. Almacenar la batería desconectada y separada del producto.
4. Tratar de evitar temperaturas extremas durante el almacenaje de la batería (entre 5°C y 20°C).

En caso de que la batería haya sido almacenada durante un largo periodo de tiempo sin que se hayan seguido las instrucciones de este manual, la batería podría estar dañada permanentemente.

7.3. Otras precauciones para el correcto mantenimiento de la batería

- No desmonte, aplaste o perforo una batería.
- No cortocircuite los contactos externos de una batería.
- Mantener la batería lejos del fuego y del agua.
- No exponga la batería a temperaturas superiores a 60 °C.
- Mantenga la batería fuera del alcance de los niños.
- Evite exponer la batería a golpes o vibraciones excesivas.
- Si una batería tiene fugas de líquido, no toque ningún líquido. Contacte con la administración local para informar de dicho evento y siga sus instrucciones para una correcta gestión del residuo.



- En caso de contacto con los ojos, no los frote. Enjuague inmediatamente los ojos a fondo con agua durante al menos 15 minutos, levantando los párpados superior e inferior hasta que no quede rastro del líquido. Buscar atención médica inmediatamente.

7.4. Transporte y reciclaje de la batería

Las baterías de ion litio están consideradas como mercancía peligrosa dentro de la normativa de la Unión Europea y la IATA, catalogadas con el UN3480. También es de aplicación la norma UN38.3. Compruebe siempre todas las normativas locales, nacionales e internacionales aplicables antes de transportar una batería de iones de litio.

Las baterías de iones de litio están sujetas a normas de eliminación y reciclaje que varían según el país y la región. Compruebe y siga siempre la normativa aplicable de su administración local de reciclaje de baterías.

8. Obligaciones

Lea atentamente esta sección. Ésta incluye, a modo resumen, todas las directrices que se deben seguir durante el uso de la batería.

1. Respetar las corrientes máximas establecidas en la tabla de especificaciones técnicas.
2. Respetar el rango temperatura de funcionamiento establecido en la tabla de especificaciones técnicas.
3. Utilizar un cargador apropiado para baterías de LFP para realizar la carga.
4. Poner especial atención a las modificaciones en los parámetros de configuración que se deseen realizar.
5. Atender a las alertas que el sistema comunique, tratando de resolver el problema lo antes posible.
6. Cuando almacene la batería durante un largo periodo de tiempo, hágalo al 80% del estado de carga y compruébelo periódicamente. Cargue la batería cuando esta baje del del 20% o de los 67.5 V por culpa de la autodescarga.
7. Infórmese de la legislación aplicable antes de transportar, reciclar o eliminar la batería.

IGBT

TOSHIBA

GT30J121

TOSHIBA Insulated Gate Bipolar Transistor Silicon N Channel IGBT

GT30J121

High Power Switching Applications

Fast Switching Applications

- Fourth-generation IGBT
- Enhancement mode type
- Fast switching (FS): Operating frequency up to 50 kHz (reference)
High speed: $t_f = 0.05 \mu\text{s}$ (typ.)
Low switching loss: $E_{on} = 1.00 \text{ mJ}$ (typ.)
 $E_{off} = 0.80 \text{ mJ}$ (typ.)
- Low saturation voltage: $V_{CE(sat)} = 2.0 \text{ V}$ (typ.)

Absolute Maximum Ratings ($T_a = 25^\circ\text{C}$)

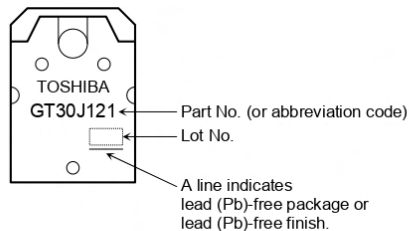
Characteristics	Symbol	Rating	Unit
Collector-emitter voltage	V_{CES}	600	V
Gate-emitter voltage	V_{GES}	± 20	V
Collector current	DC	I_C	30
	1 ms	I_{CP}	60
Collector power dissipation ($T_c = 25^\circ\text{C}$)	P_C	170	W
Junction temperature	T_j	150	$^\circ\text{C}$
Storage temperature range	T_{stg}	-55 to 150	$^\circ\text{C}$

Note: Using continuously under heavy loads (e.g. the application of high temperature/current/voltage and the significant change in temperature, etc.) may cause this product to decrease in the reliability significantly even if the operating conditions (i.e. operating temperature/current/voltage, etc.) are within the absolute maximum ratings.

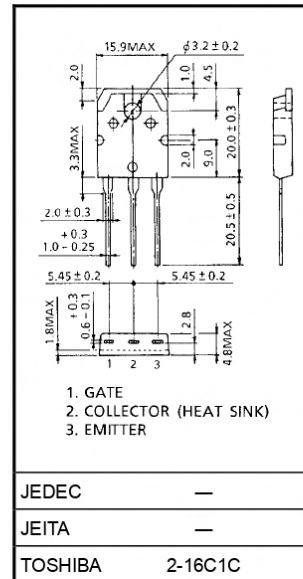
Please design the appropriate reliability upon reviewing the Toshiba Semiconductor Reliability Handbook ("Handling Precautions"/Derating Concept and Methods) and individual reliability data (i.e. reliability test report and estimated failure rate, etc).

Thermal Characteristics

Characteristics	Symbol	Max	Unit
Thermal resistance	$R_{th(j-c)}$	0.735	$^\circ\text{C/W}$

Marking

Unit: mm



Weight: 4.6 g (typ.)

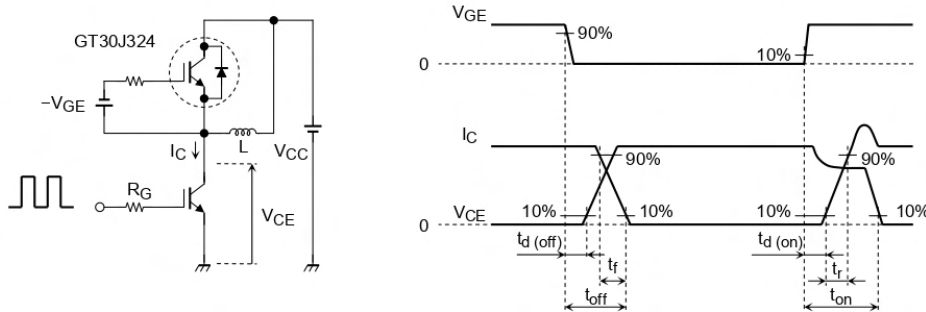
TOSHIBA

GT30J121

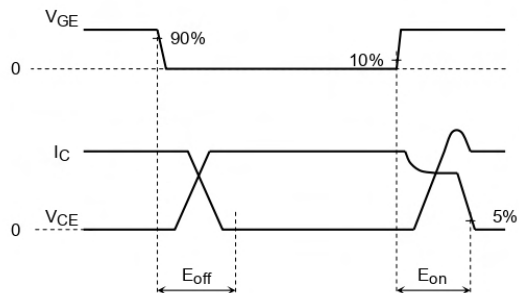
Electrical Characteristics (Ta = 25°C)

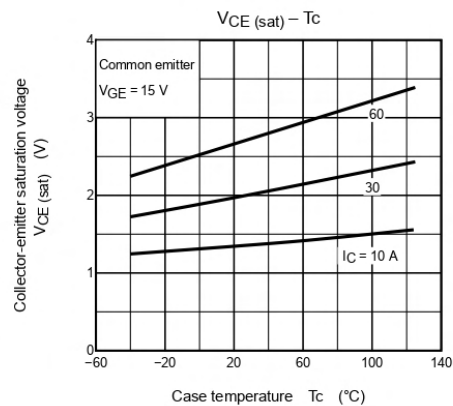
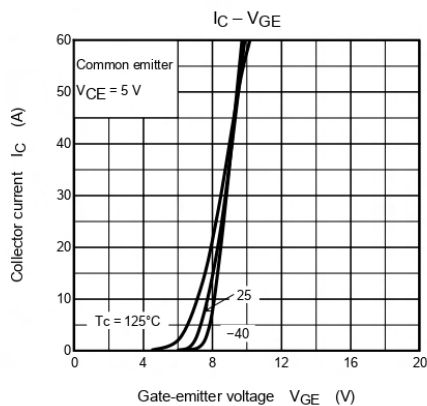
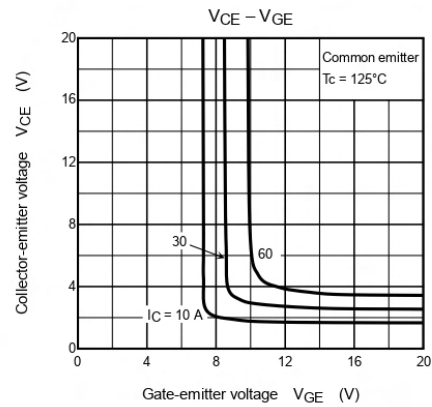
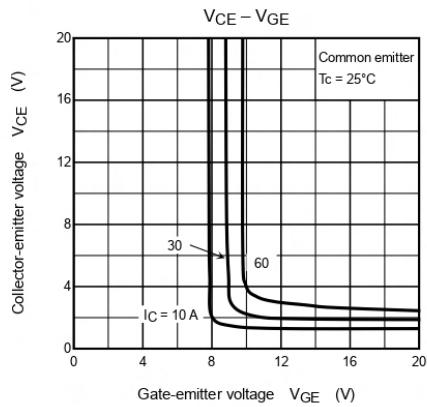
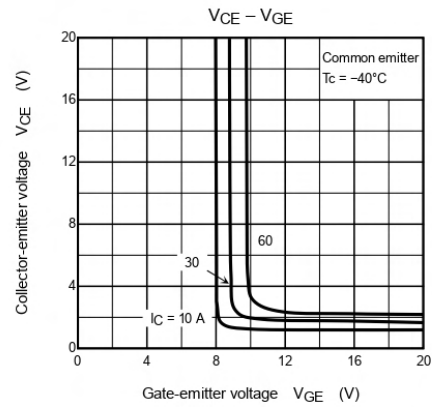
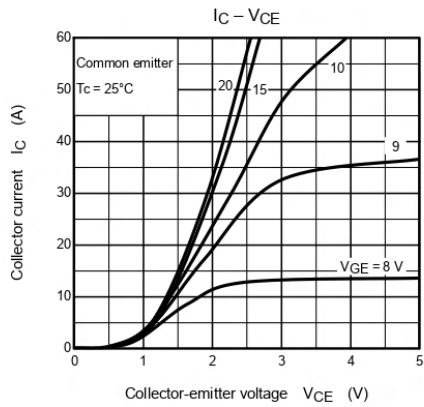
Characteristics		Symbol	Test Condition	Min	Typ.	Max	Unit
Gate leakage current		I_{GES}	$V_{GE} = \pm 20 \text{ V}, V_{CE} = 0$	—	—	± 500	nA
Collector cut-off current		I_{CES}	$V_{CE} = 600 \text{ V}, V_{GE} = 0$	—	—	1.0	mA
Gate-emitter cut-off voltage		$V_{GE (OFF)}$	$I_C = 3 \text{ mA}, V_{CE} = 5 \text{ V}$	3.5	—	6.5	V
Collector-emitter saturation voltage		$V_{CE (sat)}$	$I_C = 30 \text{ A}, V_{GE} = 15 \text{ V}$	—	2.0	2.45	V
Input capacitance		C_{ies}	$V_{CE} = 10 \text{ V}, V_{GE} = 0, f = 1 \text{ MHz}$	—	4650	—	pF
Switching time	Turn-on delay time	$t_d (on)$	Inductive Load $V_{CC} = 300 \text{ V}, I_C = 30 \text{ A}$ $V_{GG} = +15 \text{ V}, R_G = 24 \Omega$	—	0.09	—	μs
	Rise time	t_r		—	0.07	—	
	Turn-on time	t_{on}		—	0.24	—	
	Turn-off delay time	$t_d (off)$		—	0.30	—	
	Fall time	t_f		—	0.05	—	
	Turn-off time	t_{off}		—	0.43	—	
Switching loss	Turn-on switching loss	E_{on}	(Note 1)	—	1.00	—	mJ
	Turn-off switching loss	E_{off}	(Note 2)	—	0.80	—	

Note 1: Switching time measurement circuit and input/output waveforms



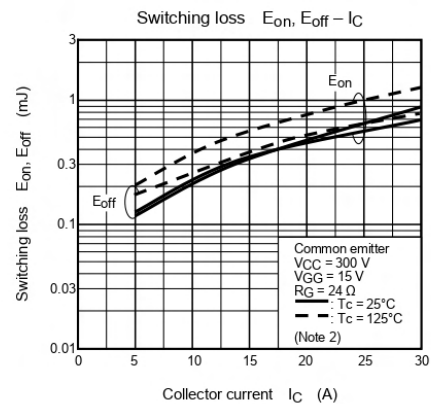
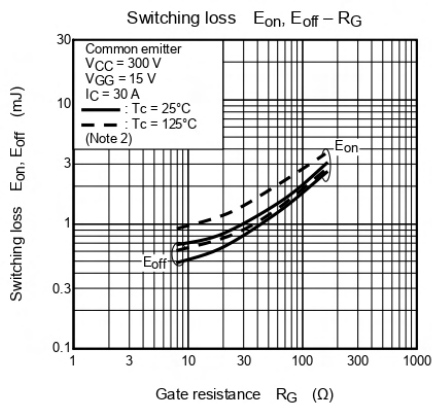
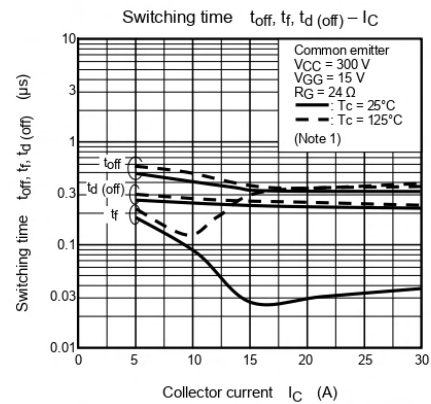
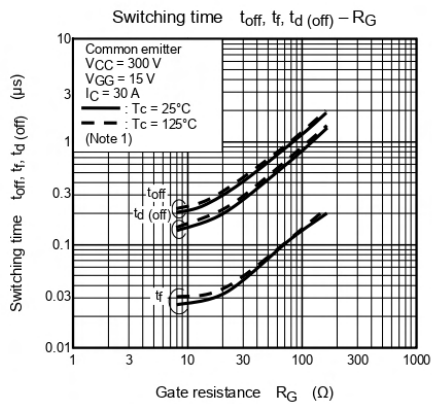
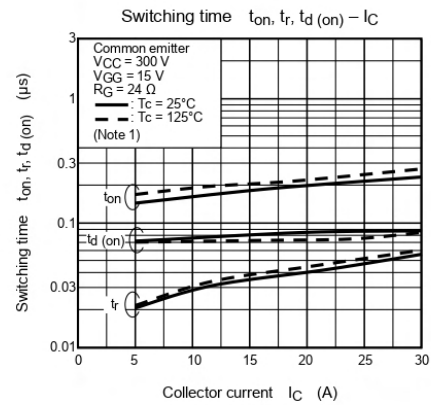
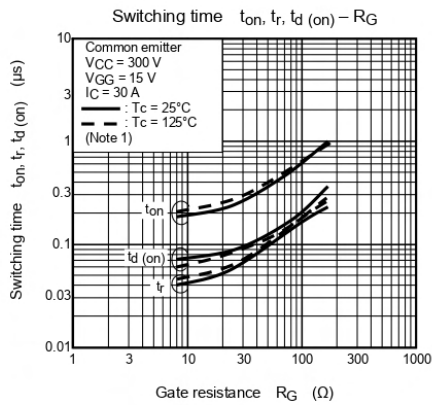
Note 2: Switching loss measurement waveforms

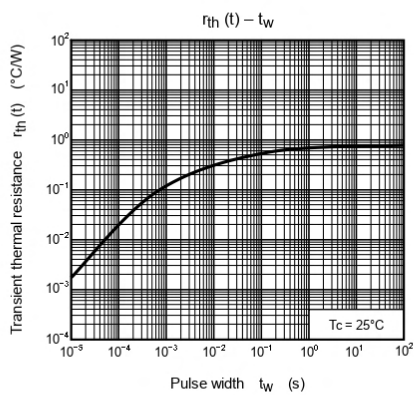
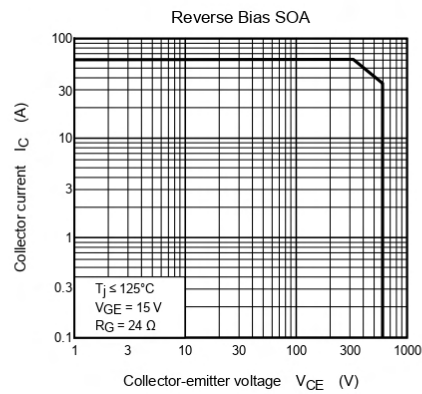
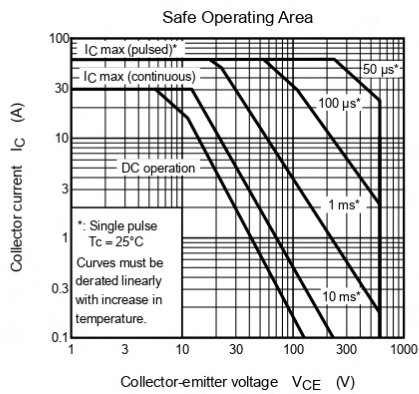
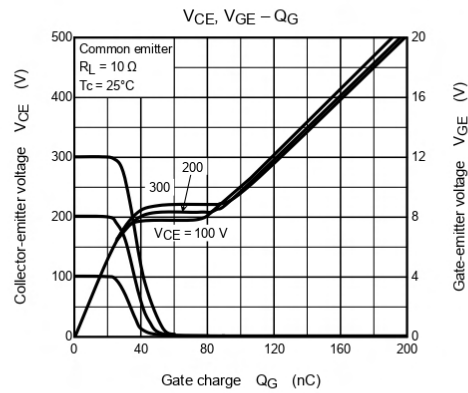
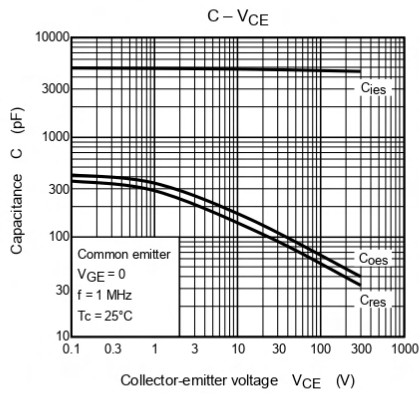


TOSHIBA**GT30J121**

TOSHIBA

GT30J121



TOSHIBA**GT30J121**

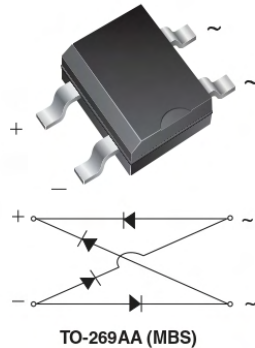
RESTRICTIONS ON PRODUCT USE

20070701-EN

- The information contained herein is subject to change without notice.
- TOSHIBA is continually working to improve the quality and reliability of its products. Nevertheless, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when utilizing TOSHIBA products, to comply with the standards of safety in making a safe design for the entire system, and to avoid situations in which a malfunction or failure of such TOSHIBA products could cause loss of human life, bodily injury or damage to property.
In developing your designs, please ensure that TOSHIBA products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent TOSHIBA products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the "Handling Guide for Semiconductor Devices," or "TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook" etc.
- The TOSHIBA products listed in this document are intended for usage in general electronics applications (computer, personal equipment, office equipment, measuring equipment, industrial robotics, domestic appliances, etc.). These TOSHIBA products are neither intended nor warranted for usage in equipment that requires extraordinarily high quality and/or reliability or a malfunction or failure of which may cause loss of human life or bodily injury ("Unintended Usage"). Unintended Usage include atomic energy control instruments, airplane or spaceship instruments, transportation instruments, traffic signal instruments, combustion control instruments, medical instruments, all types of safety devices, etc.. Unintended Usage of TOSHIBA products listed in this document shall be made at the customer's own risk.
- The products described in this document shall not be used or embedded to any downstream products of which manufacture, use and/or sale are prohibited under any applicable laws and regulations.
- The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA for any infringements of patents or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patents or other rights of TOSHIBA or the third parties.
- Please contact your sales representative for product-by-product details in this document regarding RoHS compatibility. Please use these products in this document in compliance with all applicable laws and regulations that regulate the inclusion or use of controlled substances. Toshiba assumes no liability for damage or losses occurring as a result of noncompliance with applicable laws and regulations.


www.vishay.com
MB2S, MB4S, MB6S

Vishay General Semiconductor

**Miniature Glass Passivated Fast Recovery
Surface Mount Bridge Rectifier**


TO-269AA (MBS)

FEATURES

- UL recognition, file number E54214
- Saves space on printed circuit boards
- Ideal for automated placement
- High surge current capability
- Meets MSL level 1, per J-STD-020, LF maximum peak of 260 °C
- Material categorization: For definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912


RoHS
COMPLIANT

TYPICAL APPLICATIONS

General purpose use in AC/DC bridge full wave rectification for power supply, lighting ballaster, battery charger, home appliances, office equipment, and telecommunication applications.

PRIMARY CHARACTERISTICS

Package	TO-269AA (MBS)
$I_{F(AV)}$	0.5 A
V_{RRM}	200 V, 400 V, 600 V
I_{FSM}	35 A
I_R	5 μ A
V_F at $I_F = 0.4$ A	1.0 V
T_J max.	150 °C
Diode variations	Quad

MECHANICAL DATA
Case: TO-269AA (MBS)

Molding compound meets UL 94 V-0 flammability rating Base P/N-E3 - RoHS-compliant, commercial grade

Terminals: Matte tin plated leads, solderable per J-STD-002 and JESD22-B102

E3 suffix meets JESD 201 class 1A whisker test

Polarity: As marked on body

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25$ °C unless otherwise noted)

PARAMETER	SYMBOL	MB2S	MB4S	MB6S	UNIT
Device marking code		2	4	6	
Maximum repetitive peak reverse voltage	V_{RRM}	200	400	600	V
Maximum RMS voltage	V_{RMS}	140	280	420	V
Maximum DC blocking voltage	V_{DC}	200	400	600	V
Maximum average forward output rectified current (fig. 1)	$I_{F(AV)}$	on glass-epoxy PCB ⁽¹⁾			A
		0.5			
		on aluminum substrate ⁽²⁾			
		0.8			
Peak forward surge current 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load	I_{FSM}	35			A
Rating for fusing ($t < 8.3$ ms)	I^2t	5.0			A ² s
Operating junction and storage temperature range	T_J, T_{STG}	- 55 to + 150			°C

Notes

⁽¹⁾ On glass epoxy PCB mounted on 0.05" x 0.05" (1.3 mm x 1.3 mm) pads

⁽²⁾ On aluminum substrate PCB with an area of 0.8" x 0.8" (20 mm x 20 mm) mounted on 0.05" x 0.05" (1.3 mm x 1.3 mm) solder pad

Revision: 19-Aug-13

1

Document Number: 88661

For technical questions within your region: DiodesAmericas@vishay.com, DiodesAsia@vishay.com, DiodesEurope@vishay.com

THIS DOCUMENT IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. THE PRODUCTS DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT www.vishay.com/doc?91000


www.vishay.com

MB2S, MB4S, MB6S

Vishay General Semiconductor

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)						
PARAMETER	TEST CONDITIONS	SYMBOL	MB2S	MB4S	MB6S	UNIT
Maximum instantaneous forward voltage per diode	$I_F = 0.4\text{ A}$	V_F	1.0			V
Maximum DC reverse current at rated DC blocking voltage per diode	$T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$	I_R	5.0			μA
	$T_A = 125\text{ }^\circ\text{C}$		100			
Typical junction capacitance per diode	4.0 V, 1 MHz	C_J	13			pF

THERMAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)					
PARAMETER	SYMBOL	MB2S	MB4S	MB6S	UNIT
Typical thermal resistance	$R_{\theta JA}^{(1)}$	85			$^\circ\text{C/W}$
	$R_{\theta JA}^{(2)}$	70			
	$R_{\theta JL}^{(1)}$	20			

Notes

(1) On glass epoxy PCB mounted on 0.05" x 0.05" (1.3 mm x 1.3 mm) pads

(2) On aluminum substrate PCB with an area of 0.8" x 0.8" (20 mm x 20 mm) mounted on 0.05" x 0.05" (1.3 mm x 1.3 mm) solder pad

ORDERING INFORMATION (Example)				
PREFERRED P/N	UNIT WEIGHT (g)	PREFERRED PACKAGE CODE	BASE QUANTITY	DELIVERY MODE
MB2S-E3/45	0.22	45	100	Tube
MB2S-E3/80	0.22	80	3000	13" diameter paper tape and reel

RATINGS AND CHARACTERISTICS CURVES ($T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

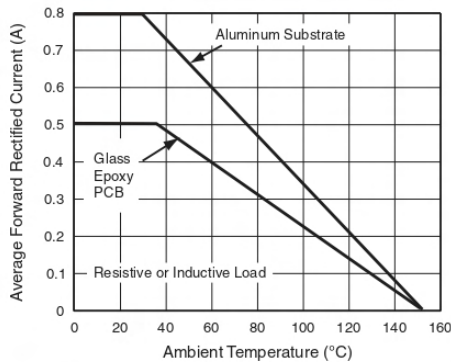


Fig. 1 - Derating Curve for Output Rectified Current

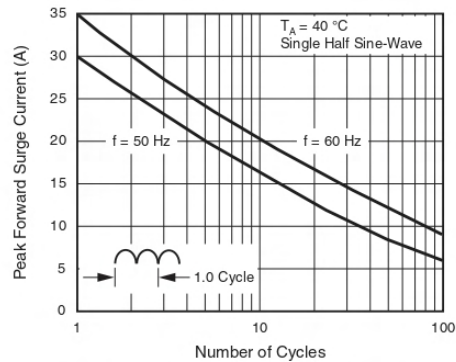


Fig. 2 - Maximum Non-Repetitive Peak Forward Surge Current Per Diode

Revision: 19-Aug-13

2

Document Number: 88661

For technical questions within your region: DiodesAmericas@vishay.com, DiodesAsia@vishay.com, DiodesEurope@vishay.com

THIS DOCUMENT IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. THE PRODUCTS DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT www.vishay.com/doc?91000



www.vishay.com

MB2S, MB4S, MB6S

Vishay General Semiconductor

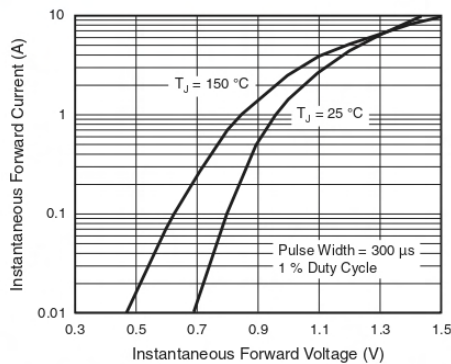


Fig. 3 - Typical Forward Voltage Characteristics Per Diode

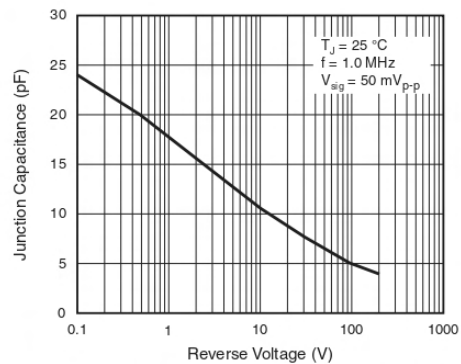


Fig. 5 - Typical Junction Capacitance Per Diode

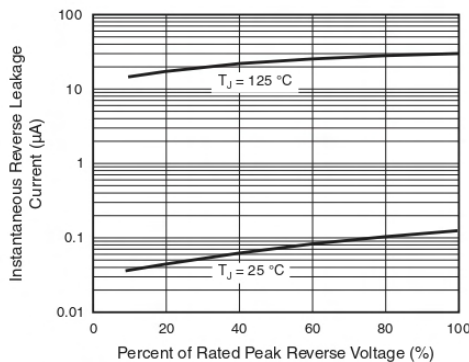
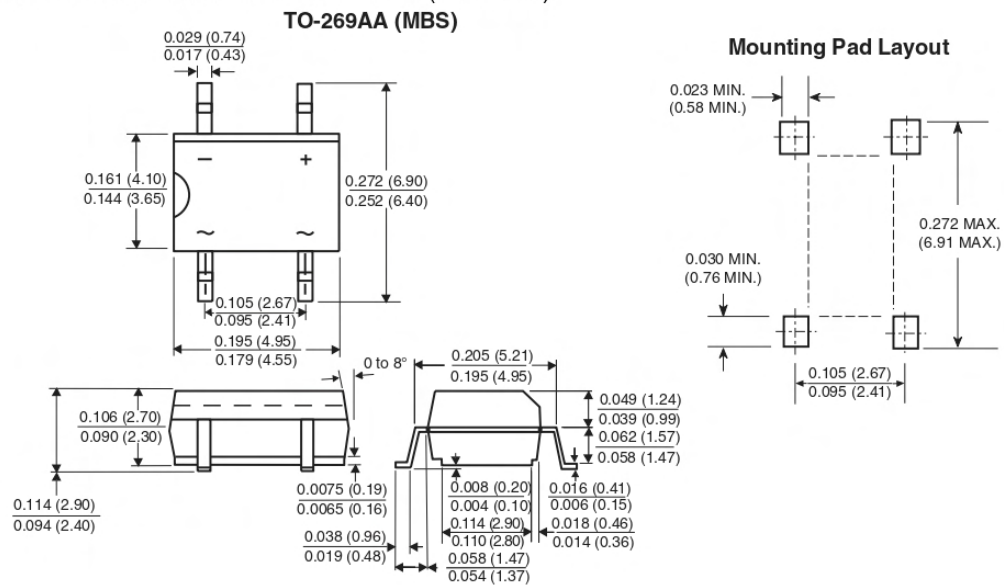


Fig. 4 - Typical Reverse Leakage Characteristics Per Diode

PACKAGE OUTLINE DIMENSIONS in inches (millimeters)



Revision: 19-Aug-13

3

Document Number: 88661

For technical questions within your region: DiodesAmericas@vishay.com, DiodesAsia@vishay.com, DiodesEurope@vishay.com
 THIS DOCUMENT IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. THE PRODUCTS DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT
 ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT www.vishay.com/doc?91000

www.vishay.com

Legal Disclaimer Notice

Vishay

Disclaimer

ALL PRODUCT, PRODUCT SPECIFICATIONS AND DATA ARE SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN OR OTHERWISE.

Vishay Intertechnology, Inc., its affiliates, agents, and employees, and all persons acting on its or their behalf (collectively, "Vishay"), disclaim any and all liability for any errors, inaccuracies or incompleteness contained in any datasheet or in any other disclosure relating to any product.

Vishay makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of the products for any particular purpose or the continuing production of any product. To the maximum extent permitted by applicable law, Vishay disclaims (i) any and all liability arising out of the application or use of any product, (ii) any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages, and (iii) any and all implied warranties, including warranties of fitness for particular purpose, non-infringement and merchantability.

Statements regarding the suitability of products for certain types of applications are based on Vishay's knowledge of typical requirements that are often placed on Vishay products in generic applications. Such statements are not binding statements about the suitability of products for a particular application. It is the customer's responsibility to validate that a particular product with the properties described in the product specification is suitable for use in a particular application. Parameters provided in datasheets and / or specifications may vary in different applications and performance may vary over time. All operating parameters, including typical parameters, must be validated for each customer application by the customer's technical experts. Product specifications do not expand or otherwise modify Vishay's terms and conditions of purchase, including but not limited to the warranty expressed therein.

Except as expressly indicated in writing, Vishay products are not designed for use in medical, life-saving, or life-sustaining applications or for any other application in which the failure of the Vishay product could result in personal injury or death. Customers using or selling Vishay products not expressly indicated for use in such applications do so at their own risk. Please contact authorized Vishay personnel to obtain written terms and conditions regarding products designed for such applications.

No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted by this document or by any conduct of Vishay. Product names and markings noted herein may be trademarks of their respective owners.

© 2017 VISHAY INTERTECHNOLOGY, INC. ALL RIGHTS RESERVED

Revision: 08-Feb-17

1

Document Number: 91000

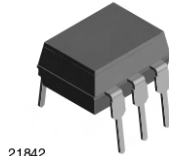
LM324

4N25, 4N26, 4N27, 4N28

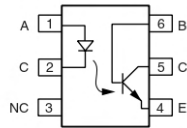
Vishay Semiconductors



Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection



21842



1179046-5

FEATURES

- Isolation test voltage 5000 V_{RMS}
- Interfaces with common logic families
- Input-output coupling capacitance < 0.5 pF
- Industry standard dual-in-line 6 pin package
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC

RoHS
COMPLIANT

APPLICATIONS

- AC mains detection
- Reed relay driving
- Switch mode power supply feedback
- Telephone ring detection
- Logic ground isolation
- Logic coupling with high frequency noise rejection

AGENCY APPROVALS

- UL 1577, file no. E52744
- BSI: EN 60065:2002, EN 60950:2000
- FIMKO: EN 60950, EN 60065, EN 60335

ORDER INFORMATION	
PART	REMARKS
4N25	CTR > 20 %, DIP-6
4N26	CTR > 20 %, DIP-6
4N27	CTR > 10 %, DIP-6
4N28	CTR > 10 %, DIP-6

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ⁽¹⁾				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
INPUT				
Reverse voltage		V _R	5	V
Forward current		I _F	60	mA
Surge current	t ≤ 10 μs	I _{FSM}	3	A
Power dissipation		P _{diss}	100	mW
OUTPUT				
Collector emitter breakdown voltage		V _{CEO}	70	V
Emitter base breakdown voltage		V _{EBO}	7	V
Collector current		I _C	50	mA
	t ≤ 1 ms	I _C	100	mA
Power dissipation		P _{diss}	150	mW



4N25, 4N26, 4N27, 4N28

Optocoupler, Phototransistor Output, Vishay Semiconductors
with Base Connection

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (1)				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
COUPLER				
Isolation test voltage		V_{ISO}	5000	V_{RMS}
Creepage distance			≥ 7	mm
Clearance distance			≥ 7	mm
Isolation thickness between emitter and detector			≥ 0.4	mm
Comparative tracking index	DIN IEC 112/VDE 0303, part 1		175	
Isolation resistance	$V_{IO} = 500 \text{ V}, T_{amb} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	R_{IO}	10^{12}	Ω
	$V_{IO} = 500 \text{ V}, T_{amb} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$	R_{IO}	10^{11}	Ω
Storage temperature		T_{stg}	- 55 to + 125	$^\circ\text{C}$
Operating temperature		T_{amb}	- 55 to + 100	$^\circ\text{C}$
Junction temperature		T_j	125	$^\circ\text{C}$
Soldering temperature (2)	max. 10 s dip soldering: distance to seating plane $\geq 1.5 \text{ mm}$	T_{sld}	260	$^\circ\text{C}$

Notes

(1) $T_{amb} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise specified.

Stresses in excess of the absolute maximum ratings can cause permanent damage to the device. Functional operation of the device is not implied at these or any other conditions in excess of those given in the operational sections of this document. Exposure to absolute maximum ratings for extended periods of the time can adversely affect reliability.

(2) Refer to reflow profile for soldering conditions for surface mounted devices (SMD). Refer to wave profile for soldering conditions for through hole devices (DIP).

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (1)							
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
INPUT							
Forward voltage (2)	$I_F = 50 \text{ mA}$		V_F		1.3	1.5	V
Reverse current (2)	$V_R = 3 \text{ V}$		I_R		0.1	100	μA
Capacitance	$V_R = 0 \text{ V}$		C_O		25		pF
OUTPUT							
Collector base breakdown voltage (2)	$I_C = 100 \text{ } \mu\text{A}$		BV_{CBO}	70			V
Collector emitter breakdown voltage (2)	$I_C = 1 \text{ mA}$		BV_{CEO}	30			V
Emitter collector breakdown voltage (2)	$I_E = 100 \text{ } \mu\text{A}$		BV_{ECO}	7			V
$I_{CEO}(\text{dark})$ (2)	$V_{CE} = 10 \text{ V}, (\text{base open})$	4N25			5	50	nA
		4N26			5	50	nA
		4N27			5	50	nA
		4N28			10	100	nA
$I_{CBO}(\text{dark})$ (2)	$V_{CB} = 10 \text{ V}, (\text{emitter open})$				2	20	nA
Collector emitter capacitance	$V_{CE} = 0$		C_{CE}		6		pF
COUPLER							
Isolation test voltage (2)	Peak, 60 Hz		V_{IO}	5000			V
Saturation voltage, collector emitter	$I_{CE} = 2 \text{ mA}, I_F = 50 \text{ mA}$		$V_{CE(\text{sat})}$			0.5	V
Resistance, input output (2)	$V_{IO} = 500 \text{ V}$		R_{IO}	100			$\text{G}\Omega$
Capacitance, input output	$f = 1 \text{ MHz}$		C_{IO}		0.6		pF

Notes

(1) $T_{amb} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise specified.

Minimum and maximum values are testing requirements. Typical values are characteristics of the device and are the result of engineering evaluation. Typical values are for information only and are not part of the testing requirements.

(2) JEDEC registered values are 2500 V, 1500 V, 1500 V, and 500 V for the 4N25, 4N26, 4N27, and 4N28 respectively.

4N25, 4N26, 4N27, 4N28

Vishay Semiconductors Optocoupler, Phototransistor Output,
with Base Connection

CURRENT TRANSFER RATIO (1)							
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
DC current transfer ratio	$V_{CE} = 10 \text{ V}$, $I_F = 10 \text{ mA}$	4N25	CTR_{DC}	20	50		%
		4N26	CTR_{DC}	20	50		%
		4N27	CTR_{DC}	10	30		%
		4N28	CTR_{DC}	10	30		%

Note

(1) Indicates JEDEC registered values.

SWITCHING CHARACTERISTICS							
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT	
Rise and fall times	$V_{CE} = 10 \text{ V}$, $I_F = 10 \text{ mA}$, $R_L = 100 \Omega$	t_r , t_f		2		μs	

TYPICAL CHARACTERISTICS

$T_{amb} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise specified

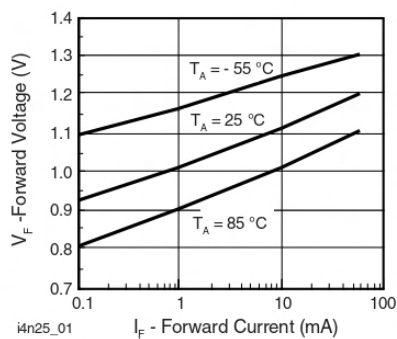


Fig. 1 - Forward Voltage vs. Forward Current

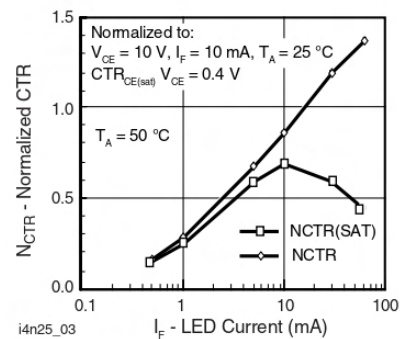


Fig. 3 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

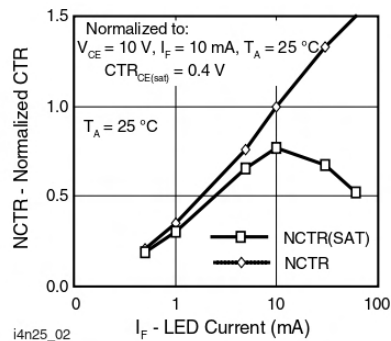


Fig. 2 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

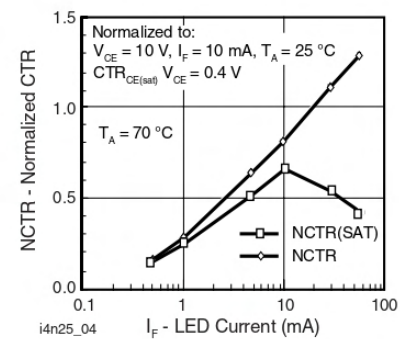


Fig. 4 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current



4N25, 4N26, 4N27, 4N28

Optocoupler, Phototransistor Output, Vishay Semiconductors with Base Connection

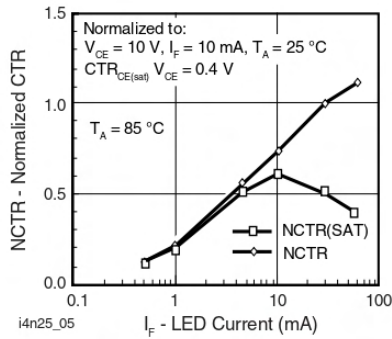


Fig. 5 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

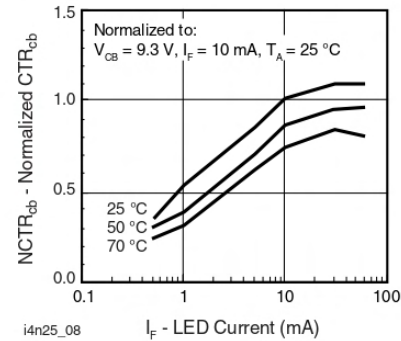


Fig. 8 - Normalized CTRcb vs. LED Current and Temperature

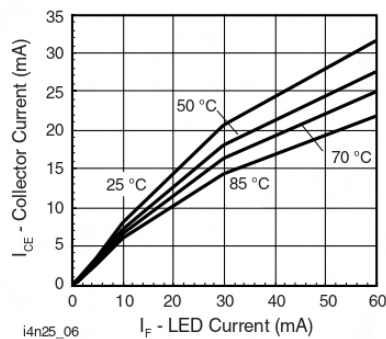


Fig. 6 - Collector Emitter Current vs. Temperature and LED Current

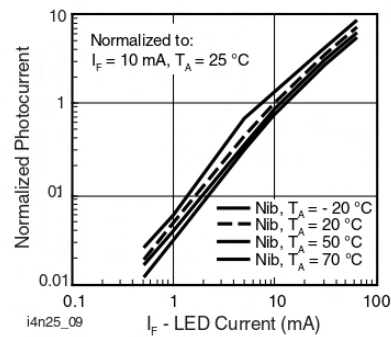


Fig. 9 - Normalized Photocurrent vs. I_F and Temperature

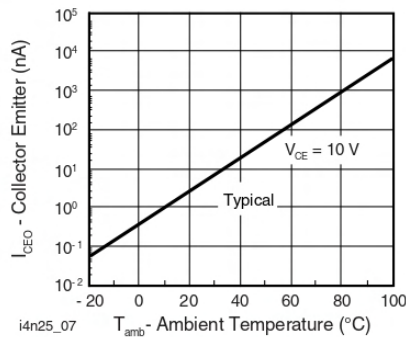


Fig. 7 - Collector Emitter Leakage Current vs. Temperature

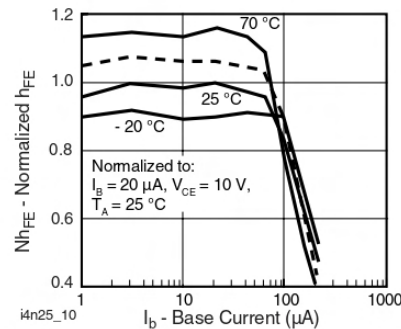


Fig. 10 - Normalized Non-Saturated h_{FE} vs. Base Current and Temperature

4N25, 4N26, 4N27, 4N28



Vishay Semiconductors Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection

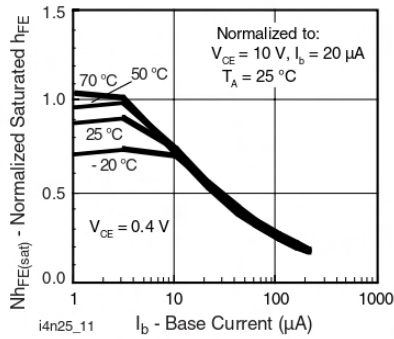


Fig. 11 - Normalized h_{FE} vs. Base Current and Temperature

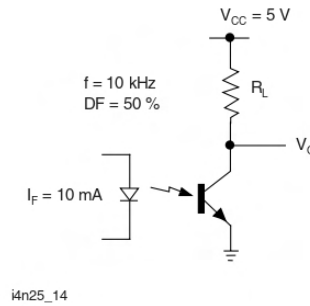


Fig. 14 - Switching Schematic

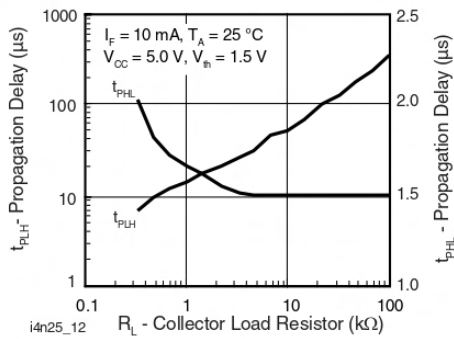


Fig. 12 - Propagation Delay vs. Collector Load Resistor

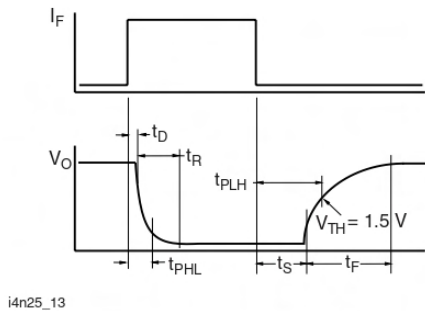


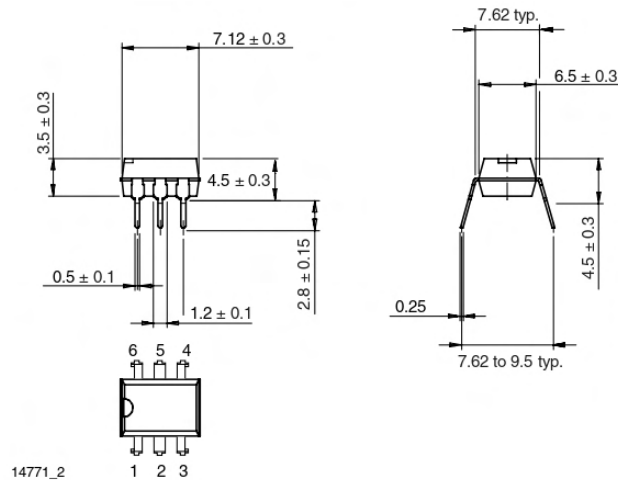
Fig. 13 - Switching Timing



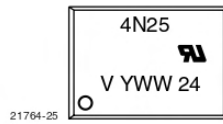
4N25, 4N26, 4N27, 4N28

Optocoupler, Phototransistor Output, Vishay Semiconductors
with Base Connection

PACKAGE DIMENSIONS in millimeters



PACKAGE MARKING



www.vishay.com

Legal Disclaimer Notice

Vishay

Disclaimer

ALL PRODUCT, PRODUCT SPECIFICATIONS AND DATA ARE SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN OR OTHERWISE.

Vishay Intertechnology, Inc., its affiliates, agents, and employees, and all persons acting on its or their behalf (collectively, "Vishay"), disclaim any and all liability for any errors, inaccuracies or incompleteness contained in any datasheet or in any other disclosure relating to any product.

Vishay makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of the products for any particular purpose or the continuing production of any product. To the maximum extent permitted by applicable law, Vishay disclaims (i) any and all liability arising out of the application or use of any product, (ii) any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages, and (iii) any and all implied warranties, including warranties of fitness for particular purpose, non-infringement and merchantability.

Statements regarding the suitability of products for certain types of applications are based on Vishay's knowledge of typical requirements that are often placed on Vishay products in generic applications. Such statements are not binding statements about the suitability of products for a particular application. It is the customer's responsibility to validate that a particular product with the properties described in the product specification is suitable for use in a particular application. Parameters provided in datasheets and / or specifications may vary in different applications and performance may vary over time. All operating parameters, including typical parameters, must be validated for each customer application by the customer's technical experts. Product specifications do not expand or otherwise modify Vishay's terms and conditions of purchase, including but not limited to the warranty expressed therein.

Hyperlinks included in this datasheet may direct users to third-party websites. These links are provided as a convenience and for informational purposes only. Inclusion of these hyperlinks does not constitute an endorsement or an approval by Vishay of any of the products, services or opinions of the corporation, organization or individual associated with the third-party website. Vishay disclaims any and all liability and bears no responsibility for the accuracy, legality or content of the third-party website or for that of subsequent links.

Except as expressly indicated in writing, Vishay products are not designed for use in medical, life-saving, or life-sustaining applications or for any other application in which the failure of the Vishay product could result in personal injury or death. Customers using or selling Vishay products not expressly indicated for use in such applications do so at their own risk. Please contact authorized Vishay personnel to obtain written terms and conditions regarding products designed for such applications.

No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted by this document or by any conduct of Vishay. Product names and markings noted herein may be trademarks of their respective owners.

© 2021 VISHAY INTERTECHNOLOGY, INC. ALL RIGHTS RESERVED

Revision: 09-Jul-2021

1

Document Number: 91000

Mouser Electronics

Authorized Distributor

Click to View Pricing, Inventory, Delivery & Lifecycle Information:

[Vishay:](#)

[4N25GV](#) [4N35GV](#) [4N35V](#)