

UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Jaén

Trabajo Fin de Grado

REGULADOR DE DC REDUCTOR – ELEVADOR GOBERNADO POR ARDUINO

Alumno: Juan Ceacero Sánchez

Tutor: Prof. D. Rafael José Gutiérrez Moya
Dpto: Ingeniería Electrónica y Automática

Septiembre, 2020



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática

Don RAFAEL JOSÉ GUTIERREZ MOYA , tutor del Proyecto Fin de Carrera titulado:
Regulador de DC reductor – elevador gobernado por Arduino, que presenta
JUAN CEACERO SÁNCHEZ, autoriza su presentación para defensa y evaluación en
la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, 7 de SEPTIEMBRE de 2020

El alumno:

JUAN CEACERO SÁNCHEZ

Los tutores:

Firmado por GUTIERREZ MOYA RAFAEL
JOSE - 20416415M el día 07/09/2020
con un certificado emitido por AC
FNMT Usuarios

RAFAEL JOSÉ GUTIÉRREZ MOYA

Tabla de Contenido

MEMORIA	5
1. INTRODUCCION	7
1.1. Objetivos	7
1.2. Plan de trabajo	8
1.3. Estructura.....	8
2. ESTADO DEL ARTE Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS	11
2.1. Reguladores de DC conmutados.....	11
2.1.1. Convertidor Buck – Boost.....	11
2.1.2. Convertidor Cúk	12
2.1.3. Convertidor SEPIC	14
2.2. Arduino UNO.....	15
2.3. Shields de Arduino	17
2.4. Reguladores comerciales autocontrolados.....	22
2.5. Herramientas utilizadas	23
2.5.1. Software de programación de Arduino	24
2.5.2. Software de simulación y diseño de circuitos electrónicos	25
2.5.3. Bibliotecas auxiliares para variar la frecuencia del PWM de Arduino.....	26
3. IMPLEMENTACIÓN	29
3.1. Estructura general del hardware.....	29
3.2. Circuito de alimentación	30
3.3. Circuitos de control	32
3.3.1. Sensores de tensión	32
3.3.2. Driver de control del MOSFET	34
3.4. Circuito de potencia.....	36
3.4.1. Análisis matemático del convertidor SEPIC.....	36
3.4.2. Calculo de los componentes	43
3.4.3. Cálculo de los disipadores de calor	49
3.5. Circuitos de mando y visualización.....	53
3.6. Programación.....	55
3.7. Placa de circuito impreso	60

4.	ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO	63
4.1.	Tensión de salida	63
4.2.	Intensidad media de las bobinas	65
4.3.	Potencia absorbida de la fuente de alimentación	67
4.4.	Potencia de salida con una resistencia de carga de 56Ω	69
4.5.	Intensidad de drenador del transistor MOSFET	70
4.6.	Potencia perdida por el MOSFET	71
4.7.	Intensidad de polarización directa en el diodo Schottky	72
4.8.	Tensión inversa del diodo Schottky	73
5.	CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	77
6.	BIBLIOGRAFÍA	81
	PLIEGO DE CONDICIONES	83
1.	ESPECIFICACIONES	85
2.	MANUAL DE USUARIO	87
2.1.	Programación de Arduino	87
2.2.	Guía de funcionamiento	92
3.	HOJAS DE CARACTERÍSTICAS	97
	PROGRAMAS	161
	PLANOS	169
	PRESUPUESTO	179
1.	Disposiciones legales	181
2.	Presupuesto de materiales	181
3.	Presupuesto de personal	182
4.	Resumen del presupuesto	183

MEMORIA

1. INTRODUCCION

Este trabajo fin de grado (TFG) aborda el diseño y simulación de un regulador reductor - elevador de tensión de corriente continua (DC), en el cual se pueda regular en tiempo real la tensión de salida del mismo mediante Arduino, siendo este el que gobierne el circuito, haciendo que la tensión de salida sea la deseada en todo momento y sin que existan demasiadas perturbaciones.

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fácil de usar por los creadores y desarrolladores de prototipos. Está basado en un microcontrolador y al ser de código abierto, se pueden obtener todos los esquemas de los diferentes modelos de Arduino e incluso se pueden hacer mejoras sobre él, sin tener que realizar ningún pago extra, es decir, solo es necesario obtener un modelo de Arduino (mediante su compra, o mediante su montaje después de obtener el esquema). [1]

1.1. Objetivos

Diseño de una placa de circuito impreso basada en un regulador de DC reductor-elevador gobernado por Arduino, la cual tendrá los siguientes márgenes de funcionamiento:

- Tensión de entrada entre 8 V y 30 V
- Tensión de salida entre 0 V y 30 V
- Intensidad máxima de entrada de 6 A
- Intensidad máxima de salida de 6 A
- Control de la tensión de salida gobernado por Arduino.
- Circuito de mando consistente en tres pulsadores, y circuito de visualización de las tensiones de entrada y de salida del sistema proporcionadas por Arduino, consistente en un *display* y dos diodos led que indican cuando se llega a los límites de tensión establecidos. Un diodo led indica cuando se ha llegado al límite de tensión de entrada, y el otro diodo led indica cuando se llega al límite de tensión de salida.
- Diseño de una placa de circuito impreso (PCB) que contenga toda la circuitería, salvo el mismo Arduino, y directamente conectable a Arduino Uno.

Una vez diseñado el circuito, se medirán sus prestaciones en el simulador de Orcad y se compararán los resultados con los obtenidos teóricamente.

1.2. Plan de trabajo

El plan de trabajo a seguir será el que se muestra a continuación:

- Estudio de los diferentes tipos de convertidores elevadores - reductores.
- Elección del tipo de convertidor para que cumpla ciertos requerimientos.
- Estudio matemático del convertidor elegido.
- Elección del tipo de driver para el sistema de control.
- Elección del tipo de regulador lineal para alimentar a Arduino y al driver de control si fuera necesario.
- Se establecerán los límites de tensión de entrada del convertidor.
- Cálculo de los componentes necesarios para el convertidor y todo lo necesario para su funcionamiento.
- Cálculo de los valores teóricos del convertidor (corrientes, tensiones y potencias en puntos críticos del convertidor).
- Simulación del convertidor en Orcad.
- Análisis de los resultados obtenidos y comparación con los resultados teóricos.
- Se realizará el programa de control de Arduino para controlar al convertidor.
- Se realizará el diseño completo de la placa de circuito impreso.

1.3. Estructura

La estructura de este proyecto es la que a continuación se describe.

En primer lugar está la memoria del proyecto con sus distintos capítulos:

- En el capítulo 1 de la memoria se muestra una introducción del proyecto.
- En el capítulo 2 de la memoria se expondrán los distintos tipos de reguladores conmutados más comunes que existen, se describirán las shields de Arduino, se explicará que son las shields, y se realizará un resumen de las herramientas que van a ser utilizadas en este proyecto.
- El capítulo 3 de la memoria es el correspondiente a la implementación, en el cual se observará la estructura general del circuito con un pequeño análisis,

para luego separar el circuito en cada una de sus partes, es decir, circuito de potencia, circuito de control, y circuitos de mando y visualización, obteniendo en este capítulo los componentes necesarios para el montaje del circuito.

- En el capítulo 4 de la memoria se estudiará el funcionamiento del convertidor, comparando los resultados teóricos con los obtenidos a través de las simulaciones.
- El capítulo 5 de la memoria está dedicado a las conclusiones obtenidas después de analizar todos los resultados, y se darán unas ideas de trabajos futuros que se podrían obtener de este proyecto.

Posteriormente se muestra la bibliografía utilizada en este proyecto.

A continuación está el pliego de condiciones con sus diferentes partes:

- En la primera parte del pliego de condiciones se mostrarán las especificaciones del circuito.
- En la segunda parte del pliego de condiciones muestra el manual de usuario, en el que se dan ciertas pautas de cómo se debe usar el circuito, y que procedimientos seguir para el buen funcionamiento del mismo.
- En la tercera parte del pliego de condiciones se muestran las hojas de características de todos los componentes utilizados en el diseño del convertidor, y de todos los dispositivos auxiliares.

Después del pliego de condiciones se encuentra el apartado en el cual se muestra el programa de control usado en Arduino con algunas anotaciones.

Seguidamente está el apartado destinado a los planos, en el cual se muestra el esquema completo del sistema, el diagrama de ensamblaje del circuito impreso, el plano de las pistas de ambas caras de la placa de circuito impreso, el plano de los taladros de la placa de circuito impreso, y el diagrama con la información del diámetro de los taladros a realizar.

Finalmente se observa el presupuesto del proyecto, en el que en primer lugar se muestran las disposiciones legales de este proyecto, en la segunda parte se muestra el presupuesto de los materiales, en la tercera parte se muestra el presupuesto del

personal, y por último se muestra el resumen del presupuesto, en el cual se muestra el valor de este proyecto.

2. ESTADO DEL ARTE Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS

2.1. Reguladores de DC conmutados

Los convertidores DC – DC son circuitos electrónicos de potencia que se encargan de convertir una tensión de entrada DC a una tensión de salida DC, determinada por el usuario o requerimiento del sistema a alimentar. Estos circuitos tienen dispositivos activos que funcionan en conmutación y, por lo tanto, también son llamados reguladores de DC conmutados.

Existen muchos tipos de convertidores DC – DC, pero en este proyecto se repasarán los reguladores de DC elevadores – reductores, siendo estos los siguientes:

- Convertidor Buck – Boost
- Convertidor Cúk
- Convertidor SEPIC

En los capítulos siguientes se mostraran los distintos funcionamientos teóricos de cada uno de los convertidores enumerados anteriormente, mostrando algunos pros y contras de cada uno, y posteriormente se justificará la elección del tipo de convertidor que se utilizará en este proyecto. [2] [3] [4]

2.1.1. Convertidor Buck – Boost

El convertidor Buck – Boost es un convertidor de tipo elevador – reductor, es decir, la salida del convertidor puede ser mayor o menor que la tensión de entrada.

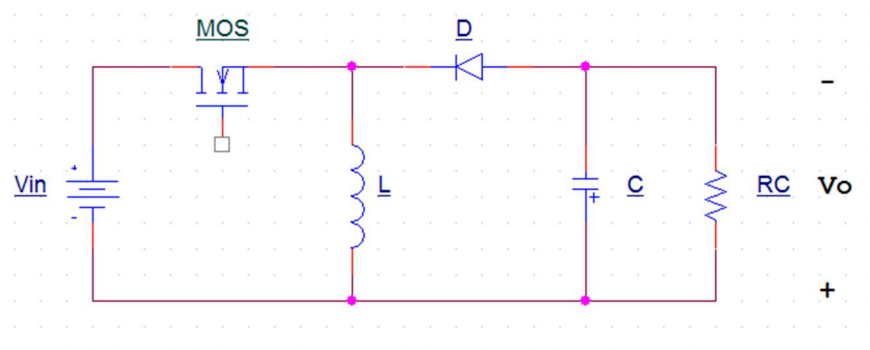


Figura 1. Convertidor Buck - Boost

En la figura 1 se muestra un esquema típico de este regulador. Cuando el transistor conduce, el diodo se polariza en inverso, de tal forma que toda la intensidad que produce la fuente de alimentación circula a través de la bobina, almacenándose energía linealmente en la misma hasta que el transistor deja de conducir, momento en el que el diodo pasa a polarización directa permitiendo la circulación de corriente a su través, y descargando la energía almacenada de la bobina hacia la carga.

El convertidor puede funcionar tanto en modo continuo como en modo discontinuo. En modo continuo el valor absoluto de la corriente en la bobina siempre está por encima del valor nulo, es decir, no pasa por 0, y en modo discontinuo la corriente en la bobina oscila entre un valor máximo y cero. En el caso del modo continuo, que es el caso que se estudia en este proyecto, la tensión de salida es

$$V_o = -V_{in} \left[\frac{D}{1-D} \right]$$

Este convertidor tal y como se puede observar en la figura 1, tiene polaridad inversa entre la entrada y la salida. [2] [3] [4]

2.1.2. Convertidor Cúk

El convertidor Cúk es un convertidor de tipo elevador – reductor, de modo que la salida del convertidor puede ser mayor o menor que la tensión de entrada.

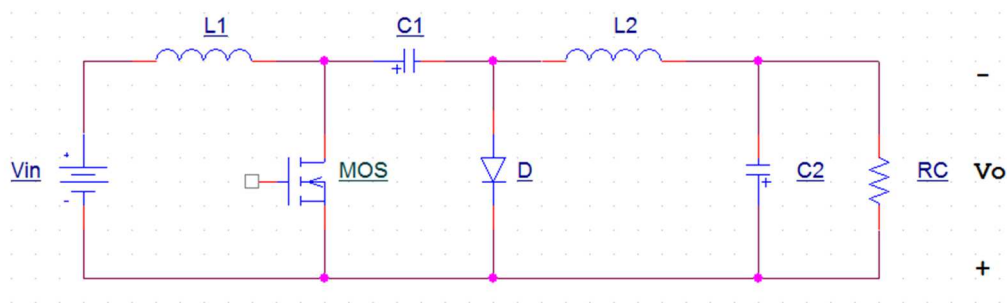


Figura 2. Convertidor Cúk

En la figura 2 se muestra la topología del convertidor Cúk, en el que se observa que aunque es un tipo de convertidor elevador – reductor, tiene diferencias con respecto al convertidor Buck – Boost, y una de las más significativas es la incorporación de una bobina en serie con la fuente de alimentación. Esta bobina actúa como un filtro que evita la existencia de un gran contenido en armónicos. A diferencia

del convertidor anterior, en el convertidor Cúk la transferencia de energía está asociada a un condensador, y más concretamente a $C1$, mientras que en el convertidor anterior estaba asociada a una bobina.

El funcionamiento de este convertidor suponiendo que el circuito está en régimen permanente, es decir, que los condensadores están cargados y las bobinas tienen energía almacenada es el siguiente; Cuando el transistor conduce, la corriente suministrada por la fuente pasa por la bobina y vuelve a la fuente directamente formando un circuito cerrado, y por otra parte, el diodo se polariza inversamente haciendo que el condensador $C1$ funcione como fuente del circuito formado por el condensador $C1$, el condensador $C2$, la bobina $L2$ y la resistencia de carga RC , produciendo una corriente a través de la carga y la bobina, suministrando energía tanto a la carga como a la bobina $L2$, la cual irá almacenando energía hasta el instante en el que el transistor deje de conducir. Cuando el transistor no conduce, la corriente de la fuente a través de $L1$ y la corriente producida por el almacenamiento de energía en la bobina $L2$, hacen que el diodo se polarice en directo funcionando como un cortocircuito, esto producirá una separación de dos circuitos, uno formado por la fuente de alimentación, la bobina $L1$ y el condensador $C1$, el cual se irá cargando, y otro circuito formado por el condensador $C2$, la bobina $L2$ y la resistencia de carga RC , en el cual la energía la suministra ahora la bobina $L2$, por lo que la tensión en la salida se demuestra que es de polaridad inversa a la de la fuente de alimentación. [2] [3] [4]

El convertidor puede funcionar tanto en modo continuo como en modo discontinuo. En modo continuo el valor absoluto de la corriente en la bobina $L2$ siempre está por encima del valor nulo, es decir, no pasa por 0, y en modo discontinuo la corriente en la bobina $L2$ oscila entre un valor máximo y cero. En el caso del modo continuo, que es el caso que se estudia en este proyecto, la tensión de salida es

$$V_o = -V_{in} \left[\frac{D}{1-D} \right]$$

El convertidor Cúk tiene polaridad inversa entre la entrada y la salida.

2.1.3. Convertidor SEPIC

El convertidor SEPIC es un convertidor de tipo elevador – reductor, de modo que la tensión de salida puede ser superior o inferior que la de entrada.

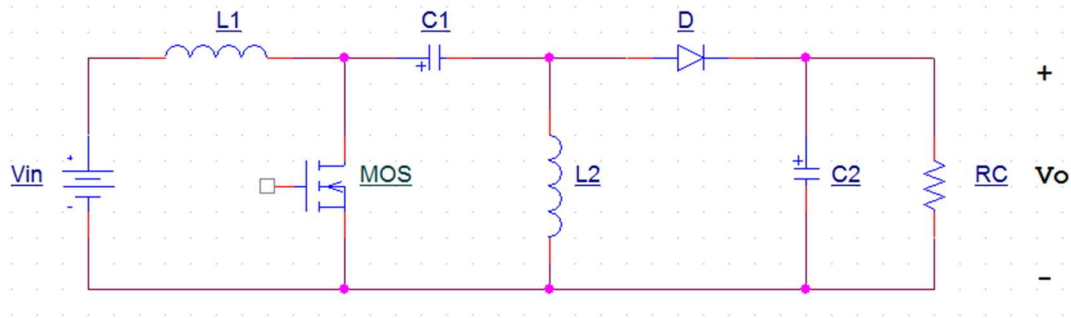


Figura 3. Convertidor SEPIC

En la figura 3 se muestra el esquema típico de un convertidor SEPIC (Single Ended Primary Inductance Converter), y se observa que es similar al convertidor Cúk pero con la diferencia de que la bobina $L2$ y el diodo D se intercambian el uno con el otro. Este cambio hace que la tensión de salida y la entrada tengan la misma polaridad.

La bobina $L1$ al igual que en el convertidor Cúk es un filtro que evita la existencia de una gran cantidad de armónicos que son producidos normalmente en este tipo de convertidores.

El funcionamiento del convertidor SEPIC en régimen permanente, es decir, con los condensadores cargados y las bobinas con energía almacenada es el siguiente; Cuando el transistor conduce, el circuito se divide en tres partes bien diferenciadas ya que el diodo está polarizado inversamente y este no conduce, un circuito formado por la fuente de alimentación en serie con la bobina $L1$, la cual irá almacenando energía, un segundo circuito formado por el condensador $C1$ en serie con la bobina $L2$, en el cual el condensador actúa como fuente, cediendo su energía a la bobina, y un tercer circuito formado por el condensador $C2$ y la resistencia de carga RC , en el cual la energía requerida en la carga es suministrada por el condensador $C2$.

Cuando el transistor no conduce, el diodo se polariza en directo a consecuencia de la suma de las corrientes producidas por la fuente de alimentación a través de la bobina $L1$ y el condensador $C1$, y la corriente proporcionada por la bobina $L2$ ya que

esta tiene energía almacenada en su interior. Una parte de esta corriente carga al condensador $C2$ para prepararlo para el siguiente ciclo en el que el transistor conduce, y otra parte de la corriente suministra la energía necesaria para la carga conectada. [2]

El convertidor puede funcionar tanto en modo continuo como en modo discontinuo. En modo continuo el valor absoluto de la corriente en la bobina $L2$ siempre está por encima del valor nulo, es decir, no pasa por 0, y en modo discontinuo la corriente en la bobina $L2$ oscila entre un valor máximo y cero. En el caso del modo continuo, que es el caso que se estudia en este proyecto, la tensión de salida es

$$V_o = V_{in} \left[\frac{D}{1-D} \right]$$

El convertidor SEPIC tiene la misma polaridad entre la entrada y la salida.

2.2. Arduino UNO

La versión de Arduino UNO es una placa de microcontrolador basada en ATmega328P, tiene 14 pines de entrada/salida digital (seis de las mismas se pueden usar como salidas de PWM), 6 entradas analógicas, un oscilador de 16 MHz, una conexión USB (para la programación y alimentación de la placa si no se dispone de otra fuente), y un conector específico para la alimentación, aparte de una serie de pines con funciones especiales. [1]

Las especificaciones técnicas de esta plataforma son las siguientes:

Características	Arduino Uno
Microcontrolador	ATmega328P
Tensión de funcionamiento	5 V
Voltaje de entrada (recomendado)	7 – 12 V
Voltaje de entrada (limite)	6 – 20 V
Pines de E / S digitales	14 (6 de ellos proporcionan salida PWM)
Pines de E / S digitales PWM	6
Pines de entrada analógica	6
Corriente CC por pin de E / S	20 mA
Corriente CC para pin de 3.3 V	50 mA
Memoria flash	32 KB de los cuales 0.5 KB son utilizados por el gestor de arranque
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Velocidad del reloj	16 MHz
LED_BUILTIN	13

Características	Arduino Uno
Longitud	68.6 mm
Anchura	53.4 mm
Peso	25 g

En la figura 4 se puede observar la distribución de todos los pines de los que dispone Arduino, y la disposición de los conectores tanto de alimentación como el USB.

Aunque el fabricante proporciona la forma de conexión para la alimentación de la placa que es: a través de la conexión USB, mediante el conector colocado expresamente, o mediante el pin Vin. Existe otra forma de conectarle alimentación exterior a través de la patilla de 5V (en el caso de que la alimentación se le proporcione según nos dice el fabricante este pin es de salida de 5V estables), pero en este caso hay que tener un especial cuidado ya que al dar alimentación por dicho pin, la tensión no pasa por el regulador que Arduino lleva incorporado, y por lo tanto, se debe asegurar que la tensión sea de 5V y totalmente estable, es decir, con el menor rizado posible.

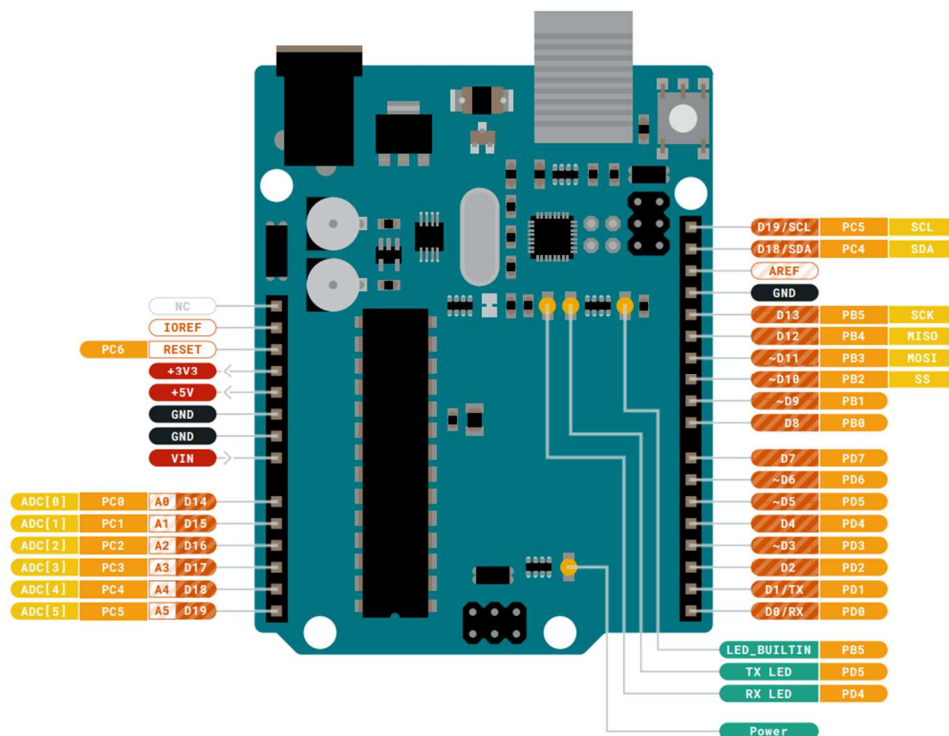


Figura 4. Diagrama de conexiones de Arduino UNO

2.3. Shields de Arduino

Una shield es una placa de circuito impreso diseñada de tal forma que se coloca sobre la placa Arduino y se conecta a ella mediante el acoplamiento de sus pines sin necesidad de ninguna otra conexión externa. El tamaño de la shield no tiene importancia, es decir, se denomina shield a cualquier placa a la que se conecte Arduino sin necesidad de conexiones auxiliares. Estas shield se utilizan para dar funcionalidades que la placa original de Arduino no es capaz de proporcionar, como por ejemplo, conexión a internet mediante WiFi, controlar motores paso a paso, etc. [5]

Algunas shield son apilables, es decir, se pueden colocar unas conectadas sobre las otras y a su vez colocadas sobre Arduino, siempre y cuando no se usen los mismos pines para las funcionalidades de las distintas shield, es decir, si una shield ocupa el pin 13 de Arduino como señal de datos, las demás shield que estén acopladas en ese momento no pueden usar ese pin (estos datos de las distintas entradas y salidas de cada shield nos la proporciona el fabricante, además de un tutorial de aplicación con un código de ejemplo).

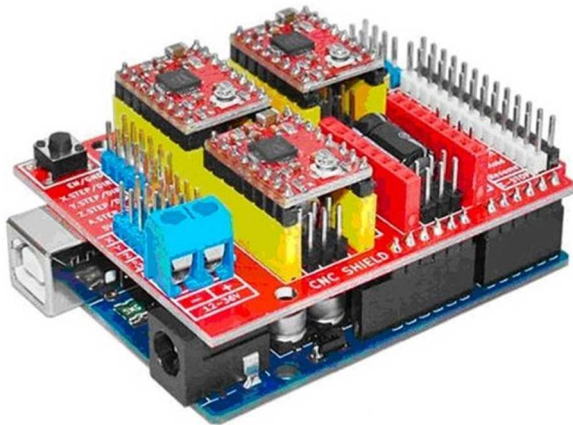


Figura 5. Shield para motores paso a paso

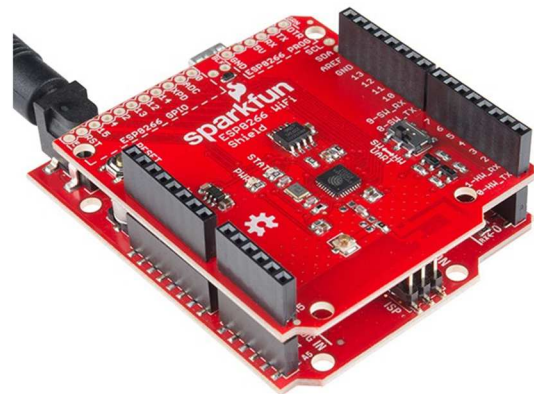


Figura 6. Shield para WiFi

En las figuras 5 y 6 se observan distintas shields para el modelo de Arduino Uno, y en concreto, en la figura 5 se muestra la shield para controlar motores paso a paso, mientras que en la figura 6 se muestra la shield para la funcionalidad de WiFi. También se observa que la shield de la figura 6 permite el acoplamiento de otras shields encima,

mientras que la shield de la figura 5 es una shield que no permite que se acoplen más shield encima.

En la figura 7 se muestran varias shields acopladas a Arduino a la misma vez. La única limitación que tiene Arduino a la hora de montar varias shields es la intensidad máxima que puede suministrar Arduino a dichas shields, que es de 500mA como máximo.

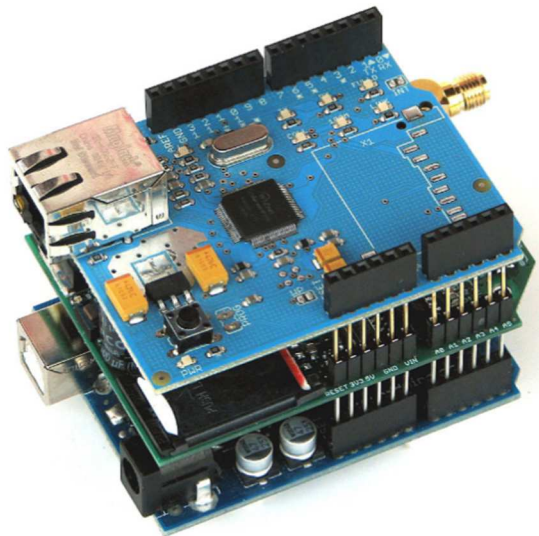


Figura 7. Arduino con varias shield acopladas

En este proyecto se diseñará una shield compatible con Arduino Uno, que consistirá en un regulador de DC reductor-elevador.

En el mercado existen infinidad de shields para Arduino con diversas funciones, pero en este caso nos centraremos en las shields de potencia. A continuación se presentan algunos modelos.

Power shield DFRobot [6]:

Se trata de un regulador reductor basado en el chip LM2596 que es un regulador Buck integrado, cuyas características de la shield son las siguientes.

- Tensión de entrada de 4.5 – 35V
- Tensión de salida de 1.25 – 12V

- Corriente de salida 2A (pico de 3A)
- Potencia máxima de salida: 15W, 3A @ 5V
- La tensión de salida se regula mediante un potenciómetro

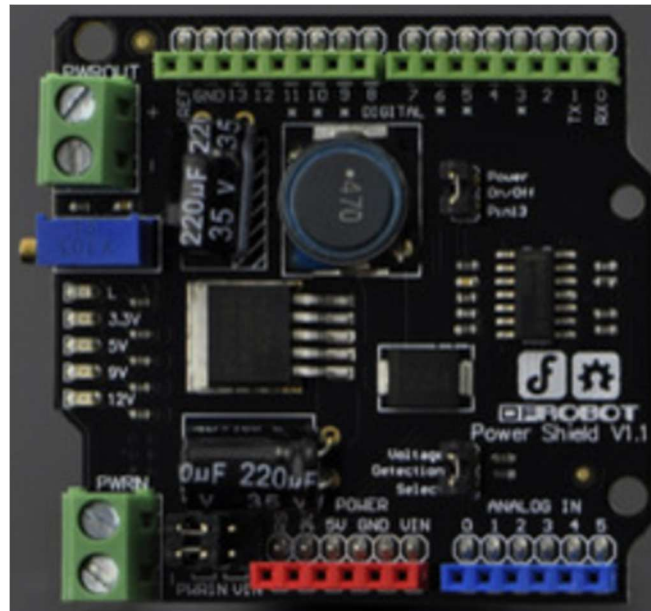


Figura 8. Power shield DFRobot

Arduino MKR motor carrier [7]:

Es una shield diseñada para controlar motores de servo, motores DC y motores paso a paso. Sus características son las siguientes.

- Cuenta con dos reguladores de motor MC33926 para el control de motores de CC.
- Tiene dos controladores DRV8871 que se controlan desde un microcontrolador incorporado que se comunica con Arduino.
- Tensión nominal de 6.5 – 11.1V.
- Corriente máxima (MC33926) de 5A de pico.
- Corriente máxima (DRV8871) de 3A de pico.
- Protección de corriente inversa.

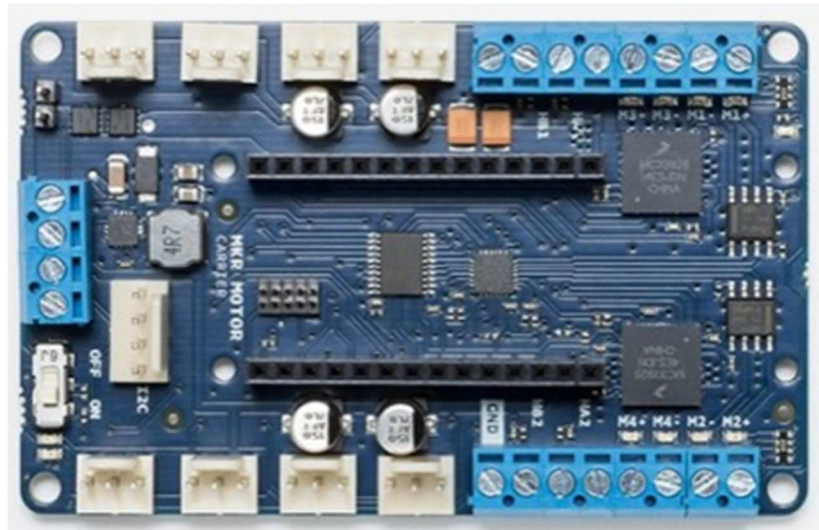


Figura 9. Arduino MKR motor carrier

Solar charger Shield V2.2 [8]:

Es una shield diseñada para que Arduino sea autónomo proporcionando la energía necesaria a través de una placa solar o una batería que se carga con dicha placa. Sus características son las siguientes.

- Tensión de entrada de la batería de 3 – 4.5V.
- Tensión de entrada del panel solar de 4.8 – 6V.
- Potencia de salida máxima (con batería) de 3W (600mA a 5V).
- Corriente de carga continua de hasta 900mA.
- Protección contra cortocircuitos.
- Conector micro-USB.

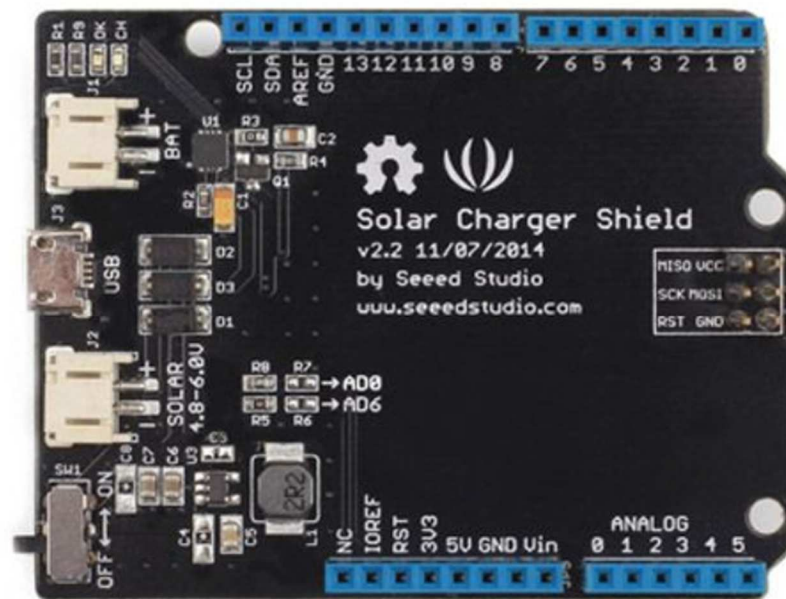


Figura 10. Solar charger shield V2.2

Synthetos gShield V5 [9]:

Es una shield para controlar una máquina CNC de 3 ejes con motores paso a paso. Sus características son las siguientes.

- Corriente de salida de 2.5A por motor.
- Tensión de entrada de 12 – 30V.
- Cuenta con 3 controladores DRV8818.

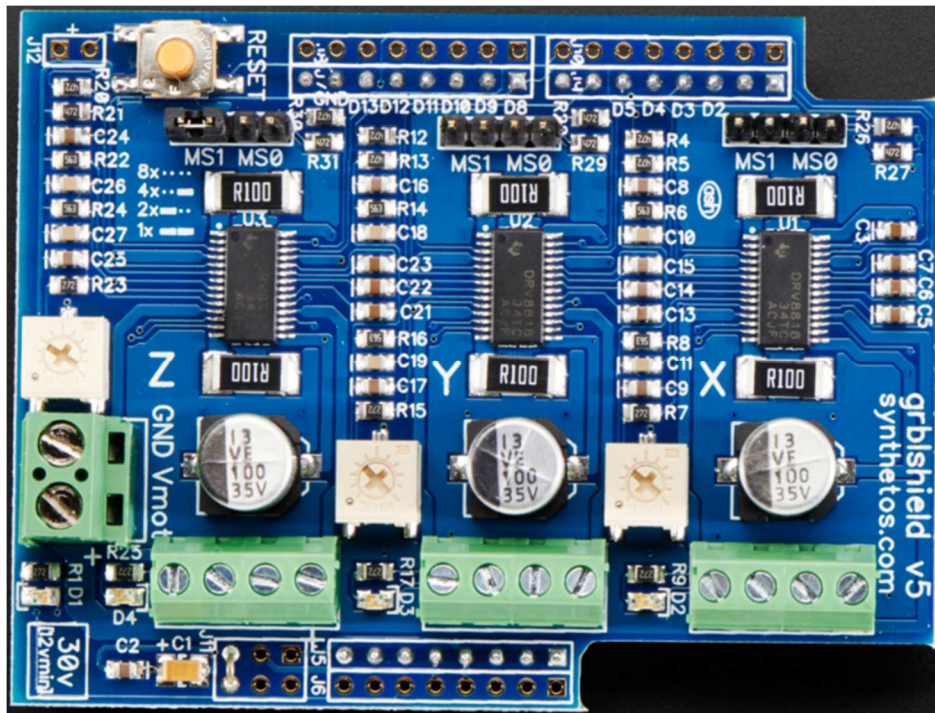


Figura 11.Synthetos gShield V5

2.4. Reguladores comerciales autocontrolados

Existen reguladores elevadores - reductores en el mercado que no se controlan mediante la plataforma de Arduino. A continuación se presentan algunos modelos.

Verter 5V USB Buck – Boost [10]

Es un regulador Buck – Boost basado en el chip TPS63060 de Texas Instruments que es un regulador Buck – Boost integrado. Sus características son las siguientes.

- Tensión de entrada de 3 – 12V
- Tensión de salida de 5V
- Corriente de salida de hasta 1A

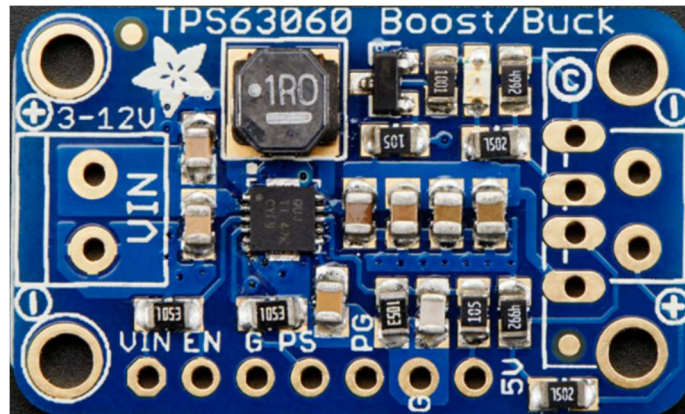


Figura 12. Verter 5V USB Buck – Boost.

Convertidor DC – DC XL6009 Buck – Boost [11]

Es un regulador Buck – Boost basado en el chip XL6009 que es un regulador Buck – Boost integrado. Sus características son las siguientes.

- Tensión de entrada de 3.8 – 32V
- Tensión de salida de 1.25 – 35V
- Corriente de salida de hasta 3A
- La tensión de salida se regula mediante un potenciómetro

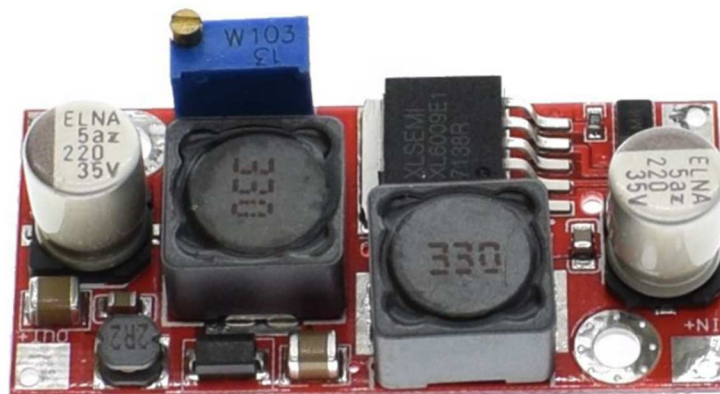


Figura 13. Convertidor DC – DC XL6009 Buck – Boost.

2.5. Herramientas utilizadas

Las herramientas y programas que se van a utilizar en este proyecto serán:

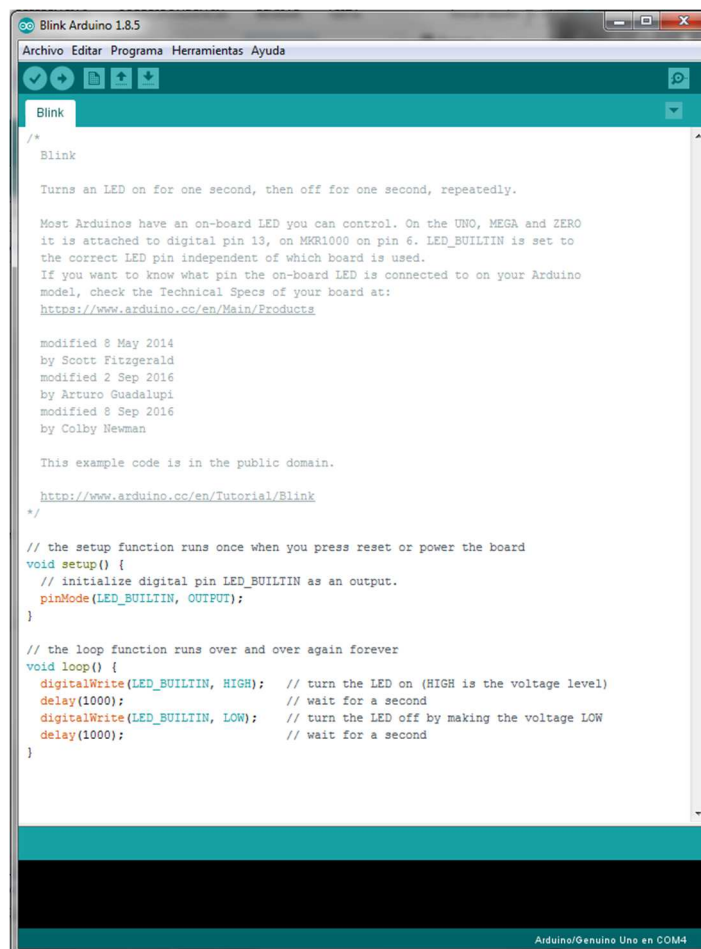
- Arduino Uno para el control del convertidor.

- Software de programación de Arduino.
- Software de simulación y diseño de circuitos electrónicos, que en nuestro caso será Cadence Orcad.
- Bibliotecas auxiliares para el programa de Arduino.

Todas las herramientas y programas serán descritos a continuación.

2.5.1. Software de programación de Arduino

El entorno de desarrollo integrado (IDE) es una aplicación multiplataforma que hace que sea muy fácil escribir el código y luego subirlo a la placa sin ningún tipo de hardware adicional. El entorno está escrito en java y se basa en Processing (lenguaje de programación y entorno de código abierto) y otros software de código abierto. [1]

The image shows a screenshot of the Arduino IDE window titled "Blink Arduino 1.8.5". The window has a menu bar with "Archivo", "Editar", "Programa", "Herramientas", and "Ayuda". Below the menu bar is a toolbar with icons for file operations and a search icon. The main area displays the code for the "Blink" example. The code is enclosed in a multi-line comment block that describes the function and provides a link to the Arduino website. Below the comment, there is a "setup()" function that initializes the LED pin and a "loop()" function that turns the LED on and off with a one-second delay. The status bar at the bottom right indicates "Arduino/Genuino Uno en COM4".

```
/*
  Blink

  Turns an LED on for one second, then off for one second, repeatedly.

  Most Arduinos have an on-board LED you can control. On the UNO, MEGA and ZERO
  it is attached to digital pin 13, on MKR1000 on pin 6. LED_BUILTIN is set to
  the correct LED pin independent of which board is used.
  If you want to know what pin the on-board LED is connected to on your Arduino
  model, check the Technical Specs of your board at:
  https://www.arduino.cc/en/Main/Products

  modified 8 May 2014
  by Scott Fitzgerald
  modified 2 Sep 2016
  by Arturo Guadalupi
  modified 8 Sep 2016
  by Colby Newman

  This example code is in the public domain.

  http://www.arduino.cc/en/Tutorial/Blink
*/

// the setup function runs once when you press reset or power the board
void setup() {
  // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
}

// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000); // wait for a second
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000); // wait for a second
}
```

Figura 14. Entorno de programación de Arduino

En la figura 14 se puede observar el entorno de programación IDE de Arduino.

La configuración inicial para establecer la comunicación entre Arduino y el PC es tan fácil como conectar Arduino mediante USB, el PC lo detecta automáticamente, y solo se tiene que seleccionar en el software de Arduino el modelo de Arduino que se va a utilizar y el puerto en el que está conectado. Esto se realiza desde la pestaña de herramientas.

Una vez realizado el programa solo hay que compilarlo y subirlo a Arduino solo pulsando el tick presente en el software (para compilarlo), y luego en la flecha que está a continuación, tal y como puede observarse en la figura 14.

2.5.2. Software de simulación y diseño de circuitos electrónicos

El software de simulación y diseño que se usará en este proyecto será la suite de Orcad, que es un conjunto de herramientas de diseño y simulación de circuitos electrónicos con la posibilidad de realizar el diseño del circuito impreso, y cuyo desarrollador es Cadence Design Systems, Inc. [12]

Orcad es un software para automatización de diseño electrónico y permite la creación de esquemas electrónicos, elaborar esquemas de circuito impreso y la creación de la placa de circuito impreso, para la posterior generación de los archivos correspondientes para que el fabricante pueda realizar el montaje completo de dicha placa. En nuestro caso, como no se le enviarán los datos a ningún fabricante y la creación de la placa se realizará artesanalmente, se mostraran en el capítulo de Planos los diseños correspondientes para poder fabricar dicho circuito.

En este proyecto se utilizarán principalmente tres programas de esta suite de Orcad que serán:

- Orcad Capture. Es el software de diseño de esquemas electrónicos que permite elegir todos los componentes necesarios y seleccionando los valores adecuados de cada uno de ellos.
- Orcad Pspice. Es el software encargado de la simulación y análisis del circuito electrónico, en el cual se pueden realizar simulaciones teniendo en cuenta distintos parámetros de funcionamiento del circuito, realizar análisis paramétricos de los componentes, tiempos de simulación, etc.

- Orcad PCB Designer. Es el software de diseño de la placa de circuito impreso del cual se obtienen los diagramas necesarios para poder montar el circuito. Este software permite crear restricciones para que las pistas del circuito no se toquen entre sí, e incluso es capaz de realizar el diseño de las pistas automáticamente.

Estos tres programas, al formar parte de la suite de Orcad, están completamente integrados entre sí, es decir, si en el diseño del esquema electrónico se escogen componentes electrónicos de los cuales Orcad tenga sus dimensiones, al pasar el diseño a PCB Designer sólo habrá que crear las pistas de la placa del circuito impreso. En caso de que algún componente no esté en la lista de componentes de Orcad, se puede crear el componente desde cero sin ningún problema.

2.5.3. Bibliotecas auxiliares para variar la frecuencia del PWM de Arduino

En este proyecto se necesitarán utilizar algunas bibliotecas que ya están creadas por otros usuarios para el correcto funcionamiento del convertidor, ya que se necesita modificar la frecuencia del PWM que genera Arduino.

La modulación por ancho de pulso o PWM, es una técnica que se utiliza para obtener resultados analógicos con medios digitales. El control digital se usa para crear una onda cuadrada, de valores de 0V cuando está apagado y 5V cuando está encendido. Al establecer un tiempo de encendido y otro tiempo de apagado manteniendo la frecuencia del ciclo, se puede obtener una tensión media que varía de 0 a 5V, obteniendo así la tensión deseada. [1]

En la figura 15 se muestra un gráfico en el que se observa cómo se realiza la modulación por ancho de pulso en Arduino, y la función a utilizar para que funcione.

Si el ciclo de trabajo es del 0%, se obtiene la tensión media de 0 V, en el caso del 25% del ciclo de trabajo se obtendrían 1.25V, si el ciclo de trabajo es del 50% la tensión media sería de 2.5V, y así respectivamente.

La frecuencia necesaria de la onda cuadrada para nuestra aplicación debe ser lo más elevada posible para poder reducir el valor de los componentes, es decir, a mayor frecuencia de onda, menores pueden ser los valores de los condensadores y

de las bobinas a utilizar en el convertidor. La frecuencia del PWM que genera Arduino está establecido por defecto una frecuencia de 490Hz para los pines 3, 9, 10 y 11, y una frecuencia de 980Hz para los pines 5 y 6. Se tiene el inconveniente de que aunque se modifiquen los registros internos de Arduino, este no puede elevar la frecuencia más de 62.5kHz, ya que la frecuencia del reloj interno es de 16 MHz y este valor hay que dividirlo por la resolución del temporizador que en este caso se escogería el de 8 bits de resolución, dando como resultado los 62.5kHz. Para el control del convertidor esta frecuencia es muy baja, ya que los valores de los componentes serían muy elevados y estos disminuyen al aumentar la frecuencia, por lo tanto, para el diseño que se va a realizar se utilizarán bibliotecas auxiliares para poder modificar los timer internos. Aunque se utilicen ciertas bibliotecas no se podría llegar con seguridad a trabajar con frecuencias de 1 MHz, por lo tanto, en nuestra aplicación se fijará la frecuencia del PWM en 500 KHz, y la salida será por el pin D9 que tiene una resolución de 8 bits.

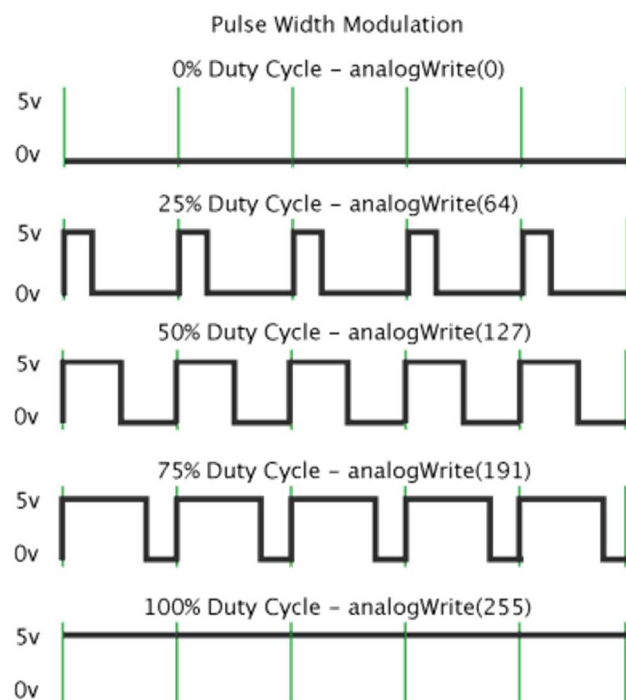


Figura 15. Variación de la anchura de pulso en función del ciclo de trabajo

La biblioteca que se va a usar es una biblioteca que permite aumentar la frecuencia de la modulación por ancho de pulso o PWM tal y como se explicará más adelante en los siguientes capítulos. Esta biblioteca se ha obtenido de un foro de

Arduino [13] en el cual hay una explicación del funcionamiento de la biblioteca y el enlace para la descarga de la misma, y para su correcto funcionamiento hay que importar dicha biblioteca al software de programación de Arduino. En el capítulo dedicado al manual de usuario se darán los pasos a seguir para importar dicha biblioteca.

La principal característica de esta biblioteca es que podemos modificar la frecuencia de todos los temporizadores internos de Arduino excepto el temporizador 0 (controla los pines 5 y 6) que es el que se encarga generalmente para las funciones de mantenimiento del tiempo en Arduino, es decir, los `delay()` y las funciones `millis()` y `micros()`.

Esta biblioteca permite la variación de la frecuencia del temporizador 1 (controla los pines 9 y 10) y temporizador 2 (controla los pines 11 y 3) desde una frecuencia de 31Hz – 2MHz.

De todas las funciones que tiene la biblioteca en este proyecto se usarán las siguientes.

- `InitTimersSafe()`; Esta función inicializa todos los temporizadores excepto el temporizador 0.
- `SetPinFrequencySafe(pin, frecuencia)`; Establece la frecuencia del pin.
- `pwmWrite(pin, valor)`; Escribe el valor analógico en el pin. Funciona igual que `analogWrite` pero `pwmWrite` sólo funciona con los temporizadores inicializados.

3. IMPLEMENTACIÓN

El tipo de convertidor elegido es el convertidor SEPIC ya que es reductor-elevador, no tiene la polaridad inversa entre la entrada y la salida, de forma que la masa de la entrada puede ser la misma que la masa de la salida evitando así los problemas de conexionado, y además dispone de un filtro de armónicos a la entrada.

En los siguientes apartados se realizará el análisis matemático de este tipo de convertidor y se profundizará en el modo en el que se controlará la señal de puerta del transistor, y demás circuitos o componentes a instalar para el buen diseño del convertidor.

3.1. Estructura general del hardware

En la figura 16 se observa el esquema de bloques general del sistema completo, en la cual se observa que deseamos que el sistema sea autónomo y no necesitará ninguna fuente externa además de la fuente de alimentación general.

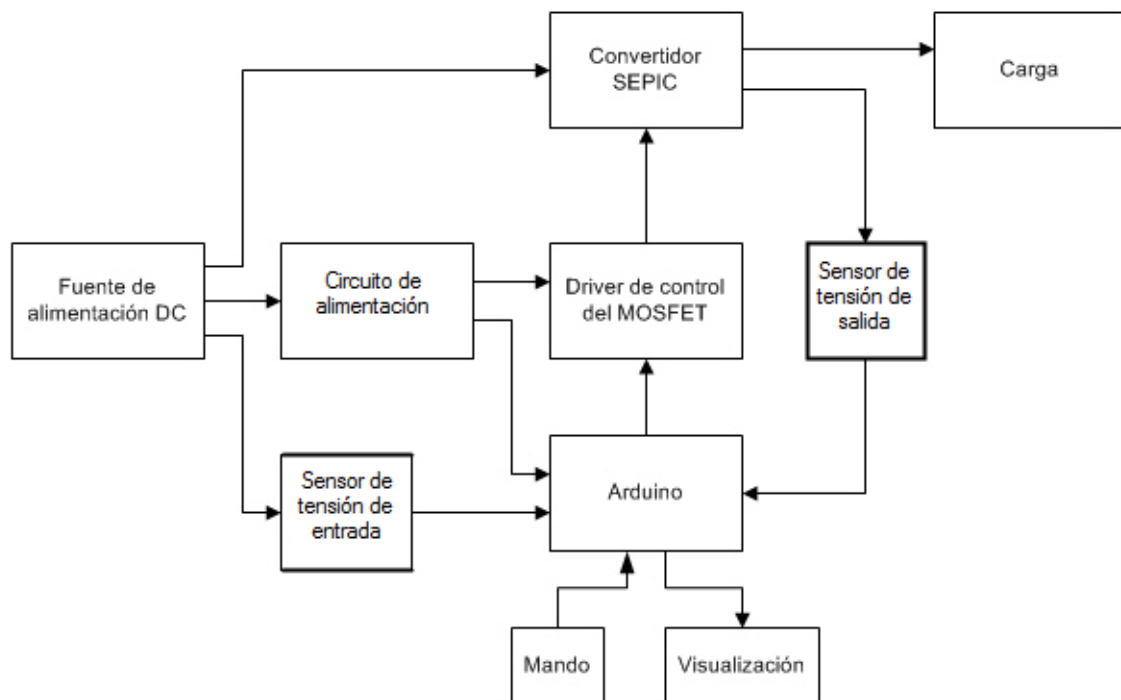


Figura 16. Esquema de bloques del sistema completo

En el esquema de la figura 16 se puede observar que la tensión con la que se alimentará al circuito, suministrará energía al convertidor, al circuito de alimentación y al sensor de tensión de entrada.

El circuito de alimentación proporciona una tensión estable para alimentar a Arduino y al driver de control del MOSFET.

Arduino tiene como entradas los sensores de tensión y el circuito de mando, y como salidas tiene las correspondientes al circuito de visualización y la salida del PWM que se conecta al driver de control del MOSFET.

El convertidor es el encargado de suministrar la energía necesaria a la carga y a su vez es controlado mediante el driver de control del MOSFET.

3.2. Circuito de alimentación

En la aplicación del convertidor que se realizará en este proyecto, la tensión de entrada que nos proporcionará la fuente se podrá variar entre unos valores que se determinarán en este capítulo, pero siempre será en corriente continua.

Como en esta aplicación se pueden tener tensiones superiores a las recomendadas por el fabricante de Arduino y no se desea que Arduino esté siempre conectado al PC mediante USB, ni tener fuentes de alimentación extras, y además sería también interesante que el driver de control del MOSFET no consuma la corriente a través de Arduino, se ha decidido utilizar un regulador lineal de tensión en circuito integrado para reducir el tamaño total de nuestro convertidor. Este regulador lineal es el 7805, que nos proporciona una tensión de salida de 5V con una intensidad máxima de 1A.

En general los reguladores lineales son circuitos integrados de tres terminales que proporcionan tensiones de salida positivas o negativas que pueden ser fijas o variables. De estos tres terminales, uno de ellos es para la tensión de entrada no regulada, el segundo de ellos es para la masa (que también comparte con la superficie que se conecta al disipador, por lo tanto, hay que tenerlo en cuenta a la hora de diseñar), y el tercer terminal es para la salida regulada. [14]

A este regulador hay que instalarle un disipador de calor para asegurarse de que no habrá problemas de calentamiento del componente electrónico. Este cálculo se realizará junto a los demás cálculos de los componentes en sucesivos capítulos.

El fabricante en la hoja de características nos indica que la potencia máxima que puede suministrar este regulador es de 15W y 1A, por lo que la tensión máxima que se puede suministrar a la entrada es

$$P_{regulador} = (V_{in\ máx.} - 5V) * I$$

$$V_{in\ máx.} = \frac{P_{regulador}}{I} + 5V = \frac{15W}{1A} + 5V$$

$$V_{in\ máx.} = 20V$$

Al elegir este regulador lineal se tiene definida la tensión mínima que vamos a poder suministrar al convertidor, ya que el fabricante indica que la tensión de entrada tiene que ser de al menos 8V, y la máxima la vamos a fijar a conveniencia, pero sin llegar al máximo permisible por el regulador lineal. En este caso ya podemos definir el rango de tensión que se va a suministrar y va a ser desde 8V hasta 20V.

En la figura 17 se muestra el circuito de alimentación.

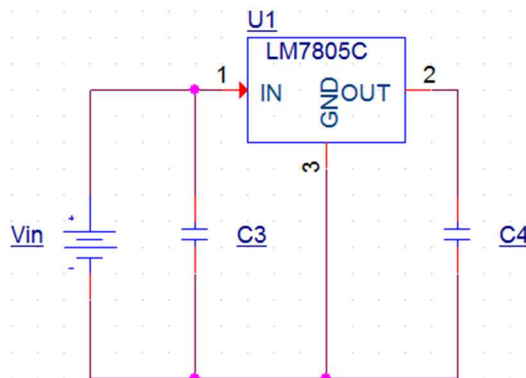


Figura 17. Circuito de alimentación basado en el regulador integrado 7805

El valor de los condensadores nos lo proporciona el fabricante y son los siguientes: $C3=330nF$ y $C4=100nF$.

3.3. Circuitos de control

3.3.1. Sensores de tensión

El control del convertidor se va a realizar mediante Arduino UNO, pero para que este dispositivo pueda realizar el control del circuito de forma efectiva, hay que realizar ciertos ajustes tales como colocar dos divisores de tensión a modo de sensor con los valores adecuados en las resistencias, para que no modifique el funcionamiento del convertidor, uno en paralelo a la fuente de alimentación, y otro divisor en paralelo a la carga. Estos divisores son necesarios porque Arduino sólo permite tensiones en sus entradas analógicas desde 0 hasta 5V, y se necesita que Arduino conozca en todo momento tanto la tensión de entrada al convertidor, como la tensión a la salida del mismo. Los divisores de tensión se muestran en las figuras 18 y 19.

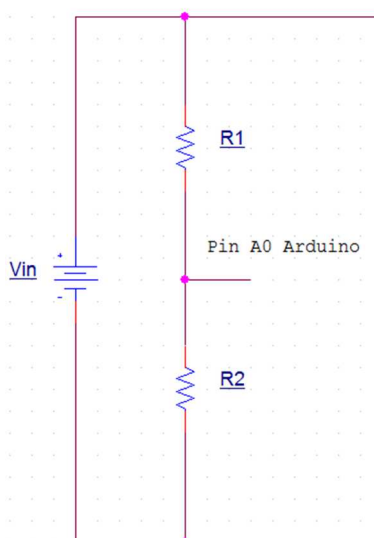


Figura 18. Sensor de tensión de entrada

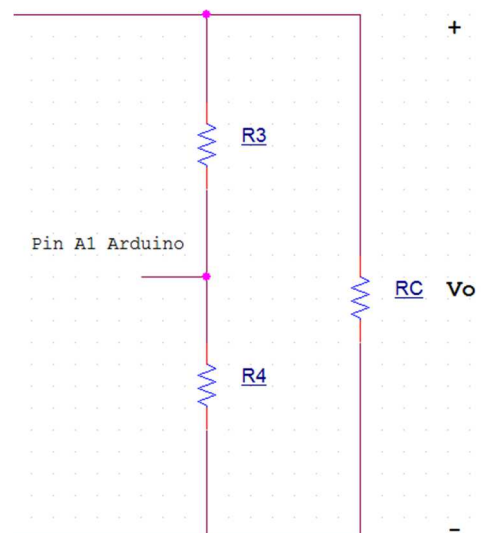


Figura 19. Sensor de tensión de salida

Para calcular las resistencias del divisor se tienen que tener en cuenta ciertas consideraciones, tales como la tensión máxima que se suministrará a Arduino, y que no se pueden modificar las características generales del convertidor, por lo tanto, se sabe que la tensión máxima que se puede suministrar a Arduino es de 5V, y para no modificar el convertidor se tiene que tener una alta impedancia, así que consideramos que $R1=R3=1\text{M}\Omega$ y sabiendo que la tensión máxima que se suministrará al convertidor será de 20V, de esta forma se tiene que

$$\frac{V_{in\ max}}{R1 + R2} * R2 = V_{(max\ Arduino)}$$

$$R2 = \frac{V_{(max\ Arduino)} * R1}{V_{in\ max} - V_{(max\ Arduino)}}$$

$$R2 = \frac{5V * 1M\Omega}{20V - 5V} \rightarrow R2 = 333.33k\Omega$$

Una vez obtenido el valor de la resistencia $R2$, se observa que este valor no es un valor comercial, por lo tanto, para que la tensión no sea superior al máximo permitido por Arduino, se elegirá un valor de $R2=270k\Omega$.

Con el valor de la resistencia elegido, se comprobará qué tensión máxima que se le suministrará a Arduino

$$V_{(max\ Arduino)} = \frac{V_{in\ max}}{R1 + R2} * R2$$

$$V_{(max\ Arduino)} = \frac{20V}{1M\Omega + 270k\Omega} * 270k\Omega$$

$$V_{(max\ Arduino)} = 4.2519V$$

Siendo la tensión mínima que se suministrará a Arduino de $0V$.

La intensidad máxima que circulará por el divisor de tensión será de

$$I_{max\ divisor} = \frac{V_{in\ max}}{R1 + R2} = \frac{20V}{1M\Omega + 270k\Omega} = 15.74\mu A$$

De este modo se puede comprobar que el sensor de tensión de entrada no modificará el circuito ya que la intensidad máxima que circulará por él será muy pequeña, y siendo sus resistencias $R1=1M\Omega$ y $R2=270k\Omega$.

Ahora se calculará el sensor de tensión de salida

$$\frac{V_o\ max}{R3 + R4} * R4 = V_{(max\ Arduino)}$$

$$R4 = \frac{V_{(max\ Arduino)} * R3}{V_o\ max - V_{(max\ Arduino)}}$$

$$R4 = \frac{5V * 1M\Omega}{30V - 5V} = 200k\Omega$$

Una vez obtenido el valor de la resistencia $R4$, se observa que este valor no es un valor comercial, por lo tanto, para que la tensión no sea superior al máximo permitido por Arduino, se elegirá un valor de $R4=180k\Omega$.

Con la resistencia seleccionada, se va a proceder a calcular la tensión máxima que se suministrará a Arduino

$$V_{(max\ Arduino)} = \frac{V_o\ max}{R3 + R4} * R4$$

$$V_{(max\ Arduino)} = \frac{30V}{1M\Omega + 180k\Omega} * 180k\Omega = 4.576V$$

Siendo la tensión mínima que se suministrará de $0V$.

La intensidad máxima que circulará por el divisor será

$$I_{max\ divisor} = \frac{V_o\ max}{R3 + R4} = \frac{V_o\ max}{R3 + R4}$$

$$I_{max\ divisor} = \frac{30V}{1M\Omega + 180k\Omega} = 25.42\mu A$$

Al igual que en el otro sensor de tensión, en este también se comprueba que el sensor de tensión de salida no modifica el circuito, siendo los valores de las resistencias $R3=1M\Omega$ y $R4=180k\Omega$.

3.3.2. Driver de control del MOSFET

Arduino proporciona una corriente máxima de 40 mA en cada salida analógica, siendo el máximo recomendable 20 mA, y en el caso de que el convertidor se conecte antes de que Arduino ejecute el programa, es posible que haya problemas en la puerta del transistor MOSFET como por ejemplo, tensiones flotantes en las que se desconoce que podría pasar en el circuito, e incluso si en la entrada del convertidor la tensión es alta, se podría quemar algún componente, por lo tanto, para evitar estos inconvenientes se le conectará un driver de control (figura 20).

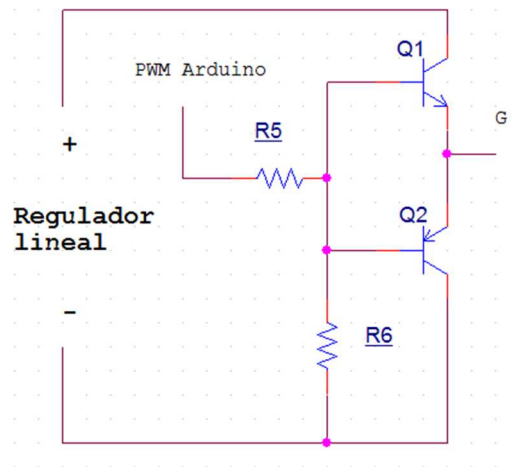


Figura 20. Driver de control para el transistor mosfet

Este driver se denomina push-pull o doble seguidor de emisor y consiste en dos transistores bipolares complementarios (un transistor PNP y otro NPN) acoplados. Cuando la salida PWM de Arduino está en nivel alto, $Q1$ conduce y $Q2$ no conduce, haciendo que la el valor tensión del regulador lineal esté en la puerta del MOSFET permitiendo que este conduzca. Cuando la salida, PWM de Arduino está en nivel bajo, $Q1$ no conduce y $Q2$ conduce, eliminando la carga de la puerta y esto hace que el MOSFET deje de conducir. [2] [15]

La resistencia $R5$ es para limitar la corriente de salida de Arduino, mientras que la resistencia $R6$ es para asegurar que en la base de los transistores bipolares no haya tensiones flotantes. Como la resistencia $R6$ sólo es necesaria para evitar las tensiones flotantes y no debe interferir con el trabajo de los transistores, se fija el valor de la resistencia $R6=220k\Omega$. La corriente que debe suministrar Arduino a los transistores es muy pequeña, por lo que se supone una intensidad máxima de $5mA$, siendo la tensión que suministra Arduino en el PWM de $5V$, y la tensión base – emisor (V_{BE}) de los transistores de $0.6V$, se obtiene una resistencia $R5$ con un valor de:

$$R5 = \frac{V_{Arduino} - V_{BE}}{I_{Arduino}} = \frac{5V - 0.6V}{5mA} = 880\Omega$$

El valor de esta resistencia no es un valor comercial por lo que se elige un valor superior. Los valores de estas resistencias estarán alrededor de unos valores tales que $R5 \ll R6$, de modo que los valores se fijan finalmente a $R5=1k\Omega$ y $R6=220k\Omega$. Para

el cálculo de la resistencia $R5$ se ha despreciado la corriente que circula por la resistencia $R6$, ya que como se demostrará a continuación es insignificante, pero primero se comprobará que intensidad suministra Arduino

$$I_{Arduino} = \frac{V_{Arduino} - V_{BE}}{R5} = \frac{5V - 0.6V}{1k\Omega} = 4.4mA$$

$$I_{R6} = \frac{V_{BE}}{R6} = \frac{0.6V}{220k\Omega} = 2.727\mu A$$

Se observa que la intensidad que suministra Arduino es de $4.4mA$ mientras que la intensidad que circula por la resistencia $R6$ es de $2.727\mu A$, por lo que se demuestra que la intensidad que circula por la resistencia $R6$ no es significativa en el funcionamiento normal del circuito.

Para este driver los transistores deben de ser lo suficientemente rápidos para evitar retrasos en la conmutación del MOSFET, y poder suministrar la corriente necesaria para cargar la puerta del MOSFET. En este caso los transistores elegidos son el **2N2222** y su complementario el **2N2907**, que en circuito se muestran como $Q1$ y $Q2$ respectivamente. Estos transistores son lo suficientemente rápidos para que no existan pérdidas considerables durante la conmutación, soportan suficiente corriente para poder alimentar sin problemas al transistor MOSFET, y son relativamente fáciles de encontrar en el mercado. El transistor 2N2222 es un BJT de tipo NPN, y el transistor 2N2907 es un BJT de tipo PNP, que al ser complementarios el uno con el otro, no tienen diferencias en los tiempos de conmutación.

El control del ciclo de trabajo se realizará mediante la conmutación por modulación por ancho de pulso (PWM) a través de Arduino.

3.4. Circuito de potencia

3.4.1. Análisis matemático del convertidor SEPIC

Anteriormente se ha descrito el funcionamiento de este convertidor, pero ahora se van a obtener las ecuaciones matemáticas que describen el funcionamiento del convertidor. En la figura 21 se muestra el circuito de potencia. [2]

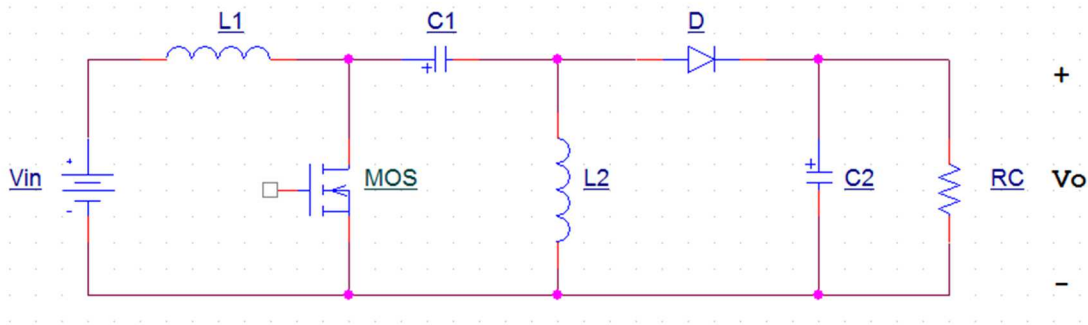


Figura 21. Convertidor SEPIC

Para obtener la relación de tensiones entre la entrada y la salida se realizarán las siguientes suposiciones:

- Las bobinas tienen un valor de inducción muy elevado y las corrientes en ellas son constantes.
- La capacidad de los condensadores es muy grande y las tensiones en ellos es constante.
- El transistor y el diodo son ideales.
- El circuito está en régimen permanente.
- Si el ciclo de trabajo es D , el transistor conduce un tiempo DT y no conducirá el resto del tiempo, $(1-D)T$.

Si se aplica la ley de Kirchhoff en la rama de V_{in} , $L1$, $C1$, y $L2$ de la figura 21 para poder obtener la tensión en el condensador $C1$, se obtiene:

$$-V_{in} + v_{L1} + v_{C1} - v_{L2} = 0$$

Si se usa la tensión media,

$$-V_{in} + 0 + V_{C1} - 0 = 0$$

Se observa que la tensión media en el condensador $C1$ es

$$V_{C1} = V_{in}$$

Cuando el transistor conduce se observa que la figura 21 se transforma en la figura 22, asumiendo que el diodo no conduce.

La tensión en la bobina $L1$ en el intervalo DT es

$$V_{L1} = V_{in}$$

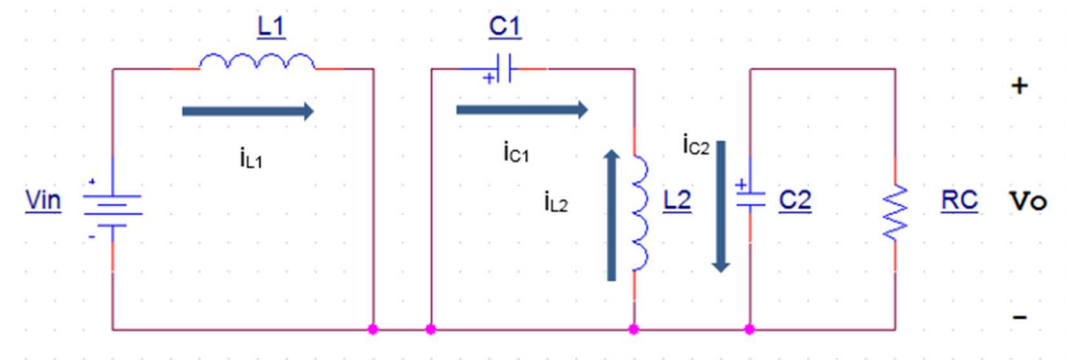


Figura 22. Convertidor SEPIC cuando el transistor conduce

Cuando el transistor deja de conducir, la figura 21 se transforma en la figura 23.

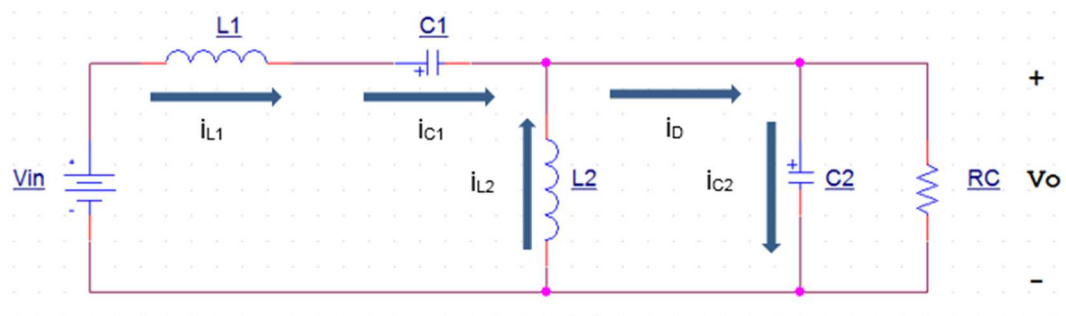


Figura 23. Convertidor SEPIC cuando el transistor no conduce

Como se desea obtener la tensión en la bobina L1, al momento de dejar de conducir el transistor, el diodo se polariza directamente y conduce como un cortocircuito ya que se considera ideal, por tanto la ley de Kirchoff proporciona como resultado

$$-V_{in} + v_{L1} + v_{C1} + V_0 = 0$$

Si como se ha demostrado anteriormente $V_{C1}=V_{in}$, para el intervalo $(1-D)T$ se obtiene

$$-V_{in} + v_{L1} + V_{in} + V_0 = 0$$

$$v_{L1} = -V_0$$

Como la tensión promedio en la bobina es cero para un ciclo periódico y combinando las ecuaciones obtenidas anteriormente

$$(v_{L1,swcerrado})(DT) + (v_{L1,swabierto})(1-D)T = 0$$

$$V_{in}(DT) - V_0(1-D)T = 0$$

Si D es el ciclo de trabajo, la tensión de salida en función de la tensión de entrada es

$$V_0 = V_{in} \left(\frac{D}{1-D} \right)$$

Si se desea obtener el ciclo de trabajo en función de la tensión de entrada y de salida

$$D = \frac{V_0}{V_0 + V_{in}}$$

Asumiendo que no existen pérdidas en el convertidor, ya que se está suponiendo ideal, la potencia que suministra la fuente tiene que ser la misma que absorbe la carga

$$P_{in} = P_0$$

Como la fuente de alimentación es de corriente continua, se puede utilizar la ley de Ohm

$$P_{in} = V_{in}I_{in} = V_{in}I_{L1}$$

La potencia de salida se puede expresar como

$$P_0 = V_0I_0$$

Dando como resultado

$$V_{in}I_{L1} = V_0I_0$$

Si se resuelve el sistema teniendo en cuenta que la corriente media de la bobina es la corriente media de la fuente, se obtiene

$$I_{L1} = I_{in} = \frac{V_0I_0}{V_{in}} = \frac{V_0^2}{V_{in}R}$$

La variación de i_{L1} cuando el transistor conduce se obtiene de la siguiente forma

$$v_{L1} = V_{in} = L1 \left(\frac{di_{L1}}{dt} \right) = L1 \left(\frac{\Delta i_{L1}}{\Delta t} \right) = L1 \left(\frac{\Delta i_{L1}}{DT} \right)$$

Resolviendo para Δi_{L1}

$$\Delta i_{L1} = \frac{V_{in}DT}{L1} = \frac{V_{in}D}{L1f}$$

Para $L2$, la corriente media se calcula mediante la ley de Kirchhoff en el nodo $C1$, $L2$, y el diodo cuando este conduce

$$i_{L2} = i_D - i_{C1}$$

La corriente que circula por el diodo es

$$i_D = i_{C2} + I_0$$

Sustituyendo y simplificando para i_{L2}

$$i_{L2} = i_{C2} + I_0 - I_{C1}$$

Si la corriente media a través del condensador es cero, entonces la corriente por la bobina $L2$ es

$$I_{L2} = I_0$$

La variación de i_{L2} se determina cuando el transistor conduce. Si se usa la ley de Kirchhoff entre $C1$ y $L2$ (figura 22), asumiendo que la tensión en $C1$ es constante

$$v_{L2} = v_{C1} = V_{in} = L2 \left(\frac{di_{L2}}{dt} \right) = L2 \left(\frac{\Delta i_{L2}}{\Delta t} \right) = L2 \left(\frac{\Delta i_{L2}}{DT} \right)$$

Si se resuelve para Δi_{L2} se obtiene

$$\Delta i_{L2} = \frac{V_{in}DT}{L2} = \frac{V_{in}D}{L2 * f}$$

Si se aplica la ley de Kirchhoff al diodo (i_{sw} es la corriente que circula por el transistor)

$$i_D = \begin{cases} 0 & \text{cuando el transistor conduce} \\ i_{L1} + i_{L2} & \text{cuando el transistor no conduce} \end{cases}$$

$$i_{sw} = \begin{cases} i_{L1} + i_{L2} & \text{cuando el transistor conduce} \\ 0 & \text{cuando el transistor no conduce} \end{cases}$$

Si se aplica la ley de Kirchoff a la figura 23, asumiendo que no existe rizado en los condensadores, se observa que la tensión entre los extremos del transistor cuando este no conduce es $V_{in} + V_o$. De la figura 22 se comprueba que la tensión inversa en el diodo cuando este no conduce es también $V_{in} + V_o$.

El rizado de la tensión de salida se puede calcular a partir de la forma de onda de la corriente en el condensador. La variación de carga del condensador puede calcularse utilizando

$$|\Delta Q_{C2}| = \left(\frac{V_o}{R}\right) DT = C2 * \Delta V_o \rightarrow \Delta V_o = \Delta V_{C2} = \frac{V_o DT}{R * C2} = \frac{V_o D}{R * C2 * f}$$

Resolviendo para obtener $C2$

$$C2 = \frac{D}{R \left(\frac{\Delta V_o}{V_o}\right) f}$$

La variación de tensión del condensador $C1$ se determina del circuito en el que el transistor conduce (figura 22)

$$\begin{aligned} V_{L2} = 0 &= \frac{1}{T} \left(\int_0^{T_{on}} V_{L2\ on} dt + \int_{T_{on}}^{T_{off}} V_{L2\ off} dt \right) = \frac{1}{T} \left(\int_0^{T_{on}} V_{C1} dt - \int_0^{T_{off}} V_o dt \right) = \\ &= DV_{C1} - (1 - D)V_o \\ V_{C1} &= \frac{(1 - D)V_o}{D} \end{aligned}$$

Para poder obtener el ΔV_{C1} se puede calcular al igual que para $C2$, la variación de carga del condensador, pero en este caso para $C1$

$$\Delta V_{C1} = \frac{\Delta Q_{C1}}{C1} = \frac{I_o \Delta t}{C1} = \frac{I_o DT}{C1} = \frac{V_o DT}{R * C1} = \frac{V_o D}{R * C1 * f}$$

Si se resuelve para obtener $C1$

$$C1 = \frac{D}{R \left(\frac{\Delta V_{C1}}{V_o}\right) f}$$

Aunque en este caso se desea que el convertidor sea lo más versátil posible, y para ello se desearía que el convertidor trabajara siempre en modo continuo, esto puede no ser posible, y para intentar conseguir que siempre trabaje en modo continuo, se tiene que calcular la condición crítica del paso de modo discontinuo a modo continuo

$$I_{L1 \min} - I_{L2 \min} \geq 0$$

$$I_{L1} - \frac{\Delta i_{L1}}{2} - I_{L2} + \frac{\Delta i_{L2}}{2} \geq 0$$

$$\frac{D}{1-D} I_o - \frac{V_{in} D}{2 * L1 * f} - I_o - \frac{V_{in} D}{2 * L2 * f} \geq 0$$

$$I_o \geq \frac{V_o (1-D)^2}{2f(2D-1)} \left(\frac{1}{L1} + \frac{1}{L2} \right)$$

Para poder utilizar la ecuación obtenida, se observa que se necesitan los valores de las bobinas, y para ello se procede a calcular los valores mínimos de las bobinas a utilizar:

Para la bobina $L1$

$$I_{L1} - \frac{\Delta i_{L1}}{2} > 0$$

$$\frac{D}{1-D} I_o - \frac{V_{in} D}{2 * L1 * f} > 0$$

$$L1 > \frac{R(1-D)^2}{2 * D * f}$$

Y para la bobina $L2$

$$I_{L2} - \frac{\Delta i_{L2}}{2} > 0$$

$$I_o - \frac{V_{in} D}{2 * L2 * f} > 0$$

$$L2 > \frac{R(1-D)}{2 * f}$$

3.4.2. Cálculo de los componentes

En este capítulo se van a calcular todos los componentes necesarios para el buen funcionamiento del circuito, teniendo en cuenta todas las limitaciones que se han obtenido en capítulos anteriores:

- Frecuencia del ciclo de trabajo = 500 KHz
- Rango de tensión de entrada 8 – 20 V
- Rango de tensión de salida 0 – 30 V
- Corriente de entrada máxima de la fuente de alimentación = 6 A
- Para poder realizar los cálculos se fija la resistencia de carga como $R_C = 56\Omega$

El rango de tensión de salida que en principio es razonable, cuando se realicen las simulaciones se comprobará si es posible alcanzarlo, y de esta forma se definirá realmente el rango de tensión de salida alcanzable que se mostrará en el capítulo de las especificaciones.

En la figura 21 se muestra el esquema completo del circuito de potencia, en el cual están definidos todos los componentes necesarios para el funcionamiento del convertidor.

Para simplificar el circuito ya que no existen diferencias demasiado grandes con respecto a los valores calculados de los condensadores y las bobinas, y así poder simplificar el montaje de los componentes en la placa de circuito impreso, evitando errores en el montaje, se han tomado las siguientes decisiones:

- $C1 = C2$
- $L1 = L2$

3.4.2.1. Cálculo de los condensadores

Para calcular el valor de los condensadores $C1$ y $C2$ se utilizarán las siguientes ecuaciones:

$$V_0 = V_{in} \left(\frac{D}{1-D} \right)$$

$$C_{min} = \frac{D}{R \left(\frac{\Delta V_o}{V_o} \right) f}$$

Los valores mínimos del condensador se obtendrán a altos ciclos de trabajo, y además se supone que $\Delta V_{C1} = 1\% * V_{in}$ y $\Delta V_o (máx.) = 1\% * V_o$, para el cálculo de los condensadores se tiene que ir al caso extremo, que es cuando la resistencia de carga es muy pequeña (en este caso la resistencia de carga será de 1Ω).

D	Vi (V)	Vo (V)	IL1 (A)	Cmin (F)
0.2	8	2	0.5	4.000E-05
	10	2.5	0.625	4.000E-05
	15	3.75	0.937	4.000E-05
	20	5	1.25	4.000E-05
0.3	8	3.429	1.469	6.000E-05
	10	4.286	1.837	6.000E-05
	15	6.429	2.755	6.000E-05
	20	8.571	3.673	6.000E-05
0.4	8	5.333	3.556	8.000E-05
	10	6.667	4.444	8.000E-05
	15	10	6.667	8.000E-05
	20	13.333	8.889	8.000E-05

El valor mínimo de capacidad de los condensadores que cumple con los cálculos es $80\mu F$, pero se escogerá un valor de capacidad de al menos diez veces mayor que el valor obtenido, con el fin de evitar rizado en la tensión. Los valores marcados en rojo son valores no alcanzables ya que sobrepasan los límites de intensidad de entrada establecidos (I_{L1}). El valor de los condensadores será $C1=C2=1000\mu F$.

Para comprobar si existe rizado en la tensión de salida se utilizará la siguiente ecuación

$$V_{ppC1} = \frac{2 * V_o * D}{R * C1 * f} = \frac{2 * 6.667 * 0.4}{1 * 1000 * 10^{-6} * 500000} = 10.667mV$$

3.4.2.2. Cálculo de las bobinas

Al igual que en el cálculo de los condensadores, las bobinas también tendrán el mismo valor de inductancia ambas, para simplificar el circuito.

En este caso los valores mínimos de inductancia se obtendrán en bajos ciclos de trabajo, y al igual que en el cálculo de los condensadores, se debe ir al caso extremo, que en esta ocasión sucederá cuando la resistencia de carga sea de $1k\Omega$. Las ecuaciones a utilizar son las siguientes

$$L_{crit} = \frac{R(1 - D)}{2f}$$

D	Vi (V)	Vo (V)	Lcrit (H)
0.1	8	0.889	9.000E-04
	10	1.111	9.000E-04
	15	1.667	9.000E-04
	20	2.222	9.000E-04
0.2	8	2	8.000E-04
	10	2.5	8.000E-04
	15	3.75	8.000E-04
	20	5	8.000E-04
0.3	8	3.429	7.000E-04
	10	4.286	7.000E-04
	15	6.429	7.000E-04
	20	8.571	7.000E-04

El valor crítico de inductancia de las bobinas es $0.9mH$.

En este caso, al contrario que ocurre con los condensadores, el valor de la inductancia de las bobinas tiene que ser mayor cuanto mayor sea la resistencia de carga, así que para asegurarse de que el circuito funcione según lo requerido, el valor de las inductancias será $L1=L2=1.25mH$.

3.4.2.3. Cálculo del diodo

Para la elección del diodo se tiene que tener en cuenta que la tensión inversa mínima de pico será

$$V_{RRMmin} = V_{inmax} + V_{omax} = 20V + 30V \rightarrow V_{RRMmin} = 50V$$

La intensidad mínima que debe soportar el diodo en polarización directa debe de ser

$$I_{diodo\ min} = I_{L1\ máx} + I_{L2\ máx}$$

En la tabla que se muestra a continuación se observa que intensidad será la mínima que se necesitará para seleccionar el diodo.

Otra característica necesaria para que este tipo de convertidor funcione, es que la velocidad de conmutación del diodo debe de ser muy rápida, y para ello, el diodo que se seleccionará es un diodo Schottky, ya que estos tienen un tiempo de recuperación en inverso t_{rr} muy pequeño (en torno a los nanosegundos).

D	Vi (V)	Vo (V)	IL1 máx. (A)	IL2 máx. (A)	ID1 (A)
0.6	8	12	0.329	0.222	0.551
	10	15	0.411	0.277	0.689
	15	22.5	0.617	0.416	1.033
	20	30	0.823	0.555	1.378
0.7	8	18.667	0.787	0.342	1.129
	10	23.333	0.983	0.428	1.411
	15	35.000	1.475	0.642	2.117
	20	46.667	1.967	0.856	2.823
0.8	8	32	2.296	0.582	2.878
	10	40	2.870	0.727	3.597
	15	60	4.305	1.091	5.396

En la tabla se puede observar que la intensidad máxima que circula por el diodo es de 1.411A.

Con todos estos datos, el diodo elegido es el modelo de **diodo Schottky MBR40250G** que tiene las siguientes características.

Nombre	Símbolo	Valor
Tensión inversa repetitiva de pico	VRR	250 V
Intensidad de pico repetitiva en polarización directa	IFRM	80 A
Tiempo máximo de recuperación inversa	trr	35 ns

3.4.2.4. Cálculo del MOSFET

Como en este proyecto se usará Arduino para el control del transistor y se ha decidido colocar un regulador lineal para que sea autónomo, se aprovechará también el regulador para alimentar al driver de control, que a su vez proporcionará la potencia necesaria para la puerta del transistor MOSFET, por lo cual la puerta de dicho transistor tendrá un suministro de tensión de 0 – 5V. Como en la puerta del MOSFET se tienen las tensiones mencionadas anteriormente, se tiene que buscar un transistor que se adecúe a esta tensión. Este tipo de transistores en los que una tensión tan baja

es suficiente para que la corriente a través de drenador – surtidor sea suficientemente alta, se denominan transistores MOSFET de nivel lógico.

Para poder seleccionar el transistor correctamente se tiene que tener en cuenta tensión umbral mínima ($V_{th\ min}$), la resistencia drenador – surtidor de encendido $R_{DS\ on}$, y la tensión drenador – surtidor máxima ($V_{DS\ (máx.)}$).

La tensión máxima entre drenador–surtidor es como se ha comentado anteriormente $V_{in} + V_o$ cuando este no conduce.

$$V_{DSmin} = V_{inmax} + V_{omax} = 20V + 30V \rightarrow V_{DSmin} = 50V$$

La corriente máxima del transistor es

$$I_{M1\ (pico)} = I_{L1\ (pico)} + I_{L2\ (pico)}$$

La corriente RMS a través del transistor se calcula como [16]

$$I_{M1\ (RMS)} = I_o \sqrt{\frac{(V_o + V_{in(min)} + V_D) * (V_o + V_D)}{V_{in(min)}^2}}$$

D	Vi (V)	Vo (V)	IL1 máx. (A)	IL2 máx. (A)	IM1max (A)	IM1(rms) (A)
0.5	8	8	0.149	0.149	0.2985	0.2183
	10	10	0.187	0.187	0.3731	0.2688
	15	15	0.280	0.280	0.5597	0.3951
	20	20	0.373	0.373	0.7463	0.5213
0.6	8	12	0.329	0.222	0.5511	0.4387
	10	15	0.411	0.277	0.6888	0.5425
	15	22.5	0.617	0.416	1.0333	0.8018
	20	30	0.823	0.555	1.3777	1.0612
0.7	8	18.667	0.787	0.342	1.1290	0.9660
	10	23.333	0.983	0.428	1.4113	1.1984
	15	35	1.475	0.642	2.1169	1.7794
	20	46.667	1.967	0.856	2.8226	2.3605

Los valores marcados en rojo son valores no alcanzables ya que sobrepasan los límites de tensión de salida establecidos. Se observa que intensidad máxima será $I_{M1\ máx.}=1.4113\ A$, y la intensidad máxima eficaz será $I_{M1\ RMS}=1.1984\ A$.

Con estos datos, comprobando los diodos MOSFET del mercado, y teniendo en cuenta que el transistor MOSFET va a ser un MOSFET de nivel lógico, el transistor elegido será el modelo **IRL540**, el cual tiene como principales características las mostradas a continuación

Nombre	Símbolo	Valor
Continuous Drain Current	I_D	36 A
Static Drain to Source On Resistance	$R_{DS\ ON}$	0.053 Ω
Gate to Source Voltaje	V_{GS}	± 16 V
Drain to Source Breakdown Voltaje	V_{DSS}	100 V
Gate Threshold Voltaje	$V_{GS\ (th)}$	1 – 2 V
Total Gate Charge	Q_g	74 nC
Gate to Drain Charge	Q_{gd}	38 nC
Turn on Delay Time	$t_{d\ (on)}$	11 ns
Rise Time	t_r	81 ns
Turn Off Delay Time	$t_{d\ (off)}$	39 ns
Fall Time	t_f	62 ns
Reverse Recovery Time	t_{rr}	190 ns
Operating Junction and Storage Temperature Range	T_j	-55 to 175 °C
Thermal Resistance Junction to Case	R_{JC}	1.1°C/W
Thermal Resistance Case to Sink, Flat, Greased Surface	R_{CS}	0.5°C/W
Thermal Resistance Thermal Resistance Junction to Ambient	R_{JA}	62°C/W

La potencia que disipa en conducción el transistor mosfet es

$$P_{c\ M1} = (R_{DS\ (on)} * I_{M1\ (RMS)}^2 * D)$$

La pérdida de energía del transistor mosfet en conmutación durante el encendido es

$$E_{on\ M1} = \int_0^{t_{d\ (on)}+t_r} V_{DS}(t) * I_{DS} * dt = \int_0^{t_{d\ (on)}+t_r} (V_i + V_o)(t) * I_{DS} * dt$$

$$E_{on\ M1} = \left(\frac{I_{M1\ (pico)} * (V_i + V_o) * (t_{d\ (on)} + t_r)}{2} \right)$$

La pérdida de energía del transistor mosfet en conmutación durante el apagado es

$$E_{off\ M1} = \int_0^{t_{d\ (off)}+t_f} V_{DS}(t) * I_{DS} * dt = \int_0^{t_{d\ (off)}+t_f} (V_i + V_o)(t) * I_{DS} * dt$$

$$E_{off M1} = \left(\frac{I_{M1(pico)} * (V_i + V_o) * (t_{d(off)} + t_f)}{2} \right)$$

La potencia que disipa el transistor se calcula como

$$P_{M1} = P_{c M1} + (E_{on M1} + E_{off M1}) * f$$

$$P_{M1} = (R_{DS(on)} * I_{M1(RMS)}^2 * D) + \left(\frac{I_{M1(pico)} * (V_i + V_o) * f * (t_{d(on)} + t_r + t_{d(off)} + t_f)}{2} \right)$$

El valor de $R_{ds(on)}$ debe seleccionarse a la temperatura de unión máxima operativa y generalmente se da en las tablas de características, y hay que asegurarse también de que la potencia disipada no exceda la temperatura del encapsulado que nos suministra el fabricante, para ello se comprobaba si es necesario añadir un disipador de calor en siguientes capítulos.

D	Vi (V)	Vo (V)	I _{M1max} (A)	I _{M1 (rms)} (A)	P _{M1} (W)
0.5	8	8	0.2985	0.2183	0.2317
	10	10	0.3731	0.2688	0.3619
	15	15	0.5597	0.3951	0.8143
	20	20	0.7463	0.5213	1.447
0.6	8	12	0.5511	0.4387	0.5379
	10	15	0.6888	0.5425	0.8402
	15	22.5	1.0333	0.8018	1.89
	20	30	1.3777	1.0612	3.359
0.7	8	18.667	1.1290	0.9660	1.487
	10	23.333	1.4113	1.1984	2.323
	15	35.000	2.1169	1.7794	5.224
	20	46.667	2.8226	2.3605	9.286

Los valores marcados en rojo son valores no alcanzables ya que sobrepasan los límites de tensión de salida establecidos. La potencia máxima que deberá disipar el transistor MOSFET en condiciones normales, es decir, con una resistencia de carga de 56Ω , será $P_{M1}=3.359W$.

3.4.3. Cálculo de los disipadores de calor

Para comprobar si es necesaria la instalación de un disipador, primero se tiene que comprobar que potencia puede disipar el componente sin disipador mediante las hojas de características del fabricante (esto es válido para cualquier componente del circuito), teniendo en cuenta los valores de la temperatura máxima de la unión ($T_{j, \text{máx.}}$),

la máxima temperatura del ambiente ($T_{a, \text{máx.}}$), y la resistencia térmica unión – ambiente (R_{ja})

$$P_{dis} = \frac{T_{j, \text{máx}} - T_{a, \text{máx}}}{R_{ja}}$$

Si el resultado de la ecuación anterior es superior que la potencia que se ha calculado que disipará el componente en nuestro circuito, no hará falta disipador. Sin embargo, si el resultado de la ecuación anterior es inferior que el calculado con las demás ecuaciones para dicho componente, entonces sí que habrá que usar un disipador, y el cálculo de la potencia disipada que se calcula con las hojas de características ya no es el mostrado en la ecuación anterior, sino que hay que tener en cuenta además de los valores anteriores obtenidos en las hojas de características, otros valores como la resistencia térmica unión–contenedor (R_{jc}), la resistencia térmica contenedor–disipador (R_{cs}), y un coeficiente de seguridad k para asegurar que siempre estamos del lado de la seguridad, es decir, los datos del fabricante son datos basados en la experimentación, pero no todos los materiales tienen las mismas características aunque sea el mismo material, por lo tanto, con dicha constante se asegura que el componente no se rompa por exceso de temperatura. Un valor de k orientativo sería:

- 0.5 para un diseño normal.
- 0.6 para economizar en tamaño de disipador.
- 0.7 cuando haya una muy buena convección (disipador en posición vertical, en el exterior).

Primero se tiene que calcular la resistencia térmica del disipador para ello se debe conocer previamente la potencia (P) que disipará el componente mediante las ecuaciones correspondientes para el cálculo en el circuito

$$R_{dis} = \frac{(k * T_{j, \text{máx}}) - T_{a, \text{máx}}}{P} - (R_{jc} + R_{cs})$$

Una vez calculada la resistencia térmica del disipador, se tiene que elegir el disipador teniendo en cuenta que la resistencia térmica del disipador elegido tiene que ser inferior a la obtenida matemáticamente. Cuando se tiene el valor de la resistencia

térmica del disipador proporcionada por el fabricante, se puede calcular la potencia máxima que el componente más el disipador pueden disipar. [4] [17]

$$P_{dis} = \frac{T_{j,máx} - T_{a,máx}}{R_{jc} + R_{cs} + R_{dis}}$$

3.4.3.1. Disipador térmico para el regulador 7805

Como se ha mencionado en capítulos anteriores a este regulador hay que acoplarle un disipador. La potencia máxima que puede suministrar el regulador según el fabricante es $15W$, y en principio se va a suponer que el dispositivo va a suministrar la corriente máxima, es decir, $1A$.

Se calcula la potencia que es capaz de disipar el regulador lineal sin disipador

$$P_{dis} = \frac{T_{j,máx} - T_{a,máx}}{R_{ja}} = \frac{125^{\circ}C - 25^{\circ}C}{65^{\circ}C/W} = 1.538W$$

Con este cálculo se comprueba que está muy por encima de la potencia que tiene que disipar, por lo que hay que calcular la resistencia térmica necesaria del disipador

$$R_{dis} = \frac{T_{j,máx} - T_{a,máx}}{P} - (R_{jc} + R_{cs}) = \frac{125^{\circ}C - 25^{\circ}C}{15W} - (5 + 0.5)^{\circ}C/W = 1.1667^{\circ}C/W$$

Una vez calculada la resistencia térmica del disipador, se elige un disipador comercial, y en este caso no se tiene a disposición un disipador con esta resistencia térmica, por lo tanto, se elegirá la más pequeña posible, y en este caso tiene un valor de $R_{dis}=3^{\circ}C/W$.

Con este valor de resistencia de disipador y sabiendo que la tensión de entrada máxima será de $20V$, la intensidad máxima será inferior a $1A$, por lo que se va a proceder a calcularla

$$P = \frac{T_{j,máx} - T_{a,máx}}{R_{dis} + (R_{jc} + R_{cs})} = \frac{125^{\circ}C - 25^{\circ}C}{(3 + 5 + 0.5)^{\circ}C/W} = 11.764W$$

$$P = (V_{in\ máx.} - 5V) * I_{máx}$$

$$I_{máx} = \frac{P}{(V_{in\ máx.} - 5V)} = \frac{11.764W}{20V - 5V} = 784.26mA$$

Esta intensidad es la intensidad de ruptura, por lo que no se puede llegar nunca a esta intensidad.

3.4.3.2. Disipador térmico para el transistor MOSFET

En el capítulo anterior se calculó la potencia máxima que disipará el transistor en las condiciones normales de funcionamiento (resistencia de carga de 56Ω), que tiene un valor de $P_{M1}=3.359W$. En este apartado se va a comprobar si es necesario colocar el disipador

$$P_{dis} = \frac{T_{j,m\acute{a}x} - T_{a,m\acute{a}x}}{R_{ja}} = \frac{175^{\circ}C - 25^{\circ}C}{62^{\circ}C/W} = 2.419W$$

Se observa que sí que es necesario colocar un disipador ya que P_{dis} es mayor que P_{M1} , por lo tanto hay que calcular la resistencia térmica mínima necesaria, teniendo en cuenta que se va a considerar que el valor del coeficiente de seguridad es $k=0.5$

$$R_{dis} = \frac{(k * T_{j,m\acute{a}x}) - T_{a,m\acute{a}x}}{P} - (R_{jc} + R_{cs}) = \frac{(0.5 * 175^{\circ}C) - 25^{\circ}C}{4.5337W} - (1.1 + 0.5)^{\circ}C/W$$

$$R_{dis} = 12.185^{\circ}C/W$$

Una vez calculada la resistencia térmica del disipador, se elige un disipador comercial sabiendo que la resistencia térmica del disipador elegido debe ser menor que la calculada, y en este caso el disipador elegido tiene una resistencia térmica de $R_{dis}=8^{\circ}C/W$.

Veamos ahora la potencia máxima que el transistor MOSFET más el disipador pueden disipar

$$P_{dis} = \frac{T_{j,m\acute{a}x} - T_{a,m\acute{a}x}}{R_{jc} + R_{cs} + R_{dis}} = \frac{175^{\circ}C - 25^{\circ}C}{1.1^{\circ}C/W + 0.5^{\circ}C/W + 8^{\circ}C/W} = 15.625W$$

3.4.3.3. Disipador térmico para el diodo Schottky

En este caso la potencia que disipa el diodo nos la proporciona el fabricante y su valor es $P_{D1}=2W$.

Se calcula la potencia que es capaz de disipar el diodo sin disipador

$$P_{dis} = \frac{T_{j,máx} - T_{a,máx}}{R_{ja}} = \frac{150^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}}{60^{\circ}\text{C}/\text{W}} = 2.083\text{W}$$

Con este cálculo se comprueba que está por encima de la potencia que nos proporciona el fabricante, por lo que se calculará la resistencia térmica necesaria del disipador.

$$R_{dis} = \frac{(k * T_{j,máx}) - T_{a,máx}}{P} - (R_{jc} + R_{cs}) = \frac{(0.5 * 150^{\circ}\text{C}) - 25^{\circ}\text{C}}{2\text{W}} - (2 + 0.5)^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

$$R_{dis} = 22.5^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

Una vez calculada la resistencia térmica del disipador, se elige un disipador comercial, y en este caso se va a colocar el mismo disipador que el calculado para el transistor MOSFET

$$R_{dis} = 8^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

3.5. Circuitos de mando y visualización

El circuito de mando consta de tres pulsadores para poder interactuar con Arduino, y así conseguir la salida de tensión deseada, variando la tensión de referencia.

En la figura 24 se observa el esquema del circuito de mando en el cual se muestran tres resistencias, las cuales se denominan resistencias pull – down y sirven para establecer una tensión fija de 0V cuando no se pulsa el pulsador, y una tensión de 5V cuando este se pulsa. El valor de estas resistencias es $R7=R8=R9=4.7\text{k}\Omega$

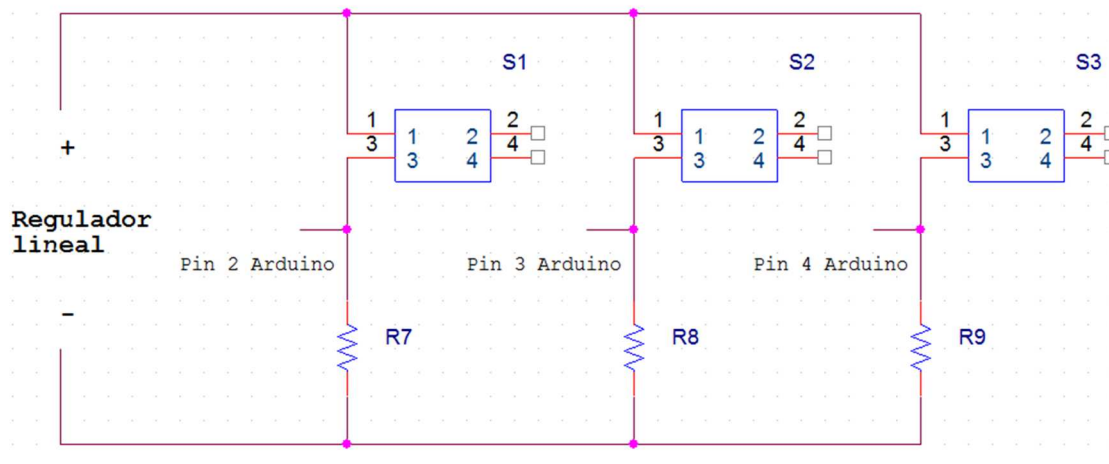


Figura 24. Esquema del circuito de mando

El circuito de visualización consta de un display de 7 segmentos más el punto, y 4 dígitos, además de dos diodos led. Un diodo led se usa para indicar cuando ha alcanzado el límite de tensión de entrada, y el otro diodo led se usa para indicar cuando se ha alcanzado el límite de tensión de salida.

En la figura 25 se observa que se han usado dos registros de desplazamiento 74HC595 para el control del display y los diodos led. Se ha optado por esta solución porque si se usa el display de forma directa a los pines de Arduino más los dos led, se necesitarían 14 pines, y de este modo se utilizarían todos los pines de entrada y salida de Arduino (contando las entradas necesarias para los sensores de tensión, los pulsadores y la salida del PWM), no pudiendo utilizar Arduino para colocar ninguna otra shield o usarlo para cualquier otra utilidad que sea necesaria.

Cada uno de los dos registros de desplazamiento tiene una utilidad diferente, de forma que el registro U2 sirve para el direccionamiento del display y del encendido de los dos led, porque no es posible mostrar todos los dígitos simultáneamente teniendo que escribir cada dígito por separado, y ese es el motivo del uso de este registro. El registro U3 se utiliza para escribir el número o la letra necesaria.

Las resistencias de este esquema son resistencias limitadoras de intensidad para proteger a los diodos, y los valores de las resistencias son las siguientes siendo la tensión que suministra Arduino de 5V, la tensión de polarización del diodo led de 1.7V, y la intensidad que circulará por el diodo led de 10mA

$$R = \frac{V_{\text{Arduino}} - V_{\text{LED}}}{I_{\text{LED}}} = \frac{5V - 1.7V}{10mA} = 330\Omega$$

Los valores de todas las resistencias son iguales, por lo tanto, $R=R10=R11=R12=R13=R14=R15=R16=R17=R18=R19=330\Omega$

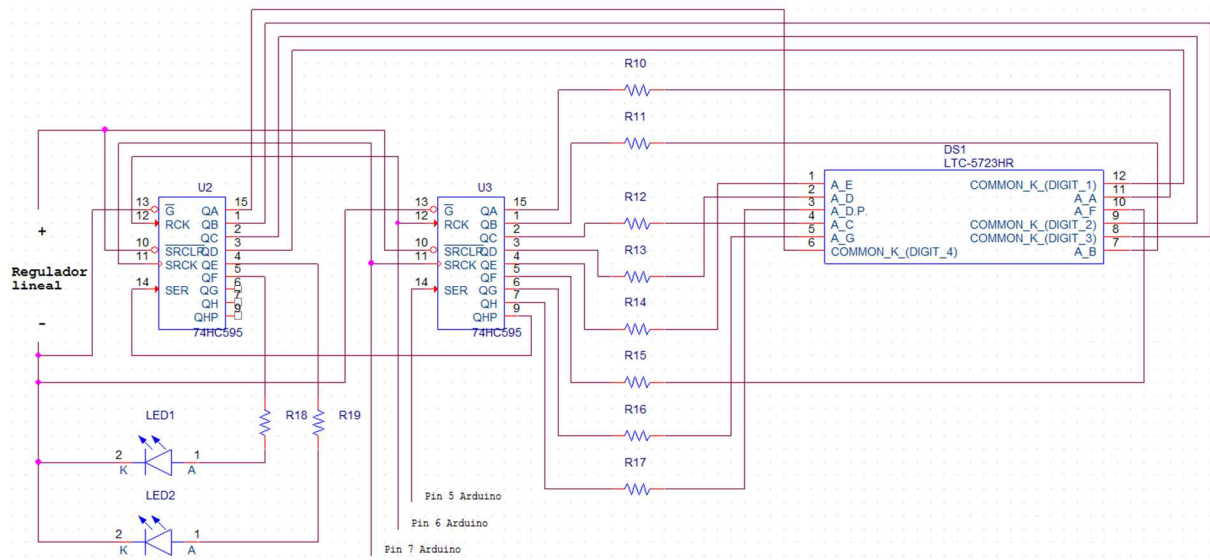


Figura 25. Esquema del circuito de visualización

3.6. Programación

En este capítulo del proyecto se explicará el programa que utilizará Arduino para poder controlar al circuito de potencia y los diferentes sistemas de visualización.

Tal y como se ha mencionado anteriormente, la programación se realizará en el entorno de programación IDE de Arduino, en la cual lo primero que hay que hacer cuando se empieza a escribir el código es incluir las bibliotecas que se utilizarán en el proyecto, que en nuestro caso se trata de una biblioteca externa como ya se ha mencionado, y en el Pliego de Condiciones, dentro del Manual de usuario se explicará la forma de descargarla y como importarla al entorno de programación. Después de incluir las bibliotecas hay que definir todas las variables que se usarán en el proyecto, para seguidamente entrar en la parte de configuración (setup), el cual se muestra en la figura 26.

En la parte setup del programa (figura 26) lo primero que se hace es inicializar las variables si no se han inicializado al declararlas, para después pasar a inicializar todos los temporizadores excepto el temporizador 0, después se le asigna la frecuencia deseada, para posteriormente asignar el valor del PWM a cero para evitar que el sistema funcione sin control, ya que todavía el programa no ha sido iniciado. Seguidamente se asignan los pines de entrada y de salida que se utilizarán, para entrar después al programa que se ejecutará de modo continuo (bucle loop).



Figura 26. Bucle de configuración de Arduino

El bucle loop es el programa que se ejecuta continuamente cuando Arduino está en funcionamiento, y aunque la figura 27 muestra el bucle que se realiza, en esta figura se ha tratado de simplificar lo máximo posible el funcionamiento del programa

evitando incluir a los temporizadores, actualizaciones del display, etc. A continuación se va a explicar el funcionamiento del programa, aunque el programa completo se muestra en Programas, el cual tiene algunas anotaciones que hacen que el programa se pueda entender.

En primer lugar después de entrar en el bucle loop se realiza la lectura del tiempo interno del microcontrolador y se asigna a una variable.

Después se realiza la lectura de los sensores de la tensión de entrada y de la tensión de salida, y se asignan a otras variables para poder manejar la información internamente durante el programa.

Una vez leídos los sensores se realiza una comprobación para ver si el tiempo que lleva contado el microcontrolador es mayor de 70 minutos, ya que la función que se utiliza desborda a dicho tiempo, y por lo tanto tenemos que reiniciar los diferentes tiempos auxiliares que se tienen almacenados. Estos tiempos almacenados son para poder comprobar si se ha cumplido un tiempo estipulado, y así poder entrar a algunas partes del programa las cuales no hace falta volver a repetir en cada ciclo del microcontrolador. Aunque se podría haber usado la función `delay()` para esperar ese tiempo, en este proyecto no se ha usado ya que el sistema queda congelado durante el tiempo establecido en la función y de ese modo no se pueden realizar mientras tanto otras funciones del programa, como por ejemplo lectura de sensores, actualización de la salida del PWM, etc. En el programa diseñado se ha usado la función `micros()` que nos cuenta el tiempo del microcontrolador en microsegundos.

Seguidamente se entra en un pequeño bucle en el cual se tiene en cuenta si es la primera vez que ha arrancado el programa, con la finalidad de preguntar al usuario si la resistencia de carga es mayor de 56Ω (se muestra en el display $r \geq 56$), ya que según los cálculos teóricos se pueden llegar a tener problemas de sobrecalentamiento e incluso la destrucción de algunos componentes. Hay que indicarle a Arduino mediante los botones S1 o S2 si la respuesta es positiva o negativa (se muestra la respuesta en el display), para posteriormente pulsar el botón S3 para confirmar la respuesta y salir del bucle desactivando una variable para que no vuelva a entrar en esta parte del programa. Si la respuesta es negativa se limita la tensión de entrada a un máximo de 10V, y la tensión de salida queda limitada a 5V.

Posteriormente se comprueba si se ha vuelto a pulsar S3 ya que este botón aparte de utilizarse para confirmar, se utiliza para poder visualizar en el display la tensión de entrada, la tensión de salida, el ciclo de trabajo actual, la tensión de referencia que se desea a la salida del sistema, o poder apagar el display. La tensión de referencia es la tensión que el usuario desea tener a la salida, y es la tensión con la que se compara la tensión de salida real para que Arduino realice los ajustes oportunos. El funcionamiento de la visualización se explicará mediante ilustraciones en el Pliego de Condiciones, dentro del Manual de usuario.

Si se pulsa el botón S2 se aumenta la tensión de referencia en 0.1V, y si se pulsa el botón S1 se disminuye la misma cantidad. Aunque no se muestra en la figura 27, si se pulsa cualquiera de los dos botones (siempre que no sea simultáneamente) durante más de un segundo, aumentará o disminuirá la tensión de forma continua hasta que se deje de pulsar el botón.

Si la tensión de entrada está limitada y se le conecta una tensión superior, se enciende el led 2, y se cambia a verdadera una variable que se usará más adelante. Si no se cumple alguna de las dos condiciones el led 2 se apaga y la variable se cambia al valor falso.

Después se comprueba si la tensión de referencia de salida es igual a 30V, o si la tensión de salida está limitada y la tensión de referencia es mayor de 5V, en caso positivo se enciende el led 1, y en caso negativo este se apaga. Si el led está encendido significa que se ha alcanzado el límite de tensión de salida, y esta no seguirá aumentando.

Ahora se establece el valor del ciclo de trabajo aumentándolo si la tensión de referencia es mayor que la tensión de salida, se disminuye si la tensión de referencia es menor que la tensión de salida, o si la variable que se modificó anteriormente tiene el valor de verdadero, el valor del ciclo de trabajo se establece en cero, deteniendo por completo el flujo de corriente a través de la carga.

Una vez establecido el ciclo de trabajo se asigna el valor en la salida del PWM (pin 9 de Arduino).

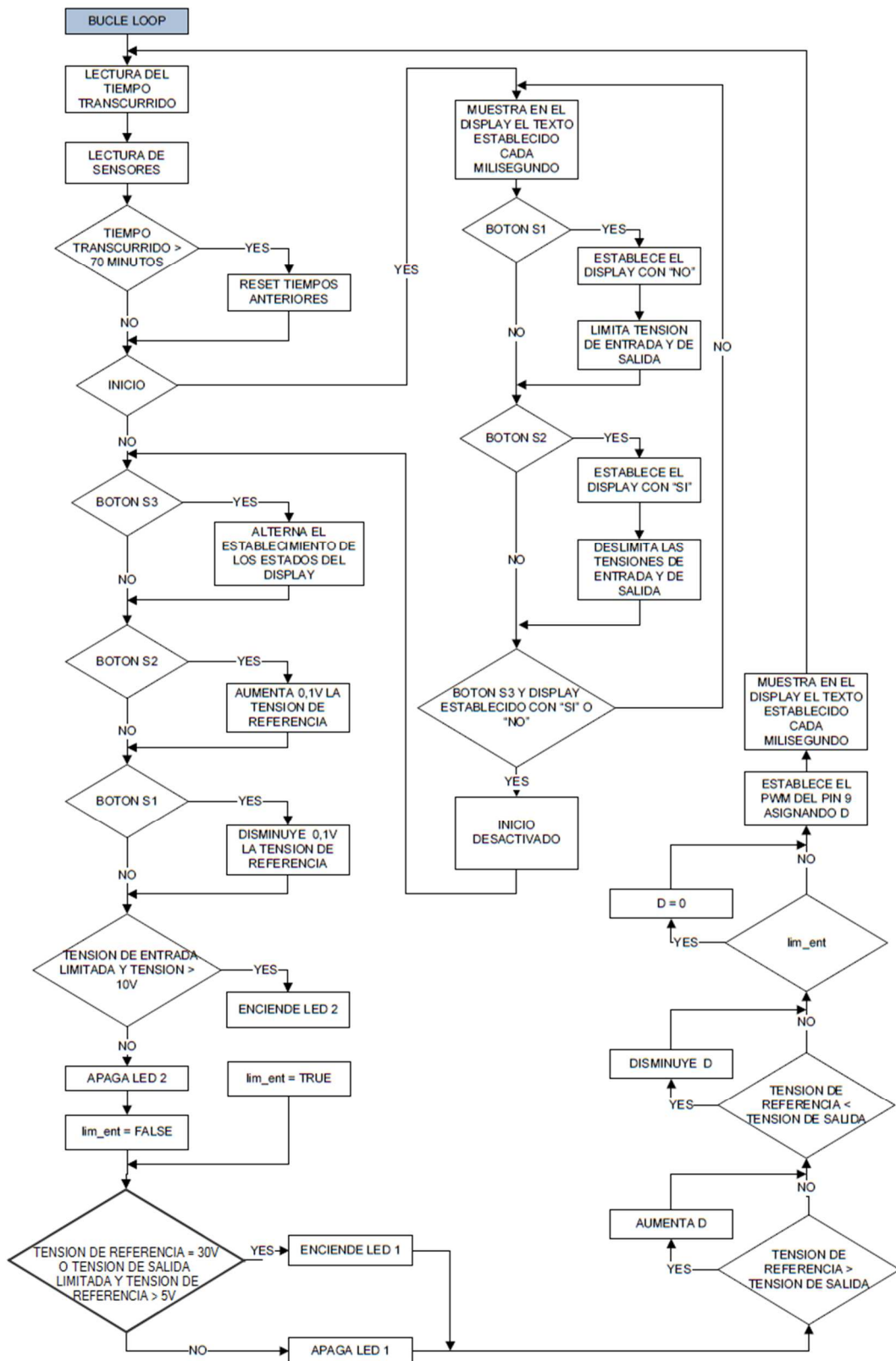


Figura 27. Bucle loop de Arduino

En este momento se muestra en el display el texto deseado, ya sea cualquiera de las tensiones, el ciclo de trabajo o el display apagado. Para simplificar el diagrama se ha escrito que el display se muestra cada milisegundo, y esto quiere decir que la frecuencia con la que se actualiza el display cambiando los datos es de un milisegundo.

Cuando ya se ha mostrado el texto en el display se vuelve al inicio tal y como se muestra en la figura 27.

3.7. Placa de circuito impreso

El diseño de la placa de circuito impreso ha sido realizado mediante el software Orcad PCB Designer, y después de intentar realizar el diseño de las pistas en la misma cara, ha sido imposible su diseño, así que finalmente se ha optado por el diseño en una placa de dos caras para el cobre (una superior o Top, y una inferior o Botton). En la figura 28 se muestra la sección de la placa de circuito impreso.

En la figura 29 se muestra el diseño completo de la placa de circuito impreso con las medidas externas, en la que se muestran las pistas de la cara superior (pistas de color verde) y las pistas de la cara inferior (pistas de color amarillo), además de la colocación de todos los componentes. En esta shield Arduino se acopla a dicha shield por su parte inferior, en la esquina inferior izquierda mediante los pines destinados expreso, justo debajo del display y de los pulsadores de control (figura 29).

Para el diseño de la anchura de las pistas se ha seguido como estándar la norma ANSI-IPC 2221. Las anchuras de las distintas pistas se obtienen de la siguiente ecuación

$$Ancho = \frac{\left(\frac{I}{k1 * \Delta T^{k2}}\right)^{1/k3}}{L * 1.378}$$

En donde:

- I : se corresponde con la corriente máxima, en amperios (A).
- ΔT : se corresponde con el incremento de temperatura máximo (°C).
- L : se corresponde con el grosor de la capa de cobre, en onzas por pie cuadrado (oz/ft²). En el caso de este proyecto $L=0.0305mm=0.8714oz/ft^2$.

- $k1$: se corresponde con la constante de 0.0150 para pistas internas y 0.0647 para pistas externas.
- $k2$: se corresponde con la constante de 0.5453 para pistas internas y 0.4281 para pistas externas.
- $k3$: se corresponde con la constante de 0.7349 para pistas internas y 0.6732 para pistas externas.

El resultado de esta ecuación se obtiene en milésimas de pulgadas (mil), en el cual $1mm$ equivale a 2.54 milésimas de pulgada.

La anchura de las distintas pistas son las siguientes:

- Pistas del circuito de potencia

$$Ancho = \frac{\left(\frac{6}{0.0647 * 15^{0.4281}}\right)^{1/0.6732}}{0.8714 * 1.378} = 124.41mil = 3.16mm$$

Para mayor seguridad se elige un ancho de $4mm$.

- Pistas de alimentación de los distintos componentes

$$Ancho = \frac{\left(\frac{2}{0.0647 * 15^{0.4281}}\right)^{1/0.6732}}{0.8714 * 1.378} = 24.33mil = 0.618mm$$

Para mayor seguridad se elige un ancho de $1.3mm$.

- Pistas de control del circuito de visualización

$$Ancho = \frac{\left(\frac{1}{0.0647 * 15^{0.4281}}\right)^{1/0.6732}}{0.8714 * 1.378} = 8.689mil = 0.221mm$$

Para mayor seguridad se elige un ancho de $0.5mm$.

En el capítulo de Planos se mostrarán a tamaño real los distintos planos de las pistas para el diseño, los pad de conexión, información de los taladros a realizar y un plano de situación de los distintos componentes.

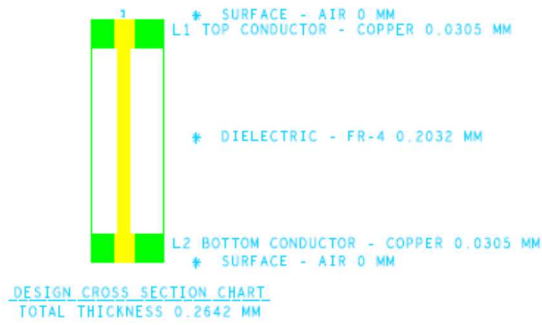


Figura 28. Sección de la placa de circuito impreso

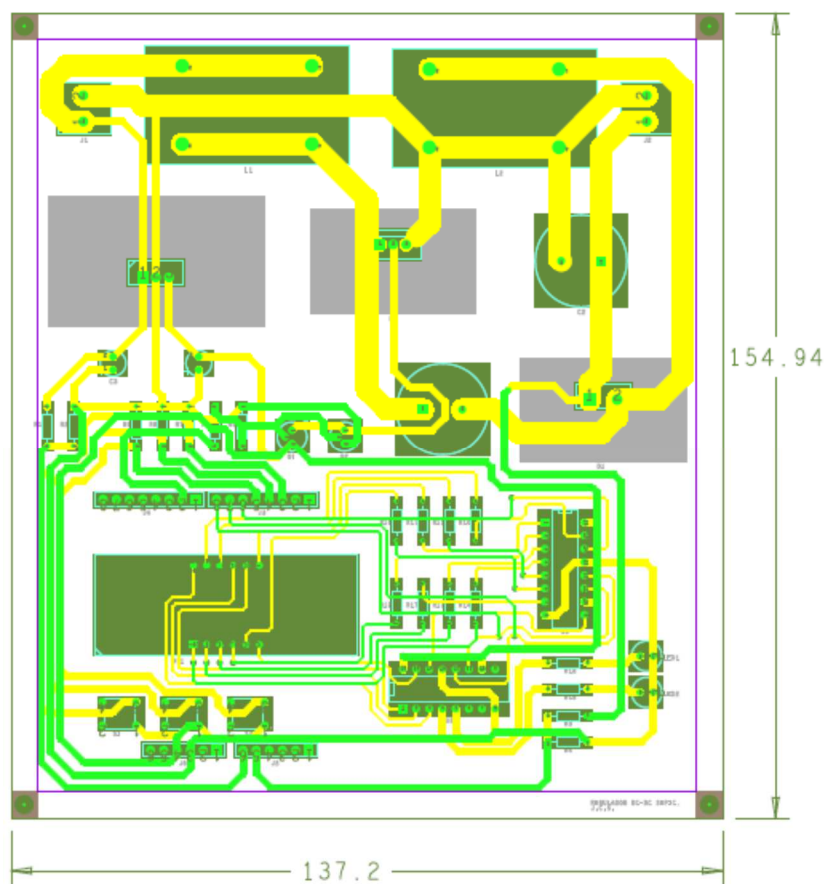


Figura 29. Diseño de la placa de circuito impreso

4. ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO

En este capítulo se comparan los datos obtenidos en el análisis teórico con los resultados de las simulaciones realizadas mediante Orcad.

Los resultados de las simulaciones se han obtenido del circuito de la figura 30. Todos los resultados de las simulaciones se han recogido en un archivo Excel dada la enorme cantidad de datos.

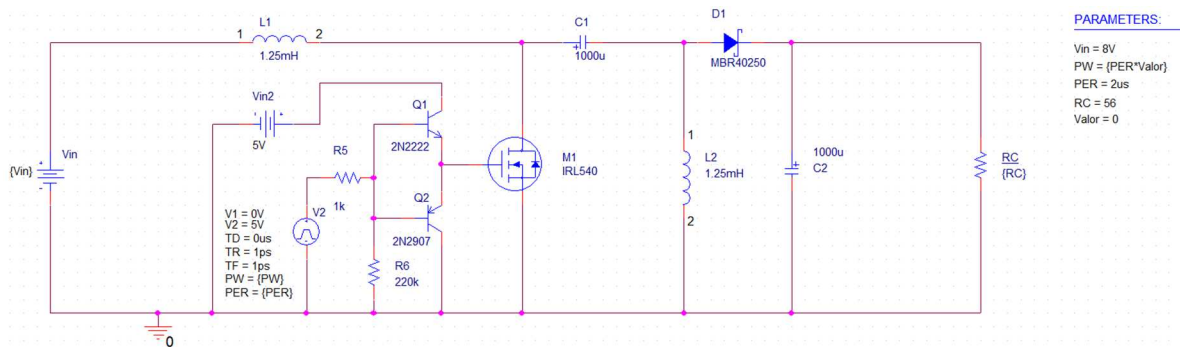


Figura 30. Esquema utilizado para las simulaciones

Se ha elegido el tiempo de paso de 20 nanosegundos en las simulaciones para que no existan errores en la simulación, como por ejemplo, picos que no deberían existir. Las tensiones para las que se han realizado las simulaciones son: 8V, 10V, 15V y 20V de tensión de entrada. Para cada tensión de entrada simulada se han realizado las simulaciones del ciclo de trabajo desde 0 hasta 1, en saltos de 0.1, es decir, 0, 0.1, 0.2, etc.

Tanto los resultados obtenidos teóricamente como los obtenidos mediante las simulaciones se van a mostrar en gráficos para su mejor comprensión.

4.1. Tensión de salida

Para el cálculo teórico de la tensión de salida se ha utilizado la siguiente ecuación

$$V_0 = V_{in} \left(\frac{D}{1-D} \right)$$

En los gráficos 1, 2, 3 y 4 se pueden observar las diferentes tensiones de salida en función del ciclo de trabajo para cada tensión de entrada, en el cual se observa

que en ningún caso el ciclo de trabajo va a ser $D=0.8$, ya que para alcanzar el límite establecido de la tensión de salida de $30V$ no haría falta llegar a dicho ciclo de trabajo.

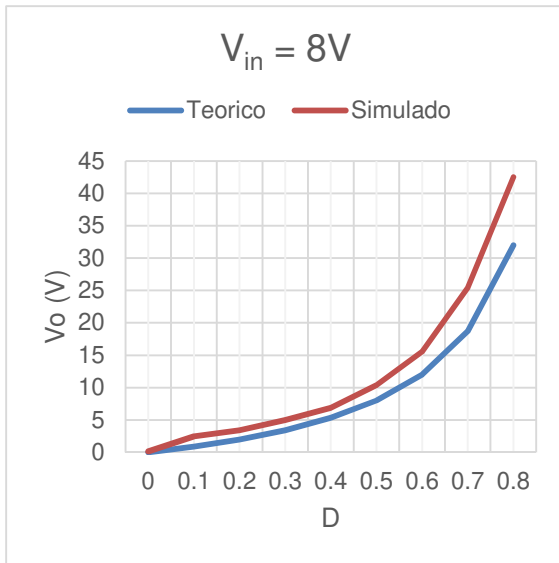


Gráfico 1. Tensión de salida en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 8V.

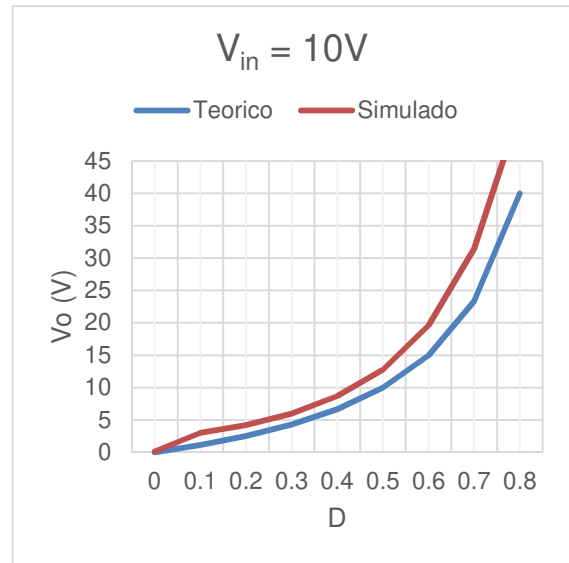


Gráfico 2. Tensión de salida en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 10V.

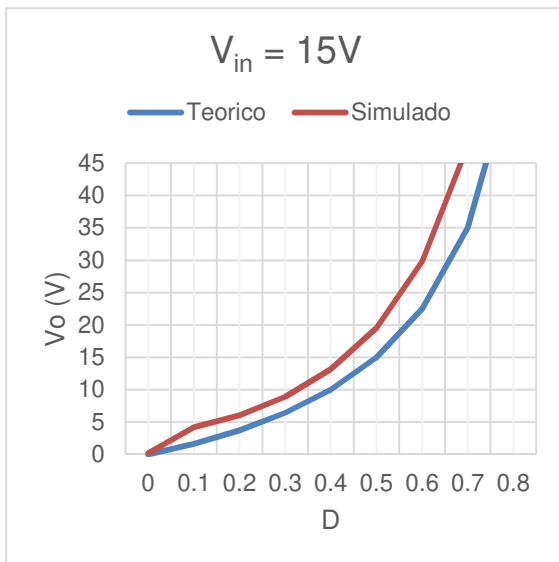


Gráfico 3. Tensión de salida en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 15V.

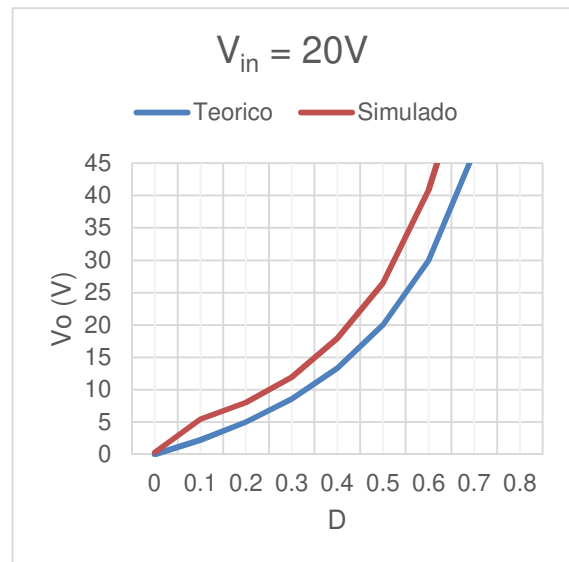


Gráfico 4. Tensión de salida en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 20V.

Para el caso de las simulaciones, es todavía más evidente que no es necesario alcanzar ciclos de trabajo elevados, ya que sólo para el caso en el que la tensión de entrada es de $8V$ el ciclo de trabajo es mayor que $D=0.7$.

Como se ha comprobado que el límite de tensión de salida establecido se alcanza antes de que se llegue a un ciclo de trabajo de $D=0.8$, en las demás graficas sólo se mostrarán los datos para los ciclos de trabajo de $0 \leq D \leq 0.8$.

4.2. Intensidad media de las bobinas

Para el cálculo teórico de la intensidad media de las bobinas se utilizaran las siguientes ecuaciones

$$I_{L1} = \frac{V_o^2}{V_{in}R}$$

$$I_{L2} = \frac{V_{in}I_{L1}}{V_o}$$

En los gráficos 5, 6, 7 y 8 se va a mostrar la intensidad media en la bobina $L1$. La intensidad que circula por la bobina $L1$ es la intensidad de entrada al convertidor, por lo que si se observan los gráficos 5, 6, 7 y 8, se comprueba que la intensidad máxima establecida se alcanza en ciclos de trabajo inferiores a $D=0.8$ para el caso de las simulaciones, por lo tanto, queda demostrado que se establecerá el límite para el ciclo de trabajo de $0 \leq D \leq 0.7$.

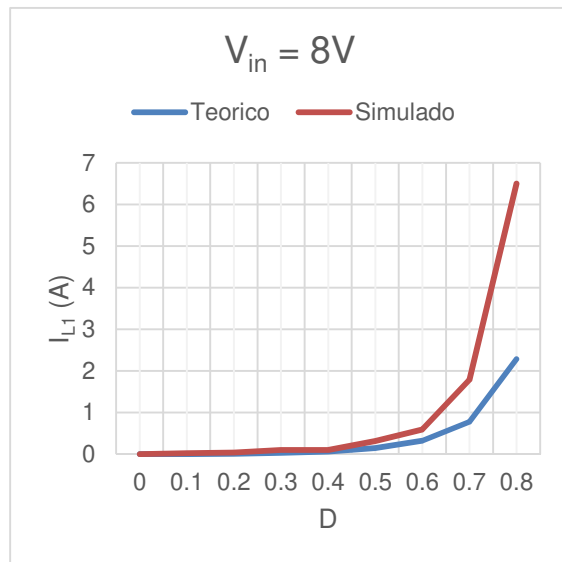


Gráfico 3. Intensidad de la bobina L1 en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 8V.

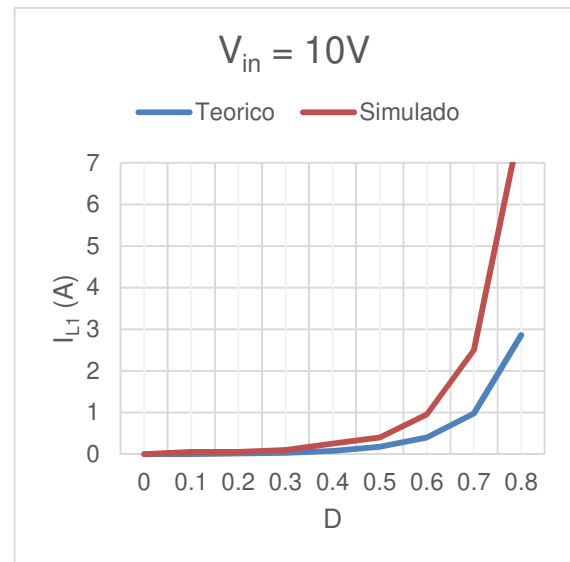


Gráfico 4. Intensidad de la bobina L1 en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 10V.

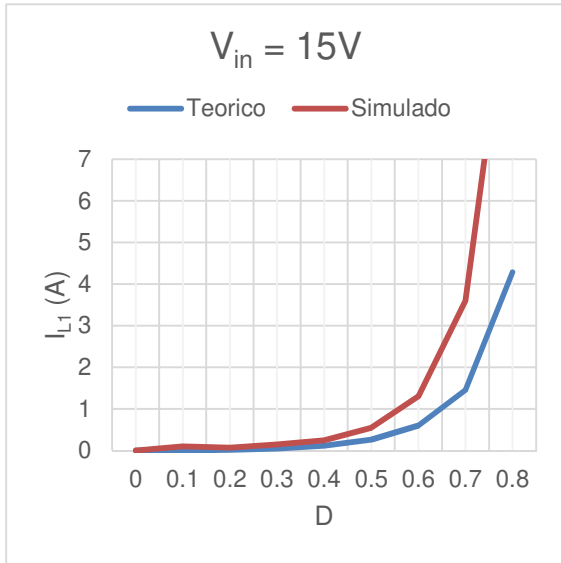


Gráfico 5. Intensidad de la bobina L1 en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 15V.

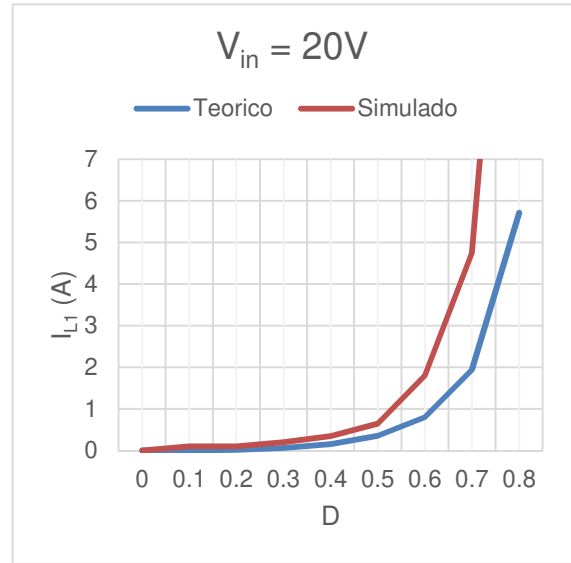


Gráfico 6. Intensidad de la bobina L1 en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 20V.

En los gráficos 9, 10, 11 y 12, se mostrarán las intensidades correspondientes a la bobina L2.

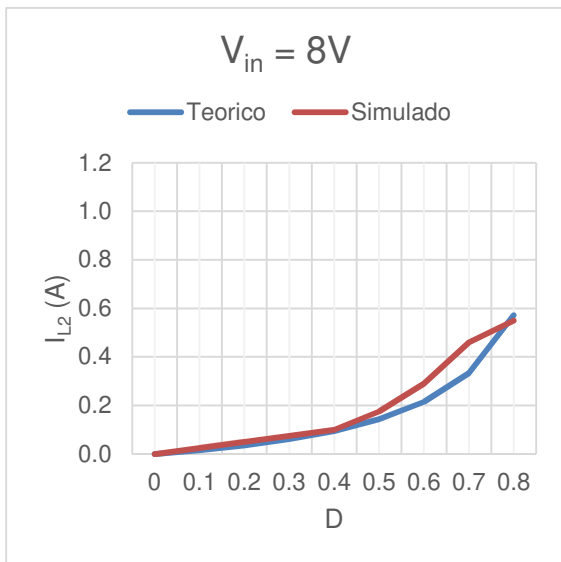


Gráfico 7. Intensidad de la bobina L2 en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 8V.

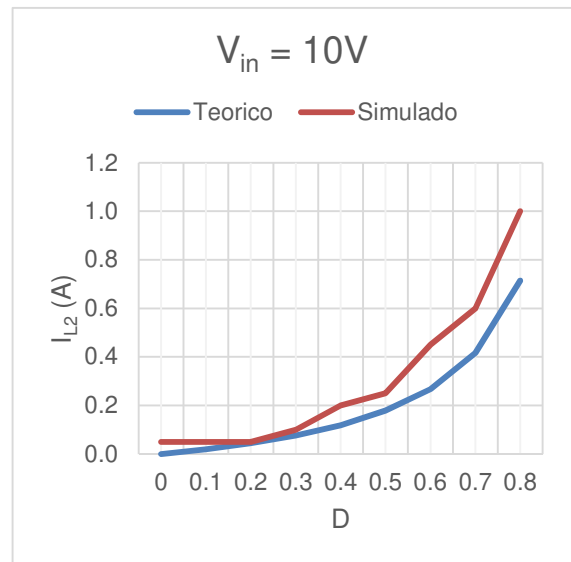


Gráfico 8. Intensidad de la bobina L2 en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 10V.

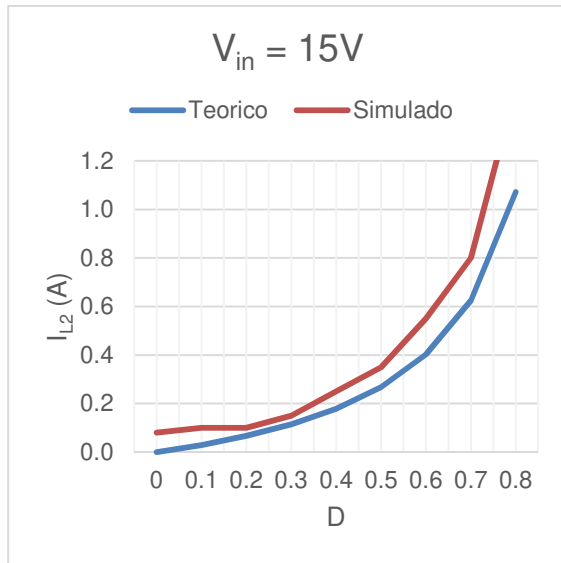


Gráfico 9. Intensidad de la bobina L2 en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 15V.

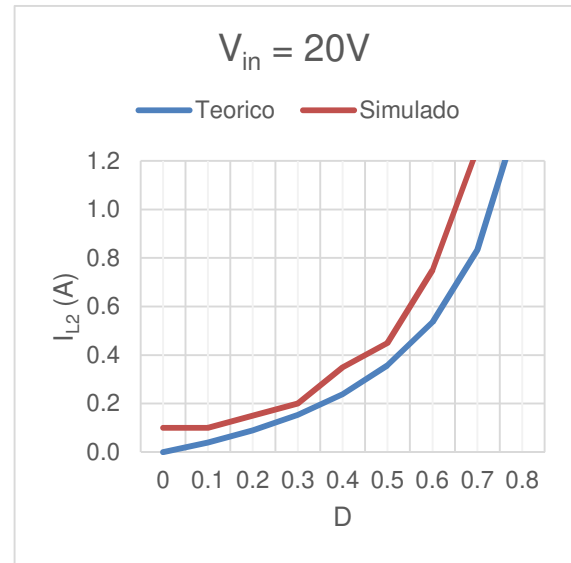


Gráfico 10. Intensidad de la bobina L2 en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 20V.

Hasta ahora en los resultados de las simulaciones se venían observando unas líneas en los gráficos relativamente suaves, pero al observar los gráficos de la intensidad de la bobina $L2$, se comprueba que la corriente ya no es lineal con el ciclo de trabajo, y este fenómeno es debido al cambio de modo de funcionamiento del regulador, en el cual pasa de ser elevador a ser reductor o viceversa. Para la tensión de entrada de $10V$ y el ciclo de trabajo desde 0.3 hasta 0.5 se observa el fenómeno descrito (gráfico 10).

4.3. Potencia absorbida de la fuente de alimentación

Esta potencia es la potencia de entrada P_{in} y se calcula teóricamente mediante la ecuación

$$P_{in} = V_{in}I_{in} = V_{in}I_{L1}$$

En los gráficos 13, 14, 15 y 16, se muestra la potencia de entrada teórica

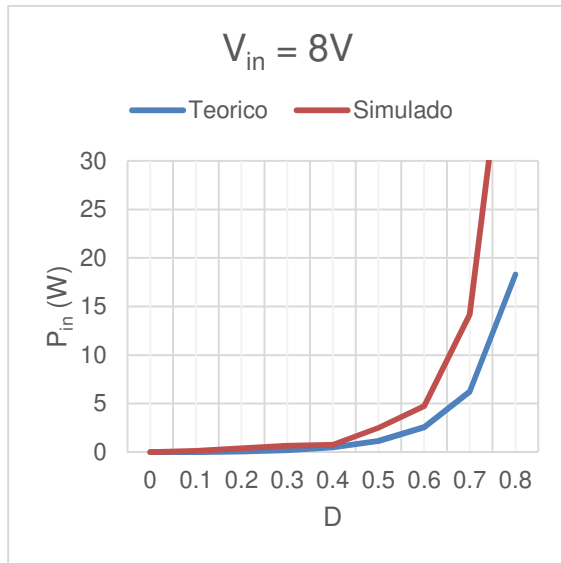


Gráfico 11. Potencia de entrada en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 8V.

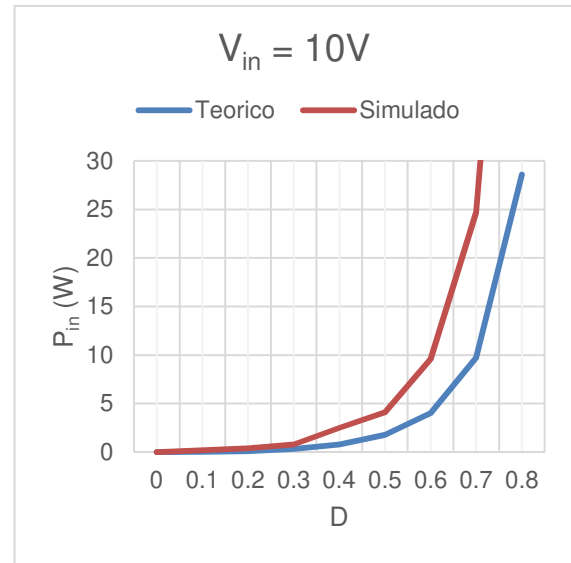


Gráfico 12. Potencia de entrada en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 10V.

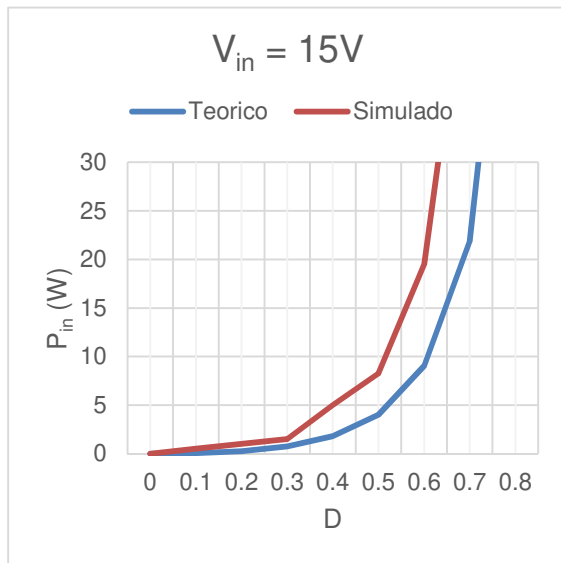


Gráfico 13. Potencia de entrada en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 15V.

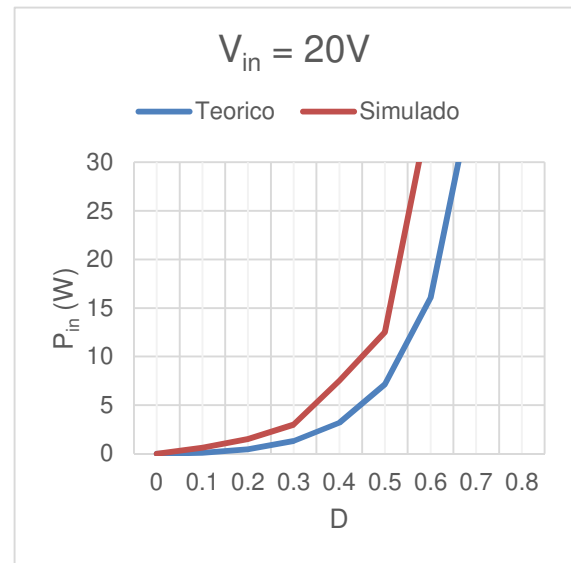


Gráfico 14. Potencia de entrada en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 20V.

Al comparar los gráficos de la potencia de entrada del regulador, se observa que la potencia consumida por el regulador en las simulaciones ha sido mayor que la potencia calculada teóricamente. Este fenómeno es debido al comportamiento real de los componentes en las simulaciones, ya que para el cálculo teórico se consideran todos los componentes como ideales.

4.4. Potencia de salida con una resistencia de carga de 56Ω

Para calcular teóricamente la potencia de salida se usa la siguiente ecuación

$$P_0 = V_0 I_0 = V_0 I_{L2}$$

En los gráficos 17, 18, 19 y 20, se muestra la potencia de salida teórica

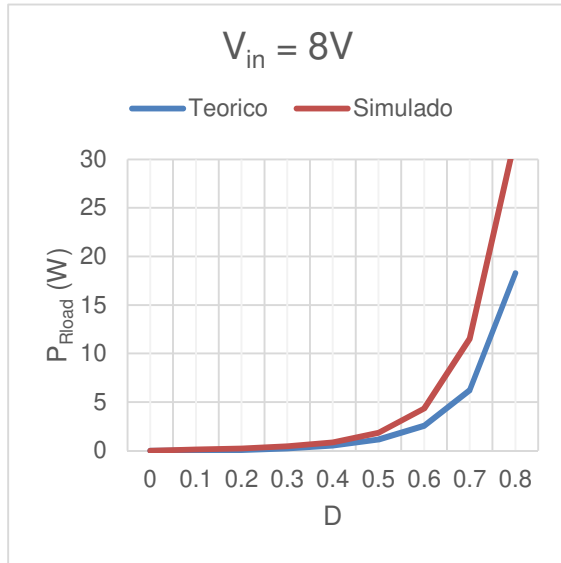


Gráfico 15. Potencia de salida en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 8V.

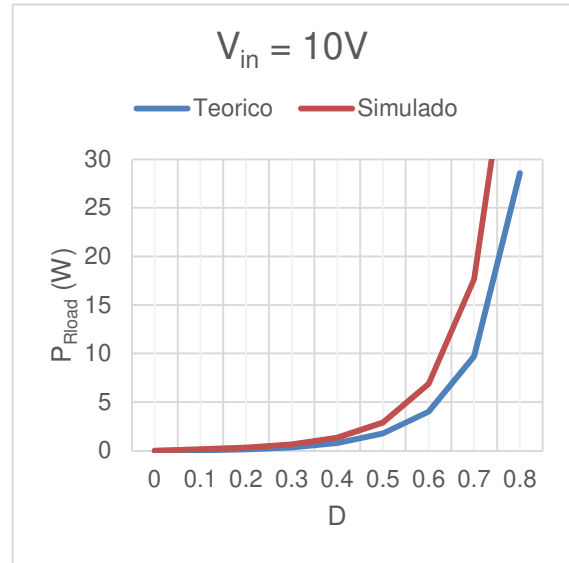


Gráfico 16. Potencia de salida en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 10V.

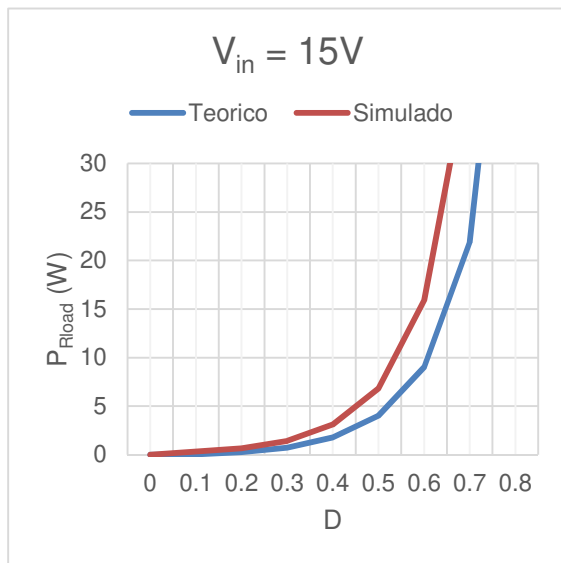


Gráfico 17. Potencia de salida en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 15V.

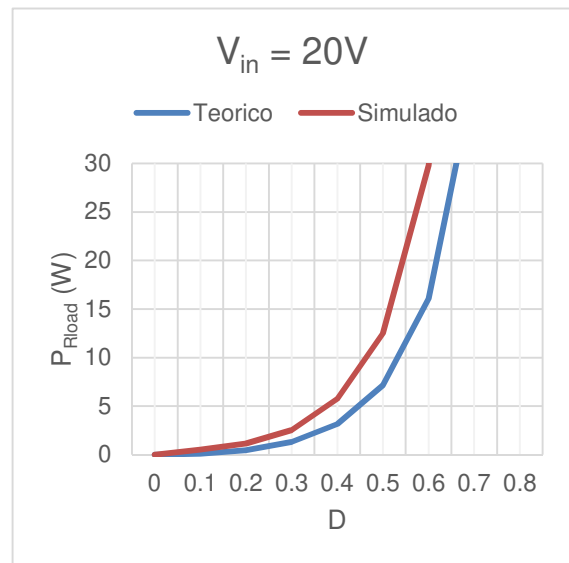


Gráfico 18. Potencia de salida en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 20V.

4.5. Intensidad de drenador del transistor MOSFET

La ecuación necesaria para calcular teóricamente la intensidad que circula por el drenador del transistor MOSFET es la siguiente

$$I_{M1(RMS)} = I_o \sqrt{\frac{(V_o + V_{in(min)} + V_D) * (V_o + V_D)}{V_{in(min)}^2}}$$

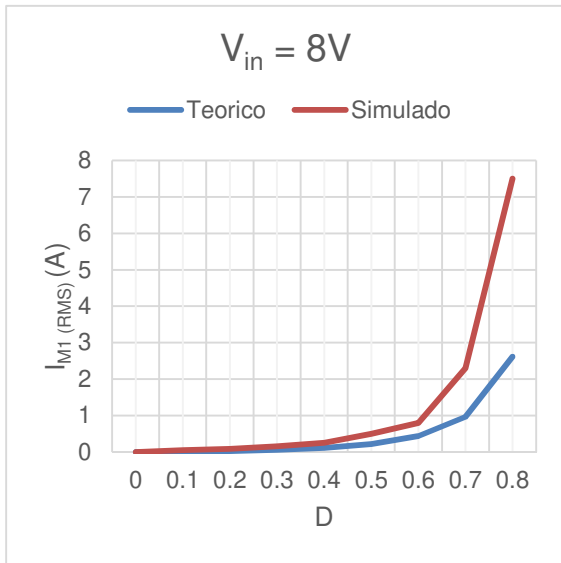


Gráfico 19. Intensidad eficaz de drenador en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 8V.

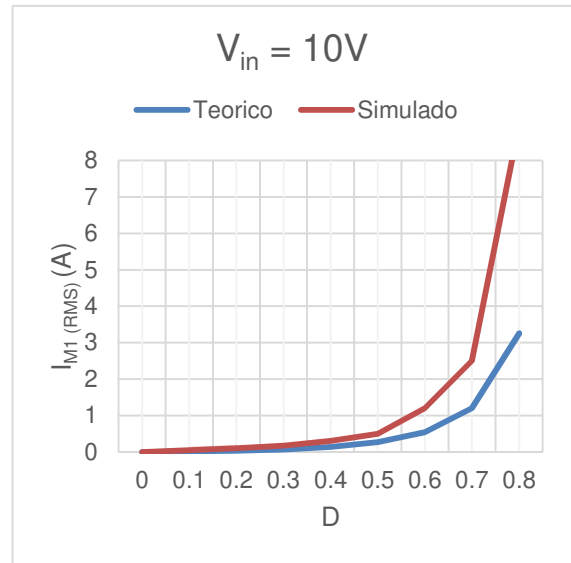


Gráfico 20. Intensidad eficaz de drenador en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 15V.

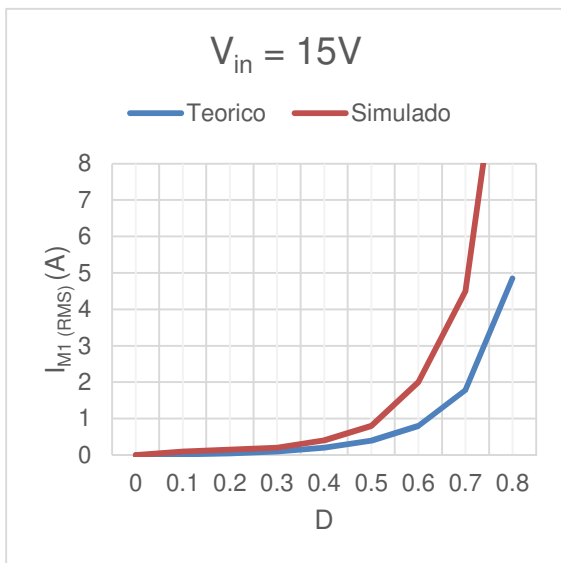


Gráfico 21. Intensidad eficaz de drenador en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 15V.

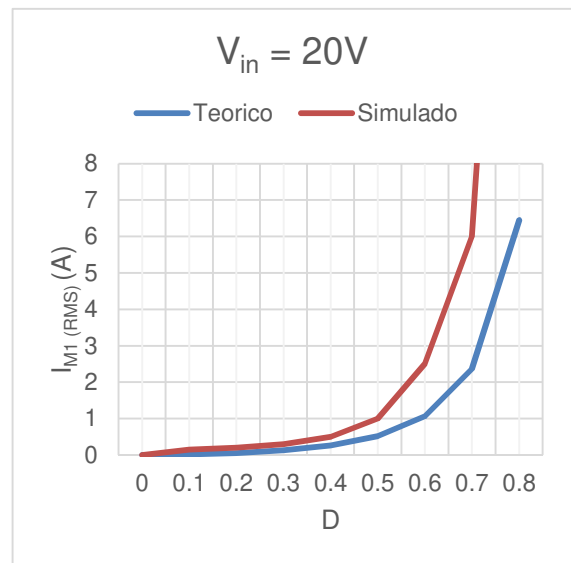


Gráfico 22. Intensidad eficaz de drenador en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 20V.

En los gráficos 21, 22, 23 y 24, se muestra la intensidad eficaz del transistor MOSFET.

4.6. Potencia perdida por el MOSFET

Para realizar el cálculo de la potencia teórica perdida por el transistor MOSFET se utiliza la siguiente ecuación

$$P_{M1} = (R_{DS(on)} * I_{M1(RMS)}^2) + \left(\frac{I_D * V_{DS} * f * (t_{d(on)} + t_r + t_{d(off)} + t_f)}{2} \right)$$

Los datos que nos proporciona Orcad en relación a la potencia, es multiplicando directamente la tensión drenador-surtidor por la intensidad de drenador, y en los cálculos de la potencia del MOSFET estos datos proporcionados no son correctos, por lo cual se realizarán cálculos similares a los cálculos teóricos.

En los gráficos 25, 26, 27 y 28, se muestra la potencia perdida del transistor MOSFET.

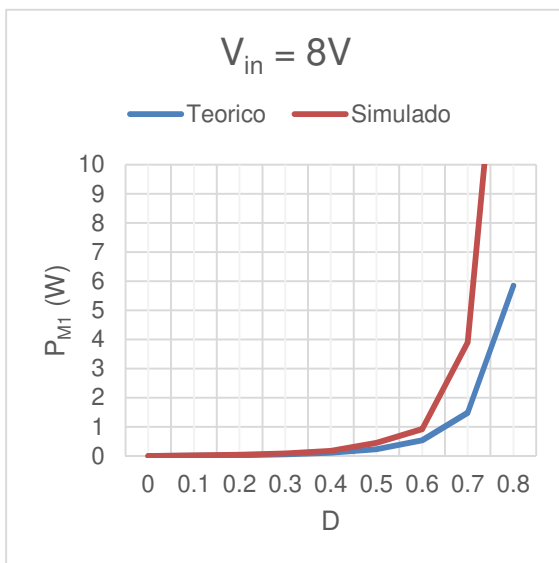


Gráfico 23. Potencia perdida por el transistor MOSFET en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 8V.

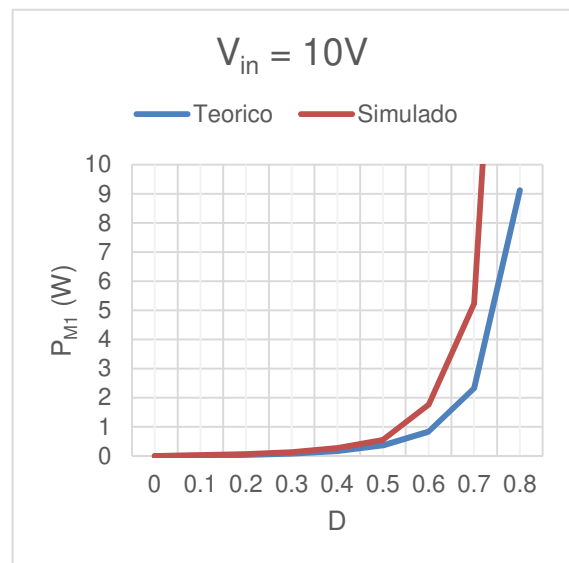


Gráfico 24. Potencia perdida por el transistor MOSFET en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 10V.

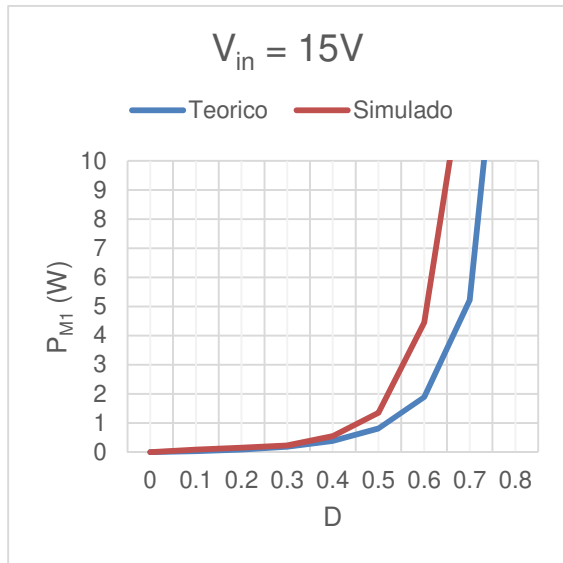


Gráfico 25. Potencia perdida por el transistor MOSFET en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 15V.

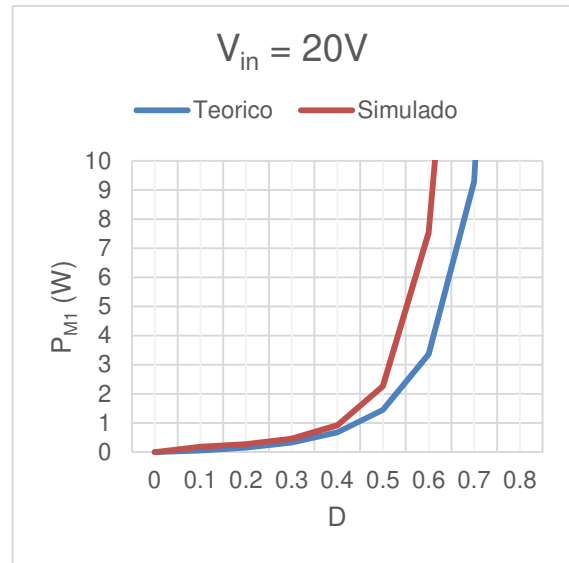


Gráfico 26. Potencia perdida por el transistor MOSFET en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 20V.

4.7. Intensidad de polarización directa en el diodo Schottky

La ecuación necesaria para calcular teóricamente la intensidad de polarización directa del diodo Schottky es la siguiente

$$I_{D1} = I_{L1 \text{ máx}} + I_{L2 \text{ máx}}$$

En los gráficos 29, 30, 31 y 32, se muestra la intensidad que circula por el diodo.

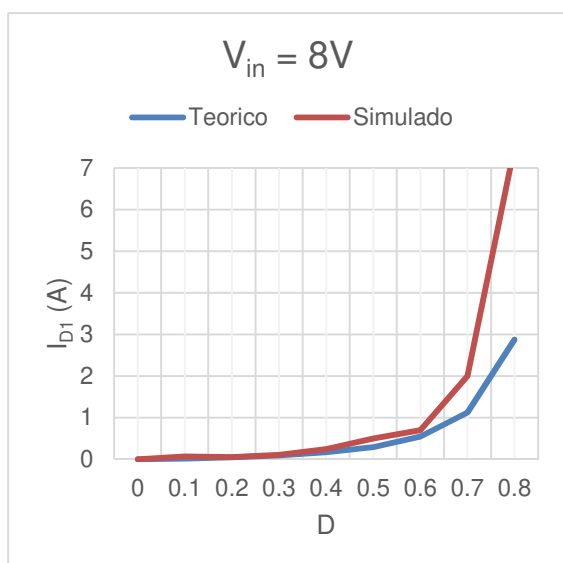


Gráfico 27. Intensidad de polarización directa del diodo Schottky en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 8V.

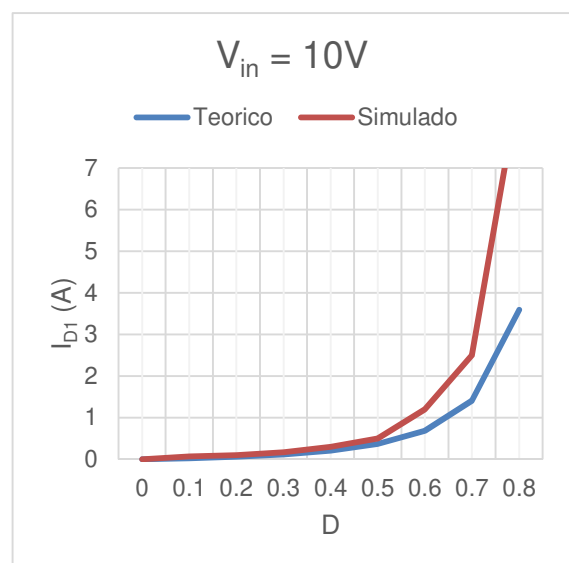


Gráfico 28. Intensidad de polarización directa del diodo Schottky en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 10V.

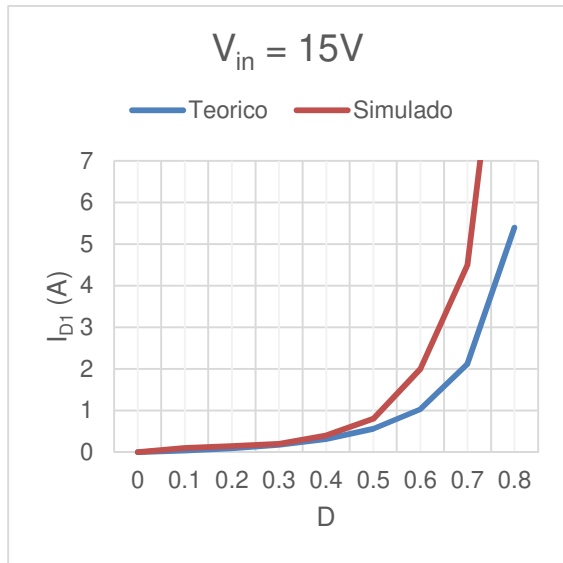


Gráfico 29. Intensidad de polarización directa del diodo Schottky en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 15V.

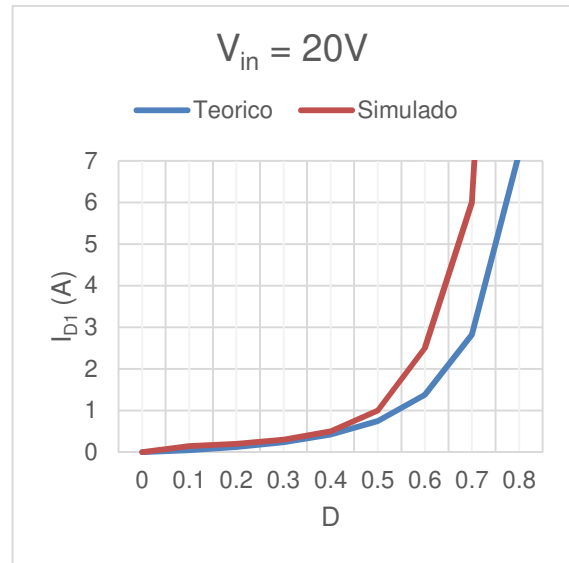


Gráfico 30. Intensidad de polarización directa del diodo Schottky en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 20V.

4.8. Tensión inversa del diodo Schottky

Para obtener los resultados teóricos de la tensión inversa del diodo se utiliza la siguiente ecuación

$$V_{rD1} = V_{in} + V_o$$

En los gráficos 33, 34, 35 y 36, se muestra la tensión inversa del diodo Schottky

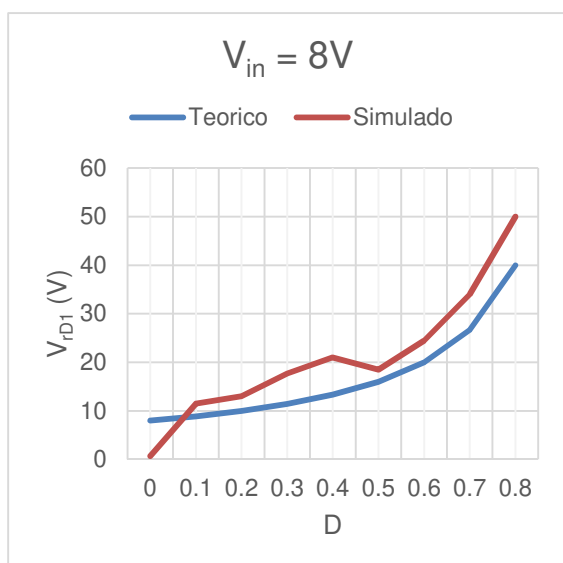


Gráfico 31. Tensión inversa del diodo Schottky en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 8V.

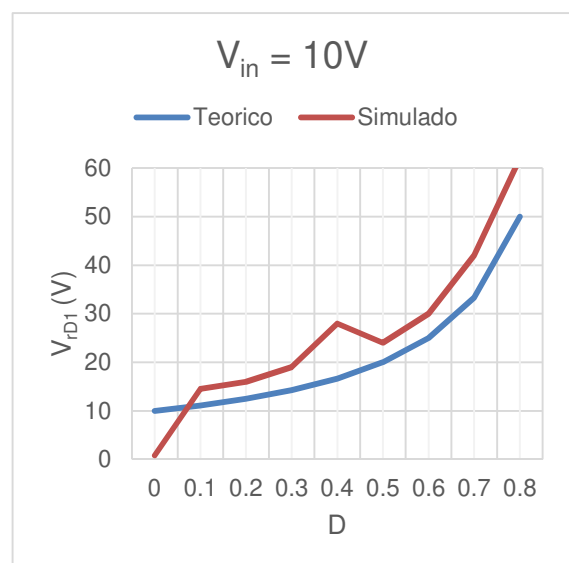


Gráfico 32. Tensión inversa del diodo Schottky en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 10V.

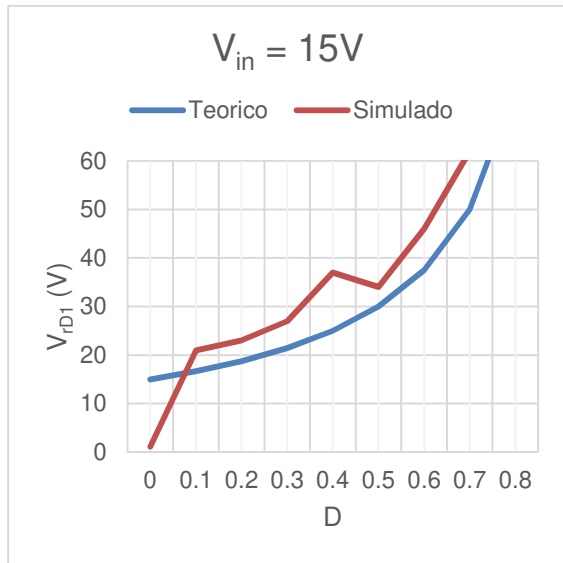


Gráfico 33. Tensión inversa del diodo Schottky en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 15V.

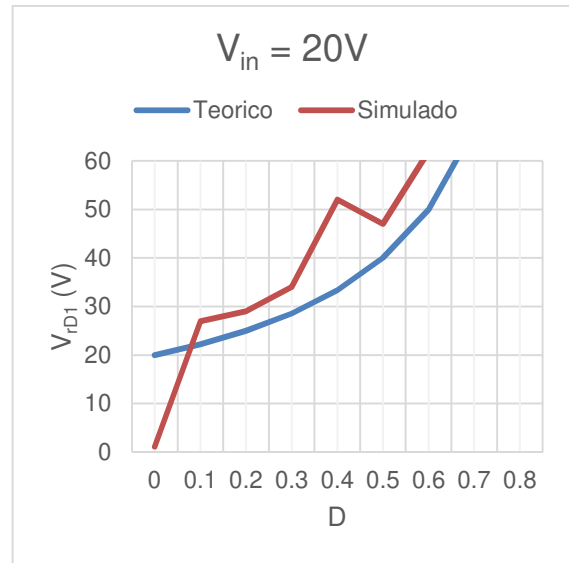


Gráfico 34. Tensión inversa del diodo Schottky en función del ciclo de trabajo para una tensión de entrada de 20V.

Se puede observar en los gráficos 33, 34, 35 y 36, un pico en la tensión inversa del diodo Schottky en los datos de las simulaciones, que es debido al cambio de modo de convertidor, es decir, cuando cambia de reductor a elevador, y en el caso del ciclo de trabajo simulado de 0.4, es donde se aproxima a la tensión de entrada.

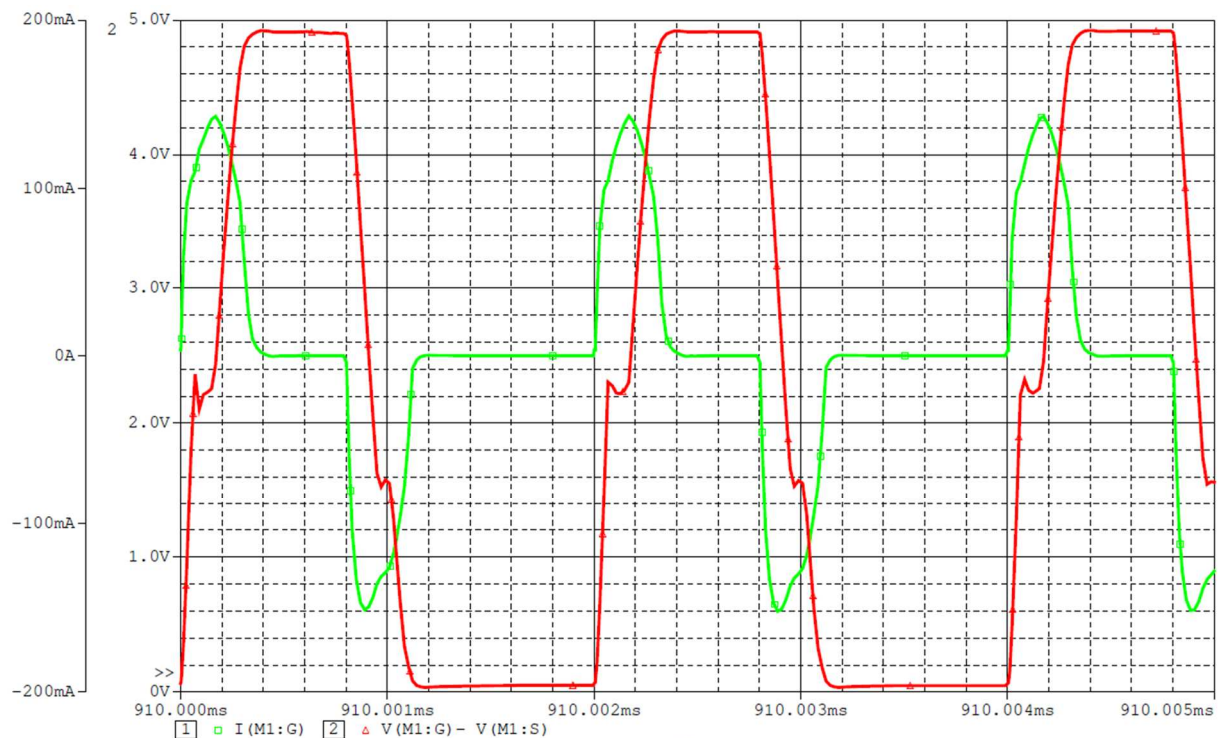


Gráfico 35. Intensidad de puerta y tensión drenador – surtidor del transistor

Por último se debe aclarar que la intensidad de puerta en todas las simulaciones no excede en ningún caso los 200 mA de pico, aunque como se muestra en la gráfico 37, en realidad lo que se obtiene es una señal de pulsos positivos (cuando el transistor va a conducir y se carga la puerta), y negativos (cuando el transistor deja de conducir y la puerta se descarga) con una intensidad no superior a 150 mA. En el gráfico 37 también se muestra la tensión entre puerta y surtidor.

5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El sistema es un regulador SEPIC controlado por la plataforma Arduino y totalmente autónomo. Dispone de un display para visualizar las tensiones tanto de entrada como de salida, y unos pulsadores para poder elegir la tensión de salida deseada.

Se ha logrado obtener una tensión de salida con un rango bastante amplio, con valores desde 0V hasta 30V. Este regulador es capaz de suministrar corrientes de hasta 6A. El rango de tensión de entrada aunque sea de corriente continua, también es bastante amplio aceptando tensiones de entrada desde 8V hasta 20V. Al estar controlado el regulador mediante la plataforma Arduino, se han añadido algunas funcionalidades, como poder medir las tensiones de entrada y de salida del circuito en tiempo real solo accionando un pulsador. La visualización se realiza mediante un display.

Después de realizar el estudio y el diseño de este regulador se puede observar que tras incluir los distintos componentes auxiliares, este regulador es totalmente autónomo, es decir, conectando sólo la tensión de alimentación el sistema funciona de forma indefinida controlando de forma exacta la tensión de salida requerida.

Una vez mostrados todos los datos, se comprueba que hay variaciones de las simulaciones con respecto a los cálculos realizados, y esto principalmente es debido a los retrasos en las conmutaciones, ya que en los cálculos teóricos no se han tenido en cuenta los retrasos que se producen en el driver (al conmutar los transistores **BJT**). Dichas variaciones no son muy importantes en nuestro caso, ya que Arduino se encargará de controlar las tensiones de salida.

Con respecto a los futuros trabajos que se podrían realizar siguiendo lo estudiado en este proyecto, se podrían probar diferentes frecuencias de conmutación para comprobar que resultados podrían llegar a obtenerse, hacer pruebas con diferentes transistores MOSFET, diferentes cargas teniendo en cuenta las limitaciones del circuito, ya que habrá que comprobar la intensidad máxima que pueden soportar las pistas de la placa de circuito impreso, o incluso tener que utilizar mayor disipación de

calor y considerar la opción de colocar ventilación forzada para exprimir al máximo la capacidad del convertidor.

Otra mejora sería la búsqueda de alternativas para eliminar el regulador lineal incluido en el diseño.

Existe otra configuración típica del convertidor SEPIC en la cual se colocan las dos bobinas acopladas entre ellas tal y como se muestra en la figura 31.

El funcionamiento del circuito de la figura 31 difiere un poco del funcionamiento del circuito típico de este regulador (figura 3), aunque la tensión de salida se obtiene de los dos circuitos con la misma ecuación.

El funcionamiento del circuito de la figura 31 es el siguiente:

Cuando el transistor conduce se aplica tensión al bobinado $L1$ y como la relación del bobinado es $1:1$, en $L2$ se impone una tensión de igual magnitud a la de $L1$, se polariza el diodo inversamente, descargando el condensador $C1$ a través del transistor, y como el diodo no conduce, el condensador de salida se descarga sobre la resistencia de carga.

Cuando el transistor deja de conducir, la polaridad de las bobinas se invierte para mantener la dirección de la corriente, polarizando el diodo en directo, cargándose ahora los condensadores y suministrando la corriente necesaria a la resistencia de carga.

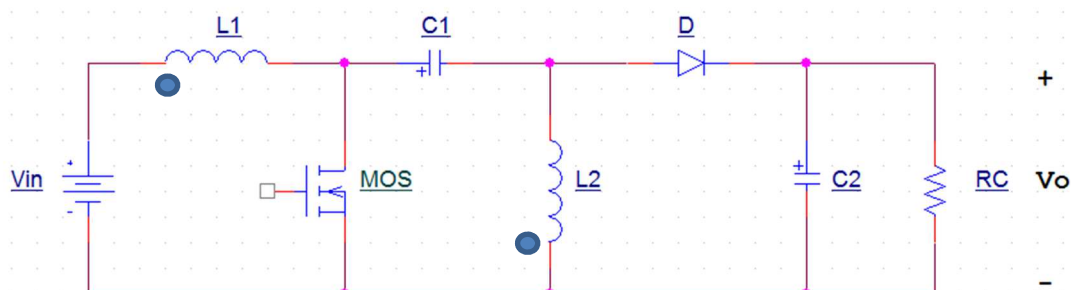


Figura 31. Convertidor SEPIC con bobinas acopladas

Además de las diferentes mejoras y estudios realizables, se podrían realizar estudios de este esquema de regulador y compararlo con el estudiado en este proyecto.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Arduino, 2020. [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/>.
- [2] D. W. Hart, Power Electronics, 2011.
- [3] M. H. Rashid, Electrónica de potencia. Circuitos, dispositivos y aplicaciones. Segunda edición, 1993.
- [4] N. Mohan, T. M. Undeland y W. P. Robbins, Electrónica de potencia. Convertidores, aplicaciones y diseño. Tercera edición, 2009.
- [5] Arduino.cl, 2020. [En línea]. Available: <https://arduino.cl/>.
- [6] Power Shield DFRobot, 2020. [En línea]. Available: <https://www.dfrobot.com/product-378.html>.
- [7] Arduino MKR motor carrier, 2020. [En línea]. Available: <https://store.arduino.cc/arduino-mkr-motor-carrier>.
- [8] Solar charger, 2020. [En línea]. Available: <https://www.seeedstudio.com/Solar-Charger-Shield-v2-2.html>.
- [9] Synthetos gShield, 2020. [En línea]. Available: <https://www.adafruit.com/product/1750>.
- [10] Verter 5V USB Buck - Boost, 2020. [En línea]. Available: <https://www.adafruit.com/product/2190>.
- [11] Convertidor DC-DC XL6009 Buck - Boost, 2020. [En línea]. Available: <https://electronilab.co/tienda/convertidor-dc-dc-xl6009-buck-boost/>.
- [12] Orcad, 2020. [En línea]. Available: <https://www.orcad.com/>.
- [13] Runnerup, «Foro Arduino.cc,» 2012. [En línea]. Available: <https://forum.arduino.cc/index.php/topic,117425.0.html>. [Último acceso: 2020].
- [14] T. L. Floyd, Dispositivos electrónicos. Octava edición, 2008.
- [15] A. S. Sedra y K. C. Smith, Circuitos microelectrónicos. Cuarta edición, 1999.
- [16] Texas Instruments, «ti.com,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.ti.com/lit/an/snva168e/snva168e.pdf>.
- [17] A. Méndez, «Universidad Politécnica de Cataluña,» 2016. [En línea]. Available: http://ieb-srv1.upc.es/gieb/tecnicas/pdf/disipadores_termicos.pdf.

PLIEGO DE CONDICIONES

1. ESPECIFICACIONES

El sistema es un regulador SEPIC controlado por la plataforma Arduino y totalmente autónomo. Dispone de un display para visualizar las tensiones tanto de entrada como de salida, y unos pulsadores para poder elegir la tensión de salida deseada.

Las especificaciones mostradas a continuación son para una resistencia de carga mayor de 56Ω

- Tensión de entrada: 8 – 30V.
- Tensión de salida: 0 – 30V.
- Intensidad máxima de entrada: 6A.
- Intensidad máxima de salida: 6A.
- Frecuencia del ciclo de trabajo: 500KHz
- Control de la tensión de salida gobernado por Arduino.
- Circuito de mando consistente en tres pulsadores, y circuito de visualización de las tensiones de entrada y de salida del sistema proporcionadas por Arduino, consistente en un *display* y dos diodos led que indican cuando se llega a los límites de tensión establecidos. Un diodo led indica cuando se ha llegado al límite de tensión de entrada, y el otro diodo led indica cuando se llega al límite de tensión de salida.
- Diseño de una placa de circuito impreso (PCB) que contenga toda la circuitería, salvo el mismo Arduino, y directamente conectable a Arduino Uno.

Cuando se indica a Arduino que la resistencia es menor de 56Ω , este automáticamente limita la tensión máxima de entrada y la tensión máxima de salida a los siguientes rangos.

- Tensión de entrada: 8 – 10V.
- Tensión de salida: 0 – 5V

Todos los demás valores siguen siendo los mismos.

Las especificaciones de los componentes auxiliares son:

- Display de 4 dígitos y 7 segmentos de cátodo común
 - o Disipación máxima por segmento de 75mW.
 - o Corriente de pico máxima por segmento de 100mA.
 - o Corriente continua directa máxima por segmento de 25mA.
 - o Tensión inversa máxima por segmento de 5V.
- Pulsadores
 - o Intensidad máxima de contacto de 50mA.
 - o Tensión máxima de contacto de 24V en corriente continua.
- Regulador lineal LM7805CT
 - o Tensión de entrada máxima de 30V.
 - o Tensión de salida de 5V.
 - o Intensidad máxima de salida de 1A.
- Registro de desplazamiento 74HC595
 - o Rango de tensión de entrada desde 2V hasta 5.5V.
 - o Rango de tensión de salida desde 0V hasta VCC.
 - o Corriente de salida máxima por patilla de 25mA.
- Diodos led rojos de 5mm
 - o Intensidad máxima de 25mA.
 - o Tensión máxima de polarización directa de 1.7V

2. MANUAL DE USUARIO

2.1. Programación de Arduino

En primer lugar se tiene que descargar e instalar el software IDE de Arduino de la página oficial (figura 32) [1].



Figura 32. Enlace de descarga del entorno IDE

Después de finalizar la instalación del software, se tiene que entrar en este software, y posteriormente se conecta la plataforma Arduino al PC mediante el puerto

USB. Tras conectar la plataforma Arduino al PC hay que seleccionar la placa que se está utilizando (figura 33), y posteriormente seleccionar el puerto en el que está conectado (figura 34).

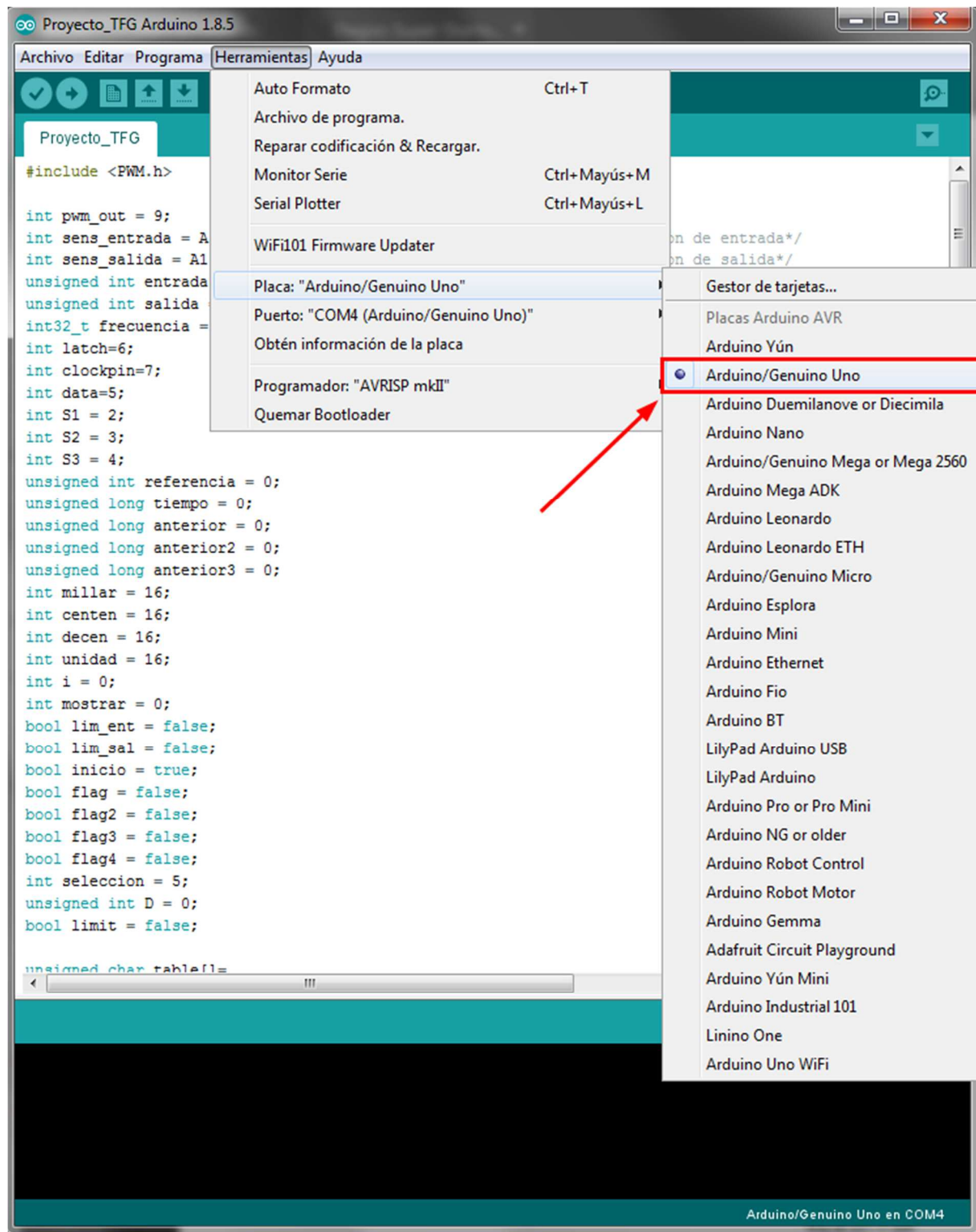


Figura 33. Selección del tipo de placa de Arduino utilizada.

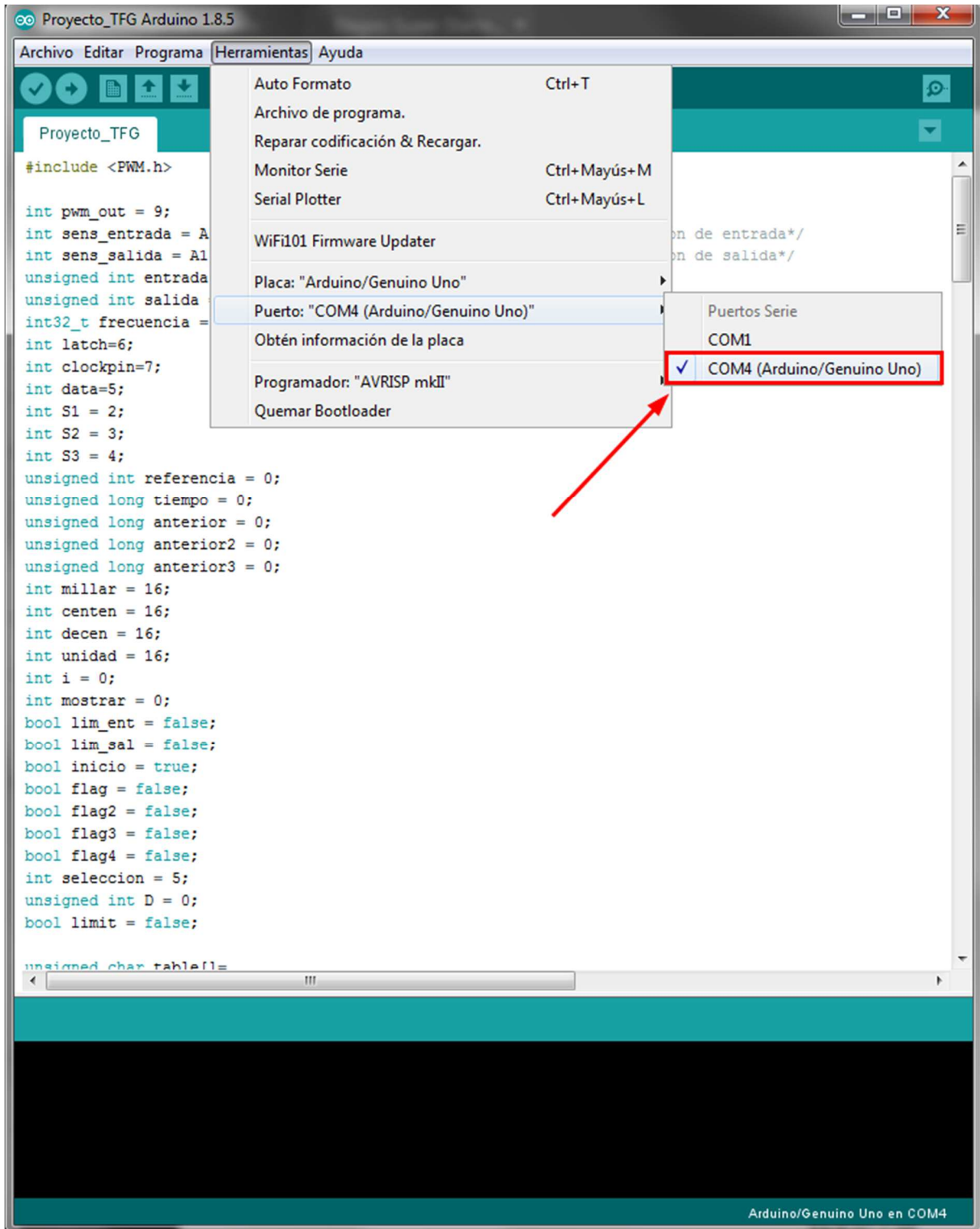


Figura 34. Selección del puerto de conexión de la plataforma Arduino.

Posteriormente se tiene que descargar la biblioteca Arduino PWM Frequency Library del foro de Arduino [13]. Una vez dentro de la página se busca el link de descarga para obtener dicha biblioteca como se observa en la figura 35.

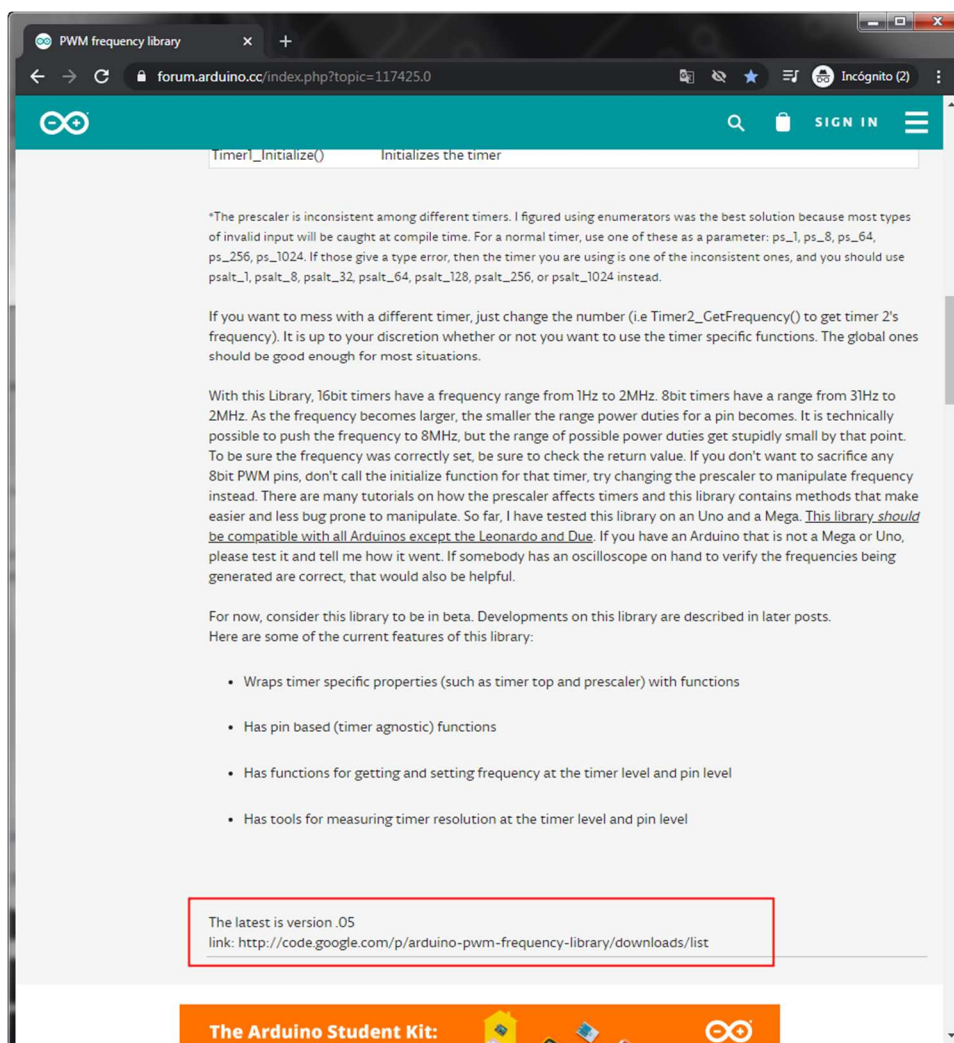


Figura 35. Enlace de descarga de la biblioteca

Cuando se tiene la biblioteca descargada, se descomprime y se obtienen tres carpetas. La carpeta llamada PWM hay que volver a comprimirla como archivo .ZIP para poder incluir la biblioteca en el entorno IDE de Arduino.

Para incluir la biblioteca al IDE de Arduino se tiene que entrar a dicho entorno y pulsar en programa, incluir librería y después en añadir librería .ZIP, tal y como se muestra en la figura 36.

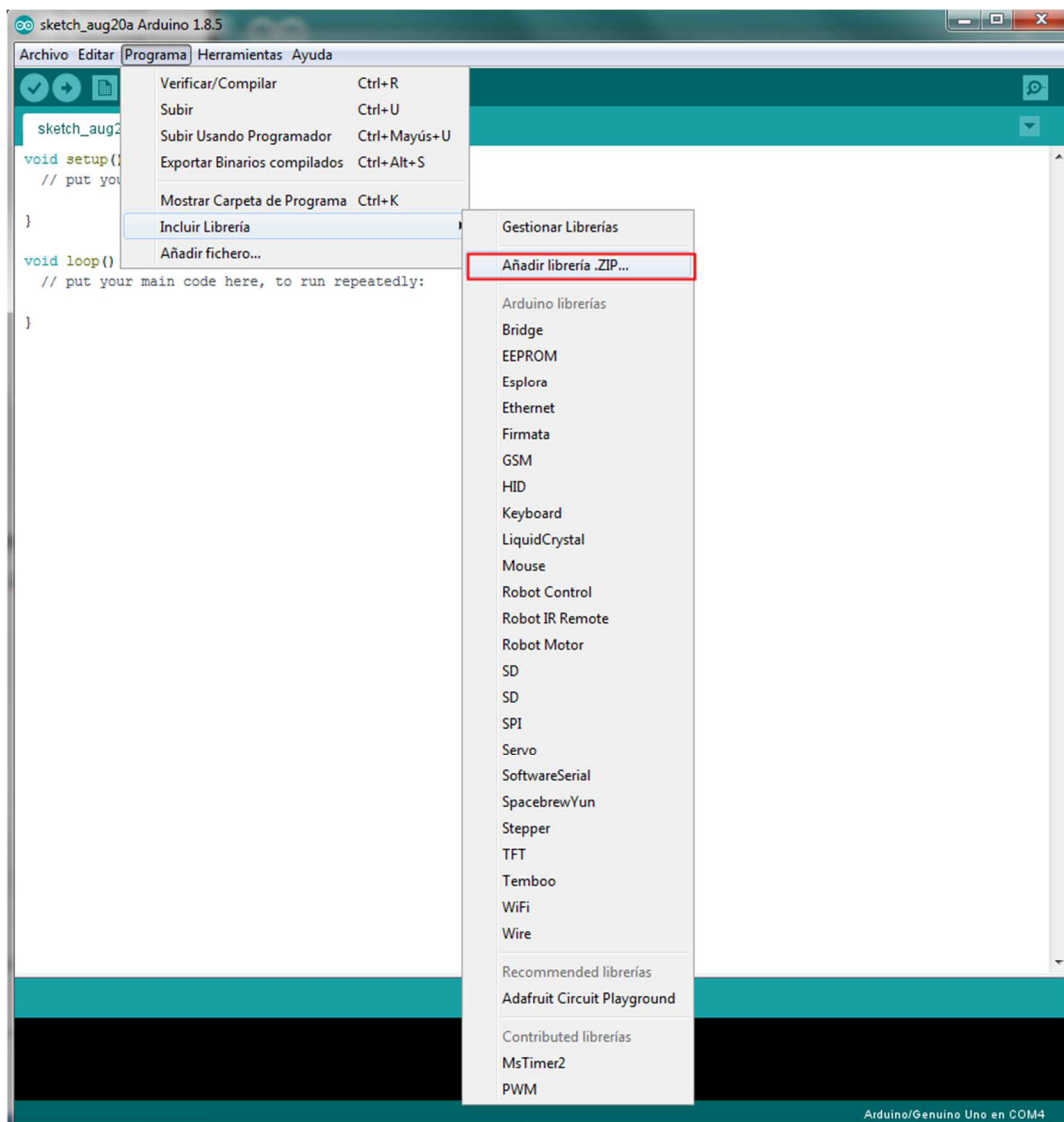


Figura 36. Pasos para incluir la biblioteca al entorno IDE de Arduino

Una vez añadida la biblioteca ya estamos dispuestos para copiar el programa que se utilizará para este proyecto, el cual se encuentra en el capítulo Programas de este mismo proyecto (el programa está dispuesto de tal forma que es solo copiarlo del proyecto y pegarlo en el entorno IDE de Arduino, y no hay que hacer ninguna modificación).

Cuando ya se tiene el programa copiado en el entorno IDE sólo hay pulsar el botón para subirlo a Arduino (figura 37). Para la programación de la placa de Arduino, esta tiene que estar desconectada de la placa de circuito impreso que se está

diseñando en este proyecto para evitar algún problema en el funcionamiento del sistema.

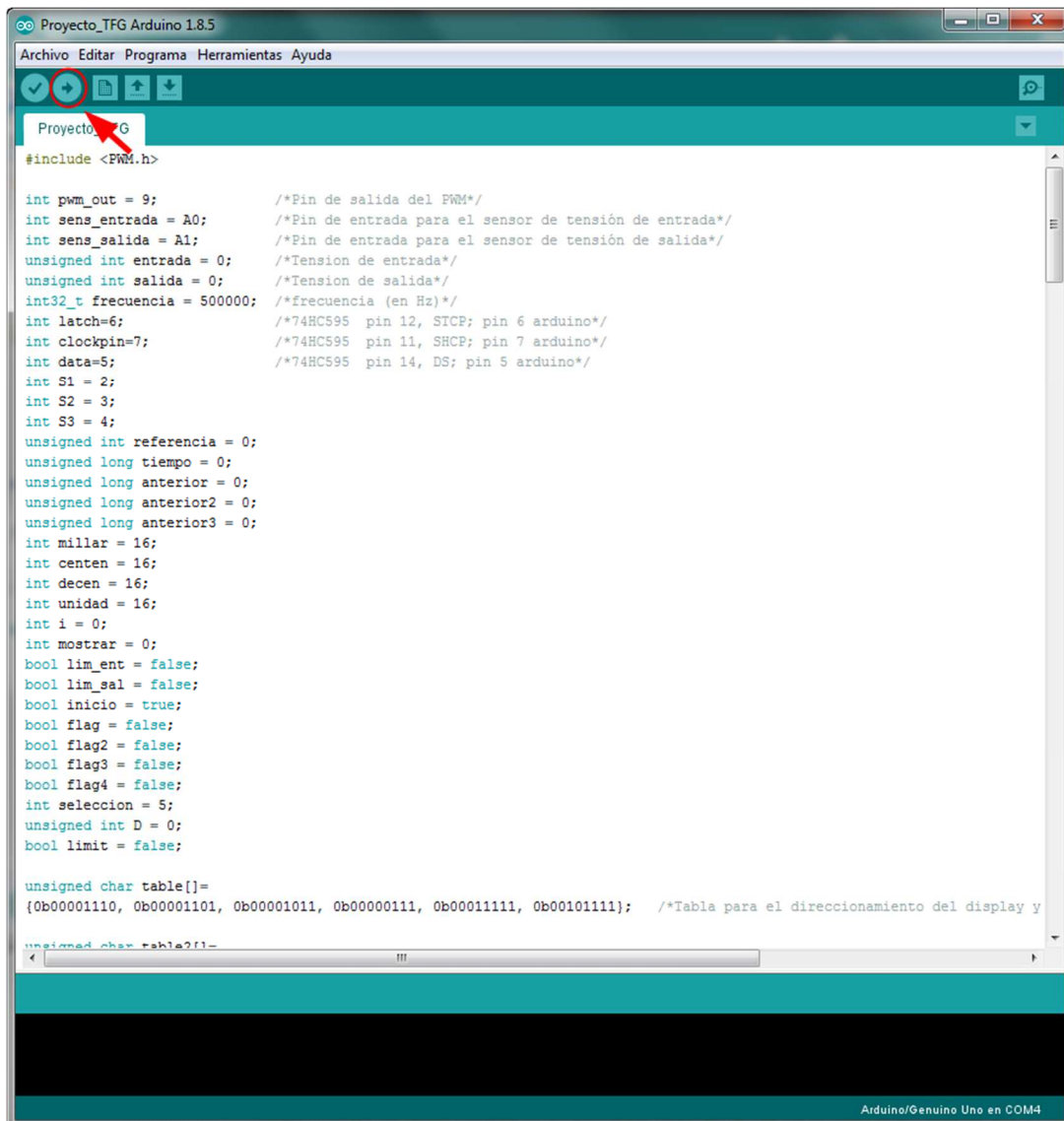


Figura 37. Pasos para subir programa a Arduino

Cuando ya se ha subido el programa a la placa de Arduino UNO, este ya está listo para ser montado en la placa de circuito diseñada en este proyecto y preparado para su funcionamiento.

2.2. Guía de funcionamiento

En esta guía se explicará el manejo del sistema debido a la variedad de visualizaciones distintas que se pueden observar en el display, y como se pueden

cambiar a través de los botones dispuestos en el sistema, además del control que se puede realizar de la tensión de salida.

Antes de conectar la alimentación en el sistema se tiene que haber conectado la carga que se va a alimentar.

Cuando el sistema se inicia por primera vez, se le pregunta al usuario si la resistencia de carga conectada es mayor o igual de 56Ω (figura 38).

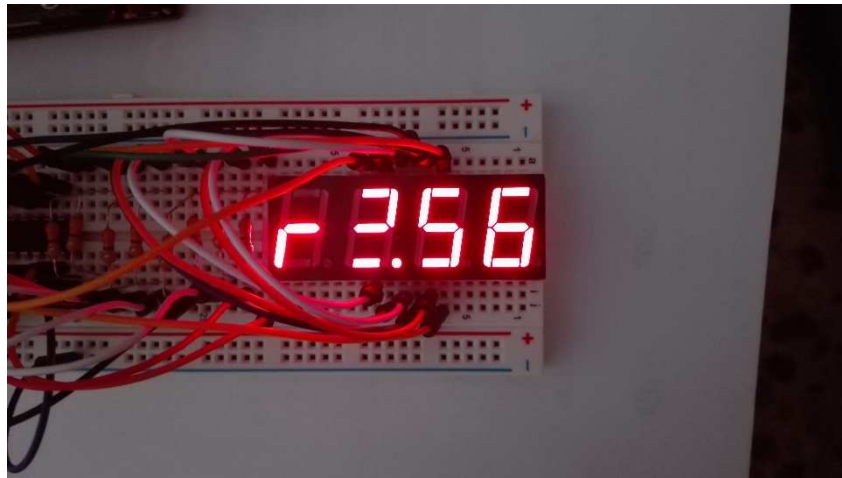


Figura 38. Display mostrando $r \geq 56$

Después de pulsar sobre los pulsadores S1 o S2 se muestra en el display si la respuesta es positiva o negativa como se muestra en las figuras 39 y 40 respectivamente.

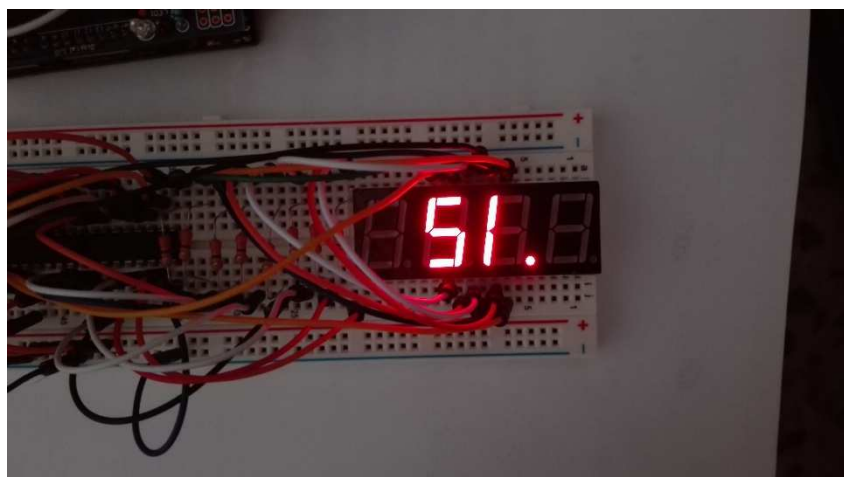


Figura 39. Display mostrando si

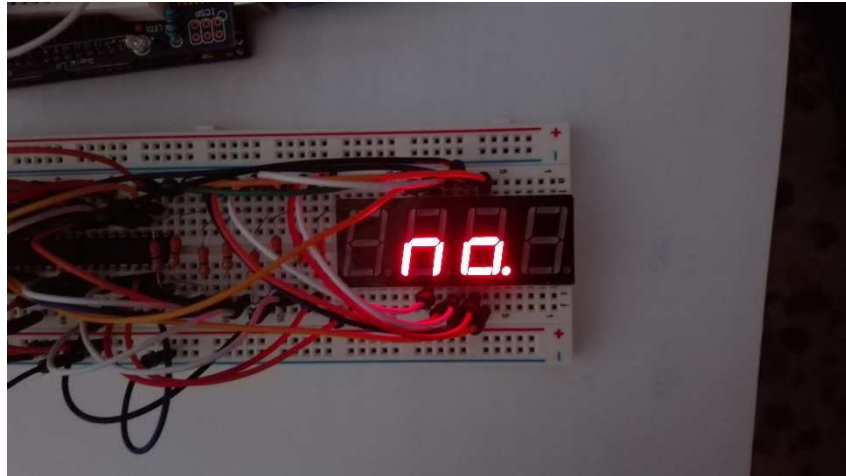


Figura 40. Display mostrando no

Después de elegir la respuesta se tiene que pulsar sobre S3, y el sistema pasa a mostrar la tensión de entrada del regulador (figura 41).

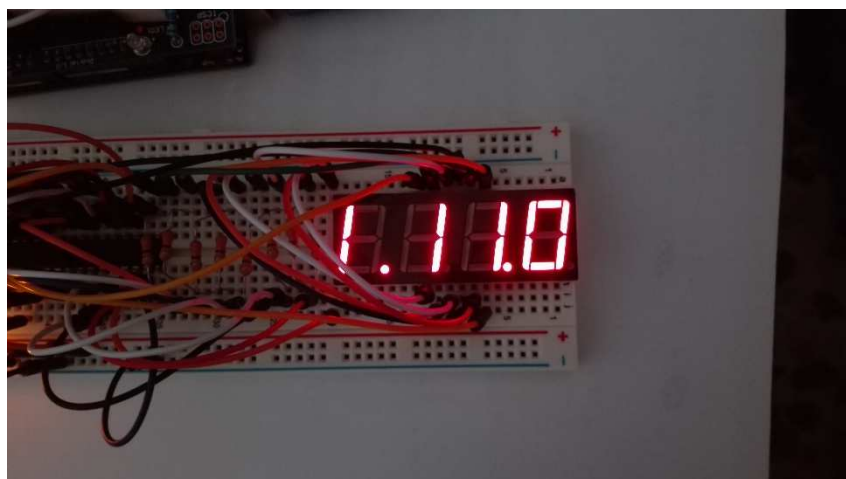


Figura 41. Display mostrando la tensión de entrada

Pulsando sobre el botón S3 se va alternando entre mostrar la tensión de entrada, la tensión de salida, el ciclo de trabajo, la tensión de referencia de la salida, o el display apagado, tal y como se muestra en las figuras 41, 42, 43 y 44 respectivamente. Si se desea aumentar la tensión de referencia y a su vez la tensión de salida, se tiene que pulsar sobre el botón S2, y si se desea disminuir, se tiene que pulsar sobre el botón S1.

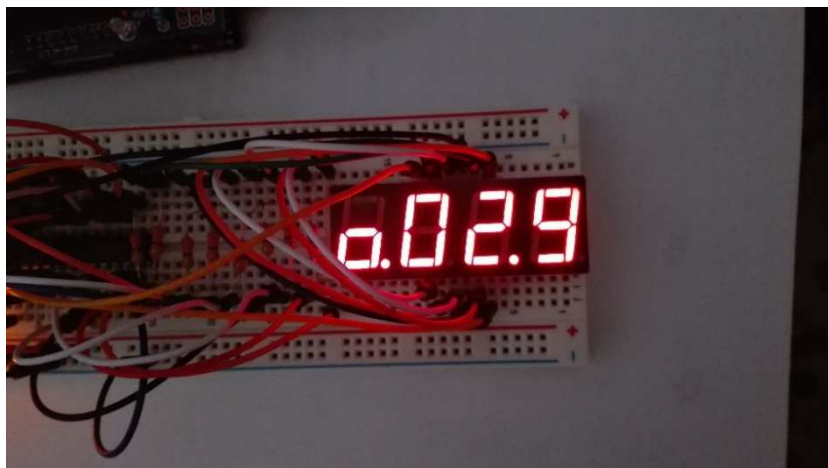


Figura 42. Display mostrando la tensión de salida



Figura 43. Display mostrando el ciclo de trabajo



Figura 44. Display mostrando la tensión de referencia

3. HOJAS DE CARACTERÍSTICAS



PD - 94997

IRL540NPbF

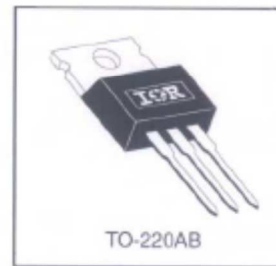
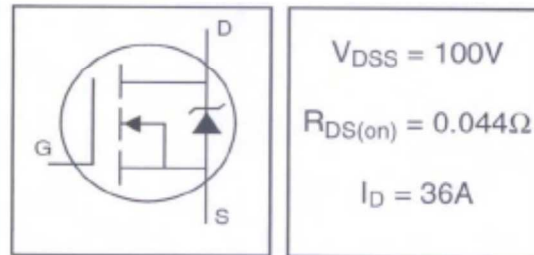
HEXFET® Power MOSFET

- Lead-Free
- Logic-Level Gate Drive
- Advanced Process Technology
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated

Description

Fifth Generation HEXFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET Power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	36	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	26	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	120	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	140	W
	Linear Derating Factor	0.91	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 16	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy ②	310	mJ
I_{AR}	Avalanche Current ③	18	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ④	14	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ⑤	5.0	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to +175	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds		
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf•in (1.1N•m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	1.1	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

www.irf.com

1

2/10/04

IRL540NPbF



Electrical Characteristics @ T_J = 25°C (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
V _{(BR)DSS}	Drain-to-Source Breakdown Voltage	100	—	—	V	V _{GS} = 0V, I _D = 250μA
ΔV _{(BR)DSS/ΔT_J}	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.11	—	V/°C	Reference to 25°C, I _D = 1mA
R _{DS(on)}	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.044	Ω	V _{GS} = 10V, I _D = 18A ①
		—	—	0.053		V _{GS} = 5.0V, I _D = 18A ②
		—	—	0.063		V _{GS} = 4.0V, I _D = 15A ②
V _{GS(th)}	Gate Threshold Voltage	1.0	—	2.0	V	V _{DS} = V _{GS} , I _D = 250μA
g _{fs}	Forward Transconductance	14	—	—	S	V _{DS} = 25V, I _D = 18A
I _{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	V _{DS} = 100V, V _{GS} = 0V
		—	—	250		V _{DS} = 80V, V _{GS} = 0V, T _J = 150°C
I _{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	V _{GS} = 16V
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		V _{GS} = -16V
Q _g	Total Gate Charge	—	—	74	nC	I _D = 18A
Q _{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	9.4		V _{DS} = 5.0V
Q _{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	38		V _{GS} = 5.0V, See Fig. 6 and 13 ③
t _{d(on)}	Turn-On Delay Time	—	11	—	ns	V _{DD} = 50V
t _r	Rise Time	—	81	—		I _D = 18A
t _{d(off)}	Turn-Off Delay Time	—	39	—		R _G = 5.0Ω, V _{GS} = 5.0V
t _f	Fall Time	—	62	—		R _D = 2.7Ω, See Fig. 10 ④
L _D	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
L _S	Internal Source Inductance	—	7.5	—		
C _{ISS}	Input Capacitance	—	1800	—	pF	V _{GS} = 0V
C _{OSS}	Output Capacitance	—	350	—		V _{DS} = 25V
C _{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	170	—		f = 1.0MHz, See Fig. 5

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I _S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	36	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I _{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①②	—	—	120		
V _{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	T _J = 25°C, I _S = 18A, V _{GS} = 0V ③
t _{rr}	Reverse Recovery Time	—	190	290	ns	T _J = 25°C, I _F = 18A
Q _{rr}	Reverse Recovery Charge	—	1.1	1.7	μC	di/dt = 100A/μs ④
t _{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L _S +L _D)				

Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11)
- ② Starting T_J = 25°C, L = 1.9mH
R_G = 25Ω, I_{AS} = 18A. (See Figure 12)
- ③ I_{SD} ≤ 18A, di/dt ≤ 180A/μs, V_{DD} ≤ V_{(BR)DSS}, T_J ≤ 175°C
- ④ Pulse width ≤ 300μs; duty cycle ≤ 2%

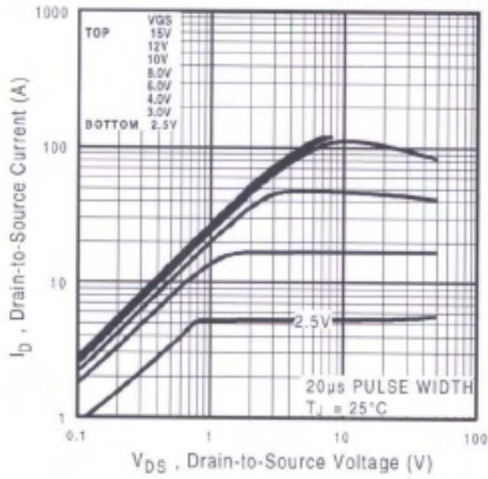


Fig 1. Typical Output Characteristics

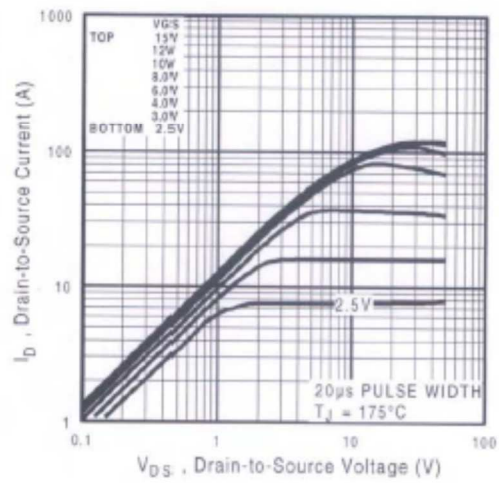


Fig 2. Typical Output Characteristics

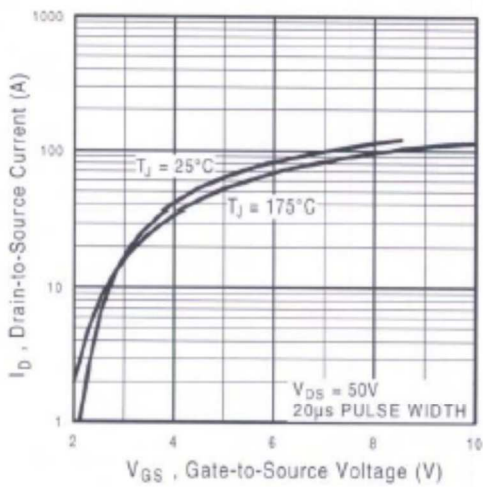


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

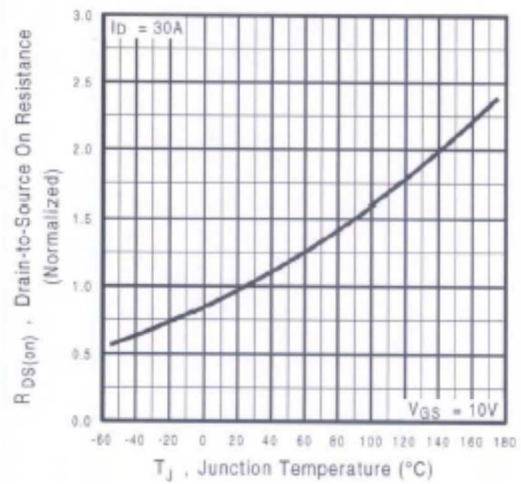


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

IRL540NPbF

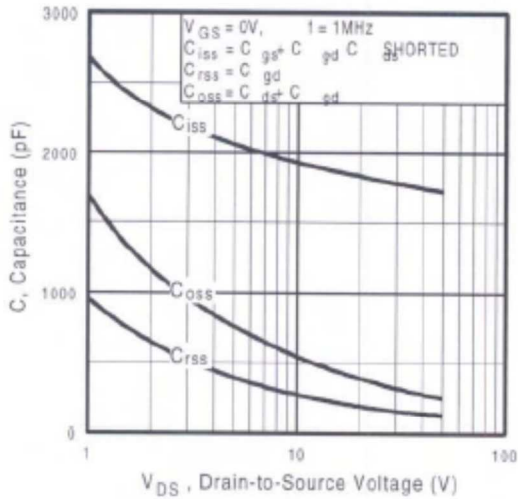


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

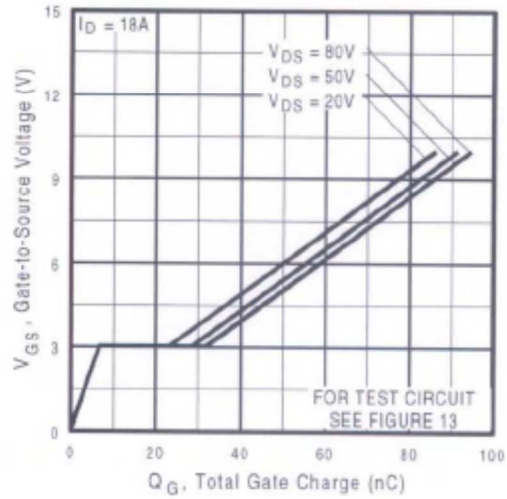


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

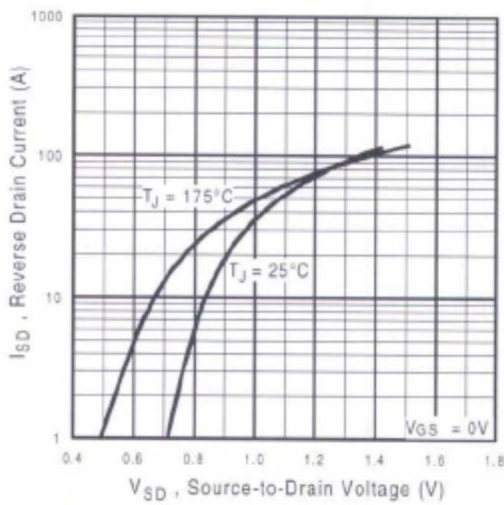


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

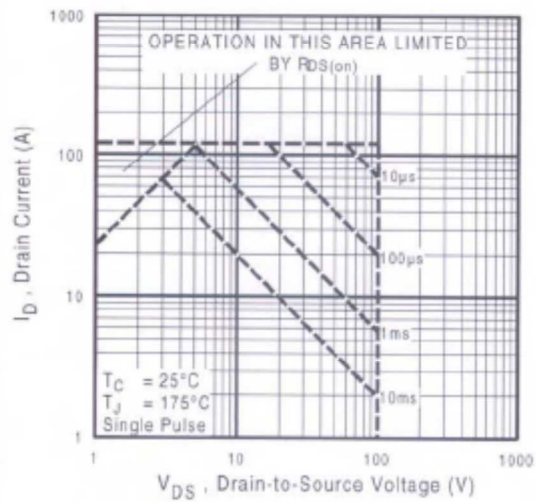


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

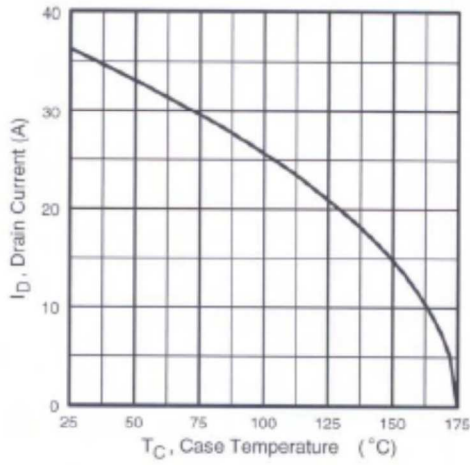


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

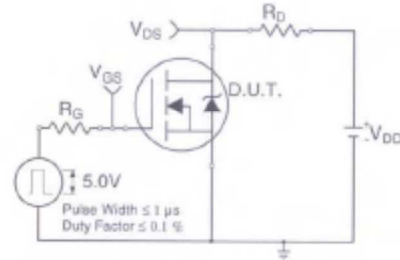


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

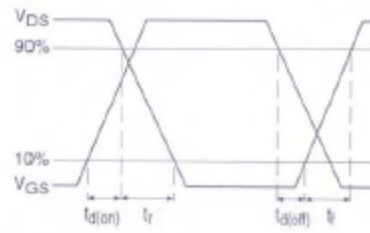


Fig 10b. Switching Time Waveforms

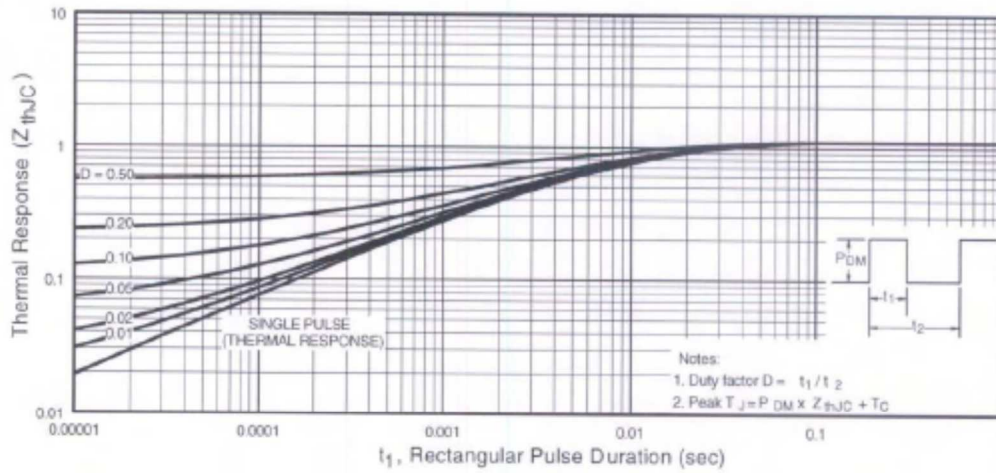


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

IRL540NPbF

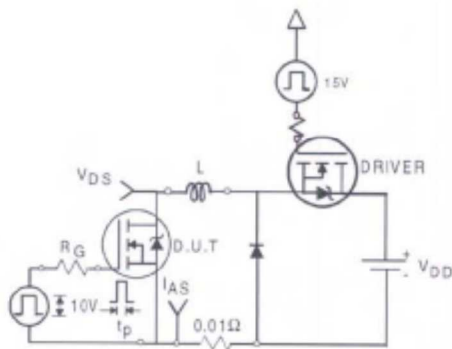


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

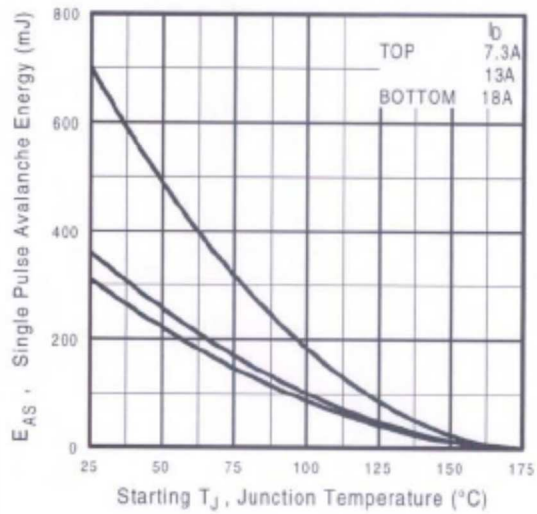


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

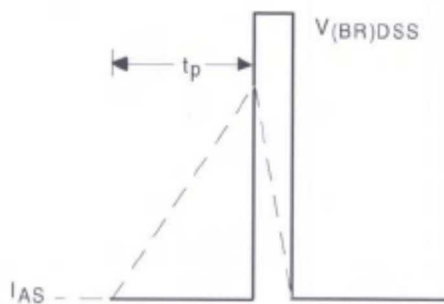


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

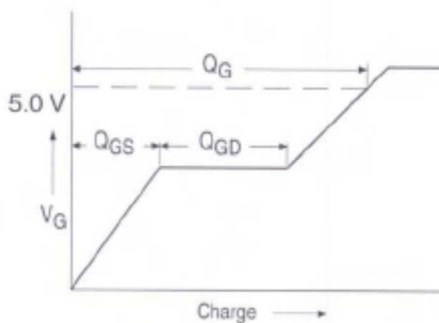


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

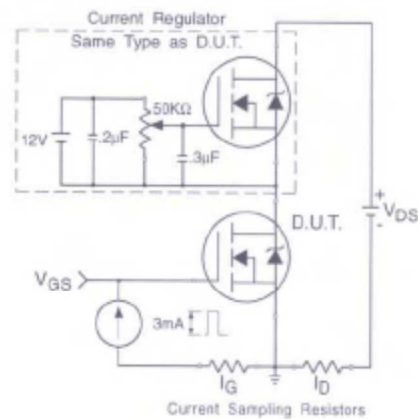


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

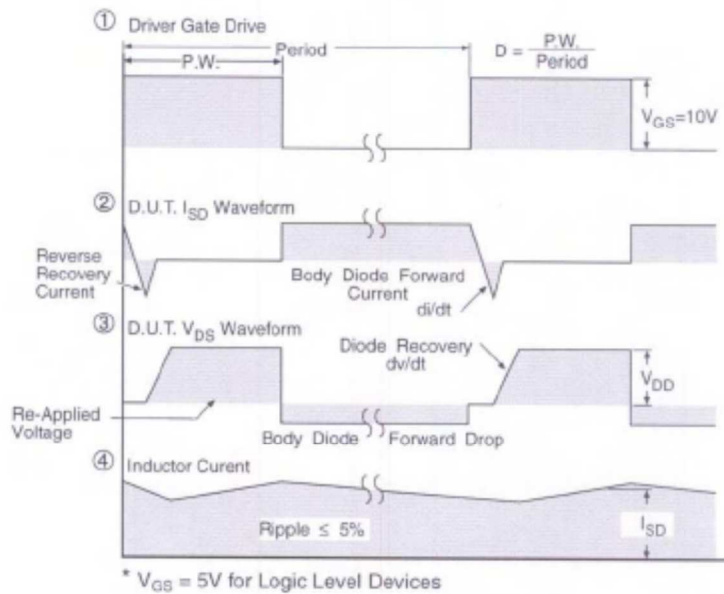
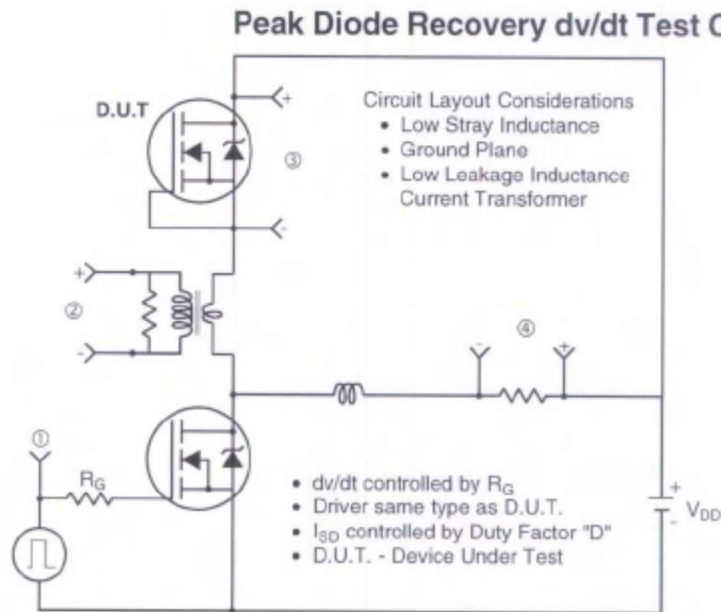


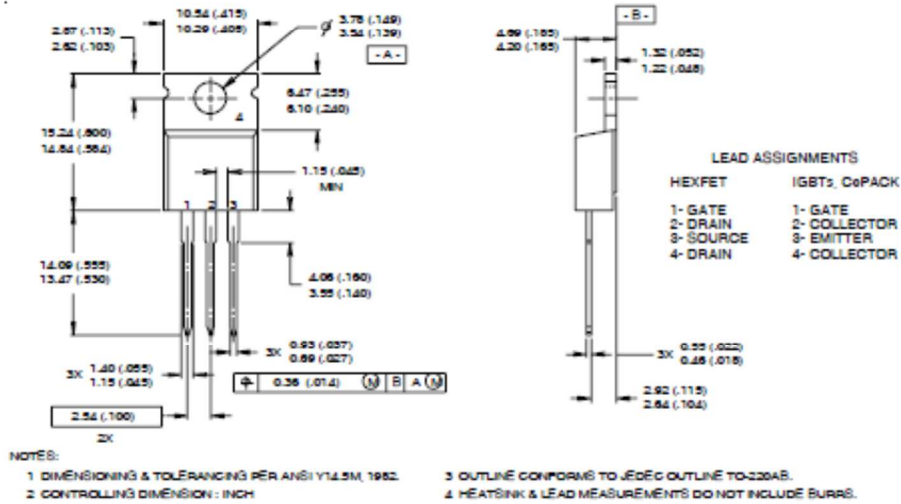
Fig 14. For N-Channel HEXFETS

IRL540NPbF



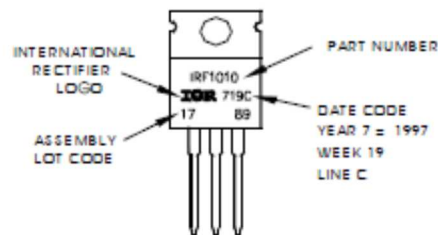
TO-220AB Package Outline

Dimensions are shown in millimeters (inches)



TO-220AB Part Marking Information

EXAMPLE: THIS IS AN IRF1010
 LOT CODE 1789
 ASSEMBLED ON WW 19, 1997
 IN THE ASSEMBLY LINE "C"
 Note: "P" in assembly line position indicates "Lead-Free"



Data and specifications subject to change without notice.



IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, USA Tel: (310) 252-7105
 TAC Fax: (310) 252-7903

Visit us at www.irf.com for sales contact information.02/04
www.irf.com

**MBR40250G,
MBR40250TG,
MBRF40250TG,
MBRB40250TG**

**Switch-mode Schottky
Power Rectifier
250 V, 40 A**

Features

- 250 V Blocking Voltage
- Low Forward Voltage Drop, $V_F = 0.86\text{ V}$
- Soft Recovery Characteristic, $T_{RR} < 35\text{ ns}$
- Stable Switching Performance Over Temperature
- These Devices are Pb-Free and are RoHS Compliant

Benefits

- Reduces or Eliminates Reverse Recovery Oscillations
- Minimizes Need for EMI Filtering
- Reduces Switching Losses
- Improved Efficiency

Applications

- Power Supply
- Power Management
- Automotive
- Instrumentation

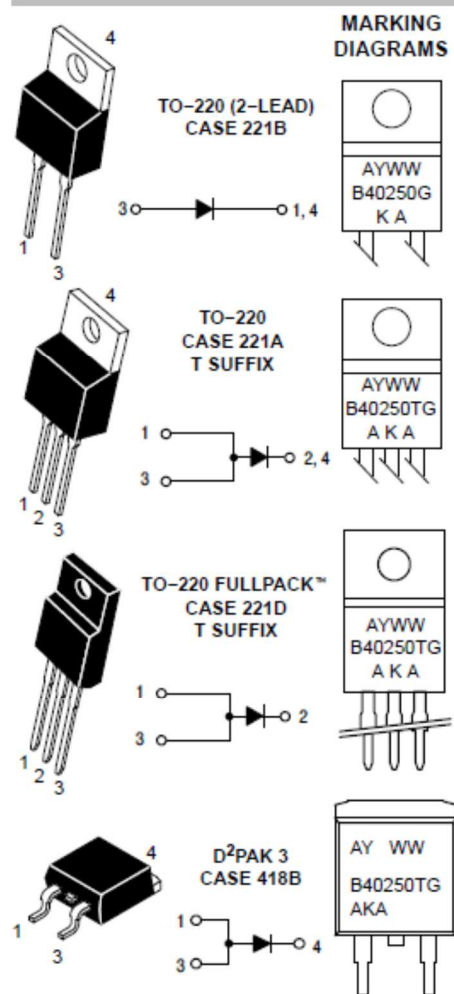
Mechanical Characteristics

- Case: Epoxy, Molded
- Weight: 1.9 grams (approximately)
- Finish: All External Surfaces Corrosion Resistant and Terminal Leads are Readily Solderable
- Lead Temperature for Soldering Purposes: 260°C Max. for 10 Seconds
- Epoxy Meets UL 94 V-0 at 0.125 in



ON Semiconductor®

www.onsemi.com



B40250 = Device Code
 T = 3 pins
 A = Assembly Location
 Y = Year
 WW = Work Week
 G = Pb-Free Package
 KA, AKA = Polarity Designator

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information on page 4 of this data sheet.

MBR40250G, MBR40250TG, MBRF40250TG, MBRB40250TG**MAXIMUM RATINGS**

Rating	Symbol	Value	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V_{RRM} V_{RWM} V_R	250	V
Average Rectified Forward Current (Rated V_R) $T_C = 82^\circ\text{C}$ MBR40250, MBR40250T, MBRB40250T (Rated V_R) $T_C = 46^\circ\text{C}$ MBRF40250T	$I_{F(AV)}$	40	A
Peak Repetitive Forward Current (Rated V_R , Square Wave, 20 kHz) $T_C = 82^\circ\text{C}$ MBR40250, MBR40250T, MBRB40250T (Rated V_R , Square Wave, 20 kHz) $T_C = 46^\circ\text{C}$ MBRF40250T	I_{FRM}	80	A
Nonrepetitive Peak Surge Current (Surge applied at rated load conditions halfwave, single phase, 60 Hz)	I_{FSM}	150	A
Storage Temperature	T_{stg}	-65 to +175	$^\circ\text{C}$
Operating Junction Temperature	T_J	-65 to +150	$^\circ\text{C}$
Voltage Rate of Change (Rated V_R)	dv/dt	10,000	$\text{V}/\mu\text{s}$

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.

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Value	Unit
Maximum Thermal Resistance Junction-to-Case MBR40250(T) and MBRB40250T MBRF40250 Junction-to-Ambient MBR40250(T) MBRF40250 MBRB40250T	$R_{\theta JC}$ $R_{\theta JA}$	 2.0 3.0 60 50 50	 $^\circ\text{C}/\text{W}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Value	Unit
Maximum Instantaneous Forward Voltage (Note 1) $I_F = 20\text{ A}$, $T_C = 25^\circ\text{C}$ $I_F = 20\text{ A}$, $T_C = 125^\circ\text{C}$ $I_F = 40\text{ A}$, $T_C = 25^\circ\text{C}$ $I_F = 40\text{ A}$, $T_C = 125^\circ\text{C}$	V_F	0.86 0.71 0.97 0.86	V
Maximum Instantaneous Reverse Current (Note 1) Rated DC Voltage, $T_C = 25^\circ\text{C}$ Rated DC Voltage, $T_C = 125^\circ\text{C}$	I_R	0.25 30	mA
Maximum Reverse Recovery Time $I_F = 1.0\text{ A}$, $di/dt = 50\text{ A}/\mu\text{s}$, $T_C = 25^\circ\text{C}$	t_{rr}	35	ns

DYNAMIC CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Value	Unit
Capacitance $V_R = -5.0\text{ V}$, $T_C = 25^\circ\text{C}$, Frequency = 1.0 MHz	C_T	500	pF

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.

1. Pulse Test: Pulse Width = 300 μs , Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

MBR40250G, MBR40250TG, MBRF40250TG, MBRB40250TG

TYPICAL CHARACTERISTICS

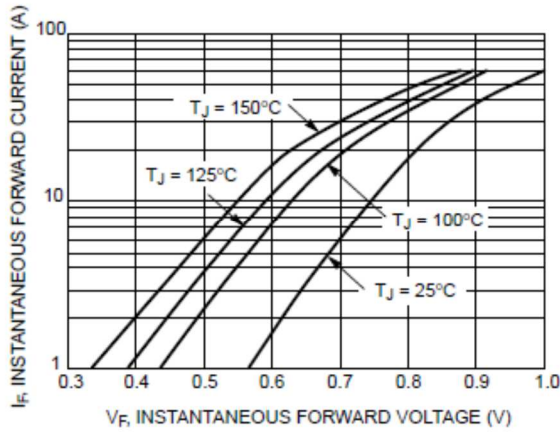


Figure 1. Typical Forward Voltage

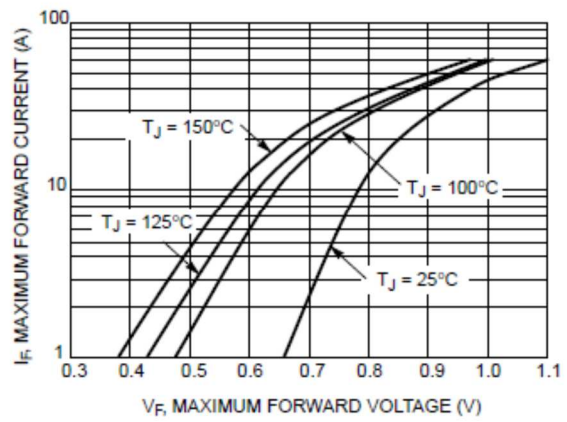


Figure 2. Maximum Forward Voltage

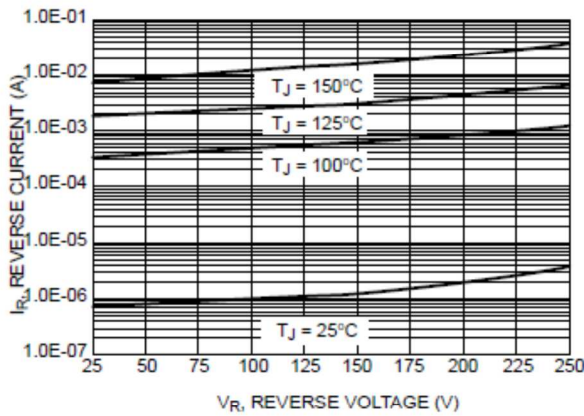


Figure 3. Typical Reverse Current

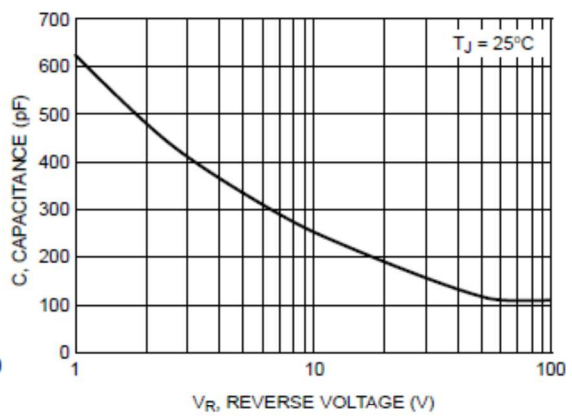


Figure 4. Typical Capacitance

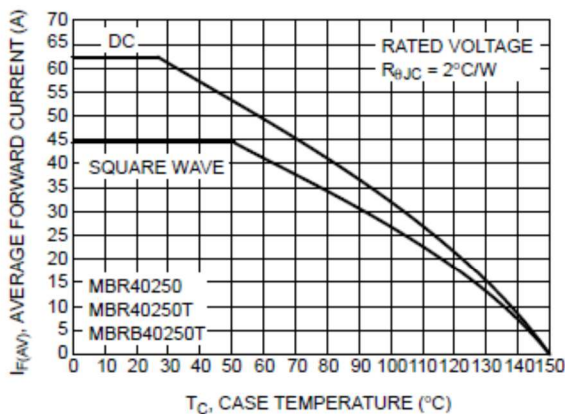


Figure 5. Current Derating (Case) for MBR40250, MBR40250T and MBRB40250T

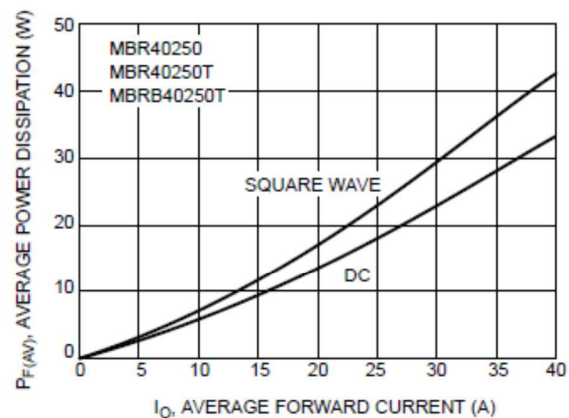


Figure 6. Forward Power Dissipation for MBR40250, MBR40250T and MBRB40250T

MBR40250G, MBR40250TG, MBRF40250TG, MBRB40250TG

TYPICAL CHARACTERISTICS

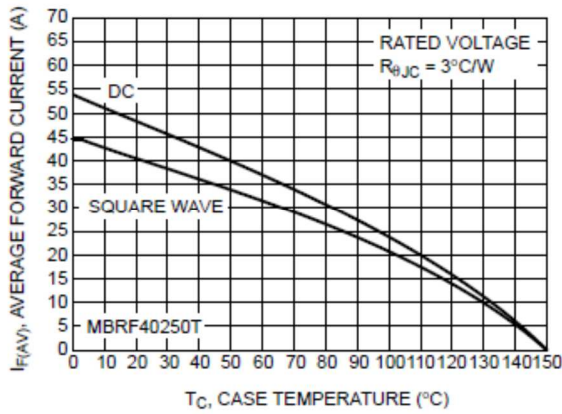


Figure 7. Current Derating (Case) for MBRF40250T

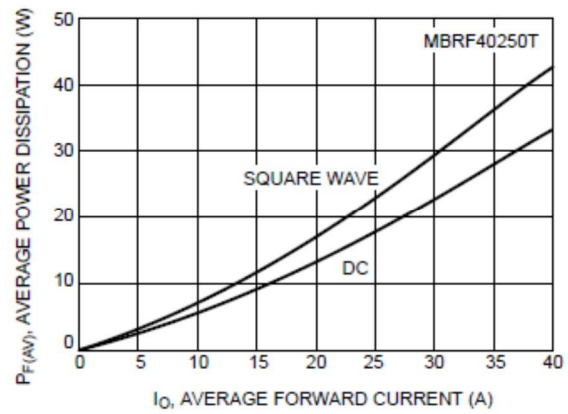


Figure 8. Forward Power Dissipation for MBRF40250T

ORDERING INFORMATION

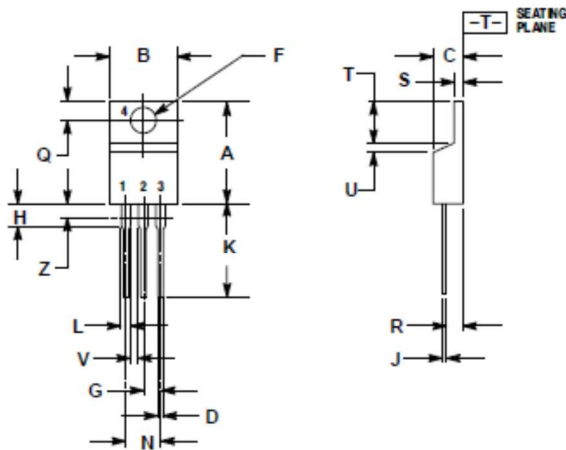
Device	Package	Shipping†
MBR40250G	TO-220 (2-LEAD) (Pb-Free)	50 Units / Rail
MBR40250TG	TO-220 (Pb-Free)	50 Units / Rail
MBRF40250TG	TO-220 FULLPACK (Pb-Free)	50 Units / Rail
MBRB40250TG	D ² PAK 3 (Pb-Free)	50 Units / Rail
MBRB40250TT4G	D ² PAK 3 (Pb-Free)	800 Units / Tape & Reel

†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.

MBR40250G, MBR40250TG, MBRF40250TG, MBRB40250TG

PACKAGE DIMENSIONS

TO-220
CASE 221A-09
ISSUE AH

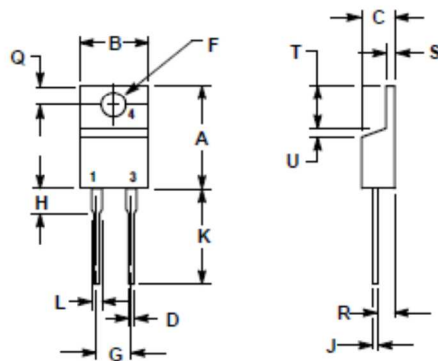


- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
 3. DIMENSION Z DEFINES A ZONE WHERE ALL BODY AND LEAD IRREGULARITIES ARE ALLOWED.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.570	0.620	14.48	15.75
B	0.380	0.415	9.66	10.53
C	0.160	0.190	4.07	4.83
D	0.025	0.038	0.64	0.96
F	0.142	0.161	3.61	4.09
G	0.095	0.105	2.42	2.68
H	0.110	0.161	2.80	4.10
J	0.014	0.024	0.36	0.61
K	0.500	0.562	12.70	14.27
L	0.045	0.060	1.15	1.52
N	0.190	0.210	4.83	5.33
Q	0.100	0.120	2.54	3.04
R	0.080	0.110	2.04	2.79
S	0.045	0.055	1.15	1.39
T	0.235	0.255	5.97	6.47
U	0.000	0.050	0.00	1.27
V	0.045	---	1.15	---
Z	---	0.080	---	2.04

- STYLE 6:
 PIN 1. ANODE
 2. CATHODE
 3. ANODE
 4. CATHODE

TO-220, 2-LEAD
CASE 221B-04
ISSUE F



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

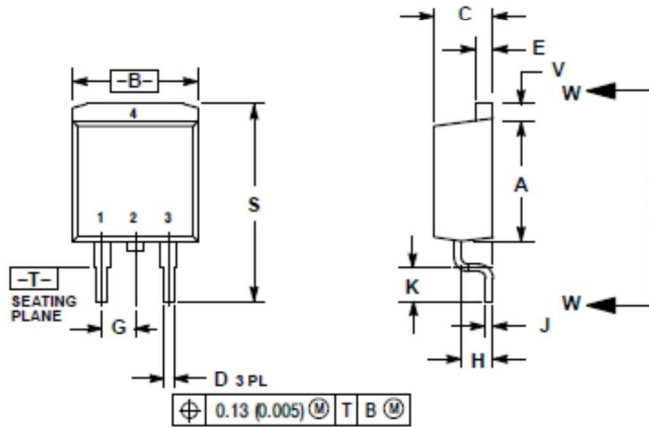
DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.595	0.620	15.11	15.75
B	0.360	0.405	9.15	10.29
C	0.150	0.190	4.00	4.82
D	0.025	0.039	0.64	1.00
F	0.142	0.161	3.61	4.09
G	0.190	0.210	4.83	5.33
H	0.110	0.130	2.79	3.30
J	0.014	0.025	0.36	0.64
K	0.500	0.562	12.70	14.27
L	0.045	0.060	1.14	1.52
Q	0.100	0.120	2.54	3.04
R	0.080	0.110	2.04	2.79
S	0.045	0.055	1.14	1.39
T	0.235	0.255	5.97	6.48
U	0.000	0.050	0.000	1.27

- STYLE 1:
 PIN 1. CATHODE
 2. NA
 3. ANODE
 4. CATHODE

MBR40250G, MBR40250TG, MBRF40250TG, MBRB40250TG

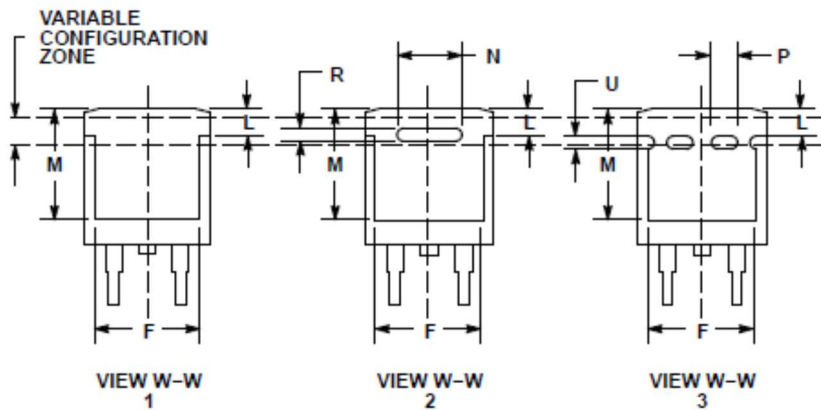
PACKAGE DIMENSIONS

D²PAK 3
CASE 418B-04
ISSUE K



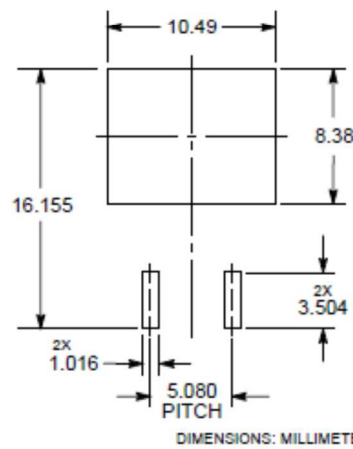
- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
 3. 418B-01 THRU 418B-03 OBSOLETE, NEW STANDARD 418B-04.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.340	0.380	8.64	9.65
B	0.380	0.405	9.65	10.29
C	0.160	0.190	4.06	4.83
D	0.020	0.035	0.51	0.89
E	0.045	0.055	1.14	1.40
F	0.310	0.350	7.87	8.89
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.080	0.110	2.03	2.79
J	0.018	0.025	0.46	0.64
K	0.090	0.110	2.29	2.79
L	0.052	0.072	1.32	1.83
M	0.280	0.320	7.11	8.13
N	0.197 REF		5.00 REF	
P	0.079 REF		2.00 REF	
R	0.039 REF		0.99 REF	
S	0.575	0.625	14.60	15.88
V	0.045	0.055	1.14	1.40



- STYLE 3:
1. ANODE
 2. CATHODE
 3. ANODE
 4. CATHODE

SOLDERING FOOTPRINT*

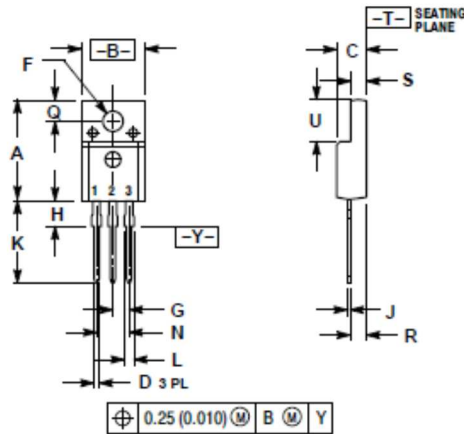


*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

MBR40250G, MBR40250TG, MBRF40250TG, MBRB40250TG

PACKAGE DIMENSIONS

TO-220 FULLPAK
CASE 221D-03
ISSUE K



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH
3. 221D-01 THRU 221D-02 OBSOLETE, NEW STANDARD 221D-03

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.617	0.635	15.67	16.12
B	0.392	0.419	9.96	10.63
C	0.177	0.193	4.50	4.90
D	0.024	0.039	0.60	1.00
F	0.116	0.129	2.95	3.28
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.118	0.135	3.00	3.43
J	0.018	0.025	0.45	0.63
K	0.503	0.541	12.78	13.73
L	0.048	0.058	1.23	1.47
N	0.200 BSC		5.08 BSC	
Q	0.122	0.136	3.10	3.50
R	0.099	0.117	2.51	2.96
S	0.092	0.113	2.34	2.87
U	0.239	0.271	6.06	6.88

- STYLE 3:
PIN 1. ANODE
2. CATHODE
3. ANODE

FULLPAK is a trademark of Semiconductor Components Industries, LLC.

ON Semiconductor and the are registered trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC) or its subsidiaries in the United States and/or other countries. SCILLC owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of SCILLC's product/patent coverage may be accessed at www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marketing.pdf. SCILLC reserves the right to make changes without further notice to any products herein. SCILLC makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does SCILLC 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. "Typical" parameters which may be provided in SCILLC 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. SCILLC does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. SCILLC products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the SCILLC product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use SCILLC products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold SCILLC 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 SCILLC was negligent regarding the design or manufacture of the part. SCILLC 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:
Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free USA/Canada
Europe, Middle East and Africa Technical Support:
Phone: 421 33 790 2910
Japan Customer Focus Center
Phone: 81-3-5617-1050

ON Semiconductor Website: www.onsemi.com
Order Literature: <http://www.onsemi.com/orderlit>
For additional information, please contact your local Sales Representative

MBR40250/D

P2N2222A

Amplifier Transistors

NPN Silicon

Features

- These are Pb-Free Devices*

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

Characteristic	Symbol	Value	Unit
Collector - Emitter Voltage	V _{CE0}	40	Vdc
Collector - Base Voltage	V _{CB0}	75	Vdc
Emitter - Base Voltage	V _{EB0}	6.0	Vdc
Collector Current - Continuous	I _C	600	mAdc
Total Device Dissipation @ T _A = 25°C Derate above 25°C	P _D	625 5.0	mW mW/°C
Total Device Dissipation @ T _C = 25°C Derate above 25°C	P _D	1.5 12	W mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T _J , T _{stg}	-55 to +150	°C

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	R _{θJA}	200	°C/W
Thermal Resistance, Junction to Case	R _{θJC}	83.3	°C/W

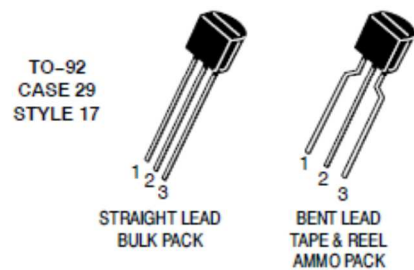
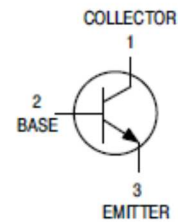
Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

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

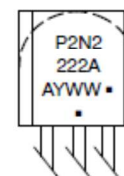


ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>



MARKING DIAGRAM



- A = Assembly Location
 - Y = Year
 - WW = Work Week
 - = Pb-Free Package
- (Note: Microdot may be in either location)

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping†
P2N2222AG	TO-92 (Pb-Free)	5000 Units/Bulk
P2N2222ARL1G	TO-92 (Pb-Free)	2000/Tape & Ammo

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

P2N2222A

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

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS				
Collector - Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 10\text{ mAdc}$, $I_B = 0$)	$V_{(BR)CEO}$	40	-	Vdc
Collector - Base Breakdown Voltage ($I_C = 10\ \mu\text{Adc}$, $I_E = 0$)	$V_{(BR)CBO}$	75	-	Vdc
Emitter - Base Breakdown Voltage ($I_E = 10\ \mu\text{Adc}$, $I_C = 0$)	$V_{(BR)EBO}$	6.0	-	Vdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 60\text{ Vdc}$, $V_{EB(off)} = 3.0\text{ Vdc}$)	I_{CEX}	-	10	nAdc
Collector Cutoff Current ($V_{CB} = 60\text{ Vdc}$, $I_E = 0$) ($V_{CB} = 60\text{ Vdc}$, $I_E = 0$, $T_A = 150^\circ\text{C}$)	I_{CBO}	-	0.01 10	μAdc
Emitter Cutoff Current ($V_{EB} = 3.0\text{ Vdc}$, $I_C = 0$)	I_{EBO}	-	10	nAdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 10\text{ V}$)	I_{CEO}	-	10	nAdc
Base Cutoff Current ($V_{CE} = 60\text{ Vdc}$, $V_{EB(off)} = 3.0\text{ Vdc}$)	I_{BEX}	-	20	nAdc
ON CHARACTERISTICS				
DC Current Gain ($I_C = 0.1\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$) ($I_C = 1.0\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$) ($I_C = 10\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$) ($I_C = 10\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $T_A = -55^\circ\text{C}$) ($I_C = 150\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$) (Note 1) ($I_C = 150\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 1.0\text{ Vdc}$) (Note 1) ($I_C = 500\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$) (Note 1)	h_{FE}	35 50 75 35 100 50 40	- - - - 300 - -	-
Collector - Emitter Saturation Voltage (Note 1) ($I_C = 150\text{ mAdc}$, $I_B = 15\text{ mAdc}$) ($I_C = 500\text{ mAdc}$, $I_B = 50\text{ mAdc}$)	$V_{CE(sat)}$	- -	0.3 1.0	Vdc
Base - Emitter Saturation Voltage (Note 1) ($I_C = 150\text{ mAdc}$, $I_B = 15\text{ mAdc}$) ($I_C = 500\text{ mAdc}$, $I_B = 50\text{ mAdc}$)	$V_{BE(sat)}$	0.6 -	1.2 2.0	Vdc
SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS				
Current - Gain - Bandwidth Product (Note 2) ($I_C = 20\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 20\text{ Vdc}$, $f = 100\text{ MHz}$)C	f_T	300	-	MHz
Output Capacitance ($V_{CB} = 10\text{ Vdc}$, $I_E = 0$, $f = 1.0\text{ MHz}$)	C_{obo}	-	8.0	pF
Input Capacitance ($V_{EB} = 0.5\text{ Vdc}$, $I_C = 0$, $f = 1.0\text{ MHz}$)	C_{ibo}	-	25	pF
Input Impedance ($I_C = 1.0\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ kHz}$) ($I_C = 10\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ kHz}$)	h_{ie}	2.0 0.25	8.0 1.25	k Ω
Voltage Feedback Ratio ($I_C = 1.0\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ kHz}$) ($I_C = 10\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ kHz}$)	h_{re}	- -	8.0 4.0	$\times 10^{-4}$
Small-Signal Current Gain ($I_C = 1.0\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ kHz}$) ($I_C = 10\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ kHz}$)	h_{fe}	50 75	300 375	-
Output Admittance ($I_C = 1.0\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ kHz}$) ($I_C = 10\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ kHz}$)	h_{oe}	5.0 25	35 200	μMhos
Collector Base Time Constant ($I_E = 20\text{ mAdc}$, $V_{CB} = 20\text{ Vdc}$, $f = 31.8\text{ MHz}$)	$rb'C_c$	-	150	ps
Noise Figure ($I_C = 100\ \mu\text{Adc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $R_S = 1.0\text{ k}\Omega$, $f = 1.0\text{ kHz}$)	N_F	-	4.0	dB

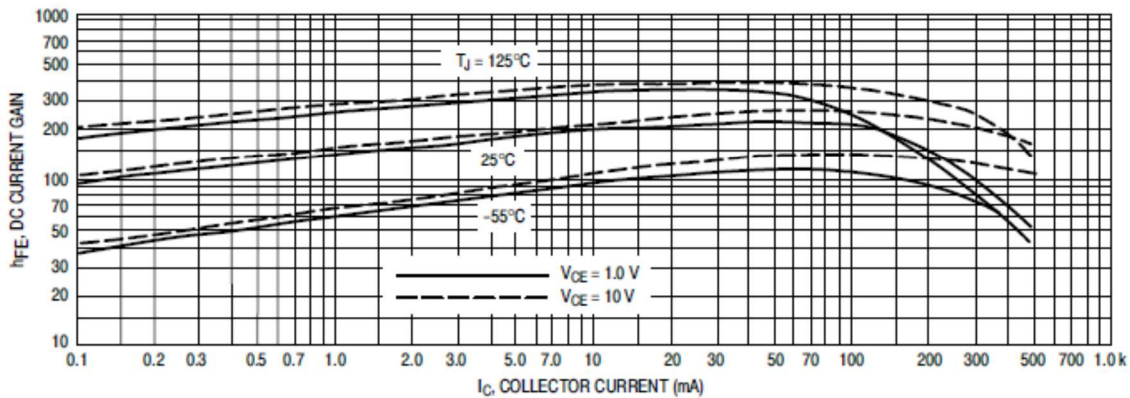
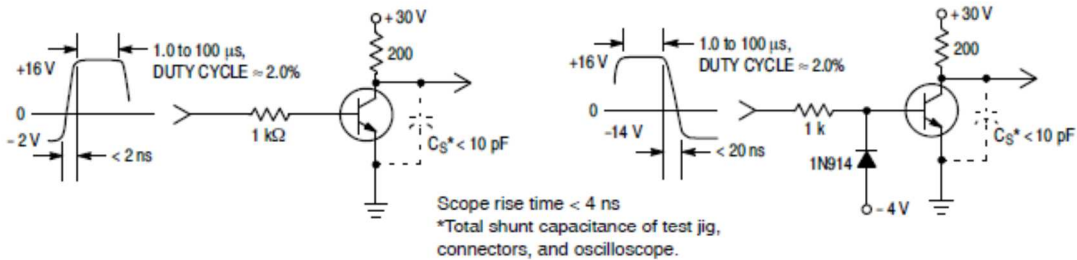
1. Pulse Test: Pulse Width $\leq 300\ \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$.
2. f_T is defined as the frequency at which $|h_{fe}|$ extrapolates to unity.

P2N2222A

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted) (Continued)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
SWITCHING CHARACTERISTICS				
Delay Time	t_d	-	10	ns
Rise Time	t_r	-	25	ns
Storage Time	t_s	-	225	ns
Fall Time	t_f	-	60	ns

SWITCHING TIME EQUIVALENT TEST CIRCUITS



P2N2222A

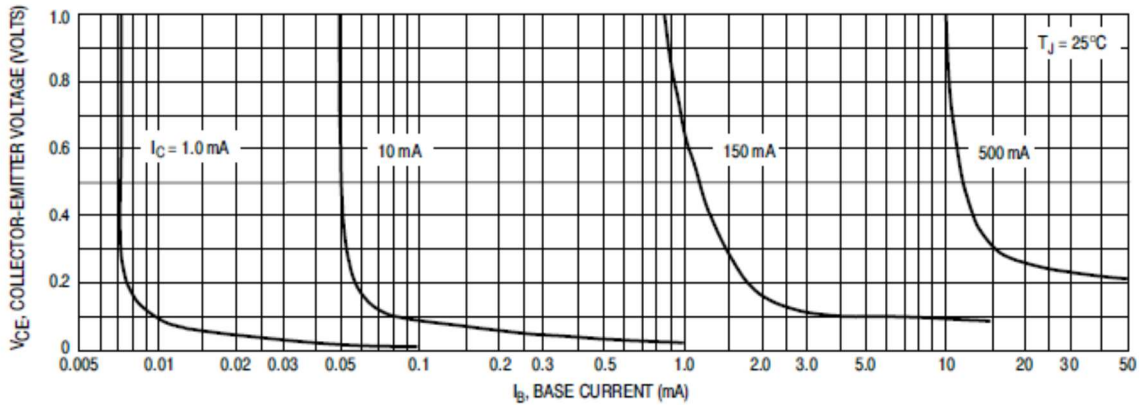


Figure 4. Collector Saturation Region

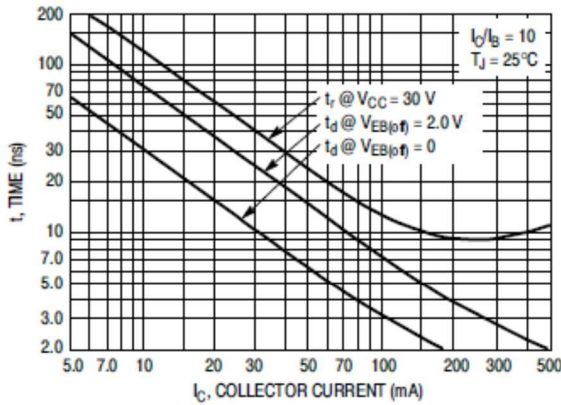


Figure 5. Turn-On Time

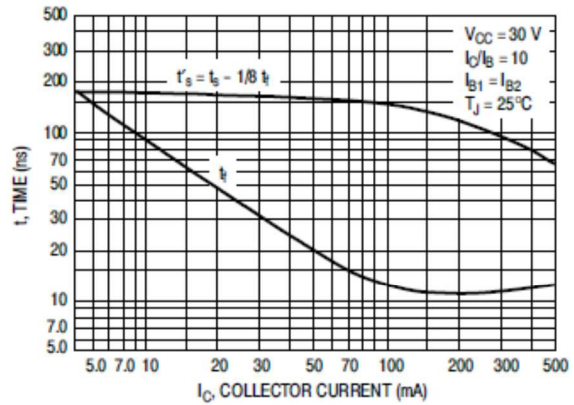


Figure 6. Turn-Off Time

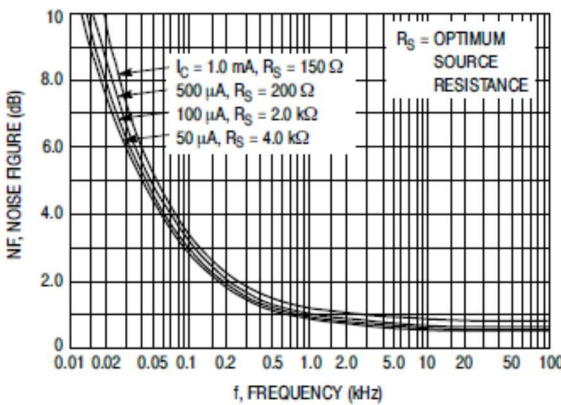


Figure 7. Frequency Effects

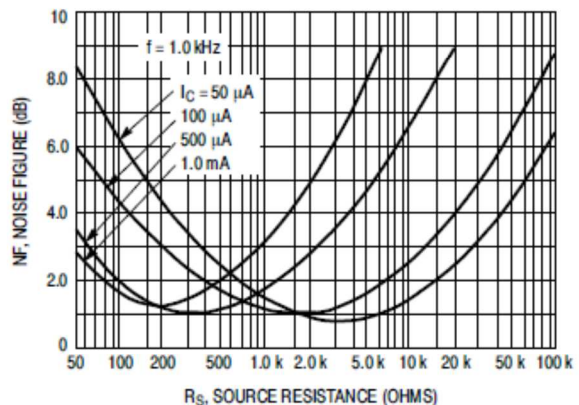


Figure 8. Source Resistance Effects

P2N2222A

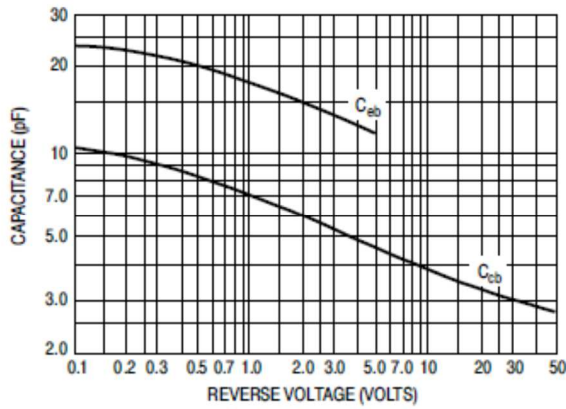


Figure 9. Capacitances

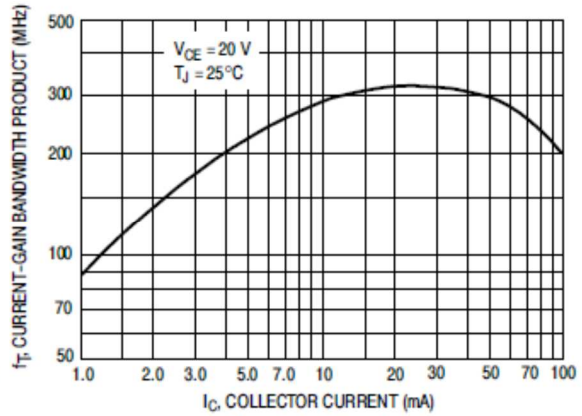


Figure 10. Current-Gain Bandwidth Product

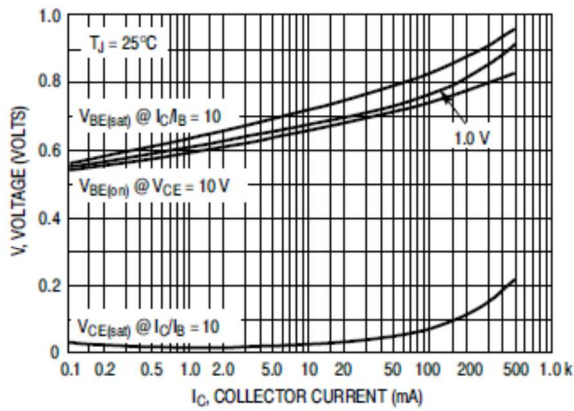


Figure 11. "On" Voltages

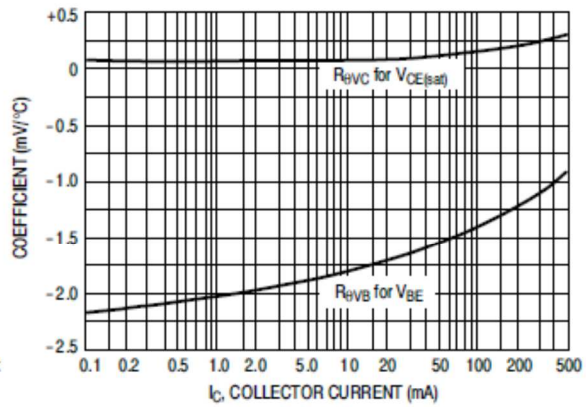
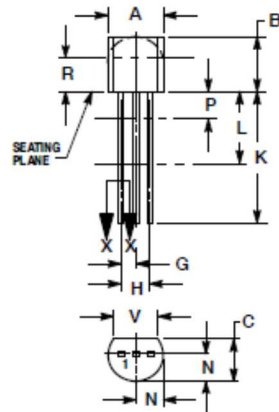


Figure 12. Temperature Coefficients

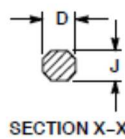
P2N2222A

PACKAGE DIMENSIONS

TO-92 (TO-226)
CASE 29-11
ISSUE AM

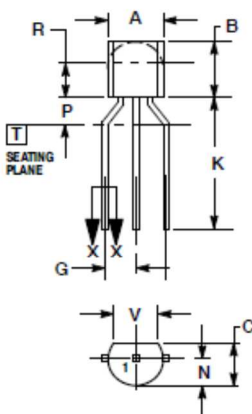


STRAIGHT LEAD
BULK PACK

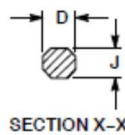


- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1992.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
 3. CONTOUR OF PACKAGE BEYOND DIMENSION R IS UNCONTROLLED.
 4. LEAD DIMENSION IS UNCONTROLLED IN P AND BEYOND DIMENSION K MINIMUM.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.175	0.205	4.45	5.20
B	0.170	0.210	4.32	5.33
C	0.125	0.165	3.18	4.19
D	0.016	0.021	0.407	0.533
G	0.045	0.055	1.15	1.39
H	0.095	0.105	2.42	2.66
J	0.015	0.020	0.39	0.50
K	0.500	---	12.70	---
L	0.250	---	6.35	---
N	0.080	0.105	2.04	2.66
P	---	0.100	---	2.54
R	0.115	---	2.93	---
V	0.135	---	3.43	---



BENT LEAD
TAPE & REEL
AMMO PACK



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M, 1994.
 2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETERS.
 3. CONTOUR OF PACKAGE BEYOND DIMENSION R IS UNCONTROLLED.
 4. LEAD DIMENSION IS UNCONTROLLED IN P AND BEYOND DIMENSION K MINIMUM.

DIM	MILLIMETERS	
	MIN	MAX
A	4.45	5.20
B	4.32	5.33
C	3.18	4.19
D	0.40	0.54
G	2.40	2.80
J	0.39	0.50
K	12.70	---
N	2.04	2.66
P	1.50	4.00
R	2.93	---
V	3.43	---

- STYLE 17:
PIN 1. COLLECTOR
2. BASE
3. EMITTER

ON Semiconductor and are registered trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC). SCILLC owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of SCILLC's product/patent coverage may be accessed at www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marketing.pdf. SCILLC reserves the right to make changes without further notice to any products herein. SCILLC makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does SCILLC 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. "Typical" parameters which may be provided in SCILLC 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. SCILLC does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. SCILLC products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the SCILLC product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use SCILLC products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold SCILLC 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 SCILLC was negligent regarding the design or manufacture of the part. SCILLC 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:
Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA
Phone: 303-875-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-875-2178 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free
USA/Canada
Europe, Middle East and Africa Technical Support:
Phone: 421 33 790 2910
Japan Customer Focus Center
Phone: 81-3-5817-1050

ON Semiconductor Website: www.onsemi.com
Order Literature: <http://www.onsemi.com/orderlit>
For additional information, please contact your local Sales Representative

P2N2222A/D

P2N2907A

Amplifier Transistor

PNP Silicon

Features

- These are Pb-Free Devices*

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CE0}	-60	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	-60	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	-5.0	Vdc
Collector Current - Continuous	I_C	-600	mAdc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	625 5.0	mW mW/ $^\circ\text{C}$
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	1.5 12	W mW/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

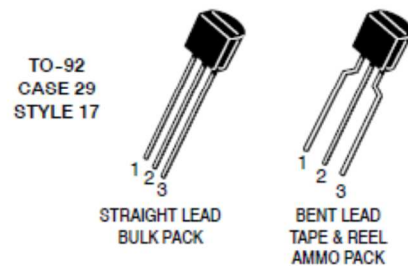
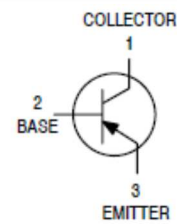
Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	200	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	83.3	$^\circ\text{C}/\text{W}$

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

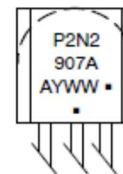


ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>



MARKING DIAGRAM



- A = Assembly Location
- Y = Year
- WW = Work Week
- = Pb-Free Package

(Note: Microdot may be in either location)

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping†
P2N2907AG	TO-92 (Pb-Free)	5000 Units / Bulk
P2N2907ARL1G	TO-92 (Pb-Free)	2000 / Tape & Reel

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

P2N2907A

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

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit	
OFF CHARACTERISTICS					
Collector-Emitter Breakdown Voltage (Note 1) ($I_C = -10\text{ mAdc}$, $I_B = 0$)	$V_{(BR)CEO}$	-60	-	Vdc	
Collector-Base Breakdown Voltage ($I_C = -10\ \mu\text{Adc}$, $I_E = 0$)	$V_{(BR)CBO}$	-60	-	Vdc	
Emitter-Base Breakdown Voltage ($I_E = -10\ \mu\text{Adc}$, $I_C = 0$)	$V_{(BR)EBO}$	-5.0	-	Vdc	
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = -30\text{ Vdc}$, $V_{EB(off)} = -0.5\text{ Vdc}$)	I_{CEX}	-	-50	nAdc	
Collector Cutoff Current ($V_{CB} = -50\text{ Vdc}$, $I_E = 0$) ($V_{CB} = -50\text{ Vdc}$, $I_E = 0$, $T_A = 150^\circ\text{C}$)	I_{CBO}	-	-0.01 -10	μAdc	
Emitter Cutoff Current ($V_{EB} = -3.0\text{ Vdc}$)	I_{EBO}	-	-10	nAdc	
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = -10\text{ V}$)	I_{CEO}	-	-10	nAdc	
Base Cutoff Current ($V_{CE} = -30\text{ Vdc}$, $V_{EB(off)} = -0.5\text{ Vdc}$)	I_{BEX}	-	-50	nAdc	
ON CHARACTERISTICS					
DC Current Gain ($I_C = -0.1\text{ mAdc}$, $V_{CE} = -10\text{ Vdc}$) ($I_C = -1.0\text{ mAdc}$, $V_{CE} = -10\text{ Vdc}$) ($I_C = -10\text{ mAdc}$, $V_{CE} = -10\text{ Vdc}$) ($I_C = -150\text{ mAdc}$, $V_{CE} = -10\text{ Vdc}$) (Note 1) ($I_C = -500\text{ mAdc}$, $V_{CE} = -10\text{ Vdc}$) (Note 1)	h_{FE}	75 100 100 100 50	- - - 300 -	-	
Collector-Emitter Saturation Voltage (Note 1) ($I_C = -150\text{ mAdc}$, $I_B = -15\text{ mAdc}$) ($I_C = -500\text{ mAdc}$, $I_B = -50\text{ mAdc}$)	$V_{CE(sat)}$	-	-0.4 -1.6	Vdc	
Base-Emitter Saturation Voltage (Note 1) ($I_C = -150\text{ mAdc}$, $I_B = -15\text{ mAdc}$) ($I_C = -500\text{ mAdc}$, $I_B = -50\text{ mAdc}$)	$V_{BE(sat)}$	-	-1.3 -2.6	Vdc	
SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS					
Current-Gain - Bandwidth Product (Notes 1 and 2) ($I_C = -50\text{ mAdc}$, $V_{CE} = -20\text{ Vdc}$, $f = 100\text{ MHz}$)	f_T	200	-	MHz	
Output Capacitance ($V_{CB} = -10\text{ Vdc}$, $I_E = 0$, $f = 1.0\text{ MHz}$)	C_{obo}	-	8.0	pF	
Input Capacitance ($V_{EB} = -2.0\text{ Vdc}$, $I_C = 0$, $f = 1.0\text{ MHz}$)	C_{ibo}	-	30	pF	
SWITCHING CHARACTERISTICS					
Turn-On Time	$(V_{CC} = -30\text{ Vdc}$, $I_C = -150\text{ mAdc}$, $I_{B1} = -15\text{ mAdc}$) (Figures 1 and 5)	t_{on}	-	50	ns
Delay Time		t_d	-	10	ns
Rise Time		t_r	-	40	ns
Turn-Off Time	$(V_{CC} = -6.0\text{ Vdc}$, $I_C = -150\text{ mAdc}$, $I_{B1} = I_{B2} = -15\text{ mAdc}$) (Figure 2)	t_{off}	-	110	ns
Storage Time		t_s	-	80	ns
Fall Time		t_f	-	30	ns

1. Pulse Test: Pulse Width $\leq 300\ \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

2. f_T is defined as the frequency at which $|h_{FE}|$ extrapolates to unity.

P2N2907A

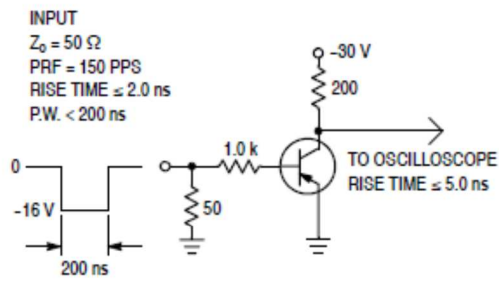


Figure 1. Delay and Rise Time Test Circuit

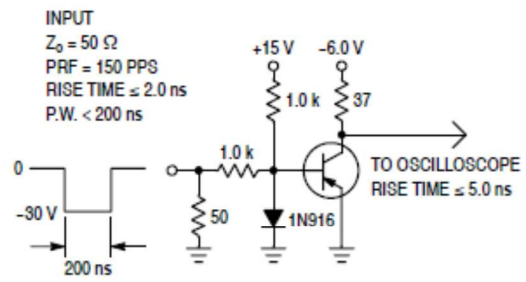


Figure 2. Storage and Fall Time Test Circuit

P2N2907A

TYPICAL CHARACTERISTICS

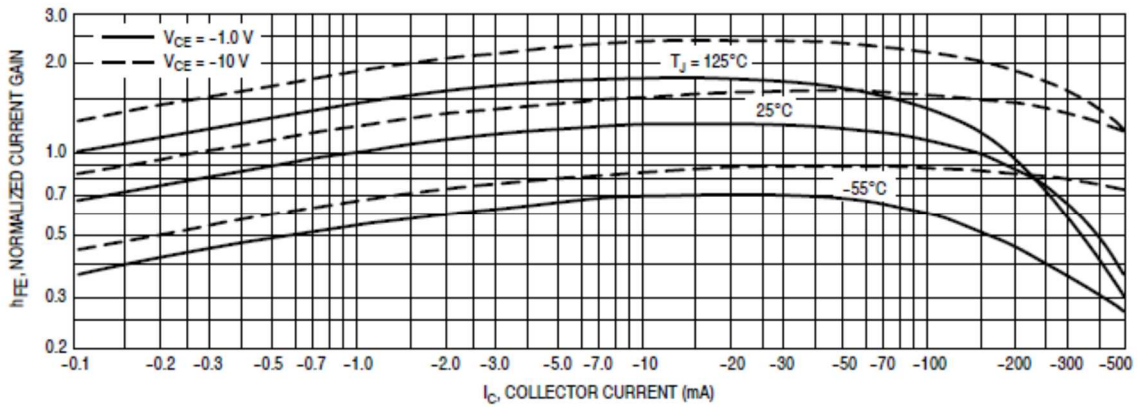


Figure 3. DC Current Gain

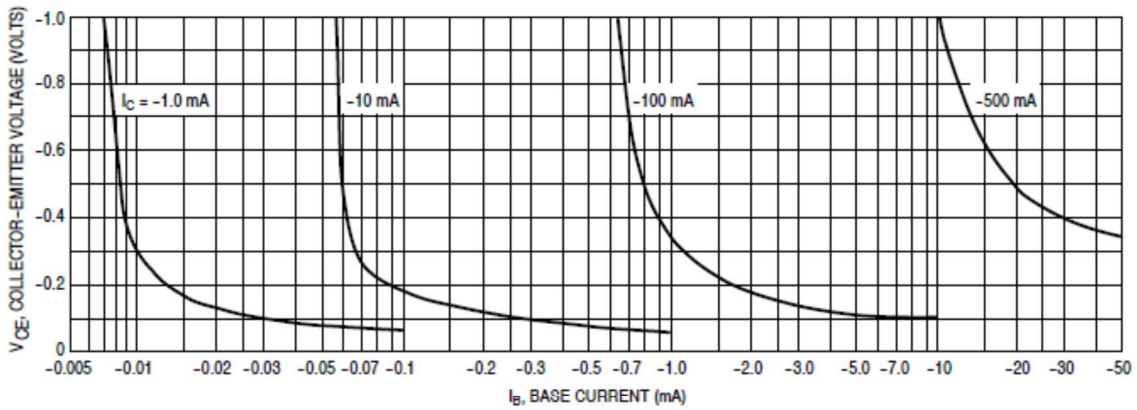


Figure 4. Collector Saturation Region

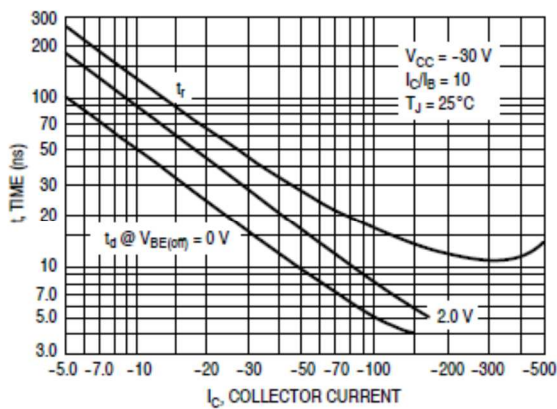


Figure 5. Turn-On Time

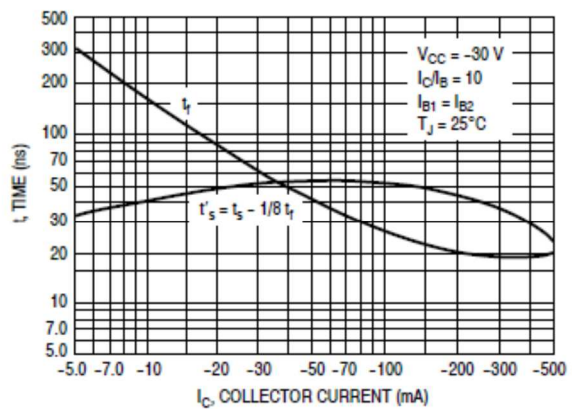


Figure 6. Turn-Off Time

P2N2907A

TYPICAL SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS
NOISE FIGURE

$V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

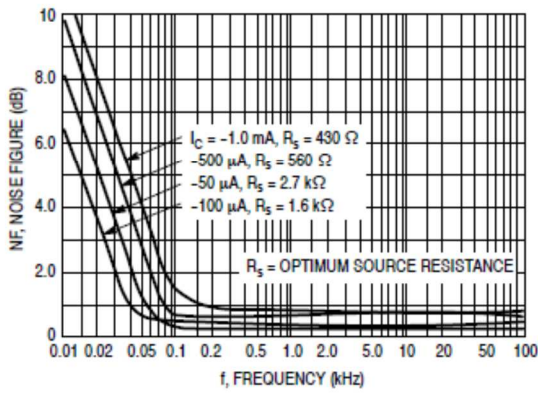


Figure 7. Frequency Effects

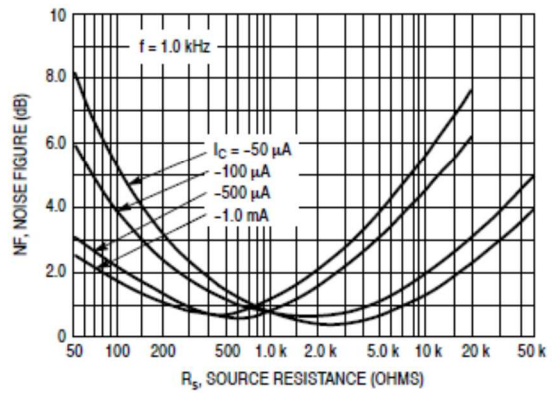


Figure 8. Source Resistance Effects

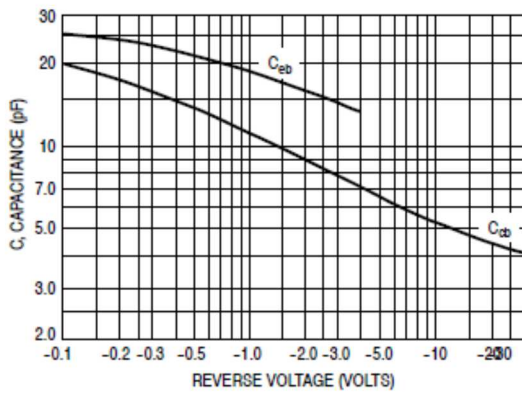


Figure 9. Capacitances

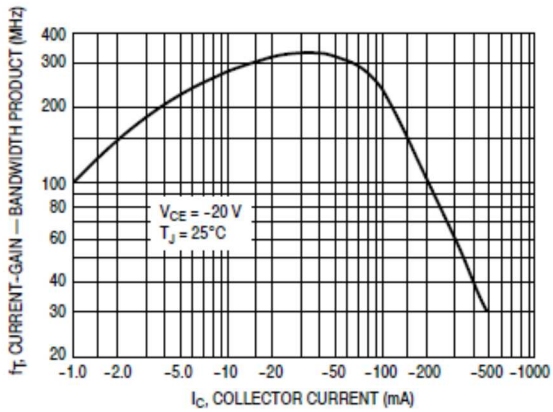


Figure 10. Current-Gain - Bandwidth Product

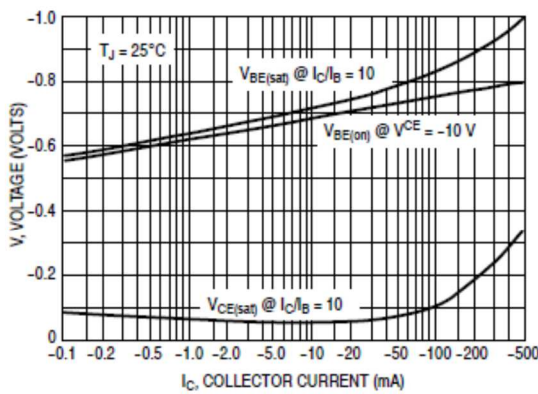


Figure 11. "On" Voltage

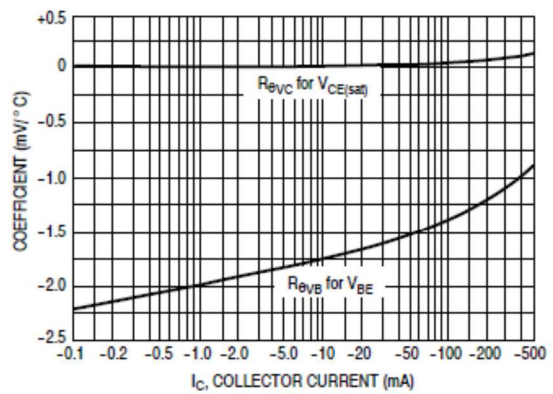


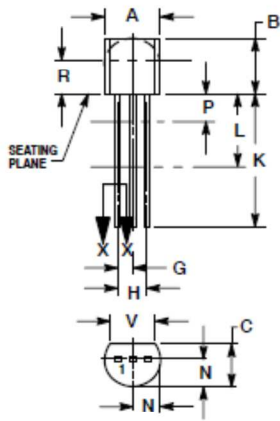
Figure 12. Temperature Coefficients

<http://onsemi.com>

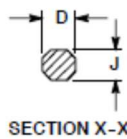
P2N2907A

PACKAGE DIMENSIONS

TO-92 (TO-226)
CASE 29-11
ISSUE AM

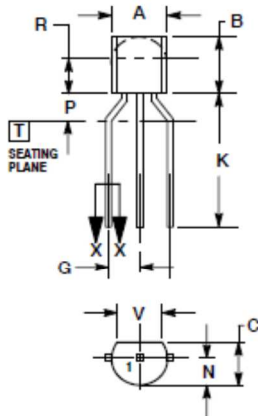


STRAIGHT LEAD
BULK PACK

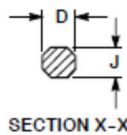


- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1992.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
 3. CONTOUR OF PACKAGE BEYOND DIMENSION R IS UNCONTROLLED.
 4. LEAD DIMENSION IS UNCONTROLLED IN P AND BEYOND DIMENSION K MINIMUM.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.175	0.205	4.45	5.20
B	0.170	0.210	4.32	5.33
C	0.125	0.165	3.18	4.19
D	0.016	0.021	0.407	0.533
G	0.045	0.055	1.15	1.39
H	0.095	0.105	2.42	2.66
J	0.015	0.020	0.39	0.50
K	0.500	---	12.70	---
L	0.250	---	6.35	---
N	0.080	0.105	2.04	2.66
P	---	0.100	---	2.54
R	0.115	---	2.93	---
V	0.135	---	3.43	---




BENT LEAD
TAPE & REEL
AMMO PACK



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M, 1994.
 2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETERS.
 3. CONTOUR OF PACKAGE BEYOND DIMENSION R IS UNCONTROLLED.
 4. LEAD DIMENSION IS UNCONTROLLED IN P AND BEYOND DIMENSION K MINIMUM.

DIM	MILLIMETERS	
	MIN	MAX
A	4.45	5.20
B	4.32	5.33
C	3.18	4.19
D	0.40	0.54
G	2.40	2.80
J	0.39	0.50
K	12.70	---
N	2.04	2.66
P	1.50	4.00
R	2.93	---
V	3.43	---

- STYLE 17:
PIN 1. COLLECTOR
2. BASE
3. EMITTER

ON Semiconductor and  are registered trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC). SCILLC reserves the right to make changes without further notice to any products herein. SCILLC makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does SCILLC 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. "Typical" parameters which may be provided in SCILLC 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. SCILLC does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. SCILLC products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the SCILLC product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use SCILLC products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold SCILLC 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 SCILLC was negligent regarding the design or manufacture of the part. SCILLC 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

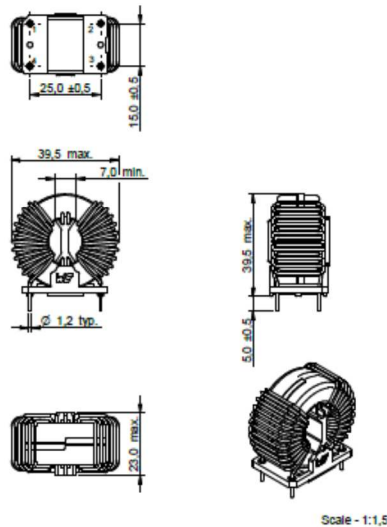
LITERATURE FULFILLMENT:
Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 5183, Denver, Colorado 80217 USA
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free
USA/Canada
Europe, Middle East and Africa Technical Support:
Phone: 421 33 790 2910
Japan Customer Focus Center
Phone: 61-3-5773-3850

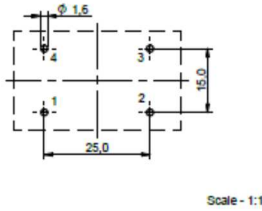
ON Semiconductor Website: www.onsemi.com
Order Literature: <http://www.onsemi.com/orderlit>
For additional information, please contact your local Sales Representative

P2N2907A/D

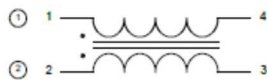
Dimensions: [mm]



Recommended Hole Pattern: [mm]



Schematic:



Electrical Properties:

Properties	Test conditions	Value	Unit	Tol.
Inductance	10 kHz/ 0.1 mA	202.5	mH	±30
Rated Current	@ 70 °C	I_{R1}	10.3	A max.
DC Resistance	@ 20 °C	R_{DC}	2x18	mΩ max.
Rated Voltage	50 Hz	U_{R1}	760	V (AC) max.
Insulation Test Voltage	50 Hz/ 5 mV/ 2 sec.	U_{I1}	3000	V (AC)

General Information:

It is recommended that the temperature of the component does not exceed +125°C under worst case conditions.

Storage Temperature (in original packaging)	-20 °C up to +60 °C
Operating Temperature	-40 °C up to +125 °C
Temperature Rise < 55K	
Test conditions of Electrical Properties: +20°C, 33% RH if not specified differently	

Würth Elektronik a/Soc GmbH & Co. KG
EMC & Inductive Solutions

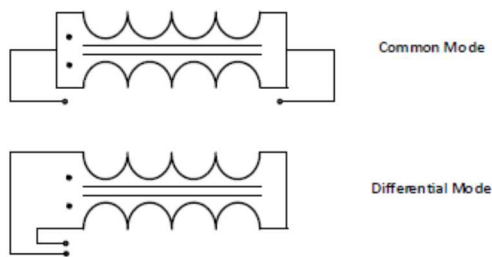
Max Eyth-Str. 1
74638 Wackernburg
Germany
Tel. +49 (0) 79 42 945- 0
www.wer.com
a/Soc@wer.com

WE
WÜRTH ELEKTRONIK

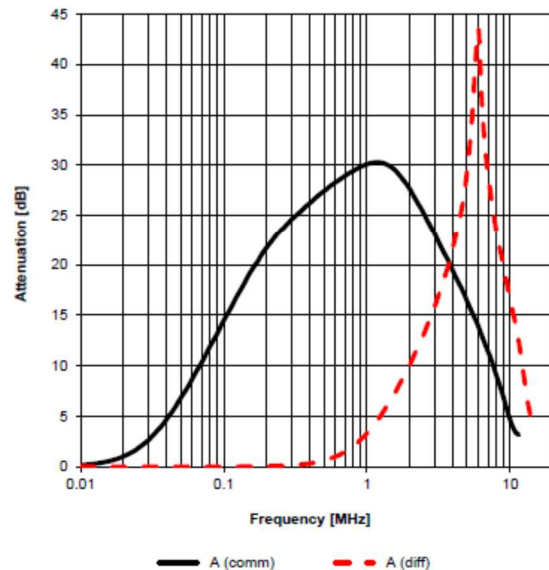
CLASS	IND	GROUP	IND	INDUCTIVE	INDUCTIVE
IND	IND	IND	IND	IND	IND
REFERENCE			IND		
WE-CMBHV Common Mode Power Line Choke			PART CODE		
			744830025103		
SIZE	IND	IND	IND	IND	IND
XL	001.000	IND	IND	IND	IND
			DATE		
			2015-11-10		
			IND		
			IND		
			IND		

This electronic component has been designed and developed for usage in general electronic equipment only. This product is not authorized for use in equipment where a higher safety standard and reliability standard is especially required or where a failure of the product is reasonably expected to cause serious personal injury or death, unless the parties have executed an agreement specifically governing such use. Würth Elektronik a/Soc GmbH & Co. KG products are neither designed nor intended for use in areas such as military, aerospace, aviation, nuclear control, submarine, transportation (automotive control, anti-lock, air control), transportation signal, disaster prevention, medical, public information network etc. Würth Elektronik a/Soc GmbH & Co. KG must be informed about the terms of such usage before the design is made. In addition, sufficient reliability evaluation checks for safety must be performed on every electronic component which is used in electrical circuits that require high safety and reliability functions or performance.

Test Setup:



Typical Insertion Loss Characteristics:



Würth Elektronik a/Soc GmbH & Co. KG
EMC & Inductive Solutions

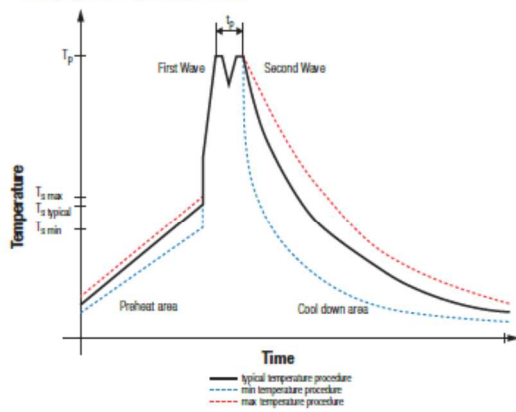
Max Eyth-Str. 1
74638 Wackernburg
Germany
Tel. +49 (0) 79 42 945- 0
www.wer.com
a/Soc@wer.com

WE
WÜRTH ELEKTRONIK

CLASS	IND	GROUP	IND	INDUCTIVE	INDUCTIVE
IND	IND	IND	IND	IND	IND
REFERENCE			IND		
WE-CMBHV Common Mode Power Line Choke			PART CODE		
			744830025103		
SIZE	IND	IND	IND	IND	IND
XL	001.000	IND	IND	IND	IND
			DATE		
			2015-11-10		
			IND		
			IND		
			IND		

This electronic component has been designed and developed for usage in general electronic equipment only. This product is not authorized for use in equipment where a higher safety standard and reliability standard is especially required or where a failure of the product is reasonably expected to cause serious personal injury or death, unless the parties have executed an agreement specifically governing such use. Würth Elektronik a/Soc GmbH & Co. KG products are neither designed nor intended for use in areas such as military, aerospace, aviation, nuclear control, submarine, transportation (automotive control, anti-lock, air control), transportation signal, disaster prevention, medical, public information network etc. Würth Elektronik a/Soc GmbH & Co. KG must be informed about the terms of such usage before the design is made. In addition, sufficient reliability evaluation checks for safety must be performed on every electronic component which is used in electrical circuits that require high safety and reliability functions or performance.

Classification Wave Soldering Profile:



Classification Wave Soldering Profile:

Profile Feature	Pb-Free Assembly	Sn-Pb Assembly
Preheat Temperature Min	$T_{s \text{ min}}$ 100 °C	100 °C
Preheat Temperature Typical	$T_{s \text{ typical}}$ 120 °C	120 °C
Preheat Temperature Max	$T_{s \text{ max}}$ 130 °C	130 °C
Preheat Time t_s from $T_{s \text{ min}}$ to $T_{s \text{ max}}$	t_s 70 seconds	70 seconds
Peak temperature	T_p 250 °C - 260 °C	235 °C - 260 °C
Time of actual peak temperature	t_p max. 10 seconds max. 5 seconds each wave	max. 10 seconds max. 5 seconds each wave
Ramp-down Rate, Min	- 2 K/second	- 2 K/second
Ramp-down Rate, Typical	- 3.5 K/second	- 3.5 K/second
Ramp-down Rate, Max	- 5 K/second	- 5 K/second
Time 25°C to 25°C	4 minutes	4 minutes

refer to EN61760-1:2006

Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG EMC & Industrial Solutions Max-Eyth-Str. 1 74638 Waldenburg Germany Tel. +49 (0) 79 42 945 - 0 www.w-e.com eiSos@w-e.com	ORDER CODE KAG	ORDER PART H5A	ORDER PARTING DIN ISO 2768-11	INSULATION METHOD
	WE-CMBHV Common Mode Power Line Choke			ORDER CODE 744830025103
	Size XL	version 001.000	Date of Validity Valid	DATE 2015-11-10

This electronic component has been designed and developed for usage in general electronic equipment only. This product is not authorized for use in equipment where a higher safety standard and reliability is required or where a failure of the product is reasonably expected to cause severe personal injury or death, unless the parties have agreed an agreement specifically governing such use. Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG products are neither designed nor intended for use in areas such as military, aerospace, aviation, nuclear control, submarine, transportation (automotive control, rail control, ship control), transportation signal, disaster prevention, medical, public information research etc. Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG must be informed about the terms of each usage before the design is made. In addition, sufficient reliability evaluation checks for safety must be performed on any electronic component which is used in electrical circuits that require high safety and reliability functions or performance.

Cautions & Warnings:

The following conditions apply to all goods within the product series of WE-CMBHV of Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG:

General:

All recommendations according to the general technical specifications of the data sheet have to be complied with.

The usage and operation of the product within ambient conditions, which probably attack or harm the wire insulation, has to be avoided.

If the product is posed in customer applications, the potting material might shrink during and after hardening. The product is exposed to the pressure of the potting material with the effect that the core, wire and termination is possibly damaged by this pressure and so the electrical as well as the mechanical characteristics are endangered to be affected. After the potting material is cured, the core, wire and termination of the product have to be checked if any reduced electrical or mechanical functions or destructions have occurred.

The responsibility for the applicability of customer specific products and use in a particular customer design is always within the authority of the customer. All technical specifications for standard products do also apply to customer specific products.

Cleaning agents that are used to clean the customer application might damage or change the characteristics of the component, body, pins or termination.

Direct mechanical impact to the product shall be prevented as the ferrite material of the core could flake or in the worst case it could break.

Product specific:

Follow all instructions mentioned in the data sheet, especially:

- The soldering profile has to be complied with according to the technical wave soldering specification, otherwise this will void the warranty.
- Reflow soldering is only allowed after evaluation and approval.
- All products shall be used before the end of the period of 12 months based on the product date code, if not a 100% solderability can't be ensured.
- Violation of the technical product specifications such as exceeding the nominal rated current will result in the loss of warranty.
- Due to heavy weight of the component, strong forces and high accelerations might have the effect to damage the electrical connection or to harm the circuit board and will void the warranty.

The general and product specific cautions comply with the state of the scientific and technical knowledge and are believed to be accurate and reliable; however, no responsibility is assumed for inaccuracies or incompleteness.

Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG EMC & Industrial Solutions Max-Eyth-Str. 1 74638 Waldenburg Germany Tel. +49 (0) 79 42 945 - 0 www.w-e.com eiSos@w-e.com	ORDER CODE KAG	ORDER PART H5A	ORDER PARTING DIN ISO 2768-11	INSULATION METHOD
	WE-CMBHV Common Mode Power Line Choke			ORDER CODE 744830025103
	Size XL	version 001.000	Date of Validity Valid	DATE 2015-11-10

This electronic component has been designed and developed for usage in general electronic equipment only. This product is not authorized for use in equipment where a higher safety standard and reliability is required or where a failure of the product is reasonably expected to cause severe personal injury or death, unless the parties have agreed an agreement specifically governing such use. Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG products are neither designed nor intended for use in areas such as military, aerospace, aviation, nuclear control, submarine, transportation (automotive control, rail control, ship control), transportation signal, disaster prevention, medical, public information research etc. Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG must be informed about the terms of each usage before the design is made. In addition, sufficient reliability evaluation checks for safety must be performed on any electronic component which is used in electrical circuits that require high safety and reliability functions or performance.

Important Notes

The following conditions apply to all goods within the product range of Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG:

1. General Customer Responsibility

Some goods within the product range of Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG contain statements regarding general suitability for certain application areas. These statements about suitability are based on our knowledge and experience of typical requirements concerning the areas, serve as general guidance and cannot be estimated as binding statements about the suitability for a customer application. The responsibility for the applicability and use in a particular customer design is always solely within the authority of the customer. Due to this fact it is up to the customer to evaluate, where appropriate to investigate and decide whether the device with the specific product characteristics described in the product specification is valid and suitable for the respective customer application or not.

2. Customer Responsibility related to Specific, in particular Safety-Relevant Applications

It has to be clearly pointed out that the possibility of a malfunction of electronic components or failure before the end of the usual lifetime cannot be completely eliminated in the current state of the art, even if the products are operated within the range of the specifications. In certain customer applications requiring a very high level of safety and especially in customer applications in which the malfunction or failure of an electronic component could endanger human life or health it must be ensured by most advanced technological aid of suitable design of the customer application that no injury or damage is caused to third parties in the event of malfunction or failure of an electronic component. Therefore, customer is cautioned to verify that data sheets are current before placing orders. The current data sheets can be downloaded at www.we-online.com.

3. Best Care and Attention

Any product-specific notes, cautions and warnings must be strictly observed. Any disregard will result in the loss of warranty.

4. Customer Support for Product Specifications

Some products within the product range may contain substances which are subject to restrictions in certain jurisdictions in order to serve specific technical requirements. Necessary information is available on request. In this case the field sales engineer or the internal sales person in charge should be contacted who will be happy to support in this matter.

5. Product R&D

Due to constant product improvement product specifications may change from time to time. As a standard reporting procedure of the Product Change Notification (PCN) according to the JEDEC-Standard inform about minor and major changes. In case of further queries regarding the PCN, the field sales engineer or the internal sales person in charge should be contacted. The basic responsibility of the customer as per Section 1 and 2 remains unaffected.

6. Product Life Cycle



Due to technical progress and economical evaluation we also reserve the right to discontinue production and delivery of products. As a standard reporting procedure of the Product Termination Notification (PTN) according to the JEDEC-Standard we will inform at an early stage about inevitable product discontinuance. According to this we cannot guarantee that all products within our product range will always be available. Therefore it needs to be verified with the field sales engineer or the internal sales person in charge about the current product availability expectancy before or when the product for application design-in disposal is considered. The approach named above does not apply in the case of individual agreements deviating from the foregoing for customer-specific products.

7. Property Rights

All the rights for contractual products produced by Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG on the basis of ideas, development contracts as well as models or templates that are subject to copyright, patent or commercial protection supplied to the customer will remain with Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG. Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG does not warrant or represent that any license, either expressed or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other Intellectual property right relating to any combination, application, or process in which Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG components or services are used.

8. General Terms and Conditions

Unless otherwise agreed in individual contracts, all orders are subject to the current version of the "General Terms and Conditions of Würth Elektronik eiSos Group", last version available at www.we-online.com.

Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG EMC & Inductance Solutions Max-Eyth-Str. 1 74638 Waldenburg Germany Tel. +49 (0) 79 42 945 - 0 www.we-online.com eiSos@we-online.com		WE 		ORDER CODE 7463 PART NUMBER DIN ISO 2158-10 REVISION 0102 	eSolutions WE-CMBHV Common Mode Power Line Choke ORDER CODE 744830025103
Sn XL	mOhm 001.000	Stand. Valid	DATE 2015-11-10	Würth Elektronik eiSos eiSos	WE S/S

This electronic component has been designed and developed for usage in general electronic equipment only. This product is not authorized for use in equipment where a higher safety standard and reliability standard is especially required or where a failure of the product is reasonably expected to cause severe personal injury or death, unless the parties have executed an agreement specifically governing such use. Moreover Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG products are neither designed nor intended for use in areas such as military, aerospace, aviation, nuclear control, submarine, transportation (automotive control, anti-collision, air control), transportation signal, disaster prevention, medical, public information network etc. Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG must be informed about the terms of such usage before the design is made. In addition, sufficient reliability analysis checks for safety must be performed on every electronic component which is used in electrical circuits that require high safety and reliability functions or performance.



LM7800 Series 3-Terminal Fixed Voltage Regulators

THREE-TERMINAL POSITIVE VOLTAGE REGULATORS

These voltage regulators are monolithic integrated circuits designed as fixed-voltage regulators for a wide variety of applications including local, on-card regulation. These regulators employ internal current limiting, thermal shutdown, and safe-area

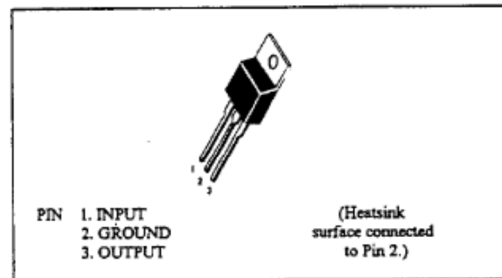
compensation. With adequate heatsinking they can deliver output currents in excess of 1.5 ampere.

Although designed primarily as a fixed voltage regulator, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

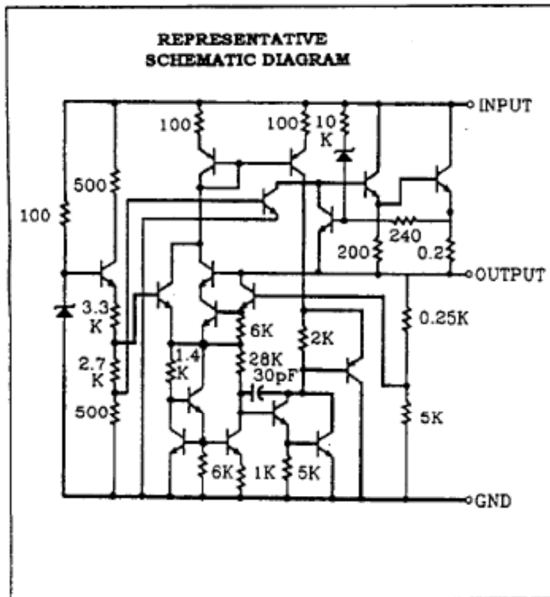
FEATURES

- Output Current in Excess of 1.5 Ampere
- No External Components Required
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short-Circuit Current Limiting
- Output Transistor Safe-Area Compensation
- Output Voltage Offered in 2% Tolerance

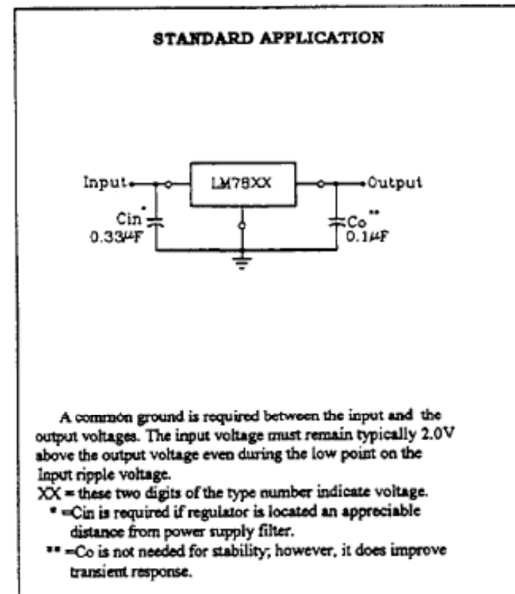
PIN ARRANGEMENT



CIRCUIT SCHEMATIC



TYPICAL CONNECTING CIRCUIT





LM7800 Series 3-Terminal Fixed Voltage Regulators

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Ta=25°C)

Item	Symbol	LM7800 Series	Unit
Input Voltage	Vin *	30	V
Input Voltage	Vin **	40	V
Power Dissipation	P _D ***	15	W
Operating Ambient Temperature	T _{opr}	-20 to +75	°C
Operating Junction Temperature	T _j	-20 to +125	°C
Storage Temperature	T _{stg}	-55 to +125	°C

Note: *LM7805 to LM7818

** LM7824

***Follow the derating curve

LM7805 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(Vin=10V, Iout=500mA, 0°C ≤ Tj ≤ 125°C, Cin=0.33µ F, Cout=0.1µ F; unless otherwise specified.)

Item	Symbol	Test Conditions	min.	typ.	max.	unit	
Output Voltage	Vout	Tj=25°C	4.90	5.0	5.10	V	
		7V ≤ Vin ≤ 20V, 5mA ≤ Iout ≤ 1.0A, P _D ≤ 15W	4.85	--	5.15	V	
Line Regulation	REGline	Tj=25°C	7V ≤ Vin ≤ 25V	--	3	100	mV
			8V ≤ Vin ≤ 12V	--	1	50	mV
Load Regulation	REGload	Tj=25°C	5mA ≤ Iout ≤ 1.5A	--	15	100	mV
			250mA ≤ Iout ≤ 750mA	--	5	50	mV
Quiescent Current	Iq	Tj=25°C, Iout=0	--	4.2	8.0	mA	
Quiescent Current Change	Δ Iq	Tj=25°C	7V ≤ Vin ≤ 25V	--	--	1.3	mA
			5mA ≤ Iout ≤ 1.0A	--	--	0.5	mA
Output Noise Voltage	Vn	Ta=25°C, 10Hz ≤ f ≤ 100KHz	--	40	--	µ V	
Ripple Rejection Ratio	RR	f=120Hz	62	78	--	dB	
Voltage Drop	Vdrop	Iout=1.0A, Tj=25°C	--	2.0	--	V	
Output Resistance	Rout	f=1KHz	--	17	--	mΩ	
Output Short Circuit Current	Ios	Tj=25°C	--	750	--	mA	
Peak Output Current	I _{o peak}	Tj=25°C	--	2.2	--	A	
Temperature Coefficient of Output Voltage	Δ Vout/ Δ Tj	Iout=5mA, 0°C ≤ Tj ≤ 125°C	--	-1.1	--	mV/°C	



LM7800 Series 3-Terminal Fixed Voltage Regulators

LM7806 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($V_{in}=11V$, $I_{out}=500mA$, $0^{\circ}C \leq T_j \leq 125^{\circ}C$, $C_{in}=0.33\mu F$, $C_{out}=0.1\mu F$; unless otherwise specified.)

Item	Symbol	Test Conditions	min.	typ.	max.	unit	
Output Voltage	Vout	Tj=25°C	5.88	6.0	6.12	V	
		8V ≤ Vin ≤ 21V, 5mA ≤ Iout ≤ 1.0A, Pd ≤ 15W	5.83	--	6.17	V	
Line Regulation	Δ REGline	Tj=25°C	8V ≤ Vin ≤ 25V	--	5	120	mV
			9V ≤ Vin ≤ 13V	--	1.5	60	mV
Load Regulation	Δ REGload	Tj=25°C	5mA ≤ Iout ≤ 1.5A	--	14	120	mV
			250mA ≤ Iout ≤ 750mA	--	4.0	60	mV
Quiescent Current	Iq	Tj=25°C, Iout=0	--	4.3	8.0	mA	
Quiescent Current Change	Δ Iq	5mA ≤ Iout ≤ 1.0A	8V ≤ Vin ≤ 25V	--	--	1.3	mA
			5mA ≤ Iout ≤ 1.0A	--	--	0.5	mA
Output Noise Voltage	Vn	Ta=25°C, 10Hz ≤ f ≤ 100KHz	--	45	--	μV	
Ripple Rejection Ratio	RR	f=120Hz	59	75	--	dB	
Voltage Drop	Vdrop	Iout=1.0A, Tj=25°C	--	2.0	--	V	
Output Resistance	Rout	f=1KHz	--	19	--	mΩ	
Output Short Circuit Current	Ios	Tj=25°C	--	550	--	mA	
Peak Output Current	Io peak	Tj=25°C	--	2.2	--	A	
Temperature Coefficient of Output Voltage	Δ Vout/Δ Tj	Iout=5mA, 0°C ≤ Tj ≤ 125°C	--	-0.8	--	mV/°C	

LM7808 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($V_{in}=14V$, $I_{out}=500mA$, $0^{\circ}C \leq T_j \leq 125^{\circ}C$, $C_{in}=0.33\mu F$, $C_{out}=0.1\mu F$; unless otherwise specified.)

Item	Symbol	Test Conditions	min.	typ.	max.	unit	
Output Voltage	Vout	Tj=25°C	7.84	8.0	8.16	V	
		10.5V ≤ Vin ≤ 23V, 5mA ≤ Iout ≤ 1.0A, Pd ≤ 15W	7.74	--	8.26	V	
Line Regulation	Δ REGline	Tj=25°C	10.5V ≤ Vin ≤ 25V	--	6	160	mV
			11V ≤ Vin ≤ 17V	--	2.0	80	mV
Load Regulation	Δ REGload	Tj=25°C	5mA ≤ Iout ≤ 1.5A	--	12	160	mV
			250mA ≤ Iout ≤ 750mA	--	4	80	mV
Quiescent Current	Iq	Tj=25°C, Iout=0	--	4.3	8.0	mA	
Quiescent Current Change	Δ Iq	5mA ≤ Iout ≤ 1.0A	10.5V ≤ Vin ≤ 25V	--	--	1.0	mA
			5mA ≤ Iout ≤ 1.0A	--	--	0.5	mA
Output Noise Voltage	Vn	Ta=25°C, 10Hz ≤ f ≤ 100KHz	--	52	--	μV	
Ripple Rejection Ratio	RR	f=120Hz	56	72	--	dB	
Voltage Drop	Vdrop	Iout=1.0A, Tj=25°C	--	2.0	--	V	
Output Resistance	Rout	f=1KHz	--	16	--	mΩ	
Output Short Circuit Current	Ios	Tj=25°C	--	450	--	mA	
Peak Output Current	Io peak	Tj=25°C	--	2.2	--	A	
Temperature Coefficient of Output Voltage	Δ Vout/Δ Tj	Iout=5mA, 0°C ≤ Tj ≤ 125°C	--	-1.8	--	mV/°C	



LM7800 Series 3-Terminal Fixed Voltage Regulators

• LM7809 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($V_{in}=15V$, $I_{out}=500mA$, $0^{\circ}C \leq T_j \leq 125^{\circ}C$, $C_{in}=0.33\mu F$, $C_{out}=0.1\mu F$; unless otherwise specified.)

Item	Symbol	Test Conditions	min.	typ.	max.	unit	
Output Voltage	Vout	$T_j=25^{\circ}C$	8.82	9	9.18	V	
		$10.5V \leq V_{in} \leq 27V$, $5mA \leq I_{out} \leq 1.0A$, $P_D \leq 15W$	8.77	--	9.23	V	
Line Regulation	ΔREG_{line}	$T_j=25^{\circ}C$	$11.5V \leq V_{in} \leq 30V$	--	6	160	mV
			$12V \leq V_{in} \leq 18V$	--	2.0	80	mV
Load Regulation	ΔREG_{load}	$T_j=25^{\circ}C$	$5mA \leq I_{out} \leq 1.5A$	--	12	160	mV
			$250mA \leq I_{out} \leq 750mA$	--	4	80	mV
Quiescent Current	I_q	$T_j=25^{\circ}C$, $I_{out}=0$	--	4.3	1.0	mA	
Quiescent Current Change	ΔI_q	$5mA \leq I_{out} \leq 1.0A$	$14.5V \leq V_{in} \leq 30V$	--	--	0.5	mA
				--	--	--	mA
Output Noise Voltage	Vn	$T_a=25^{\circ}C$, $10Hz \leq f \leq 100KHz$	--	52	--	μV	
Ripple Rejection Ratio	RR	$f=120Hz$	55	72	--	dB	
Voltage Drop	Vdrop	$I_{out}=1.0A$, $T_j=25^{\circ}C$	--	2.0	--	V	
Output Resistance	Rout	$f=1KHz$	--	16	--	m Ω	
Output Short Circuit Current	Ios	$T_j=25^{\circ}C$	--	450	--	mA	
Peak Output Current	$I_{o peak}$	$T_j=25^{\circ}C$	--	2.2	--	A	
Temperature Coefficient of Output Voltage	$\Delta V_{out}/\Delta T_j$	$I_{out}=5mA$, $0^{\circ}C \leq T_j \leq 125^{\circ}C$	--	-1.8	--	mV/ $^{\circ}C$	

• LM7810 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($V_{in}=16V$, $I_{out}=500mA$, $0^{\circ}C \leq T_j \leq 125^{\circ}C$, $C_{in}=0.33\mu F$, $C_{out}=0.1\mu F$; unless otherwise specified.)

Item	Symbol	Test Conditions	min.	typ.	max.	unit	
Output Voltage	Vout	$T_j=25^{\circ}C$	9.8	10	10.2	V	
		$17.5V \leq V_{in} \leq 30V$, $5mA \leq I_{out} \leq 1.0A$, $P_D \leq 15W$	9.75	-	12.25	V	
Line Regulation	ΔREG_{line}	$T_j=25^{\circ}C$	$10.5V \leq V_{in} \leq 30V$	--	10	240	mV
			$13V \leq V_{in} \leq 9V$	--	3.0	120	mV
Load Regulation	ΔREG_{load}	$T_j=25^{\circ}C$	$5mA \leq I_{out} \leq 1.5A$	--	12	240	mV
			$250mA \leq I_{out} \leq 750mA$	--	4.0	120	mV
Quiescent Current	I_q	$T_j=25^{\circ}C$, $I_{out}=0$	--	4.3	8.0	mA	
Quiescent Current Change	ΔI_q	$5mA \leq I_{out} \leq 1.0A$	$14.5V \leq V_{in} \leq 30V$	--	--	1.0	mA
				--	--	0.5	mA
Output Noise Voltage	Vn	$T_a=25^{\circ}C$, $10Hz \leq f \leq 100KHz$	--	52	--	μV	
Ripple Rejection Ratio	RR	$f=120Hz$	54	72	--	dB	
Voltage Drop	Vdrop	$I_{out}=1.0A$, $T_j=25^{\circ}C$	--	2.0	--	V	
Output Resistance	Rout	$f=1KHz$	--	16	--	m Ω	
Output Short Circuit Current	Ios	$T_j=25^{\circ}C$	--	450	--	mA	
Peak Output Current	$I_{o peak}$	$T_j=25^{\circ}C$	--	2.2	--	A	
Temperature Coefficient of Output Voltage	$\Delta V_{out}/\Delta T_j$	$I_{out}=5mA$, $0^{\circ}C \leq T_j \leq 125^{\circ}C$	--	-1.8	--	mV/ $^{\circ}C$	



LM7800 Series 3-Terminal Fixed Voltage Regulators

LM7812 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($V_{in}=19V$, $I_{out}=500mA$, $0^{\circ}C \leq T_j \leq 125^{\circ}C$, $C_{in}=0.33\mu F$, $C_{out}=0.1\mu F$; unless otherwise specified.)

Item	Symbol	Test Conditions	min.	typ.	max.	unit	
Output Voltage	Vout	$T_j=25^{\circ}C$	11.76	12.0	12.24	V	
		$14.5V \leq V_{in} \leq 27V$, $5mA \leq I_{out} \leq 1.0A$, $P_D \leq 15W$	11.66	--	12.34	V	
Line Regulation	Δ REGline	$T_j=25^{\circ}C$	$14.5V \leq V_{in} \leq 30V$	--	10	240	mV
			$16V \leq V_{in} \leq 22V$	--	3.0	120	mV
Load Regulation	Δ REGload	$T_j=25^{\circ}C$	$5mA \leq I_{out} \leq 1.5A$	--	12	240	mV
			$250mA \leq I_{out} \leq 750mA$	--	4.0	120	mV
Quiescent Current	I_q	$T_j=25^{\circ}C$, $I_{out}=0$	--	4.3	8.0	mA	
Quiescent Current Change	ΔI_q		$14.5V \leq V_{in} \leq 30V$	--	--	1.0	mA
			$5mA \leq I_{out} \leq 1.0A$	--	--	0.5	mA
Output Noise Voltage	Vn	$T_a=25^{\circ}C$, $10Hz \leq f \leq 100KHz$	--	75	--	μV	
Ripple Rejection Ratio	RR	$f=120Hz$	55	71	--	dB	
Voltage Drop	Vdrop	$I_{out}=1.0A$, $T_j=25^{\circ}C$	--	2.0	--	V	
Output Resistance	Rout	$f=1KHz$	--	18	--	m Ω	
Output Short Circuit Current	Ios	$T_j=25^{\circ}C$	--	350	--	mA	
Peak Output Current	I_o peak	$T_j=25^{\circ}C$	--	2.2	--	A	
Temperature Coefficient of Output Voltage	$\Delta V_{out}/\Delta T_j$	$I_{out}=5mA$, $0^{\circ}C \leq T_j \leq 125^{\circ}C$	--	-1.0	--	mV/ $^{\circ}C$	

LM7815 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($V_{in}=23V$, $I_{out}=500mA$, $0^{\circ}C \leq T_j \leq 125^{\circ}C$, $C_{in}=0.33\mu F$, $C_{out}=0.1\mu F$; unless otherwise specified.)

Item	Symbol	Test Conditions	min.	typ.	max.	unit	
Output Voltage	Vout	$T_j=25^{\circ}C$	14.7	15.0	15.3	V	
		$17.5V \leq V_{in} \leq 30V$, $5mA \leq I_{out} \leq 1.0A$, $P_D \leq 15W$	14.55	--	15.45	V	
Line Regulation	Δ REGline	$T_j=25^{\circ}C$	$17.5V \leq V_{in} \leq 30V$	--	11	300	mV
			$20V \leq V_{in} \leq 26V$	--	3.0	150	mV
Load Regulation	Δ REGload	$T_j=25^{\circ}C$	$5mA \leq I_{out} \leq 1.5A$	--	12	300	mV
			$250mA \leq I_{out} \leq 750mA$	--	4	150	mV
Quiescent Current	I_q	$T_j=25^{\circ}C$, $I_{out}=0$	--	4.4	8.0	mA	
Quiescent Current Change	ΔI_q		$17.5V \leq V_{in} \leq 30V$	--	--	1.0	mA
			$5mA \leq I_{out} \leq 1.0A$	--	--	0.5	mA
Output Noise Voltage	Vn	$T_a=25^{\circ}C$, $10Hz \leq f \leq 100KHz$	--	90	--	μV	
Ripple Rejection Ratio	RR	$f=120Hz$	54	70	--	dB	
Voltage Drop	Vdrop	$I_{out}=1.0A$, $T_j=25^{\circ}C$	--	2.0	--	V	
Output Resistance	Rout	$f=1KHz$	--	19	--	m Ω	
Output Short Circuit Current	Ios	$T_j=25^{\circ}C$	--	230	--	mA	
Peak Output Current	I_o peak	$T_j=25^{\circ}C$	--	2.1	--	A	
Temperature Coefficient of Output Voltage	$\Delta V_{out}/\Delta T_j$	$I_{out}=5mA$, $0^{\circ}C \leq T_j \leq 125^{\circ}C$	--	-1.0	--	mV/ $^{\circ}C$	



LM7800 Series 3-Terminal Fixed Voltage Regulators

LM7818 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($V_{in}=27V$, $I_{out}=500mA$, $0^{\circ}C \leq T_j \leq 125^{\circ}C$, $C_{in}=0.33\mu F$, $C_{out}=0.1\mu F$; unless otherwise specified.)

Item	Symbol	Test Conditions	min.	typ.	max.	unit	
Output Voltage	Vout	Tj=25°C	17.64	18.0	18.36	V	
		21.0V ≤ Vin ≤ 33V, 5mA ≤ Iout ≤ 1.0A, P _D ≤ 15W	17.44	--	18.56	V	
Line Regulation	Δ Vo line	Tj=25°C	21.0V ≤ Vin ≤ 33V	--	15	360	mV
			24V ≤ Vin ≤ 30V	--	5.0	180	mV
Load Regulation	Δ REGload	Tj=25°C	5mA ≤ Iout ≤ 1.5A	--	12	360	mV
			250mA ≤ Iout ≤ 750mA	--	4.0	180	mV
Quiescent Current	Iq	Tj=25°C, Iout=0	--	4.5	8.0	mA	
Quiescent Current Change	Δ Iq	Tj=25°C	21.0V ≤ Vin ≤ 33V	--	--	1.0	mA
			5mA ≤ Iout ≤ 1.0A	--	--	0.5	mA
Output Noise Voltage	Vn	Ta=25°C, 10Hz ≤ f ≤ 100KHz	--	110	--	μ V	
Ripple Rejection Ratio	RR	f=120Hz	53	69	--	dB	
Voltage Drop	Vdrop	Iout=1.0A, Tj=25°C	--	2.0	--	V	
Output Resistance	Rout	f=1KHz	--	22	--	mΩ	
Output Short Circuit Current	Ios	Tj=25°C	--	200	--	mA	
Peak Output Current	I _{o peak}	Tj=25°C	--	2.1	--	A	
Temperature Coefficient of Output Voltage	Δ Vout/ Δ Tj	Iout=5mA, 0°C ≤ Tj ≤ 125°C	--	-1.0	--	mV/°C	

LM7824 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($V_{in}=33V$, $I_{out}=500mA$, $0^{\circ}C \leq T_j \leq 125^{\circ}C$, $C_{in}=0.33\mu F$, $C_{out}=0.1\mu F$; unless otherwise specified.)

Item	Symbol	Test Conditions	min.	typ.	max.	unit	
Output Voltage	Vout	Tj=25°C	23.52	24.0	24.48	V	
		27.0V ≤ Vin ≤ 38V, 5mA ≤ Iout ≤ 1.0A, P _D ≤ 15W	23.32	--	24.68	V	
Line Regulation	Δ Vo line	Tj=25°C	27.0V ≤ Vin ≤ 38V	--	18	480	mV
			30V ≤ Vin ≤ 36V	--	6.0	240	mV
Load Regulation	Δ Vo load	Tj=25°C	5mA ≤ Iout ≤ 1.5A	--	12	480	mV
			250mA ≤ Iout ≤ 750mA	--	4.0	240	mV
Quiescent Current	Iq	Tj=25°C, Iout=0	--	4.6	8.0	mA	
Quiescent Current Change	Δ Iq	Tj=25°C	27.0V ≤ Vin ≤ 38V	--	--	1.0	mA
			5mA ≤ Iout ≤ 1.0A	--	--	0.5	mA
Output Noise Voltage	Vn	Ta=25°C, 10Hz ≤ f ≤ 100KHz	--	170	--	μ V	
Ripple Rejection Ratio	RR	f=120Hz	50	66	--	dB	
Voltage Drop	Vdrop	Iout=1.0A, Tj=25°C	--	2.0	--	V	
Output Resistance	Rout	f=1KHz	--	28	--	mΩ	
Output Short Circuit Current	Ios	Tj=25°C	--	150	--	mA	
Peak Output Current	I _{o peak}	Tj=25°C	--	2.1	--	A	
Temperature Coefficient of Output Voltage	Δ Vout/ Δ Tj	Iout=5mA, 0°C ≤ Tj ≤ 125°C	--	-1.5	--	mV/°C	



LM7800 Series 3-Terminal Fixed Voltage Regulators

FIGURE 1 - WORST CASE POWER DISSIPATION versus AMBIENT TEMPERATURE (Case 221A)

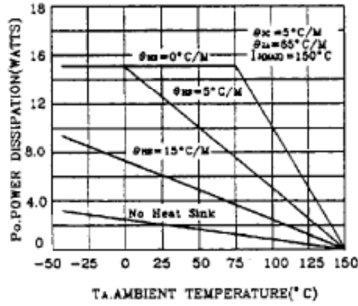


FIGURE 2 - WORST CASE POWER DISSIPATION versus AMBIENT TEMPERATURE (Case 1)

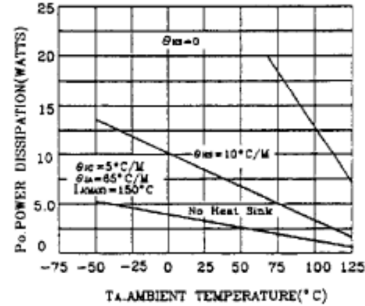


FIGURE 3 - INPUT OUTPUT DIFFERENTIAL AS A FUNCTION OF JUNCTION TEMPERATURE

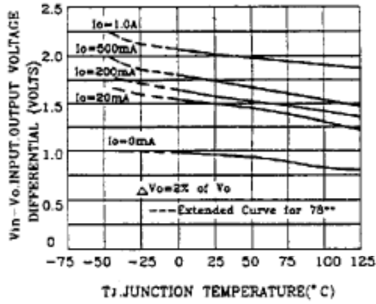


FIGURE 4 - INPUT OUTPUT DIFFERENTIAL AS A FUNCTION OF JUNCTION TEMPERATURE

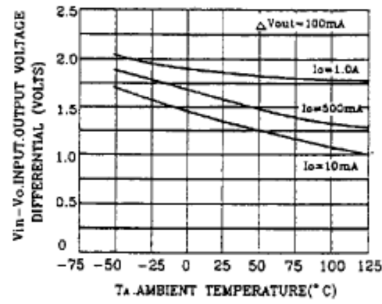


FIGURE 5 - PEAK OUTPUT CURRENT AS A FUNCTION OF INPUT-OUTPUT DIFFERENTIAL VOLTAGE

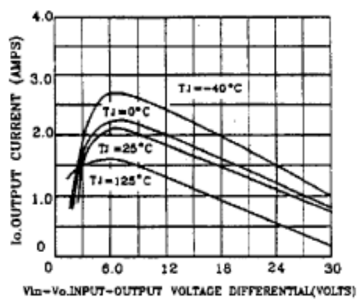
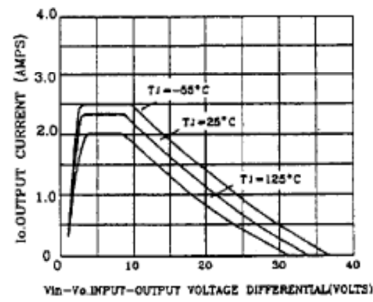


FIGURE 6 - PEAK OUTPUT CURRENT AS A FUNCTION OF INPUT-OUTPUT DIFFERENTIAL VOLTAGE





LM7800 Series 3-Terminal Fixed Voltage Regulators

FIGURE 7 - RIPPLE REJECTION AS A FUNCTION OF OUTPUT VOLTAGE

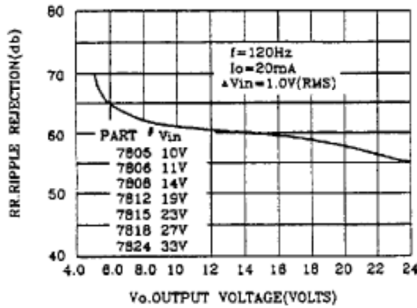


FIGURE 8 - RIPPLE REJECTION AS A FUNCTION OF FREQUENCY

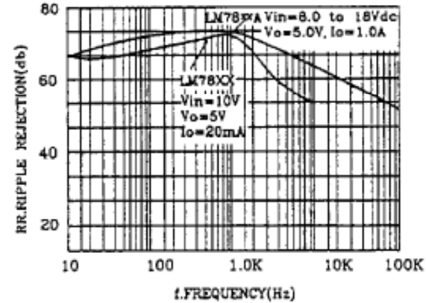


FIGURE 9 - OUTPUT VOLTAGE AS A FUNCTION OF JUNCTION TEMPERATURE

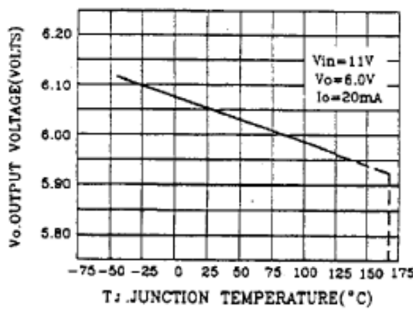


FIGURE 10 - OUTPUT IMPEDANCE AS A FUNCTION OF OUTPUT VOLTAGE

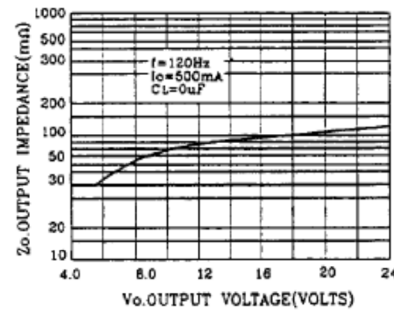


FIGURE 11 - QUIESCENT CURRENT AS A FUNCTION OF TEMPERATURE

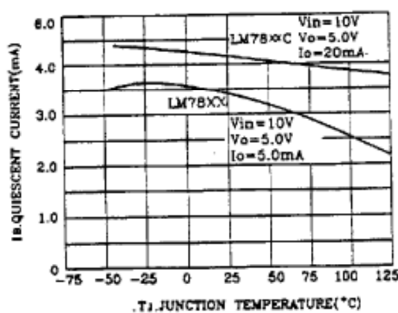
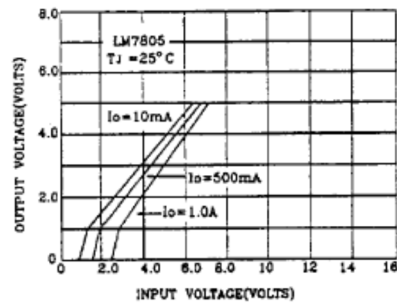
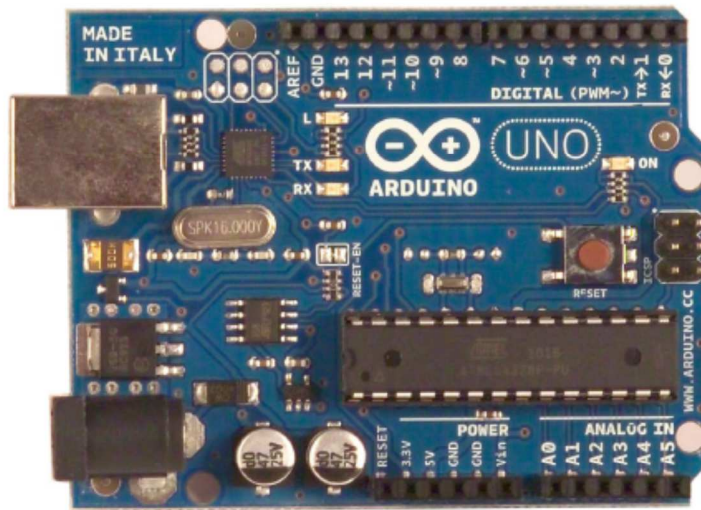


FIGURE 12 - DROPOUT CHARACTERISTICS



Arduino UNO



Product Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328 ([datasheet](#)). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

"Uno" means one in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the [index of Arduino boards](#).

Index

Technical Specifications	Page 2
How to use Arduino Programming Enviroment, Basic Tutorials	Page 6
Terms & Conditions	Page 7
Enviromental Policies half sqm of green via Impatto Zero®	Page 7



Technical Specification

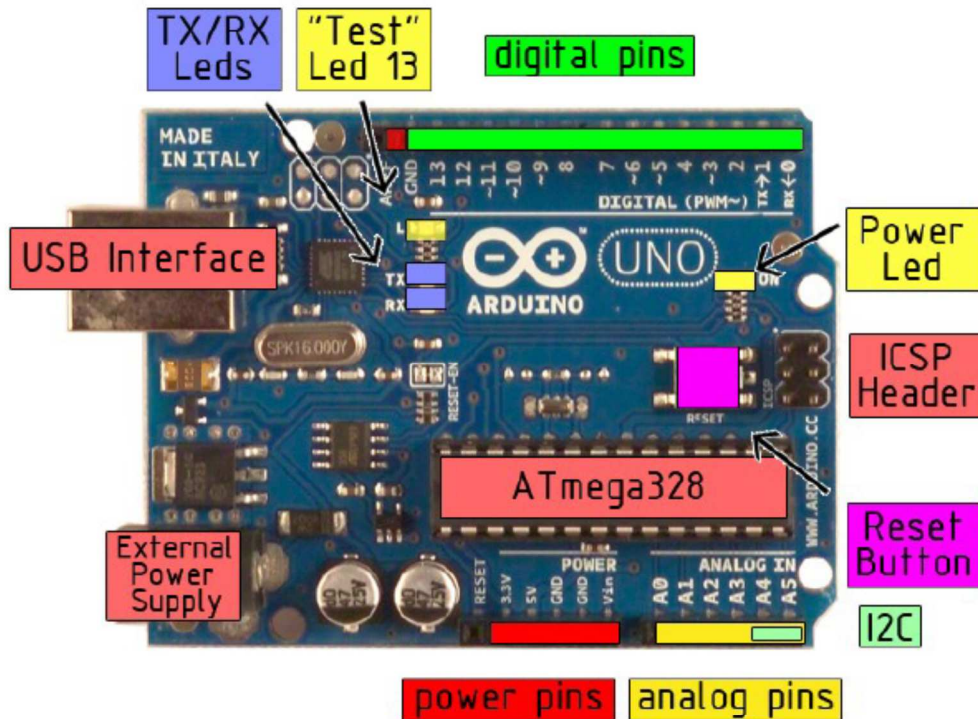


EAGLE files: [arduino-duemilanove-uno-design.zip](#) Schematic: [arduino-uno-schematic.pdf](#)

Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

the board



radiospares

RADIONICS



Power

The Arduino Uno can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

Memory

The Atmega328 has 32 KB of flash memory for storing code (of which 0,5 KB is used for the bootloader); It has also 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip .
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language.
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.



RADIOSPARES

RADIONICS



The Uno has 6 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the [analogReference\(\)](#) function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **I²C: 4 (SDA) and 5 (SCL).** Support I²C (TWI) communication using the [Wire library](#).

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the [mapping between Arduino pins and Atmega328 ports](#).

Communication

The Arduino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega8U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The '8U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, on Windows, an *.inf file is required..

The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Uno's digital pins.

The ATmega328 also support I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation](#) for details. To use the SPI communication, please see the ATmega328 datasheet.

Programming

The Arduino Uno can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Uno w/ ATmega328" from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega328 on the Arduino Uno comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

The ATmega8U2 firmware source code is available . The ATmega8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2. You can then use [Atmel's FLIP software](#) (Windows) or the [DFU programmer](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader).



radiospares

RADIONICS



Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Uno is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2 is connected to the reset line of the ATmega328 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Uno is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Uno. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

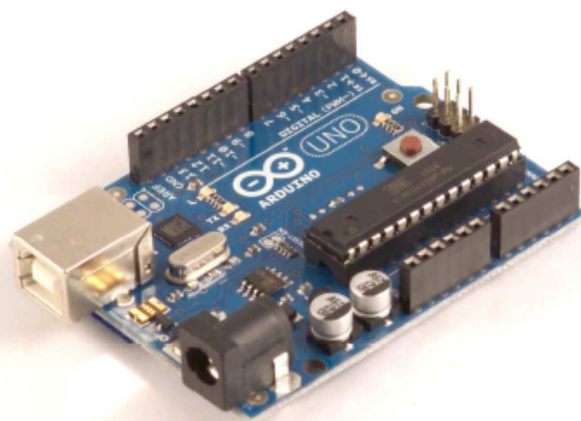
The Uno contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

USB Overcurrent Protection

The Arduino Uno has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics

The maximum length and width of the Uno PCB are 2.7 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Three screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.



RADIOSPARES

RADIONICS



How to use Arduino

Arduino can sense the environment by receiving input from a variety of sensors and can affect its surroundings by controlling lights, motors, and other actuators. The microcontroller on the board is programmed using the [Arduino programming language](#) (based on [Wiring](#)) and the Arduino development environment (based on [Processing](#)). Arduino projects can be stand-alone or they can communicate with software on running on a computer (e.g. Flash, Processing, MaxMSP).

Arduino is a cross-platform program. You'll have to follow different instructions for your personal OS. Check on the [Arduino site](#) for the latest instructions. <http://arduino.cc/en/Guide/HomePage>

Linux Install

Windows Install

Mac Install

Once you have downloaded/unzipped the arduino IDE, you can Plug the Arduino to your PC via USB cable.

Blink led

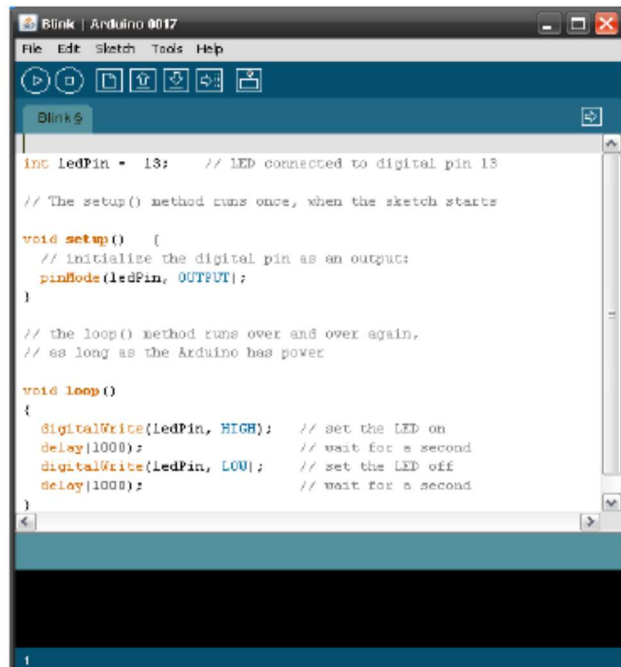
Now you're actually ready to "burn" your first program on the arduino board. To select "blink led", the physical translation of the well known programming "hello world", select

**File>Sketchbook>
Arduino-0017>Examples>
Digital>Blink**

Once you have your skecth you'll see something very close to the screenshot on the right.

In **Tools>Board** select

Now you have to go to **Tools>SerialPort** and select the right serial port, the one arduino is attached to.



```

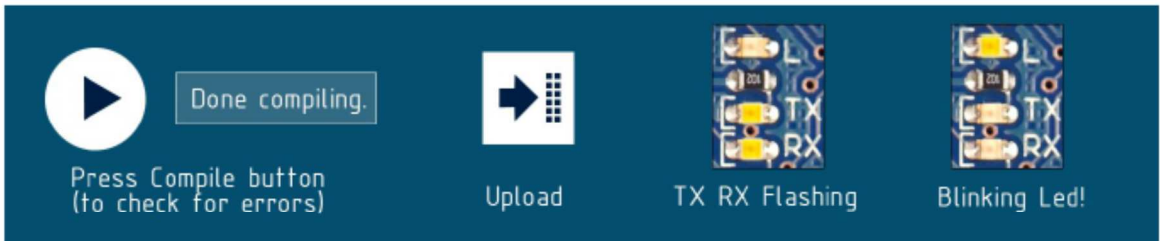
Blink | Arduino 0017
File Edit Sketch Tools Help
Blinks
#include <Arduino.h> // LED connected to digital pin 13

// The setup() method runs once, when the sketch starts

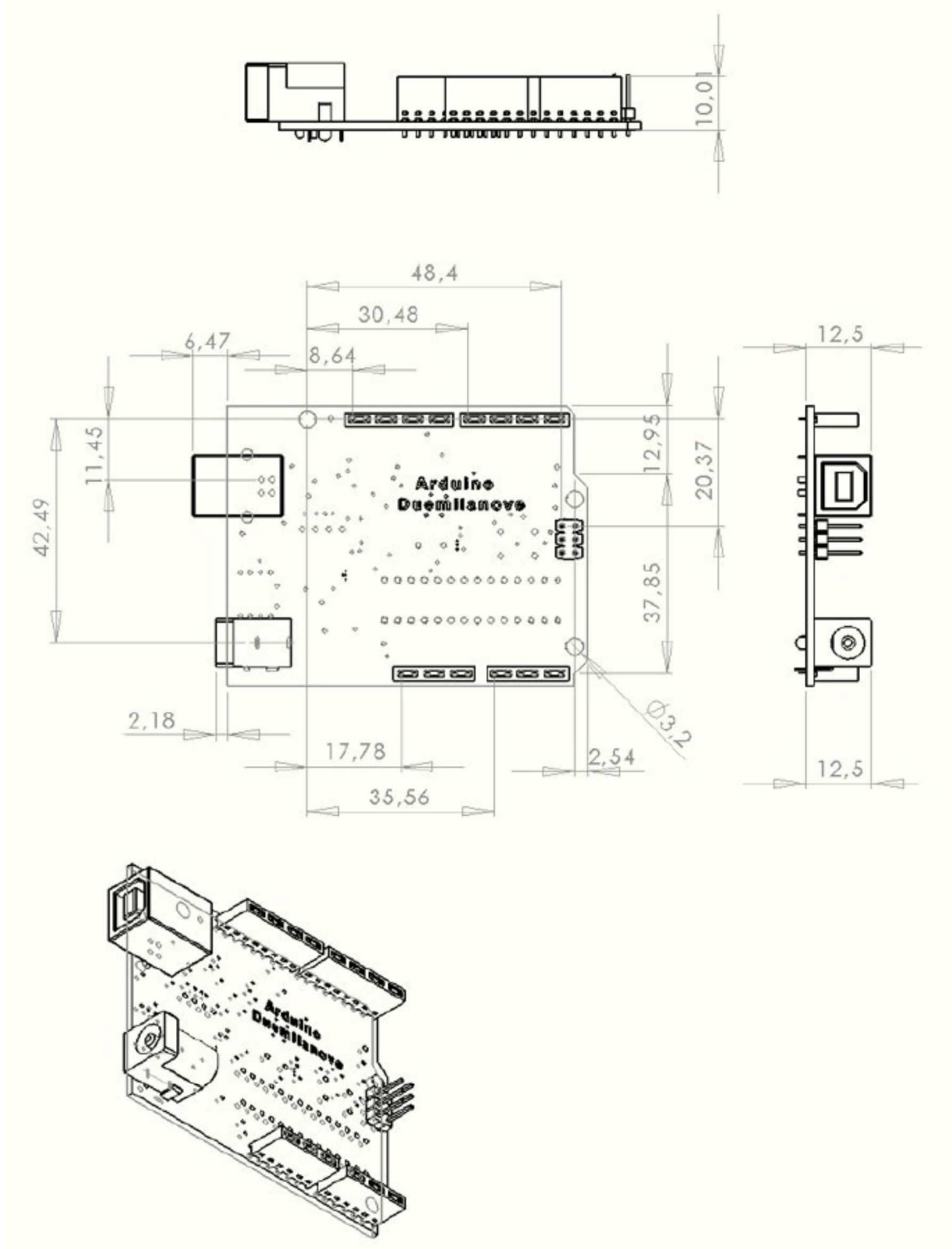
void setup() {
  // Initialize the digital pin as an output:
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
}

// the loop() method runs over and over again,
// as long as the Arduino has power

void loop()
{
  digitalWrite(ledPin, HIGH); // set the LED on
  delay(1000);                // wait for a second
  digitalWrite(ledPin, LOW);  // set the LED off
  delay(1000);                // wait for a second
}
    
```




Dimensioned Drawing



radiospares

RADIONICS



Terms & Conditions



1. Warranties

1.1 The producer warrants that its products will conform to the Specifications. This warranty lasts for one (1) years from the date of the sale. The producer shall not be liable for any defects that are caused by neglect, misuse or mistreatment by the Customer, including improper installation or testing, or for any products that have been altered or modified in any way by a Customer. Moreover, The producer shall not be liable for any defects that result from Customer's design, specifications or instructions for such products. Testing and other quality control techniques are used to the extent the producer deems necessary.

1.2 If any products fail to conform to the warranty set forth above, the producer's sole liability shall be to replace such products. The producer's liability shall be limited to products that are determined by the producer not to conform to such warranty. If the producer elects to replace such products, the producer shall have a reasonable time to replacements. Replaced products shall be warranted for a new full warranty period.

1.3 EXCEPT AS SET FORTH ABOVE, PRODUCTS ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS." THE PRODUCER DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE

1.4 Customer agrees that prior to using any systems that include the producer products, Customer will test such systems and the functionality of the products as used in such systems. The producer may provide technical, applications or design advice, quality characterization, reliability data or other services. Customer acknowledges and agrees that providing these services shall not expand or otherwise alter the producer's warranties, as set forth above, and no additional obligations or liabilities shall arise from the producer providing such services.

1.5 The Arduino™ products are not authorized for use in safety-critical applications where a failure of the product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death. Safety-Critical Applications include, without limitation, life support devices and systems, equipment or systems for the operation of nuclear facilities and weapons systems. Arduino™ products are neither designed nor intended for use in military or aerospace applications or environments and for automotive applications or environment. Customer acknowledges and agrees that any such use of Arduino™ products which is solely at the Customer's risk, and that Customer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

1.6 Customer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and safety-related requirements concerning its products and any use of Arduino™ products in Customer's applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by the producer.

2. Indemnification

The Customer acknowledges and agrees to defend, indemnify and hold harmless the producer from and against any and all third-party losses, damages, liabilities and expenses it incurs to the extent directly caused by: (i) an actual breach by a Customer of the representation and warranties made under this terms and conditions or (ii) the gross negligence or willful misconduct by the Customer.

3. Consequential Damages Waiver

In no event the producer shall be liable to the Customer or any third parties for any special, collateral, indirect, punitive, incidental, consequential or exemplary damages in connection with or arising out of the products provided hereunder, regardless of whether the producer has been advised of the possibility of such damages. This section will survive the termination of the warranty period.

4. Changes to specifications

The producer may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "undefined." The producer reserves these for future definition and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them. The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Do not finalize a design with this information.



Environmental Policies



The producer of Arduino™ has joined the Impatto Zero® policy of LifeGate.it. For each Arduino board produced is created / looked after half squared Km of Costa Rica's forest's.



radiospares

RADIONICS





LED Display
Product Data Sheet
LTC-5723HR

Spec No.: DS-30-96-124
Effective Date: 03/29/2011
Revision: A

The central graphic consists of several colorful, stylized shapes resembling the letter 'L' in various colors (orange, yellow, green, purple, red, blue) arranged in a cluster.

BNS-OD-FC001/A4

LITE-ON Technology Corp. / Optoelectronics
No.90,Chien 1 Road, Chung Ho, New Taipei City 23585, Taiwan, R.O.C.
Tel: 886-2-2222-6181 Fax: 886-2-2221-1948 / 886-2-2221-0660
<http://www.liteon.com/opto>



LITE-ON TECHNOLOGY CORPORATION

Property of Lite-On Only

LED DISPLAY

LTC-5723HR
DATA SHEET

ITEM	DESCRIPTION	ISSUER	DATE
1	New Spec.	Ruby Lee	4/03/2000

PART NO.: LTC-5723HR	PAGE: 1 of 6
----------------------	--------------

BNS-OD-C131/A4



LITE-ON TECHNOLOGY CORPORATION

Property of Lite-On Only

FEATURES

- * 0.56 inch (14.2 mm) DIGIT HEIGHT.
- * CONTINUOUS UNIFORM SEGMENTS.
- * LOW POWER REQUIREMENT.
- * EXCELLENT CHARACTERS APPEARANCE.
- * HIGH BRIGHTNESS & HIGH CONTRAST.
- * WIDE VIEWING ANGLE.
- * SOLID STATE RELIABILITY.
- * CATEGORIZED FOR LUMINOUS INTENSITY.

DESCRIPTION

The LTC-5723HR is a 0.56 inch (14.2 mm) digit height quadruple digit seven-segment display. This device utilizes high efficiency red LED chips, which are made from GaAsP on a transparent GaP substrate, and has a red face and red segments.

DEVICE

PART NO.	DESCRIPTION
HI-EFF. Red	Multiplex Common Cathode
LTC-5723HR	Rt. Hand Decimal

PART NO.: LTC-5723HR

PAGE: 2 of 6

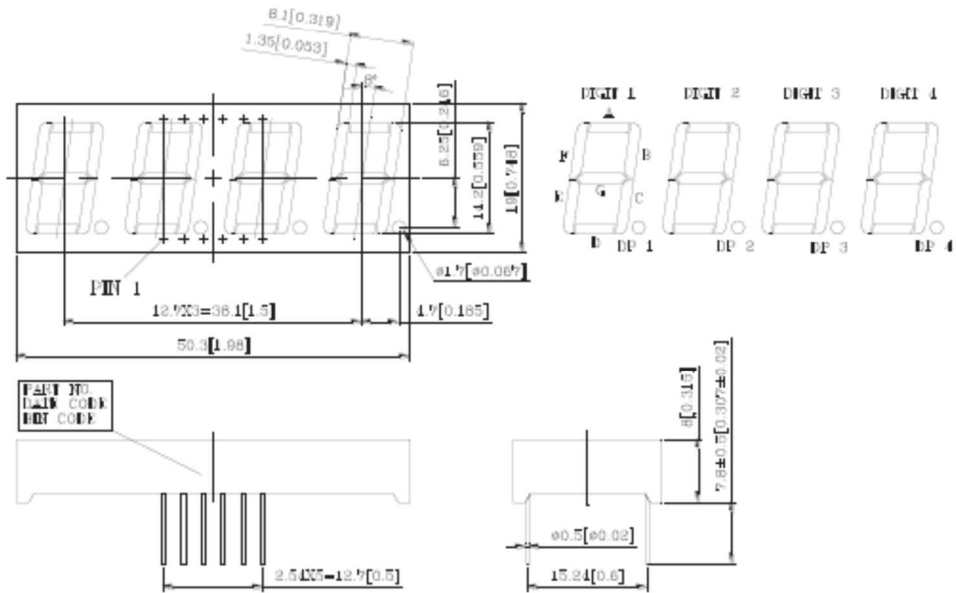
BNS-OD-C131/A4



LITE-ON TECHNOLOGY CORPORATION

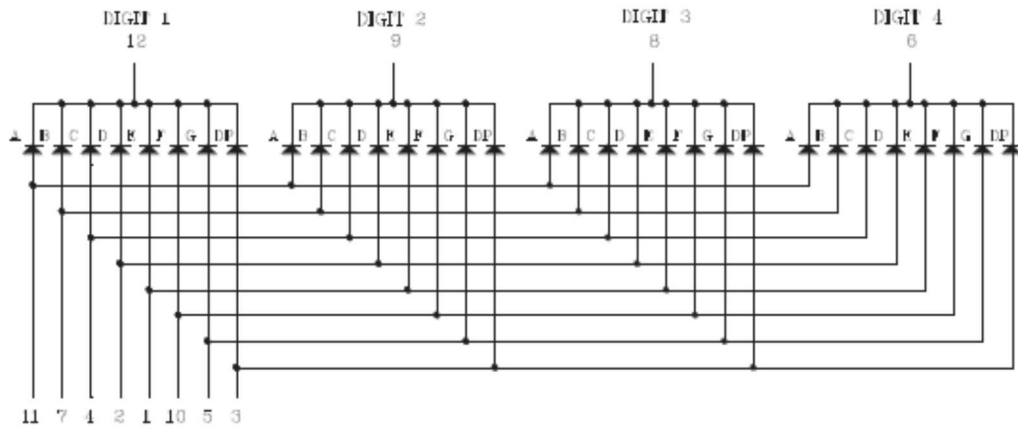
Property of Lite-On Only

PACKAGE DIMENSIONS



NOTES: All dimensions are in millimeters. Tolerances are ± 0.25 mm (0.01") unless otherwise noted.

INTERNAL CIRCUIT DIAGRAM



PART NO.: LTC-5723HR

PAGE: 3 of 6

BNS-OD-C131/A4

**LITE-ON TECHNOLOGY CORPORATION**

Property of Lite-On Only

PIN CONNECTION

No.	CONNECTION
1	ANODE E
2	ANODE D
3	ANODE D.P.
4	ANODE C
5	ANODE G
6	COMMON CATHODE (DIGIT 4)
7	ANODE B
8	COMMON CATHODE (DIGIT 3)
9	COMMON CATHODE (DIGIT 2)
10	ANODE F
11	ANODE A
12	COMMON CATHODE (DIGIT 1)

PART NO.: LTC-5723HR

PAGE: 4 of 6

BNS-OD-C131/A4



LITE-ON TECHNOLOGY CORPORATION

Property of Lite-On Only

ABSOLUTE MAXIMUM RATING AT $T_a=25^\circ\text{C}$

PARAMETER	MAXIMUM RATING	UNIT
Power Dissipation Per Segment	75	mW
Peak Forward Current Per Segment (1/10 Duty Cycle, 0.1ms Pulse Width)	100	mA
Continuous Forward Current Per Segment	25	mA
Derating Linear From 25°C Per Segment	0.33	mA/ $^\circ\text{C}$
Reverse Voltage Per Segment	5	V
Operating Temperature Range	-35°C to $+85^\circ\text{C}$	
Storage Temperature Range	-35°C to $+85^\circ\text{C}$	
Solder Temperature: max 260°C for max 3sec at 1.6mm below seating plane.		

ELECTRICAL / OPTICAL CHARACTERISTICS AT $T_a=25^\circ\text{C}$

PARAMETER	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT	TEST CONDITION
Average Luminous Intensity	I_v	870	2400		μcd	$I_f=10\text{mA}$
Peak Emission Wavelength	λ_p		635		nm	$I_f=20\text{mA}$
Spectral Line Half-Width	$\Delta\lambda$		40		nm	$I_f=20\text{mA}$
Dominant Wavelength	λ_d		623		nm	$I_f=20\text{mA}$
Forward Voltage Per Segment	V_f		2.0	2.6	V	$I_f=20\text{mA}$
Reverse Current Per Segment	I_R			100	μA	$V_R=5\text{V}$
Luminous Intensity Matching Ratio	$I_v\text{-m}$			2:1		$I_f=10\text{mA}$

Note: Luminous intensity is measured with a light sensor and filter combination that approximates the CIE (Commission Internationale De L'Eclairage) eye-response curve.

PART NO.: LTC-5723HR

PAGE: 5 of 6

BNS-OD-C131/A4

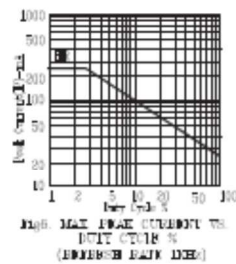
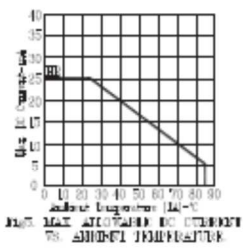
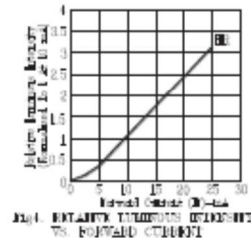
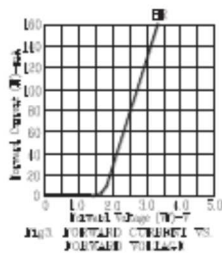
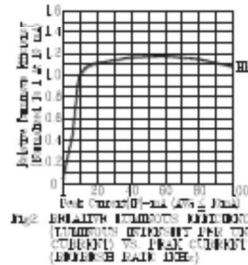
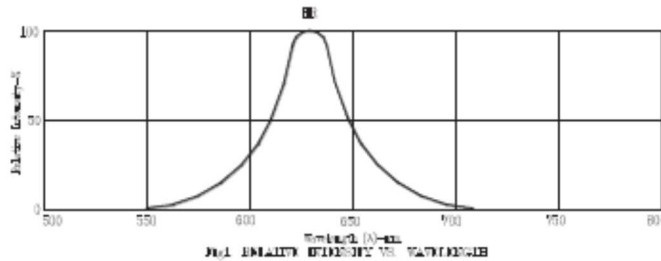


LITE-ON TECHNOLOGY CORPORATION

Property of Lite-On Only

TYPICAL ELECTRICAL / OPTICAL CHARACTERISTIC CURVES

(25°C Ambient Temperature Unless Otherwise Noted)



NOTE: 10-01-000 JED

PART NO.: LTC-5723HR

PAGE: 6 of 6

BNS-OD-C131/A4



74AHC595

8-BIT SHIFT REGISTER WITH 8-BIT OUTPUT REGISTER

Description

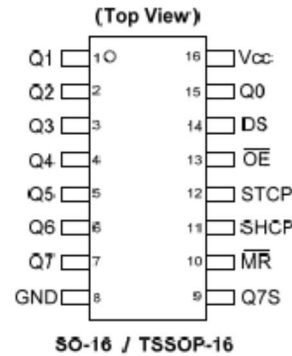
The 74AHC595 is an advanced high speed CMOS device.

An eight bit shift register accepts data from the serial input (DS) on each positive transition of the shift register clock (STCP). When asserted low the reset function (\overline{MR}) sets all shift register values to zero and is independent of all clocks.

Data from the input serial shift register is placed in the output register with a rising pulse on the storage register clock (SHCP). With the output enable (\overline{OE}) asserted low the 3-state outputs Q0-Q7 become active and present.

All registers capture data on rising edge and change output on the falling edge. If both clocks are connected together, the input shift register is always one clock cycle ahead of the output register.

Pin Assignments



Features

- Wide Supply Voltage Range from 2.0 V to 5.5V
- Sinks or sources 8mA at $V_{CC} = 4.5V$
- CMOS low power consumption
- Schmitt Trigger Action at All Inputs
- Inputs Accept up to 5.5V
- ESD Protection Tested per JESD 22
 - Exceeds 200-V Machine Model (A115-A)
 - Exceeds 2000-V Human Body Model (A114-A)
 - Exceeds 1000-V Charged Device Model (C101C)
- Latch-Up Exceeds 250mA per JESD 78, Class II
- **Totally Lead-Free & Fully RoHS Compliant (Notes 1 & 2)**
- **Halogen and Antimony Free. "Green" Device (Note 3)**

Applications

- General Purpose Logic
- Serial to Parallel Data conversion
- Capture and hold data for extended periods of time
- Allow simple serial bit streams from a microcontroller to control as many peripheral lines as needed
- Wide array of products such as:
 - Computer peripherals
 - Appliances
 - Industrial control

Notes: 1. No purposely added lead. Fully EU Directive 2002/95/EC (RoHS) & 2011/65/EU (RoHS 2) compliant.
 2. See http://www.diodes.com/quality/lead_free.html for more information about Diodes Incorporated's definitions of Halogen- and Antimony-free, "Green" and Lead-free.
 3. Halogen- and Antimony-free "Green" products are defined as those which contain <900ppm bromine, <900ppm chlorine (<1500ppm total Br + Cl) and <1000ppm antimony compounds.

[Click here for ordering information, located at the end of datasheet](#)

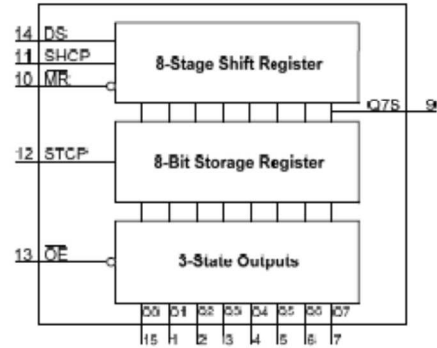


74AHC595

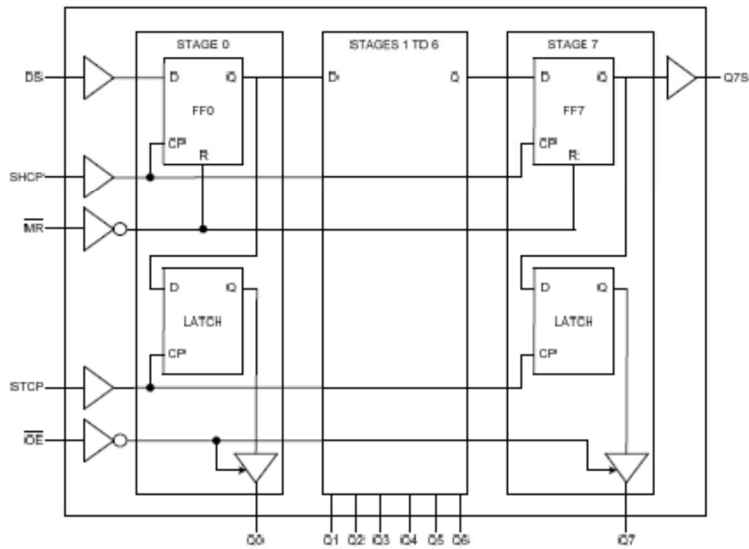
Pin Descriptions

Pin Number	Pin Name	Description
1	Q1	Parallel Data Output 1
2	Q2	Parallel Data Output 2
3	Q3	Parallel Data Output 3
4	Q4	Parallel Data Output 4
5	Q5	Parallel Data Output 5
6	Q6	Parallel Data Output 6
7	Q7	Parallel Data Output 7
8	GND	Ground
9	Q7S	Serial Data Output
10	MR	Master Reset Input
11	SHCP	Shift Register Clock Input
12	STCP	Storage Register Clock Input
13	OE	Output Enable Input
14	DS	Serial Data Input
15	Q0	Parallel Data Output 0
16	Vcc	Supply Voltage

Functional Diagram



Logic Diagram



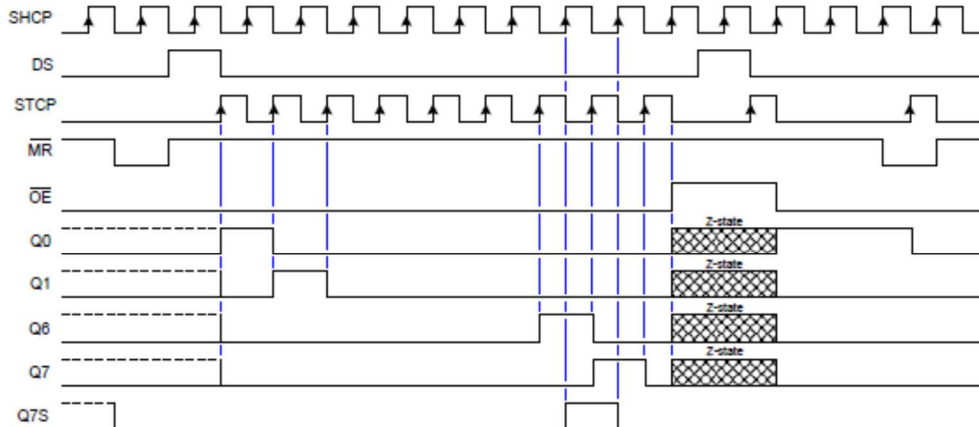


74AHC595

Functional Description and Timing Diagram

Control				Input	Output		Function
SHCP	STCP	OE	MR	DS	Q7S	Qn	
X	X	L	L	-	L	NC	Low-level asserted on MR clears shift register. Storage register is unchanged
X	↑	L	L	-	L	L	Empty shift register transferred to storage register
X	X	H	L	-	L	Z	Shift register remains clear; All Q outputs in Z state.
↑	X	L	H	-	Q6S	NC	HIGH is shifted into first stage of Shift Register Contents of each register shifted to next register The content of Q6S has been shifted to Q7S and now appears on device pin Q7S
X	↑	L	H	-	NC	QnS	Contents of shift register copied to storage register. With output now in active state the storage register contents appear on Q outputs.
↑	↑	L	H	-	Q6S	QnS	

H=HIGH voltage state
 L=LOW voltage state
 ↑=LOW to HIGH transition
 X= don't care – high or low (not floating)
 NC= No change
 Z= high-impedance state





74AHC595

Absolute Maximum Ratings (Note 4) (@T_A = +25°C, unless otherwise specified.)

Symbol	Parameter	Rating	Unit
ESD HBM	Human Body Model ESD Protection	2	KV
ESD CDM	Charged Device Model ESD Protection	1	KV
ESD MM	Machine Model ESD Protection	200	V
V _{CC}	Supply Voltage Range	-0.5 to 7.0	V
V _I	Input Voltage Range	-0.5 to 7.0	V
V _O	Voltage applied to output in high or low state	-0.3 to V _{CC} +0.5	V
I _K	Input Clamp Current V _I < -0.5V	-20	mA
I _{OK}	Output Clamp Current V _O < -0.5V	-20	mA
I _{OK}	Output Clamp Current V _O > V _{CC} + 0.5V	25	mA
I _O	Continuous output current	+/- 25	mA
I _{CC}	Continuous current through V _{CC} or GND	75	mA
I _{GND}	Continuous current through V _{CC} or GND	-75	mA
T _J	Operating Junction Temperature	-40 to 150	°C
T _{STG}	Storage Temperature	-65 to 150	°C
P _{TOT}	Total Power Dissipation	500	mW

Note: 4. Stresses beyond the absolute maximum may result in immediate failure or reduced reliability. These are stress values and device operation should be within recommend values.

Recommended Operating Conditions (Note 5) (@T_A = +25°C, unless otherwise specified.)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Max	Unit
V _{CC}	Supply Voltage	-	2.0	5.5	V
V _I	Input Voltage	-	0	5.5	V
V _O	Output Voltage	Active Mode	0	V _{CC}	V
Δt/ΔV	Input transition Rise or Fall Rate	V _{CC} = 3.0V to 3.6V V _{CC} = 4.5V to 5.5V	-	100 20	ns/V
T _A	Operating Free-Air Temperature	-	-40	+125	°C

Note: 5. Unused inputs should be held at V_{CC} or Ground.

Electrical Characteristics (@T_A = +25°C, unless otherwise specified.)

Symbol	Parameter	Test Conditions	V _{CC}	T _A = +25°C			T _A = -40°C to +85°C		T _A = -40°C to +125°C		Unit
				Min	Typ	Max	Min	Max	Min	Max	
V _{IH}	High-level Input Voltage	-	2.0V	1.5	-	-	1.5	-	1.5	-	V
		-	3.0V	2.1	-	-	2.1	-	2.1	-	
		-	5.5V	3.85	-	-	3.85	-	3.85	-	
V _{IL}	Low-level input voltage	-	2.0V	-	-	0.5	-	0.5	-	0.5	V
		-	3.0V	-	-	0.9	-	0.9	-	0.9	
		-	5.5V	-	-	1.65	-	1.65	-	1.65	
V _{OCH}	High Level Output Voltage	I _{OH} = -50μA	2.0V	1.9	2.0	-	1.9	-	1.9	-	V
		I _{OH} = -50μA	3.0V	2.9	3.0	-	2.9	-	2.9	-	
		I _{OH} = -50μA	4.5V	4.4	4.5	-	4.4	-	4.4	-	
		I _{OH} = -4mA	3.0V	2.58	-	-	2.48	-	2.40	-	
		I _{OH} = -8mA	4.5V	3.94	-	-	3.80	-	3.70	-	
V _{OL}	Low-level Output Voltage	I _{OL} = 50μA	2.0V	-	0	0.1	-	0.1	-	0.1	V
		I _{OL} = 50μA	3.0V	-	0	0.1	-	0.1	-	0.1	
		I _{OL} = 50μA	4.5V	-	0	0.1	-	0.1	-	0.1	
		I _{OL} = 4mA	3.0V	-	-	0.36	-	0.44	-	0.55	
		I _{OL} = 8mA	4.5V	-	-	0.36	-	0.44	-	0.55	
I _I	Input Current	V _I = GND to 5.5V	5.5V	-	0.1	±0.1	-	±1	-	±2	μA
I _{oz}	OFF-state output current	V _I = V _{IH} or V _{IL} ; V _O = V _{CC} or GND	5.5V	-	-	±0.25	-	±2.5	-	±10	μA
I _{CC}	Supply Current	V _I = GND or V _{CC} I _O = 0	5.5V	-	-	4.0	-	40	-	80	μA
C _I	Input Capacitance	V _I = V _{CC} or GND	5.5V	-	4	10	-	10	-	10	pF



74AHC595

Switching Characteristics

Symbol / Parameter	Pins	Test Conditions	V _{CC}	T _A = +25°C			-40°C to +85°C		-40°C to +125°C		Unit	
				Min	Typ	Max	Min	Max	Min	Max		
f _{MAX} Maximum Frequency	SHCP or STCP	Figure 2	3.0V to 3.6V	80	125	-	60	-	40	-	MHz	
			4.5V to 5.5V	130	70	-	110	-	90	-		
t _W Pulse Width	SHCP HIGH or LOW	Figure 2	3.0V to 3.6V	5.0	-	-	5.0	-	5.0	-	ns	
			4.5V to 5.5V	5.0	-	-	5.0	-	5.0	-		
	STCP HIGH or LOW	Figure 2	3.0V to 3.6V	5.0	-	-	5.0	-	5.0	-		
			4.5V to 5.5V	5.0	-	-	5.0	-	5.0	-		
	MR LOW	Figure 2	3.0V to 3.6V	5.0	-	-	5.0	-	5.0	-		
			4.5V to 5.5V	5.0	-	-	5.0	-	5.0	-		
t _{SU} Set-up Time	DS to SHCP	Figure 2	3.0V to 3.6V	3.5	-	-	3.5	-	3.5	-	ns	
			4.5V to 5.5V	3.0	-	-	3.0	-	3.0	-		
	SHCP to STCP	Figure 2	3.0V to 3.6V	8.5	-	-	8.5	-	8.5	-	ns	
			4.5V to 5.5V	5.0	-	-	5.0	-	5.0	-		
t _H Hold Time	DS to SHCP	Figure 2	3.0V to 3.6V	1.5	-	-	1.5	-	1.5	-	ns	
			4.5V to 5.5V	2.0	-	-	2.0	-	2.0	-		
t _{REC} Recovery Time	MR to SHCP	Figure 2	3.0V to 3.6V	3.0	-	-	3.0	-	3.0	-	ns	
			4.5V to 5.5V	2.5	-	-	2.5	-	2.5	-		
t _{PO} Propagation Delay	SHCP to Q7S	Figure 2	3.0V to 3.6V	-	5.7	13.0	1.0	15.0	1.0	16.5	ns	
			C _L = 15pF	4.5V to 5.5V	-	4.0	8.2	1.0	9.4	1.0		10.5
		C _L = 50pF	3.0V to 3.6V	-	7.7	16.5	1.0	18.5	1.0	20.1		
			4.5V to 5.5V	-	5.4	10.0	1.0	11.4	1.0	12.5		
	STCP to Qn	Figure 2	C _L = 15pF	3.0V to 3.6V	-	5.9	11.9	1.0	13.5	1.0	15.0	ns
				4.5V to 5.5V	-	4.2	7.4	1.0	8.5	1.0	10.5	
		C _L = 50pF	3.0V to 3.6V	-	7.7	15.4	1.0	17.0	1.0	18.5		
			4.5V to 5.5V	-	5.5	9.0	1.0	10.5	1.0	11.5		
	MR to Q7S	Figure 2	C _L = 15pF	3.0V to 3.6V	-	5.9	12.8	1.0	13.7	1.0	15.0	ns
				4.5V to 5.5V	-	4.4	8.0	1.0	9.1	1.0	10.5	
		C _L = 50pF	3.0V to 3.6V	-	7.4	16.3	1.0	17.2	1.0	18.7		
			4.5V to 5.5V	-	5.6	10.0	1.0	11.1	1.0	12.0		
t _{EN} Enable Time	OE to Qn	Figure 2	3.0V to 3.6V	-	5.6	11.5	1.0	13.5	1.0	15.0	ns	
			C _L = 15pF	4.5V to 5.5V	-	4.0	8.6	1.0	10.0	1.0		10.5
		C _L = 50pF	3.0V to 3.6V	-	7.4	15.0	1.0	17.0	1.0	18.5		
			4.5V to 5.5V	-	5.3	10.6	1.0	12.0	1.0	13.0		
t _{DIS} Disable Time	OE to Qn	Figure 2	3.0V to 3.6V	-	5.4	11.0	1.0	13.0	1.0	14.5	ns	
			C _L = 15pF	4.5V to 5.5V	-	3.8	8.0	1.0	9.5	1.0		10.5
		C _L = 50pF	3.0V to 3.6V	-	8.7	15.7	1.0	16.2	1.0	17.5		
			4.5V to 5.5V	-	5.8	10.3	1.0	11.0	1.0	12.0		

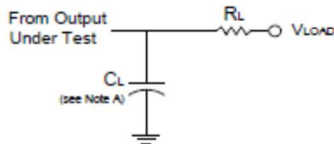
Operating Characteristics (@T_A = +25°C, unless otherwise specified.)

Parameter	Test Conditions	V _{CC} = 5V	Unit
		Typ	
C _{pd}	Power dissipation capacitance f = 1 MHz all outputs switching-no load	42	pF



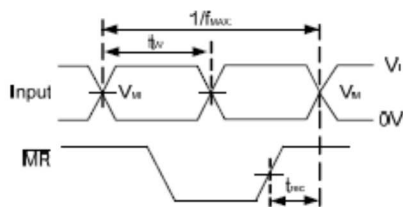
74AHC595

Parameter Measurement Information

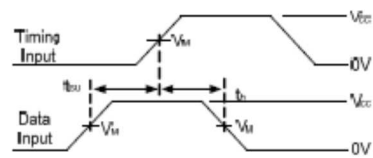


TEST	Vload
t_{PLH}/t_{PHL}	Open
t_{PLZ}/t_{PZL}	V_{CC}
t_{PHZ}/t_{PZH}	GND

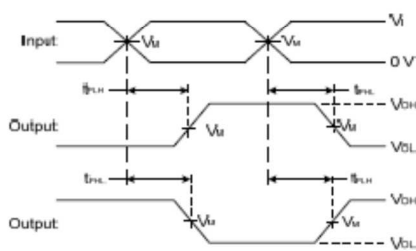
V_{CC}	Inputs		V_M	C_L
	V_I	t_r/t_f		
3.3V - 3.6V	V_{CC}	3ns	$V_{CC}/2$	15pF, 50pF
4.5V to 5.5V	V_{CC}	3ns	$V_{CC}/2$	15pF, 50pF



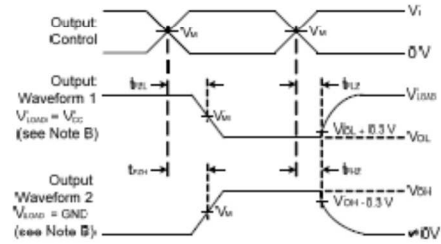
Voltage Waveform Pulse Duration and Recovery Time



Voltage Waveform Set-up and Hold Times



Voltage Waveform Propagation Delay Times Inverting and Non Inverting Outputs



Voltage Waveform Enable and Disable Times

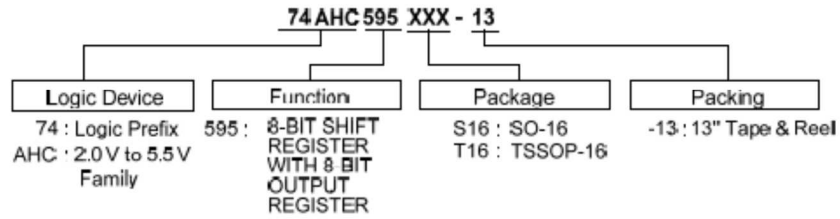
- Notes:
- A. Includes test lead and test apparatus capacitance.
 - B. Output Waveform 1 depends on the internal Q_N node being low and behaves in this manner based on OE pin. Output Waveform 2 depends on the internal Q_N node being high and behaves in this manner based on OE pin.
 - C. All pulses are supplied at pulse repetition rate ≤ 10 MHz
 - D. Inputs are measured separately one transition per measurement
 - E. t_{PLH} and t_{PHL} are the same as t_{PD} .

Figure 2. Load Circuit and Voltage Waveforms



74AHC595

Ordering Information

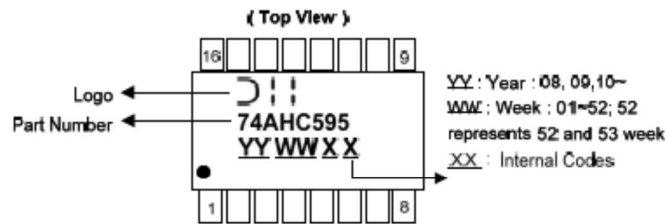


Part Number	Package Code	Packaging	7" Tape and Reel (Note 6)	
			Quantity	Part Number Suffix
74AHC595S16-13	S16	SO-16	2500/Tape & Reel	-13
74AHC595T16-13	T16	TSSOP-16	2500/Tape & Reel	-13

Note: 6. The taping orientation is located on our website at <http://www.diodes.com/datasheets/ap02007.pdf>

Marking Information

(1) SO-16, TSSOP16



Part Number	Package
74AHC595S16	SO-16
74AHC595T16	TSSOP-16

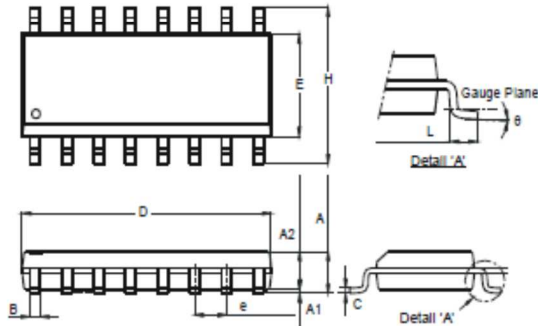


74AHC595

Package Outline Dimensions (All dimensions in mm.)

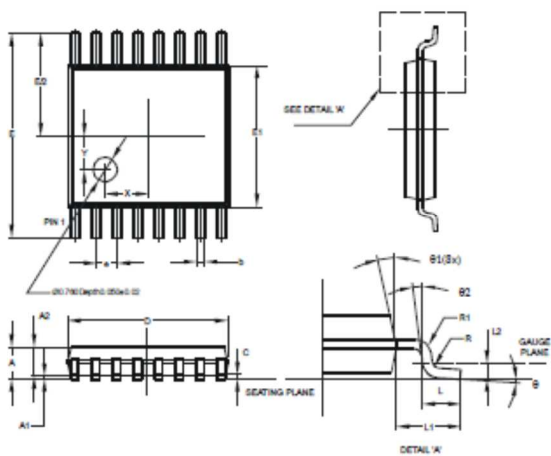
Please see AP02002 at <http://www.diodes.com/datasheets/ap02002.pdf> for latest version.

Package Type: SO-16



SO-16		
Dim	Min	Max
A	1.40	1.75
A1	0.10	0.25
A2	1.30	1.50
B	0.33	0.51
C	0.19	0.25
D	9.80	10.00
E	3.80	4.00
e	1.27 Typ	
H	5.80	6.20
L	0.38	1.27
e	0°	8°
All Dimensions in mm		

Package Type: TSSOP-16



TSSOP-16			
Dim	Min	Max	Typ
A	-	1.08	-
A1	0.05	0.15	-
A2	0.80	0.93	-
b	0.19	0.30	-
c	0.09	0.20	-
D	4.90	5.10	-
E	6.40 BSC		
E1	4.30	4.50	-
e	0.65 BSC		
L	0.45	0.75	-
L1	1.00 REF		
L2	0.25 BSC		
R	0.09	-	-
R1	0.09	-	-
X	-	-	1.350
Y	-	-	1.050
ø	0°	8°	-
ø1	5°	15°	-
ø2	0°	-	-
All Dimensions in mm			

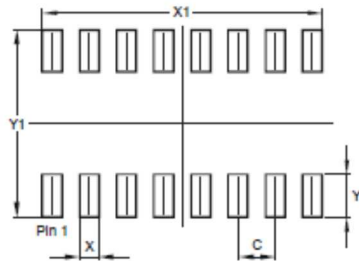


74AHC595

Suggested Pad Layout

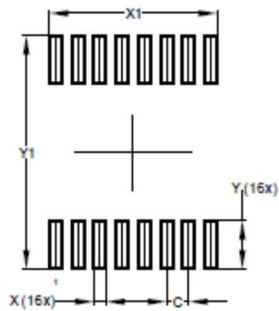
Please see AP02001 at <http://www.diodes.com/datasheets/ap02001.pdf> for the latest version.

Package Type: SO-16



Dimensions	Value (in mm)
C	1.270
X	0.670
X1	9.560
Y	1.450
Y1	6.400

Package Type: TSSOP-16



Dimensions	Value (in mm)
C	0.650
X	0.350
X1	4.900
Y	1.400
Y1	6.800



74AHC595

IMPORTANT NOTICE

DIODES INCORPORATED MAKES NO WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, WITH REGARDS TO THIS DOCUMENT, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE (AND THEIR EQUIVALENTS UNDER THE LAWS OF ANY JURISDICTION).

Diodes Incorporated and its subsidiaries reserve the right to make modifications, enhancements, improvements, corrections or other changes without further notice to this document and any product described herein. Diodes Incorporated does not assume any liability arising out of the application or use of this document or any product described herein; neither does Diodes Incorporated convey any license under its patent or trademark rights, nor the rights of others. Any Customer or user of this document or products described herein in such applications shall assume all risks of such use and will agree to hold Diodes Incorporated and all the companies whose products are represented on Diodes Incorporated website, harmless against all damages.

Diodes Incorporated does not warrant or accept any liability whatsoever in respect of any products purchased through unauthorized sales channel.

Should Customers purchase or use Diodes Incorporated products for any unintended or unauthorized application, Customers shall indemnify and hold Diodes Incorporated and its representatives harmless against all claims, damages, expenses, and attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized application.

Products described herein may be covered by one or more United States, international or foreign patents pending. Product names and markings noted herein may also be covered by one or more United States, international or foreign trademarks.

This document is written in English but may be translated into multiple languages for reference. Only the English version of this document is the final and determinative format released by Diodes Incorporated.

LIFE SUPPORT

Diodes Incorporated products are specifically not authorized for use as critical components in life support devices or systems without the express written approval of the Chief Executive Officer of Diodes Incorporated. As used herein:

A. Life support devices or systems are devices or systems which:

1. are intended to implant into the body, or
2. support or sustain life and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling can be reasonably expected to result in significant injury to the user.

B. A critical component is any component in a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or to affect its safety or effectiveness.

Customers represent that they have all necessary expertise in the safety and regulatory ramifications of their life support devices or systems, and acknowledge and agree that they are solely responsible for all legal, regulatory and safety-related requirements concerning their products and any use of Diodes Incorporated products in such safety-critical, life support devices or systems, notwithstanding any devices- or systems-related information or support that may be provided by Diodes Incorporated. Further, Customers must fully indemnify Diodes Incorporated and its representatives against any damages arising out of the use of Diodes Incorporated products in such safety-critical, life support devices or systems.

Copyright © 2013, Diodes Incorporated

www.diodes.com

PROGRAMAS

A continuación se muestra el programa de Arduino. Este programa puede ser copiado directamente al entorno IDE de Arduino para compilarlo y cargarlo en Arduino.

```
#include <PWM.h>

int pwm_out = 9;          /*Pin de salida del PWM*/
int sens_entrada = A0;    /*Pin de entrada para el sensor de tensión de entrada*/
int sens_salida = A1;     /*Pin de entrada para el sensor de tensión de salida*/
unsigned int entrada = 0; /*Tensión de entrada*/
unsigned int salida = 0;  /*Tensión de salida*/
int32_t frecuencia = 500000; /*frecuencia (en Hz)*/
int latch=6;             /*74HC595 pin 12, STCP; pin 6 Arduino*/
int clockpin=7;          /*74HC595 pin 11, SHCP; pin 7 Arduino*/
int data=5;              /*74HC595 pin 14, DS; pin 5 Arduino*/
int S1 = 2;
int S2 = 3;
int S3 = 4;
unsigned int referencia = 0;
unsigned long tiempo = 0;
unsigned long anterior = 0;
unsigned long anterior2 = 0;
unsigned long anterior3 = 0;
int millar = 16;
int centen = 16;
int decen = 16;
int unidad = 16;
int i = 0;
int mostrar = 0;
bool lim_ent = false;
bool lim_sal = false;
bool inicio = true;
bool flag = false;
bool flag2 = false;
bool flag3 = false;
bool flag4 = false;
int seleccion = 5;
unsigned int D = 0;
bool limit = false;

unsigned char table[]={0b00001110, 0b00001101, 0b00001011, 0b00000111, 0b00011111,
0b00101111}; /*Tabla para el direccionamiento del display y los leds*/

unsigned char table2[]={0x3f, 0x06, 0x5b, 0x4f, 0x66, 0x6d, 0x7d, 0x07, 0x7f, 0x6f, 0x77,
0x7c, 0x39, 0x5e, 0x79, 0x71, 0x00, 0xbf, 0x86, 0xdb, 0xcf, 0xe6, 0xed, 0xfd, 0x87, 0xff,
0xef, 0x1c, 0xdc, 0xb0, 0x50, 0x54, 0xcb}; /*Números en hexadecimal sin el punto y el
display vacío (posición desde la 0 hasta la 16), seguidamente están los números con punto
(posición desde la 17 hasta la 26), y por último están las letras u, o, i, r, n, >=
respectivamente (posición desde la 27 hasta la 32)*/

void setup() {
  InitTimersSafe(); /*Inicializa todos los timer excepto el timer 0, para poder obtener todas
las funciones de este timer*/
  SetPinFrequencySafe(pwm_out, frecuencia); /*Establece la frecuencia del pin.*/
}
```

```
pwmWrite(pwm_out, 0); /*Asigna el valor 0 a la salida del pwm*/
pinMode(latch,OUTPUT);
pinMode(clockpin,OUTPUT);
pinMode(data,OUTPUT);
pinMode(S2, INPUT);
pinMode(S1, INPUT);
pinMode(S3, INPUT);
}
```

```
void Display(unsigned char num1, unsigned char num2){
digitalWrite(latch,LOW);
shiftOut(data,clockpin,MSBFIRST,table[num1]);
shiftOut(data,clockpin,MSBFIRST,(table2[num2]));
digitalWrite(latch,HIGH);
}
```

```
void Eleccion(unsigned int num3){
switch(num3){
case 0: /*Muestra la tension de entrada*/
mostrar = entrada / 5.115;
millar = 29; /*i*/
centen = (mostrar / 100) % 10;
decen = ((mostrar / 10) % 10) + 17;
unidad = (mostrar) % 10;
break;

case 1: /*Muestra la tension de salida*/
mostrar = salida / 3.4133;
millar = 28; /*o*/
centen = (mostrar / 100) % 10;
decen = ((mostrar / 10) % 10) + 17;
unidad = (mostrar) % 10;
break;

case 2: /*Muestra el ciclo de trabajo*/
mostrar = D / 10;
millar = 12; /*C*/
centen = ((mostrar / 100) % 10) + 17;
decen = ((mostrar / 10) % 10);
unidad = (mostrar) % 10;
break;

case 3: /*Muestra la tensión deseada o de referencia*/
mostrar = referencia / 3.4133;
millar = 22; /*S.*/
centen = (mostrar / 100) % 10;
decen = ((mostrar / 10) % 10) + 17;
unidad = (mostrar) % 10;
break;

case 4: /*Display apagado*/
millar = 16;
centen = 16;
decen = 16;
unidad = 16;
}
```

```

    break;

    case 5: /*Muestra r >= 56 ohm */
    millar = 30;
    centen = 32;
    decen = 5;
    unidad = 6;
    break;

    case 6: /*Muestra "si" en el display*/
    millar = 16;
    centen = 5;
    decen = 29;
    unidad = 16;
    break;

    case 7: /*Muestra "no" en el display*/
    millar = 16;
    centen = 31;
    decen = 28;
    unidad = 16;
    }
}

void loop() {
    tiempo = micros();
    entrada = analogRead(sens_entrada); //Analog read tiene 10 bits
    salida = analogRead(sens_salida); //Analog read tiene 10 bits

    if((tiempo < anterior) || (tiempo < anterior2) || (tiempo < anterior3)){
        anterior = tiempo;
        anterior2 = tiempo;
        anterior3 = tiempo;
    } /*La función micros desborda en 70 minutos así que usamos este if para volver a cero
    todos los registros de tiempo*/

    if(inicio){
        Eleccion(seleccion);
        if((digitalRead(S2) == HIGH) && (digitalRead(S1) == LOW) && (digitalRead(S3) ==
LOW)){
            limit = false;
            flag4 = true;
            seleccion = 6;
        }
        if((digitalRead(S1) == HIGH) && (digitalRead(S2) == LOW) && (digitalRead(S3) ==
LOW)){
            limit = true;
            flag4 = true;
            seleccion = 7;
        }
        if((digitalRead(S3) == HIGH) && (digitalRead(S2) == LOW) && (digitalRead(S1) == LOW)
&& flag4){
            inicio = false;
        }
    }
}

```

```

else{
  if((digitalRead(S3) == HIGH) && (digitalRead(S2) == LOW) && (digitalRead(S1) == LOW)
  && !flag3){
    flag3 = true;
    seleccion = seleccion + 1;
    if(seleccion >= 5){
      seleccion = 0;
    }
  }

  if((digitalRead(S3) == LOW) && flag3){
    flag3 = false;
  }

  if((tiempo - anterior3 >= 15000) && (digitalRead(S2) == HIGH) && (digitalRead(S1) ==
  LOW) && (digitalRead(S3) == LOW) && !flag && (referencia < 1023)){
    anterior3 = tiempo;
    referencia = referencia + 3; /*Se suma +3 para que se muestre la variación de 0.1 en
  0.1*/
    flag = true;
    if(!flag2){
      anterior2 = tiempo;
      flag2 = true;
    }
    if((limit) && (referencia >= 170)){
      referencia = 171;
    }
  }
  if((tiempo - anterior3 >= 15000) && (digitalRead(S1) == HIGH) && (digitalRead(S2) ==
  LOW) && (digitalRead(S3) == LOW) && !flag && (referencia > 0) ){
    anterior3 = tiempo;
    referencia = referencia - 3;
    flag = true;
    if(!flag2){
      anterior2 = tiempo;
      flag2 = true;
    }
  }
  if((digitalRead(S2) == LOW) && (digitalRead(S1) == LOW) && flag2){
    flag = false;
    flag2 = false;
  }

  if((tiempo - anterior2 >= 1000000) && flag){
    flag = false;
  }

  if((entrada > 517) && limit){
    lim_ent = true;
  }
  else if((entrada < 512) && limit){
    lim_ent = false;
  }
}

```


PLANOS

El sistema es un regulador SEPIC controlado por la plataforma Arduino y totalmente autónomo. Dispone de un display para visualizar las tensiones tanto de entrada como de salida, y unos pulsadores para poder elegir la tensión de salida deseada.

A continuación se muestra el esquema completo del sistema, el diagrama de ensamblaje de la placa de circuito impreso, los diagramas de las pistas del circuito impreso (tanto la cara superior como la cara inferior), el diagrama de los taladros de la placa de circuito impreso, e información del diámetro de los taladros.

Los diagramas se muestran a tamaño real y están listos para su impresión sobre el cliché, y poder crear las pistas sobre la placa de circuito impreso virgen.

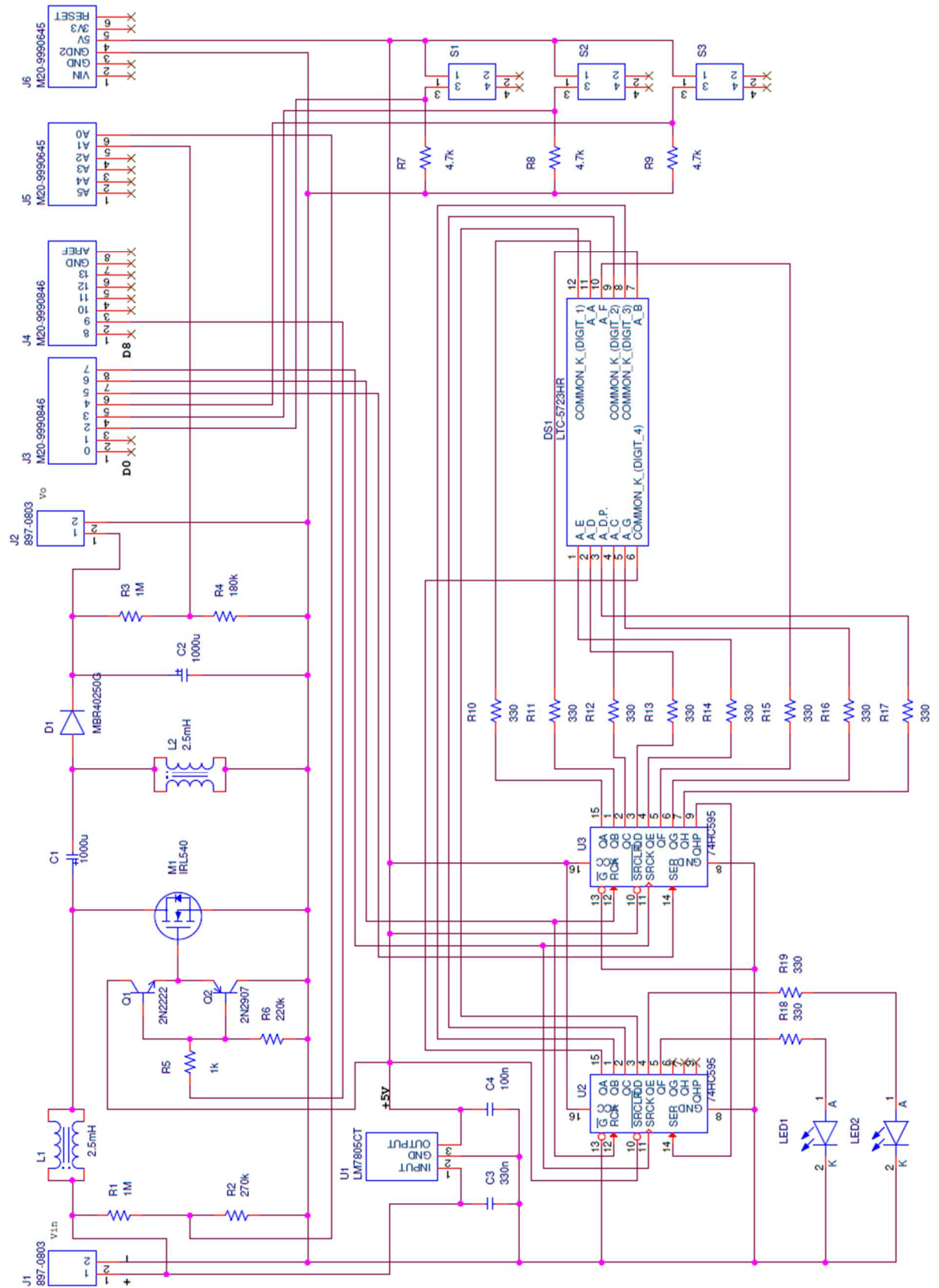


Figura 45. Esquema completo del sistema

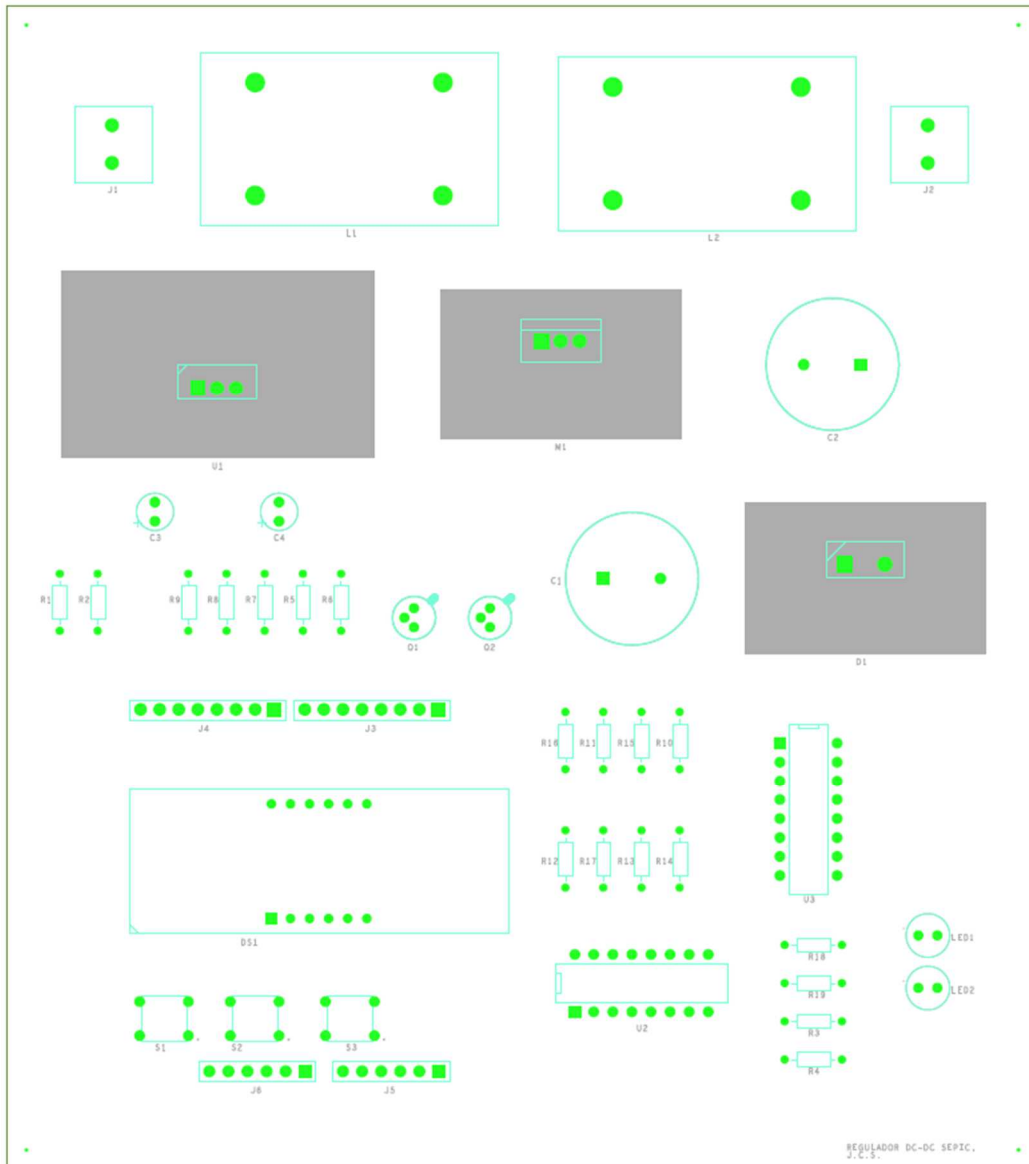


Figura 46. Diagrama de ensamblaje del circuito impreso

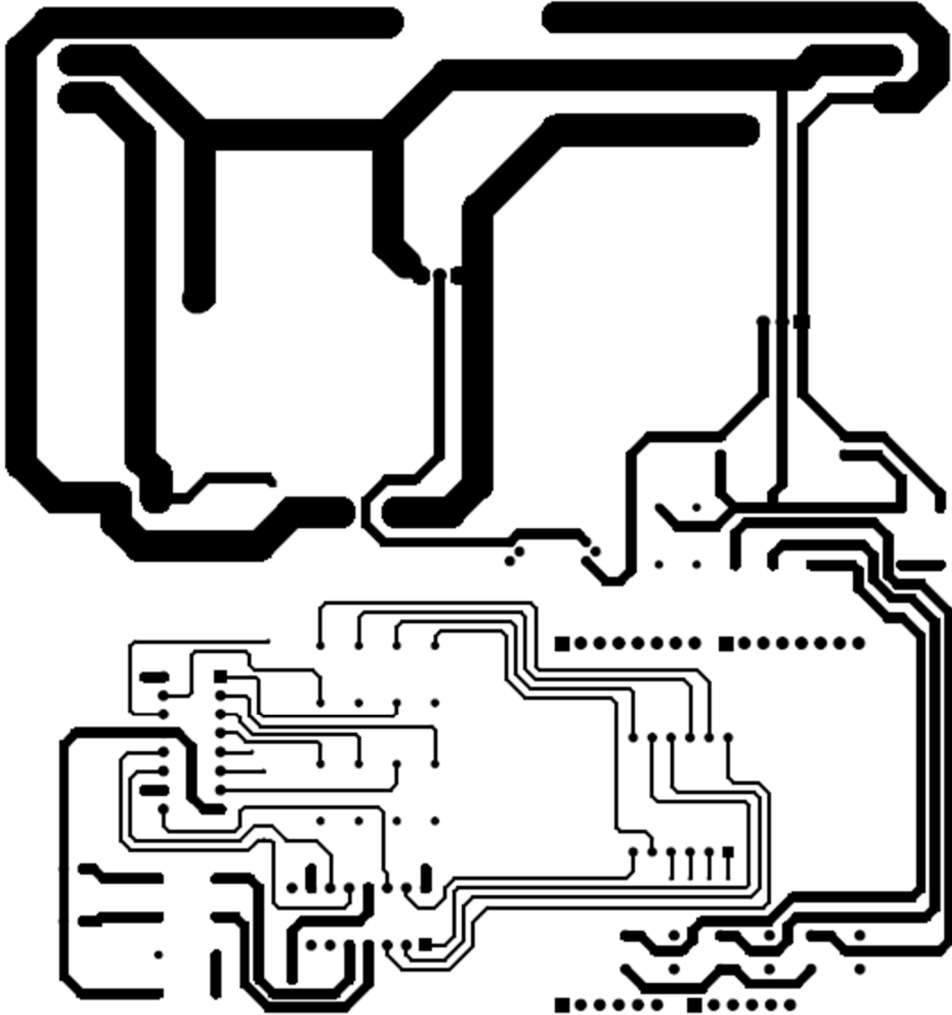


Figura 47. Pistas de la cara inferior

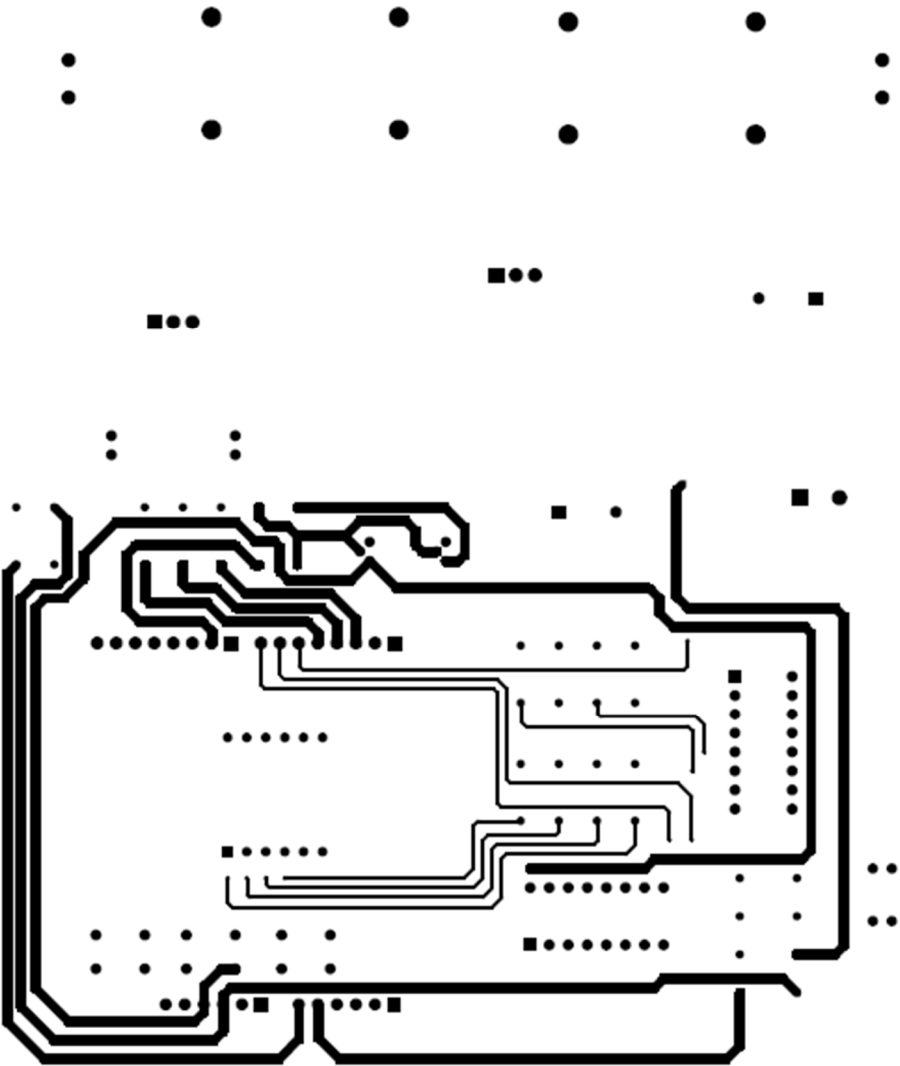


Figura 48. Pistas de la cara superior.

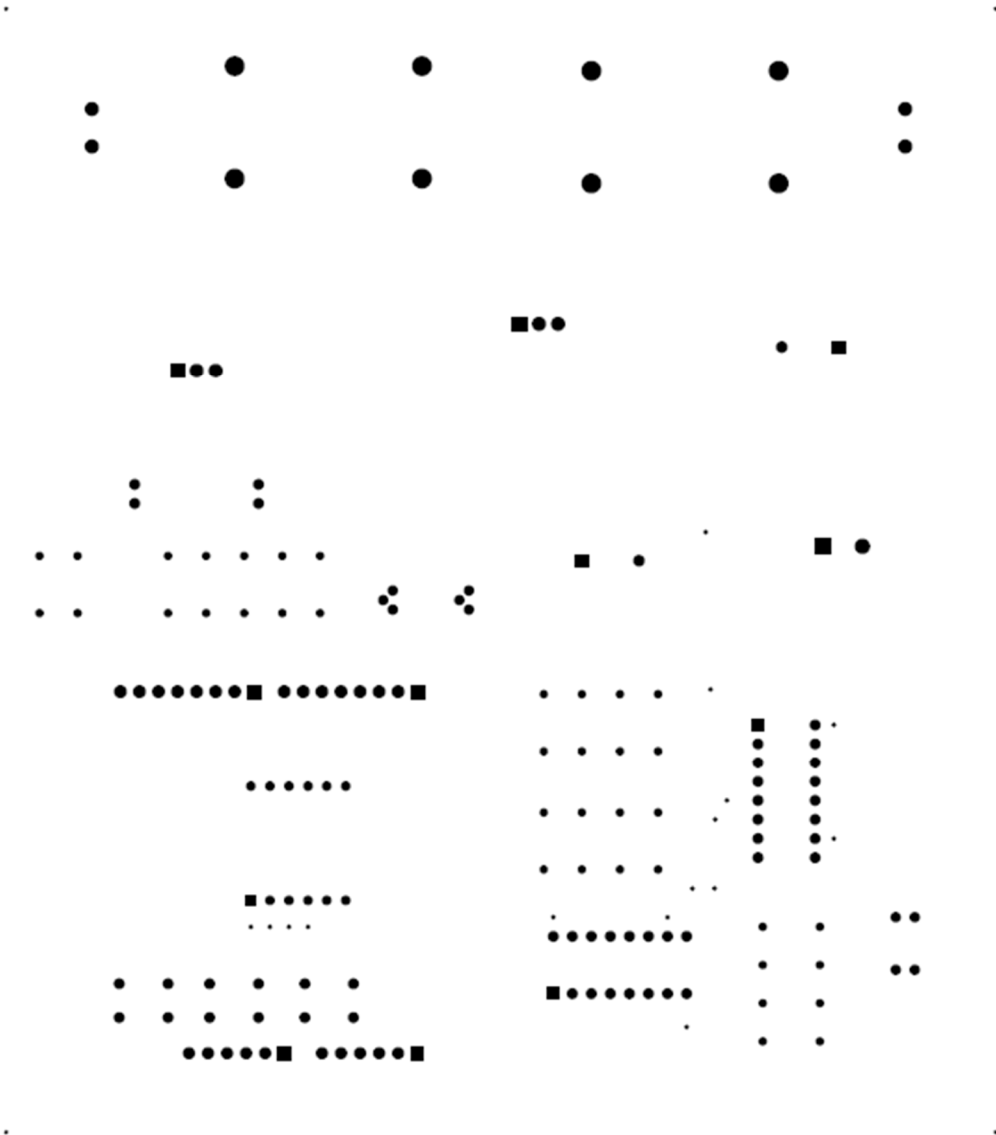


Figura 49. Taladros de la placa de circuito impreso vistos desde la capa superior

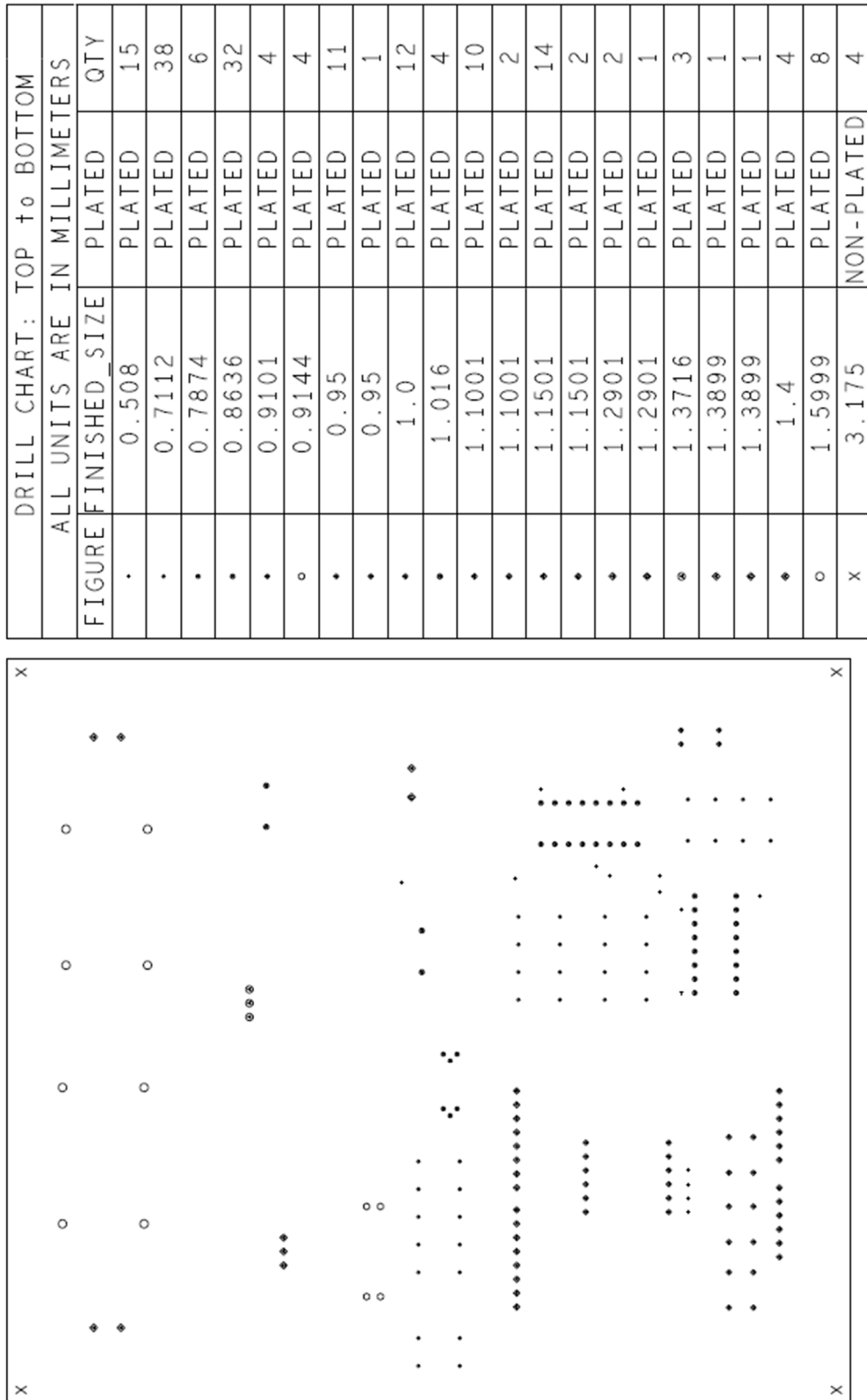


Figura 50. Información de los taladros

PRESUPUESTO

1. Disposiciones legales

En este capítulo se describen los costes económicos de todo el trabajo realizado y todos los costes de los materiales utilizados.

Los precios de los componentes utilizados están comprobados a fecha de 20 de agosto de 2020, no haciéndose responsable el autor de la variación de precios a distinta fecha.

Los distribuidores de los cuales se han obtenido los componentes son:

- Arduino [1].
- Mouser.
- RS Components.

2. Presupuesto de materiales

A continuación se detallan los precios de cada componente utilizado para el diseño del regulador, además de la placa de circuito impreso y la placa de Arduino UNO.

Código	Componente	Nº ref. fabricante	Cantidad	Precio	Total
1.01	Arduino UNO REV3	8058333490090	1	24.20 €	24.20 €
1.02	BJT 2N2222A	2N2222A	1	5.09 €	5.09 €
1.03	BJT 2N2907A	2N2907A	1	4.58 €	4.58 €
1.04	Bobina acoplada de 2.5mH	744830025103	2	12.22 €	24.44 €
1.05	Botón táctil de 5mm	1825910-6	3	0.10 €	0.29 €
1.06	Cabezal de 6 pines	M20-9990645	2	0.27 €	0.55 €
1.07	Cabezal de 8 pines	M20-9990846	2	0.31 €	0.62 €
1.08	Condensador 330nF	199D334X9035A1V1E3	1	0.99 €	0.99 €
1.09	Condensador electrolítico 1000µF	UVY2A102MHD	2	2.67 €	5.34 €
1.10	Condensador 100nF	199D104X9035A1V1E3	1	1.08 €	1.08 €

Código	Componente	Nº ref. fabricante	Cantidad	Precio	Total
1.11	Diodo led rojo de 5mm	L-53HD	2	0.56 €	1.12 €
1.12	Diodo MBR40250G	MBR40250G	1	1.71 €	1.71 €
1.13	Disipador 3K/W	FA-T220-64E	1	2.36 €	2.36 €
1.14	Disipador 8K/W	SK76-37,5-TO220	2	2.32 €	4.64 €
1.15	Display de 4 dígitos y 7 segmentos	LTC-5723HR	1	2.44 €	2.44 €
1.16	Mosfet IRL540	IRL540NPBF	1	1.48 €	1.48 €
1.17	Placa de cobre de doble cara	AEB20	1	10.54 €	10.54 €
1.18	Registro de desplazamiento SN74HC595N	SN74HC595N	2	0.48 €	0.96 €
1.19	Regulador LM7805CT	LM7805CT/NOPB	1	1.30 €	1.30 €
1.20	Resistencia 180kΩ ±5%, 0.25W	707-7846	1	0.03 €	0.03 €
1.21	Resistencia 1kΩ ±5%, 0.25W	707-7666	1	0.15 €	0.15 €
1.22	Resistencia 1MΩ ±5%, 0.25W	707-7903	2	0.16 €	0.32 €
1.23	Resistencia 220kΩ ±5%, 0.25W	VR25000002203JA100	1	0.29 €	0.29 €
1.24	Resistencia 270kΩ ±5%, 0.25W	CCF07270KJKE36	1	0.09 €	0.09 €
1.25	Resistencia 330Ω ±5%, 0.25W	707-7622	10	0.16 €	1.55 €
1.26	Resistencia 4.7kΩ ±5%, 0.25W	707-7726	3	0.15 €	0.45 €
1.27	Terminal de 2 orificios	897-0803	2	0.36 €	0.71 €
				TOTAL	97.33 €

3. Presupuesto de personal

A continuación se detallan los precios de las horas del personal junto con las horas invertidas en este proyecto.

Código	Resumen	Cantidad	Precio por hora	Total
2.01	Diseño de hardware	15	20.00 €	300.00 €
2.02	Diseño de software	8	20.00 €	160.00 €
2.03	Montaje	4	15.00 €	60.00 €
2.04	Pruebas y simulaciones	60	20.00 €	1,200.00 €
2.05	Elaboración de la documentación	80	15.00 €	1,200.00 €
			TOTAL	2,920.00 €

4. Resumen del presupuesto

Presupuesto de componentes	97.33 €
Presupuesto de personal	2,920.00 €

Presupuesto de ejecución material	3,017.33 €
Gastos generales (15%)	452.60 €
Beneficio industrial (6%)	181.04 €

Total parcial	3,650.97 €
IVA (21%)	766.70 €

Presupuesto de ejecución por contrata	4,417.67 €
--	-------------------

Asciende el presupuesto a la expresada cantidad de **CUATRO MIL CUATROCIENTOS DIECISIETE euros con SESENTA Y SIETE céntimos.**

Jaén, 20 de agosto de 2020