



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

Treball Fi de Grau

Grau en Enginyeria Elèctrica

Disseny d'un prototip de carregador per a bateries



Memòria

Autor: Neus Ribé Garriga

Director: José Matas Alcalá

Convocatòria: Gener 2023

RESUM

Aquest treball anomenat “Disseny d'un prototip de carregador per a bateries” apareix a conseqüència dels problemes de contaminació que trobem a la societat actual.

La necessitat que ens trobem com a societat actualment és la de reduir els nivells de CO₂ emesos a l'atmosfera per tal de frenar el canvi climàtic. Aquesta necessitat ha suposat un augment de la demanda de bateries elèctriques per al sector del transport i per al sector de la generació d'energia.

En aquest projecte es durà a terme l'estudi de com dissenyar un carregador de bateries, i també es farà la seva implementació per poder comprovar que el nostre disseny és correcte. També es durà a terme l'estudi de les corbes dels cicles de càrrega i descàrrega de les bateries emprades. Finalment, es fa un estudi de l'impacte ambiental que provoca la producció d'aquestes, i s'exposen maneres de com millorar aquest impacte, acord amb el treball.

La finalitat d'aquest projecte és crear un prototip de càrrega de bateries per poder instaurar el fet d'utilitzar piles recarregables a la nostra vida quotidiana, disminuint així el nombre d'aquestes.

RESUMEN

Este trabajo llamado "Diseño de un prototipo de cargador para baterías" aparece a consecuencia de los problemas de contaminación que encontramos a la sociedad actual.

La necesidad que nos encontramos como sociedad actualmente es la de reducir los niveles de CO₂ emitidos a la atmósfera para frenar el cambio climático. Esta necesidad ha supuesto un aumento de la demanda de baterías eléctricas para el sector del transporte y para el sector de la generación de energía.

En este proyecto se llevará a cabo el estudio de como diseñar un cargador de baterías, y también se hará su implementación para poder comprobar que nuestro diseño es correcto. También se llevará a cabo el estudio de las curvas de los ciclos de carga y descarga de las baterías empleadas. Finalmente, se hace un estudio del impacto ambiental que provoca la producción de estas, y se exponen maneras de como mejorar este impacto, acuerdo con el trabajo.

La finalidad de este proyecto es crear un prototipo de carga de baterías para poder instaurar el hecho de utilizar pilas recargables en nuestra vida cotidiana, disminuyendo así el número de estas.

ABSTRACT

This work called "Design of a prototype battery charger" appears as a result of the pollution problems we find in today's society.

The need we find as a society today is to reduce the CO2 levels emitted into the atmosphere in order to curb climate change. This requirement has meant an increase in demand for electric batteries for the transport sector and for the energy generation sector.

This project will carry out the study of how to design a battery charger, and its implementation will also be done to check that our design is correct. The study of the curves of the charge and discharge cycles of the batteries used will also be carried out. Finally, a study is carried out on the environmental impact caused by the production of these, and outlines ways of improving this impact, according to the work.

The purpose of this project is to create a prototype battery charge to install the use of rechargeable batteries in our daily lives, thus decreasing the number of batteries.

GLOSSARI

EV	Vehicle elèctric
REDOX	Reacció reducció – oxidació
VLA	Bateries ventilades o inundades
VRLA	Bateries regulades per vàlvula
AMG	Bateries de malla de vidre absorbent
NiCd	Bateries de níquel – cadmi
NiMH	Bateries de níquel – hidrur metàl·lic
RAM	Random Acces Memory
ROM	Read Only Memory
CISC	Complex Instruction Set Computing
RISC	Reduced Instruction Set Computing
SISC	Simple Instruction Set Computing
CPU	Cental Process Unit
IDE	Integrated Development Enviroment
V	Voltatge elèctric
I	Corrent elèctric

LLISTAT DE FIGURES

<i>Figura 1. Descripció de les parts d'una bateria.</i>	4
<i>Figura 2. Esquema de funcionament d'una pila elèctrica.</i>	4
<i>Figura 3. Esquema interior d'una bateria VLA.</i>	9
<i>Figura 4. Esquema de l'interior d'una bateria AGM.</i>	10
<i>Figura 5. Esquema de l'interior d'una bateria de gel.</i>	10
<i>Figura 6. Interior d'una bateria de níquel – cadmi.</i>	12
<i>Figura 7. Bateries de níquel – hidrur metàl·lic.</i>	12
<i>Figura 8. Esquema de la càrrega i descàrrega de les bateries de ió – liti.</i>	14
<i>Figura 9. Estructura d'un microcontrolador.</i>	16
<i>Figura 10. Estructura d'un microprocessador.</i>	17
<i>Figura 11. Esquema del funcionament de l'estructura Von Neumann.</i>	20
<i>Figura 12. Esquema del funcionament de l'estructura Harvard.</i>	21
<i>Figura 13. Marca corporativa d'ARDUINO.</i>	22
<i>Figura 14. Esquema del funcionament d'una placa d'Arduino.</i>	23
<i>Figura 15. Esquema de connexió per al cicle de càrrega.</i>	27
<i>Figura 16. Font d'alimentació utilitzada per al prototip.</i>	27
<i>Figura 17. Distribució dels components del mòdul XL4015.</i>	29
<i>Figura 18. Distribució dels elements electrònics principals del mòdul XL4015.</i>	29
<i>Figura 19. Diagrama de blocs del xip XL4015.</i>	30
<i>Figura 20. Configuració dels pins del xip XL4015.</i>	30
<i>Figura 21. Configuració dels pins del regulador de tensió LM78L05.</i>	30
<i>Figura 22. Configuració dels pins del regulador de derivació de precisió TL431.</i>	32
<i>Figura 23. Configuració dels pins de l'amplificador operacional LM358.</i>	32
<i>Figura 24. Diagrama de bloc funcional de l'amplificador LM358.</i>	33
<i>Figura 25. Pack de bateries recarregables utilitzades en el projecte.</i>	33
<i>Figura 26. Configuració dels pins del sensor DS18B20.</i>	35
<i>Figura 27. Esquema de connexió del sensor DS18B20 amb la placa Arduino MEGA2560.</i>	35
<i>Figura 28. Esquema dels ports de l'Arduino Mega2560.</i>	36
<i>Figura 29. Imatge corporativa de l'empresa Atmel.</i>	37
<i>Figura 30. Distribució de la pantalla de l'entorn de programació d'Arduino.</i>	39
<i>Figura 31. Fragment de codi de l'arxiu "Descarrega" del programa Arduino.</i>	40
<i>Figura 32. Fragment de codi de l'arxiu "Carrega" del programa Arduino.</i>	41
<i>Figura 33. Fragment de codi de l'arxiu "Descarrega" del programa Arduino.</i>	41
<i>Figura 34. Imatge corporativa del programari Python.</i>	42
<i>Figura 35. Imatge corporativa del programa Anaconda.</i>	42
<i>Figura 36. Imatge corporativa del programari Spyder.</i>	43
<i>Figura 37. Distribució de la pantalla del programari Spyder.</i>	44
<i>Figura 38. Fragment de codi de l'arxiu "Carrega" del programa Spyder.</i>	44
<i>Figura 39. Fragment de codi de l'arxiu "Carrega" del programa Spyder.</i>	45

Disseny d'un prototip de carregador per a bateries

<i>Figura 40. Fragment de codi de l'arxiu "Carrega" del programa Spyder.</i>	45
<i>Figura 41. Gràfica resum dels cicles de càrregues de les bateries.</i>	48
<i>Figura 42. Gràfica resum dels cicles de càrrega de les bateries. Mostres de les 2 hores primeres hores</i>	49
<i>Figura 43. Gràfica resum dels cicles de càrrega de les bateries. Mostres de les 2 hores fins a 6 hores.</i>	50
<i>Figura 44. Gràfica resum de la descàrrega dels cicles de bateries. Voltatge – Temps</i>	51
<i>Figura 45. Gràfica resum de la descàrrega dels cicles de bateries. Intensitat – Temps</i>	52
<i>Figura 46. Gràfica Resistència – Corrent de la descàrrega dels cicles de bateries.</i>	53
<i>Figura 47. Gràfica Resistència – SoC de la descàrrega dels cicles de bateries.</i>	53
<i>Figura 48. Gràfica Tensió – Corrent per a una descàrrega de 0,2C</i>	54
<i>Figura 49. Gràfica Resistència – Corrent per a una descàrrega de 0,2C</i>	55
<i>Figura 50. Bloc per a la simulació de la bateria</i>	57
<i>Figura 51. Valors introduïts en la simulació de Simulink</i>	57
<i>Figura 52. Corba de descàrrega obtinguda mitjançant simulació de Simulink</i>	58
<i>Figura 53. Corbes de descàrrega per a 0.2C i 0.1C.</i>	58
<i>Figura 54. Presentació dels 17 Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS).</i>	60
<i>Figura 55. Imatge corporativa de l'Acord de París.</i>	61
<i>Figura 56. ODS 7.</i>	62
<i>Figura 57. ODS 2.</i>	63
<i>Figura 58. ODS 3</i>	63
<i>Figura 59. ODS 4.</i>	63
<i>Figura 60. ODS 6.</i>	63
<i>Figura 61. ODS 10.</i>	63
<i>Figura 62. Mapa de les reserves de liti mundial.</i>	64
<i>Figura 63. Esquema de la bateria d'io de sodi.</i>	65
<i>Figura 64. Cadena de reciclatge de bateries.</i>	66



LLISTAT DE TAULES

<i>Taula 1. Diferències entre les bateries AMG i les bateries de gel.</i>	11
<i>Taula 2. Llistat de les famílies de productes de la marca Arduino.</i>	26
<i>Taula 3. Taula de característiques del mòdul XL4015</i>	28
<i>Taula 4. Taula de les característiques principals del LM78L05.</i>	31
<i>Taula 5. Taula amb les característiques bàsiques de la placa Arduino MEGA 2560.</i>	35
<i>Taula 6. Pressupost del treball</i>	69

LLISTAT D'EQUACIONS

<i>Equació (I)</i>	8
<i>Equació (II)</i>	8
<i>Equació (III)</i>	8
<i>Equació (IV)</i>	11
<i>Equació (V)</i>	11
<i>Equació (VI)</i>	11
<i>Equació (VII)</i>	13
<i>Equació (VIII)</i>	13
<i>Equació (IX)</i>	13
<i>Equació (X)</i>	14
<i>Equació (XI)</i>	14
<i>Equació (XII)</i>	14
<i>Equació (XIII)</i>	34
<i>Equació (XIV)</i>	34
<i>Equació (XV)</i>	47
<i>Equació (XVI)</i>	47
<i>Equació (XVII)</i>	47
<i>Equació (XVIII)</i>	55
<i>Equació (XIX)</i>	56
<i>Equació (XX)</i>	56
<i>Equació (XXI)</i>	56
<i>Equació (XXII)</i>	57

ÍNDEX MEMÒRIA I ANNEXOS

RESUM	II
RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
GLOSSARI	V
LLISTAT DE FIGURES	VI
LLISTAT DE TAULES	VIII
LLISTAT D'EQUACIONS	VIII
1. PREFACI	1
1.1. Origen del treball	1
1.2. Motivació	1
1.3. Requisits previs	1
2. INTRODUCCIÓ	2
2.1. Objectius del treball	2
2.2. Abast del treball	2
3. EMMAGATZEMATGE DE L'ENERGIA ELÈCTRICA	3
4. BATERIES	4
4.1. Característiques	5
4.2. Paràmetres característics	5
4.3. Tipus de bateries	7
4.3.1. Bateries de Plom Àcid	7
4.3.1.1. Components	8
4.3.1.2. Funcionament / reaccions	8
4.3.1.3. Tipus de bateries	8
4.3.1.3.1. Bateries VLA	9
4.3.1.3.2. Bateries VRLA	9
4.3.2. Bateries de Níquel	11
4.3.2.1. Bateries de Níquel – cadmi (NiCd)	11
4.3.2.2. Bateries de níquel – hidrur metàl·lic (Ni-MH)	12

4.3.3.	Bateries de Liti	13
4.3.3.1.	Classificació segons material	13
4.3.3.2.	Avantatges i inconvenients	15
5.	MICROCONTROLADORS	16
5.1.	Components	16
5.1.1.	Microprocessadors	16
5.1.2.	Altres	17
5.2.	Classificació	18
5.2.1.	Segons els bits	18
5.2.2.	Segons el tipus de memòria	18
5.2.3.	Segons el conjunt d'instruccions	19
5.2.4.	Segons l'Arquitectura	20
5.2.4.1.	Von Neumann	20
5.2.4.2.	Harvard	21
6.	ARDUINO	22
6.1.	Funcionament	22
6.2.	Modalitats	24
6.3.	Components	24
6.4.	Productes	25
7.	PROTOTIP DEL CARREGADOR	27
7.1.	Font d'alimentació	27
7.2.	Convertidor Buck	28
7.2.1.	Mòdul XL4015	28
7.2.1.1.	Xip XL4015	29
7.2.1.2.	Regulador de tensió 78L05	30
7.2.1.3.	Regulador de derivació de precisió TL431	31
7.2.1.4.	Amplificador operacional LM358	32
7.3.	Bateria recarregable	33
7.4.	Sensors	34
7.5.	Arduino MEGA	35
7.5.1.	Aspectes tècnics	35
7.5.1.1.	Components	35
7.5.1.1.1	Microcontrolador ATmega2560	37
8.	PROGRAMACIÓ DEL DATA LOGGER	38

8.1. Arduino	38
8.1.1. Distribució de la pantalla	38
8.1.2. Llibreries	39
8.1.3. Explicació del Codi	40
8.2. Python	42
8.2.1. Distribució de la pantalla de Spyder	43
8.2.2. Explicació del codi	44
8.3. Anàlisi de dades	46
9. RESULTATS DELS CICLES DE CÀRREGA I DESCÀRREGA	47
9.1. Cicle de càrrega	48
9.2. Cicle de descàrrega	51
9.2.1. Simulació Matlab	54
9.3. Conclusions dels resultats	59
10. ANÀLISIS DE L'IMPACTE AMBIENTAL	60
10.1. Plans d'accions	60
10.1.1. Agenda 2030	60
10.1.2. Acord de París	61
10.1.3. Impacte de les bateries	62
10.2. Inconvenients	64
10.2.1. Extracció de liti	64
10.3. Millores proposades	65
Conclusions	67
Pressupost i/o Anàlisi Econòmica	69
Bibliografia	70
Annex A	77
A.1. DATASHEET ARDUINO MEGA 2560	77
A.2. DATASHEET DB28S11	94
A.5. DATASHEET XL4015	114
A.6. DATASHEET LM358	124
A.7. DATASHEET PILES RECARREGABLES NI-MH	140

A.8.	CODI DE PROGRAMACIÓ D'ARDUINO	141
A.9.	CODI DE PROGRAMACIÓ PYTHON	146

1. PREFACI

1.1. ORIGEN DEL TREBALL

Des d'aquests últims anys el sector tecnològic ha estat treballant en maneres d'evitar l'augment de la contaminació al nostre planeta Terra. És per això, que les bateries elèctriques han passat a tenir una gran importància en la nostra vida.

Ara bé, les bateries poden esdevenir un problema igual que ho és el petroli. És per això, que en aquest treball es vol trobar una manera d'implementar una segona vida a les bateries en desús.

1.2. MOTIVACIÓ

La motivació per escollir aquest treball ha estat el fet de poder introduir-me en un sector mitjanament desconegut per a mi. Agafar aquest treball suposava un repte per a mi, ja que hi ha molts conceptes electrònics. Durant els anys de la carrera d'enginyeria elèctrica, he realitzat diferents assignatures d'electrònica, però, així i tot, en aquest treball m'hauré d'endinsar en sectors desconeguts, com el dels microcontroladors.

1.3. REQUISITS PREVIS

Per poder dur a terme aquest treball es necessiten coneixements d'electricitat, electrònica i informàtica.

Els coneixements de l'entorn electrònic ens ajudaran a entendre els microcontroladors, microprocessadors, sensors i de convertidors de corrent altern a contínua. Els coneixements d'informàtica són un requisit per poder escriure els codis de programació de la placa d'Arduino utilitzada.

2. INTRODUCCIÓ

2.1. OBJECTIUS DEL TREBALL

Els objectius d'aquest treball són els següents:

1. Dissenyar i muntar un prototip d'un carregador de bateries.
2. Estudiar les corbes de càrrega i descàrrega de les bateries sotmeses a estudi.
3. Estudiar la vida útil restant de les bateries a través d'algoritmes.
4. Trobar solucions per l'impacte ambiental que suposa la producció de bateries.

2.2. ABAST DEL TREBALL

L'abast d'aquest treball consisteix en la creació des de zero d'un prototip de carregador de bateries. Mitjançant components electrònics, com la placa Arduino o sensors, es crearà un arxiu d'emmagatzematge de dades, per tal de poder realitzar l'estudi de la vida útil d'aquestes bateries.

Per poder portar a cap l'estudi de la vida útil, primerament s'haurà d'haver estudiat les corbes dels cicles de càrrega i descàrrega de les bateries esmentades.

En últim lloc, es durà a terme un estudi de l'impacte ambiental que suposa la producció de bateries de liti. Aquest estudi s'ha fet amb la finalitat de descobrir quines solucions podem aportar amb el nostre treball a aquest problema de l'actualitat.

3. EMMAGATZEMATGE DE L'ENERGIA ELÈCTRICA

Actualment, hi ha moltes tecnologies d'emmagatzematge de l'energia elèctrica. Aquestes tecnologies tenen la finalitat de conservar l'energia per poder utilitzar-la en un futur quan es requereixi aquesta.

Aquestes tecnologies es poden classificar en diferents categories:

- **Emmagatzematge mecànic**
 - Centrals hidràuliques de bombeig
 - Centrals d'aire comprimit
 - Volant d'inèrcia

- **Emmagatzematge electromagnètic i electroquímics**
 - Sistemes d'emmagatzematge basats en supercondensadors magnètics
 - Supercondensadors
 - Bateries

- **Emmagatzematge tèrmic**
 - Calor sensible
 - Calor latent
 - Calor de reacció química

En aquest projecte ens dedicarem a parlar sobre el tipus d'emmagatzematge electroquímic, més en concret les bateries.

4. BATERIES

Les bateries tenen diverses aplicacions, la principal finalitat és la de l'emmagatzematge de l'energia i subministració d'aquesta quan hi hagi una demanda de consum. Tot i això, també se'ls hi fa un ús per a sistemes de seguretat i continuïtat del subministrament en aplicacions connectades a la xarxa. Actualment, també s'utilitzen per aconseguir energia elèctrica en sistemes mòbils que no tenen connexió a xarxa.

En l'actualitat les bateries estan formades per una o un conjunt de cel·les. Dins de cada cel·la trobem dos elèctrodes de metall de diferent material (càtode i ànode); els elèctrodes es troben dins d'una solució iònica o electròlit, aquest medi pot presentar-se de manera sòlida, líquida o pastosa i és on es produirà la reacció REDOX.

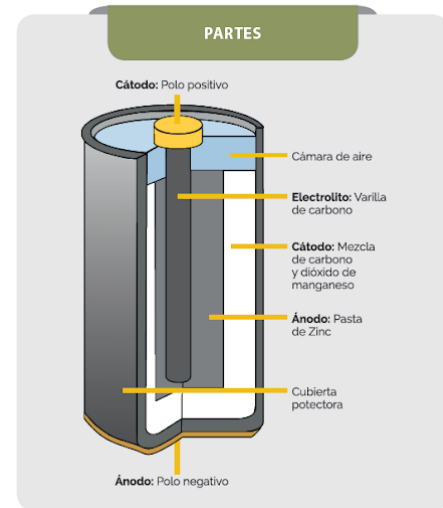


Figura 1. Descripció de les parts d'una bateria.

Font: www.tomahawkskateboards.com

La reacció REDOX, o també anomenada reacció reducció – oxidació, genera una important quantitat d'energia quan hi ha moviment d'electrons. Perquè hi hagi aquest moviment d'electrons hi ha d'haver un agent oxidant i un agent reductor. L'agent oxidant és aquell que capta els electrons (càtode) mentre que l'agent reductor és aquell que cedeix els electrons (ànode). Mitjançant aquest desplaçament dels electrons és com generem l'energia elèctrica d'una bateria.

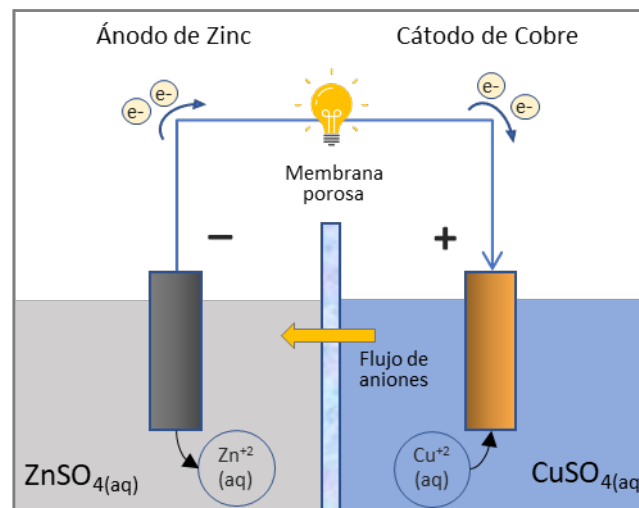


Figura 2. Esquema de funcionament d'una pila elèctrica.

Font: www.miteco.gob.es

4.1. CARACTERÍSTIQUES

En l'actualitat, les bateries es poden classificar de diferents maneres. Una d'aquestes és a partir dels materials utilitzats o també és per la capacitat de recàrrega.

En la primera classificació ens fixarem en els materials usats. Les combinacions de materials més utilitzats són el plom – àcid, níquel – cadmi, níquel – hidrur de metall, sulfur de sodi i el ió liti.

En la segona classificació només observem dues categories, la primària i la secundària. Les bateries que formen part de les primàries són aquelles que no permeten una recàrrega elèctrica, d'altra banda, les que es troben dins de les secundàries són bateries que es poden carregar i descarregar, fent que la reacció REDOX comentada abans pugui ser reversible, i que els materials tornin a l'estat inicial.

Aquestes últimes són les que estudiarem en aquest TFG.

4.2. PARÀMETRES CARACTERÍSTICS

A l'hora de parlar de bateries i de les seves característiques tècniques es fa ús d'una sèrie de conceptes tècnics. A continuació s'han enumerat els paràmetres més rellevants i dels que sortiran citats en els següents capítols.

- **Cel·la:** és l'element fonamental de la bateria. Una bateria pot contenir una o més cel·les, connectades en sèrie o en paral·lel depenent de quins valors de corrent o de tensió es volen aconseguir.
- **Estat de càrrega (SoC):** l'estat de càrrega, o les seves sigles SoC (*State of Charge*) és una unitat adimensional, la qual s'expressa en tant per cent %. Aquest paràmetre determina la quantitat d'energia que té emmagatzemat la bateria. Quan aquest es troba al 100% la bateria es troba al màxim de la seva capacitat de càrrega.
- **Profunditat de descàrrega (DoD):** la profunditat de descàrrega, o en anglès DoD (*Depth of Discharge*), també és un paràmetre representat en tant per cent % i que representa la relació entre la capacitat en ampers per hora (Ah) i la capacitat nominal de la bateria. És inversament proporcional al SoC, quan aquest augment, la profunditat de descàrrega disminueix.

- **Començament de la vida (BoL):** les sigles provenen de l'anglès (Beginning of Life), i aquest valor fa referència als valors inicials d'energia, capacitat i potència de la bateria després de fabricar-la.
- **EoL:** les sigles provenen de l'anglès End of Life. Normalment es declara el final de vida d'una bateria quan aquesta es troba al 80% de la capacitat nominal en ampers – hora.
- **RUL:** aquest paràmetre indica la vida restant fins que la bateria arribi al punt EoL. Aquest paràmetre es pot expressar mitjançant cicles de càrrega i descàrrega o en anys. Hi ha una relació entre el SoH i el RUL.
- **C-rate:** aquest índex indica a quina velocitat es carrega o és descàrrega la bateria. Aquest va en relació amb la quantitat d'energia descarregada en una hora.
 - Si tenim un índex 1C, ens indica que la bateria estarà completament descarregada en una hora, mentre que si l'índex és un 2C, aquesta bateria estarà descarregada en 30 minuts ($60 \text{ minuts} / 2C = 30 \text{ minuts}$).
 - En conclusió, com més gran sigui l'índex, més ràpid es descarregarà la bateria, i com més a prop estigui del 0, es descarregarà més lenta.
- **Cicle de vida:** mostra el nombre de cicles càrrega/descàrrega que una bateria pot suportar abans que la seva capacitat es redueixi significativament. Aquest varia depenent del material del qual està fabricada la bateria.

A continuació, s'enumeren un seguit de conceptes tècnics sobre valors que podem extreure de la bateria.

- **Tensió de buit:** aquest paràmetre reflecteix la tensió en la bateria quan aquesta no està connectada a cap element. Aquest valor queda determinat per les condicions intrínseques de la bateria.
- **Tensió en circuit tancat:** aquesta característica mostra la tensió quan la bateria està connectada a una càrrega.
- **Resistència interna:** les bateries presenten una resistència interna considerant que els materials dels quals estan fabricades no són materials ideals. Per tant, els elèctrodes i els electròlits no tindran un comportament ideal, fent que es generin pèrdues. Aquestes pèrdues teòriques es poden definir com la

Disseny d'un prototip de carregador per a bateries

resistència interna de la bateria. En ser un concepte teòric, el valor d'aquesta s'ha de determinar a partir de models matemàtics (Llei d'Ohm) i els valors de tensió i corrent de la bateria.

- **Capacitat de càrrega nominal:** és la capacitat en ampers-hora (Ah) que la bateria pot emmagatzemar.
- **Capacitat d'energia nominal:** és la quantitat d'energia en watts-hora (Wh) que la bateria pot acumular. És el resultat de la tensió nominal multiplicada per la capacitat de càrrega nominal.
 - *La potència és la quantitat instantània que s'està alliberant del sistema.*
- **Densitat d'energia:** és la quantitat d'energia que es pot emmagatzemar per unitat de volum (Wh/l).
- **Densitat de potència:** és la quantitat de potència que es pot emmagatzemar per unitat de volum (W/l).
- **Energia específica:** és la quantitat d'energia que es pot emmagatzemar per unitat de pes (Wh/kg).
- **Potència específica:** és la quantitat de potència que es pot emmagatzemar per unitat de pes (W/kg).

4.3. TIPUS DE BATERIES

Actualment en el mercat hi ha molts tipus de bateries depenent del material de fabricació. La variació de materials provoca que les bateries tinguin unes característiques diferents, per tant, tenen diferents aplicacions.

A continuació s'exposen els tipus més comuns en el mercat en l'actualitat.

4.3.1. BATERIES DE PLOM ÀCID

Les bateries de plom àcid van ser creades per Gaston Planté l'any 1859 i es considera la primera bateria recarregable. Aquest tipus de bateria ha patit diversos canvis, sent la bateria amb més desenvolupament.

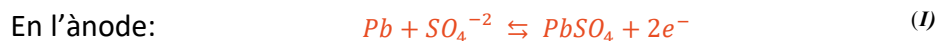
4.3.1.1. Components

Les bateries de plom àcid es troben dins de les bateries humides, ja que estan constituïdes per un dipòsit d'àcid sulfúric (H_2SO_4) i dins d'aquest dipòsit es dipositen les plaques de plom en paral·lel entre elles. La polaritat de les plaques serà de manera alternativa per tal de poder crear un diferencial de potencial. El nombre de plaques de plom afecta directament al corrent que se subministra.

El càtode està constituït per diòxid de plom ($PbSO_4$), si la bateria està descarregada, i l'ànode és plom metàl·lic i superfície porosa (Pb). Per tal d'evitar el contacte elèctric entre el càtode i l'ànode, es col·loquen unes plaques aïllants poroses per tal de deixar passar els electrons.

4.3.1.2. Funcionament / reaccions

Altrament, les reaccions químiques (I) (II) (III) que es produeixen en l'interior de la bateria en els processos de càrrega i descarrega són les mostrades a continuació.



Durant el procés de càrrega, el sulfat de plom del càtode és reduït a plom metàl·lic, mentre que en l'ànode és forma òxid de plom. Per al procés de descàrrega s'inverteixen les reaccions. La densitat de l'àcid sulfúric també varia depenent del procés que s'estigui duent a terme. Per al procés de descàrrega la densitat de l'àcid sulfúric augmentarà, ja que a causa de les reaccions químiques s'augmenta la quantitat d'aigua. Aquesta variació de la densitat de l'àcid sulfúric es pot prendre com a referència per saber si la bateria està carregada o descarregada.

4.3.1.3. Tipus de bateries

En el següent punt tractarem els diferents tipus de bateria de plom àcid que podem trobar en el mercat avui en dia. Principalment, es classifiquen en dues grans categories: les bateries VRLA (bateries regulades per vàlvula) i les bateries VLA (bateries ventilades o inundades).

Disseny d'un prototip de carregador per a bateries

4.3.1.3.1 Bateries VLA

Les bateries categoritzades com VLA són aquelles bateries en les quals els elèctrodes es troben inundats pel líquid electròlit. Aquesta tecnologia presenta unes respostes excel·lents enfront de condicions i climes extrems, ara bé, són unes bateries que requereixen manteniment, ja que l'oxigen i l'hidrogen de l'electròlit s'evaporen, requerint que s'empleni el dipòsit amb aigua destil·lada.

Les característiques principals d'aquest tipus de bateries són l'alta eficiència en la conversió d'energia, un durador cicle de vida, seguretat sòlida, rendiment d'alt cost, instal·lació simple, així com manteniment simple però recurrent. Actualment, és la font d'energia química per a diversos escenaris que requereixen emmagatzematge d'energia, com és ara situacions d'emergència o dispositius d'arrencada.

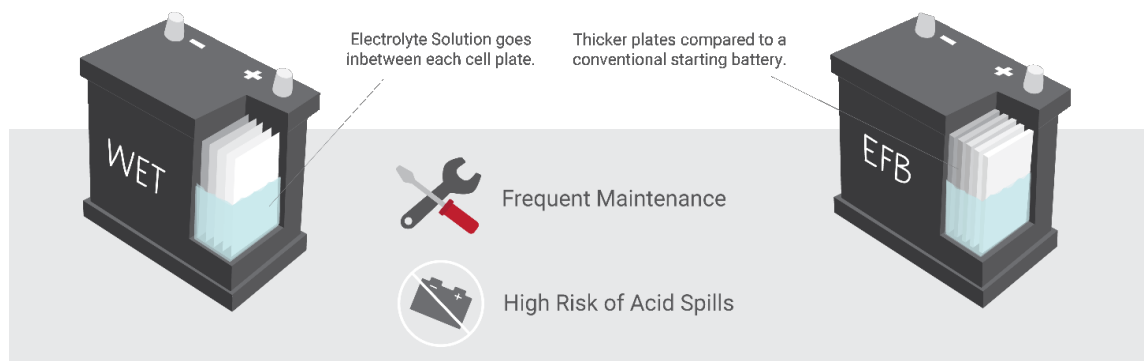


Figura 3. Esquema interior d'una bateria VLA.

Font: <https://no.co>

4.3.1.3.2 Bateries VRLA

Les bateries categoritzades com a VRLA, bateries regulades per vàlvula o bateries sallades, tenen la característica que l'electròlit està immobilitzat. En ser bateries hermètiques, donen lloc a que l'oxigen es recombinï dins la cèl·lula, ja que aquest no s'evapora a l'exterior, provocant que no es necessiti reomplir el dipòsit amb aigua destil·lada (com si passa amb les bateries VLA). Les vàlvules instal·lades tenen la funció d'evacuar els gasos que es poden produir en el cas de sobrecàrregues o defecte d'algun component.

Hi ha diverses tecnologies d'immobilitzar l'electròlit, les dues més utilitzades són les de malla de vidre absorbent (AMG) i les de cel·les de gel.

- **Bateries AMG:** en aquestes bateries, per aïllar els elèctrodes, s'usen unes malles de fibra de vidre on es troba l'àcid aïllant. Un dels avantatges més importants és la manca de manteniment que requereixen aquests tipus de bateries. També presenten una bona resistència a sobrecàrregues.

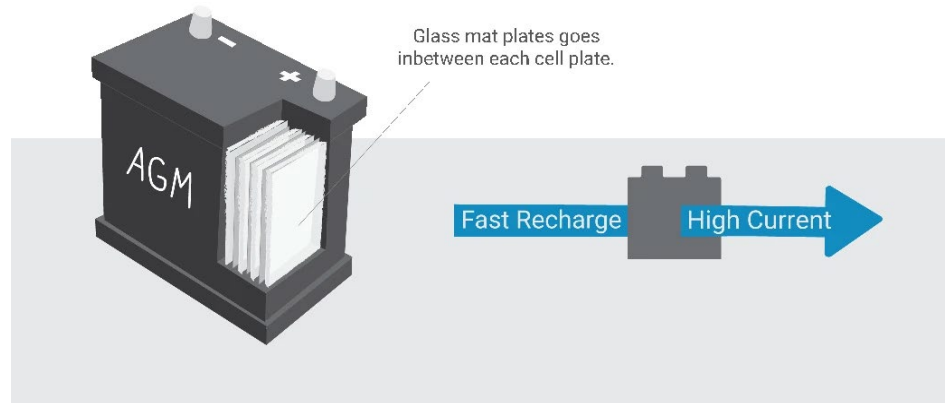


Figura 4. Esquema de l'interior d'una bateria AGM.
Font: www.spaceflightpower.com

- **Bateries de gel:** per aquestes bateries s'afegeix pols de silici a l'electròlit per tal d'aconseguir que sigui textura gelatinosa. Aquestes bateries presenten una major resistència a les vibracions i a la inclinació. Com amb les bateries AGM, aquestes tampoc requereixen manteniment.

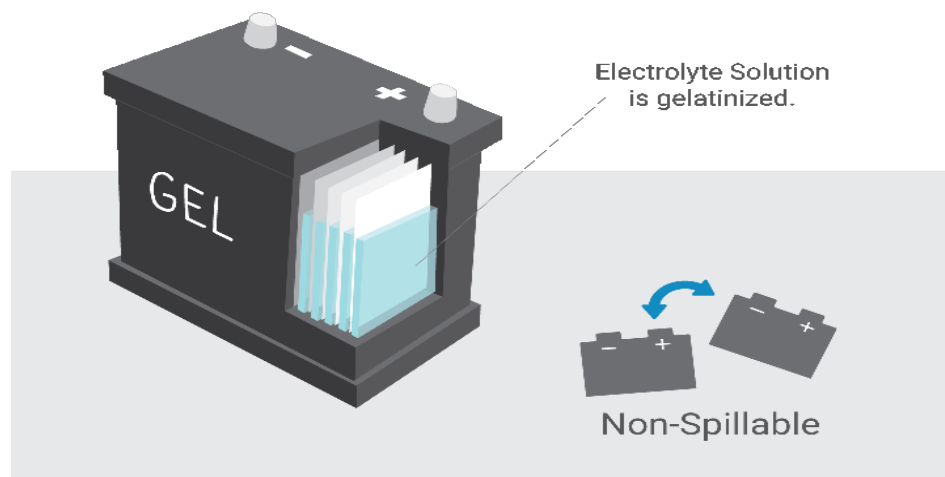


Figura 5. Esquema de l'interior d'una bateria de gel.
Font: www.spaceflightpower.com

Disseny d'un prototip de carregador per a bateries

Ara bé, entre aquests dos tipus de bateries trobem diferències rellevants mostrats en la Taula 1.

Taula 1. Diferències entre les bateries AMG i les bateries de gel.

Bateries AMG	Bateries de gel
Major desgast dels elèctrodes	Menor desgast dels elèctrodes
Menor vida útil	Major vida útil
Major resposta en arrancades en fred	Menor resposta en arrancades en fred
Dissenyades per a sistemes d'arrancat Start-Stop	Dissenyades per a sistemes que requereixen de major potència.

4.3.2. BATERIES DE NÍQUEL

Les següents bateries estan formades per un elèctrode de níquel. L'altre elèctrode potser de diferents materials, com per exemple el cadmi o aliatge d'hidrur metàl·lic.

4.3.2.1. *Bateries de Níquel – cadmi (NiCd)*

Aquestes bateries estan compostes per un càtode d'hidròxid de níquel i un ànode de cadmi. L'electròlit és d'hidròxid de potassi. En el cas de les bateries de níquel cadmi, aquestes cada cop tenen un ús menor a causa de l'efecte memòria i també per què el cadmi és molt contaminant.

Les equacions (IV) (V) (VI) de la reacció REDOX es mostren a continuació.



El desavantatge més important d'aquestes bateries és la capacitat de memòria comentada amb anterioritat. La capacitat de memòria provoca que si es carrega la pila quan aquesta encara té un 30% de càrrega, només s'utilitzaran el 70% restant en lloc del 100%. Aquest fenomen ocorre com a causa que el níquel i el cadmi es troben en estat cristal·lí, per tant, quan aquestes es recarreguen sense haver-se descarregat totalment, aquests cristalls augmenten, perjudicant la capacitat. També presenten una autodescàrrega elevada.

Ara bé, pel que fa a funcionalitat aquestes bateries presenten millores en les característiques comparades amb les bateries de plom – àcid. Per exemple, presenten un bon comportament dins d'un gran rang de temperatures (des de -40 °C fins a uns 60 °C), la seva vida útil és d'uns 1500 cicles i tenen una fiabilitat major.

Finalment, un dels desavantatges que tenen aquestes bateries és que tenen un valor de tensió per cel·la molt baix, 1,2 V, per tant, obliga a connectar moltes cel·les en sèrie per poder aconseguir el nivell de tensió desitjat.



Figura 6. Interior d'una bateria de níquel – cadmi.

Font: www.directindustry.com

4.3.2.2. Bateries de níquel – hidrur metàl·lic (Ni-MH)

Quant a la composició de les bateries de níquel – hidrur metàl·lic l'ànode és de níquel i el càtode és d'hidrur metàl·lic. D'ara endavant, aquestes seran les bateries que substituiran a les de níquel cadmi, ja que aquestes no contenen materials contaminants i a més a més, presenten una potència més elevada.

Les seves aplicacions són tant en aparells domèstics com equips portàtils, càmeres de fotos, GPS, aspiradors portàtils, entre d'altres; així com aplicacions industrials on es poden trobar en vehicles elèctrics, telecomunicacions i equips mèdics.

D'altra banda, aquestes bateries també presenten desavantatges com una vida útil limitada per culpa de les sobrecàrregues i descàrregues completes. L'auto descàrrega d'aquest tipus de bateria és molt més elevat, sent d'aproximadament el 15 – 20% cada mes. Tanmateix, la fabricació d'aquestes és robusta i, per tant, s'encareix el preu.



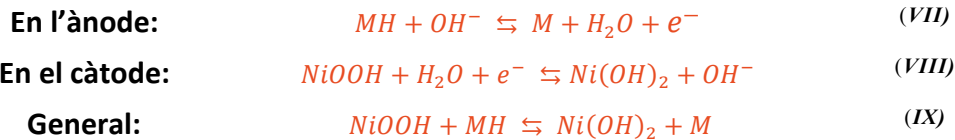
Figura 7. Bateries de níquel – hidrur metàl·lic.

Font: www.bateriasdelitio.net

Disseny d'un prototip de carregador per a bateries

Per contra, aquestes no pateixen d'efecte de cristal·lització, com a resultat no presenten efecte memòria, podent-les recarregar tot i que encara tinguin capacitat.

Les reaccions REDOX (VII) (VIII) (IX) són les mostrades a continuació.



4.3.3. BATERIES DE LITI

Les bateries de liti van sortir al mercat l'any 1991. Durant tres dècades s'han dut a terme investigacions i conseqüentment, s'han aconseguit millores tècniques. Aquestes millores han fet que el preu d'aquestes disminuís un 97% des de l'any 1991. L'altra millora més important és la gran capacitat d'emmagatzematge que s'ha assolit, arribant a tenir bateries amb una capacitat de 100000 MWh.

Gràcies a aquestes millores les bateries de liti s'han posicionat en les primeres posicions en vendes mundials. La competència d'aquestes bateries són les bateries de plom àcid explicades anteriorment.

4.3.3.1. *Classificació segons material*

La composició de les bateries de liti és el següent: càtode, ànode, electròlit i un separador. L'ànode està compost per grafit, mentre que la composició del càtode varia segons les característiques que necessitem, algun dels materials utilitzats són el níquel, magnesi o cobalt entre d'altres.

A continuació s'explica, de forma breu, les característiques que ens proporcionen els diferents materials del qual pot estar format el càtode.

- **Liti – cobalt** (X),(XI),(XII): aquestes són les més comunes per a bateries de telèfon mòbil i altres dispositius portàtils petits. Tenen molta energia específica.
- **Polímer de liti:** presenten una gran capacitat d'emmagatzematge d'energia i són lleugeres.

- **Liti – ferrofostat:** les podem trobar en motos elèctriques. Presenten una baixa resistència, millor seguretat i estabilitat tèrmica. També ofereixen una gran durabilitat i un llarg cicle de vida. El desavantatge d'aquestes bateries és el voltatge inferior comparat amb altres bateries, fent que no entreguin tanta energia.
- **Òxid de liti – magnesi:** aquestes es poden trobar en equips mèdics, eines elèctriques o bicicletes. Tenen una gran estabilitat a grans temperatures i són més segures.
- **Metatitani de liti:** el seu ús és freqüent en bicicletes així com en vehicles elèctrics. També es troben en l'àmbit militar i aeroespacial. La característica més destacable d'aquestes és la capacitat de càrrega ràpida i la inclusió de nano tecnologia.
- **Òxid d'alumini de liti – níquel – cobalt :** són de les més cares del mercat. No són tan segures com les mencionades anteriorment. Les seves aplicacions es troben en sistemes de propulsió elèctrica i emmagatzematge de la xarxa.
- **Òxid de cobalt de magnesi i liti:** aquestes també les podem trobar en sistemes de propulsió elèctrica i eines. Tenen una gran densitat d'energia específica. També es troben en la franja alta de preus.

Les reaccions REDOX (X) (XI) (XII) mostrades a continuació fan referència a les bateries de Liti i Cobalt, ja que són les més comunes del mercat.

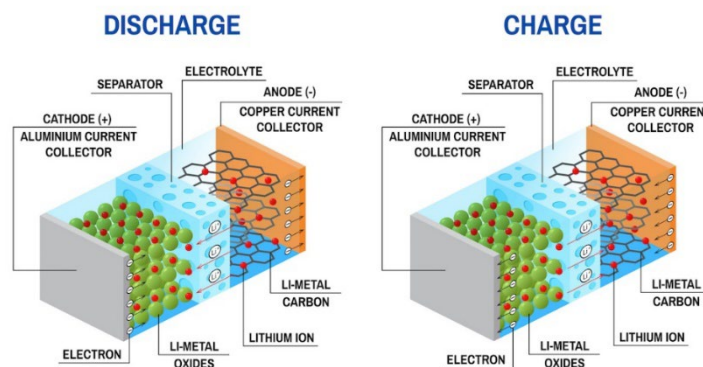
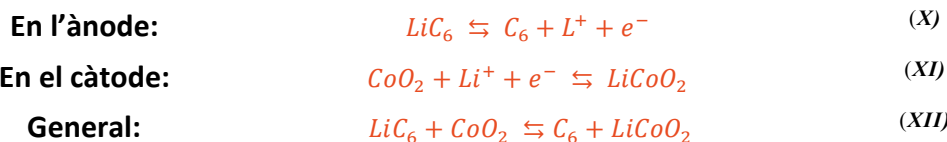


Figura 8. Esquema de la càrrega i descàrrega de les bateries de ió – liti.
Font: www.ecoinventos.com

4.3.3.2. Avantatges i inconvenients

Un altre punt important sobre les bateries de liti són els avantatges i inconvenients que ens presenten.

Per començar, l'avantatge més destacable és l'elevada densitat d'energia, de manera que poden acumular una quantitat major d'energia per unitat de pes i de volum. Ara bé, aquest augment de densitat d'energia no afecta el pes de la bateria, de fet, les bateries de liti són menys pesades i ocupen menys volum que les altres bateries mencionades en aquest treball. Pel que fa al voltatge, aquestes presenten un voltatge elevat per cèl·lula, ja que cada una ens proporciona 3,7 volts.

Altrament, la descàrrega de la bateria es fa de manera lineal, no requerint circuits reguladors i facilitant la informació sobre quina càrrega emmagatzema la bateria en cada moment. Si fem una comparació amb les bateries de níquel, aquestes tenien una ràtio del 20% d'auto descàrrega, mentre que per a les bateries de liti aquest és del 6%.

D'altra banda, aquestes bateries també tenen inconvenients. El cicle de vida d'aquestes bateries és d'uns 3 anys de vida, independentment de l'ús que se'n faci. A més a més, el cicle de vida es pot veure afectada per baixes temperatures. Així és que suporten un nombre limitat de càrregues, on l'interval és entre 300 i 1000 menys que les bateries de níquel – cadmi.

Finalment, són una de les bateries més venudes al mercat, i s'ha aconseguit disminuir el seu valor de fabricació d'ençà que es van llençar al mercat, tot i això, continuen sent de les més costoses de fabricar.

5. MICROCONTROLADORS

Els microcontroladors són dispositius electrònics capaços de dur a terme processos lògics. Tenen la capacitat de recopilar informació provinent de les entrades, processar aquesta informació i generar una acció de sortida a partir del codi de programa que s'ha implantat. Aquests s'utilitzen per aplicacions específiques.

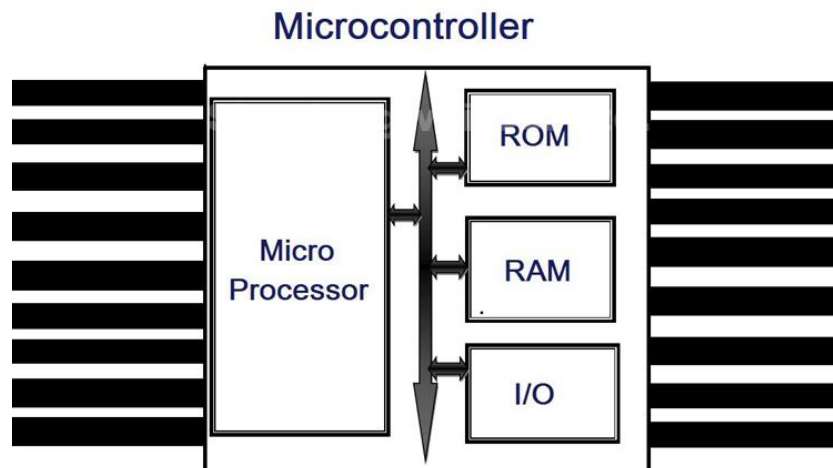


Figura 9. Estructura d'un microcontrolador.
Font: www.shunlongwei.com

Els elements necessaris per executar els processos lògics es troben en un circuit integrat, és a dir, els microcontroladors són un únic dispositiu el qual internament disposa d'una CPU, una memòria RAM i una memòria ROM, així també entrades i sortides.

5.1. COMPONENTS

5.1.1. MICROPROCESSADORS

Els microprocessadors són la part més important dels microcontroladors. Aquests són els que determinen les característiques del sistema, tant en l'àmbit de hardware com de software.

Els microprocessadors o CPU (Central Process Unit) són els encarregats de rebre el codi de la instrucció en curs, descodificar-lo i executar l'operació que implica la instrucció, també és l'encarregat de la cerca dels operants i de l'emmagatzematge dels resultats.

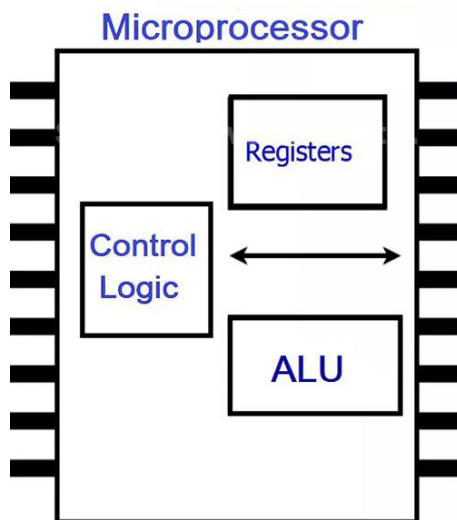


Figura 10. Estructura d'un microprocessador.
Font: www.shunlongwei.com

5.1.2. ALTRES

A continuació, s'exposen altres elements que trobem en un microcontrolador.

- **Ports d'entrada/sortida:** són ports que s'utilitzen per introduir entrades o sortides al sistema.
- **Ports serials:** es fan servir per proporcionar una connexió entre el microcontrolador i els perifèrics.
- **Temporitzadors:** s'usen per gestionar les operacions que requereixin cronometratge i recompte.
- **ADC (Analogic – Digital Converter):** la funció d'aquest convertidor és generar senyals digitals a partir de senyals analògics.
- **DAC (Digital – Analogic Converter):** fa la funció inversa de l'ADC.
- **Interpretar el control:** dona control retardat a un programa en execució i la interpretació pot ser interna o externa.
- **Bloc de funcionament especial:** són ports extres que tenen la finalitat de efectuar operacions específiques. Aquest element no es troba en tots els microcontroladors.
- **Memòria:** espai físic on es grava la informació dels programes.

5.2. CLASSIFICACIÓ

Hi ha tres grans característiques dels microcontroladors que podem variar i ens aportaran diferents serveis. Aquestes característiques són l'ample del bus, el conjunt d'instruccions del processador i l'estructura de la memòria.

5.2.1. SEGONS ELS BITS

La primera classificació que és a partir de la quantitat de bits que pot tenir un microcontrolador. Aquesta quantitat ens indicarà la rapidesa del dispositiu a l'hora de efectuar les operacions lògiques pertinents. Com més alt sigui el nombre de bits, més ràpid serà el dispositiu.

Aquesta classificació comença amb els microcontroladors de 8 bits, els quals s'utilitzen per a projectes simples i són els més populars. Seguidament, hi ha els microcontroladors de 16 bits, i per últim els microcontroladors de 32 bits. Aquests últims tenen la capacitat de realitzar aplicacions més complexes.

5.2.2. SEGONS EL TIPUS DE MEMÒRIA

Hi ha dues classificacions segons el tipus de memòria, segons l'estructura o segons el temps d'emmagatzematge de la informació.

En la primera classificació podem observar dos apartats:

- **Integrada:** quan el sistema integrat compta amb un microxip el qual té la memòria integrada.
- **Externa:** quan el microxip del sistema integrat no compta de memòria i aquesta s'ha d'instal·lar externament.

L'altre tipus de classificació és segons l'arquitectura de la memòria, d'aquestes hi ha dues categories generals explicades a continuació.

- **Memòria RAM (Random Acces Memory):** és una memòria temporal que serveix per gravar informació dels arxius que s'estan fent servint de manera temporal. Aquesta memòria és borra cada cop que es reinicia o s'apaga el microcontrolador.
 - DRAM (Dinamic Random Acces Memory): estan construïdes a base de condensadors els quals necessiten estar refrescant constantment la

informació guardada. Aquest fet fa que la velocitat disminueixi, però també són més econòmics.

- SRAM (Static Random Acces Memory): estan construïdes a partir de transistors. Aquests no tenen la necessitat de refrescar la informació, fet que els fa més ràpids que els DRAM, i a la vegada més cars.
- **Memòria ROM (Read Only Memory)**: és una memòria permanent, per tant, la informació que es grava en aquesta memòria no s'esborra al reiniciar o apagar el microcontrolador. En aquesta memòria es grava informació com la porció d'arrancada inicial del software o les instruccions de firmware de perifèrics.
 - PROM (Programable Read Only Memory): són memòries que només ens permet gravar la informació un cop, un cop gravada no es podrà modificar, només llegir. Aquest tipus de memòries estan construïdes a base de transistors i fusibles. Cada punt de memòria estarà format per un de cada. Quan es faci passar un corrent pel fusible, aquest es fondrà, destruint per complet la informació que es trobava gravada.
 - EPROM (Erasable Programable Read Only Memory): és la mateixa base que les memòries PROM, però amb aquest model sí que es pot editar la informació guardada un número limitat de vegades. El procés per esborrar i modificar la informació és complicat i costos.
 - EEPROM (Electrical Erasable Programable Read Only Memory): aquest model de memòria dona la possibilitat d'eliminar i modificar la informació gravada en ella. Aquest procés es fa mitjançant el pas de corrent elèctric. La informació és eliminada simultàniament a totes les cèl·lules.

5.2.3. SEGONS EL CONJUNT D'INSTRUCCIONS

Aquests elements, com als microcontroladors, poden tenir diferents arquitectures les quals determinaran les característiques d'aquests.

- a) **CISC (Complex Instruction Set Computing)**: tenen un gran nombre d'instruccions sofisticades i potents. Requereixen diversos cicles de rellotge per la seva execució.
- b) **RISC (Reduced Instruction Set Computing)**: plantegen un conjunt reduït d'instruccions amb la finalitat de reduir el temps de rellotge d'execució.

- c) **SISC (Simple Instruction Set Computing)**: el joc d'instruccions es reduït i específic, fent que les instruccions s'adaptin a les necessitats d'aplicacions previstes.

5.2.4. SEGONS L'ARQUITECTURA

Els microcontroladors poden tenir fins a dues arquitectures internes, aquestes determinen el funcionament.

5.2.4.1. *Von Neumann*

En aquest tipus d'arquitectura, el processador (CPU) està connectat mitjançant un únic bus de comunicació a la memòria RAM com a la memòria ROM, és a dir, les instruccions del programa i les dades s'emmagatzemen conjuntament.

L'avantatge d'aquesta arquitectura és la simplificació de busos de comunicació d'entrades – sortides, però aquest fet també provoca un alentiment en el moment d'executar instruccions.

Les limitacions d'aquest model són les següents:

- En tenir un únic bus de dades, el processador ha de fer diversos accessos a la memòria per tal de trobar les instruccions complexes.
- Es redueix el temps de realització de les operacions, ja que no es poden superposar els temps d'accés a les memòries, o sigui, no es pot accedir a la memòria a buscar una instrucció fins que no s'hagi acabat la transferència de dades, i viceversa.

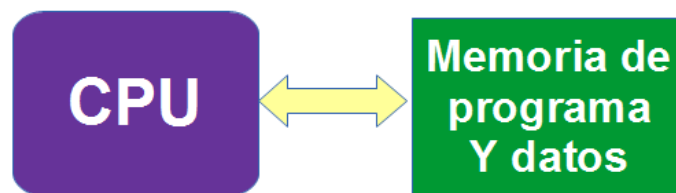


Figura 11. Esquema del funcionament de l'estructura Von Neumann.
 Font: <http://sherlin.xbot.es/>

5.2.4.2. Harvard

D'altra banda, tenim l'arquitectura Harvard. La característica diferencial d'aquesta arquitectura amb l'explicada en l'apartat anterior és la presència de dos busos de dades diferents, de manera que la memòria RAM i la memòria ROM es troben separades. Aquesta arquitectura és la més utilitzada actualment.

Aquest model té els següents avantatges:

- Major velocitat ja que es pot accedir a memòria de dades per tal de completar l'acció en curs i al mateix temps accedir a la memòria de programa per buscar una nova instrucció.
- El temps d'accés a les memòries es pot superposar.



Figura 12. Esquema del funcionament de l'estructura Harvard.
Font: <http://sherlin.xbot.es/>

6. ARDUINO

Per tal d'executar l'algoritme per preveure la vida útil remenen d'una bateria, primer s'han de prendre les mesures adients, amb la finalitat d'aconseguir una base de dades de diferents variables, mitjançant una placa Arduino i diversos sensors.

Les plaques Arduino són plaques electròniques de hardware lliure i que compten amb un circuit integrat, la finalitat de les quals és poder gravar instruccions, que s'hauran escrit utilitzant un programa de llenguatge propi.

De manera paral·lela, les plaques Arduino presenten tots els elements necessaris per a poder connectar els elements perifèrics a les entrades i a les sortides. Els elements perifèrics són tots aquells elements auxiliars independents del microcontrolador com podria ser sensors, càmeres, altaveus, targetes de comunicació, entre d'altres.

Les primeres plaques d'Arduino apareixen al mercat durant l'any 2005 com un projecte per a l'Institut de Disseny Interactiu d'Ivrea. Aquest projecte va sorgir de la necessitat



Figura 13. Marca corporativa d'ARDUINO.

Font:

<http://mecatronicahoje.blogspot.com/>

d'abaratir costos, ja que en aquell moment els estudiants usaven plaques electròniques del voltant dels 100 € de cost. El tancament de l'Institut d'Ivrea aquell mateix any no va suposar la cancel·lació del projecte Arduino, de fet va ser el motiu de l'obertura del programari al públic general. Des de llavors, Arduino ha anat evolucionant gràcies a les propostes de millores i surgències dels consumidors, i ha aconseguit crear una extensa comunitat mitjançant fòrums.

6.1. FUNCIONAMENT

El funcionament d'Arduino es resumeix en tres grans blocs, els quals segueixen un ordre d'execució.

Els tres grans blocs es poden resumir de la següent manera.

- a) **Interfase d'entrada:** en aquest bloc trobem els diferents perifèrics connectats a la placa electrònica. Hi ha dues maneres de connectar aquesta interfase, la primera estaria connectada directament als perifèrics, i una segona on els perifèrics es connectarien a través dels ports que es troben a la placa Arduino.

Disseny d'un prototip de carregador per a bateries

- b) **Tractament de les entrades generades:** en aquest bloc trobem el microcontrolador, el qual es programa a partir de l'entorn de programació d'Arduino. El microcontrolador és l'encarregat de tractar els senyals que provenen de les entrades per tal de generar senyals de sortides.
- c) **Interfase de sortida:** en aquest punt l'objectiu és que els senyals de sortida generats pel microcontrolador arribin als perifèrics de sortida connectats.

A continuació s'adjunta una il·lustració gràfica (Figura 14) del procés de funcionament d'una placa Arduino.

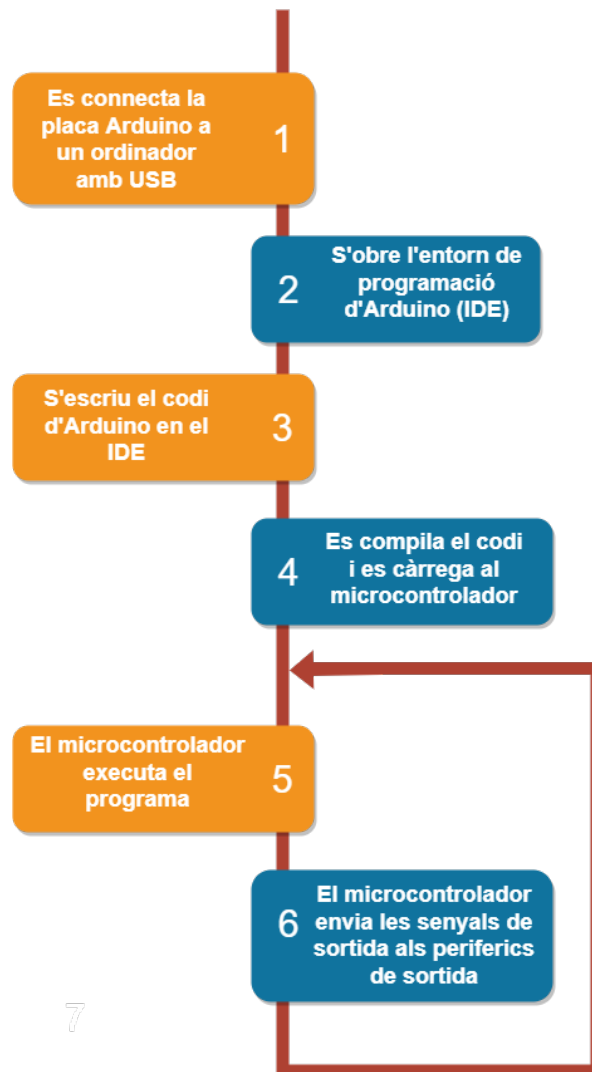


Figura 14. Esquema del funcionament d'una placa d'Arduino.

6.2. MODALITATS

Hi ha dues maneres de fer servir les plaques Arduino. La primera, com s'ha comentat a l'apartat anterior, utilitzar-les com un microcontrolador, és a dir controlant els elements perifèrics d'entrada i sortida mitjançant un programa.

L'altra opció d'utilització de les plaques es fa servir per a projectes de major complexitat. En aquesta modalitat a l'entrada de l'Arduino només tindrem sensors i la sortida estarà connectada a un ordinador el qual té la capacitat d'executar tasques complexes.

No obstant això, en les dues modalitats s'ha de carregar un programa a la placa Arduino que executa una sortida.

6.3. COMPONENTS

A continuació és detallen els diferents components que ens podem trobar en les plaques d'Arduino.

- **Ports digitals:** són ports que es poden utilitzar tant per entrades com per sortides. Només llegeixen valors binaris (0 o 1) o valors de tensió 0 V o 5 V; en cap cas interpretarà valors que es trobin al mig.
- **Ports analògics:** aquests ports són capaços de llegir valors dins de l'interval de 0 a 5 volts. Són capaços de llegir el senyal d'un sensor analògic i convertir-la en un valor digital per a poder-lo interpretar.
- **Ports d'amplada de banda:** disposem de ports que permeten la modulació per amplada de banda. Aquests ports estan indicats de la següent manera ~.
- **Ports d'alimentació:** en aquest apartat de la placa es poden observar una sèrie de ports amb diferents funcions.
 - Port RESET: permet reiniciar el microcontrolador
 - Port de 5 V i de 3,3 V: ports per subministrar el voltatge indicat.
 - Port GND: port que ens permet connectar a terra el circuit. N'hi ha varis en tota la placa.

Disseny d'un prototip de carregador per a bateries

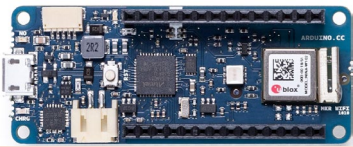



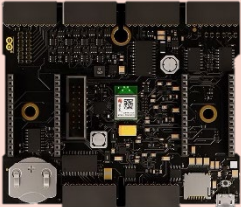
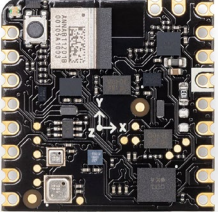
- Port VIN: s'utilitza per connectar l'alimentació de la placa amb una font externa de valor entre 6 i 12 V.
- **Microcontrolador de comunicació**: permet identificar el dispositiu USB per l'ordinador.
- **Microcontrolador de programació**: és la zona del circuit integrat que actua com a cervell de la placa d'Arduino. Aquí s'implementa la programació.
- **Botó de RESET**: en pulsar aquest botó, el pin de RESET es connectarà i reinicialitzarà el codi que s'estigui executant. En cap moment borra informació del microcontrolador.
- **Connectors d'alimentació**: per tal que la placa sigui funcional, li ha d'arribar tensió. Hi ha dues maneres per fer arribar tensió a la placa.
 - Port USB: podem alimentar la placa mitjançant un cable USB connectat a un ordinador. Aquest port és el mateix que es fa servir per carregar el codi de programa al microcontrolador.
 - Font d'alimentació: podem alimentar la placa mitjançant una font d'alimentació entre 6 i 12 volts.

6.4. PRODUCTES

Al llarg dels anys, ARDUINO ha tret al mercat més de 100 productes. Dins d'aquests productes, no només hi ha plaques electròniques sinó també podem trobar kits, escuts, plaques, entre d'altres. En aquest apartat es farà un resum dels productes que ens podem trobar i, posteriorment s'explicarà les característiques més importants de la placa ARDUINO escollida per a poder realitzar la part pràctica.

Els productes estan separats mitjançant famílies. A cada família es troben els productes amb característiques similars. A continuació, es mostra una llista (Taula 2) amb les famílies de productes i les seves característiques principals.

Taula 2. Llistat de les famílies de productes de la marca Arduino.

FAMÍLIA	CARACTERÍSTIQUES	FOTOGRAFIES
MKR	Les plaques disposen del microcontrolador de 32 bits d'Atmel SAMD21. Productes pensats per la comunicació sense fils (IoT)	
Clàssic	Són els productes més senzills.	
Nano	Productes de mida petits però amb processadors potents.	
Portenta	Productes pensats per a la indústria. Tenen una gran capacitat computacional.	
Pro Solutions and Kits	Productes professionals llestos per utilitzar amb la finalitat d'augmentar la productivitat.	
Nicla	Producte més petit del catàleg. Gamma industrial.	

7. PROTOTIP DEL CARREGADOR

En aquest punt s'expliquen els diferents elements emprats per l'assemblatge del prototip de càrrega i de descàrrega de bateries.

Si ens fixem en l'esquema de connexió general del prototip, la Figura 15, podem identificar 5 elements. A continuació, s'expliquen amb més detall cada un d'aquests i la seva funció. ¹

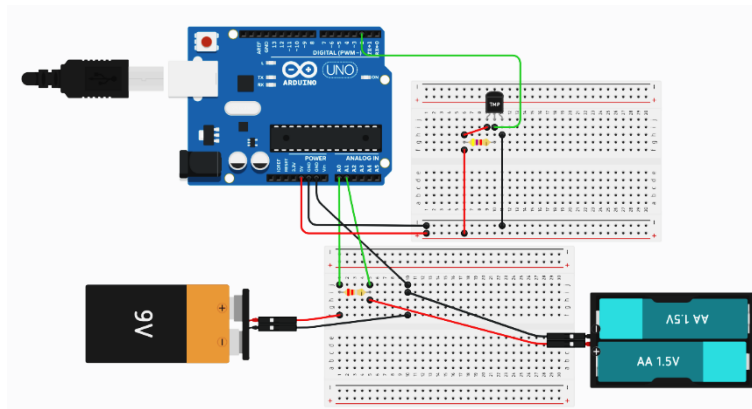


Figura 15. Esquema de connexió per al ciclu de càrrega.

7.1. FONT D'ALIMENTACIÓ

El primer ítem a considerar és el tipus d'alimentació que s'utilitza per alimentar el nostre prototip. L'opció que s'ha escollit ha sigut una font d'alimentació d'ordinador, la qual transforma el corrent altern de la xarxa en corrent continu. Aquesta font d'alimentació té uns valors de sortida de 24 V i de 5 A, i aquesta està connectada al convertidor *Buck* explicat en el següent punt.



Figura 16. Font d'alimentació utilitzada per al prototip.

¹ EN L'ESQUEMA DE CONNEXIÓ S'HA CONNEXAT UNA PILA DE 9 V PER SIMULAR LA FONT D'ALIMENTACIÓ. EL CONVERTIDOR BUCK NO ESTÀ REPRESENTAT DEGUT A QUE EL PROGRAMA DE DIBUIX DE L'ESQUEMA NO DISPOSAVA DE L'ELEMENT.

7.2. CONVERTIDOR BUCK

El convertidor Buck, o convertidor reductor, és el més bàsic de la família de convertidors de CC – CC. Aquest convertidor no disposa d'aïllament galvànic i, la tensió de sortida és menor a la tensió d'entrada.

7.2.1. MÒDUL XL4015

El model del convertidor *Buck* utilitzat per aquest estudi és el model XL4015 de la marca XLSEMI.

Aquest mòdul té la capacitat de treballar en dos modes de control: el control en tensió i el control en corrent. En la Taula 3 podem veure els aspectes tècnics més remarcables d'aquest mòdul.

Taula 3. Taula de característiques del mòdul XL4015

Voltatge d'entrada	8 – 36 V (DC)
Voltatge de sortida	1,25 – 32 V (DC)
Corrent de sortida	5 A
Freqüència de commutació	300 kHz
Eficiència	95 %
Longitud	51 mm
Ample	26,3 mm
Temperatura	-40° a 80°

En el centre de la placa podem observar dos potenciòmetres, aquests regulen la tensió i el corrent de sortida. També es poden observar tres llums LED, on cada llum proporciona a l'usuari la informació següent:

- **LED 1:** La bateria es troba carregada.
- **LED 2:** S'està carregant la bateria.
- **LED 3:** ens informa en quin mode està treballant el convertidor.
 - LED apagat: el convertidor està treballant amb el control en tensió.

Disseny d'un prototip de carregador per a bateries

- LED encès: el convertidor està treballant amb el control en corrent.

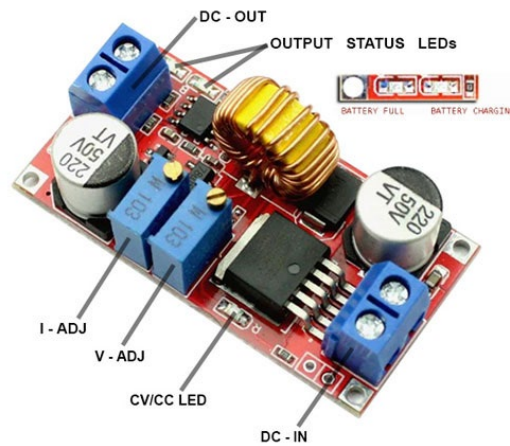


Figura 17. Distribució dels components del mòdul XL4015.

Font: <https://circuitdigest.com/>

A continuació, s'explicaran els elements electrònics principals.

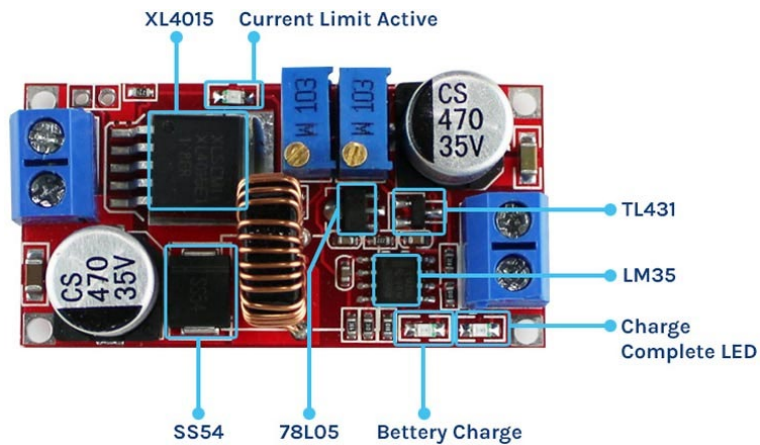


Figura 18. Distribució dels elements electrònics principals del mòdul XL4015.

7.2.1.1. Xip XL4015

Pel que fa al xip XL4015, aquest és el cervell del mòdul esmentat abans. Com se cita en la fitxa de dades proporcionada pel fabricant:

El XL4015 és un convertidor DC/DC PWM de freqüència fixa de 180 kHz (reduïda), capaç de conduir una càrrega de 5 A amb alta eficiència, baixa ondulació i una excel·lent regulació de línia i càrrega. Requerint un nombre mínim de components externs, el regulador és senzill d'utilitzar i inclou

compensació de freqüència interna i un oscil·lador de freqüència fixa. (XLSEMI, n.d.) (Text traduït)

En la Figura 21, podem veure el diagrama de blocs del xip.

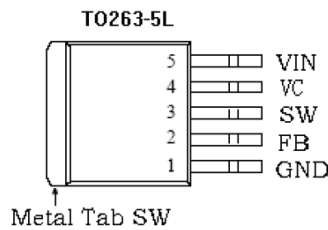


Figura 20. Configuració dels pins del xip XL4015.
Font: Datasheet

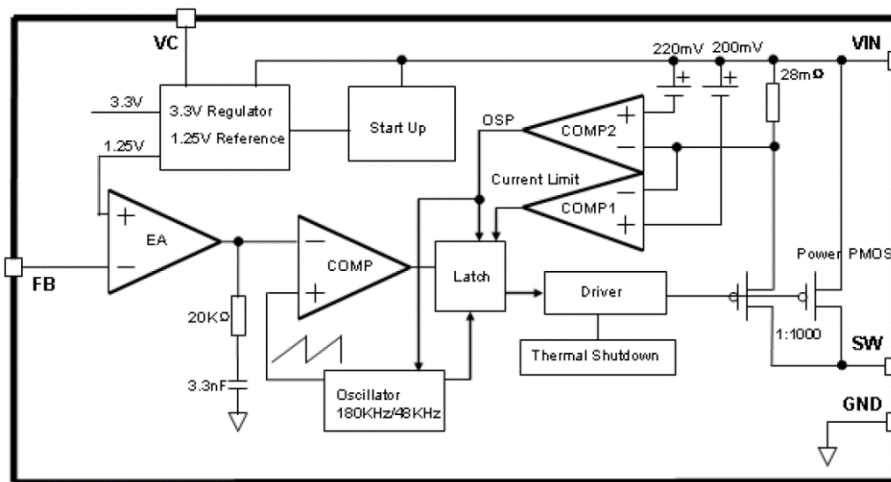


Figura 19. Diagrama de blocs del xip XL4015.
Font: Datasheet

7.2.1.2. Regulador de tensió 78L05

Un regulador de tensió és aquell que manté constant la tensió entre els seus terminals, independentment de l'element connectat entre els borns de sortida. El regulador de tensió que està instal·lat en el nostre mòdul Buck és el LM78L05.

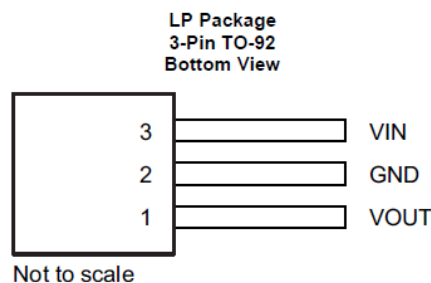


Figura 21. Configuració dels pins del regulador de tensió LM78L05.
Font: Datasheet

Disseny d'un prototip de carregador per a bateries

La sèrie LM78(Y)XX es caracteritza per ser un regulador de tensió positiu de tres terminals (voltatge d'entrada, terra i voltatge de sortida). Pel que fa a la nomenclatura dels components que formen aquesta família, el número 78 ens informa que es tracta d'un regulador de tensió positiva, mentre que els dos últims números (XX) fan referència a la tensió de sortida que proporciona el convertidor reductor. Pel que fa al valor Y, aquest és opcional, i determinarà la intensitat màxima del component. Se segueix el següent codi per saber quina intensitat màxima ens ofereix:

- **78XX (sense lletra):** intensitat 1 A
- **78LXX:** intensitat 0,1 A
- **78MXX:** intensitat 0,5 A
- **78SXX:** intensitat 2 A
- **78TXX:** intensitat 3 A

El component més comú d'aquesta família és el LM7805, ara bé, el que trobem en el nostre circuit és el LM78L05.

Les característiques principals d'aquest element són les mostrades en la Taula 4:

Taula 4. Taula de les característiques principals del LM78L05.

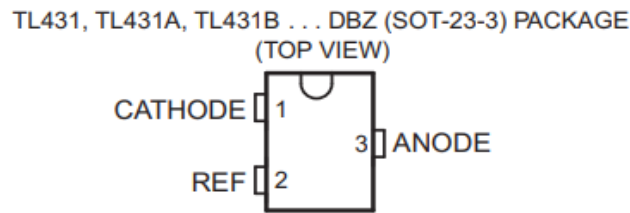
Voltatge d'entrada	8 – 36 V (DC)
Voltatge de sortida	1,25 – 32 V (DC)
Corrent de sortida	5 A
Freqüència de commutació	300 kHz
Eficiència	95 %
Longitud	51 mm
Ample	26,3 mm
Temperatura	-40° a 80°

7.2.1.3. Regulador de derivació de precisió TL431

El regulador de derivació de precisió utilitzat en el mòdul XL4015 és el TL431. Aquest component és fabricat per Texas Instruments.

Aquest és un circuit integrat regulador de tensió de derivació de precisió de tres terminals, i que amb l'ajuda d'un divisor de voltatge extern pot regular voltatges

entre els 2,5 V i els 36 V. Aquest tipus d'elements es poden fer servir per substituir els díodes Zener.



*Figura 22. Configuració dels pins del regulador de derivació de precisió TL431.
Font: Datasheet*

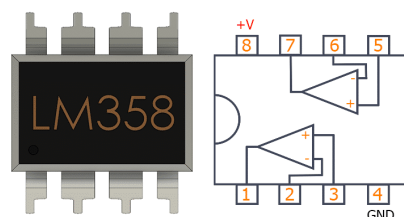
7.2.1.4. Amplificador operacional LM358

Per acabar, tenim l'amplificador operacional LM358. Aquest forma part de la família LM158 de Texas Instruments. Aquesta família consta de dos amplificadors operacionals independents, d'alt guany i compensació de freqüència interna i que estan dissenyats per treballar des d'una única font d'alimentació i una ampla gamma de valors. Les àrees on s'apliquen aquests amplificadors operacionals va des de transductors fins a blocs de guany de corrent continu.

En referència al LM358 ens proporciona estabilitat de guany d'unitat, també amb una tensió de compensació menor a 3 mV, entre d'altres.

A continuació, es mostra l'esquema de blocs d'aquest element.

AMPLIFICADOR OPERACIONAL LM358



PINOUT LM358	
1. OUTPUT A	5. NO-INVERTING INPUT B
2. INVERTING INPUT A	6. INVERTING INPUT B
3. NO-INVERTING INPUT A	7. OUTPUT B
4. GND	8. +V

*Figura 23. Configuració dels pins de l'amplificador operacional LM358.
Font: <https://uelectronics.com/>*

Disseny d'un prototip de carregador per a bateries

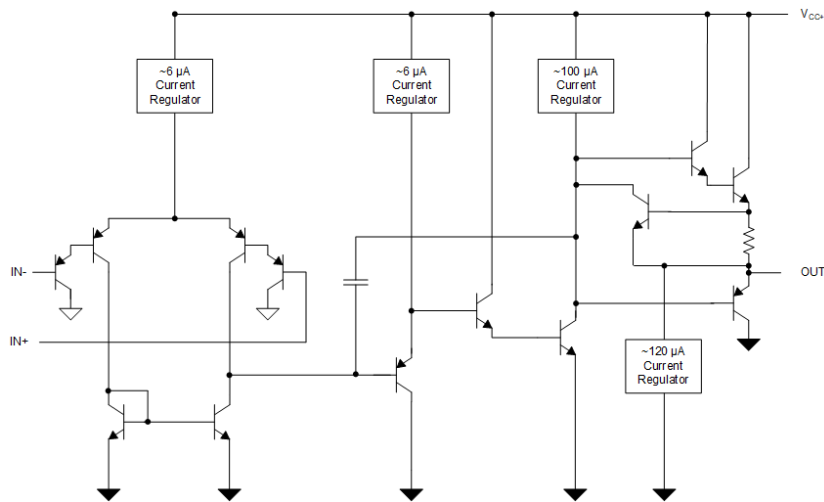


Figura 24. Diagrama de bloc funcional de l'amplificador LM358.
Font: Datasheet

7.3. BATERIA RECARREGABLE

En l'àmbit de les bateries recarregables hi ha molts models en el mercat. Per al nostre experiment les bateries havien de tenir uns requisits específics, un d'ells sent la capacitat. Per a poder realitzar l'estudi de càrrega i descàrrega diversos cops, es necessitava que les bateries utilitzades tinguessin una capacitat baixa. Amb aquestes condicions, es van triar les piles de níquel i hidrur metàl·lic (explicades anteriorment), aquestes són recarregables i a més a més tenen una capacitat de 1300 mAh.



Figura 25. Pack de bateries recarregables utilitzades en el projecte.

Font: <https://www.miravia.es/>

7.4. SENSORS

Per poder dibuixar les corbes dels cicles de càrrega i descàrrega s'han hagut de mesurar les variables de temperatura, intensitat i voltatge durant els cicles esmentats.

Per a la mesura del voltatge i del corrent, s'ha utilitzat els ports analògics de la placa Arduino. Per a la tensió només s'ha hagut de connectar el port analògic en el punt on es volia mesurar el voltatge, i des del programa fer la conversió d'analògic a digital. Per poder realitzar aquesta conversió s'ha de tenir en compte que la placa Arduino és de 10 bits, i per tant té una resolució de 2^{10} , és a dir pot llegir valors entre 0 i 1023. Sabent això, i sabent que la tensió de referència de la placa és de 5 V, s'ha pogut realitzar la conversió mitjançant la següent expressió (XIII):

$$\begin{array}{l} \text{Voltatge} \\ \text{analògic - digital} \end{array} \qquad V_{\text{analogic}} = V_{\text{digital}} \cdot \frac{5}{1023} \qquad \text{(XIII)}$$

Altrament, pel corrent s'ha hagut d'introduir una resistència de valor baix i conegut per poder calcular-lo. Aquesta resistència shunt ($2,2 \Omega$ per a la càrrega i $5,1 \Omega$ per la descàrrega), s'ha hagut d'introduir atès que l'Arduino no és capaç de llegir corrent elèctric. Així doncs, el procediment seguit ha sigut fer la mesura de la tensió en els borns de la resistència, i mitjançant l'equació (XIV), calcular la intensitat que transcorre per la resistència, i com que s'ha connectat en sèrie amb la bateria. La intensitat es mantindrà constant.

$$\begin{array}{l} \text{Corrent} \\ \text{analògica - digital} \end{array} \qquad I_{\text{analogic}} = I_{\text{digital}} \cdot \frac{5}{1023 \cdot R_{\text{shunt}}} \qquad \text{(XIV)}$$

Per últim, la temperatura s'ha mesurat mitjançant el sensor DS18B20 de Maxim Integrated. Aquest sensor ens proporciona lectures de la temperatura en graus Celsius. Aquest es comunica a través d'un cable amb el microprocessador. El rang de temperatures d'aquest sensor és d'entre $-55 \text{ }^\circ\text{C}$ i $125 \text{ }^\circ\text{C}$ i una resolució programable d'entre 9 i 12 bits. A continuació es mostra l'esquema de connexió amb Arduino.

Disseny d'un prototip de carregador per a bateries

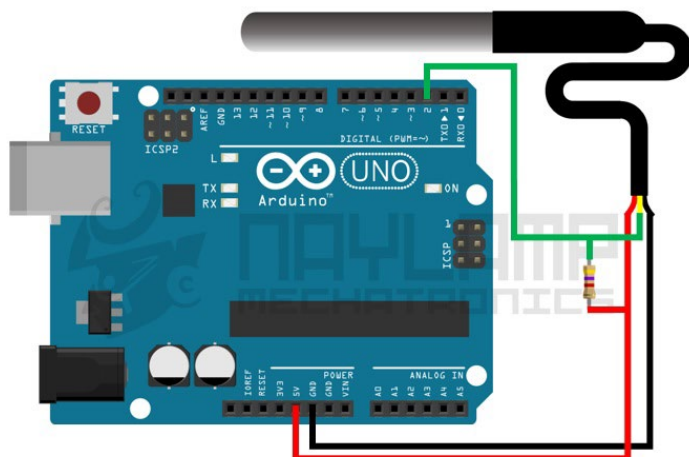


Figura 27. Esquema de connexió del sensor DS18B20 amb la placa Arduino MEGA2560.

Font: <https://naylampmechatronics.com/>

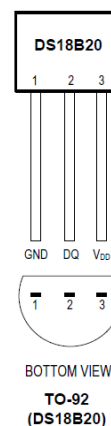


Figura 26. Configuració dels pins del sensor DS18B20.
Font: Datasheet

7.5. ARDUINO MEGA

La placa escollida per a realitzar la nostra part pràctica és l'ARDUINO MEGA. Aquesta placa forma part de la família clàssica. La seva estructura és similar a la d'Arduino UNO, el tret característic d'aquesta placa és el microprocessador i la quantitat d'entrades que disposa.

7.5.1. ASPECTES TÈCNICS

En referència als aspectes tècnics, l'ARDUINO MEGA disposa d'un microcontrolador ATmega2560, 54 ports digitals, 16 ports analògics, una connexió USB, un port d'alimentació, un port ICSP i un botó de RESET.

7.5.1.1. Components

Seguidament, es mostra la Taula 5 amb tots els components de la placa ARDUINO MEGA.

Taula 5. Taula amb les característiques bàsiques de la placa Arduino MEGA 2560.

Microcontrolador	ATmega2560
Memòria Flash	256 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB

Tensió de funcionament	5V
Voltatge d'entrada	7 – 12 V
Corrent CC pels ports I/O	20 mA
Corrent CC pel port de 3,3 V	50 mA
Ports digitals I/O	54
Ports analògics	16
Ports digitals PWM	15
Velocitat de rellotge	16 MHz
Longitud	101,52 mm
Ample	53,3 mm
Pes	37 g

També s'adjunta un esquema de la distribució dels ports de la placa.

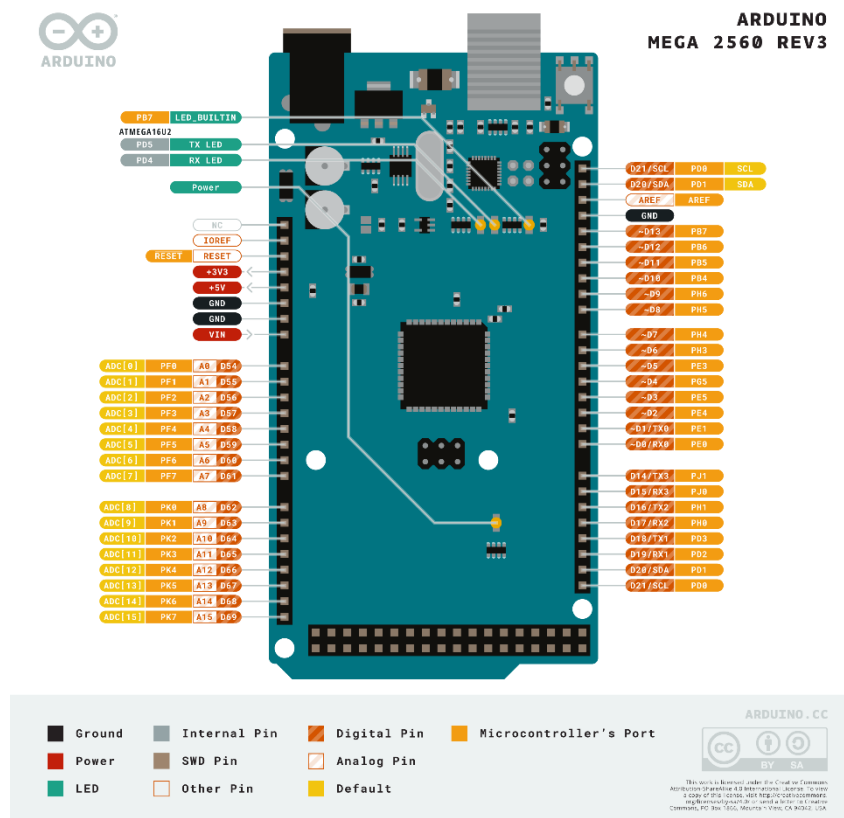


Figura 28. Esquema dels ports de l'Arduino Mega2560.
 Font: <https://store.arduino.cc/>

Disseny d'un prototip de carregador per a bateries

7.5.1.1.1 Microcontrolador ATmega2560

Atmel és una empresa fundada el 1984 especialitzada en la fabricació de circuits integrats. Gran part del mercat de l'empresa està dirigit a microcontroladors integrats.

El microcontrolador que disposem en la nostra placa és un microcontrolador ATmega2560. Aquest dispositiu forma part de la família megaAVR del fabricant Atmel. Aquests productes proporcionen una bona quantitat de memòria i una gran quantitat de perifèrics instal·lats per a aplicacions complexes. La base de la família AVR és la modificació de l'arquitectura Harvard.

La base del microcontrolador ATmega2560 és AVR RISC de 8 bits. Aquest microcontrolador ofereix executar instruccions complexes en un sol cicle de rellotge, optimitzant així el consum d'energia comparat amb la velocitat de processament.



*Figura 29. Imatge corporativa de l'empresa Atmel.
Font: <https://logo-download.com/>*

8. PROGRAMACIÓ DEL DATA LOGGER

En aquest apartat s'explica com s'ha fet l'emmagatzematge de dades del cicle de càrrega i descàrrega de les bateries. Aquest emmagatzematge de dades és imprescindible per poder realitzar un estudi de les dades experimentals i poder treure conclusions vàlides del treball. Per poder realitzar-lo s'han emprat dos entorns de programació, Arduino i Python.

Finalment, per treballar aquestes dades s'ha utilitzat Microsoft Excel.

8.1. ARDUINO

L'entorn de programació d'Arduino és gratuït i es pot descarregar des de la pàgina web oficial de la marca amb el mateix nom. És un entorn de programació utilitzat per escriure, compilar i carregar els programes a les plaques compatibles. Aquest es pot descarregar en diferents plataformes informàtiques: Windows, MacOS i Linux.

El llenguatge admès per l'IDE (*Integrated Development Enviroment*) són el C i el C++; així i tot, l'entorn es caracteritza per la seva senzillesa. Cada codi escrit en l'IDE s'anomena *sketch*.

En els següents subapartats s'explicaran les característiques més importants d'aquest entorn de programació, començant per la distribució de la pantalla fins a com implementar les llibreries de tercers.

8.1.1. DISTRIBUCIÓ DE LA PANTALLA

Respecte a la distribució dels menús i pantalles del desenvolupador, aquest té una interfase compacta i senzilla. En la Figura 30, podem veure les diferents parts del software.

1. **Barra de menús:** es troben els diferents menús que permeten accedir a accions de l'entorn de programació.
2. **Barra d'accessos directes:** és on es troben els botons de compilar i carregar el programa a la placa, entre altres accions més recurrents.
3. **Àrea d'edició:** en aquesta àrea és on s'escriu el codi de programació.

Disseny d'un prototip de carregador per a bateries

4. **Àrea d'estat:** es mostra una barra de progrés mentre es carrega el programa a la placa. Aquesta àrea ens aporta informació sobre si el programa s'està carregant correctament.
5. **Consola de sortida:** en aquesta zona es mostren les sortides generades pel compilador.
6. **Monitor sèrie:** aquest té la funció d'intercanviar dades entre la placa Arduino i el IDE.

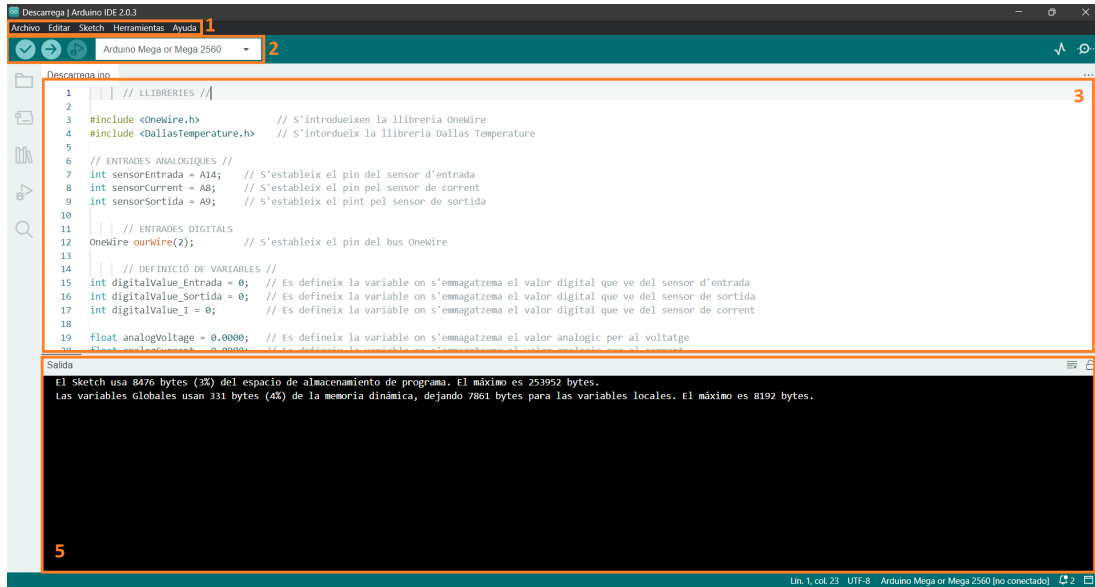


Figura 30. Distribució de la pantalla de l'entorn de programació d'Arduino.

8.1.2. LLIBRERIES

En aquest apartat es deixa de banda la part estètica per centrar-nos en l'explicació de les llibreries utilitzades per l'escriptura del codi que llegeix les variables procedents dels diferents sensors. Les llibreries emprades han estat les següents:

1. **ONE WIRE:** és la llibreria per poder comunicar el sensor de temperatura amb la placa. La seva principal característica és la capacitat d'enviar i rebre dades mitjançant un únic cable.
2. **DALLAS TEMPERATURE:** llibreria del sensor de temperatura.
3. **MILLIS:** mostra el temps que la placa porta funcionant d'ençà que s'ha carregat el programa. La unitat del temps retornat serà en mil·lisegons.

8.1.3. EXPLICACIÓ DEL CODI

En aquest apartat em dedico a explicar breument les parts més importants del codi adjunt a l'Annex_A.

S'han escrit dos programes, un per la càrrega i l'altre per la descàrrega, amb la mateixa base però discrepant en algunes parts. A continuació s'explicarà les parts comunes, i a l'acabar l'apartat s'explicaran les diferències trobades en aquests.

En primer lloc, les primeres línies serveixen per poder preparar les variables del nostre futur programa. Mitjançant les ordres **int** (emmagatzemen de números digitals), **include** (afegir llibreries externes), **float** (convertir en nombres decimals) i **unsigned long** (emmagatzematge de nombres positius), s'han establert les variables.

```

1  | | // LLIBRERIES //
2
3  | #include <OneWire.h>           // S'introdueixen la llibreria OneWire
4  | #include <DallasTemperature.h> // S'introdueix la llibreria Dallas Temperature
5
6  | // ENTRADES ANALOGIQUES //
7  | int sensorEntrada = A14;      // S'estableix el pin del sensor d'entrada
8  | int sensorCurrent = A8;       // S'estableix el pin pel sensor de corrent
9  | int sensorSortida = A9;       // S'estableix el pin pel sensor de sortida
10
11 | | // ENTRADES DIGITALS
12 | OneWire ourWire(2);           // S'estableix el pin del bus OneWire
13
14 | | // DEFINICIÓ DE VARIABLES //
15 | int digitalValue_Entrada = 0; // Es defineix la variable on s'emmagatzema el valor digital que ve del sensor d'entrada
16 | int digitalValue_Sortida = 0; // Es defineix la variable on s'emmagatzema el valor digital que ve del sensor de sortida
17 | int digitalValue_I = 0;       // Es defineix la variable on s'emmagatzema el valor digital que ve del sensor de corrent
18
19 | float analogVoltage = 0.0000; // Es defineix la variable on s'emmagatzema el valor analògic per al voltatge
20 | float analogCurrent = 0.0000; // Es defineix la variable on s'emmagatzema el valor analògic per al corrent
21
22 | String dataLabel0 = "Temps";   // Es defineix la variable de text per al títol de la columna Temps
23 | String dataLabel1 = "Tensio";  // Es defineix la variable de text per al títol de la columna Tensio
24 | String dataLabel2 = "Intensitat"; // Es defineix la variable de text per al títol de la columna Intensitat
25 | String dataLabel3 = "Temperatura"; // Es defineix la variable de text per al títol de la columna Temperatura
26 | bool label = true;             // Si els títols es troben actius
27
28 | unsigned long temps1 = 0;      // Es defineix la variable del temps 1
29 | unsigned long temps2 = 0;      // Es defineix la variable del temps 2
30
31 | DallasTemperature sensors(&ourWire); //Es declara una variable i objeto per al nostre sensor

```

Figura 31. Fragment de codi de l'arxiu "Descarrega" del programa Arduino.

A continuació podem observar les línies del programa. La primera acció que ens trobem és **void setup ()**. En aquest apartat s'especifica la velocitat del port sèrie, així com les instruccions de com connectar i inicialitzar els sensors de les llibreries definides anteriorment. La següent és el **void loop ()**, és on es duran a terme, dins d'un bucle, les accions especificades dins dels parèntesis. La placa Arduino llegirà el software escrit de la primera línia a l'última, i quan acabi tornarà a començar, fins que se li indiqui el contrari. Fins aquí el programa de càrrega i descàrrega són idèntics.

Disseny d'un prototip de carregador per a bateries

```
35 void setup() {
36   delay(1000);
37   Serial.begin(9600);
38   sensors.begin(); //Se inicia el sensor
39   temps1 = millis(); // S'inicia el comptador 1
40 }
41
42 void loop() {
43   sensors.requestTemperatures(); //S'envia l'ordre per llegir la temperatura
44   float temp= sensors.getTempCByIndex(0); //S'obte la temperatura en °C
45
46   digitalValue_Entrada = analogRead(sensorEntrada); // Llegeix el valor del canal analògic d'entrada
47   digitalValue_Sortida = analogRead(sensorSortida); // Llegeix el valor del canal analògic de sortida
48   digitalValue_I = analogRead(sensorCurrent); // Llegeix el valor del canal analògic de corrent
49
50   analogCurrent = ((digitalValue_Entrada - digitalValue_I)*5.00)/1023/5.1; // Converteix el valor digital en analògic per la corrent
51   analogVoltage = ((digitalValue_Entrada - digitalValue_Sortida) * 5.00)/1023; // Converteix el valor digital en analògic per la tensió
52
53   temps2 = millis(); // S'inicia el comptador 2
54   if (temps2 > (temps1 + 1000)){ // Si el comptador 2 es major que el comptador 1, es suma 1000
55     temps1 = millis();
56   }
```

Figura 33. Fragment de codi de l'arxiu "Descarrega" del programa Arduino.

Finalment, les últimes línies escrites són les d'impressió en pantalla de les variables. En aquest apartat s'han creat diferències entre els dos programes. Per poder crear el fitxer de dades, s'han escrit per pantalla el nom de les columnes de dades, i s'ha especificat que signe que separa els diferents valors és la coma, mentre que el signe decimal serà el punt.

```
52 // VISUALITZACIÓ DE DADES //
53 while(label){ // Mentre que la variable LABEL es activa s'imprimeixen les accions següents
54   Serial.print(dataLabel0);
55   Serial.print(",");
56   Serial.print(dataLabel1);
57   Serial.print(",");
58   Serial.print(dataLabel2);
59   Serial.print(",");
60   Serial.println(dataLabel3);
61   label = false; // Es declara inactiva la variable LABEL
62 }
63 temps2 = millis(); // S'inicia el comptador 2
64 if (temps2 < 720000){ // Si el comptador 2 es major que 120 minuts
65   Serial.print(temps2); // S'imprimeix la variable temps2 per pantalla
66   Serial.print(",");
67   Serial.print(analogVoltage,4); // S'imprimeix la variable analogVoltage per pantalla
68   Serial.print(",");
69   Serial.print(analogCurrent,4); // S'imprimeix la variable analogCurrent per pantalla
70   Serial.print(",");
71   Serial.println(temp,4); // S'imprimeix la variable temp per pantalla
72   delay(1000); // Fa lectures cada 1 segons
73 }
74 else{ // Si el comptador 2 es major a 120 minuts
75   Serial.print(temps2); // S'imprimeix la variable temps2 per pantalla
76   Serial.print(",");
77   Serial.print(analogVoltage,4); // S'imprimeix la variable analogVoltage per pantalla
78   Serial.print(",");
79   Serial.print(analogCurrent,4); // S'imprimeix la variable analogCurrent per pantalla
80   Serial.print(",");
81   Serial.println(temp,4); // S'imprimeix la variable temp per pantalla
82   delay(120000); // Fa lectures cada 2 minuts
83 }
84 }
```

Figura 32. Fragment de codi de l'arxiu "Carrega" del programa Arduino.

Pel que fa a les diferències entre els dos programes, aquestes es troben en el temps d'espera entre les lectures. Per al cicle de descàrrega, no es necessita canviar el temps de lectura de les dades, ara bé per al cicle de càrrega sí. Aquesta necessitat sorgeix a partir de la duració del cicle de càrrega de la bateria. El cicle consta de dues parts,

una part exponencial i una lineal, per tant, es necessita registrar més dades en la part exponencial, ja que hi ha més canvis per unitat de temps, per tal de poder-la dibuixar correctament. És per aquest motiu que s’ha creat una funció *if ()* per tal de que, si el valor del cronòmetre d’Arduino és menor a 120 minuts, es llegeixin les lectures cada 0,5 segons, mentre que si és major les lectures es fan cada 2 minuts.

8.2. PYTHON

El segon programa utilitzat ha estat Python i la plataforma Anaconda Python.



Figura 34. Imatge corporativa del programari Python.
Font: <https://www.icog.es>

Python és un llenguatge de programació gratuït, versàtil i fàcil d’escriure. Es poden trobar molts exemples i ajudes per internet gràcies a la gran comunitat que hi ha al voltant d’aquest llenguatge. S’ha emprat Python per poder establir una connexió entre la placa Arduino i el data logger. Mitjançant un codi Python s’ha creat un arxiu .csv, en el qual s’ha gravat tota la informació que es llegia des del port de la placa.

L’altre programa fet servir ha estat l’Anaconda Python, una distribució lliure i oberta dels llenguatges de Python i R. En instal·lar aquest programa també tenim accés a Conda i a Spyder.



Figura 35. Imatge corporativa del programa Anaconda.
Font: <https://upload.wikimedia.org>

Si anem a la pàgina web oficial d’Anaconda, l’entorn Conda és descrit amb les següents paraules:

“Conda és un sistema de gestió d’entorns i paquets de codi obert que s’executa en Windows, macOS i Linux. Conda instal·la, executa i actualitza ràpidament els paquets i les seves dependències. També crea, guarda, càrrega i canvia fàcilment

Disseny d'un prototip de carregador per a bateries

entre entorns en la seva computadora local. Va ser creat per a programes de Python, però pot empaquetar i distribuir programari per a qualsevol idioma.” (Anaconda | Anaconda Distribution, n.d.) (Text traduït).

D'altra banda, Spyder és descrit com un entorn científic gratuït i de codi obert.

“Spyder és un entorn científic gratuït i de codi obert escrit en Python, per a Python i dissenyat per i per a científics, enginyers i analistes de dades. Compta amb una combinació única de la funcionalitat avançada d'edició, anàlisi, depuració i creació de perfils d'una eina de desenvolupament integral amb l'exploració de dades, l'execució interactiva, la inspecció profunda i les belles capacitats de visualització d'un paquet científic.” (Home — Spyder IDE, n.d.) (Text traduït).



Figura 36. Imatge corporativa del programari Spyder.

Font: <https://www.spyder-ide.org/>

8.2.1. DISTRIBUCIÓ DE LA PANTALLA DE SPYDER

La interfase d'Anaconda Spyder consta de cinc components importants.

1. **Editor:** element clau de l'IDE, on es crea, s'obren i es modifiquen els arxius.
2. **Consola IPython:** permet executar accions i interactuar amb les dades que es troben dins de la llibreria IPython.
3. **Explorador de variables:** permet navegar i administrar les variables generades pel codi.
4. **Consola:** és on s'imprimeixen les accions que ens indica el codi. També es mostren els errors.

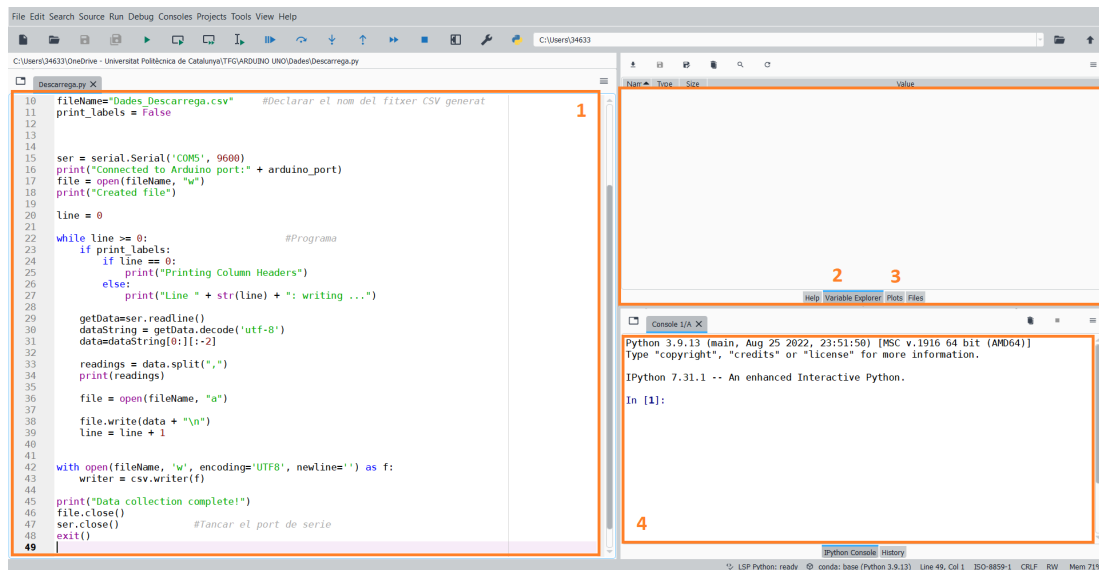


Figura 37. Distribució de la pantalla del programari Spyder.

8.2.2. EXPLICACIÓ DEL CODI

El codi de Python ens ha servit per poder realitzar una connexió entre el port de la placa Arduino amb l'ordinador, i poder així crear un arxiu d'emmagatzematge de dades.

Com en el cas del codi d'Arduino, en el codi de Python hi ha dues seccions a explicar.

Primerament, les primeres línies de codi són les que fan referència a la importació de les llibreries externes, en el nostre cas tenim les llibreries *serial* i *csv*. La primera es fa servir per poder crear la connexió amb l'entorn de programació d'Arduino, i la segona té la finalitat de crear un fitxer de valors separats per comes. Les següents línies és on s'haurà d'especificar una sèrie de valors (número de port, velocitat del port sèrie, nom del document csv) per poder realitzar la comunicació amb èxit.

```

1  # Importació de les diferents llibreries a utilitzar
2
3  import serial
4  import csv
5
6  # Assegurar-se de que el port COM és l'indicat per Windows
7
8  arduino_port = "COM5"           #Port serial de l'Arduino
9  baud = 9600                    #Velocitat que funciona l'arduino
10 fileName="Dades_Descarrega.csv" #Declarar el nom del fitxer CSV generat
11 print_labels = False
12

```

Figura 38. Fragment de codi de l'arxiu "Carrega" del programa Spyder.

Disseny d'un prototip de carregador per a bateries

Un cop s'han determinat tots els valors, és el torn del programa. S'ha escrit el programa mitjançant l'acció *while*, ja que la finalitat del programa és que llegeixi les lectures del port sèrie de l'Arduino de manera indefinida, i per tant es necessita un bucle.

```
15 ser = serial.Serial('COM5', 9600)
16 print("Connected to Arduino port:" + arduino_port)
17 file = open(fileName, "w")
18 print("Created file")
19
20 line = 0
21
22 while line >= 0:                                #Programa
23     if print_labels:
24         if line == 0:
25             print("Printing Column Headers")
26         else:
27             print("Line " + str(line) + ": writing ...")
28
29     getData=ser.readline()
30     dataString = getData.decode('utf-8')
31     data=dataString[0:][::-2]
32
33     readings = data.split(",")
34     print(readings)
35
36     file = open(fileName, "a")
37
38     file.write(data + "\n")
39     line = line + 1
40
41
42 with open(fileName, 'w', encoding='UTF8', newline='') as f:
43     writer = csv.writer(f)
```

Figura 39. Fragment de codi de l'arxiu "Carrega" del programa Spyder.

Finalment, un cop registrades les dades, s'indica que es tanqui el fitxer (això ens permet poder-lo editar), i també s'indica que tanqui el port de la placa.

```
44
45 print("Data collection complete!")
46 file.close()
47 ser.close()                                #Tancar el port de serie
48 exit()
49
```

Figura 40. Fragment de codi de l'arxiu "Carrega" del programa Spyder.

Aquesta última acció és molt important, ja que el port sèrie només pot estar obert a una plataforma a la vegada, per tant, si no es tanca no es podrà carregar un nou programa a la placa a través de l'IDE d'Arduino.

8.3. ANÀLISIS DE DADES

Finalment, un cop registrades les dades dels cicles de càrrega i descàrrega, s'ha utilitzat el programa de càlcul Microsoft Excel. Gràcies al fitxer .csv creat, a partir del codi Python, durant els cicles de càrrega i descàrrega s'han dibuixat les corbes de cada cicle.

Per poder llegir correctament els valors registrats, primer s'ha hagut de determinar la separació dels valors, per tal que el programa pogués classificar els valors a la columna corresponent. El criteri que s'ha seguit és el següent: usar la coma (,) com a separador de cada variable, i el punt (.) per a la separació decimal. Un cop s'han tingut els valors descompostos en columnes, s'ha procedit a grafiar les corbes de tensió i corrent per als cicles de càrrega i descàrrega de la bateria estudiada.

9. RESULTATS DELS CICLES DE CÀRREGA I DESCÀRREGA

En aquest apartat ens dedicarem a exposar els resultats obtinguts durant els cicles de càrrega i descàrrega. El cicle de càrrega ha tingut una duració de sis hores, mentre que el cicle de descàrrega té una durada de 30 minuts.

El temps dels cicles s'ha determinat segons el C-rate escollit. Per a la càrrega, el C-rate és de 0,15, mentre que per la descàrrega s'ha optat per una descàrrega ràpida amb un 2C.

Aquestes ràtios s'han calculat amb les següents expressions.

$$C_{rate}: \quad C_{rate} = \frac{I}{E} \quad (XV)$$

On les variables són les següents:

- **I** → El corrent de descàrrega o càrrega.
 - **Unitats:** Ampers (A)
- **E** → Energia nominal de la bateria.
 - **Unitats:** Ampers per hora (Ah)
- **C_{rate}** → El rati de descarrega o carrega de la bateria.

$$C_{rate} \text{ de càrrega:} \quad C_{rateC} = \frac{I}{E} \rightarrow C_{rateC} = \frac{0,221}{1,3} = 0,17 \quad (XVI)$$

$$C_{rate} \text{ de descàrrega:} \quad C_{rateD} = \frac{I}{E} \rightarrow C_{rateD} = \frac{2,6}{1,3} = 2 \quad (XVII)$$

A continuació es presenten els resultats obtinguts de la càrrega i descàrrega del grup de bateries Ni-MH. Seguidament es mostren els gràfics de la tensió envers el temps de les diferents sèries. Finalment, s'escriuen les conclusions extretes d'aquest estudi.

9.1. CICLE DE CÀRREGA

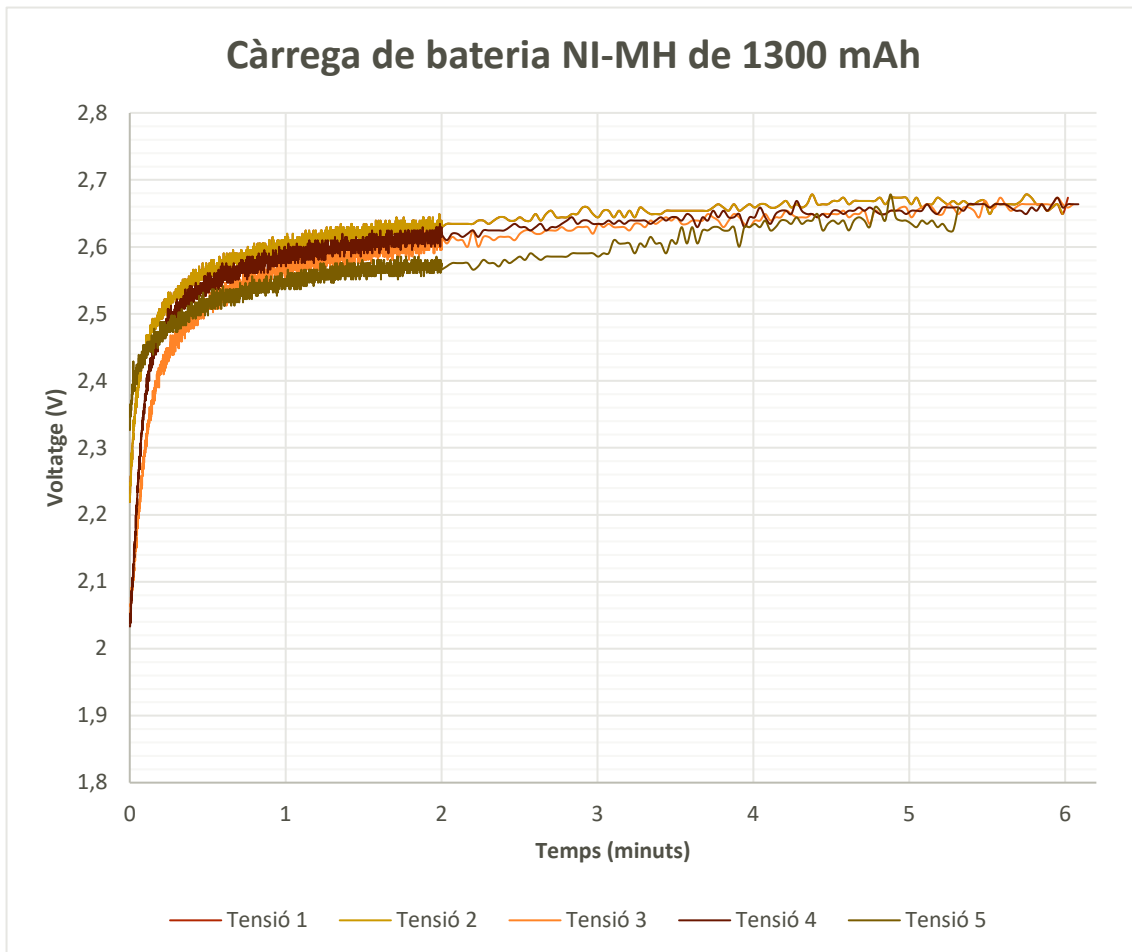


Figura 41. Gràfica resum dels cicles de càrregues de les bateries.

En primer lloc, observem les gràfiques del cicle de càrrega. En la Figura 41 podem veure els resultats dels diferents cicles de càrrega. Es consideren dues parts distingibles, una primera part exponencial i, una segona de règim permanent. En la Figura 42 i en la Figura 43 es veuen amb més detalls aquestes dues parts.

En la Figura 42 adjunta, s'observa el període de temps del cicle fins a les dues hores. Es pot veure que aquesta primera part del procés de càrrega és de caràcter exponencial. En aquesta part és on el carregador funciona en mode de corrent continu. Podem observar que els senyals no són continus, sinó que varien entre un rang de valors. Aquesta variació és esperada, ja que tant el convertidor Buck com la placa Arduino tenen una tolerància i, per tant, els resultats escrits en pantalla poden oscil·lar dins de la tolerància d'aquests aparells.

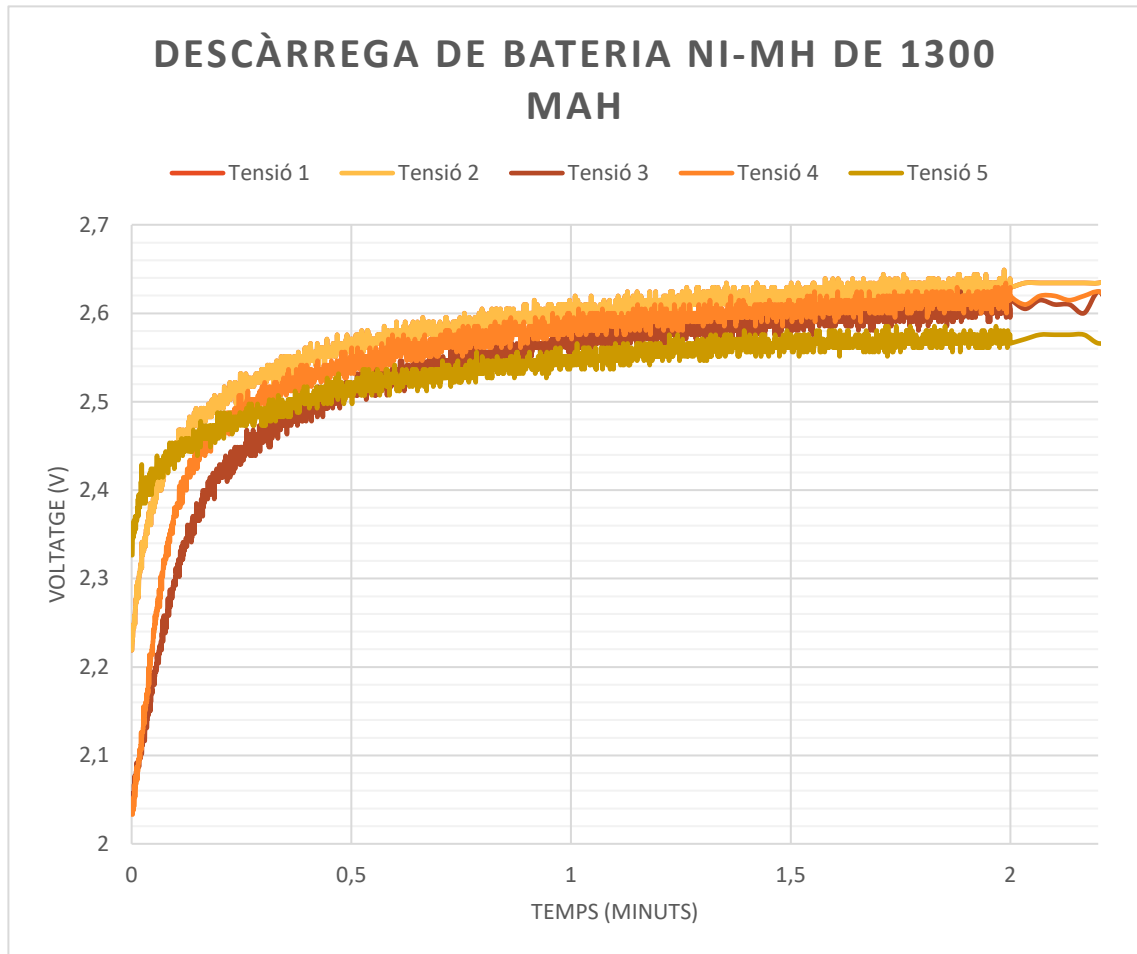


Figura 42. Gràfica resum dels cicles de càrrega de les bateries. Mostres de les 2 hores primeres hores

Podem observar que, tot i que els cicles comencen amb diferents valors inicials, totes les sèries aconsegueixen arribar al valor esperat, al voltant dels 2,6 volts.

En aquesta primera part s'han estat llegint els resultats obtinguts per la placa Arduino cada 1 segon. El perquè d'aquest temps tan curt entre lectures és a causa de la velocitat de canvi dels valors, que com ja s'ha comentat, en ser un tram exponencial els valors variaran de manera ràpida.

En aquesta segona gràfica observem la resta del cicle de càrrega. Com passa en la primera part del cicle, podem observar que, tot i que els valors inicials de les sèries són diferents, aquestes acaben amb el valor de càrrega desitjat.

De la mateixa manera que en la primera part del cicle, els resultats obtinguts mostren oscil·lacions a causa de les toleràncies dels elements de mesura i la font d'alimentació.

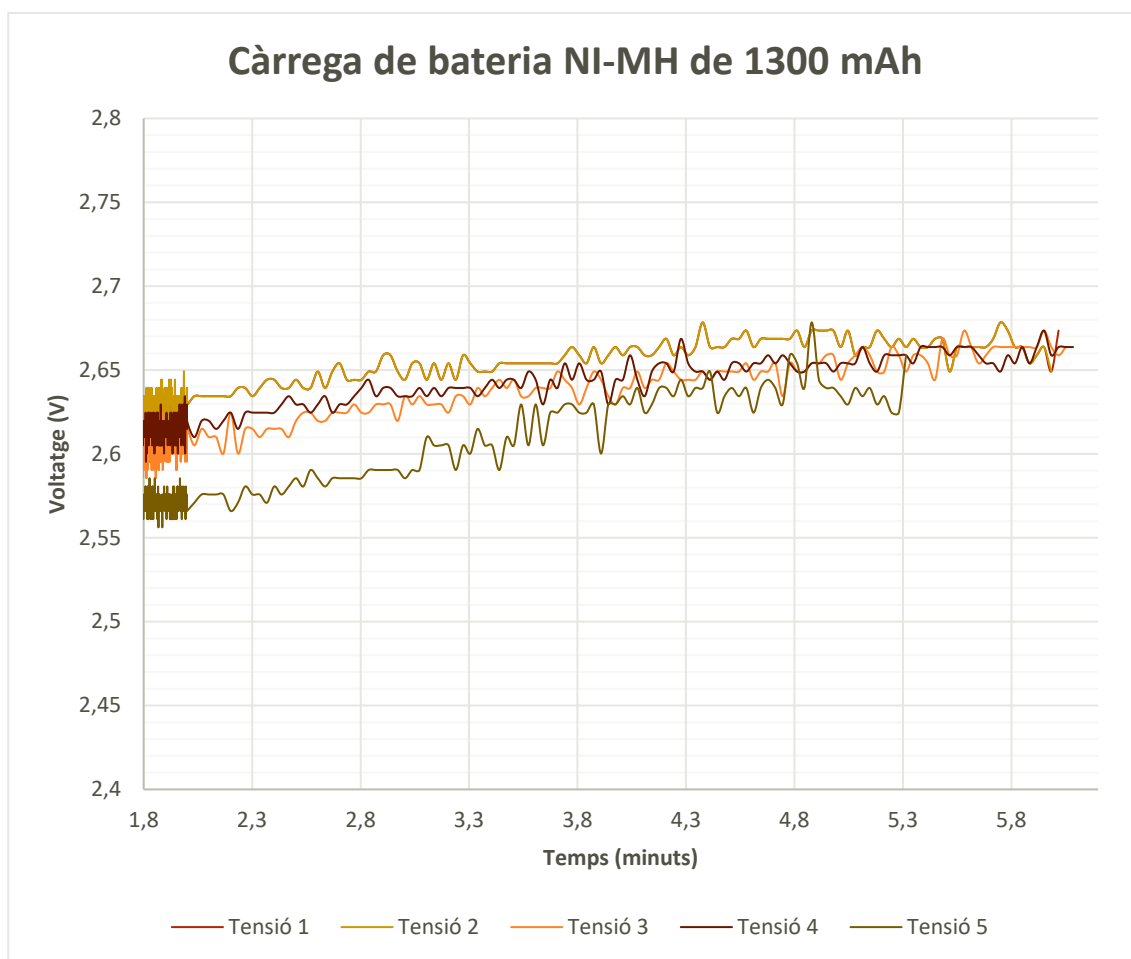


Figura 43. Gràfica resum dels cicles de càrrega de les bateries. Mostres de les 2 hores fins a 6 hores.

Per acabar, en aquest apartat s'han llegit les mostres cada 3 minuts, ja que no era necessari fer un registre tan exhaustiu donat que en aquest tram no es presenten grans variacions en els resultats.

9.2. CICLE DE DESCÀRREGA

En aquest apartat podem observar les gràfiques del procés de descàrrega de les bateries. Aquest procés s'ha dut a terme en un temps de 30 min, considerant-se una descàrrega ràpida. Això pot comportar que les gràfiques teòriques no s'ajustin a les gràfiques experimentals.

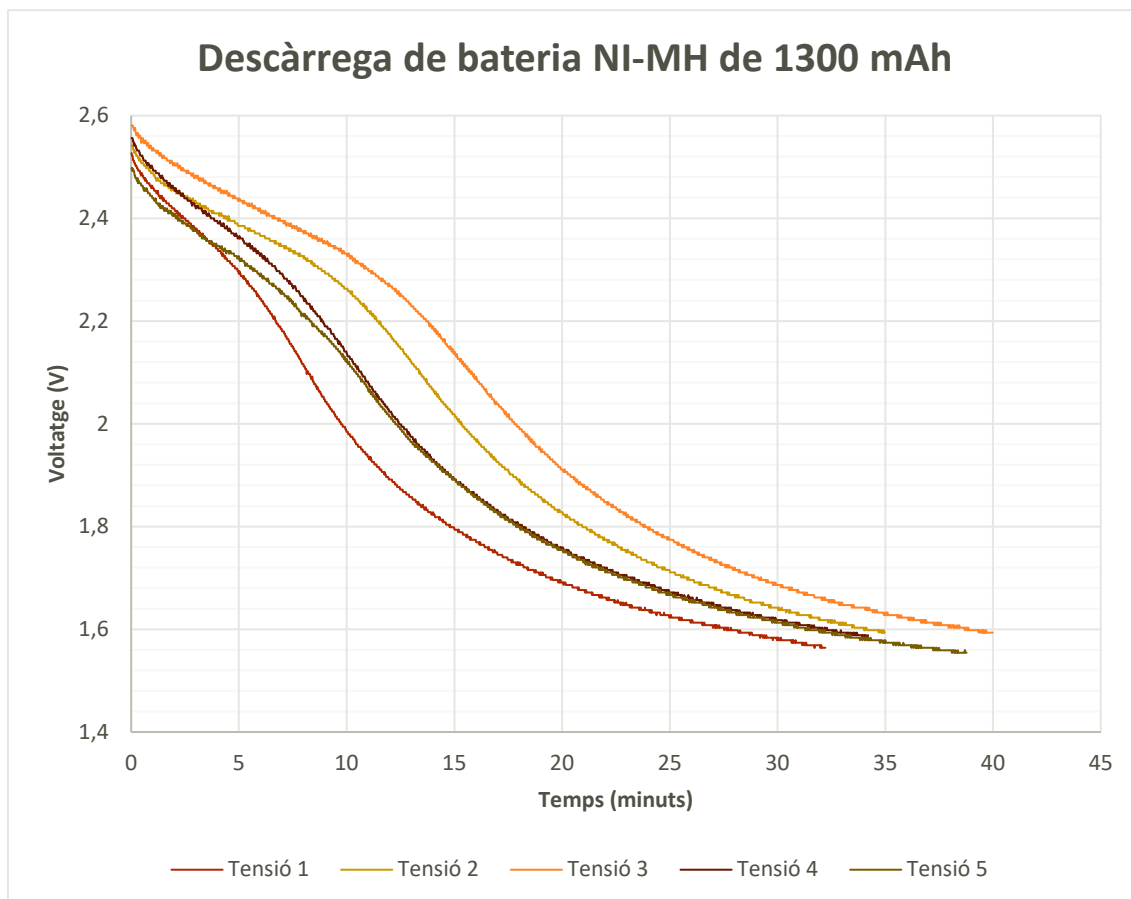


Figura 44. Gràfica resum de la descàrrega dels cicles de bateries. Voltatge – Temps

En primer lloc, observem la Figura 44 on es mostra el cicle de descàrrega dut a terme fins a cinc cops. Podem observar que les corbes dibuixades són molt semblants entre elles, sempre tenint en consideració que els equips de mesura tenen errors, podem donar per vàlids aquests resultats.

Pel que fa a la corrent, podem observar el mateix comportament que amb la tensió.

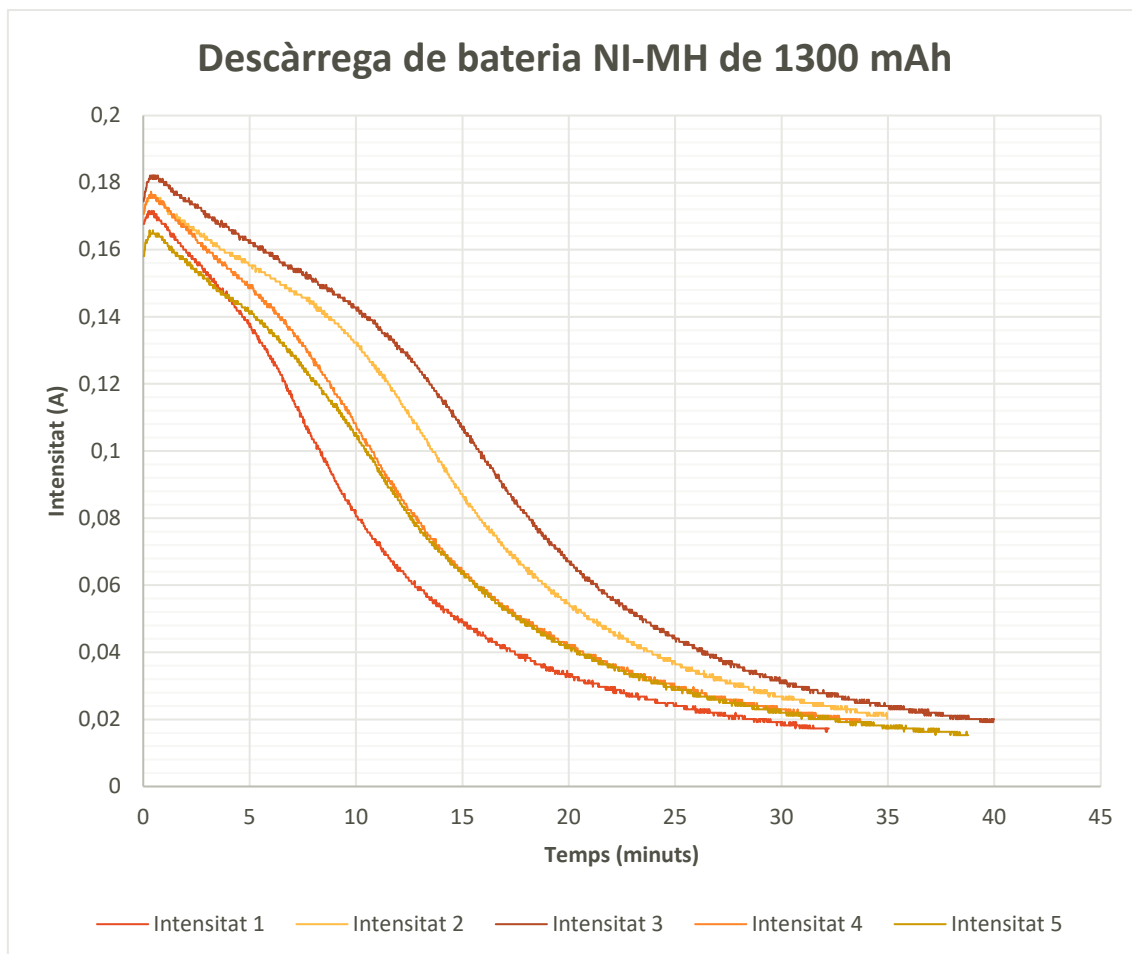


Figura 45. Gràfica resum de la descàrrega dels cicles de bateries. Intensitat – Temps

La relació en la disminució tant de la tensió com del corrent és conseqüència de la resistència interna. Per la llei d'ohm, si la intensitat disminueix, la resistència augmenta. El fet que tant la tensió com el corrent disminueixi a mesura que es descarreguen es culpa que el valor de la resistència interna és major. Per tant, l'estat de càrrega es pot deduir a partir del valor de la resistència interna, ja que com més resistència tenim, menys carrega té la bateria.

A continuació s'adjunta la gràfica Resistència – Corrent (Figura 46) i Resistència – SoC (Figura 47), on podem veure el concepte.

Disseny d'un prototip de carregador per a bateries

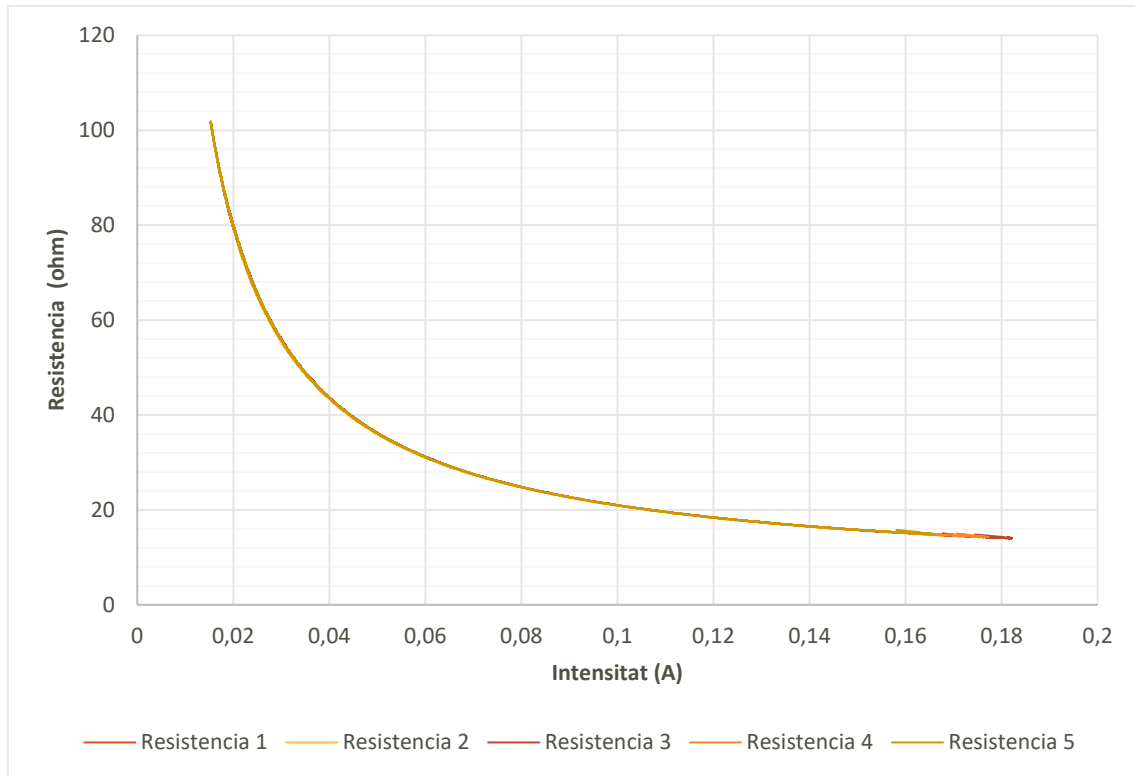


Figura 46. Gràfica Resistència - Corrent de la descàrrega dels cicles de bateries.

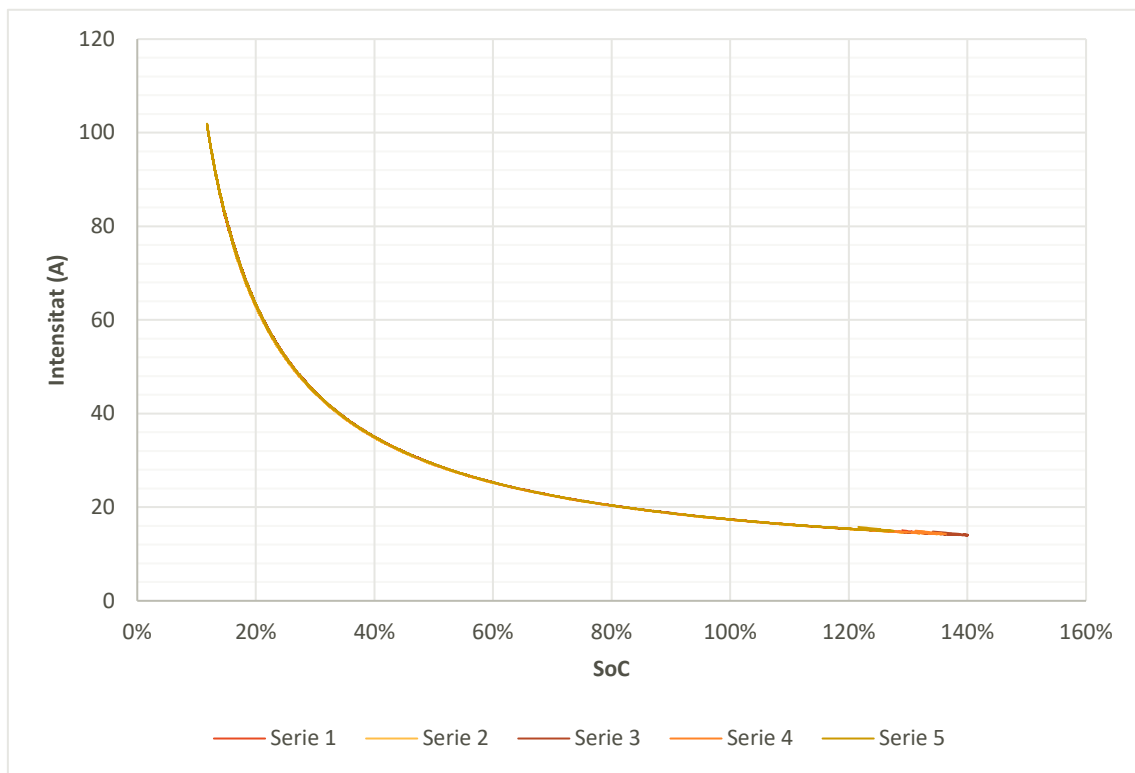


Figura 47. Gràfica Resistència - SoC de la descàrrega dels cicles de bateries.

9.2.1. SIMULACIÓ MATLAB

Com s'ha comentat anteriorment, al dur a terme una descàrrega ràpida, no podem observar l'estat flotant, el qual és un estat que es troba entre l'estat exponencial i l'estat descarregat per sota del valor nominal. Per poder observar aquest estat flotant s'ha dut a terme un cicle de descàrrega amb un ràtio 0.15C, i amb una duració de 5 hores. (Figura 48 i Figura 49)

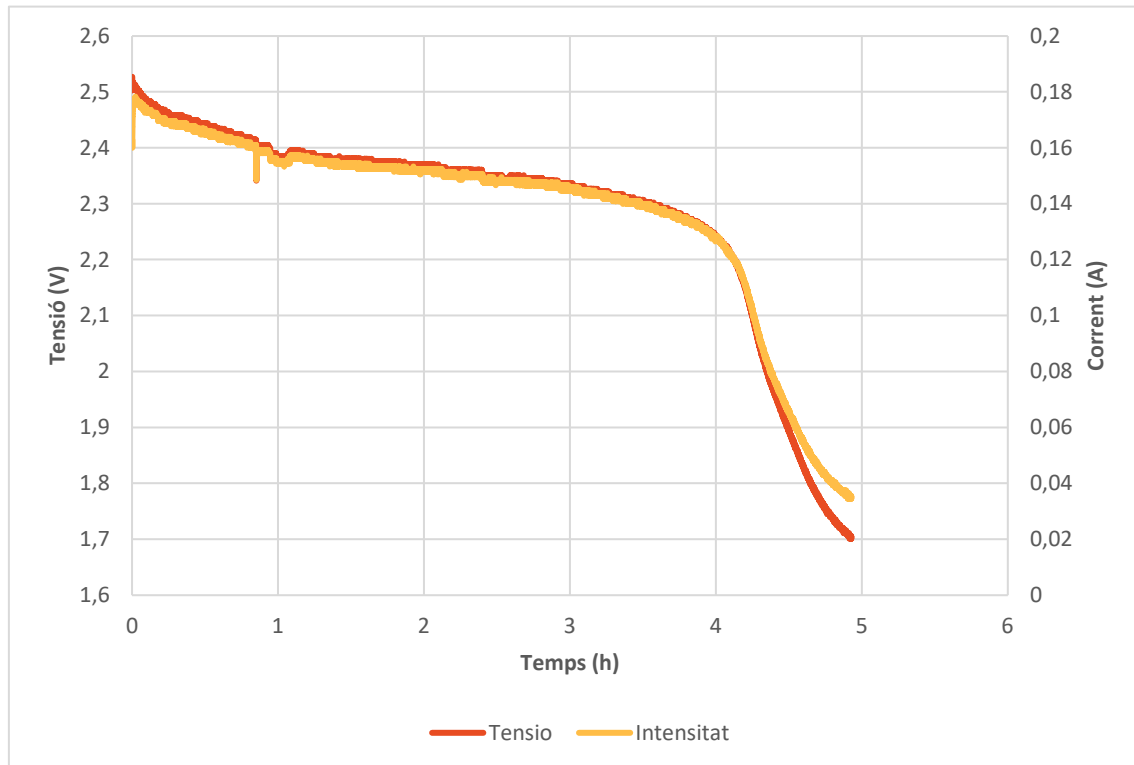


Figura 48. Gràfica Tensió – Corrent per a una descàrrega de 0,2C

En la gràfica superior s'observa perfectament tres zones de treball: una zona exponencial, una zona constant i una última zona gairebé lineal. Aquest és el comportament esperat de la bateria, i també és semblant al que se'ns proporciona en la fitxa tècnica.

En la següent gràfica es veu clarament com augmenta de manera exponencial, quan la bateria es troba per sota dels valors nominals.

Disseny d'un prototip de carregador per a bateries

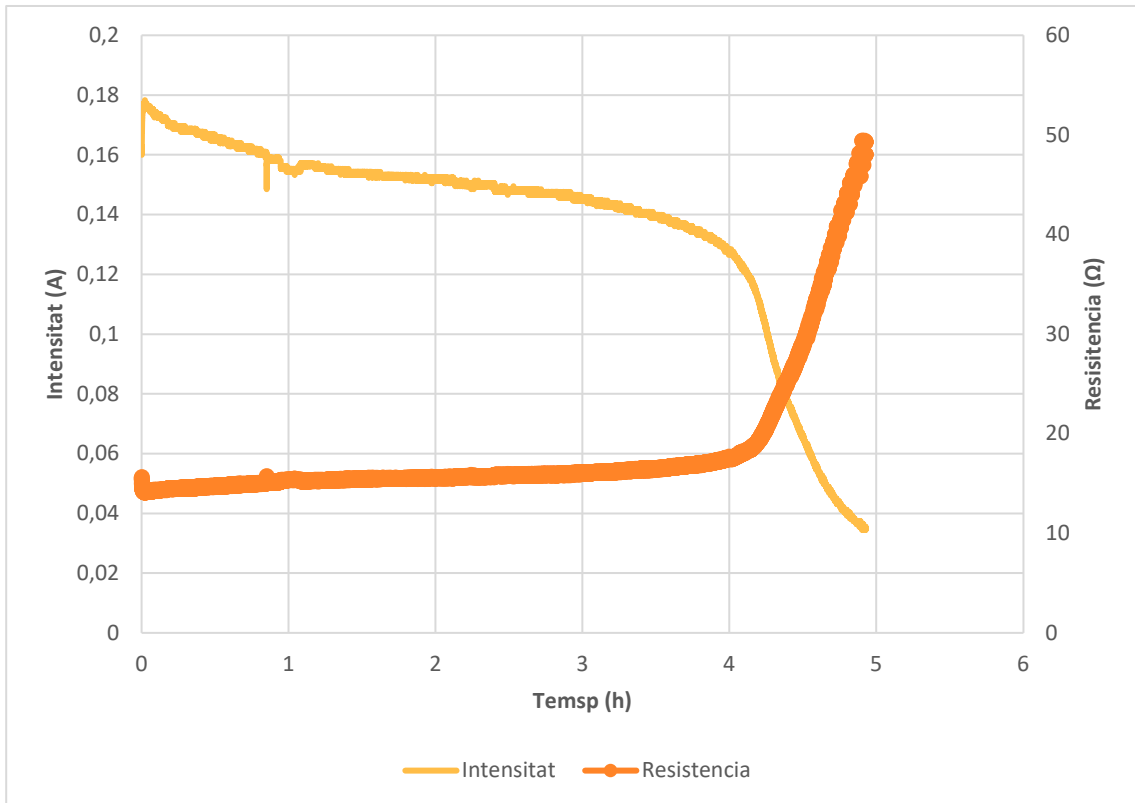


Figura 49. Gràfica Resistència – Corrent per a una descàrrega de 0,2C

Per poder realitzar aquesta simulació s'ha utilitzat el model de Shepherd millorat. Aquest model ens permet calcular l'estat de càrrega d'una bateria a partir dels paràmetres interns d'aquesta. Els paràmetres els proporciona el fabricant a través de la fitxa tècnica. Les variables són les següents: la resistència interna, la tensió en els borns, la tensió en buit i la intensitat de càrrega o descàrrega. La versió millorada del model de Shepherd ens evita entrar en un bucle matemàtic. L'expressió per modelitzar la bateria és la següent.

$$E = E_o - K \cdot \frac{Q}{Q - it} - R \cdot i + A \cdot e^{-B \cdot it} \quad (XVIII)$$

On les variables són:

- **E (V)** = Voltatge de buit
- **E_o (V)** = Constant de voltatge de la bateria
- **K (V)** = Voltatge de polarització
- **Q (Ah)** = Capacitat de la bateria
- **It (Ah)** = Estat de càrrega instantani

- **A (V)** = Voltatge de l'inici de la zona exponencial
- **B (Ah)⁻¹** = Inversa de la constant de temps de la zona exponencial
- **R (Ω)** = Resistència interna
- **I (A)** = Intensitat instantània

Cal comentar que aquest model està basat en unes premisses i té una sèrie de limitacions. A continuació s'enumeren les premisses.

1. La resistència interna se suposa constant.
2. Els paràmetres del model es dedueixen del procés de descàrrega, però s'utilitzen per al model de càrrega també.
3. La capacitat de la bateria no es veu afectada pel valor de el corrent.
4. No es consideren els efectes de la temperatura ni l'efecte memòria que pugui presentar la bateria real. Tampoc es tindrà en compte el percentatge d'auto descàrrega.

Les limitacions d'aquest model són dos, el primer és que el valor de la tensió en buit de la bateria és de 0 V, mentre que el valor màxim no està definit. La segona limitació és que la capacitat mínima de la bateria és 0 Ah, per tant, es poden produir casos en què la simulació mostri un SoC superior al 100%.

A continuació es mostra com s'han aconseguit els paràmetres necessaris per muntar la simulació. Primer de tot, extrèiem els valors següents de la fitxa tècnica del fabricant:

- **Voltatge màxim (V) = 1,4 V**
- **Voltatge i carrega del final de la zona exponencial (V i A) = 1,25 V i 0,6 A**
- **Voltatge i carrega del final de la zona nominal (V i A) = 1,1 V i 1,2 A**

El valor del paràmetre A: $A = E_{max} - E_{expon} = 1,4 - 1,25 = 0,15$ (XIX)

El valor del paràmetre B: $B = \frac{3}{Q_{expon}} = \frac{3}{0,6} = 5$ (XX)

El valor del voltatge de polarització K: $K = \frac{E_{max} - E_{nom} + A(e^{-B \cdot it} - 1) \cdot (Q - Q_{nom})}{Q_{nom}}$ (XXI)

$$= \frac{1,4 - 1,1 + 0,15 \cdot (e^{-5 \cdot it}) \cdot (Q - 1,2)}{1,2}$$

Disseny d'un prototip de carregador per a bateries

El valor de la constant E_o : $E_o = E_{max} + K + R \cdot i - A$ (XXII)

Un cop aconseguits tots aquests valors, he creat la simulació mitjançant Simulink, aplicació del programari MatLab. La simulació s'ha dut a terme mitjançant el bloc de Simescape i ajustant els valors del bloc.

Els paràmetres introduïts són els següents:

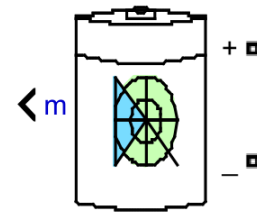


Figura 50. Bloc per a la simulació de la bateria

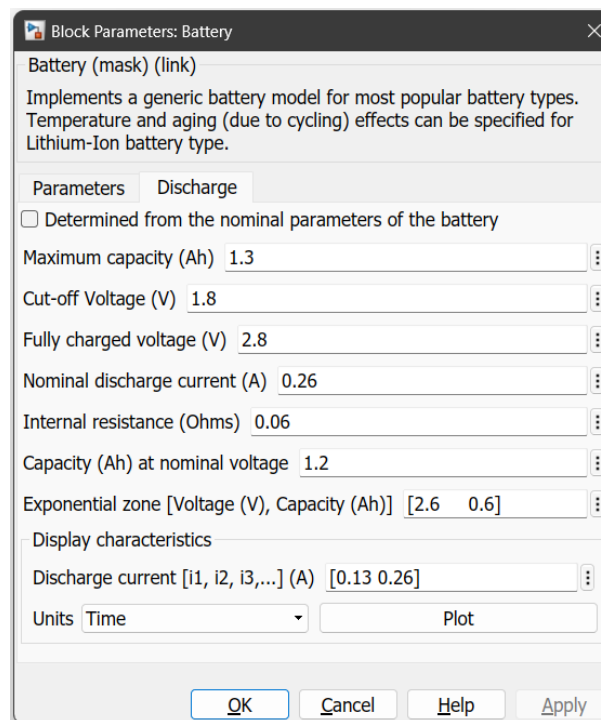
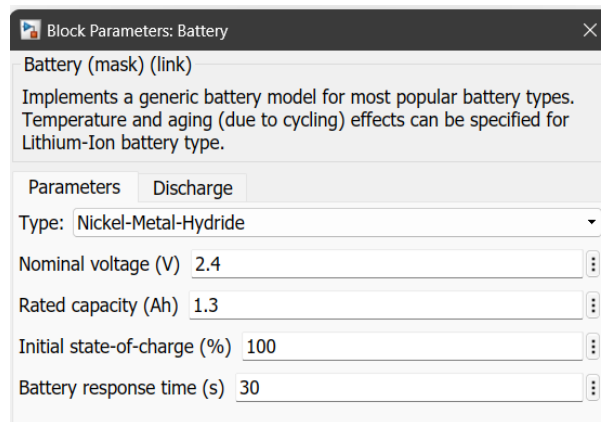


Figura 51. Valors introduïts en la simulació de Simulink

La gràfica generada per la simulació s'adjunta a continuació.

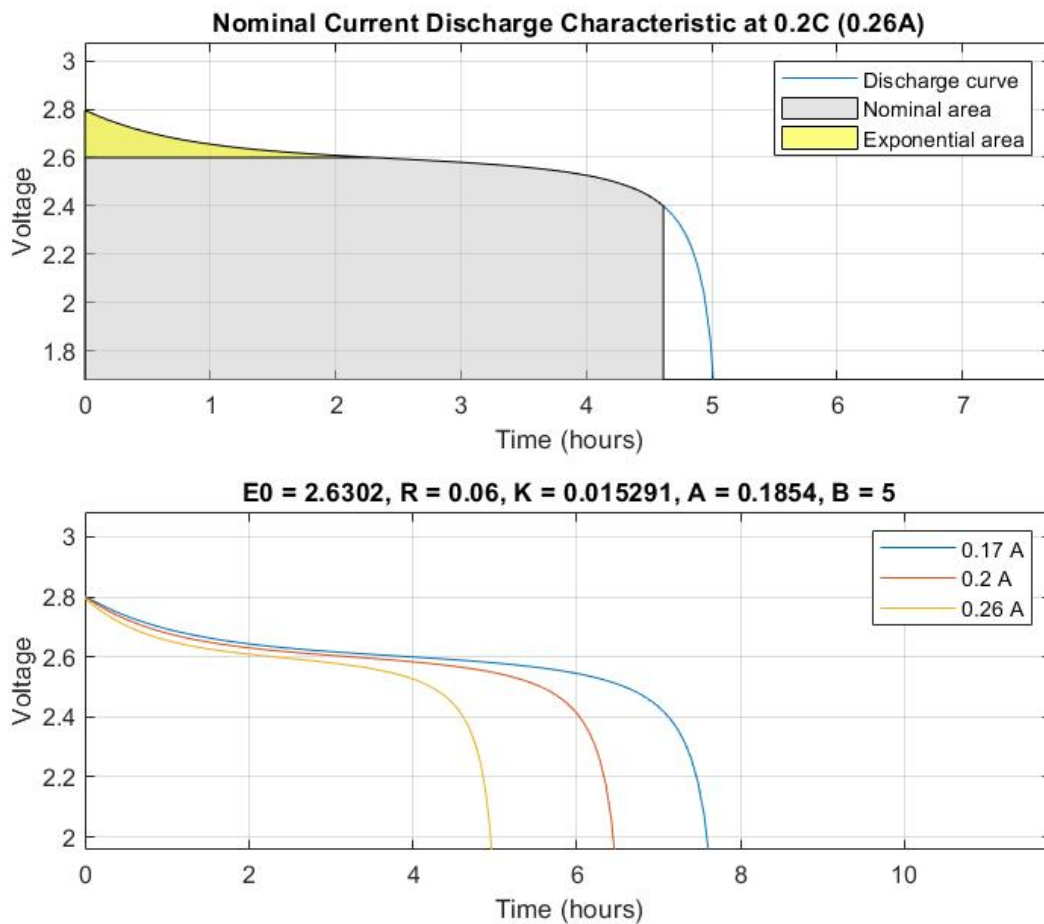


Figura 52. Corba de descàrrega obtinguda mitjançant simulació de Simulink

També s'adjunta (Figura 53) les gràfiques de descàrrega proporcionades en la fitxa tècnica de les piles.

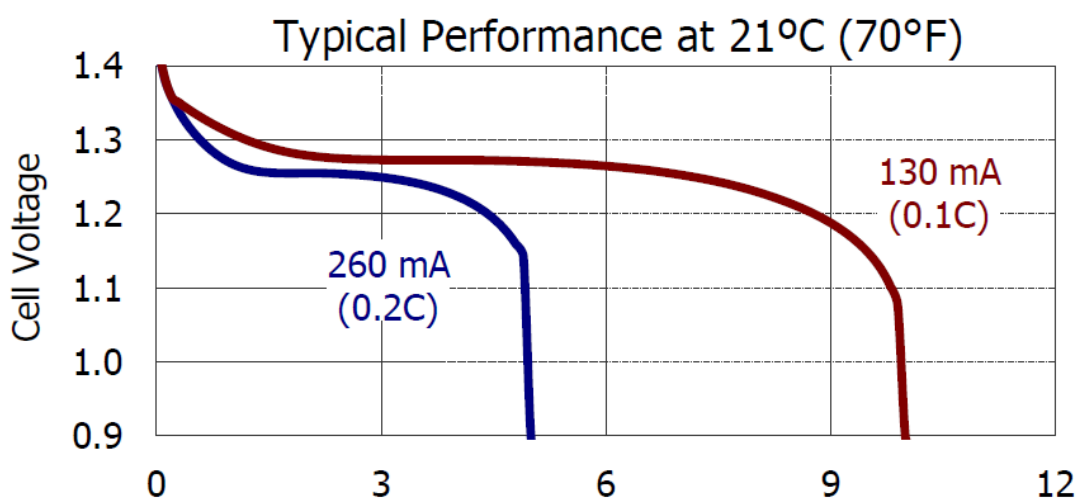


Figura 53. Corbes de descàrrega per a 0.2C i 0.1C.
Font: Datasheet.

9.3. CONCLUSIONS DELS RESULTATS

Abans de tot comentar que, a conseqüència de la duració de cada cicle de càrrega i de la poca disponibilitat de material per a la fabricació de dos prototips, no s'han pogut dur a terme els cicles de càrrega i descàrrega de manera simultània. Aquest fet ha provocat que no s'hagin pogut realitzar més de 5 cicles per cada procés. Les bateries de níquel – hidrur metàl·lic tenen una duració mitjana d'uns 500 i 2000 cicles, per tant, a l'haver fet només 5 cicles podem arribar a conclusions errònies. Així i tot, els resultats obtinguts han sigut satisfactoris i es comenten a continuació.

En primer lloc, per al cicle de càrrega, podem afirmar que el prototip muntat funciona correctament, ja que la bateria presenta el comportament esperat en els 5 cicles fets. Com ja s'ha comentat, primer es mostra una part exponencial, on el convertidor Buck treballa amb el mode de corrent constant, i a mesura que es va apropant al valor de càrrega màxima, el mode de corrent constant del convertidor es desactiva i entra en funcionament el mode de tensió constant. Aquesta modalitat de control fa que el senyal evolucioni més lentament per poder controlar que no se sobre carregui la bateria, si això passes la bateria podria patir desperfectes.

En segon lloc, en el cicle de descàrrega podem concloure diverses coses. La primera és que en fer la descàrrega en 30 minuts, la bateria no té temps de treballar en l'estat nominal, i s'observa com es passa de l'estat exponencial a l'estat crític de descàrrega. Tot i això, conclouem que la descàrrega s'ha dut a terme correctament, i que no s'han superat els valors mínims. Cal recordar que les bateries de níquel i hidrur metàl·lic no es poden descarregar més d'un valor especificat pel fabricant; en el nostre cas no es pot descarregar per sota d'1,6 V a 1,5 V.

Les corbes de descàrrega s'han comprovat mitjançant simulació i també amb les gràfiques proporcionades pel fabricant en la fitxa tècnica. En tots tres casos el resultat ha sigut el mateix, conclouent que la presa de dades, l'anàlisi de les dades i el dibuix de les corbes ha sigut un èxit.

10. ANÀLISIS DE L'IMPACTE AMBIENTAL

En aquest apartat ens proposem explicar l'impacte ambiental que causa la producció de bateries, i com es podria ajudar a reduir aquest. També comentar, que s'ha tingut en compte que aquestes millores es trobin dins de les metes dels Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS) i de l'Acord de París.

10.1. PLANS D'ACCIONS

En els següents punts s'expliquen els plans d'accions que s'estan duent a terme en l'actualitat per tal de combatre el canvi climàtic.

10.1.1. AGENDA 2030

El canvi climàtic és un dels problemes de l'actualitat i del futur del nostre planeta. Així és que, el 25 de setembre de l'any 2015 es va aprovar l'Agenda 2030, un pla d'acció que actua en diferents àmbits, amb l'objectiu d'aconseguir un desenvolupament sostenible i igualitari. Aquest pla d'acció va ser firmat per 193 països.



*Figura 54. Presentació dels 17 Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS).
Font:*

Aquest pla d'accions consta de 17 objectius, també anomenats Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS), els quals cada objectiu té una sèrie de metes a aconseguir, sent un total de 169. Aquests objectius se centren en 5 punts, també conegudes com les 5 P:

Disseny d'un prototip de carregador per a bateries

1. **Planeta:** prendre mesures per combatre el canvi climàtic. Protegir el planeta contra la degradació a través d'una gestió sostenible.
2. **Persones:** posar fi a la pobresa i la fam. Aconseguir igualtat i dignitat.
3. **Prosperitat:** aconseguir que el progrés econòmic, social i tecnològic es produeixi en harmonia amb la natura.
4. **Pau:** aconseguir societats pacífiques, justes i inclusives, sense entorns de violència.
5. **Participació col·lectiva:** mobilitzar els medis per aconseguir que els objectius de l'Agenda es puguin complir. Establir aliances a partir de la solidaritat i centrada a ajudar els més vulnerables.

“Estamos resueltos a poner fin a la pobreza y el hambre en todo el mundo de aquí a 2030, a combatir las desigualdades dentro de los países y entre ellos, a construir sociedades pacíficas, justas e inclusivas, a proteger los derechos humanos y promover la igualdad entre los géneros y el empoderamiento de las mujeres y las niñas, y a garantizar una protección duradera del planeta y sus recursos naturales”. Text de la resolució de l'Agenda 2030. (La Asamblea General Adopta La Agenda 2030 Para El Desarrollo Sostenible - Desarrollo Sostenible, n.d.)

10.1.2. ACORD DE PARÍS

L'Acord de París és un tractat internacional firmat per 196 països durant el mes de desembre de 2015. L'objectiu d'aquest tractat és combatre contra el escalfament global.

Els països que van firmar aquest acord es van comprometre a prendre part amb accions per reduir les emissions d'efecte hivernacle. El que es vol aconseguir amb aquestes accions és limitar l'augment mitjà de la temperatura de la terra a 2 graus centígrads en comparació amb els nivells preindustrials.



Figura 55. Imatge corporativa de l'Acord de París.

Font: www.sostenible.cat

10.1.3. IMPACTE DE LES BATERIES

D'acord amb els plans d'accions explicats en els apartats 10.1.1 i 10.1.2, els països estan obligats dur a terme accions per reduir els alts nivells d'emissions CO₂ que produïm.

Les emissions del sector de l'energia i del transport suposen el 40% de les emissions totals generades per la població. És per això, que la demanda de bateries ha augmentat des del 2015 i es preveu que augmenti més fins al 2030.

Per una part, ens centrem en la descarbonització d'aquests sectors. Pel que fa al sector de l'energia, aquesta es basa en l'aposta per la generació d'energia a partir de fonts renovables (solar i eòlica), mentre que per al sector del transport s'espera que per al 2030 ja no es trobin vehicles de combustió al mercat. Aquestes dues apostes suposen un augment de la demanda de bateries, tant pels vehicles elèctrics com per l'energia solar i eòlica, on en aquesta última, ens trobem amb la necessitat d'emmagatzemar l'excedent d'energia generada per quan hi hagi manca del recurs primari.

Per l'altra part, aquesta aposta per les bateries elèctriques proporciona energia elèctrica a poblacions ubicades en zones aïllades de la xarxa elèctrica. Mitjançant producció d'energia solar, i emmagatzemant-la en bateries s'ajuda a solucionar aquest problema. Des del 2010 fins al 2017 es va proporcionar electricitat a 350 milions de persones, les quals no en tenien accés fins aleshores. La zona més afectada per aquesta manca d'accés a la xarxa elèctrica la trobem a Àfrica. Aquesta aposta és part d'una de les metes de l'ODS 7: Energia assequible i no contaminant.

7.1 D'aquí al 2030, garantir l'accés universal a serveis energètics assequibles, fiables i moderns. (Energia - Desarrollo Sostenible, n.d.) (Text traduït)



Figura 56. ODS 7.

Font: www.un.org

Disseny d'un prototip de carregador per a bateries

A més a més, el compliment d'aquest ODS, permet, indirectament, ajudar a assolir fins a 5 Objectius de Desenvolupament Sostenible.

- **ODS 2: FAM ZERO**

- a. L'aposta per bateries millora els sistemes de refrigeració en zones aïllades de la xarxa. També dona l'oportunitat d'utilitzar bombes elèctriques per al reg dels cultius.



Figura 57. ODS 2.
Font: www.un.org

- **ODS 3: SALUT I BENESTAR**

- a. La il·luminació i la cuina a base de combustible és reemplaçat per bateries elèctriques, reduint així els fums tòxics que es generen dins de l'habitatge.
- b. Ofereix l'estabilitat elèctrica en centres mèdics que es troben lluny de la xarxa elèctrica.



Figura 58. ODS 3
Font: www.un.org

- **ODS 4: EDUCACIÓ DE QUALITAT**

- a. Permet ampliar l'horari escolar, no limitant-lo a hores amb llum solar.
- b. Dona accés a electricitat a escoles ubicades lluny de la xarxa elèctrica.



Figura 59. ODS 4.
Font: www.un.org

- **ODS 6: AIGUA NETA I SANEJAMENT**

- a. Permeten l'ús de bombes d'aigua elèctriques, millorant el sistema de neteja de l'aigua.



Figura 60. ODS 6.
Font: www.un.org

- **ODS 10: REDUCCIÓ DE LES IGUALTATS**

- a. Donen l'oportunitat de millorar l'economia, ja que l'ús de bateries proporciona accés a serveis bàsics, com poden ser la il·luminació o l'accés a una cadena de productes freds.



Figura 61. ODS 10.
Font: www.un.org

10.2. INCONVENIENTS

Per més que l'ús de les bateries ens proporcionen uns beneficis considerables, aquesta demanda també presenta els seus inconvenients.

Es preveu que per al 2030 hi haurà una demanda de 9 TWh anuals, per agafar referència l'any 2021 hi havia una demanda de 580 GWh. Aquest augment suposa innovació, però a la vegada problemes per a la fabricació i la distribució.

Les bateries utilitzades per a vehicles elèctrics, actualment, són les bateries d'io-liti. L'augment de la demanda d'aquests vehicles proporcionarà un problema en els propers anys, ja que és preveu que per al 2025 comenci a haver-hi manca d'aquest mineral.

10.2.1. EXTRACCIÓ DE LITI

La reserva de liti més gran, suposant el 63% del total, es troba en l'anomenat Triangle del Liti, una zona entre Bolívia, Xile i Argentina. També podem trobar liti a Austràlia (actualment el màxim productor), Xina, Estats Units, Canadà, entre d'altres (Figura 62).

- Depòsit de liti pegmatites
- Depòsits de salmorra de liti
- Depòsits d'argila de liti

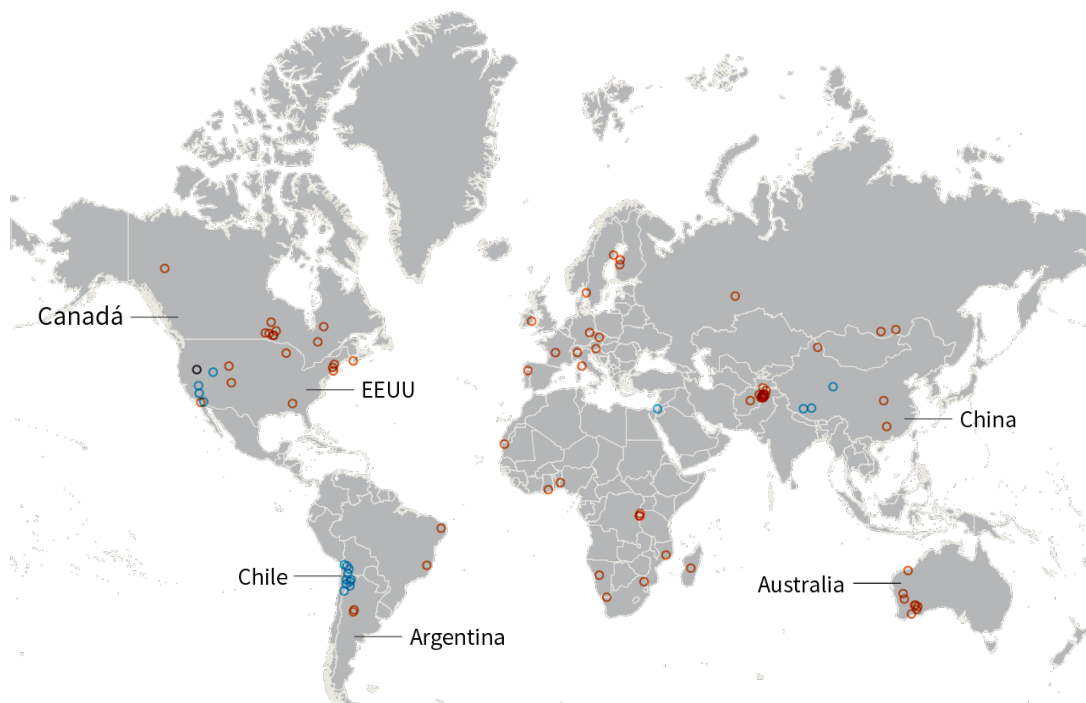


Figura 62. Mapa de les reserves de liti mundial.
Font: <https://fingfx.thomsonreuters.com/>

Disseny d'un prototip de carregador per a bateries

El problema que presenta aquest mineral, és la gran quantitat de contaminació que suposa processar-lo. Un exemple és l'estació de Nevada, Estats Units, on s'espera produir fins a 100.000 tones de liti anuals al 2025, suposant el consum de milions de litres d'aigua subterrània, la qual contaminarà aqüífers i produirà muntanyes de residus tòxics. Aquest no és l'únic exemple, ja que a Xile i Argentina també hi ha precedents de contaminació d'aigua. En el cas de Xile i Argentina, les reserves de liti es troben properes a zones habitades i amb necessitat d'aigua, la qual cosa, si s'extreu el liti de les reserves, aquestes poblacions es veuran afectades per la contaminació de l'aigua.

10.3. MILLORES PROPOSADES

Com s'ha pogut veure en l'apartat anterior (10.2.1 i 10.1.3), l'ús de bateries també contamina i incompleix les metes dels ODS. És per això, que s'han de buscar alternatives o millores a les bateries actuals, per tal de disminuir els problemes de contaminació en el procés de fabricació d'aquestes.

Una de les vies d'investigació actuals és la substitució de les bateries d'io-liti per altres tecnologies. La tecnologia més avançada i la qual apunta a ser el recanvi natural a les piles d'io-liti, són les bateries de ió de sodi. Aquestes bateries evitarien l'explotació massiva de jaciments, així com evitaria l'augment dels costos de producció. Un avantatge és que el sodi forma part del mateix grup de metalls alcalins que el liti i, per tant, es podria reutilitzar la maquinària ja utilitzada en la indústria del liti.

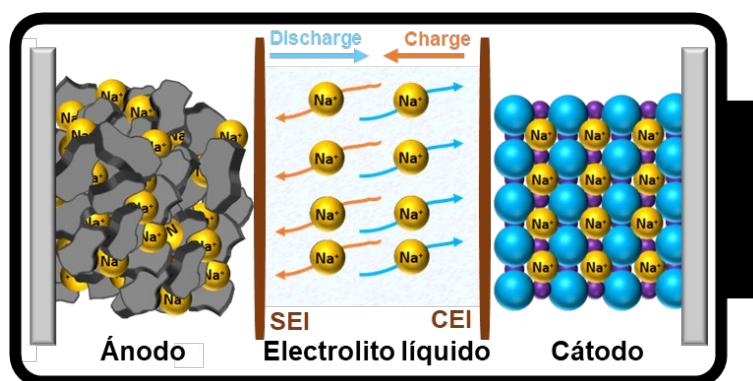


Figura 63. Esquema de la bateria d'io de sodi.
Font: <https://cicenergigune.com/>

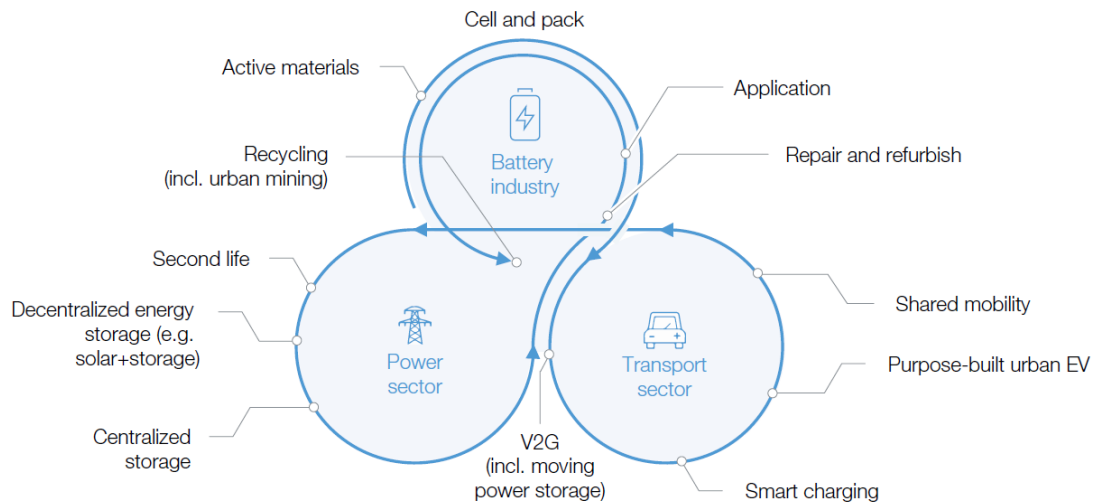


Figura 64. Cadena de reciclatge de bateries.

Font: («A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030 Unlocking the Full Potential to Power Sustainable Development and Climate Change Mitigation Including Photocopying and Recording, or by Any Information Storage and Retrieval System. 3 A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030: Unlocking the Full Potential to Power Sustainable Development and Climate Change Mitigation» 2019)

L'altre via d'investigació, i que ja ha començat a posar-se en pràctica, és el reciclatge de les bateries dels vehicles elèctrics, amb la finalitat d'unir els tres grans sectors relacionats amb les bateries (la indústria de bateries, el sector del transport i el sector de producció d'energia elèctrica). (Figura 64)

Aquest procés de reciclatge consta de tres grans parts: el vehicle elèctric, acumulador d'energia solar o eòlica, i reutilització dels minerals.

1. **Ús en el vehicle elèctric:** implementació en vehicles elèctrics, fan la funció per la qual han estat fabricades. Aquestes bateries només poden funcionar durant un cert període de temps abans que es tornin pesades i no cedeixin la potència requerida pel vehicle.
2. **Ús com acumulador d'energia solar o eòlica:** la segona vida. Un cop les bateries dels vehicles elèctrics no compleixen els requisits del sector, són reutilitzades per acumuladors d'energia. Aquestes estan sotmeses a una menor exigència, i poden rendir perfectament per a la funció que se'ls hi demana.
3. **Reutilització dels minerals:** finalment, l'últim pas és reciclar tot el material possible de les bateries, un cop han acabada tota la seva capacitat i no es poden reutilitzar en cap altre sector. Aquest material reciclat va des dels minerals del càtode i l'ànode, fins al reciclatge del plàstic del recipient.

CONCLUSIONS

Per concloure, en general el treball s'ha pogut implementar el prototip de carregador dissenyat, i s'ha pogut extreure les corbes de càrrega i descàrrega de les bateries estudiades. També s'ha pogut simular la corba de descàrrega mitjançant el programa Simulink.

A continuació s'enumeren les conclusions més rellevants:

1. S'ha pogut dur a terme la connexió entre la placa Arduino, el convertidor Buck, les piles i els diferents sensors de manera que el convertidor Buck pogués treballar en mode de corrent continu.
2. L'anàlisi de les corbes de càrrega obtingudes ha sigut positiu, ja que han sortit els valors esperats. Afirmem que el cicle s'ha realitzat amb èxit.
3. Si es fa una comparació entre les corbes de descàrrega obtingudes i la corba de descàrrega oferta pel fabricant, s'han pogut observar algunes diferències. Aquestes diferències són causades pel tipus de ràtio de descàrrega utilitzada, ja que quan s'ha utilitzat una ràtio de 0,2C, la corba experimental era igual que la corba donada en el datasheet; mentre que quan s'ha utilitzat una ràtio de 2C, les discrepàncies han sigut majors.
4. S'han realitzat simulacions Matlab i amb LTSpice. Les simulacions mitjançant Matlab han sigut exitoses, mentre que els circuits simulats amb LTSpice han portat discrepàncies, ja que no s'ha pogut simular l'element que utilitzem en el nostre prototip. S'han dut a terme diverses modificacions, com per exemple canviar l'element LM358 per un altre, a causa del mal resultat obtingut a la simulació. Aquests resultats ens duen a concloure que s'ha de buscar nous circuits en projectes futurs per poder portar a cap correctament la simulació del controlador de corrent.
5. L'estat de càrrega es pot determinar a partir de la resistència interna de la bateria, ja que com menys estat de càrrega tenim, el valor de la bateria és més gran.

6. A partir de fer ús bateries recarregables, o donar una segona vida a les bateries dels cotxes elèctrics, podem millorar l'impacte ambiental, i complir els ODS establerts.

Per finalitzar, dels quatre objectius establerts al principi del treball se n'han pogut completar tres. La fi de realitzar l'estudi de la vida útil de les bateries finalment no s'ha pogut aconseguir perquè els coneixements necessaris per poder realitzar l'estudi de la vida útil restant són superiors als que dispo. Aquest estudi s'ha de fer a partir d'algoritmes basats en control difús o xarxes neuronals. És per aquest motiu, que finalment no s'ha realitzat l'estudi de la vida útil restant.

PRESSUPOST I/O ANÀLISI ECONÒMICA

En aquest capítol és mostren els costos que ha suposat fer aquest treball. S'inclou des de la mà d'obra fins als costos dels materials.

Taula 6. Pressupost del treball

Material	Preu	Unitat	Cost
Ordinador			150,0 €
Costos de mà d'obra del projectista	25	600	15.000,0 €
Costos de mà d'obra del Supervisor	40	50	2.000,0 €
Placa Arduino MEGA2560		1	40,0 €
Sensor Temperatura		1	5,0 €
Plagues Protoboar		1	10,0 €
Cables DuPONT		1	15,0 €
Pack de 4 bateries Ni-MH		1	8,8 €
Pack de resistencies		1	6,5 €
Convertidor Buck		1	5,3 €
Font d'alimentació		1	30,3 €
Cost tarifa electrica		1	42,0 €
		TOTAL	14.062,8 €

BIBLIOGRAFIA

- «▷ ADC Arduino - Entradas Analógicas - [Enero, 2023]». s.d. Consulta 16 gener 2023.
<https://controlautomaticoeducacion.com/arduino/entradas-analogicas-adc/>.
- «5. INTRODUCCIÓN A LOS MICRO CONTROLADORES - Tutorial de Electronica Digital». s.d. Consulta 14 gener 2023.
<https://sites.google.com/site/electronicadigitalml/home/5-introduccion-a-los-micro-controladores>.
- «78L05 Voltage Regulator: Circuit, Equivalent, and 78L05 vs 7805». s.d. Consulta 14 gener 2023. <https://www.utmel.com/components/78l05-voltage-regulator-circuit-equivalent-and-78l05-vs-7805?id=431#cat13>.
- «A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030 Unlocking the Full Potential to Power Sustainable Development and Climate Change Mitigation Including Photocopying and Recording, or by Any Information Storage and Retrieval System. 3 A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030: Unlocking the Full Potential to Power Sustainable Development and Climate Change Mitigation». 2019. www.weforum.org.
- «Anaconda | Anaconda Distribution». s.d. Consulta 15 gener 2023a. <https://www.anaconda.com/products/distribution>.
- «Anaconda | Anaconda Distribution». ——. s.d. Consulta 11 gener 2023b. <https://www.anaconda.com/products/distribution>.
- «Arduino Data Logger (CSV) with Sensors and Python - Learn Robotics». s.d. Consulta 16 gener 2023. <https://www.learnrobotics.org/blog/arduino-data-logger-csv/>.
- «Arduino IDE En Windows Linux y Mac». s.d. Consulta 15 gener 2023. <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/arduino-ide/>.
- «Arduino Integrated Development Environment (IDE) v1 | Arduino Documentation | Arduino Documentation». s.d. Consulta 15 gener 2023. <https://docs.arduino.cc/software/ide-v1/tutorials/arduino-ide-v1-basics>.
- «Arduino Mega 2560 Rev3 — Arduino Official Store». s.d. Consulta 14 gener 2023. <https://store.arduino.cc/collections/boards/products/arduino-mega-2560-rev3>.

Disseny d'un prototip de carregador per a bateries

«Arduino Uno Rev3 — Arduino Official Store». s.d. Consulta 14 gener 2023.
https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3?_gl=1*8gn2kl*_ga*MTA3OTY1MjkxMi4xNjY2NjkyMzQ2*_ga_NEXN8H46L5*MTY2ODQzNzEwNy4xMC4xLjE2Njg0Mzk1NzkuMC4wLjA.

«Cómo Leer y Escribir Archivos CSV En Python». s.d. Consulta 16 gener 2023.
<https://code.tutsplus.com/es/tutorials/how-to-read-and-write-csv-files-in-python--cms-29907>.

«De Como Descargar Baterias - Miliamperios.Com». s.d. Consulta 16 gener 2023.
<https://www.miliamperios.com/foro/de-como-descargar-baterias-4782>.

«Home — Spyder IDE». s.d. Consulta 15 gener 2023a. <https://www.spyder-ide.org/>.

«Home — Spyder IDE». ——. s.d. Consulta 15 gener 2023b. <https://www.spyder-ide.org/>.

«Home — Spyder IDE». ——. s.d. Consulta 11 gener 2023c. <https://www.spyder-ide.org/>.

«How to Build XL4015 DC DC Buck Converter Module». s.d. Consulta 14 gener 2023.
<https://circuitdigest.com/electronic-circuits/diy-xl4015-dc-dc-buck-converter-module>.

«Introducción a Los Microcontroladores | CIRCUITOS ELECTRONICOS». s.d. Consulta 14 gener 2023. <http://www.circuitoselectronicos.org/2011/05/introduccion-los-microcontroladores.html>.

«La Unidad C En Las Baterías». s.d. Consulta 16 gener 2023.
http://aeromodelismo.epiel.com/c_baterias.html.

«LM358 Data Sheet, Product Information and Support | TI.Com». s.d. Consulta 14 gener 2023. <https://www.ti.com/product/LM358?keyMatch=LM358&tisearch=search-everything&usecase=GPN#design-tools-simulation>.

«LM358N Amplificador Operacional PDIP-8 - UNIT Electronics». s.d. Consulta 14 gener 2023. <https://uelectronics.com/producto/lm358n-amplificador-operacional-pdip%E2%88%928/>.

«Mega 2560 Rev3 | Arduino Documentation | Arduino Documentation». s.d. Consulta 14 gener 2023. <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560>.

- Olivia Vázquez Bautista, M C C C. s.d. «Título Componentes de La Placa de Arduino». Consulta 14 gener 2023.
- «¿Qué Es Arduino y Para Qué Sirve? - Definición». s.d. Consulta 14 gener 2023. <https://www.geeknetic.es/Arduino/que-es-y-para-que-sirve>.
- «¿Qué Es y Como Funciona Arduino? | CEAC». s.d. Consulta 14 gener 2023. <https://www.ceac.es/blog/que-es-y-como-funciona-arduino>.
- «¿Sabes Qué Es Un Arduino y Para Qué Sirve? - Fundación Aquae». s.d. Consulta 14 gener 2023. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/sabes-arduino-sirve/>.
- «What Is Anaconda for Python & Why Should You Learn It?» s.d. Consulta 15 gener 2023. <https://blog.hubspot.com/website/anaconda-python>.
- «What Is Battery C-Rate and How to Calculate It? - Lithium Ion Battery Manufacturer and Supplier in China-DNK Power». s.d. Consulta 15 gener 2023. <https://www.dnkpowers.com/definition-and-calculation-of-battery-c-rate/>.
- «XL4015 Improves DC Module with CV/CC Control – A Quick Review - EEWeb». s.d. Consulta 14 gener 2023. <https://www.eeweb.com/xl4015-improves-dc-module-with-cv-cc-control-a-quick-review/>.
- «▷ ADC Arduino - Entradas Analógicas - [Enero, 2023]». s.d. Consulta 16 gener 2023. <https://controlautomaticoeducacion.com/arduino/entradas-analogicas-adc/>.
- «5. INTRODUCCIÓN A LOS MICRO CONTROLADORES - Tutorial de Electronica Digital». s.d. Consulta 14 gener 2023. <https://sites.google.com/site/electronicadigitalml/home/5-introduccion-a-los-micro-controladores>.
- «78L05 Voltage Regulator: Circuit, Equivalent, and 78L05 vs 7805». s.d. Consulta 14 gener 2023. <https://www.utmel.com/components/78l05-voltage-regulator-circuit-equivalent-and-78l05-vs-7805?id=431#cat13>.
- «A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030 Unlocking the Full Potential to Power Sustainable Development and Climate Change Mitigation Including Photocopying and Recording, or by Any Information Storage and Retrieval System. 3 A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030: Unlocking the Full Potential

Disseny d'un prototip de carregador per a bateries

to Power Sustainable Development and Climate Change Mitigation». 2019. www.weforum.org.

«Anaconda | Anaconda Distribution». s.d. Consulta 15 gener 2023a. <https://www.anaconda.com/products/distribution>.

«Anaconda | Anaconda Distribution». ——. s.d. Consulta 11 gener 2023b. <https://www.anaconda.com/products/distribution>.

«Arduino Data Logger (CSV) with Sensors and Python - Learn Robotics». s.d. Consulta 16 gener 2023. <https://www.learnrobotics.org/blog/arduino-data-logger-csv/>.

«Arduino IDE En Windows Linux y Mac». s.d. Consulta 15 gener 2023. <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/arduino-ide/>.

«Arduino Integrated Development Environment (IDE) v1 | Arduino Documentation | Arduino Documentation». s.d. Consulta 15 gener 2023. <https://docs.arduino.cc/software/ide-v1/tutorials/arduino-ide-v1-basics>.

«Arduino Mega 2560 Rev3 — Arduino Official Store». s.d. Consulta 14 gener 2023. <https://store.arduino.cc/collections/boards/products/arduino-mega-2560-rev3>.

«Arduino Uno Rev3 — Arduino Official Store». s.d. Consulta 14 gener 2023. https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3?_gl=1*8gn2kl*_ga*MTA3OTY1MjkxMi4xNjY2NjkyMzQ2*_ga_NEXN8H46L5*MTY2ODQzNzEwNy4xMC4xLjE2Njg0Mzk1NzkuMC4wLjA.

«Cómo Leer y Escribir Archivos CSV En Python». s.d. Consulta 16 gener 2023. <https://code.tutsplus.com/es/tutorials/how-to-read-and-write-csv-files-in-python--cms-29907>.

«De Como Descargar Baterias - Miliamperios.Com». s.d. Consulta 16 gener 2023. <https://www.miliamperios.com/foro/de-como-descargar-baterias-4782>.

«Home — Spyder IDE». s.d. Consulta 15 gener 2023a. <https://www.spyder-ide.org/>.

«How to Build XL4015 DC DC Buck Converter Module». s.d. Consulta 14 gener 2023. <https://circuitdigest.com/electronic-circuits/diy-xl4015-dc-dc-buck-converter-module>.



- «Introducción a Los Microcontroladores | CIRCUITOS ELECTRONICOS». s.d. Consulta 14 gener 2023. <http://www.circuitoselectronicos.org/2011/05/introduccion-los-microcontroladores.html>.
- «La Unidad C En Las Baterías». s.d. Consulta 16 gener 2023. http://aeromodelismo.epiel.com/c_baterias.html.
- «LM358 Data Sheet, Product Information and Support | TI.Com». s.d. Consulta 14 gener 2023. <https://www.ti.com/product/LM358?keyMatch=LM358&tisearch=search-everything&usecase=GPN#design-tools-simulation>.
- «LM358N Amplificador Operacional PDIP-8 - UNIT Electronics». s.d. Consulta 14 gener 2023. <https://uelectronics.com/producto/lm358n-amplificador-operacional-pdip%E2%88%928/>.
- «Mega 2560 Rev3 | Arduino Documentation | Arduino Documentation». s.d. Consulta 14 gener 2023. <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560>.
- Olivia Vázquez Bautista, M C C C. s.d. «Título Componentes de La Placa de Arduino». Consulta 14 gener 2023.
- «¿Qué Es Arduino y Para Qué Sirve? - Definición». s.d. Consulta 14 gener 2023. <https://www.geeknetic.es/Arduino/que-es-y-para-que-sirve>.
- «¿Qué Es y Como Funciona Arduino? | CEAC». s.d. Consulta 14 gener 2023. <https://www.ceac.es/blog/que-es-y-como-funciona-arduino>.
- «¿Sabes Qué Es Un Arduino y Para Qué Sirve? - Fundación Aquae». s.d. Consulta 14 gener 2023. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/sabes-arduino-sirve/>.
- «What Is Anaconda for Python & Why Should You Learn It?» s.d. Consulta 15 gener 2023. <https://blog.hubspot.com/website/anaconda-python>.
- «What Is Battery C-Rate and How to Calculate It? - Lithium Ion Battery Manufacturer and Supplier in China-DNK Power». s.d. Consulta 15 gener 2023. <https://www.dnkpowers.com/definition-and-calculation-of-battery-c-rate/>.
- «XL4015 Improves DC Module with CV/CC Control – A Quick Review - EEWeb». s.d. Consulta 14 gener 2023. <https://www.eeweb.com/xl4015-improves-dc-module-with-cv-cc-control-a-quick-review/>.

Disseny d'un prototip de carregador per a bateries

«A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030 Unlocking the Full Potential to Power Sustainable Development and Climate Change Mitigation Including Photocopying and Recording, or by Any Information Storage and Retrieval System. 3 A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030: Unlocking the Full Potential to Power Sustainable Development and Climate Change Mitigation». 2019. www.weforum.org.

«Tutorial Sensor Digital de Temperatura DS18B20». s.d. Consulta 14 gener 2023. https://naylampmechatronics.com/blog/46_tutorial-sensor-digital-de-temperatura-ds18b20.html.

XLSEMI. s.d. «Datasheet 5A 180KHz 36V Buck DC to DC Converter XL4015». www.xlsemi.com.

«A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030 Unlocking the Full Potential to Power Sustainable Development and Climate Change Mitigation Including Photocopying and Recording, or by Any Information Storage and Retrieval System. 3 A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030: Unlocking the Full Potential to Power Sustainable Development and Climate Change Mitigation». 2019. www.weforum.org.

«El Mundo Demandará 19 Veces Más Baterías En 2030 y Urge Un Relevo Para Las de Litio: Estas Son Las Mejor Colocadas | Forococheselectricos». s.d. Consulta 13 gener 2023. <https://forococheselectricos.com/2022/11/coche-electrico-baterias-2030-urge-relevo-litio.html>.

«Energía - Desarrollo Sostenible». s.d. Consulta 13 gener 2023. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>.

«La Asamblea General Adopta La Agenda 2030 Para El Desarrollo Sostenible - Desarrollo Sostenible». s.d. Consulta 12 gener 2023. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>.

«Litio: La Fiebre Del 'Oro Blanco' (y Sus Riesgos) | Política Exterior». s.d. Consulta 13 gener 2023. <https://www.politicaexterior.com/litio-la-fiebre-del-oro-blanco-y-sus-riesgos/>.

«Panorama Del Litio En Latinoamérica: Proyecciones de Crecimiento». s.d. Consulta 13 gener 2023a. <https://thelogisticsworld.com/manufactura/litio-en-latinoamerica-paises-productores-o-con-potencial-y-proyecciones-de-crecimiento/>.

«Panorama Del Litio En Latinoamérica: Proyecciones de Crecimiento». ——. s.d. Consulta 13 gener 2023b. <https://thelogisticsworld.com/manufactura/litio-en-latinoamerica-paises-productores-o-con-potencial-y-proyecciones-de-crecimiento/>.

«Preveen Que Demanda Mundial de Litio Llegue a 2.1 Millones de Toneladas». s.d. Consulta 13 gener 2023. <https://thelogisticsworld.com/abastecimiento-y-compras/demanda-mundial-de-litio-alcanzara-los-2-1-millones-de-toneladas-para-2030/>.

«A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030 Unlocking the Full Potential to Power Sustainable Development and Climate Change Mitigation Including Photocopying and Recording, or by Any Information Storage and Retrieval System. 3 A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030: Unlocking the Full Potential to Power Sustainable Development and Climate Change Mitigation». 2019. www.weforum.org.

«Arduino® MEGA 2560 Rev3». s.d.

By ALLDATASHEETCOM, Provided. s.d. «Datasheet 5A 180KHz 36V Buck DC to DC Converter XL4015». www.xlsemi.com.

«DS18B20». s.d.

«Not to Scale». 2000. www.ti.com.

onsemi. s.d. «LM358 - Single Supply Dual Operational Amplifiers». www.onsemi.com.

«Piles». s.d.

«TL431, TL432 Precision Programmable Reference». 2022. www.ti.com.

ANNEX A

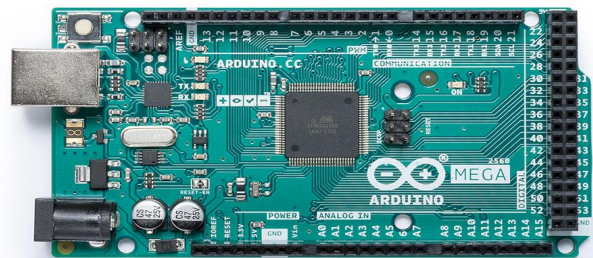
A.1. DATASHEET ARDUINO MEGA 2560



Arduino® MEGA 2560 Rev3

Product Reference Manual

SKU: A000067



Description

Arduino® Mega 2560 is an exemplary development board dedicated for building extensive applications as compared to other maker boards by Arduino. The board accommodates the ATmega2560 microcontroller, which operates at a frequency of 16 MHz. The board contains 54 digital input/output pins, 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button.

Target Areas

3D Printing, Robotics, Maker

..



Features

- **ATmega2560 Processor**
 - Up to 16 MIPS Throughput at 16MHz
 - 256k bytes (of which 8k is used for the bootloader)
 - 4k bytes EEPROM
 - 8k bytes Internal SRAM
 - 32 × 8 General Purpose Working Registers
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Four 8-bit PWM Channels
 - Four Programmable Serial USART
 - Controller/Peripheral SPI Serial Interface

- **ATmega16U2**
 - Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
 - 16k bytes ISP Flash Memory
 - 512 bytes EEPROM
 - 512 bytes SRAM
 - USART with SPI master only mode and hardware flow control (RTS/CTS)
 - Master/Slave SPI Serial Interface

- **Sleep Modes**
 - Idle
 - ADC Noise Reduction
 - Power-save
 - Power-down
 - Standby
 - Extended Standby

- **Power**
 - USB Connection
 - External AC/DC Adapter

- **I/O**
 - 54 Digital
 - 16 Analog
 - 15 PWM Output



Contents

1 The Board	4
1.1 Application Examples	4
1.2 Accessories	4
1.3 Related Products	4
2 Ratings	5
2.1 Recommended Operating Conditions	5
2.2 Power Consumption	5
3 Functional Overview	5
3.1 Block Diagram	5
3.2 Board Topology	6
3.3 Processor	7
3.4 Power Tree	7
4 Board Operation	8
4.1 Getting Started - IDE	8
4.2 Getting Started - Arduino Web Editor	8
4.3 Sample Sketches	8
4.4 Online Resources	8
5 Connector Pinouts	8
5.1 Analog	10
5.2 Digital	10
5.3 ATMEGA16U2 JP5	12
5.4 ATMEGA16U2 ICSP1	12
5.5 Digital Pins D22 - D53 LHS	12
5.6 Digital Pins D22 - D53 RHS	13
6 Mechanical Information	13
6.1 Board Outline	13
6.2 Board Mount Holes	14
7 Declaration of Conformity CE DoC (EU)	14
8 Declaration of Conformity to EU RoHS & REACH 211 01/19/2021	3
9 Conflict Minerals Declaration	16
10 FCC Caution	16
11 Company Information	17
12 Reference Documentation	17
13 Revision History	17



1 The Board

Arduino® Mega 2560 is a successor board of Arduino Mega, it is dedicated to applications and projects that require large number of input output pins and the use cases which need high processing power. The Arduino® Mega 2560 comes with a much larger set of IOs when we compare it with traditional Uno board considering the form factor of both the boards.

1.1 Application Examples

- **Robotics:** Featuring the high processing capacity, the Arduino Mega 2560 can handle the extensive robotic applications. It is compatible with the motor controller shield that enables it to control multiple motors at an instance, thus making it perfect of robotic applications. The large number of I/O pins can accommodate many robotic sensors as well.
- **3D Printing:** Algorithms play a significant role in implementation of 3D printers. Arduino Mega 2560 has the power to process these complex algorithms required for 3D printing. Additionally, the slight changes to the code is easily possible with the Arduino IDE and thus 3D printing programs can be customized according to user requirements.
- **Wi-Fi:** Integrating wireless functionality enhances the utility of the applications. Arduino Mega 2560 is compatible with WiFi shields hence allowing the wireless features for the applications in 3D printing and Robotics.

1.2 Accessories

1.3 Related Products

- Arduino® Uno Rev 3
- Arduino® Nano
- Arduino® DUE without headers



2 Ratings

2.1 Recommended Operating Conditions

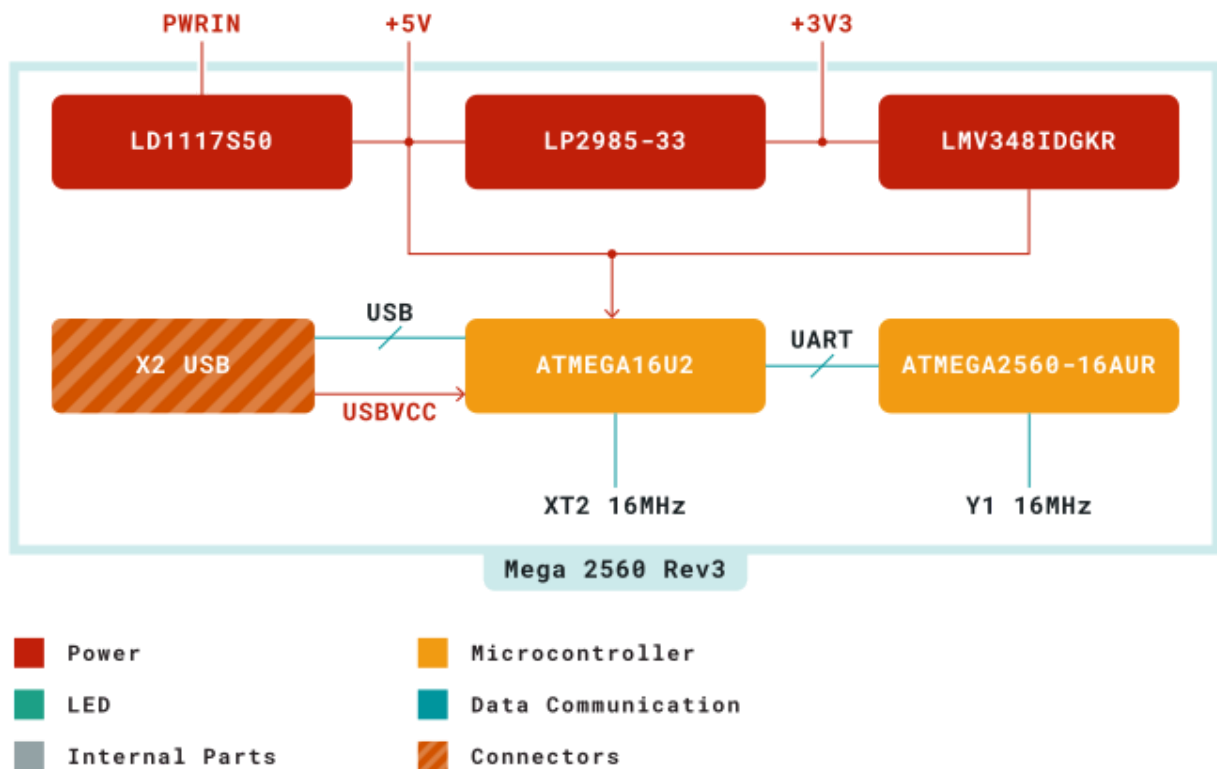
Symbol	Description	Min	Max
TOP	Operating temperature:	-40 °C	85 °C

2.2 Power Consumption

Symbol	Description	Min	Typ	Max	Unit
PWRIN	Input supply from power jack		TBC		mW
USB VCC	Input supply from USB		TBC		mW
VIN	Input from VIN pad		TBC		mW

3 Functional Overview

3.1 Block Diagram

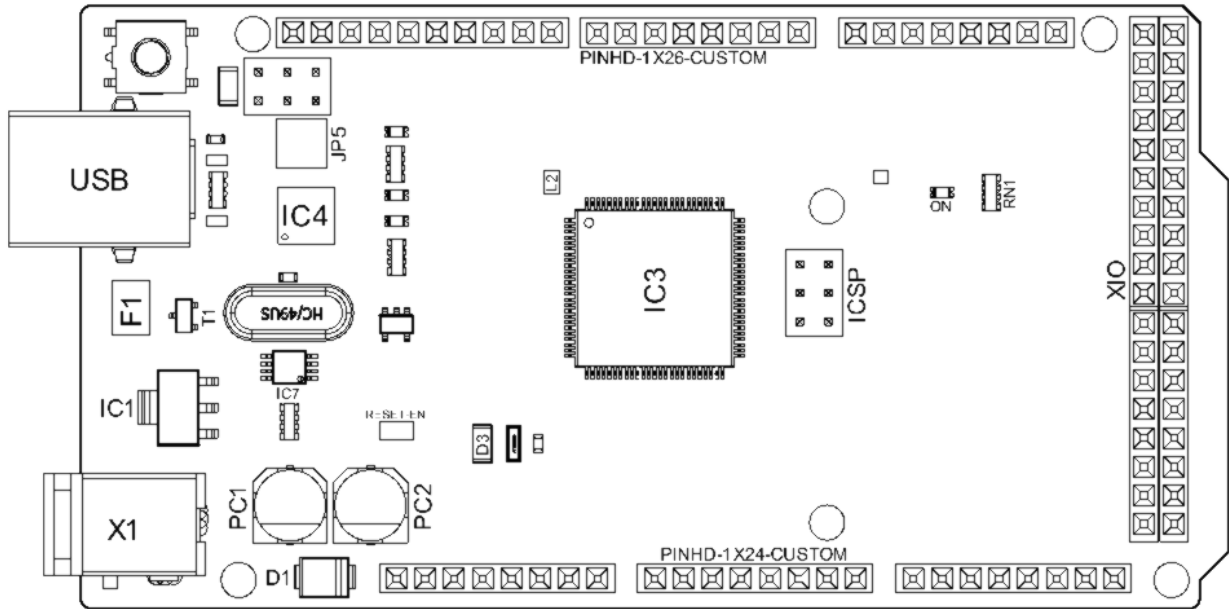


Arduino MEGA Block Diagram



3.2 Board Topology

Front View



Arduino MEGA Top View

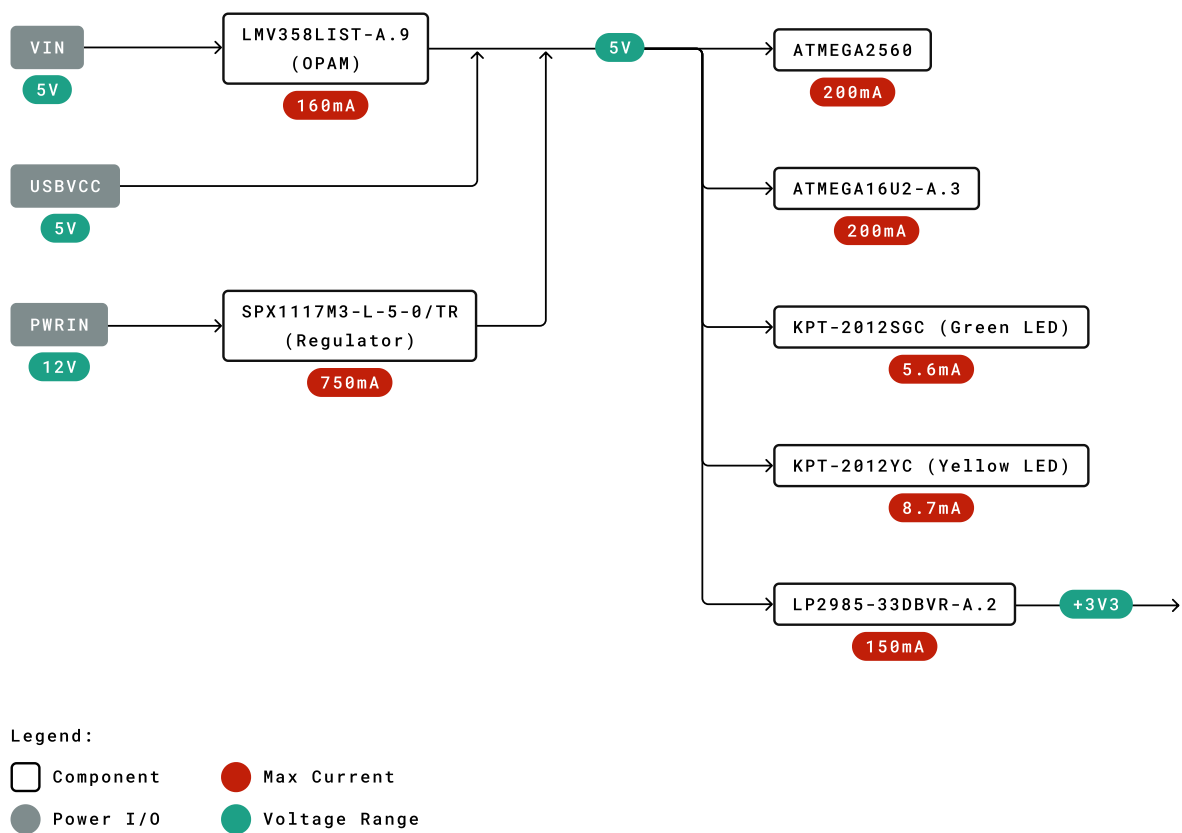
Ref.	Description	Ref.	Description
USB	USB B Connector	F1	Chip Capacitor
IC1	5V Linear Regulator	X1	Power Jack Connector
JP5	Plated Holes	IC4	ATmega16U2 chip
PC1	Electrolytic Aluminum Capacitor	PC2	Electrolytic Aluminum Capacitor
D1	General Purpose Rectifier	D3	General Purpose Diode
L2	Fixed Inductor	IC3	ATmega2560 chip
ICSP	Connector Header	ON	Green LED
RN1	Resistor Array	XIO	Connector



3.3 Processor

Primary processor of Arduino Mega 2560 Rev3 board is ATmega2560 chip which operates at a frequency of 16 MHz. It accommodates a large number of input and output lines which gives the provision of interfacing many external devices. At the same time the operations and processing is not slowed due to its significantly larger RAM than the other processors. The board also features a USB serial processor ATmega16U2 which acts an interface between the USB input signals and the main processor. This increases the flexibility of interfacing and connecting peripherals to the Arduino Mega 2560 Rev 3 board.

3.4 Power Tree



Power Tree



4 Board Operation

4.1 Getting Started - IDE

If you want to program your Arduino® MEGA 2560 while offline you need to install the Arduino® Desktop IDE **[1]**. To connect the Arduino® MEGA 2560 to your computer, you'll need a Type-B USB cable. This also provides power to the board, as indicated by the LED.

4.2 Getting Started - Arduino Web Editor

All Arduino® boards, including this one, work out-of-the-box on the Arduino® Web Editor **[2]**, by just installing a simple plugin.

The Arduino® Web Editor is hosted online, therefore it will always be up-to-date with the latest features and support for all boards. Follow **[3]** to start coding on the browser and upload your sketches onto your board.

4.3 Sample Sketches

Sample sketches for the Arduino® MEGA 2560 can be found either in the "Examples" menu in the Arduino® IDE

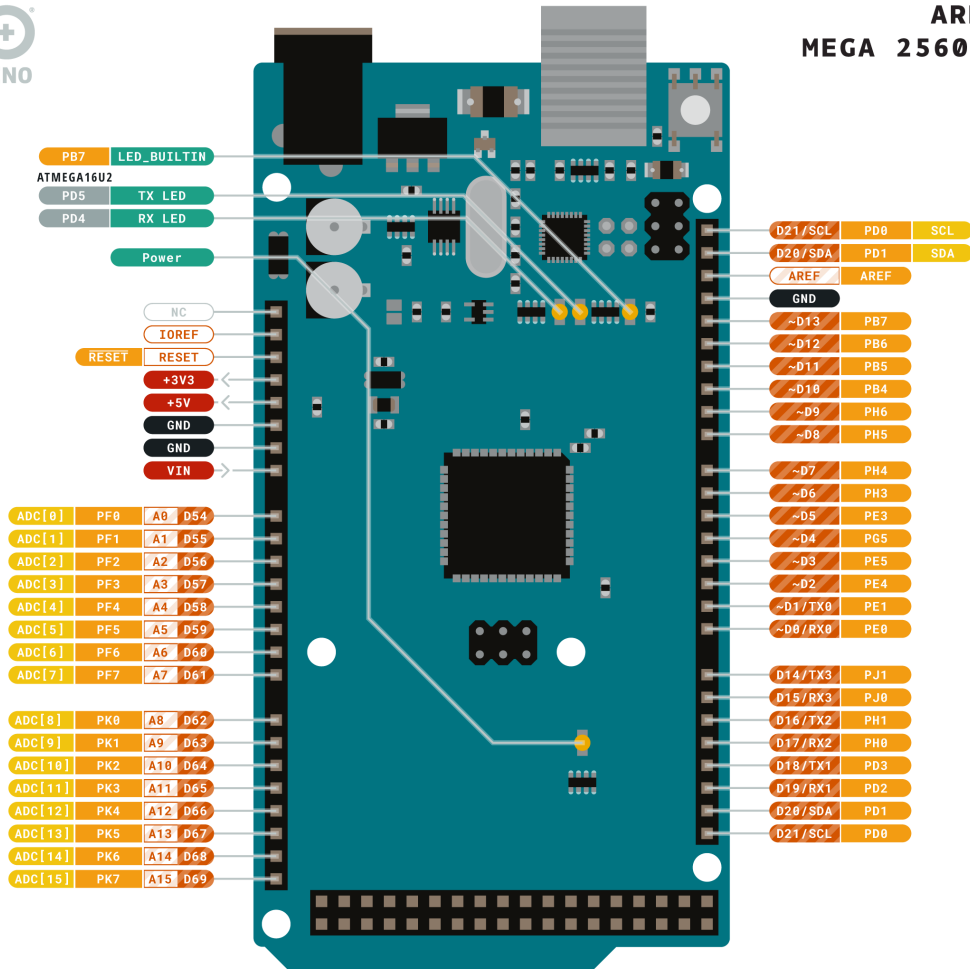
4.4 Online Resources

Now that you have gone through the basics of what you can do with the board you can explore the endless possibilities it provides by checking exciting projects on ProjectHub **[5]**, the Arduino® Library Reference **[6]** and the online store **[7]** where you will be able to complement your board with sensors, actuators and more.

5 Connector Pinouts



ARDUINO MEGA 2560 REV3



Ground	Internal Pin	Digital Pin	Microcontroller's Port
Power	SWD Pin	Analog Pin	
LED	Other Pin	Default	

ARDUINO.CC

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.

Arduino Mega Pinout



5.1 Analog

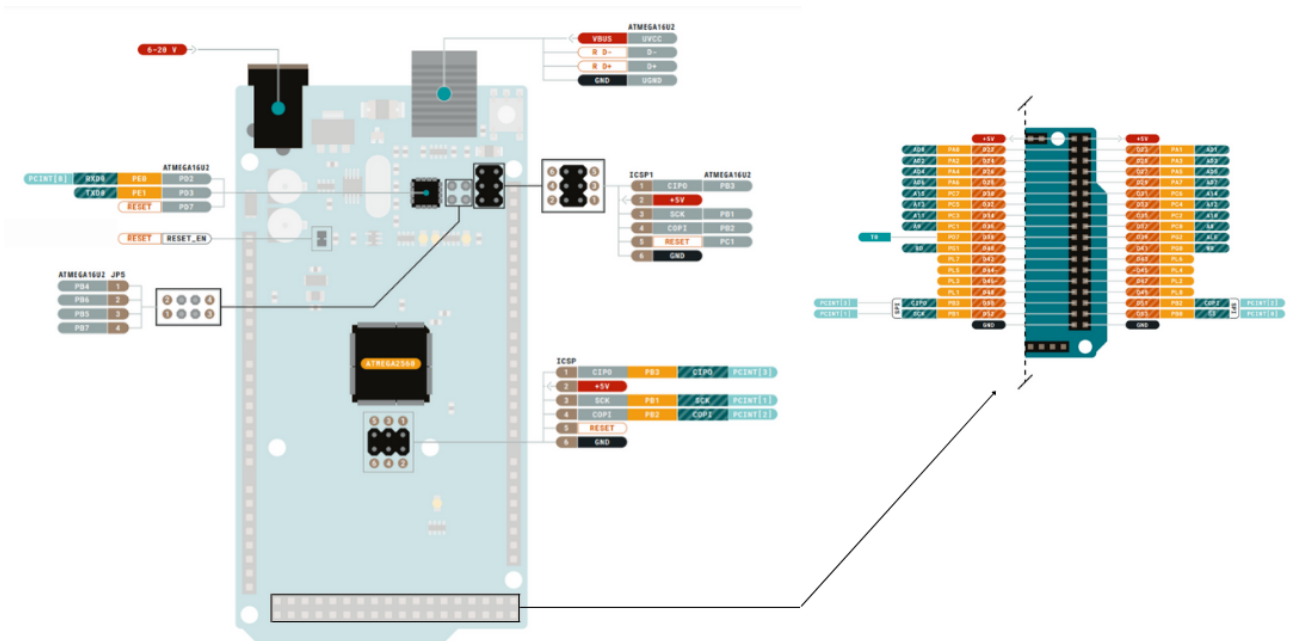
Pin	Function	Type	Description
1	NC	NC	Not Connected
2	IOREF	IOREF	Reference for digital logic V - connected to 5V
3	Reset	Reset	Reset
4	+3V3	Power	+3V3 Power Rail
5	+5V	Power	+5V Power Rail
6	GND	Power	Ground
7	GND	Power	Ground
8	VIN	Power	Voltage Input
9	A0	Analog	Analog input 0 /GPIO
10	A1	Analog	Analog input 1 /GPIO
11	A2	Analog	Analog input 2 /GPIO
12	A3	Analog	Analog input 3 /GPIO
13	A4	Analog	Analog input 4 /GPIO
14	A5	Analog	Analog input 5 /GPIO
15	A6	Analog	Analog input 6 /GPIO
16	A7	Analog	Analog input 7 /GPIO
17	A8	Analog	Analog input 8 /GPIO
18	A9	Analog	Analog input 9 /GPIO
19	A10	Analog	Analog input 10 /GPIO
20	A11	Analog	Analog input 11 /GPIO
21	A12	Analog	Analog input 12 /GPIO
22	A13	Analog	Analog input 13 /GPIO
23	A14	Analog	Analog input 14 /GPIO
24	A15	Analog	Analog input 15 /GPIO

5.2 Digital

Pin	Function	Type	Description
1	D21/SCL	Digital Input/I2C	Digital input 21/I2C Dataline
2	D20/SDA	Digital Input/I2C	Digital input 20/I2C Dataline
3	AREF	Digital	Analog Reference Voltage
4	GND	Power	Ground
5	D13	Digital/GPIO	Digital input 13/GPIO
6	D12	Digital/GPIO	Digital input 12/GPIO
7	D11	Digital/GPIO	Digital input 11/GPIO
8	D10	Digital/GPIO	Digital input 10/GPIO
9	D9	Digital/GPIO	Digital input 9/GPIO
10	D8	Digital/GPIO	Digital input 8/GPIO
11	D7	Digital/GPIO	Digital input 7/GPIO
12	D6	Digital/GPIO	Digital input 6/GPIO
13	D5	Digital/GPIO	Digital input 5/GPIO
14	D4	Digital/GPIO	Digital input 4/GPIO



Pin	Function	Type	Description
15	D3	Digital/GPIO	Digital input 3/GPIO
16	D2	Digital/GPIO	Digital input 2/GPIO
17	D1/TX0	Digital/GPIO	Digital input 1 /GPIO
18	D0/Tx1	Digital/GPIO	Digital input 0 /GPIO
19	D14	Digital/GPIO	Digital input 14 /GPIO
20	D15	Digital/GPIO	Digital input 15 /GPIO
21	D16	Digital/GPIO	Digital input 16 /GPIO
22	D17	Digital/GPIO	Digital input 17 /GPIO
23	D18	Digital/GPIO	Digital input 18 /GPIO
24	D19	Digital/GPIO	Digital input 19 /GPIO
25	D20	Digital/GPIO	Digital input 20 /GPIO
26	D21	Digital/GPIO	Digital input 21 /GPIO



Arduino Mega Pinout



5.3 ATMEGA16U2 JP5

Pin	Function	Type	Description
1	PB4	Internal	Serial Wire Debug
2	PB6	Internal	Serial Wire Debug
3	PB5	Internal	Serial Wire Debug
4	PB7	Internal	Serial Wire Debug

5.4 ATMEGA16U2 ICSP1

Pin	Function	Type	Description
1	CIPO	Internal	Controller In Peripheral Out
2	+5V	Internal	Power Supply of 5V
3	SCK	Internal	Serial Clock
4	COPI	Internal	Controller Out Peripheral In
5	RESET	Internal	Reset
6	GND	Internal	Ground

5.5 Digital Pins D22 - D53 LHS

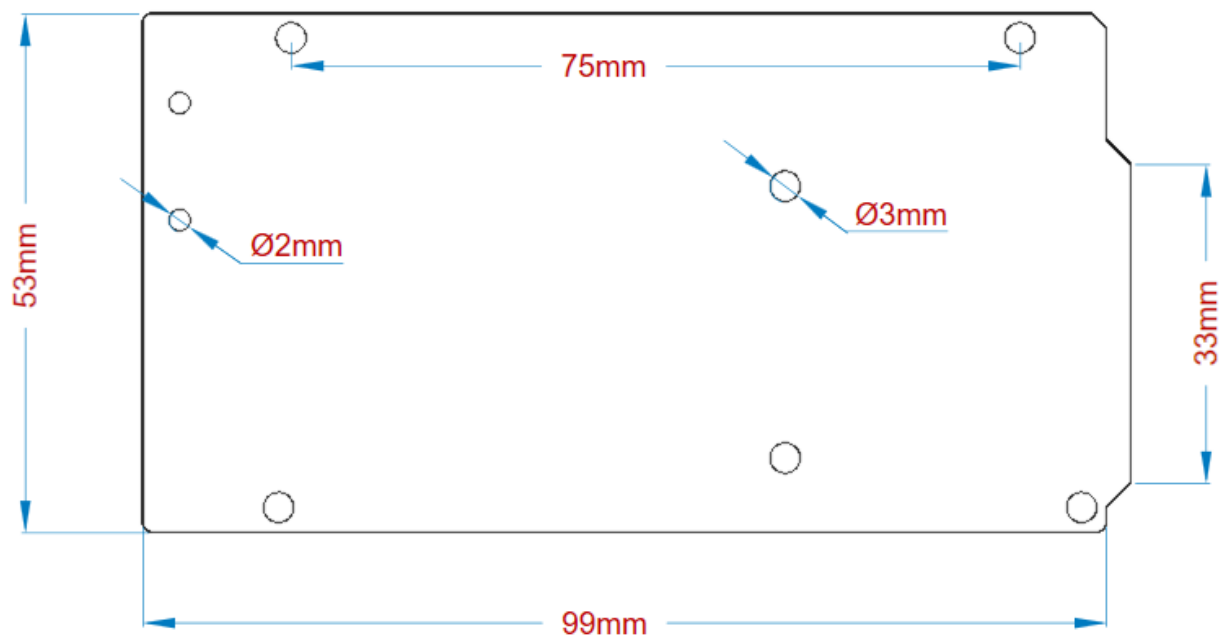
Pin	Function	Type	Description
1	+5V	Power	Power Supply of 5V
2	D22	Digital	Digital input 22/GPIO
3	D24	Digital	Digital input 24/GPIO
4	D26	Digital	Digital input 26/GPIO
5	D28	Digital	Digital input 28/GPIO
6	D30	Digital	Digital input 30/GPIO
7	D32	Digital	Digital input 32/GPIO
8	D34	Digital	Digital input 34/GPIO
9	D36	Digital	Digital input 36/GPIO
10	D38	Digital	Digital input 38/GPIO
11	D40	Digital	Digital input 40/GPIO
12	D42	Digital	Digital input 42/GPIO
13	D44	Digital	Digital input 44/GPIO
14	D46	Digital	Digital input 46/GPIO
15	D48	Digital	Digital input 48/GPIO
16	D50	Digital	Digital input 50/GPIO
17	D52	Digital	Digital input 52/GPIO
18	GND	Power	Ground

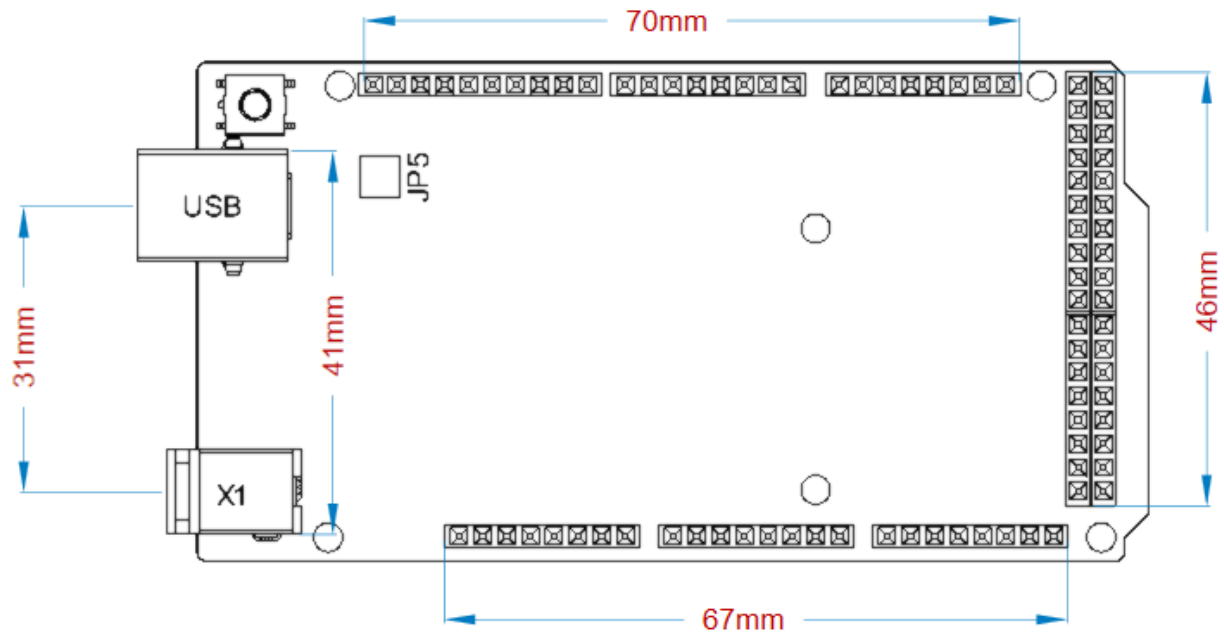
5.6 Digital Pins D22 - D53 RHS

Pin	Function	Type	Description
1	+5V	Power	Power Supply of 5V
2	D23	Digital	Digital input 23/GPIO
3	D25	Digital	Digital input 25/GPIO
4	D27	Digital	Digital input 27/GPIO
5	D29	Digital	Digital input 29/GPIO
6	D31	Digital	Digital input 31/GPIO
7	D33	Digital	Digital input 33/GPIO
8	D35	Digital	Digital input 35/GPIO
9	D37	Digital	Digital input 37/GPIO
10	D39	Digital	Digital input 39/GPIO
11	D41	Digital	Digital input 41/GPIO
12	D43	Digital	Digital input 43/GPIO
13	D45	Digital	Digital input 45/GPIO
14	D47	Digital	Digital input 47/GPIO
15	D49	Digital	Digital input 49/GPIO
16	D51	Digital	Digital input 51/GPIO
17	D53	Digital	Digital input 53/GPIO
18	GND	Power	Ground

6 Mechanical Information

6.1 Board Outline



*Arduino Mega Outline***6.2 Board Mount Holes***Arduino Mega Mount Holes*

Certifications

7 Declaration of Conformity CE DoC (EU)

We declare under our sole responsibility that the products above are in conformity with the essential requirements of the following EU Directives and therefore qualify for free movement within markets comprising the European Union (EU) and European Economic Area (EEA).



8 Declaration of Conformity to EU RoHS & REACH 211 01/19/2021

Arduino boards are in compliance with RoHS 2 Directive 2011/65/EU of the European Parliament and RoHS 3 Directive 2015/863/EU of the Council of 4 June 2015 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment.

Substance	Maximum Limit (ppm)
Lead (Pb)	1000
Cadmium (Cd)	100
Mercury (Hg)	1000
Hexavalent Chromium (Cr6+)	1000
Poly Brominated Biphenyls (PBB)	1000
Poly Brominated Diphenyl ethers (PBDE)	1000
Bis(2-Ethylhexyl} phthalate (DEHP)	1000
Benzyl butyl phthalate (BBP)	1000
Dibutyl phthalate (DBP)	1000
Diisobutyl phthalate (DIBP)	1000

Exemptions : No exemptions are claimed.

Arduino Boards are fully compliant with the related requirements of European Union Regulation (EC) 1907 /2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals (REACH). We declare none of the SVHCs (<https://echa.europa.eu/web/guest/candidate-list-table>), the Candidate List of Substances of Very High Concern for authorization currently released by ECHA, is present in all products (and also package) in quantities totaling in a concentration equal or above 0.1%. To the best of our knowledge, we also declare that our products do not contain any of the substances listed on the "Authorization List" (Annex XIV of the REACH regulations) and Substances of Very High Concern (SVHC) in any significant amounts as specified by the Annex XVII of Candidate list published by ECHA (European Chemical Agency) 1907 /2006/EC.



9 Conflict Minerals Declaration

As a global supplier of electronic and electrical components, Arduino is aware of our obligations with regards to laws and regulations regarding Conflict Minerals, specifically the Dodd-Frank Wall Street Reform and Consumer Protection Act, Section 1502. Arduino does not directly source or process conflict minerals such as Tin, Tantalum, Tungsten, or Gold. Conflict minerals are contained in our products in the form of solder, or as a component in metal alloys. As part of our reasonable due diligence Arduino has contacted component suppliers within our supply chain to verify their continued compliance with the regulations. Based on the information received thus far we declare that our products contain Conflict Minerals sourced from conflict-free areas.

10 FCC Caution

Any Changes or modifications not expressly approved by the party responsible for compliance could void the user's authority to operate the equipment.

This device complies with part 15 of the FCC Rules. Operation is subject to the following two conditions:

- (1) This device may not cause harmful interference
- (2) this device must accept any interference received, including interference that may cause undesired operation.

FCC RF Radiation Exposure Statement:

1. This Transmitter must not be co-located or operating in conjunction with any other antenna or transmitter.
2. This equipment complies with RF radiation exposure limits set forth for an uncontrolled environment.
3. This equipment should be installed and operated with minimum distance 20cm between the radiator & your body.

English: User manuals for licence-exempt radio apparatus shall contain the following or equivalent notice in a conspicuous location in the user manual or alternatively on the device or both. This device complies with Industry Canada licence-exempt RSS standard(s). Operation is subject to the following two conditions:

- (1) this device may not cause interference
- (2) this device must accept any interference, including interference that may cause undesired operation of the device.

French: Le présent appareil est conforme aux CNR d'Industrie Canada applicables aux appareils radio exempts de licence. L'exploitation est autorisée aux deux conditions suivantes :

- (1) l' appareil n' doit pas produire de brouillage
- (2) l' utilisateur de l' appareil doit accepter tout brouillage radioélectrique subi, même si le brouillage est susceptible d' en compromettre le fonctionnement.

IC SAR Warning:

English This equipment should be installed and operated with minimum distance 20 cm between the radiator and your body.



French: Lors de l' installation et de l' exploitation de ce dispositif, la distance entre le radiateur et le corps est d' au moins 20 cm.

Important: The operating temperature of the EUT can't exceed 85°C and shouldn't be lower than -40°C.

Hereby, Arduino S.r.l. declares that this product is in compliance with essential requirements and other relevant provisions of Directive 201453/EU. This product is allowed to be used in all EU member states.

11 Company Information

Company name	Arduino S.r.l.
Company Address	Arduino SRL, Via Andrea Appiani 25, 20900 Monza MB, Italy

12 Reference Documentation

Ref	Link
Arduino IDE (Desktop)	https://www.arduino.cc/en/Main/Software
Arduino IDE (Cloud)	https://create.arduino.cc/editor
Cloud IDE Getting Started	https://create.arduino.cc/projecthub/Arduino_Genuino/getting-started-with-arduino-web-editor-4b3e4a
Arduino Pro Website	https://www.arduino.cc/pro
Project Hub	https://create.arduino.cc/projecthub?by=part&part_id=11332&sort=trending
Library Reference	https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/
Online Store	https://store.arduino.cc/

13 Revision History

Date	Revision	Changes
29/09/2020	1	First Release

A.2. DATASHEET DB28S11

Click [here](#) for production status of specific part numbers.

DS18B20

General Description

The DS18B20 digital thermometer provides 9-bit to 12-bit Celsius temperature measurements and has an alarm function with nonvolatile user-programmable upper and lower trigger points. The DS18B20 communicates over a 1-Wire bus that by definition requires only one data line (and ground) for communication with a central microprocessor. In addition, the DS18B20 can derive power directly from the data line (“parasite power”), eliminating the need for an external power supply.

Each DS18B20 has a unique 64-bit serial code, which allows multiple DS18B20s to function on the same 1-Wire bus. Thus, it is simple to use one microprocessor to control many DS18B20s distributed over a large area. Applications that can benefit from this feature include HVAC environmental controls, temperature monitoring systems inside buildings, equipment, or machinery, and process monitoring and control systems.

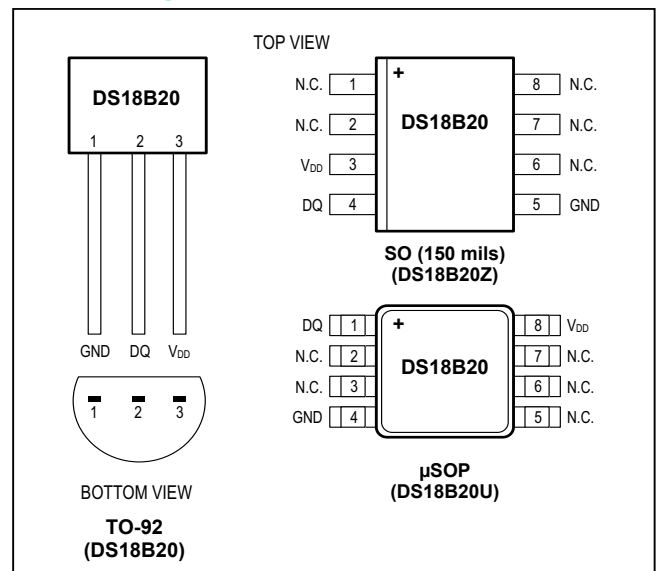
- Thermostatic Controls
- Industrial Systems
- Consumer Products
- Thermometers
- Thermally Sensitive Systems

Applications

Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer

- Unique 1-Wire® Interface Requires Only One Port Pin for Communication
- Reduce Component Count with Integrated Temperature Sensor and EEPROM
 - Measures Temperatures from -55°C to +125°C (-67°F to +257°F)
 - ±0.5°C Accuracy from -10°C to +85°C
 - Programmable Resolution from 9 Bits to 12 Bits
 - No External Components Required
- Parasitic Power Mode Requires Only 2 Pins for Operation (DQ and GND)
- Simplifies Distributed Temperature-Sensing Applications with Multidrop Capability
 - Each Device Has a Unique 64-Bit Serial Code Stored in On-Board ROM
- Flexible User-Definable Nonvolatile (NV) Alarm Settings with Alarm Search Command Identifies Devices with Temperatures Outside Programmed Limits
- Available in 8-Pin SO (150 mils), 8-Pin μ SOP, and 3-Pin TO-92 Packages

Pin Configurations



Ordering Information appears at end of data sheet.

1-Wire is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.

Absolute Maximum Ratings

Voltage Range on Any Pin Relative to Ground -0.5V to +6.0V
Operating Temperature Range -55°C to +125°C

Storage Temperature Range -55°C to +125°C
Solder Temperature Refer to the IPC/JEDEC
J-STD-020 Specification.

These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.

DC Electrical Characteristics

(-55°C to +125°C; $V_{DD} = 3.0V$ to $5.5V$)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	V_{DD}	Local power (Note 1)	+3.0		+5.5	V
Pullup Supply Voltage	V_{PU}	Parasite power	+3.0		+5.5	V
		Local power	+3.0		V_{DD}	
Thermometer Error	t_{ERR}	-10°C to +85°C			±0.5	°C
		-30°C to +100°C			±1	
		-55°C to +125°C			±2	
Input Logic-Low	V_{IL}	(Notes 1, 4, 5)	-0.3		+0.8	V
Input Logic-High	V_{IH}	Local power	+2.2		The lower of 5.5 or $V_{DD} + 0.3$	V
		Parasite power	+3.0			
Sink Current	I_L	$V_{I/O} = 0.4V$	4.0			mA
Standby Current	I_{DDS}	(Notes 7, 8)		750	1000	nA
Active Current	I_{DD}	$V_{DD} = 5V$ (Note 9)		1	1.5	mA
DQ Input Current	I_{DQ}	(Note 10)		5		μA
Drift		(Note 11)		±0.2		°C

Note 1: All voltages are referenced to ground.

Note 2: The Pullup Supply Voltage specification assumes that the pullup device is ideal, and therefore the high level of the pullup is equal to V_{PU} . In order to meet the V_{IH} spec of the DS18B20, the actual supply rail for the strong pullup transistor must include margin for the voltage drop across the transistor when it is turned on; thus: $V_{PU_ACTUAL} = V_{PU_IDEAL} + V_{TRANSISTOR}$.

Note 3: See typical performance curve in [Figure 1](#). Thermometer Error limits are 3-sigma values.

Note 4: Logic-low voltages are specified at a sink current of 4mA.

Note 5: To guarantee a presence pulse under low voltage parasite power conditions, V_{ILMAX} may have to be reduced to as low as 0.5V.

Note 6: Logic-high voltages are specified at a source current of 1mA.

Note 7: Standby current specified up to +70°C. Standby current typically is 3μA at +125°C.

Note 8: To minimize I_{DDs} , DQ should be within the following ranges: $GND \leq DQ \leq GND + 0.3V$ or $V_{DD} - 0.3V \leq DQ \leq V_{DD}$.

Note 9: Active current refers to supply current during active temperature conversions or EEPROM writes.

Note 10: DQ line is high ("high-Z" state).

Note 11: Drift data is based on a 1000-hour stress test at +125°C with $V_{DD} = 5.5V$.

AC Electrical Characteristics–NV Memory

(-55°C to +125°C; V_{DD} = 3.0V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
NV Write Cycle Time	t _{WR}			2	10	ms
EEPROM Writes	N _{EEWR}	-55°C to +55°C	50k			writes
EEPROM Data Retention	t _{EEDR}	-55°C to +55°C	10			years

AC Electrical Characteristics

(-55°C to +125°C; V_{DD} = 3.0V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
Temperature Conversion Time	t _{CONV}	9-bit resolution			93.75	ms	
		10-bit resolution			187.5		
		11-bit resolution	(Note 12)				375
		12-bit resolution			750		
Time to Strong Pullup On	t _{SPON}	Start convert T command issued			10	µs	
Time Slot	t _{SLOT}	(Note 12)	60		120	µs	
Recovery Time	t _{REC}	(Note 12)	1			µs	
Write 0 Low Time	t _{LOW0}	(Note 12)	60		120	µs	
Write 1 Low Time	t _{LOW1}	(Note 12)	1		15	µs	
Read Data Valid	t _{RDV}	(Note 12)			15	µs	
Reset Time High	t _{RSTH}	(Note 12)	480			µs	
Reset Time Low	t _{RSTL}	(Notes 12, 13)	480			µs	
Presence-Detect High	t _{PDHIGH}	(Note 12)	15		60	µs	
Presence-Detect Low	t _{PDLOW}	(Note 12)	60		240	µs	
Capacitance	C _{IN/OUT}				25	pF	

Note 12: See the timing diagrams in [Figure 2](#).

Note 13: Under parasite power, if t_{RSTL} > 960µs, a power-on reset can occur.

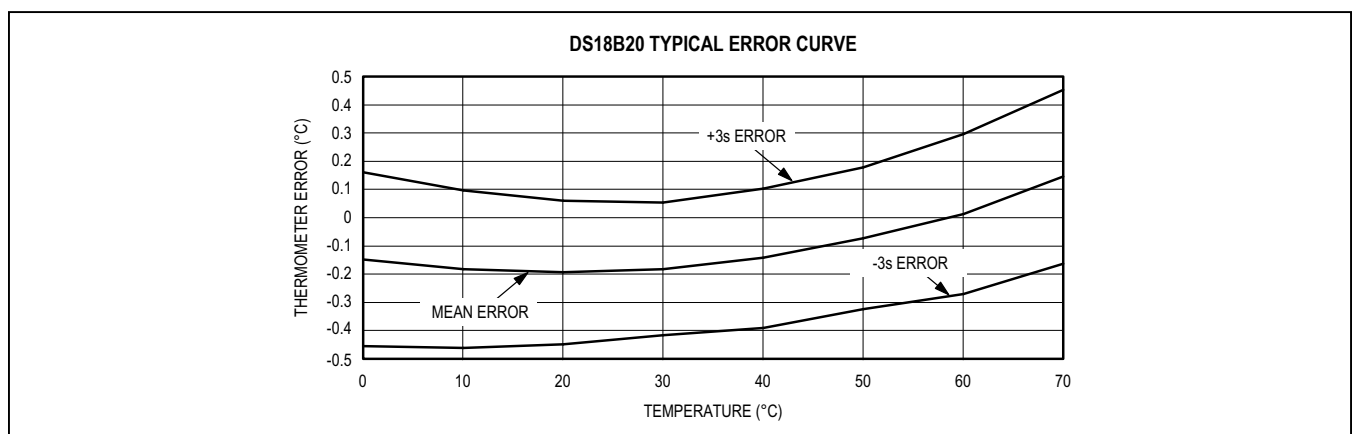


Figure 1. Typical Performance Curve

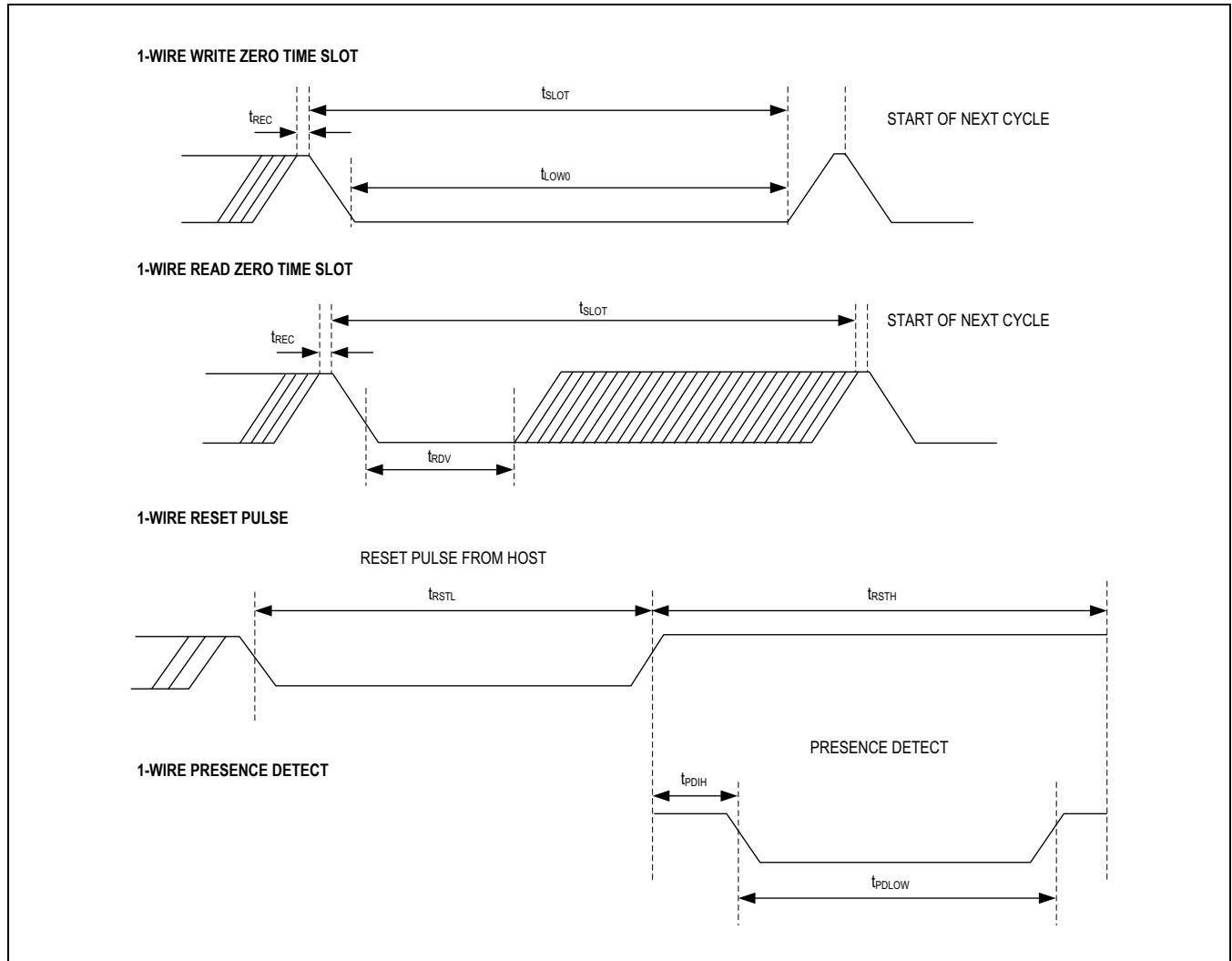


Figure 2. Timing Diagrams

Pin Description

PIN			NAME	FUNCTION
SO	μ SOP	TO-92		
1, 2, 6, 7, 8	2, 3, 5, 6, 7	—	N.C.	No Connection
3	8	3	V _{DD}	Optional V _{DD} . V _{DD} must be grounded for operation in parasite power mode.
4	1	2	DQ	Data Input/Output. Open-drain 1-Wire interface pin. Also provides power to the device when used in parasite power mode (see the <i>Powering the DS18B20</i> section.)
5	4	1	GND	Ground

Overview

Figure 3 shows a block diagram of the DS18B20, and pin descriptions are given in the *Pin Description* table. The 64-bit ROM stores the device's unique serial code. The scratchpad memory contains the 2-byte temperature register that stores the digital output from the temperature sensor. In addition, the scratchpad provides access to the 1-byte upper and lower alarm trigger registers (T_H and T_L) and the 1-byte configuration register. The configuration register allows the user to set the resolution of the temperature-to-digital conversion to 9, 10, 11, or 12 bits. The T_H , T_L , and configuration registers are nonvolatile (EEPROM), so they will retain data when the device is powered down.

The DS18B20 uses Maxim's exclusive 1-Wire bus protocol that implements bus communication using one control signal. The control line requires a weak pullup resistor since all devices are linked to the bus via a 3-state or open-drain port (the DQ pin in the case of the DS18B20). In this bus system, the microprocessor (the master device) identifies and addresses devices on the bus using each device's unique 64-bit code. Because each device has a unique code, the number of devices that can be addressed on one bus is virtually unlimited. The 1-Wire bus protocol, including detailed explanations of the commands and "time slots," is covered in the [1-Wire Bus System](#) section.

Another feature of the DS18B20 is the ability to operate without an external power supply. Power is instead supplied through the 1-Wire pullup resistor through the

DQ pin when the bus is high. The high bus signal also charges an internal capacitor (C_{PP}), which then supplies power to the device when the bus is low. This method of deriving power from the 1-Wire bus is referred to as "parasite power." As an alternative, the DS18B20 may also be powered by an external supply on V_{DD} .

Operation—Measuring Temperature

The core functionality of the DS18B20 is its direct-to-digital temperature sensor. The resolution of the temperature sensor is user-configurable to 9, 10, 11, or 12 bits, corresponding to increments of 0.5°C, 0.25°C, 0.125°C, and 0.0625°C, respectively. The default resolution at power-up is 12-bit. The DS18B20 powers up in a low-power idle state. To initiate a temperature measurement and A-to-D conversion, the master must issue a Convert T [44h] command. Following the conversion, the resulting thermal data is stored in the 2-byte temperature register in the scratchpad memory and the DS18B20 returns to its idle state. If the DS18B20 is powered by an external supply, the master can issue "read time slots" (see the [1-Wire Bus System](#) section) after the Convert T command and the DS18B20 will respond by transmitting 0 while the temperature conversion is in progress and 1 when the conversion is done. If the DS18B20 is powered with parasite power, this notification technique cannot be used since the bus must be pulled high by a strong pullup during the entire temperature conversion. The bus requirements for parasite power are explained in detail in the [Powering the DS18B20](#) section.

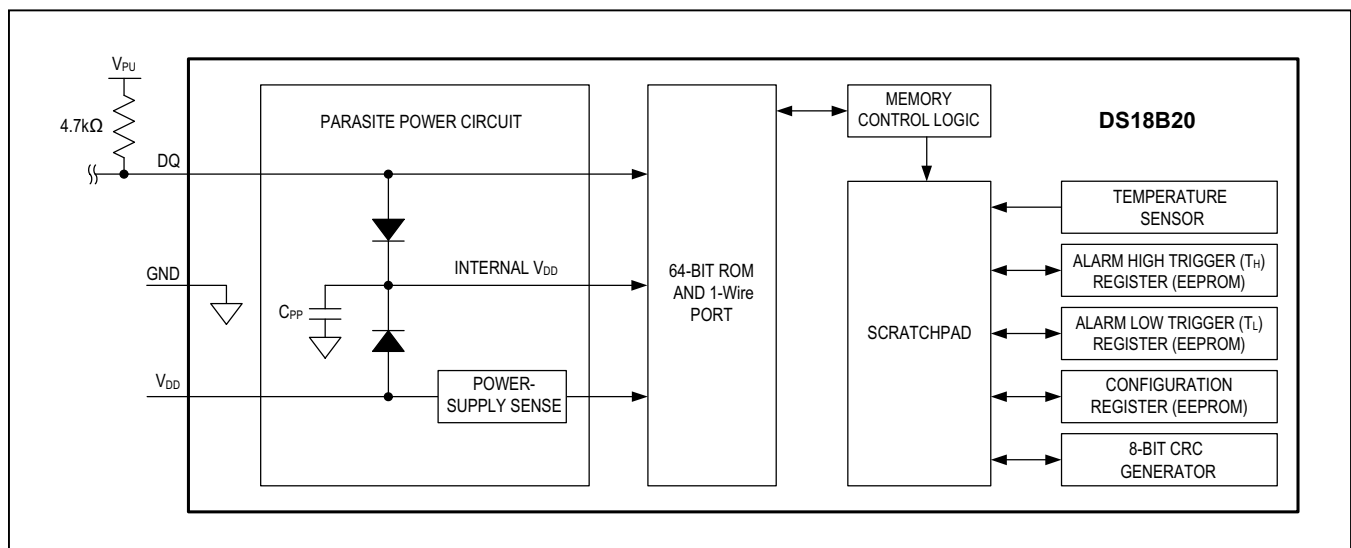


Figure 3. DS18B20 Block Diagram

The DS18B20 output temperature data is calibrated in degrees Celsius; for Fahrenheit applications, a lookup table or conversion routine must be used. The temperature data is stored as a 16-bit sign-extended two's complement number in the temperature register (see [Figure 4](#)). The sign bits (S) indicate if the temperature is positive or negative: for positive numbers S = 0 and for negative numbers S = 1. If the DS18B20 is configured for 12-bit resolution, all bits in the temperature register will contain valid data. For 11-bit resolution, bit 0 is undefined. For 10-bit resolution, bits 1 and 0 are undefined, and for 9-bit resolution bits 2, 1, and 0 are undefined. [Table 1](#) gives examples of digital output data and the corresponding temperature reading for 12-bit resolution conversions.

Operation—Alarm Signaling

After the DS18B20 performs a temperature conversion, the temperature value is compared to the user-defined two's complement alarm trigger values stored in the 1-byte T_H and T_L registers (see [Figure 5](#)). The sign bit (S) indicates if the value is positive or negative: for positive numbers S = 0 and for negative numbers S = 1. The T_H and T_L registers are nonvolatile (EEPROM) so they will retain data when the device is powered down. T_H and T_L can be accessed through bytes 2 and 3 of the scratchpad as explained in the [Memory](#) section.

Only bits 11 through 4 of the temperature register are used in the T_H and T_L comparison since T_H and T_L are 8-bit registers. If the measured temperature is lower than

	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
LS BYTE	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰	2 ⁻¹	2 ⁻²	2 ⁻³	2 ⁻⁴
	BIT 15	BIT 14	BIT 13	BIT 12	BIT 11	BIT 10	BIT 9	BIT 8
MS BYTE	S	S	S	S	S	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴

S = SIGN

Figure 4. Temperature Register Format

Table 1. Temperature/Data Relationship

TEMPERATURE (°C)	DIGITAL OUTPUT (BINARY)	DIGITAL OUTPUT (HEX)
+125	0000 0111 1101 0000	07D0h
+85*	0000 0101 0101 0000	0550h
+25.0625	0000 0001 1001 0001	0191h
+10.125	0000 0000 1010 0010	00A2h
+0.5	0000 0000 0000 1000	0008h
0	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5	1111 1111 1111 1000	FFF8h
-10.125	1111 1111 0101 1110	FF5Eh
-25.0625	1111 1110 0110 1111	FE6Fh
-55	1111 1100 1001 0000	FC90h

*The power-on reset value of the temperature register is +85°C.

BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
S	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰

Figure 5. T_H and T_L Register Format

or equal to T_L or higher than or equal to T_H , an alarm condition exists and an alarm flag is set inside the DS18B20. This flag is updated after every temperature measurement; therefore, if the alarm condition goes away, the flag will be turned off after the next temperature conversion.

The master device can check the alarm flag status of all DS18B20s on the bus by issuing an Alarm Search [ECh] command. Any DS18B20s with a set alarm flag will respond to the command, so the master can determine exactly which DS18B20s have experienced an alarm condition. If an alarm condition exists and the T_H or T_L settings have changed, another temperature conversion should be done to validate the alarm condition.

Powering the DS18B20

The DS18B20 can be powered by an external supply on the V_{DD} pin, or it can operate in “parasite power” mode, which allows the DS18B20 to function without a local external supply. Parasite power is very useful for applications that require remote temperature sensing or that are very space constrained. Figure 3 shows the DS18B20’s parasite-power control circuitry, which “steals” power from the 1-Wire bus via the DQ pin when the bus is high. The stolen charge powers the DS18B20 while the bus is high, and some of the charge is stored on the parasite power capacitor (C_{PP}) to provide power when the bus is low. When the DS18B20 is used in parasite power mode, the V_{DD} pin must be connected to ground.

In parasite power mode, the 1-Wire bus and CPP can provide sufficient current to the DS18B20 for most operations as long as the specified timing and voltage requirements are met (see the [DC Electrical Characteristics](#) and [AC Electrical Characteristics](#)). However, when the DS18B20 is performing temperature conversions or copying data from the scratchpad memory to EEPROM, the operating current can be as high as 1.5mA. This current can cause an unacceptable voltage drop across the weak 1-Wire pullup resistor and is more current than can be supplied

by C_{PP} . To assure that the DS18B20 has sufficient supply current, it is necessary to provide a strong pullup on the 1-Wire bus whenever temperature conversions are taking place or data is being copied from the scratchpad to EEPROM. This can be accomplished by using a MOSFET to pull the bus directly to the rail as shown in Figure 6. The 1-Wire bus must be switched to the strong pullup within 10 μ s (max) after a Convert T [44h] or Copy Scratchpad [48h] command is issued, and the bus must be held high by the pullup for the duration of the conversion (t_{CONV}) or data transfer ($t_{WR} = 10$ ms). No other activity can take place on the 1-Wire bus while the pullup is enabled.

The DS18B20 can also be powered by the conventional method of connecting an external power supply to the V_{DD} pin, as shown in Figure 7. The advantage of this method is that the MOSFET pullup is not required, and the 1-Wire bus is free to carry other traffic during the temperature conversion time.

The use of parasite power is not recommended for temperatures above +100°C since the DS18B20 may not be able to sustain communications due to the higher leakage currents that can exist at these temperatures. For applications in which such temperatures are likely, it is strongly recommended that the DS18B20 be powered by an external power supply.

In some situations the bus master may not know whether the DS18B20s on the bus are parasite powered or powered by external supplies. The master needs this information to determine if the strong bus pullup should be used during temperature conversions. To get this information, the master can issue a Skip ROM [CCh] command followed by a Read Power Supply [B4h] command followed by a “read time slot”. During the read time slot, parasite powered DS18B20s will pull the bus low, and externally powered DS18B20s will let the bus remain high. If the bus is pulled low, the master knows that it must supply the strong pullup on the 1-Wire bus during temperature conversions.

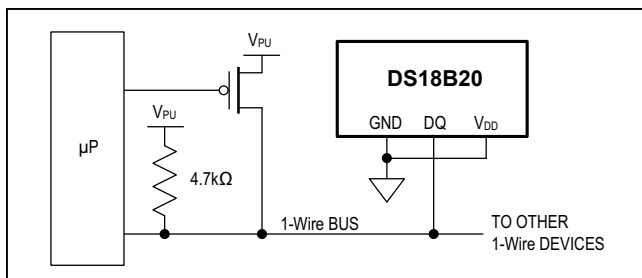


Figure 6. Supplying the Parasite-Powered DS18B20 During Temperature Conversions

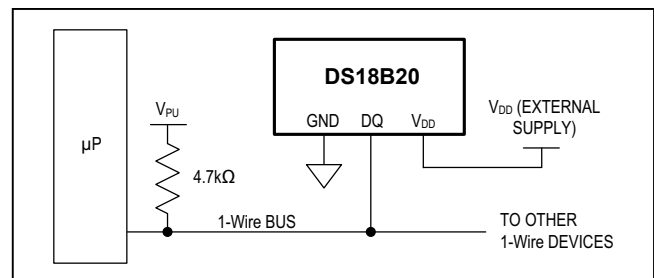


Figure 7. Powering the DS18B20 with an External Supply

64-BIT Lasered ROM code

Each DS18B20 contains a unique 64-bit code (see [Figure 8](#)) stored in ROM. The least significant 8 bits of the ROM code contain the DS18B20’s 1-Wire family code: 28h. The next 48 bits contain a unique serial number. The most significant 8 bits contain a cyclic redundancy check (CRC) byte that is calculated from the first 56 bits of the ROM code. A detailed explanation of the CRC bits is provided in the [CRC Generation](#) section. The 64-bit ROM code and associated ROM function control logic allow the DS18B20 to operate as a 1-Wire device using the protocol detailed in the [1-Wire Bus System](#) section.

Memory

The DS18B20’s memory is organized as shown in [Figure 9](#). The memory consists of an SRAM scratchpad with nonvolatile EEPROM storage for the high and low alarm trigger registers (T_H and T_L) and configuration register. Note that if the DS18B20 alarm function is not used, the TH and TL registers can serve as general-purpose memory. All memory commands are described in detail in the [DS18B20 Function Commands](#) section.

Byte 0 and byte 1 of the scratchpad contain the LSB and the MSB of the temperature register, respectively. These bytes are read-only. Bytes 2 and 3 provide access to TH and TL registers. Byte 4 contains the configuration regis-

ter data, which is explained in detail in the [Configuration Register](#) section. Bytes 5, 6, and 7 are reserved for internal use by the device and cannot be overwritten.

Byte 8 of the scratchpad is read-only and contains the CRC code for bytes 0 through 7 of the scratchpad. The DS18B20 generates this CRC using the method described in the [CRC Generation](#) section.

Data is written to bytes 2, 3, and 4 of the scratchpad using the Write Scratchpad [4Eh] command; the data must be transmitted to the DS18B20 starting with the least significant bit of byte 2. To verify data integrity, the scratchpad can be read (using the Read Scratchpad [BEh] command) after the data is written. When reading the scratchpad, data is transferred over the 1-Wire bus starting with the least significant bit of byte 0. To transfer the T_H, T_L and configuration data from the scratchpad to EEPROM, the master must issue the Copy Scratchpad [48h] command.

Data in the EEPROM registers is retained when the device is powered down; at power-up the EEPROM data is reloaded into the corresponding scratchpad locations. Data can also be reloaded from EEPROM to the scratchpad at any time using the Recall E² [B8h] command. The master can issue read time slots following the Recall E² command and the DS18B20 will indicate the status of the recall by transmitting 0 while the recall is in progress and 1 when the recall is done.

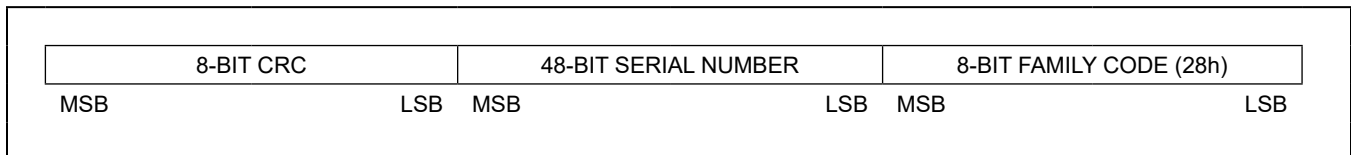


Figure 8. 64-Bit Lasered ROM Code

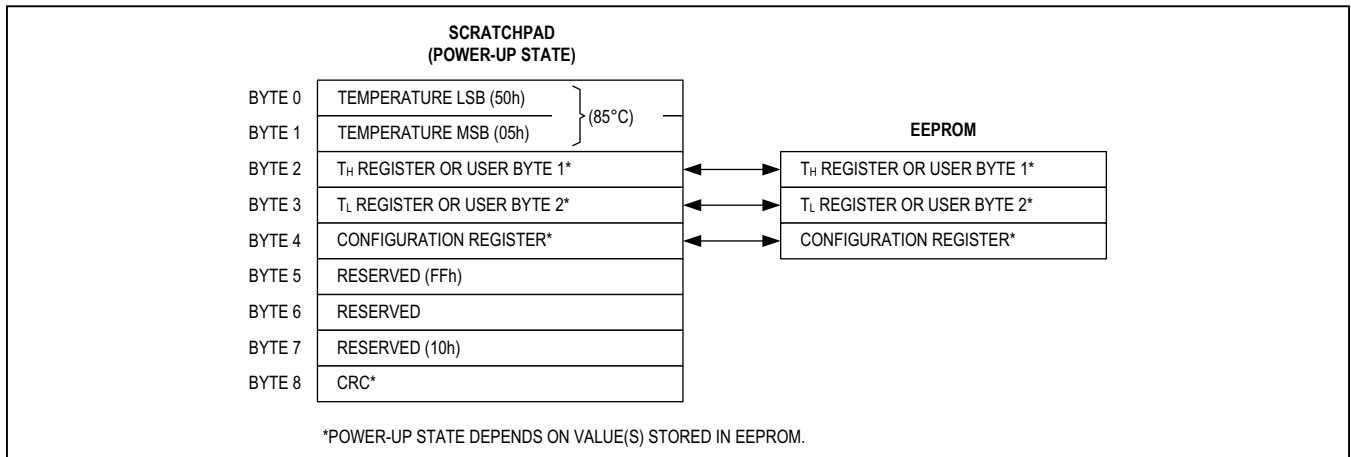


Figure 9. DS18B20 Memory Map

Configuration Register

Byte 4 of the scratchpad memory contains the configuration register, which is organized as illustrated in [Figure 10](#). The user can set the conversion resolution of the DS18B20 using the R0 and R1 bits in this register as shown in [Table 2](#). The power-up default of these bits is R0 = 1 and R1 = 1 (12-bit resolution). Note that there is a direct tradeoff between resolution and conversion time. Bit 7 and bits 0 to 4 in the configuration register are reserved for internal use by the device and cannot be overwritten.

CRC Generation

CRC bytes are provided as part of the DS18B20's 64-bit ROM code and in the 9th byte of the scratchpad memory. The ROM code CRC is calculated from the first 56 bits of the ROM code and is contained in the most significant byte of the ROM. The scratchpad CRC is calculated from the data stored in the scratchpad, and therefore it changes when the data in the scratchpad changes. The CRCs provide the bus master with a method of data validation when data is read from the DS18B20. To verify that data has been read correctly, the bus master must re-calculate the CRC from the received data and then compare this value to either the ROM code CRC (for ROM reads) or to the scratchpad CRC (for scratchpad reads). If the calculated CRC matches the read CRC, the data has been

received error free. The comparison of CRC values and the decision to continue with an operation are determined entirely by the bus master. There is no circuitry inside the DS18B20 that prevents a command sequence from proceeding if the DS18B20 CRC (ROM or scratchpad) does not match the value generated by the bus master.

The equivalent polynomial function of the CRC (ROM or scratchpad) is:

$$CRC = X^8 + X^5 + X^4 + 1$$

The bus master can re-calculate the CRC and compare it to the CRC values from the DS18B20 using the polynomial generator shown in [Figure 11](#). This circuit consists of a shift register and XOR gates, and the shift register bits are initialized to 0. Starting with the least significant bit of the ROM code or the least significant bit of byte 0 in the scratchpad, one bit at a time should be shifted into the shift register. After shifting in the 56th bit from the ROM or the most significant bit of byte 7 from the scratchpad, the polynomial generator will contain the recalculated CRC. Next, the 8-bit ROM code or scratchpad CRC from the DS18B20 must be shifted into the circuit. At this point, if the re-calculated CRC was correct, the shift register will contain all 0s. Additional information about the Maxim 1-Wire cyclic redundancy check is available in *Application Note 27: Understanding and Using Cyclic Redundancy Checks with Maxim iButton Products*.

BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
0	R1	R0	1	1	1	1	1

Figure 10. Configuration Register

Table 2. Thermometer Resolution Configuration

R1	R0	RESOLUTION (BITS)	MAX CONVERSION TIME	
			93.75ms	(t _{CONV} /8)
0	0	9	187.5ms	(t _{CONV} /4)
0	1	10	375ms	(t _{CONV} /2)
1	0	11	750ms	(t _{CONV})
1	1	12		

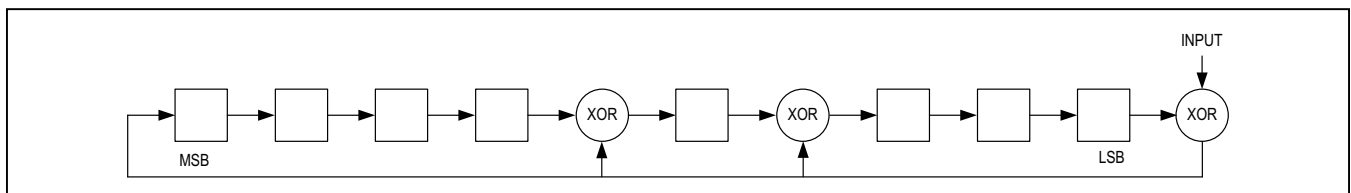


Figure 11. CRC Generator

1-Wire Bus System

The 1-Wire bus system uses a single bus master to control one or more slave devices. The DS18B20 is always a slave. When there is only one slave on the bus, the system is referred to as a “single-drop” system; the system is “multidrop” if there are multiple slaves on the bus.

All data and commands are transmitted least significant bit first over the 1-Wire bus.

The following discussion of the 1-Wire bus system is broken down into three topics: hardware configuration, transaction sequence, and 1-Wire signaling (signal types and timing).

Hardware Configuration

The 1-Wire bus has by definition only a single data line. Each device (master or slave) interfaces to the data line via an open-drain or 3-state port. This allows each device to “release” the data line when the device is not transmitting data so the bus is available for use by another device. The 1-Wire port of the DS18B20 (the DQ pin) is open drain with an internal circuit equivalent to that shown in [Figure 12](#).

The 1-Wire bus requires an external pullup resistor of approximately 5k Ω ; thus, the idle state for the 1-Wire bus is high. If for any reason a transaction needs to be suspended, the bus MUST be left in the idle state if the transaction is to resume. Infinite recovery time can occur between bits so long as the 1-Wire bus is in the inactive (high) state during the recovery period. If the bus is held low for more than 480 μ s, all components on the bus will be reset.

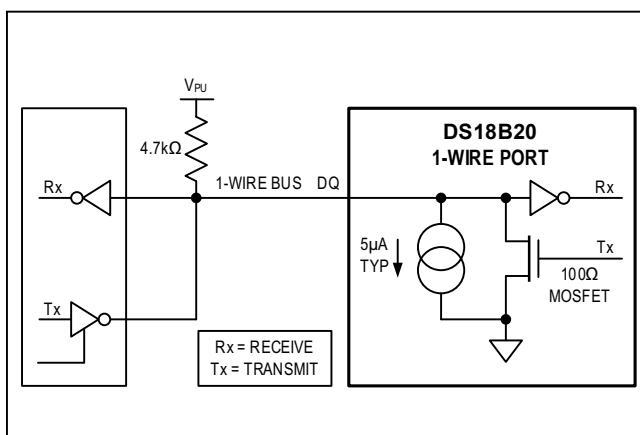


Figure 12. Hardware Configuration

Transaction Sequence

The transaction sequence for accessing the DS18B20 is as follows:

- Step 1. Initialization
- Step 2. ROM Command (followed by any required data exchange)
- Step 3. DS18B20 Function Command (followed by any required data exchange)

It is very important to follow this sequence every time the DS18B20 is accessed, as the DS18B20 will not respond if any steps in the sequence are missing or out of order. Exceptions to this rule are the Search ROM [F0h] and Alarm Search [ECh] commands. After issuing either of these ROM commands, the master must return to Step 1 in the sequence.

Initialization

All transactions on the 1-Wire bus begin with an initialization sequence. The initialization sequence consists of a reset pulse transmitted by the bus master followed by presence pulse(s) transmitted by the slave(s). The presence pulse lets the bus master know that slave devices (such as the DS18B20) are on the bus and are ready to operate. Timing for the reset and presence pulses is detailed in the [1-Wire Signaling](#) section.

ROM Commands

After the bus master has detected a presence pulse, it can issue a ROM command. These commands operate on the unique 64-bit ROM codes of each slave device and allow the master to single out a specific device if many are present on the 1-Wire bus. These commands also allow the master to determine how many and what types of devices are present on the bus or if any device has experienced an alarm condition. There are five ROM commands, and each command is 8 bits long. The master device must issue an appropriate ROM command before issuing a DS18B20 function command. A flowchart for operation of the ROM commands is shown in [Figure 13](#).

Search Rom [F0h]

When a system is initially powered up, the master must identify the ROM codes of all slave devices on the bus, which allows the master to determine the number of slaves and their device types. The master learns the ROM codes through a process of elimination that requires the master to perform a Search ROM cycle (i.e., Search ROM command followed by data exchange) as many times as necessary to identify all of the slave devices.

If there is only one slave on the bus, the simpler Read ROM [33h] command can be used in place of the Search ROM process. For a detailed explanation of the Search ROM procedure, refer to *Application Note 937: Book of iButton® Standards*. After every Search ROM cycle, the bus master must return to Step 1 (Initialization) in the transaction sequence.

Read Rom [33h]

This command can only be used when there is one slave on the bus. It allows the bus master to read the slave's 64-bit ROM code without using the Search ROM procedure. If this command is used when there is more than one slave present on the bus, a data collision will occur when all the slaves attempt to respond at the same time.

Match Rom [55H]

The match ROM command followed by a 64-bit ROM code sequence allows the bus master to address a specific slave device on a multidrop or single-drop bus. Only the slave that exactly matches the 64-bit ROM code sequence will respond to the function command issued by the master; all other slaves on the bus will wait for a reset pulse.

Skip Rom [CCh]

The master can use this command to address all devices on the bus simultaneously without sending out any ROM code information. For example, the master can make all DS18B20s on the bus perform simultaneous temperature conversions by issuing a Skip ROM command followed by a Convert T [44h] command.

Note that the Read Scratchpad [BEh] command can follow the Skip ROM command only if there is a single slave device on the bus. In this case, time is saved by allowing the master to read from the slave without sending the device's 64-bit ROM code. A Skip ROM command followed by a Read Scratchpad command will cause a data collision on the bus if there is more than one slave since multiple devices will attempt to transmit data simultaneously.

Alarm Search [ECh]

The operation of this command is identical to the operation of the Search ROM command except that only slaves with a set alarm flag will respond. This command allows the master device to determine if any DS18B20s experienced an alarm condition during the most recent temperature conversion. After every Alarm Search cycle (i.e., Alarm Search command followed by data exchange), the bus

iButton is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.

master must return to Step 1 (Initialization) in the transaction sequence. See the [Operation—Alarm Signaling](#) section for an explanation of alarm flag operation.

DS18B20 Function Commands

After the bus master has used a ROM command to address the DS18B20 with which it wishes to communicate, the master can issue one of the DS18B20 function commands. These commands allow the master to write to and read from the DS18B20's scratchpad memory, initiate temperature conversions and determine the power supply mode. The DS18B20 function commands, which are described below, are summarized in [Table 3](#) and illustrated by the flowchart in [Figure 14](#).

Convert T [44h]

This command initiates a single temperature conversion. Following the conversion, the resulting thermal data is stored in the 2-byte temperature register in the scratchpad memory and the DS18B20 returns to its low-power idle state. If the device is being used in parasite power mode, within 10 μ s (max) after this command is issued the master must enable a strong pullup on the 1-Wire bus for the duration of the conversion (t_{CONV}) as described in the [Powering the DS18B20](#) section. If the DS18B20 is powered by an external supply, the master can issue read time slots after the Convert T command and the DS18B20 will respond by transmitting a 0 while the temperature conversion is in progress and a 1 when the conversion is done. In parasite power mode this notification technique cannot be used since the bus is pulled high by the strong pullup during the conversion.

Write Scratchpad [4Eh]

This command allows the master to write 3 bytes of data to the DS18B20's scratchpad. The first data byte is written into the T_H register (byte 2 of the scratchpad), the second byte is written into the T_L register (byte 3), and the third byte is written into the configuration register (byte 4). Data must be transmitted least significant bit first. All three bytes MUST be written before the master issues a reset, or the data may be corrupted.

Read Scratchpad [BEh]

This command allows the master to read the contents of the scratchpad. The data transfer starts with the least significant bit of byte 0 and continues through the scratchpad until the 9th byte (byte 8 – CRC) is read. The master may issue a reset to terminate reading at any time if only part of the scratchpad data is needed.

Copy Scratchpad [48h]

This command copies the contents of the scratchpad T_H , T_L and configuration registers (bytes 2, 3 and 4) to EEPROM. If the device is being used in parasite power mode, within 10 μ s (max) after this command is issued the master must enable a strong pullup on the 1-Wire bus for at least 10ms as described in the [Powering the DS18B20](#) section.

Recall E² [B8h]

This command recalls the alarm trigger values (T_H and T_L) and configuration data from EEPROM and places the data in bytes 2, 3, and 4, respectively, in the scratchpad memory. The master device can issue read time slots

following the Recall E² command and the DS18B20 will indicate the status of the recall by transmitting 0 while the recall is in progress and 1 when the recall is done. The recall operation happens automatically at power-up, so valid data is available in the scratchpad as soon as power is applied to the device.

Read Power Supply [B4h]

The master device issues this command followed by a read time slot to determine if any DS18B20s on the bus are using parasite power. During the read time slot, parasite powered DS18B20s will pull the bus low, and externally powered DS18B20s will let the bus remain high. See the [Powering the DS18B20](#) section for usage information for this command.

Table 3. DS18B20 Function Command Set

COMMAND	DESCRIPTION	PROTOCOL	1-Wire BUS ACTIVITY AFTER COMMAND IS ISSUED	NOTES
TEMPERATURE CONVERSION COMMANDS				
Convert T	Initiates temperature conversion.	44h	DS18B20 transmits conversion status to master (not applicable for parasite-powered DS18B20s).	1
MEMORY COMMANDS				
Read Scratchpad	Reads the entire scratchpad including the CRC byte.	BEh	DS18B20 transmits up to 9 data bytes to master.	2
Write Scratchpad	Writes data into scratchpad bytes 2, 3, and 4 (T_H , T_L , and configuration registers).	4Eh	Master transmits 3 data bytes to DS18B20.	3
Copy Scratchpad	Copies T_H , T_L , and configuration register data from the scratchpad to EEPROM.	48h	None	1
Recall E ²	Recalls T_H , T_L , and configuration register data from EEPROM to the scratchpad.	B8h	DS18B20 transmits recall status to master.	
Read Power Supply	Signals DS18B20 power supply mode to the master.	B4h	DS18B20 transmits supply status to master.	

Note 1: For parasite-powered DS18B20s, the master must enable a strong pullup on the 1-Wire bus during temperature conversions and copies from the scratchpad to EEPROM. No other bus activity may take place during this time.

Note 2: The master can interrupt the transmission of data at any time by issuing a reset.

Note 3: All three bytes must be written before a reset is issued.

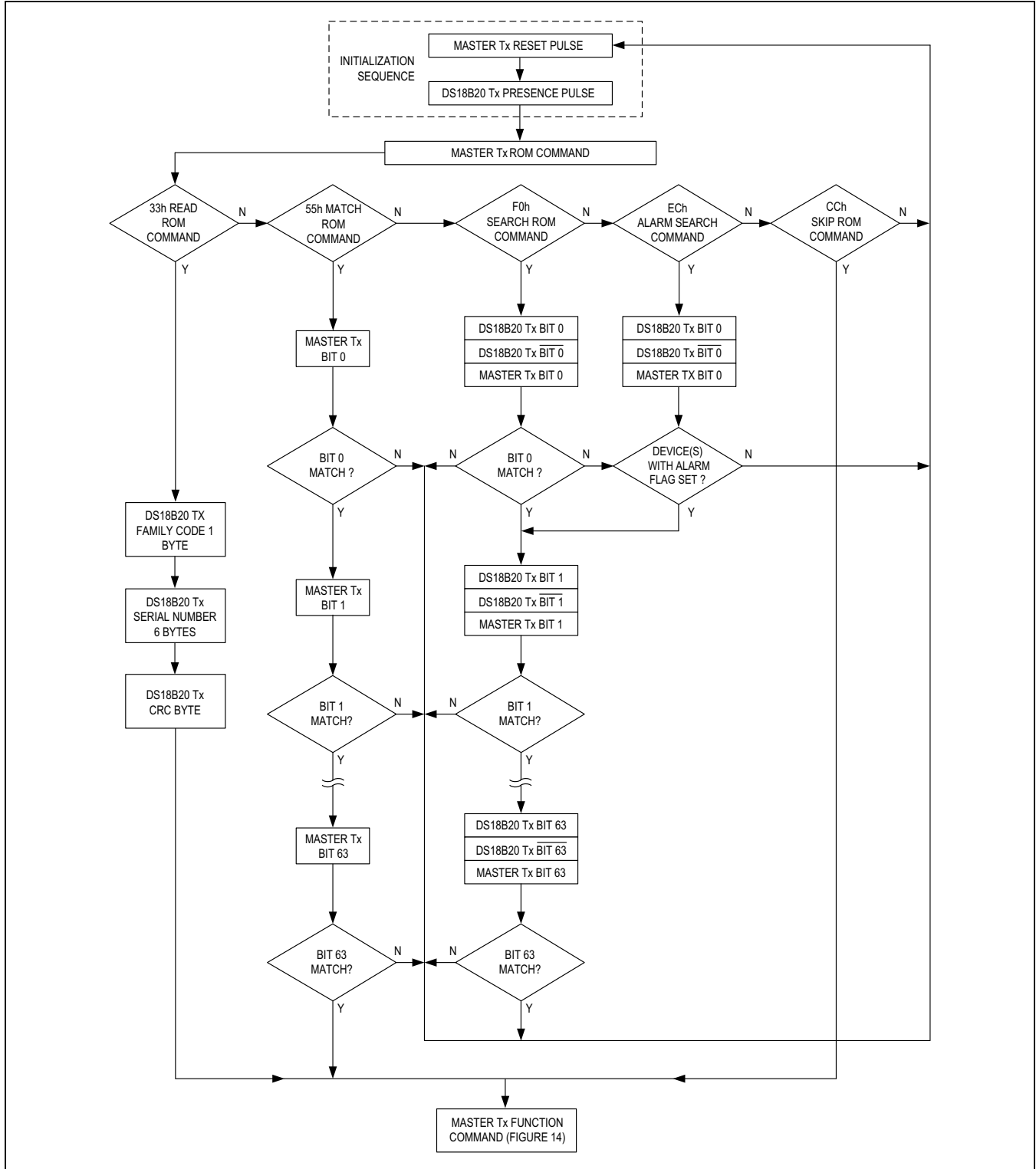


Figure 13. ROM Commands Flowchart

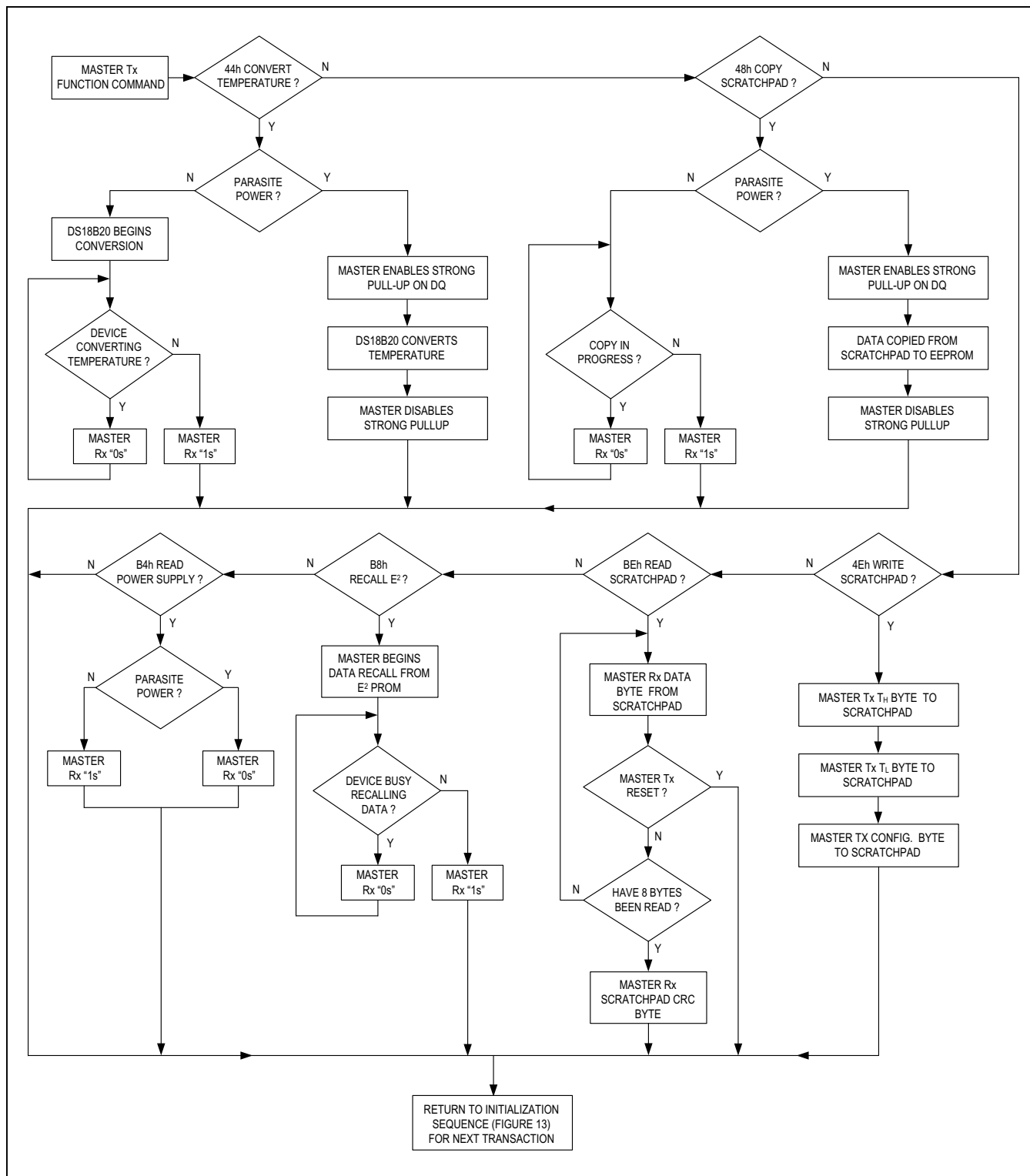


Figure 14. DS18B20 Function Commands Flowchart

1-Wire Signaling

The DS18B20 uses a strict 1-Wire communication protocol to ensure data integrity. Several signal types are defined by this protocol: reset pulse, presence pulse, write 0, write 1, read 0, and read 1. The bus master initiates all these signals, with the exception of the presence pulse.

Initialization Procedure—Reset And Presence Pulses

All communication with the DS18B20 begins with an initialization sequence that consists of a reset pulse from the master followed by a presence pulse from the DS18B20. This is illustrated in Figure 15. When the DS18B20 sends the presence pulse in response to the reset, it is indicating to the master that it is on the bus and ready to operate.

During the initialization sequence the bus master transmits (Tx) the reset pulse by pulling the 1-Wire bus low for a minimum of 480µs. The bus master then releases the bus and goes into receive mode (Rx). When the bus is released, the 5kΩ pullup resistor pulls the 1-Wire bus high. When the DS18B20 detects this rising edge, it waits 15µs to 60µs and then transmits a presence pulse by pulling the 1-Wire bus low for 60µs to 240µs.

Read/Write Time Slots

The bus master writes data to the DS18B20 during write time slots and reads data from the DS18B20 during read time slots. One bit of data is transmitted over the 1-Wire bus per time slot.

Write Time Slots

There are two types of write time slots: “Write 1” time slots and “Write 0” time slots. The bus master uses a Write 1 time slot to write a logic 1 to the DS18B20 and a Write 0 time slot to write a logic 0 to the DS18B20. All write time slots must be a minimum of 60µs in duration with a minimum of a 1µs recovery time between individual write slots. Both types of write time slots are initiated by the master pulling the 1-Wire bus low (see Figure 14).

To generate a Write 1 time slot, after pulling the 1-Wire bus low, the bus master must release the 1-Wire bus within 15µs. When the bus is released, the 5kΩ pullup resistor will pull the bus high. To generate a Write 0 time slot, after pulling the 1-Wire bus low, the bus master must continue to hold the bus low for the duration of the time slot (at least 60µs).

The DS18B20 samples the 1-Wire bus during a window that lasts from 15µs to 60µs after the master initiates the write time slot. If the bus is high during the sampling window, a 1 is written to the DS18B20. If the line is low, a 0 is written to the DS18B20.

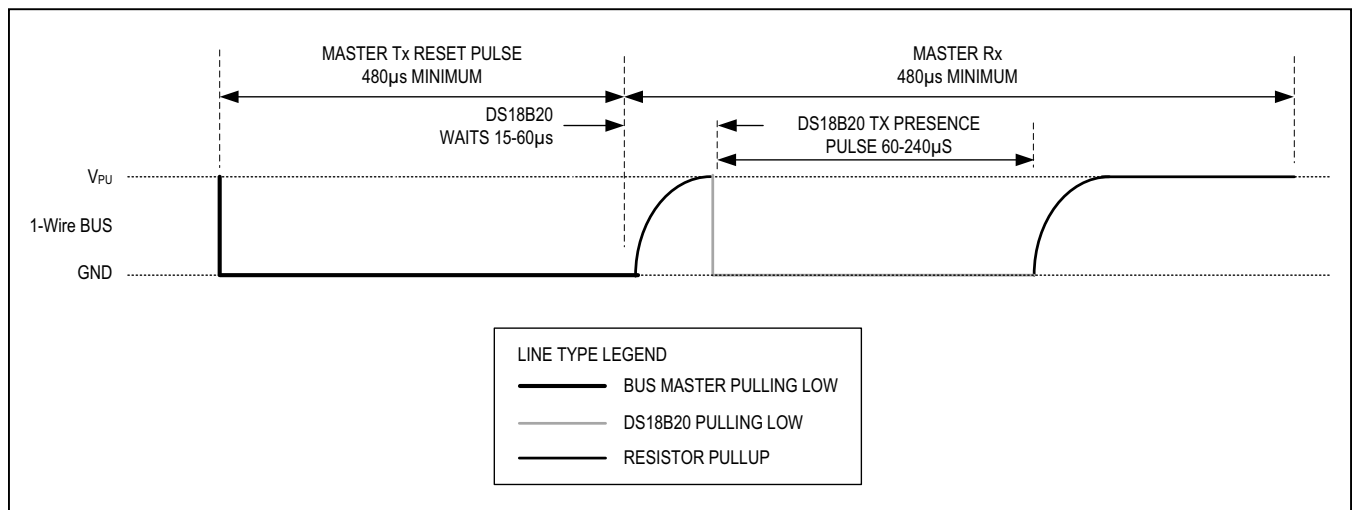


Figure 15. Initialization Timing

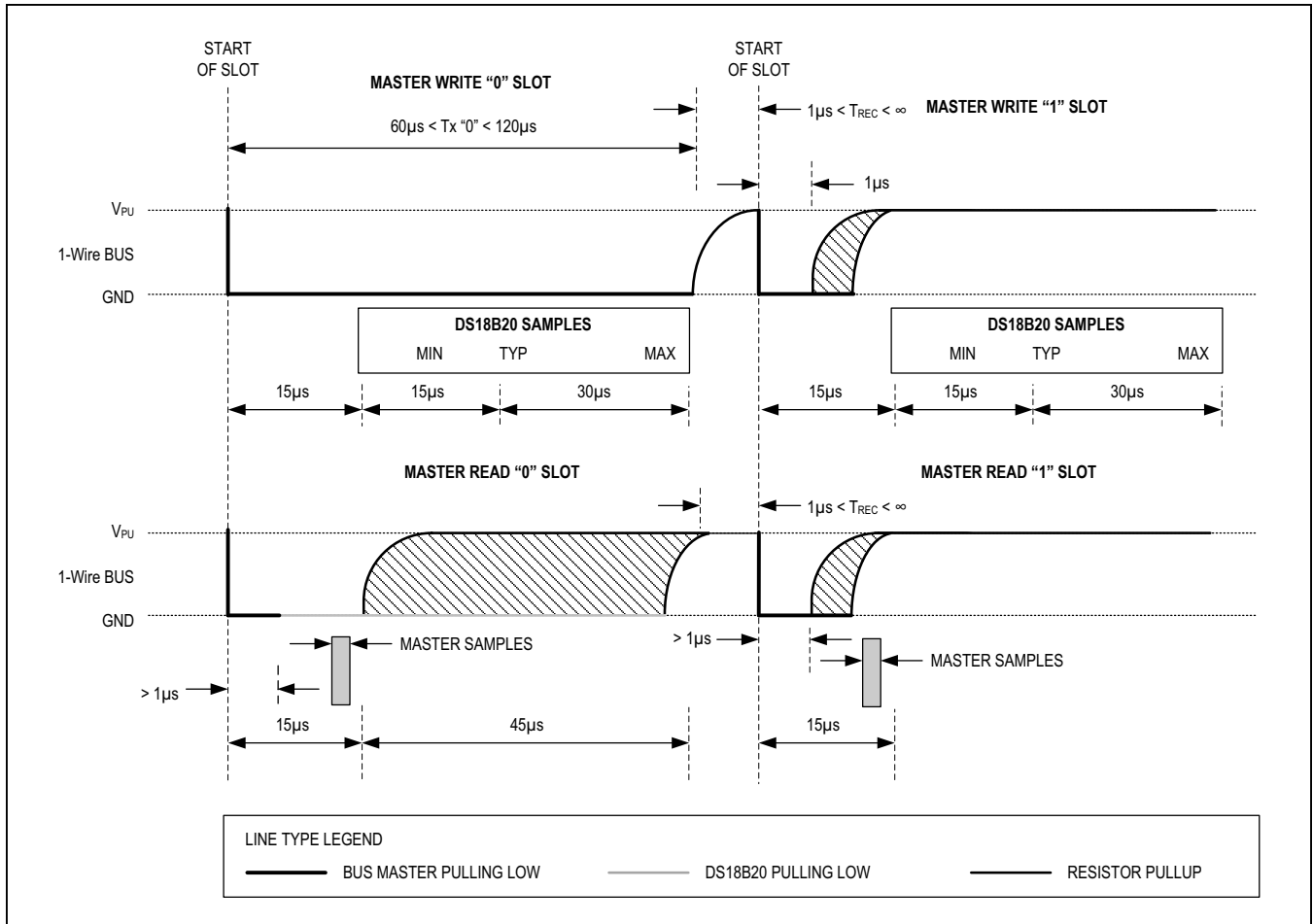


Figure 16. Read/Write Time Slot Timing Diagram

Read Time Slots

The DS18B20 can only transmit data to the master when the master issues read time slots. Therefore, the master must generate read time slots immediately after issuing a Read Scratchpad [BEh] or Read Power Supply [B4h] command, so that the DS18B20 can provide the requested data. In addition, the master can generate read time slots after issuing Convert T [44h] or Recall E² [B8h] commands to find out the status of the operation as explained in the [DS18B20 Function Commands](#) section.

All read time slots must be a minimum of 60µs in duration with a minimum of a 1µs recovery time between slots. A read time slot is initiated by the master device pulling the 1-Wire bus low for a minimum of 1µs and then releasing the bus (see [Figure 16](#)). After the master initiates the

read time slot, the DS18B20 will begin transmitting a 1 or 0 on bus. The DS18B20 transmits a 1 by leaving the bus high and transmits a 0 by pulling the bus low. When transmitting a 0, the DS18B20 will release the bus by the end of the time slot, and the bus will be pulled back to its high idle state by the pullup resistor. Output data from the DS18B20 is valid for 15µs after the falling edge that initiated the read time slot. Therefore, the master must release the bus and then sample the bus state within 15µs from the start of the slot.

[Figure 17](#) illustrates that the sum of T_{INIT}, T_{RC}, and T_{SAMPLE} must be less than 15µs for a read time slot. [Figure 18](#) shows that system timing margin is maximized by keeping T_{INIT} and T_{RC} as short as possible and by locating the master sample time during read time slots towards the end of the 15µs period.

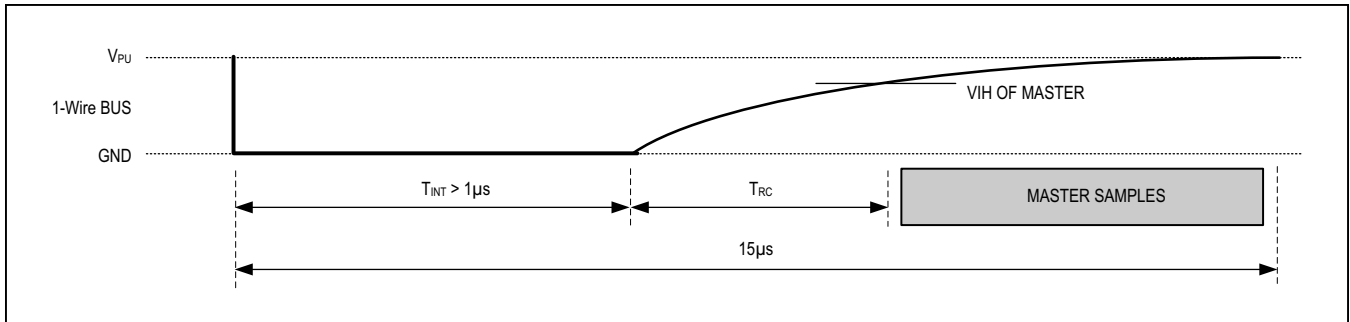


Figure 17. Detailed Master Read 1 Timing

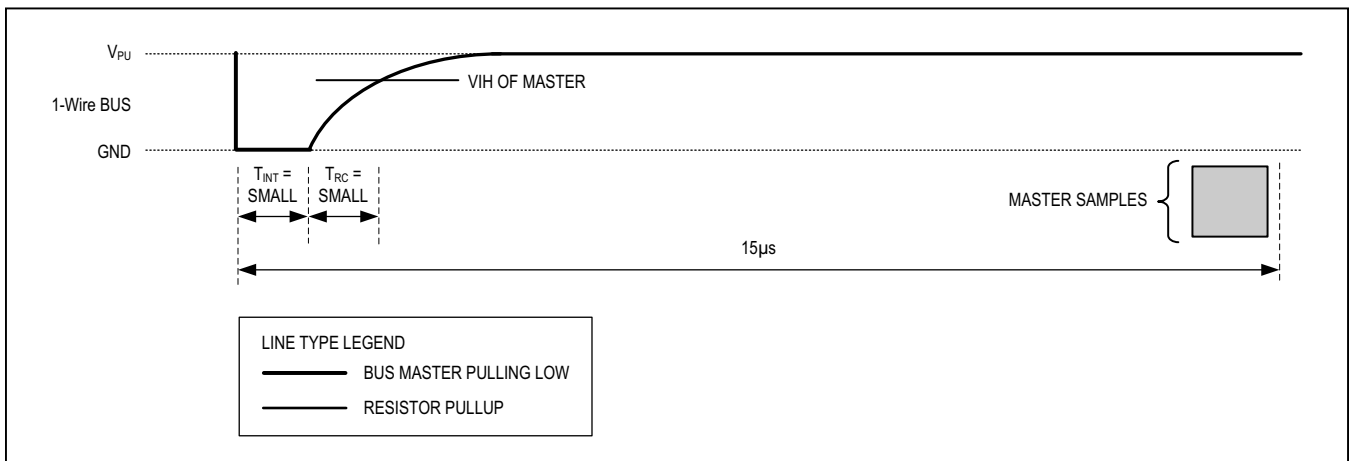


Figure 18. Recommended Master Read 1 Timing

Related Application Notes

The following application notes can be applied to the DS18B20 and are available at www.maximintegrated.com.

Application Note 27: Understanding and Using Cyclic Redundancy Checks with Maxim iButton Products

Application Note 122: Using Dallas' 1-Wire ICs in 1-Cell Li-Ion Battery Packs with Low-Side N-Channel Safety FETs Master

Application Note 126: 1-Wire Communication Through Software

Application Note 162: Interfacing the DS18x20/DS1822 1-Wire Temperature Sensor in a Microcontroller Environment

Application Note 208: Curve Fitting the Error of a Bandgap-Based Digital Temperature Sensor

Application Note 2420: 1-Wire Communication with a Microchip PICmicro Microcontroller

Application Note 3754: Single-Wire Serial Bus Carries Isolated Power and Data

Sample 1-Wire subroutines that can be used in conjunction with *Application Note 74: Reading and Writing iButtons via Serial Interfaces* can be downloaded from the Maxim website.

DS18B20 Operation Example 1

In this example there are multiple DS18B20s on the bus and they are using parasite power. The bus master initiates a temperature conversion in a specific DS18B20 and then reads its scratchpad and recalculates the CRC to verify the data.

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18B20s respond with presence pulse.
Tx	55h	Master issues Match ROM command.
Tx	64-bit ROM code	Master sends DS18B20 ROM code.
Tx	44h	Master issues Convert T command.
Tx	DQ line held high by strong pullup	Master applies strong pullup to DQ for the duration of the conversion (t_{CONV}).
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18B20s respond with presence pulse.
Tx	55h	Master issues Match ROM command.
Tx	64-bit ROM code	Master sends DS18B20 ROM code.
Tx	BEh	Master issues Read Scratchpad command.
Rx	9 data bytes	Master reads entire scratchpad including CRC. The master then recalculates the CRC of the first eight data bytes from the scratchpad and compares the calculated CRC with the read CRC (byte 9). If they match, the master continues; if not, the read operation is repeated.

DS18B20 Operation Example 2

In this example there is only one DS18B20 on the bus and it is using parasite power. The master writes to the TH, TL, and configuration registers in the DS18B20 scratchpad and then reads the scratchpad and recalculates the CRC to verify the data. The master then copies the scratchpad contents to EEPROM.

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18B20 responds with presence pulse.
Tx	CCh	Master issues Skip ROM command.
Tx	4Eh	Master issues Write Scratchpad command.
Tx	3 data bytes	Master sends three data bytes to scratchpad (T_H , T_L , and config).
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18B20 responds with presence pulse.
Tx	CCh	Master issues Skip ROM command.
Tx	BEh	Master issues Read Scratchpad command.
Rx	9 data bytes	Master reads entire scratchpad including CRC. The master then recalculates the CRC of the first eight data bytes from the scratchpad and compares the calculated CRC with the read CRC (byte 9). If they match, the master continues; if not, the read operation is repeated.
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18B20 responds with presence pulse.
Tx	CCh	Master issues Skip ROM command.
Tx	48h	Master issues Copy Scratchpad command.
Tx	DQ line held high by strong pullup	Master applies strong pullup to DQ for at least 10ms while copy operation is in progress.

Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE	TOP MARK
DS18B20	-55°C to +125°C	3 TO-92	18B20
DS18B20+	-55°C to +125°C	3 TO-92	18B20
DS18B20/T&R	-55°C to +125°C	3 TO-92 (2000 Piece)	18B20
DS18B20+T&R	-55°C to +125°C	3 TO-92 (2000 Piece)	18B20
DS18B20-SL/T&R	-55°C to +125°C	3 TO-92 (2000 Piece)*	18B20
DS18B20-SL+T&R	-55°C to +125°C	3 TO-92 (2000 Piece)*	18B20
DS18B20U	-55°C to +125°C	8 FSOP	18B20
DS18B20U+	-55°C to +125°C	8 FSOP	18B20
DS18B20U/T&R	-55°C to +125°C	8 FSOP (3000 Piece)	18B20
DS18B20U+T&R	-55°C to +125°C	8 FSOP (3000 Piece)	18B20
DS18B20Z	-55°C to +125°C	8 SO	DS18B20
DS18B20Z+	-55°C to +125°C	8 SO	DS18B20
DS18B20Z/T&R	-55°C to +125°C	8 SO (2500 Piece)	DS18B20
DS18B20Z+T&R	-55°C to +125°C	8 SO (2500 Piece)	DS18B20

+Denotes a lead-free package. A "+" will appear on the top mark of lead-free packages.

T&R = Tape and reel.

*TO-92 packages in tape and reel can be ordered with straight or formed leads. Choose "SL" for straight leads. Bulk TO-92 orders are straight leads only.

Revision History

REVISION DATE	DESCRIPTION	PAGES CHANGED
3/1/07	In the Absolute Maximum Ratings section, removed the reflow oven temperature value of +220°C. Reference to JEDEC specification for reflow remains.	19
10/12/07	In the <i>Operation—Alarm Signaling</i> section, added “or equal to” in the description for a TH alarm condition	5
	In the <i>Memory</i> section, removed incorrect text describing memory.	7
	In the <i>Configuration Register</i> section, removed incorrect text describing configuration register.	8
4/22/08	In the <i>Ordering Information</i> table, added TO-92 straight-lead packages and included a note that the TO-92 package in tape and reel can be ordered with either formed or straight leads.	2
1/15	Updated <i>Benefits and Features</i> section	1
09/18	Updated <i>DC Electrical Characteristics</i> table	2
7/19	Updated Figure 12	10

For pricing, delivery, and ordering information, please visit Maxim Integrated's online storefront at <https://www.maximintegrated.com/en/storefront/storefront.html>.

Maxim Integrated cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Maxim Integrated product. No circuit patent licenses are implied. Maxim Integrated reserves the right to change the circuitry and specifications without notice at any time. The parametric values (min and max limits) shown in the Electrical Characteristics table are guaranteed. Other parametric values quoted in this data sheet are provided for guidance.

A.5. DATASHEET XL4015

XLSEMI

Datasheet

5A 180KHz 36V Buck DC to DC Converter

XL4015

Features

- Wide 8V to 36V Input Voltage Range
- Output Adjustable from 1.25V to 32V
- Maximum Duty Cycle 100%
- Minimum Drop Out 0.3V
- Fixed 180KHz Switching Frequency
- 5A Constant Output Current Capability
- Internal Optimize Power MOSFET
- High efficiency up to 96%
- Excellent line and load regulation
- Built in thermal shutdown function
- Built in current limit function
- Built in output short protection function
- Available in TO263-5L package

Applications

- LCD Monitor and LCD TV
- Portable instrument power supply
- Telecom / Networking Equipment

General Description

The XL4015 is a 180 KHz fixed frequency PWM buck (step-down) DC/DC converter, capable of driving a 5A load with high efficiency, low ripple and excellent line and load regulation. Requiring a minimum number of external components, the regulator is simple to use and include internal frequency compensation and a fixed-frequency oscillator.

The PWM control circuit is able to adjust the duty ratio linearly from 0 to 100%. An over current protection function is built inside. When short protection function happens, the operation frequency will be reduced from 180KHz to 48KHz. An internal compensation block is built in to minimize external component count.



TO263-5L

Figure1. Package Type of XL4015

Pin Configurations

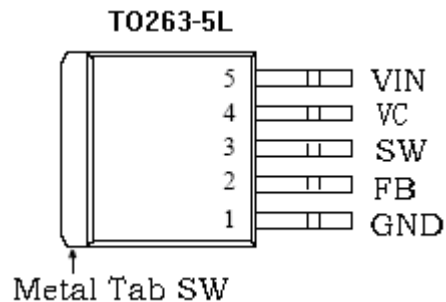


Figure2. Pin Configuration of XL4015 (Top View)

Table 1 Pin Description

Pin Number	Pin Name	Description
1	GND	Ground Pin. Care must be taken in layout. This pin should be placed outside of the Schottky Diode to output capacitor ground path to prevent switching current spikes from inducing voltage noise into XL4015.
2	FB	Feedback Pin (FB). Through an external resistor divider network, FB senses the output voltage and regulates it. The feedback threshold voltage is 1.25V.
3	SW	Power Switch Output Pin (SW). SW is the switch node that supplies power to the output.
4	VC	Internal Voltage Regulator Bypass Capacity. In typical system application, The VC pin connect a 1uf capacity to VIN.
5	VIN	Supply Voltage Input Pin. XL4015 operates from a 8V to 36V DC voltage. Bypass Vin to GND with a suitably large capacitor to eliminate noise on the input.

Function Block

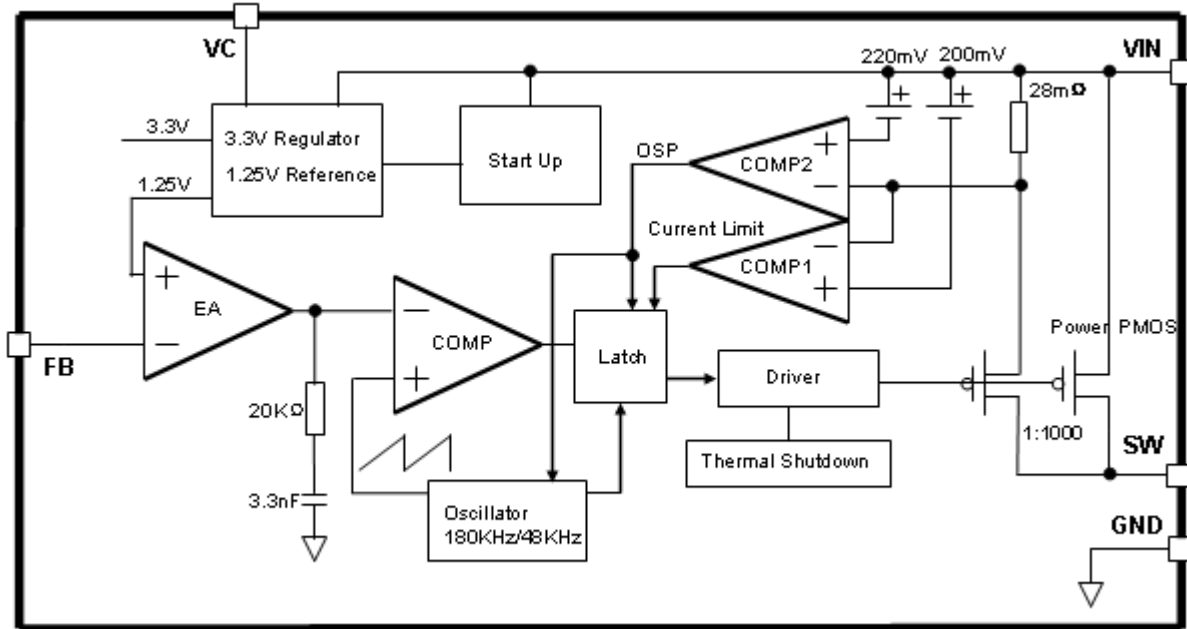


Figure3. Function Block Diagram of XL4015

Typical Application Circuit

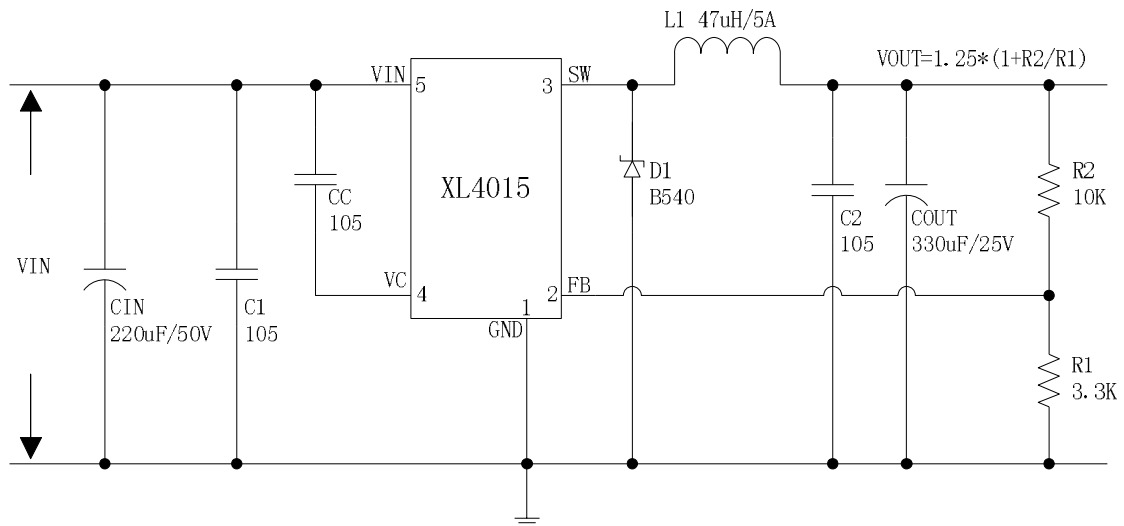


Figure4. XL4015 Typical Application Circuit (VIN=8V~36V, VOUT=5V/5A)

5A 180KHz 36V Buck DC to DC Converter

XL4015

Ordering Information

Order Information	Marking ID	Package Type	Packing Type Supplied As
XL4015E1	XL4015E1	TO263-5L	800 Units on Tape & Reel

XLSEMI Pb-free products, as designated with “E1” suffix in the par number, are RoHS compliant.

Absolute Maximum Ratings (Note1)

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage	V_{in}	-0.3 to 40	V
Feedback Pin Voltage	V_{FB}	-0.3 to V_{in}	V
Output Switch Pin Voltage	V_{Output}	-0.3 to V_{in}	V
Power Dissipation	P_D	Internally limited	mW
Thermal Resistance (TO263-5L) (Junction to Ambient, No Heatsink, Free Air)	R_{JA}	30	°C/W
Operating Junction Temperature	T_J	-40 to 125	°C
Storage Temperature	T_{STG}	-65 to 150	°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)	T_{LEAD}	260	°C
ESD (HBM)		>2000	V

Note1: Stresses greater than those listed under Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect reliability.

5A 180KHz 36V Buck DC to DC Converter

XL4015

XL4015 Electrical Characteristics

$T_a = 25^\circ\text{C}$; unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
<i>System parameters test circuit figure4</i>						
VFB	Feedback Voltage	$V_{in} = 8\text{V to } 40\text{V}, V_{out}=5\text{V}$ $I_{load}=0.5\text{A to } 5\text{A}$	1.225	1.25	1.275	V
Efficiency	η	$V_{in}=12\text{V}, V_{out}=5\text{V}$ $I_{out}=5\text{A}$	-	87	-	%
Efficiency	η	$V_{in}=24\text{V}, V_{out}=12\text{V}$ $I_{out}=4\text{A}$	-	93	-	%

Electrical Characteristics (DC Parameters)

$V_{in} = 12\text{V}$, $GND=0\text{V}$, V_{in} & GND parallel connect a 220uf/50V capacitor; $I_{out}=500\text{mA}$, $T_a = 25^\circ\text{C}$; the others floating unless otherwise specified.

Parameters	Symbol	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input operation voltage	V_{in}		8		36	V
Quiescent Supply Current	I_q	$V_{FB} = V_{in}$		2.1	5	mA
Oscillator Frequency	F_{osc}		144	180	216	KHz
Output Short Frequency	F_{osp}			48		KHz
Switch Current Limit	I_L	$V_{FB} = 0$		7		A
Max. Duty Cycle	D_{MAX}	$V_{FB}=0\text{V}$		100		%
Output Power PMOS	R_{dson}	$V_{FB}=0\text{V}, V_{in}=12\text{V},$ $I_{SW}=5\text{A}$		60	80	mohm

Typical System Application (VOUT=5V/5A)

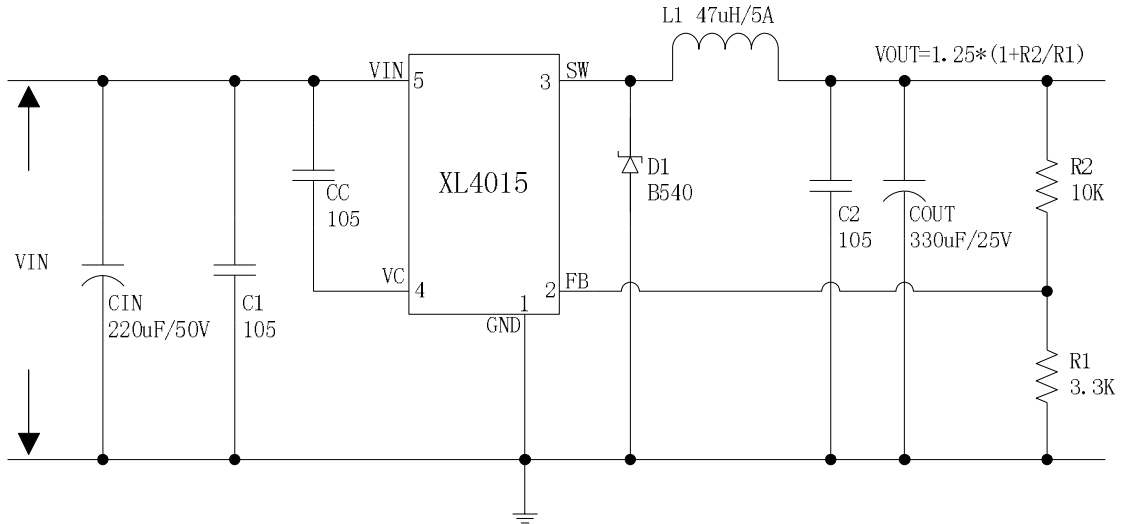


Figure5. XL4015 System Parameters Test Circuit (VIN=8V~36V, VOUT=5V/5A)

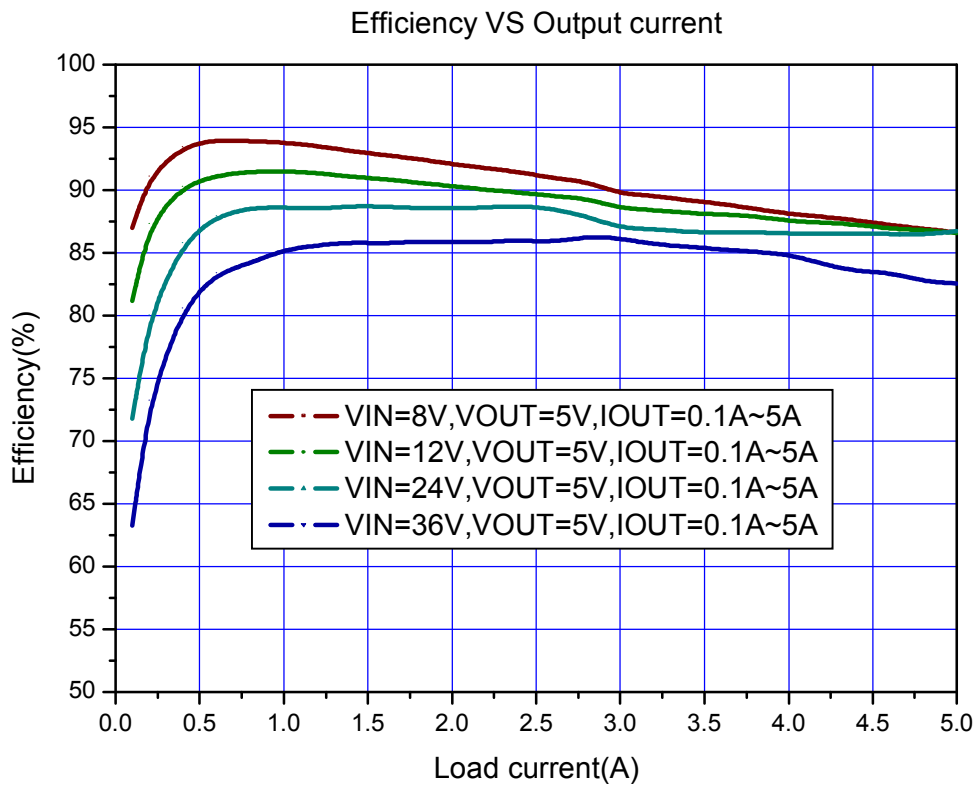


Figure6. XL4015 System Efficiency Curve

5A 180KHz 36V Buck DC to DC Converter **XL4015**

Typical System Application (VOUT=12V/4A)

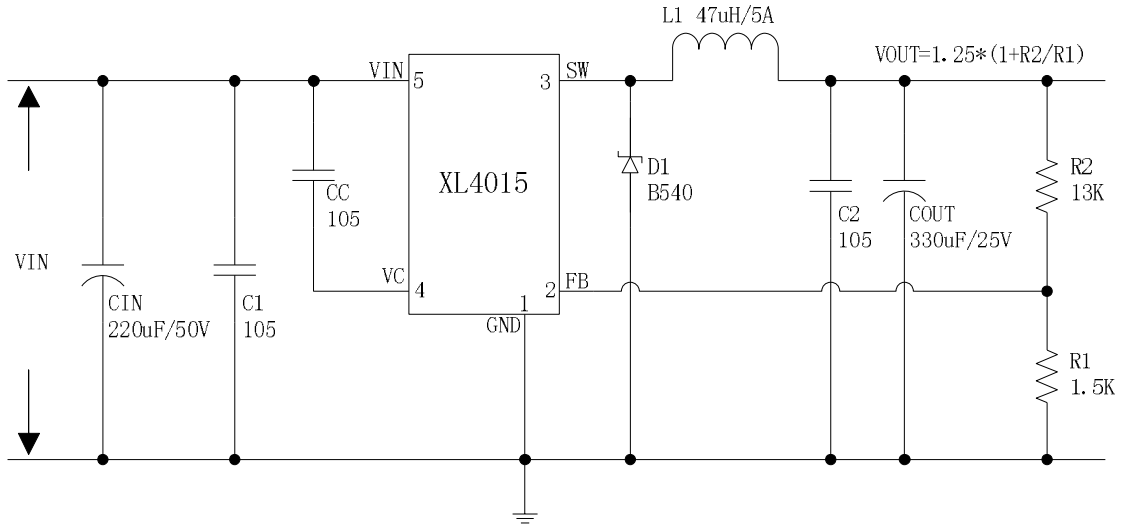


Figure7. XL4015 System Parameters Test Circuit (VIN=15V~36V, VOUT=12V/4A)

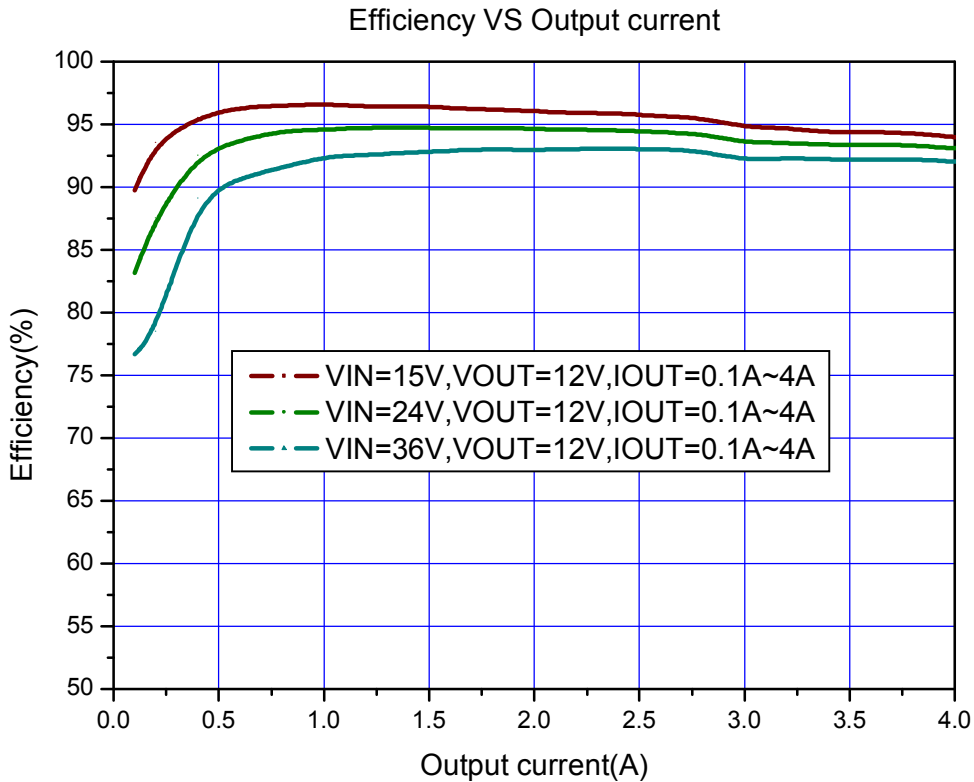


Figure8. XL4015 System Efficiency Curve

Typical System Application (TTL shutdown function)

Logic level signals shutdown function can be used in typical system application with external components. When the TTL high voltage above 3.3V(referenced to ground, lower than VIN), the converter will shutdown, input current less than 5mA; when the TTL Low voltage below 0.8V(referenced to ground), the converter will turn on.

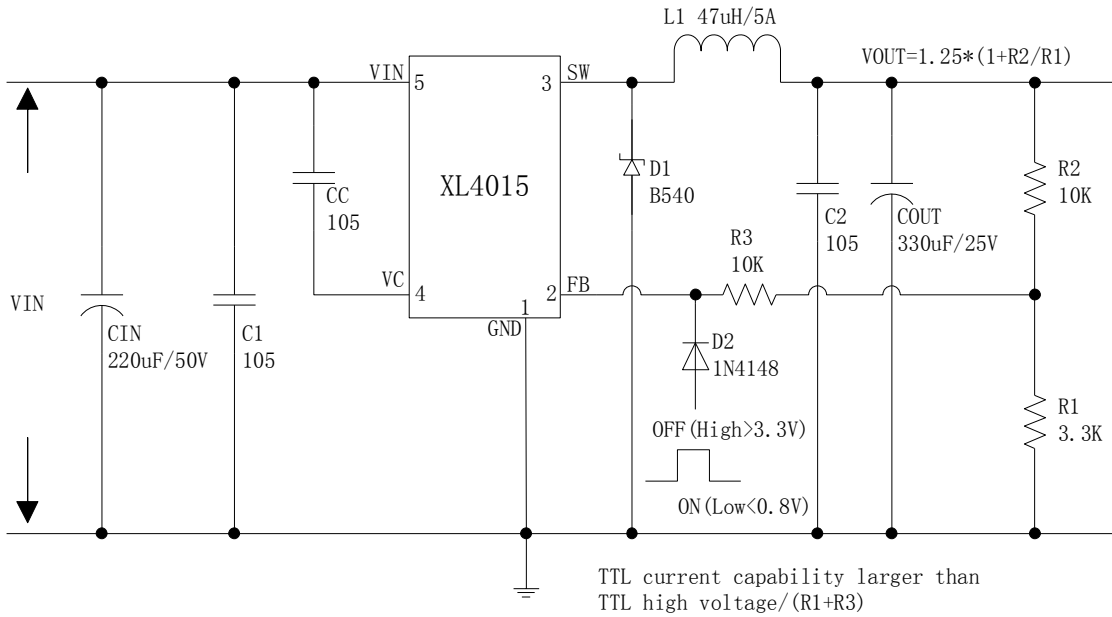


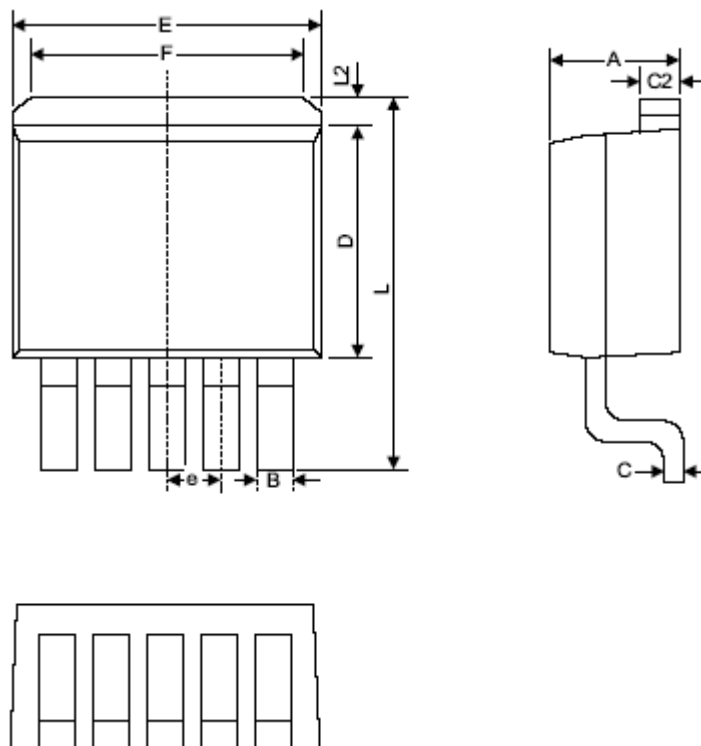
Figure9. XL4015 Typical Application Circuit

Schottky Diode Selection Table

Current	Surface Mount	Through Hole	VR (The same as system maximum input voltage)				
			20V	30V	40V	50V	60V
1A		✓	1N5817	1N5818	1N5819		
3A		✓	1N5820	1N5821	1N5822		
		✓	MBR320	MBR330	MBR340	MBR350	MBR360
	✓		SK32	SK33	SK34	SK35	SK36
	✓			30WQ03	30WQ04	30WQ05	
		✓		31DQ03	31DQ04	31DQ05	
		✓	SR302	SR303	SR304	SR305	SR306
5A		✓	1N5823	1N5824	1N5825		
		✓	SR502	SR503	SR504	SR505	SR506
		✓	SB520	SB530	SB540	SB550	SB560
	✓		SK52	SK53	SK54	SK55	SK56
	✓			50WQ03	50WQ04	50WQ05	

Package Information

TO263-5L



Symbol	Dimensions In Millimeters		Dimensions In Inches	
	Min.	Max.	Min.	Max.
A	4.06	4.83	0.160	0.190
B	0.76	1.02	0.030	0.040
C	0.36	0.64	0.014	0.025
C2	1.14	1.40	0.045	0.055
D	8.64	9.65	0.340	0.380
E	9.78	10.54	0.385	0.415
e	1.57	1.85	0.062	0.073
F	6.60	7.11	0.260	0.280
L	15.11	15.37	0.595	0.605
L2	-	1.40	-	0.055

A.6. DATASHEET LM358

DATA SHEET

www.onsemi.com

Single Supply Dual Operational Amplifiers

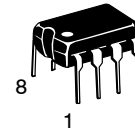
LM258, LM358, LM358A, LM358E, LM2904, LM2904A, LM2904E, LM2904V, NCV2904

Utilizing the circuit designs perfected for Quad Operational Amplifiers, these dual operational amplifiers feature low power drain, a common mode input voltage range extending to ground/ V_{EE} , and single supply or split supply operation. The LM358 series is equivalent to one-half of an LM324.

These amplifiers have several distinct advantages over standard operational amplifier types in single supply applications. They can operate at supply voltages as low as 3.0 V or as high as 32 V, with quiescent currents about one-fifth of those associated with the MC1741 (on a per amplifier basis). The common mode input range includes the negative supply, thereby eliminating the necessity for external biasing components in many applications. The output voltage range also includes the negative power supply voltage.

Features

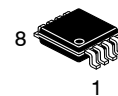
- Short Circuit Protected Outputs
- True Differential Input Stage
- Single Supply Operation: 3.0 V to 32 V
- Low Input Bias Currents
- Internally Compensated
- Common Mode Range Extends to Negative Supply
- Single and Split Supply Operation
- ESD Clamps on the Inputs Increase Ruggedness of the Device without Affecting Operation
- NCV Prefix for Automotive and Other Applications Requiring Unique Site and Control Change Requirements; AEC-Q100 Qualified and PPAP Capable
- These Devices are Pb-Free, Halogen Free/BFR Free and are RoHS Compliant



PDIP-8
N, AN, VN SUFFIX
CASE 626

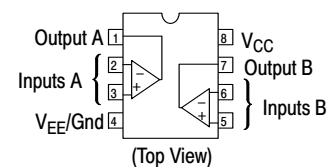


SOIC-8
D, VD SUFFIX
CASE 751



Micro8™
DMR2 SUFFIX
CASE 846A

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information on page 10 of this data sheet.

DEVICE MARKING INFORMATION

See general marking information in the device marking section on page 11 of this data sheet.



Figure 1.

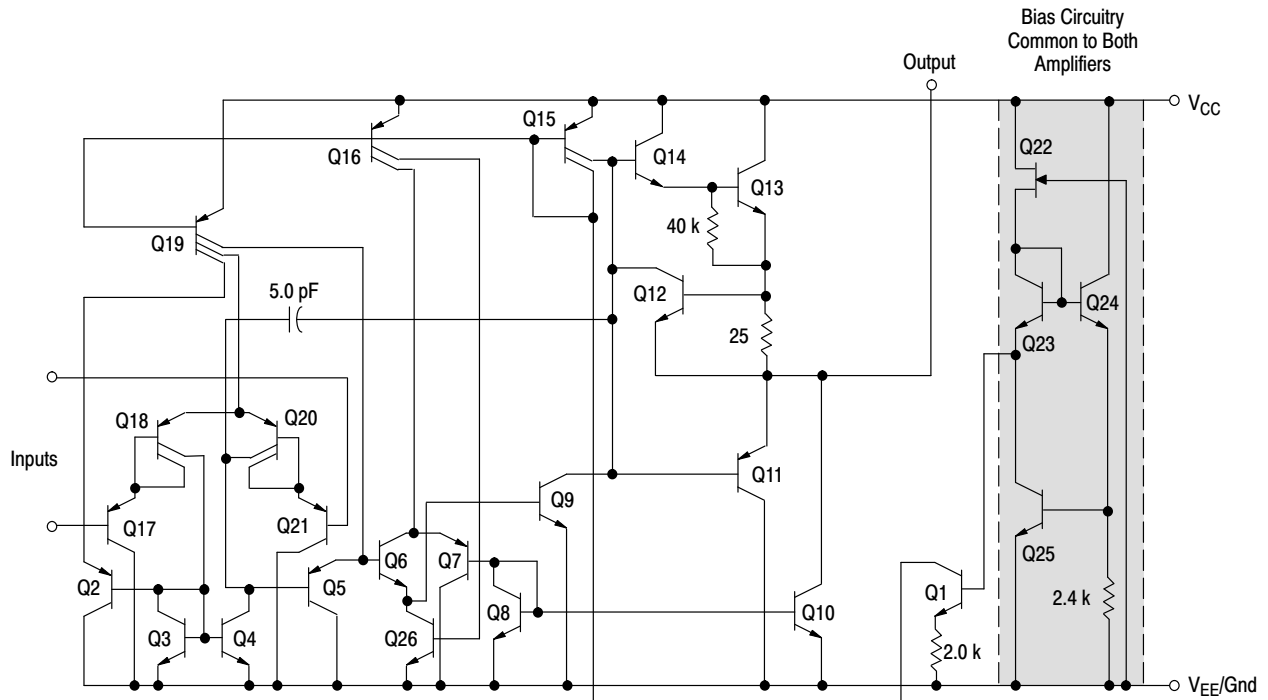


Figure 2. Representative Schematic Diagram (One-Half of Circuit Shown)

LM258, LM358, LM358A, LM358E, LM2904, LM2904A, LM2904E, LM2904V, NCV2904

MAXIMUM RATINGS ($T_A = +25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltages Single Supply Split Supplies	V_{CC} V_{CC}, V_{EE}	32 ± 16	Vdc
Input Differential Voltage Range (Note 1)	V_{IDR}	± 32	Vdc
Input Common Mode Voltage Range	V_{ICR}	-0.3 to 32	Vdc
Output Short Circuit Duration	t_{SC}	Continuous	
Junction Temperature	T_J	150	$^\circ\text{C}$
Thermal Resistance, Junction-to-Air (Note 2)	Case 846A Case 751 Case 626	$R_{\theta JA}$ 238 212 161	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	$^\circ\text{C}$
Operating Ambient Temperature Range	T_A	LM258 LM358, LM358A, LM358E LM2904, LM2904A, LM2904E LM2904V, NCV2904 (Note 3) -25 to +85 0 to +70 -40 to +105 -40 to +125	$^\circ\text{C}$

Stresses exceeding those listed in the Maximum Ratings table may damage the device. If any of these limits are exceeded, device functionality should not be assumed, damage may occur and reliability may be affected.

1. Split Power Supplies.
2. All $R_{\theta JA}$ measurements made on evaluation board with 1 oz. copper traces of minimum pad size. All device outputs were active.
3. NCV2904 is qualified for automotive use.

ESD RATINGS

Rating	HBM	MM	Unit
ESD Protection at any Pin (Human Body Model – HBM, Machine Model – MM)			
NCV2904 (Note 3)	2000	200	V
LM358E, LM2904E	2000	200	V
LM358DG/DR2G, LM2904DG/DR2G	250	100	V
All Other Devices	2000	200	V

LM258, LM358, LM358A, LM358E, LM2904, LM2904A, LM2904E, LM2904V, NCV2904

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{CC} = 5.0 V, V_{EE} = GND, T_A = 25°C, unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	LM258			LM358, LM358E			LM358A			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage V _{CC} = 5.0 V to 30 V, V _{IC} = 0 V to V _{CC} - 1.7 V, V _O = 1.4 V, R _S = 0 Ω T _A = 25°C T _A = T _{high} (Note 4) T _A = T _{low} (Note 4)	V _{IO}	-	2.0	5.0	-	2.0	7.0	-	2.0	3.0	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage T _A = T _{high} to T _{low} (Note 4)	ΔV _{IO} /ΔT	-	7.0	-	-	7.0	-	-	7.0	-	μV/°C
Input Offset Current T _A = T _{high} to T _{low} (Note 4)	I _{IO}	-	3.0	30	-	5.0	50	-	5.0	30	nA
Input Bias Current T _A = T _{high} to T _{low} (Note 4)	I _{IB}	-	-45	-150	-	-45	-250	-	-45	-100	nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current T _A = T _{high} to T _{low} (Note 4)	ΔI _{IO} /ΔT	-	10	-	-	10	-	-	10	-	pA/°C
Input Common Mode Voltage Range (Note 5), V _{CC} = 30 V V _{CC} = 30 V, T _A = T _{high} to T _{low}	V _{ICR}	0	-	28.3	0	-	28.3	0	-	28.5	V
Differential Input Voltage Range	V _{IDR}	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	V
Large Signal Open Loop Voltage Gain R _L = 2.0 kΩ, V _{CC} = 15 V, For Large V _O Swing, T _A = T _{high} to T _{low} (Note 4)	A _{VOL}	50	100	-	25	100	-	25	100	-	V/mV
Channel Separation 1.0 kHz ≤ f ≤ 20 kHz, Input Referenced	CS	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	dB
Common Mode Rejection R _S ≤ 10 kΩ	CMR	70	85	-	65	70	-	65	70	-	dB
Power Supply Rejection	PSR	65	100	-	65	100	-	65	100	-	dB
Output Voltage-High Limit T _A = T _{high} to T _{low} (Note 4) V _{CC} = 5.0 V, R _L = 2.0 kΩ, T _A = 25°C V _{CC} = 30 V, R _L = 2.0 kΩ V _{CC} = 30 V, R _L = 10 kΩ	V _{OH}	3.3	3.5	-	3.3	3.5	-	3.3	3.5	-	V
Output Voltage-Low Limit V _{CC} = 5.0 V, R _L = 10 kΩ, T _A = T _{high} to T _{low} (Note 4)	V _{OL}	-	5.0	20	-	5.0	20	-	5.0	20	mV
Output Source Current V _{ID} = +1.0 V, V _{CC} = 15 V T _A = T _{high} to T _{low} (LM358A Only)	I _{O+}	20	40	-	20	40	-	20	40	-	mA
Output Sink Current V _{ID} = -1.0 V, V _{CC} = 15 V T _A = T _{high} to T _{low} (LM358A Only) V _{ID} = -1.0 V, V _O = 200 mV	I _{O-}	10	20	-	10	20	-	10	20	-	mA
Output Short Circuit to Ground (Note 6)	I _{SC}	-	40	60	-	40	60	-	40	60	mA
Power Supply Current (Total Device) T _A = T _{high} to T _{low} (Note 4) V _{CC} = 30 V, V _O = 0 V, R _L = ∞ V _{CC} = 5 V, V _O = 0 V, R _L = ∞	I _{CC}	-	1.5	3.0	-	1.5	3.0	-	1.5	2.0	mA

4. LM258: T_{low} = -25°C, T_{high} = +85°C
LM2904/A/E: T_{low} = -40°C, T_{high} = +105°C
NCV2904 is qualified for automotive use.

LM358, LM358A, LM358E: T_{low} = 0°C, T_{high} = +70°C
LM2904V & NCV2904: T_{low} = -40°C, T_{high} = +125°C

5. The input common mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V. The upper end of the common mode voltage range is V_{CC} - 1.7 V.
6. Short circuits from the output to V_{CC} can cause excessive heating and eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

LM258, LM358, LM358A, LM358E, LM2904, LM2904A, LM2904E, LM2904V, NCV2904

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $V_{EE} = \text{Gnd}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	LM2904/LM2904E			LM2904A			LM2904V, NCV2904			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage $V_{CC} = 5.0\text{ V}$ to 30 V , $V_{IC} = 0\text{ V}$ to $V_{CC} - 1.7\text{ V}$, $V_O \approx 1.4\text{ V}$, $R_S = 0\ \Omega$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high}}$ (Note 7) $T_A = T_{\text{low}}$ (Note 7)	V_{IO}	-	2.0	7.0	-	2.0	7.0	-	-	7.0	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 7)	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	-	7.0	-	-	7.0	-	-	7.0	-	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 7)	I_{IO}	-	5.0	50	-	5.0	50	-	5.0	50	nA
Input Bias Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 7)	I_{IB}	-	-45	-250	-	-45	-100	-	-45	-250	nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 7)	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	-	10	-	-	10	-	-	10	-	$\text{pA}/^\circ\text{C}$
Input Common Mode Voltage Range (Note 8), $V_{CC} = 30\text{ V}$ $V_{CC} = 30\text{ V}$, $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low}	V_{ICR}	0	-	28.3	0	-	28.3	0	-	28.3	V
Differential Input Voltage Range	V_{IDR}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	V
Large Signal Open Loop Voltage Gain $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$, $V_{CC} = 15\text{ V}$, For Large V_O Swing, $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 7)	A_{VOL}	25 15	100 -	- -	25 15	100 -	- -	25 15	100 -	- -	V/mV
Channel Separation $1.0\text{ kHz} \leq f \leq 20\text{ kHz}$, Input Referenced	CS	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	dB
Common Mode Rejection $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	CMR	50	70	-	50	70	-	50	70	-	dB
Power Supply Rejection	PSR	50	100	-	50	100	-	50	100	-	dB
Output Voltage—High Limit $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 7) $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_{CC} = 30\text{ V}$, $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$ $V_{CC} = 30\text{ V}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$	V_{OH}	3.3 26 27	3.5 - 28	- - -	3.3 26 27	3.5 - 28	- - -	3.3 26 27	3.5 - 28	- - -	V
Output Voltage—Low Limit $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$, $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 7)	V_{OL}	-	5.0	20	-	5.0	20	-	5.0	20	mV
Output Source Current $V_{ID} = +1.0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$	I_{O+}	20	40	-	20	40	-	20	40	-	mA
Output Sink Current $V_{ID} = -1.0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$ $V_{ID} = -1.0\text{ V}$, $V_O = 200\text{ mV}$	I_{O-}	10 -	20 -	- -	10 -	20 -	- -	10 -	20 -	- -	mA μA
Output Short Circuit to Ground (Note 9)	I_{SC}	-	40	60	-	40	60	-	40	60	mA
Power Supply Current (Total Device) $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 7) $V_{CC} = 30\text{ V}$, $V_O = 0\text{ V}$, $R_L = \infty$ $V_{CC} = 5\text{ V}$, $V_O = 0\text{ V}$, $R_L = \infty$	I_{CC}	- -	1.5 0.7	3.0 1.2	- -	1.5 0.7	3.0 1.2	- -	1.5 0.7	3.0 1.2	mA

7. LM258: $T_{\text{low}} = -25^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +85^\circ\text{C}$
 LM2904/A/E: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +105^\circ\text{C}$
 NCV2904 is qualified for automotive use.

LM358, LM358A, LM358E: $T_{\text{low}} = 0^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +70^\circ\text{C}$
 LM2904V & NCV2904: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +125^\circ\text{C}$

8. The input common mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V. The upper end of the common mode voltage range is $V_{CC} - 1.7\text{ V}$.

9. Short circuits from the output to V_{CC} can cause excessive heating and eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

Product parametric performance is indicated in the Electrical Characteristics for the listed test conditions, unless otherwise noted. Product performance may not be indicated by the Electrical Characteristics if operated under different conditions.

CIRCUIT DESCRIPTION

The LM358 series is made using two internally compensated, two-stage operational amplifiers. The first stage of each consists of differential input devices Q20 and Q18 with input buffer transistors Q21 and Q17 and the differential to single ended converter Q3 and Q4. The first stage performs not only the first stage gain function but also performs the level shifting and transconductance reduction functions. By reducing the transconductance, a smaller compensation capacitor (only 5.0 pF) can be employed, thus saving chip area. The transconductance reduction is accomplished by splitting the collectors of Q20 and Q18. Another feature of this input stage is that the input common mode range can include the negative supply or ground, in single supply operation, without saturating either the input devices or the differential to single-ended converter. The second stage consists of a standard current source load amplifier stage.

Each amplifier is biased from an internal-voltage regulator which has a low temperature coefficient thus giving each amplifier good temperature characteristics as well as excellent power supply rejection.



Figure 3. Large Signal Voltage Follower Response



Figure 4. Input Voltage Range



Figure 5. Large-Signal Open Loop Voltage Gain

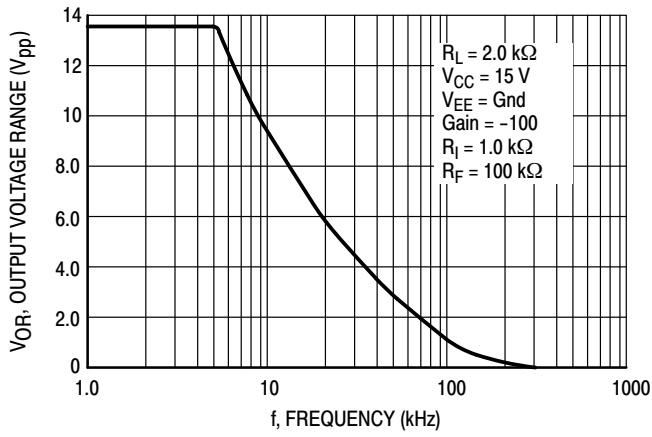


Figure 6. Large-Signal Frequency Response



Figure 7. Small Signal Voltage Follower Pulse Response (Noninverting)



Figure 8. Power Supply Current versus Power Supply Voltage

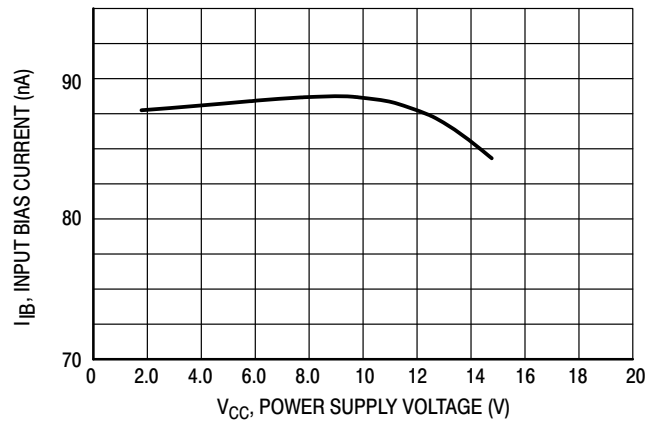


Figure 9. Input Bias Current versus Supply Voltage



Figure 10. Voltage Reference

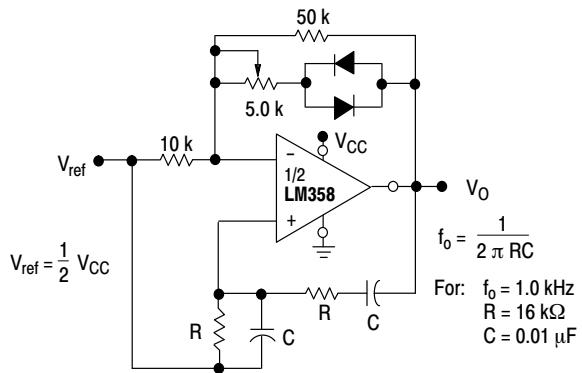


Figure 11. Wien Bridge Oscillator



Figure 12. High Impedance Differential Amplifier

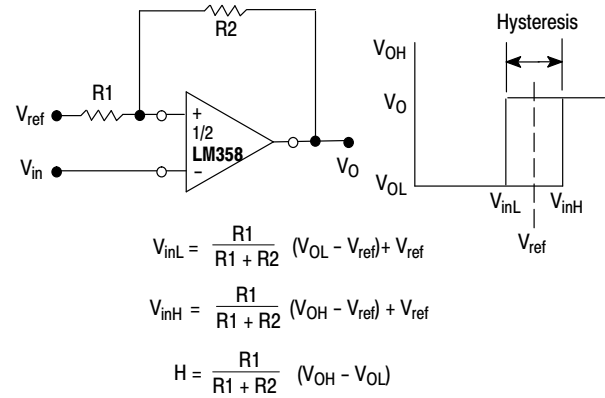


Figure 13. Comparator with Hysteresis

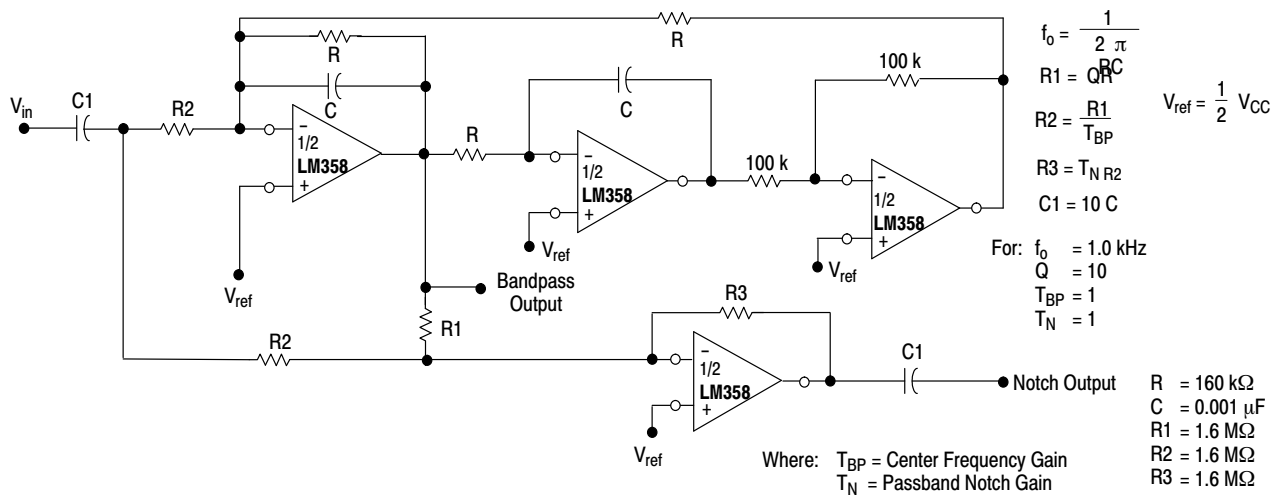


Figure 14. Bi-Quad Filter

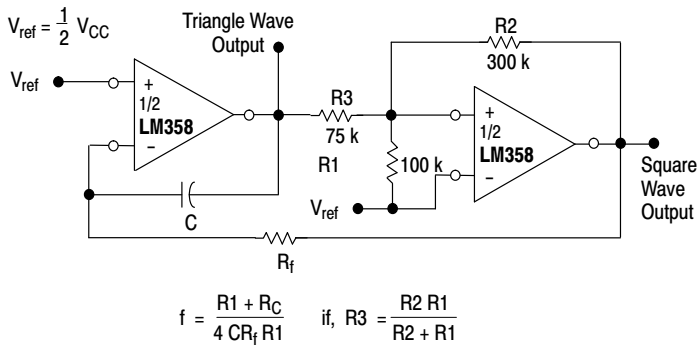
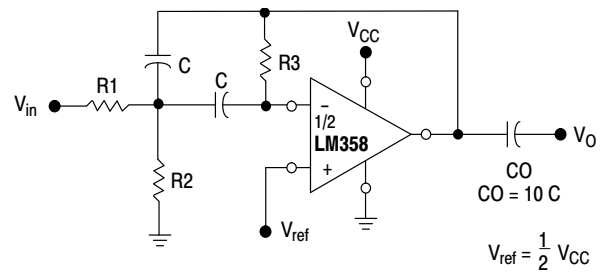


Figure 15. Function Generator



Given: f_0 = center frequency
 $A(f_0)$ = gain at center frequency

Choose value f_0, C

Then: $R_3 = \frac{Q}{\pi f_0 C}$

$R_1 = \frac{R_3}{2 A(f_0)}$

$R_2 = \frac{R_1 R_3}{4Q^2 R_1 - R_3}$

For less than 10% error from operational amplifier. $\frac{Q_0 f_0}{BW} < 0.1$

Where f_0 and BW are expressed in Hz.

If source impedance varies, filter may be preceded with voltage follower buffer to stabilize filter parameters.

Figure 16. Multiple Feedback Bandpass Filter

LM258, LM358, LM358A, LM358E, LM2904, LM2904A, LM2904E, LM2904V, NCV2904

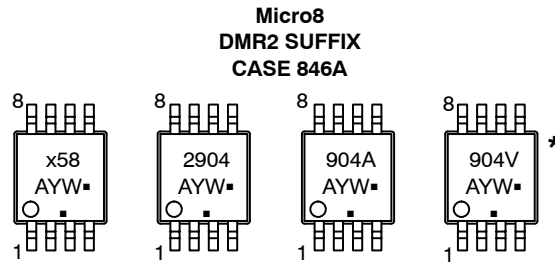
ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package	Shipping [†]
LM358ADR2G	0°C to +70°C	SOIC-8 (Pb-Free)	2500 / Tape & Reel
LM358DG			98 Units / Rail
LM358DR2G			2500 / Tape & Reel
LM358EDR2G		SOIC-8 (Pb-Free)	2500 / Tape & Reel
LM358DMR2G		Micro8 (Pb-Free)	4000 / Tape & Reel
LM358NG		PDIP-8 (Pb-Free)	50 Units / Rail
LM258DG	-25°C to +85°C	SOIC-8 (Pb-Free)	98 Units / Rail
LM258DR2G			2500 / Tape & Reel
LM258DMR2G		Micro8 (Pb-Free)	4000 / Tape & Reel
LM258NG		PDIP-8 (Pb-Free)	50 Units / Rail
LM2904DG	-40°C to +105°C	SOIC-8 (Pb-Free)	98 Units / Rail
LM2904DR2G			2500 / Tape & Reel
LM2904EDR2G		SOIC-8 (Pb-Free)	2500 / Tape & Reel
LM2904DMR2G		Micro8 (Pb-Free)	2500 / Tape & Reel
LM2904NG		PDIP-8 (Pb-Free)	50 Units / Rail
LM2904ADMG		Micro8 (Pb-Free)	4000 / Tape & Reel
LM2904ADMR2G			4000 / Tape & Reel
LM2904ANG		PDIP-8 (Pb-Free)	50 Units / Rail
LM2904VDG	-40°C to +125°C	SOIC-8 (Pb-Free)	98 Units / Rail
LM2904VDR2G			2500 / Tape & Reel
LM2904VDMR2G		Micro8 (Pb-Free)	4000 / Tape & Reel
LM2904VNG		PDIP-8 (Pb-Free)	50 Units / Rail
NCV2904DR2G*		SOIC-8 (Pb-Free)	2500 / Tape & Reel
NCV2904DMR2G*		Micro8 (Pb-Free)	4000 / Tape & Reel

†For information on tape and reel specifications, including part orientation and tape sizes, please refer to our Tape and Reel Packaging Specifications Brochure, BRD8011/D.

*NCV Prefix for Automotive and Other Applications Requiring Unique Site and Control Change Requirements; AEC-Q100 Qualified and PPAP Capable.

MARKING DIAGRAMS



- x = 2 or 3
- A = Assembly Location
- WL, L = Wafer Lot
- YY, Y = Year
- WW, W = Work Week
- G = Pb-Free Package
- = Pb-Free Package – (Note: Microdot may be in either location)

*This diagram also applies to NCV2904

MECHANICAL CASE OUTLINE

PACKAGE DIMENSIONS

ON Semiconductor®



SCALE 1:1

PDIP-8
CASE 626-05
ISSUE P

DATE 22 APR 2015



NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M, 1994.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCHES.
3. DIMENSIONS A, A1 AND L ARE MEASURED WITH THE PACKAGE SEATED IN JEDEC SEATING PLANE GAUGE GS-3.
4. DIMENSIONS D, D1 AND E1 DO NOT INCLUDE MOLD FLASH OR PROTRUSIONS. MOLD FLASH OR PROTRUSIONS ARE NOT TO EXCEED 0.10 INCH.
5. DIMENSION E IS MEASURED AT A POINT 0.015 BELOW DATUM PLANE H WITH THE LEADS CONSTRAINED PERPENDICULAR TO DATUM C.
6. DIMENSION eB IS MEASURED AT THE LEAD TIPS WITH THE LEADS UNCONSTRAINED.
7. DATUM PLANE H IS COINCIDENT WITH THE BOTTOM OF THE LEADS, WHERE THE LEADS EXIT THE BODY.
8. PACKAGE CONTOUR IS OPTIONAL (ROUNDED OR SQUARE CORNERS).

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	----	0.210	----	5.33
A1	0.015	----	0.38	----
A2	0.115	0.195	2.92	4.95
b	0.014	0.022	0.35	0.56
b2	0.060 TYP		1.52 TYP	
C	0.008	0.014	0.20	0.36
D	0.355	0.400	9.02	10.16
D1	0.005	----	0.13	----
E	0.300	0.325	7.62	8.26
E1	0.240	0.280	6.10	7.11
e	0.100 BSC		2.54 BSC	
eB	----	0.430	----	10.92
L	0.115	0.150	2.92	3.81
M	----	10°	----	10°

GENERIC MARKING DIAGRAM*



- XXXX = Specific Device Code
- A = Assembly Location
- WL = Wafer Lot
- YY = Year
- WW = Work Week
- G = Pb-Free Package

*This information is generic. Please refer to device data sheet for actual part marking. Pb-Free indicator, "G" or microdot "▪", may or may not be present.

- STYLE 1:
PIN 1. AC IN
2. DC + IN
3. DC - IN
4. AC IN
5. GROUND
6. OUTPUT
7. AUXILIARY
8. V_{CC}

DOCUMENT NUMBER:	98ASB42420B	Electronic versions are uncontrolled except when accessed directly from the Document Repository. Printed versions are uncontrolled except when stamped "CONTROLLED COPY" in red.
DESCRIPTION:	PDIP-8	PAGE 1 OF 1

ON Semiconductor and are trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC dba ON Semiconductor or its subsidiaries in the United States and/or other countries. ON Semiconductor reserves the right to make changes without further notice to any products herein. ON Semiconductor makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does ON Semiconductor assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. ON Semiconductor does not convey any license under its patent rights nor the rights of others.

MECHANICAL CASE OUTLINE PACKAGE DIMENSIONS



SCALE 1:1

SOIC-8 NB
CASE 751-07
ISSUE AK

DATE 16 FEB 2011



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.
 3. DIMENSION A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
 4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006) PER SIDE.
 5. DIMENSION D DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.127 (0.005) TOTAL IN EXCESS OF THE D DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.
 6. 751-01 THRU 751-06 ARE OBSOLETE. NEW STANDARD IS 751-07.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	4.80	5.00	0.189	0.197
B	3.80	4.00	0.150	0.157
C	1.35	1.75	0.053	0.069
D	0.33	0.51	0.013	0.020
G	1.27 BSC		0.050 BSC	
H	0.10	0.25	0.004	0.010
J	0.19	0.25	0.007	0.010
K	0.40	1.27	0.016	0.050
M	0°	8°	0°	8°
N	0.25	0.50	0.010	0.020
S	5.80	6.20	0.228	0.244

SOLDERING FOOTPRINT*



*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

GENERIC MARKING DIAGRAM*



XXXXXX = Specific Device Code
A = Assembly Location
L = Wafer Lot
Y = Year
W = Work Week
▪ = Pb-Free Package

XXXXXX = Specific Device Code
A = Assembly Location
Y = Year
WW = Work Week
▪ = Pb-Free Package

*This information is generic. Please refer to device data sheet for actual part marking. Pb-Free indicator, "G" or microdot "▪", may or may not be present. Some products may not follow the Generic Marking.

STYLES ON PAGE 2

DOCUMENT NUMBER:	98ASB42564B	Electronic versions are uncontrolled except when accessed directly from the Document Repository. Printed versions are uncontrolled except when stamped "CONTROLLED COPY" in red.
DESCRIPTION:	SOIC-8 NB	PAGE 1 OF 2

onsemi and ONsemi are trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC dba onsemi or its subsidiaries in the United States and/or other countries. onsemi reserves the right to make changes without further notice to any products herein. onsemi makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does onsemi assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. onsemi does not convey any license under its patent rights nor the rights of others.

SOIC-8 NB
CASE 751-07
ISSUE AK

DATE 16 FEB 2011

- | | | | |
|--|---|---|---|
| <p>STYLE 1:
 PIN 1. EMITTER
 2. COLLECTOR
 3. COLLECTOR
 4. EMITTER
 5. EMITTER
 6. BASE
 7. BASE
 8. EMITTER</p> | <p>STYLE 2:
 PIN 1. COLLECTOR, DIE, #1
 2. COLLECTOR, #1
 3. COLLECTOR, #2
 4. COLLECTOR, #2
 5. BASE, #2
 6. EMITTER, #2
 7. BASE, #1
 8. EMITTER, #1</p> | <p>STYLE 3:
 PIN 1. DRAIN, DIE #1
 2. DRAIN, #1
 3. DRAIN, #2
 4. DRAIN, #2
 5. GATE, #2
 6. SOURCE, #2
 7. GATE, #1
 8. SOURCE, #1</p> | <p>STYLE 4:
 PIN 1. ANODE
 2. ANODE
 3. ANODE
 4. ANODE
 5. ANODE
 6. ANODE
 7. ANODE
 8. COMMON CATHODE</p> |
| <p>STYLE 5:
 PIN 1. DRAIN
 2. DRAIN
 3. DRAIN
 4. DRAIN
 5. GATE
 6. GATE
 7. SOURCE
 8. SOURCE</p> | <p>STYLE 6:
 PIN 1. SOURCE
 2. DRAIN
 3. DRAIN
 4. SOURCE
 5. SOURCE
 6. GATE
 7. GATE
 8. SOURCE</p> | <p>STYLE 7:
 PIN 1. INPUT
 2. EXTERNAL BYPASS
 3. THIRD STAGE SOURCE
 4. GROUND
 5. DRAIN
 6. GATE 3
 7. SECOND STAGE Vd
 8. FIRST STAGE Vd</p> | <p>STYLE 8:
 PIN 1. COLLECTOR, DIE #1
 2. BASE, #1
 3. BASE, #2
 4. COLLECTOR, #2
 5. COLLECTOR, #2
 6. EMITTER, #2
 7. EMITTER, #1
 8. COLLECTOR, #1</p> |
| <p>STYLE 9:
 PIN 1. EMITTER, COMMON
 2. COLLECTOR, DIE #1
 3. COLLECTOR, DIE #2
 4. EMITTER, COMMON
 5. EMITTER, COMMON
 6. BASE, DIE #2
 7. BASE, DIE #1
 8. EMITTER, COMMON</p> | <p>STYLE 10:
 PIN 1. GROUND
 2. BIAS 1
 3. OUTPUT
 4. GROUND
 5. GROUND
 6. BIAS 2
 7. INPUT
 8. GROUND</p> | <p>STYLE 11:
 PIN 1. SOURCE 1
 2. GATE 1
 3. SOURCE 2
 4. GATE 2
 5. DRAIN 2
 6. DRAIN 2
 7. DRAIN 1
 8. DRAIN 1</p> | <p>STYLE 12:
 PIN 1. SOURCE
 2. SOURCE
 3. SOURCE
 4. GATE
 5. DRAIN
 6. DRAIN
 7. DRAIN
 8. DRAIN</p> |
| <p>STYLE 13:
 PIN 1. N.C.
 2. SOURCE
 3. SOURCE
 4. GATE
 5. DRAIN
 6. DRAIN
 7. DRAIN
 8. DRAIN</p> | <p>STYLE 14:
 PIN 1. N-SOURCE
 2. N-GATE
 3. P-SOURCE
 4. P-GATE
 5. P-DRAIN
 6. P-DRAIN
 7. N-DRAIN
 8. N-DRAIN</p> | <p>STYLE 15:
 PIN 1. ANODE 1
 2. ANODE 1
 3. ANODE 1
 4. ANODE 1
 5. CATHODE, COMMON
 6. CATHODE, COMMON
 7. CATHODE, COMMON
 8. CATHODE, COMMON</p> | <p>STYLE 16:
 PIN 1. EMITTER, DIE #1
 2. BASE, DIE #1
 3. EMITTER, DIE #2
 4. BASE, DIE #2
 5. COLLECTOR, DIE #2
 6. COLLECTOR, DIE #2
 7. COLLECTOR, DIE #1
 8. COLLECTOR, DIE #1</p> |
| <p>STYLE 17:
 PIN 1. VCC
 2. V2OUT
 3. V1OUT
 4. TXE
 5. RXE
 6. VEE
 7. GND
 8. ACC</p> | <p>STYLE 18:
 PIN 1. ANODE
 2. ANODE
 3. SOURCE
 4. GATE
 5. DRAIN
 6. DRAIN
 7. CATHODE
 8. CATHODE</p> | <p>STYLE 19:
 PIN 1. SOURCE 1
 2. GATE 1
 3. SOURCE 2
 4. GATE 2
 5. DRAIN 2
 6. MIRROR 2
 7. DRAIN 1
 8. MIRROR 1</p> | <p>STYLE 20:
 PIN 1. SOURCE (N)
 2. GATE (N)
 3. SOURCE (P)
 4. GATE (P)
 5. DRAIN
 6. DRAIN
 7. DRAIN
 8. DRAIN</p> |
| <p>STYLE 21:
 PIN 1. CATHODE 1
 2. CATHODE 2
 3. CATHODE 3
 4. CATHODE 4
 5. CATHODE 5
 6. COMMON ANODE
 7. COMMON ANODE
 8. CATHODE 6</p> | <p>STYLE 22:
 PIN 1. I/O LINE 1
 2. COMMON CATHODE/VCC
 3. COMMON CATHODE/VCC
 4. I/O LINE 3
 5. COMMON ANODE/GND
 6. I/O LINE 4
 7. I/O LINE 5
 8. COMMON ANODE/GND</p> | <p>STYLE 23:
 PIN 1. LINE 1 IN
 2. COMMON ANODE/GND
 3. COMMON ANODE/GND
 4. LINE 2 IN
 5. LINE 2 OUT
 6. COMMON ANODE/GND
 7. COMMON ANODE/GND
 8. LINE 1 OUT</p> | <p>STYLE 24:
 PIN 1. BASE
 2. EMITTER
 3. COLLECTOR/ANODE
 4. COLLECTOR/ANODE
 5. CATHODE
 6. CATHODE
 7. COLLECTOR/ANODE
 8. COLLECTOR/ANODE</p> |
| <p>STYLE 25:
 PIN 1. VIN
 2. N/C
 3. REXT
 4. GND
 5. IOUT
 6. IOUT
 7. IOUT
 8. IOUT</p> | <p>STYLE 26:
 PIN 1. GND
 2. dv/dt
 3. ENABLE
 4. ILIMIT
 5. SOURCE
 6. SOURCE
 7. SOURCE
 8. VCC</p> | <p>STYLE 27:
 PIN 1. ILIMIT
 2. OVLO
 3. UVLO
 4. INPUT+
 5. SOURCE
 6. SOURCE
 7. SOURCE
 8. DRAIN</p> | <p>STYLE 28:
 PIN 1. SW_TO_GND
 2. DASIC_OFF
 3. DASIC_SW_DET
 4. GND
 5. V_MON
 6. VBULK
 7. VBULK
 8. VIN</p> |
| <p>STYLE 29:
 PIN 1. BASE, DIE #1
 2. EMITTER, #1
 3. BASE, #2
 4. EMITTER, #2
 5. COLLECTOR, #2
 6. COLLECTOR, #2
 7. COLLECTOR, #1
 8. COLLECTOR, #1</p> | <p>STYLE 30:
 PIN 1. DRAIN 1
 2. DRAIN 1
 3. GATE 2
 4. SOURCE 2
 5. SOURCE 1/DRAIN 2
 6. SOURCE 1/DRAIN 2
 7. SOURCE 1/DRAIN 2
 8. GATE 1</p> | | |

DOCUMENT NUMBER:	98ASB42564B	Electronic versions are uncontrolled except when accessed directly from the Document Repository. Printed versions are uncontrolled except when stamped "CONTROLLED COPY" in red.
DESCRIPTION:	SOIC-8 NB	PAGE 2 OF 2

onsemi and **ONSEMI** are trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC dba **onsemi** or its subsidiaries in the United States and/or other countries. **onsemi** reserves the right to make changes without further notice to any products herein. **onsemi** makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does **onsemi** assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. **onsemi** does not convey any license under its patent rights nor the rights of others.

MECHANICAL CASE OUTLINE

PACKAGE DIMENSIONS

ON Semiconductor®



SCALE 2:1

Micro8 CASE 846A-02 ISSUE K

DATE 16 JUL 2020



TOP VIEW

NOTE 3



SIDE VIEW



END VIEW

NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M, 2009.
2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETERS
3. DIMENSION *b* DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE PROTRUSION SHALL BE 0.10 mm IN EXCESS OF MAXIMUM MATERIAL CONDITION.
4. DIMENSIONS D AND E DO NOT INCLUDE MOLD FLASH, PROTRUSION OR GATE BURRS. MOLD FLASH, PROTRUSIONS, OR GATE BURRS SHALL NOT EXCEED 0.15 mm PER SIDE. DIMENSION E DOES NOT INCLUDE INTERLEAD FLASH OR PROTRUSION. INTERLEAD FLASH OR PROTRUSION SHALL NOT EXCEED 0.25 mm PER SIDE. DIMENSIONS D AND E ARE DETERMINED AT DATUM F.
5. DATUMS A AND B ARE TO BE DETERMINED AT DATUM F.
6. A1 IS DEFINED AS THE VERTICAL DISTANCE FROM THE SEATING PLANE TO THE LOWEST POINT ON THE PACKAGE BODY.

$\phi 0.08$ (0.003) M C B S A S

DIM	MILLIMETERS		
	MIN.	NOM.	MAX.
A	---	---	1.10
A1	0.05	0.08	0.15
<i>b</i>	0.25	0.33	0.40
<i>c</i>	0.13	0.18	0.23
D	2.90	3.00	3.10
E	2.90	3.00	3.10
<i>e</i>	0.65 BSC		
H _E	4.75	4.90	5.05
L	0.40	0.55	0.70



RECOMMENDED MOUNTING FOOTPRINT

For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERM/D.

GENERIC MARKING DIAGRAM*



- XXXX = Specific Device Code
- A = Assembly Location
- Y = Year
- W = Work Week
- = Pb-Free Package

(Note: Microdot may be in either location)

*This information is generic. Please refer to device data sheet for actual part marking. Pb-Free indicator, "G" or microdot "▪", may or may not be present. Some products may not follow the Generic Marking.

STYLE 1:

1. SOURCE
2. SOURCE
3. SOURCE
4. GATE
5. DRAIN
6. DRAIN
7. DRAIN
8. DRAIN

STYLE 2:

1. SOURCE 1
2. GATE 1
3. SOURCE 2
4. GATE 2
5. DRAIN 2
6. DRAIN 2
7. DRAIN 1
8. DRAIN 1

STYLE 3:

1. N-SOURCE
2. N-GATE
3. P-SOURCE
4. P-GATE
5. P-DRAIN
6. P-DRAIN
7. N-DRAIN
8. N-DRAIN

DOCUMENT NUMBER:	98ASB14087C	Electronic versions are uncontrolled except when accessed directly from the Document Repository. Printed versions are uncontrolled except when stamped "CONTROLLED COPY" in red.
DESCRIPTION:	MICRO8	PAGE 1 OF 1

ON Semiconductor and ON are trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC dba ON Semiconductor or its subsidiaries in the United States and/or other countries. ON Semiconductor reserves the right to make changes without further notice to any products herein. ON Semiconductor makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does ON Semiconductor assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. ON Semiconductor does not convey any license under its patent rights nor the rights of others.

onsemi, **Onsemi**, and other names, marks, and brands are registered and/or common law trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC dba "**onsemi**" or its affiliates and/or subsidiaries in the United States and/or other countries. **onsemi** owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of **onsemi**'s product/patent coverage may be accessed at www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf. **onsemi** reserves the right to make changes at any time to any products or information herein, without notice. The information herein is provided "as-is" and **onsemi** makes no warranty, representation or guarantee regarding the accuracy of the information, product features, availability, functionality, or suitability of its products for any particular purpose, nor does **onsemi** assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. Buyer is responsible for its products and applications using **onsemi** products, including compliance with all laws, regulations and safety requirements or standards, regardless of any support or applications information provided by **onsemi**. "Typical" parameters which may be provided in **onsemi** data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. **onsemi** does not convey any license under any of its intellectual property rights nor the rights of others. **onsemi** products are not designed, intended, or authorized for use as a critical component in life support systems or any FDA Class 3 medical devices or medical devices with a same or similar classification in a foreign jurisdiction or any devices intended for implantation in the human body. Should Buyer purchase or use **onsemi** products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold **onsemi** and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that **onsemi** was negligent regarding the design or manufacture of the part. **onsemi** is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:

Email Requests to: orderlit@onsemi.com

onsemi Website: www.onsemi.com

TECHNICAL SUPPORT

North American Technical Support:

Voice Mail: 1 800-282-9855 Toll Free USA/Canada

Phone: 011 421 33 790 2910

Europe, Middle East and Africa Technical Support:

Phone: 00421 33 790 2910

For additional information, please contact your local Sales Representative

A.7. DATASHEET PILES RECARREGABLES NI-MH

PRODUCT DATASHEET

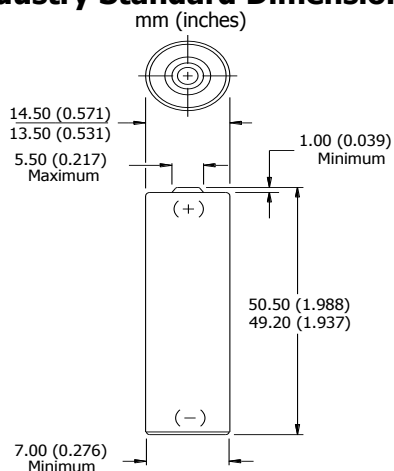


ENERGIZER NH15-1300 (HR6)

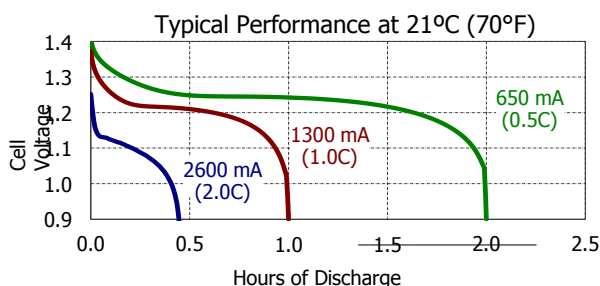
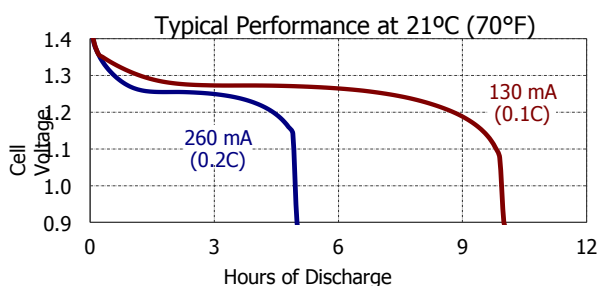
AA



Industry Standard Dimensions



Typical Discharge Characteristics



Classification:	Rechargeable
Chemical System:	Nickel-Metal Hydride (NiMH)
Designation:	ANSI-1.2H2 IEC- HR6
Nominal Voltage:	1.2 Volts
Rated Capacity:	1300 mAh (to 1.0 volts)
Typical Weight:	Based on 260 mA (0.2C) discharge rate
Typical Volume:	21 grams (0.74 oz.)
Jacket:	8.3 cubic centimeters Plastic Label

Internal Resistance:

The internal resistance of the cell varies with state of charge, as follows:

<u>Cell Charged</u>	<u>Cell 1/2 Discharged</u>
30 milliohms	40 milliohms
(tolerance of ±20% applies to above values)	

AC Impedance (No Load):

The impedance of the charged cell varies with frequency, as follows:

<u>Frequency (Hz)</u>	<u>Impedance (milliohms)</u>
1000	(Charged Cell) 12

Above values based on AC current set at 1.0 ampere. Value tolerances are ±20%.

Operating and Storage Temperatures:

To maintain maximum performance, observe the following general guidelines regarding environmental conditions.

Charge:	0°C to 40°C
Discharge:	0°C to 50°C
Storage:	-20°C to 30°C
Humidity:	65±20%

Operating at extreme temperatures, will significantly impact battery cycle life.

Important Notice

This datasheet contains information specific to battery chargers manufactured at the time of its publication.

©Energizer Holdings, Inc. - Contents herein do not constitute a warranty.

A.8. CODI DE PROGRAMACIÓ D'ARDUINO

```
/// DESCARREGA ///
```

```
/// LLIBRERIES //
```

```
#include <OneWire.h>           // S'introdueixen la llibreria OneWire
#include <DallasTemperature.h> // S'intordueix la llibreria Dallas
Temperature

// ENTRADES ANALOGIQUES //
```

```
int sensorEntrada = A14; // S'estableix el pin del sensor d'entrada
int sensorCurrent = A8;  // S'estableix el pin pel sensor de corrent
int sensorSortida = A9;  // S'estableix el pint pel sensor de sortida

// ENTRADES DIGITALS
OneWire ourWire(2);      // S'estableix el pin del bus OneWire

// DEFINICIÓ DE VARIABLES //
```

```
int digitalValue_Entrada = 0; // Es defineix la variable on s'emmagatzema
el valor digital que ve del sensor d'entrada
int digitalValue_Sortida = 0; // Es defineix la variable on s'emmagatzema
el valor digital que ve del sensor de sortida
int digitalValue_I = 0;       // Es defineix la variable on s'emmagatzema
el valor digital que ve del sensor de corrent

float analogVoltage = 0.0000; // Es defineix la variable on s'emmagatzema
el valor analogic per al voltatge
float analogCurrent = 0.0000; // Es defineix la variable on s'emmagatzema
el valor analogic per al corrent

String dataLabel0 = "Temps"; // Es defineix la variable de text per
al titol de la columna Temps
String dataLabel1 = "Tensio"; // Es defineix la variable de text per
al titol de la columna Tensio
String dataLabel2 = "Intensitat"; // Es defineix la variable de text per
al titol de la columna Intensitat
String dataLabel3 = "Temperatura"; // Es defineix la variable de text per
al titol de la columna Tempertaura
bool label = true; // Si els titol es troben actius

unsigned long temps1 = 0; // Es defineix la variable del temps 1
unsigned long temps2 = 0; // Es defineix la variable del temps 2

DallasTemperature sensors(&ourWire); //Es declara una variable i objeto
per al nostre sensor
```



```

// PROGRAMA //

void setup() {
  delay(1000);
  Serial.begin(9600);
  sensors.begin();          //Se inicia el sensor
  temps1 = millis();       // S'inicia el comptador 1
}

void loop() {
  sensors.requestTemperatures();          //S'envia l'ordre per llegir
la temperatura
  float temp= sensors.getTempCByIndex(0); //S'obte la temperatura en
°C

  digitalValue_Entrada = analogRead(sensorEntrada); // Llegeix el valor
del canal analògic d'entrada
  digitalValue_Sortida = analogRead(sensorSortida); // Llegeix el valor
del canal analògic de sortida
  digitalValue_I = analogRead(sensorCurrent);      // Llegeix el valor
del canal analògic de corrent

  analogCurrent      =      ((digitalValue_Entrada      -
digitalValue_I)*5.00)/1023/5.1;      // Converteix el valor digital en
analògic per la corrent
  analogVoltage      =      ((digitalValue_Entrada      - digitalValue_Sortida) *
5.00)/1023; // Converteix el valor digital en analògic per la tensio

  temps2 = millis();          // S'inicia el comptador 2
  if (temps2 > (temps1 + 1000)){ // Si el comptador 2 es major que el
comptador 1, es suma 1000
    temps1 = millis();
  }

  // VISUALITZACIÓ DE DADES //

  while(label){              // Mentre que la variable LABEL es activa
s'imprimeixen les accions següents
  Serial.print(dataLabel0);
  Serial.print(",");
  Serial.print(dataLabel1);
  Serial.print(",");
  Serial.print(dataLabel2);
  Serial.print(",");
  Serial.println(dataLabel3);
}

```

Disseny d'un prototip de carregador per a bateries

```
    label = false;           // Es declara inactiva la variable LABEL
}

    Serial.print(temps1);    // S'imprimeix la variable temps1 per
pantalla
    Serial.print(",");
    Serial.print(analogVoltage,4);    // S'imprimeix la variable
analogVoltage per pantalla
    Serial.print(",");
    Serial.print(analogCurrent,4);    // S'imprimeix la variable
analogCurrent per pantalla
    Serial.print(",");
    Serial.println(temp,4);          // S'imprimeix la variable temp per
pantalla

    delay(500);               // S'implementa un retras de 500
}

    /// CARREGA ///

    // LLIBRERIES //

#include <OneWire.h>          // S'introdueixen la llibreria OneWire
#include <DallasTemperature.h> // S'introdueix la llibreria Dallas
Temperature

// ENTRADES ANALOGIQUES //

int sensor_1 = A1;    // S'estableix el pin del sensor 1
int sensor_2 = A0;    // S'estableix el pin del sensor 2

// ENTRADES DIGITALS

OneWire ourWire(2); // S'estableix el pin del bus OneWire

// DEFINICIÓ DE VARIABLES //

int digitalValue_1 = 0;    // Es defineix la variable on
s'emmagatzema el valor digital que ve del sensor 1
int digitalValue_2 = 0;    // Es defineix la variable on
s'emmagatzema el valor digital que ve del sensor 2

float analogVoltage = 0.0000;    // Es defineix la variable on
s'emmagatzema el valor analògic per al voltatge
float analogCurrent = 0.0000;    // Es defineix la variable on
s'emmagatzema el valor analògic per al corrent
```



```

String dataLabel0 = "Temps";           // Es defineix la variable de text per
al titol de la columna Temps
String dataLabel1 = "Tensio";         // Es defineix la variable de text per
al titol de la columna Tensio
String dataLabel2 = "Intensitat";     // Es defineix la variable de text per
al titol de la columna Intensitat
String dataLabel3 = "Temperatura";   // Es defineix la variable de text per
al titol de la columna Tempertaura
bool label = true;                   // Si els titol es troben actius

unsigned long temps1 = 0;             // Es defineix la variable del temps 1
unsigned long temps2 = 0;             // Es defineix la variable del temps 2

DallasTemperature sensors(&ourWire); //Es declara una variable i objeto
per al nostre sensor

// PROGRAMA //

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  sensors.begin();                   //Se inicia el sensor
  temps1 = millis();                 // S'inicia el comptador 1
}

void loop() {
  sensors.requestTemperatures();    //S'envia l'ordre per llegir
la temperatura
  float temp= sensors.getTempCByIndex(0); //S'obte la temper

  digitalValue_1 = analogRead(sensor_1); // Llegeix el valor del canal
analogic 1
  digitalValue_2 = analogRead(sensor_2); // Llegeix el valor del canal
analogic 2

  analogCurrent = ((digitalValue_2 - digitalValue_1)*5.00)/1023/2.2; //
Converteix el valor digital en analogic per la corrent
  analogVoltage = ((digitalValue_2) * 5.00)/1023; //
Converteix el valor digital en analogic per la tensió

  // VISUALITZACIÓ DE DADES //
  while(label){                      // Mentre que la variable LABEL es
activa s'imprimeixen les accions següents
    Serial.print(dataLabel0);
    Serial.print(",");
    Serial.print(dataLabel1);

```

Disseny d'un prototip de carregador per a bateries

```
Serial.print(",");
Serial.print(dataLabel2);
Serial.print(",");
Serial.println(dataLabel3);
label = false; // Es declara inactiva la variable
LABEL
}
temps2 = millis(); // S'inicia el comptador 2
if (temps2 < 7200000){ // Si el comptador 2 es major que
120 minuts
Serial.print(temps2); // S'imprimeix la variable temps2 per
pantalla
Serial.print(",");
Serial.print(analogVoltage,4); // S'imprimeix la variable
analogVoltage per pantalla
Serial.print(",");
Serial.print(analogCurrent,4); // S'imprimeix la variable
analogCurrent per pantalla
Serial.print(",");
Serial.println(temp,4); // S'imprimeix la variable temp per
pantalla
delay(1000); // Fa lectures cada 1 segons
}
else{ // Si el comptador 2 es major a 120
minuts
Serial.print(temps2); // S'imprimeix la variable temps2 per
pantalla
Serial.print(",");
Serial.print(analogVoltage,4); // S'imprimeix la variable
analogVoltage per pantalla
Serial.print(",");
Serial.print(analogCurrent,4); // S'imprimeix la variable
analogCurrent per pantalla
Serial.print(",");
Serial.println(temp,4); // S'imprimeix la variable temp per
pantalla
delay(120000); // Fa lectures cada 2 minuts
}
}
```

A.9. CODI DE PROGRAMACIÓ PYTHON

```

# Importació de les diferents llibreries a utilitzar

import serial
import csv

# Assegurar-se de que el port COM és l'indicat per Windows

arduino_port = "COM5"           #Port serial de l'Arduino
baud = 9600                     #Velocitat que funciona l'arduino
fileName="Dades_Carrega.csv"   #Declarar el nom del fitxer CSV generat
print_labels = False

ser = serial.Serial('COM5', 9600)
print("Connected to Arduino port:" + arduino_port)
file = open(fileName, "w")
print("Created file")

line = 0

while line >= 0:                #Programa
    if print_labels:
        if line == 0:
            print("Printing Column Headers")
        else:
            print("Line " + str(line) + ": writing ...")

    getData=ser.readline()
    dataString = getData.decode('utf-8')
    data=dataString[0:][::-2]

    readings = data.split(",")
    print(readings)

    file = open(fileName, "a")

    file.write(data + "\n")
    line = line + 1

with open(fileName, 'w', encoding='UTF8', newline='') as f:
    writer = csv.writer(f)

print("Data collection complete!")
file.close()
ser.close()                    #Tancar el port de serie
exit()

```

```

# Importació de les diferents llibreries a utilitzar

import serial
import csv

# Assegurar-se de que el port COM és l'indicat per Windows

arduino_port = "COM5"           #Port serial de l'Arduino
baud = 9600                     #Velocitat que funciona l'arduino
fileName="Dades_Descarrega.csv" #Declarar el nom del fitxer CSV generat
print_labels = False

ser = serial.Serial('COM5', 9600)
print("Connected to Arduino port:" + arduino_port)
file = open(fileName, "w")
print("Created file")

line = 0

while line >= 0:                #Programa
    if print_labels:
        if line == 0:
            print("Printing Column Headers")
        else:
            print("Line " + str(line) + ": writing ...")

    getData=ser.readline()
    dataString = getData.decode('utf-8')
    data=dataString[0:][::-2]

    readings = data.split(",")
    print(readings)

    file = open(fileName, "a")

    file.write(data + "\n")
    line = line + 1

with open(fileName, 'w', encoding='UTF8', newline='') as f:
    writer = csv.writer(f)

print("Data collection complete!")
file.close()
ser.close()                    #Tancar el port de serie
exit()

```