



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Jaén

Trabajo Fin de Grado

**INVERSOR AUTÓNOMO
MONOFÁSICO PWM
UNIPOLAR GOBERNADO
POR ARDUINO**

Alumno: Andrés Vílchez Ruiz

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

Mayo, 2022

TABLA DE CONTENIDO

MEMORIA	5
1. INTRODUCCION	7
1.1 Objetivos	7
1.2 Plan de trabajo	8
1.3 Estructura del proyecto	8
2. ESTADO DEL ARTE	10
2.1 Inversores de modulación de ancho de pulso	10
2.1.1 Inversores monofásicos en puente	11
2.1.2 Inversores trifásicos	12
2.2 Otros tipos de inversores monofásicos	13
2.2.1 Inversores de pulso resonante	13
2.2.2 Inversor multinivel	14
2.3 Arduino UNO	17
2.4 Shields de Arduino	18
2.5 Inversores comerciales	22
2.6 Herramientas utilizadas	23
2.6.1 Software de Arduino	23
2.6.2 OrCAD	25
2.6.3 Proteus 8 Professional	27
3. IMPLEMENTACIÓN	28
3.1 Estudio teórico del inversor monofásico en puente completo	28
3.1.1 Análisis del inversor en puente completo	29
3.1.2 Control de voltaje de los inversores monofásicos	32
3.1.3 Modulación de amplitud y de frecuencia	34
3.2 Estructura general del hardware	37
3.2.1 Circuito de potencia y cálculo de componentes	38
3.2.1.1 Elección del transistor	39
3.2.1.2 Elección del tipo de diodo	40
3.2.2 Circuito de control	41
3.2.2.1 Driver de control del MOSFET	41
3.2.3.2 Valor de las resistencias	42

3.2.2.3 Valor de los condensadores en el driver	42
3.2.3 Fuente de alimentación.....	44
3.2.4 Calculo de disipadores de calor.....	46
3.2.4.1 Disipador térmico para el controlador IR2110.....	47
3.2.4.2 Disipador térmico para el LM555.....	47
3.2.4.3 Disipador térmico para el transistor Mosfet IRL540	48
3.2.5 Circuito de mando y visualización	49
3.3 Programación	51
3.4 Placa de circuito impreso	54
4. ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO	57
4.1 Incluir modelo simulable en Capture CIS	57
4.2 Ensayos.....	62
4.2.1 Variación de la modulación en frecuencia	63
4.2.2 Variación de la frecuencia	64
4.2.3 Variación de la modulación en amplitud	65
5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	68
6. BIBLIOGRAFÍA.....	69
PLIEGO DE CONDICIONES.....	71
1. ESPECIFICACIONES	73
2. MANUAL DE USUARIO.....	74
2.1 Programación de Arduino	74
2.2 Guía de funcionamiento.....	79
3. HOJAS DE CARACTERÍSTICAS.....	85
4. PROGRAMAS	199
PLANOS	210
PRESUPUESTO.....	222

MEMORIA

1. INTRODUCCION

Este proyecto va a abordar el diseño y la simulación de un inversor monofásico PWM unipolar, el cual pueda ser conectable y gobernable mediante Arduino, haciendo que tanto la tensión y como la frecuencia de salida sea la deseada en todo momento.

Arduino es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual está basada en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores.

Arduino Uno es una placa basada en el microcontrolador ATmega328. La placa incluye todo lo necesario para que el microcontrolador haga su trabajo, solo hay que conectarlo con un cable USB a la corriente eléctrica.

1.1 Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es el diseño y la implementación de una placa de circuito impreso que sea conectable y gobernable por Arduino UNO, al igual que una shield comercial.

Por tanto, el diseño de esta shield debe de tener las mismas dimensiones entre sus pines de conexión que Arduino UNO para poder conectarla fácilmente, además, estará restringida por unos márgenes de funcionamiento:

- Inversor monofásico cuya entrada sea de 5V DC, y una señal de salida en AC con una fuerte componente del primer armónico de frecuencia controlable.
- La señal de salida tendrá tres niveles de tensión: el límite superior seleccionado por el usuario que estará entre 0.5 y 5V, 0V y el límite inferior que estará entre -0.5 y -5V.
- Corriente de salida máxima: 1A
- Control de la frecuencia de salida gobernada por Arduino UNO.
- Comportamiento gobernable por Arduino UNO de tal forma que se puede regular la frecuencia de salida entre 0 y 100Hz, así como la amplitud del primer armónico entre 0.5 y 5V.
- Circuito de mando y visualización para que el usuario pueda interactuar con Arduino UNO.
- Diseño de un circuito impreso (PCB): Tendrá toda la circuitería, salvando al propio Arduino UNO y una pantalla LCD de 16x2, y será directamente conectable a éste mediante sus pines.

Una vez diseñado el circuito, se analizará mediante los simuladores de OrCAD y Proteus.

1.2 Plan de trabajo

En este apartado se va a resumir el plan de trabajo que se va a realizar en este proyecto:

- Estudio de los distintos tipos de inversores de modulación por ancho de pulso.
- Estudio del inversor monofásico unipolar en puente completo.
- Estudio del tipo de modulaciones más usuales.
- Elección del tipo de driver para el control de los mosfets.
- Se establecerá el límite de corriente de salida del inversor.
- Cálculo de los componentes necesarios para el inversor y todo lo necesario para su funcionamiento.
- Simulación y análisis del inversor en OrCAD y Proteus.
- Se realizará el programa de control de Arduino para controlar al inversor.
- Se realizará el diseño completo de la placa de circuito impreso.
- Análisis y conclusiones de los resultados obtenidos.

1.3 Estructura del proyecto

La estructura general de este proyecto se va a describir a continuación.

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

- En el capítulo 1, se muestra una breve introducción del trabajo.
- En el capítulo 2 de la memoria, se expondrán los diferentes tipos de inversores de modulación de ancho de pulso más comunes que existen, además, se describirán las shields de Arduino, se explicará que son las shields, y se realizará un resumen de las herramientas que se van a utilizar en este proyecto.
- El capítulo 3 de la memoria corresponde al diseño e implementación del circuito, primero se verá el funcionamiento de forma teórica del inversor, después se observará la estructura general del circuito con un pequeño análisis, para luego separarlo en cada una de las distintas partes, es decir, circuito de alimentación, circuito de potencia, circuito de control y circuito de mando y visualización, así obtendremos todos los componentes necesarios para el montaje, y para finalizar este capítulo se analizará el sistema de control que va a tener el inversor.
- En el capítulo 4, se va a realizar un estudio del funcionamiento del inversor, analizando los resultados obtenidos a través de las simulaciones en OrCAD.
- Finalmente, en el capítulo 5 de la memoria, estará dedicado a las conclusiones obtenidas después de analizar los resultados, y se darán unas ideas de trabajos futuros que se podrían obtener a partir de este proyecto.

Seguidamente se muestra la bibliografía utilizada en este proyecto.

Posteriormente está el pliego de condiciones con sus distintas partes:

- En la primera parte del pliego de condiciones se mostrará las especificaciones del circuito.

- En la segunda parte se muestra el manual de usuario para comprender como se debe usar el circuito.
- En la tercera y última parte del pliego de condiciones se muestran las hojas de características de todos los componentes utilizados en el diseño del inversor, y de todos los dispositivos auxiliares empleados en el diseño.

A continuación, se encuentra el apartado en el que se muestra el programa de control usado en Arduino con algunas anotaciones para comprender de forma sencilla las instrucciones.

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

Por último, se muestra el presupuesto del proyecto, en el que en primer lugar se muestran las disposiciones legales de este proyecto, después el presupuesto de los materiales, y finalmente el presupuesto personal. Para terminar con el resumen total de presupuesto, el cual indica el valor del proyecto al completo.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 Inversores de modulación de ancho de pulso

Los convertidores de DC a AC se conocen como inversores. La función de un inversor es cambiar un voltaje de entrada en DC a un voltaje simétrico de salida AC, con la magnitud y frecuencia deseadas. Tanto el voltaje de salida como la frecuencia pueden ser fijos o variables. Si se modifica el voltaje de entrada de DC y la ganancia del inversor se mantiene constante, es posible obtener un voltaje variable de salida. Por otra parte, si el voltaje de entrada en DC es fijo y no es controlable, se puede obtener un voltaje de salida variable si se varía la ganancia del inversor. La ganancia del inversor se puede definir como la relación entre el voltaje de salida en AC y el voltaje de entrada en DC.

En los inversores ideales, las formas de onda del voltaje de salida deberían ser senoidales. Sin embargo, en los inversores reales no son senoidales y contiene ciertos armónicos. Para aplicaciones de media y baja potencia, se pueden aceptar los voltajes de onda cuadrada o casi cuadrada, para aplicaciones de alta potencia, son necesarias las formas de onda senoidales de baja distorsión. Dada la disponibilidad de los dispositivos semiconductores de potencia de alta velocidad, es posible minimizar o reducir significativamente el contenido armónico del voltaje de salida mediante las técnicas de conmutación.

El uso de los inversores es muy común en aplicaciones industriales tales como la propulsión de motores de AC de velocidad variable, la calefacción por inducción, convertir la corriente generada por sistemas eólicos y paneles solares, etc.

Los inversores pueden clasificarse básicamente en dos tipos, inversores monofásicos e inversores trifásicos. Cada tipo puede utilizar dispositivos con activación y desactivación controlada (BJT, MOSFET, IGBT, GTO) o tiristores de conmutación forzada, según la aplicación. Estos inversores utilizan por lo general señales de control PWM, para producir un voltaje de salida AC.

En los siguientes capítulos se mostrarán los distintos funcionamientos y configuraciones teóricas de los inversores, diciendo algunas de sus ventajas e inconvenientes, para posteriormente justificar la elección del tipo de inversor que se utilizara en este trabajo.

2.1.1 Inversores monofásicos en puente

Un inversor monofásico en puente está formado por cuatro transistores. Cuando los transistores Q1 y Q2 se activan simultáneamente, el voltaje de entrada V_s aparece a través de la carga. Si los transistores Q3 y Q4 se activan al mismo tiempo, el voltaje a través de la carga se invierte y adquiere el valor de $-V_s$. En la figura 1 se puede ver el esquema general de un inversor monofásico en puente.

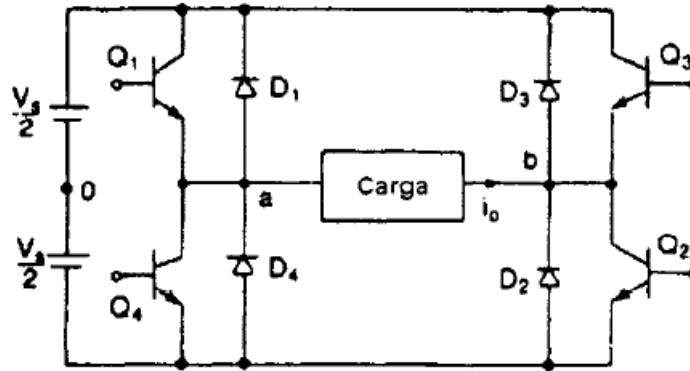


Figura 1: Inversor monofásico en puente

Este tipo de inversores está pensado para potencias de menos de 10kW, además su uso es mas de tipo residencial ya que no tienen grandes consumos de energía y en ámbitos generales no están destinados a soportar más de 230V de tensión.

De forma general, las señales de tensión de entrada y salida de los inversores monofásicos se muestran en la figura 2.

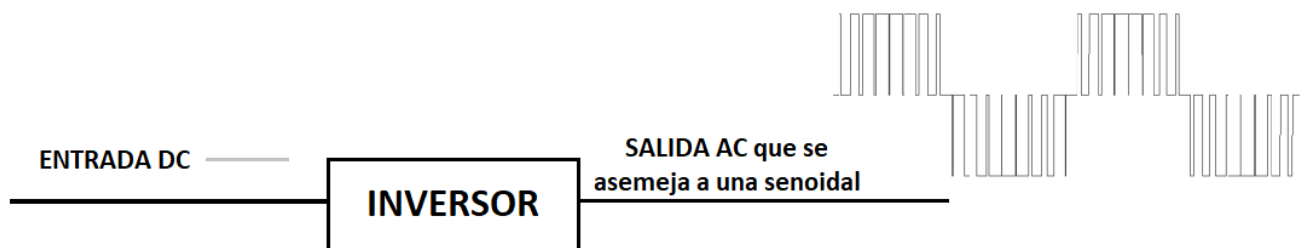


Figura 2: Formas de onda de un inversor monofásico

La señal de entrada es una tensión en continua y el inversor la convierte en una señal de corriente alterna que se asemeja a una onda senoidal.

2.1.2 Inversores trifásicos

Este tipo de inversores se utilizan normalmente para aplicaciones de alta potencia. Tres inversores monofásicos de medio puente o de puente completo pueden conectarse en paralelo para formar la configuración de un inversor trifásico. Las señales de la puerta de los inversores monofásicos deben adelantarse 120° uno con respecto al otro, a fin de obtener voltajes trifásicos balanceados. Los bobinados primarios del transformador deben de aislarse unos de otros, por tanto, los secundarios pueden quedar conectados en estrella o triángulo, pero en general se suele conectar en estrella para así eliminar los armónicos múltiplos de tres. En la figura 3 se ve el esquema general de un inversor trifásico.

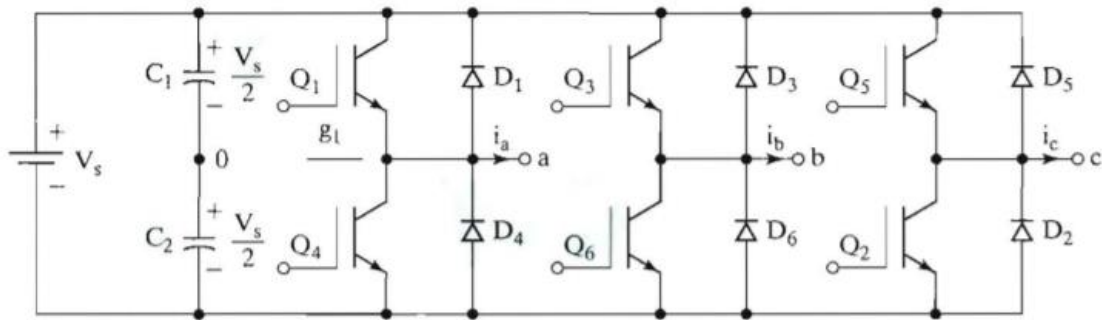


Figura 3: Inversor trifásico

Como se ha mencionado, los inversores trifásicos están mas destinados a instalaciones de alta potencia superiores a los 10kW, y por tanto, se emplean en sectores industriales ya que también tienen un gran consumo de energía, los costes de instalación de estos inversores es bastante elevado porque son complejos de instalar. Además, pueden soportar tensiones de alrededor de 400V.

2.2 Otros tipos de inversores monofásicos

Además de los inversores de modulación de ancho de pulso, existen diversos tipos de inversores con distintas aplicaciones. En este apartado se van a mencionar y explicar brevemente algunos de ellos.

2.2.1 Inversores de pulso resonante

El inversor resonante es el nombre genérico para un tipo de topología de conmutación de alta frecuencia. Este tipo de inversor trata de eliminar o minimizar las desventajas del control PWM si los dispositivos de conmutación se “encienden” o “apagan” cuando el voltaje o corriente a través de un dispositivo es cero. El voltaje y corriente son forzados a pasar por cero cuando se crea un circuito LC resonante, y por ello el dispositivo se denomina convertidor de pulso resonante. Los inversores resonantes se pueden clasificar en diversos tipos, a continuación, se verán dos ellos.

- **Inversor resonante en serie**

Los inversores resonantes serie se basan en la oscilación resonante de la corriente. Los componentes resonantes y el dispositivo de conmutación se instalan en serie con la carga, para formar un circuito subamortiguado. La corriente por los dispositivos de conmutación baja a cero debido a las características naturales del circuito. En la figura 4 se puede ver un esquema de un inversor resonante en serie.

Esta clase de inversores produce una forma de onda aproximadamente sinusoidal a una alta frecuencia de salida, que va de 200 a 100kHz, y se usa con frecuencia en aplicaciones con salida relativamente fija como calentamiento por inducción, transmisión de sonar, alumbrado fluorescente o generadores ultrasónicos.

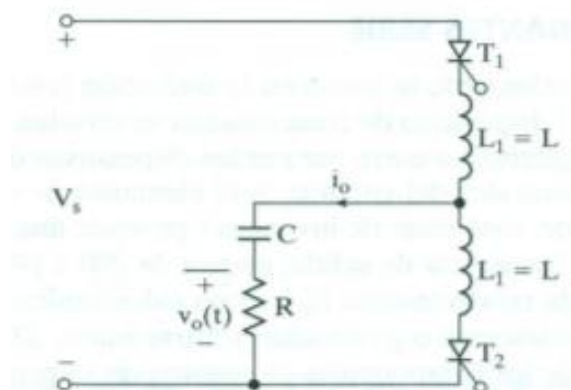


Figura 4: Inversor resonante en serie

- **Inversor resonante en paralelo**

Los inversores resonantes en paralelo se abastecen con una fuente de corriente para que el circuito ofrezca una alta impedancia a la corriente de conmutación. Como la corriente se controla en forma continua, este inversor produce una mejor protección contra cortocircuitos. En la figura 5 se muestra la estructura de este tipo de inversor.

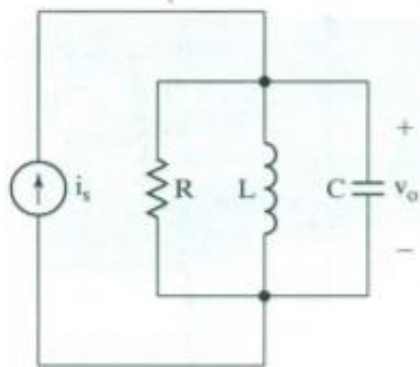


Figura 5: Inversor resonante en paralelo

2.2.2 Inversor multinivel

Los inversores multinivel presentan un conjunto de propiedades que son muy adecuadas para usarse en la compensación de potencia reactiva. Puede ser más fácil producir un inversor de alta potencia y alto voltaje con la estructura multinivel, por la forma de controlar en la estructura los esfuerzos dieléctricos del dispositivo. Al aumentar la cantidad de niveles de voltaje en el inversor se puede aumentar la potencia nominal. La estructura de los inversores multinivel les permite alcanzar altos voltajes con pocos armónicos sin el uso de transformadores o de dispositivos de conmutación sincronizados. A medida que se aumenta la cantidad de niveles de voltaje, se reduce de forma importante el contenido de armónicos en la tensión de salida. Este tipo de inversor se puede clasificar en tres tipos, que a continuación se van a explicar brevemente.

- **Inversor multinivel con diodo fijador**

La forma típica de este tipo de inversor con m niveles, consiste en poner $m-1$ condensadores en el canal de corriente continua y produce m niveles de voltaje en fase. En la figura 6 se puede ver un inversor de puente completo con cinco niveles y diodo fijador.

Algunas de las ventajas de este inversor son:

- Cuando la cantidad de niveles es suficientemente alta, el contenido de armónicos es lo suficientemente bajo como para evitar el uso de filtros.
- La eficiencia del inversor es alta, porque todos los dispositivos son conmutados a la frecuencia fundamental.
- El método de control es sencillo.

Y algunas desventajas del inversor con diodo fijador se pueden resumir en:

- Se requieren demasiados diodos fijadores cuando la cantidad de niveles es alta.
- Es difícil controlar el flujo de la potencia real del convertidor individual, en sistemas de varios convertidores.

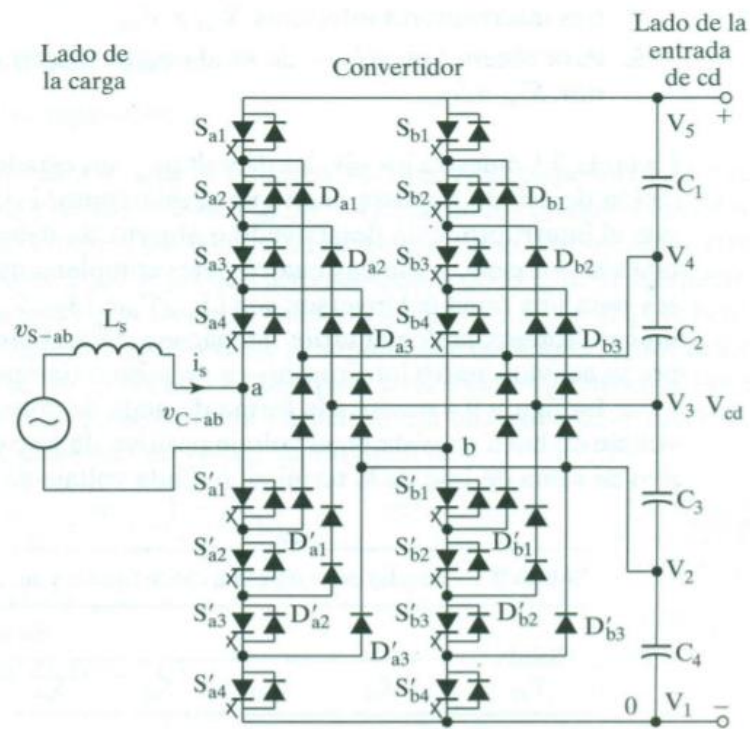


Figura 6: Inversor multinivel en puente en cinco niveles y diodo fijador

- **Inversor multinivel con condensadores flotantes**

La figura 7 muestra un inversor monofásico, en puente completo y en cinco niveles, basado en cinco condensadores flotantes.

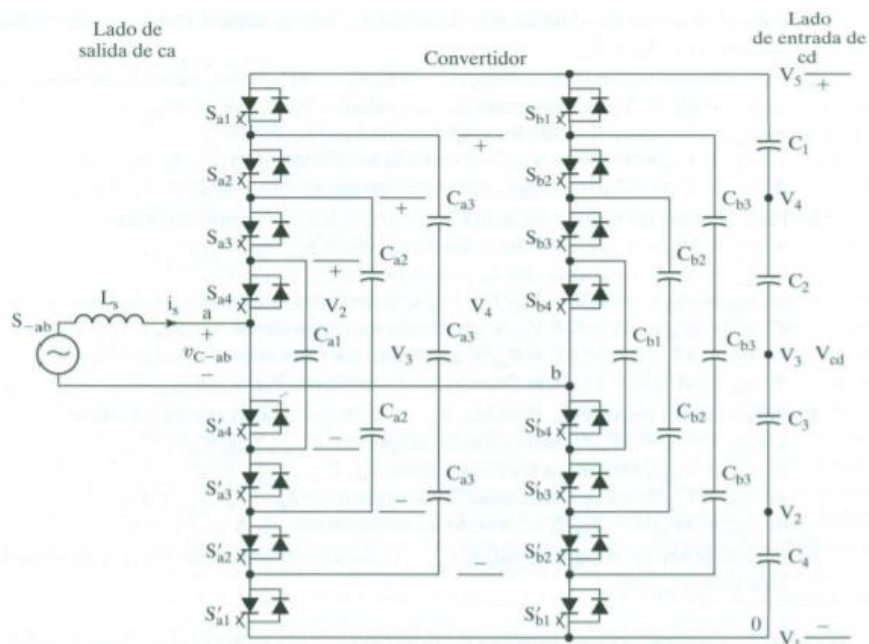


Figura 7: Inversor monofásico con condensadores flotantes en cinco niveles

Las ventajas principales de este tipo de inversor son:

- Grandes cantidades de condensadores de almacenamiento pueden seguir operando durante cortes de energía.
- Estos inversores proporcionan redundancia de combinaciones de interruptor, para balancear distintos niveles de voltaje.
- Al igual que el inversor con diodo fijador, con más niveles de voltaje, el contenido de armónicos es suficientemente bajo como para no necesitar filtros.
- Se puede controlar el flujo de potencia tanto real como reactiva.

Las desventajas principales del inversor con condensador flotante se pueden resumir en:

- Se requiere una cantidad excesiva de condensadores de almacenamiento cuando la cantidad de niveles es grande. Los inversores en altos niveles son más difíciles de encapsular por los grandes condensadores de potencia, que además son más costosos.
- El control de inversor puede ser muy complicado, la frecuencia de conmutación y las pérdidas por conmutación son altas para la transmisión de potencia real.

• Inversor multinivel en cascada

Un inversor multinivel en cascada consiste en una serie de unidades inversoras de medio puente. La función principal de este inversor multinivel es sintetizar un determinado voltaje a partir de varias fuentes separadas de corriente continua. En la figura 8 se muestra la estructura básica de un inversor monofásico en cascada.

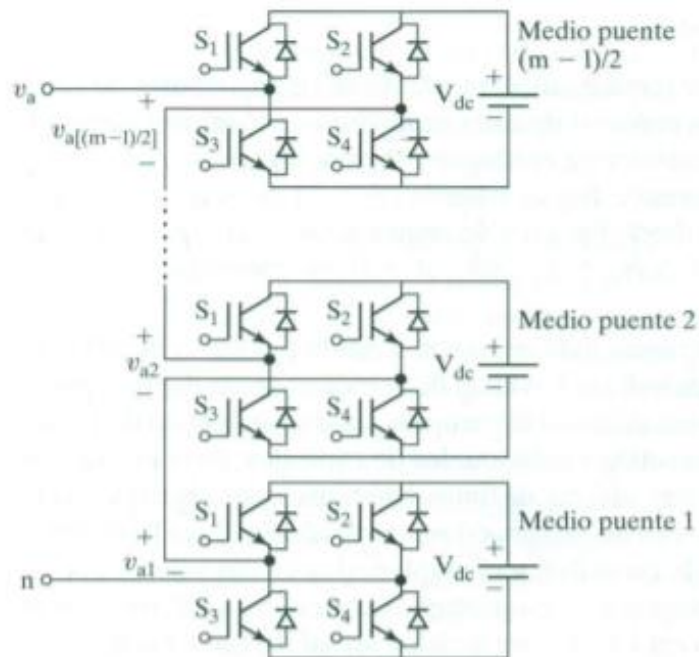


Figura 8: Diagrama de un inversor multinivel en cascada

Las ventajas principales del inversor en cascada se pueden resumir en:

- En comparación con los inversores con diodo fijador y con condensadores flotantes, requieren de la mínima cantidad de componentes para obtener la misma cantidad de niveles de voltaje.
- Son posibles la distribución y el encapsulado optimizado del circuito, porque cada nivel tiene la misma estructura y no hay diodos fijadores adicionales, ni condensadores de balanceo de voltaje.
- Se pueden usar técnicas de conmutación suave para reducir las pérdidas por conmutación y los esfuerzos en los dispositivos.

La principal desventaja del inversor en cascada es que necesita de fuentes de corriente continua separadas para conversiones de potencia real, y con ello limita sus aplicaciones.

2.3 Arduino UNO

Arduino UNO es una placa electrónica basada en el microcontrolador ATmega328. Cuenta con 14 entradas/salidas digitales, de las cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM y otras 6 son entradas analógicas. Además, incluye un resonador cerámico de 16 MHz, un conector USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reseteo.

Características de Arduino Uno:

- Microcontrolador: Atmega328
- Voltaje: 5V
- Voltaje de entrada (recomendado): 7-12V
- Voltaje de entrada (límites): 6-20V
- Pines digitales E/S: 14 (de los cuales 6 son salida PWM)
- Entradas analógicas: 6
- Corriente DC por pines de E/S: 40mA
- Corriente DC para pin de 3.3V: 50mA
- Memoria flash: 35KB(Atmega328) de los cuales 0.5KB son utilizados para el arranque
- SRAM: 2KB (Atmega328)
- EEPROM: 1KB(Atmega328)
- Velocidad del reloj: 16MHz
- Longitud: 68.6mm
- Anchura: 53.4mm
- Peso: 25g

En la figura 9 se puede observar la distribución de todos los elementos, así como su distribución de la placa de Arduino Uno

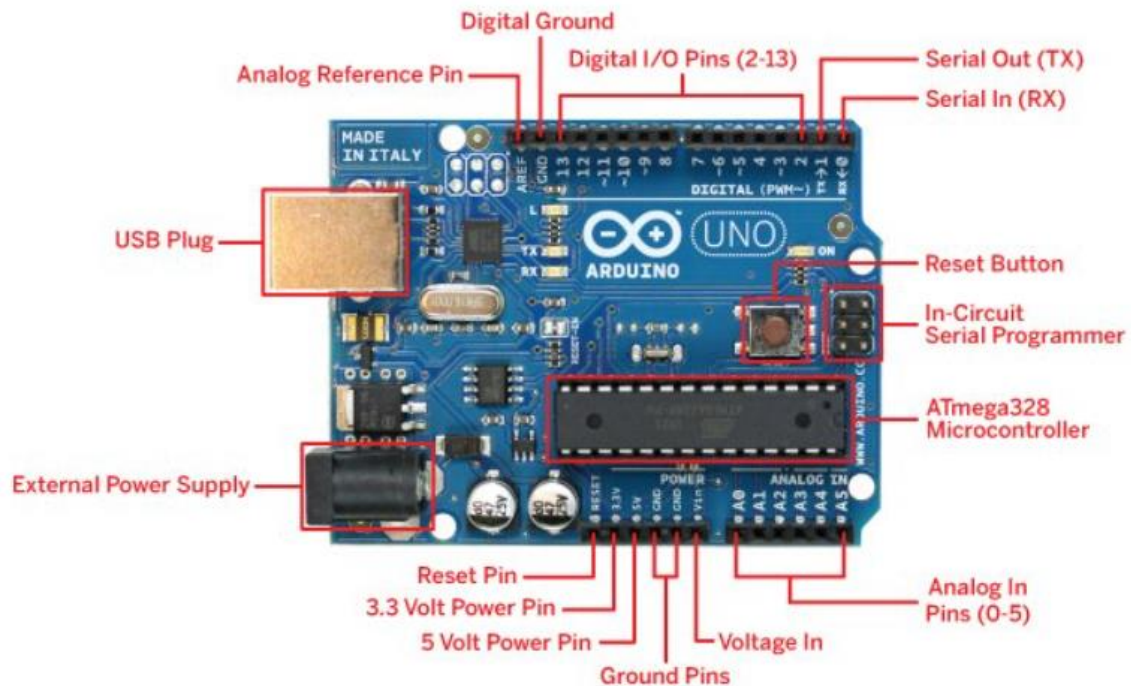


Figura 9: Placa de Arduino Uno

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 expreso, 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.

2.4 Shields de Arduino

Las shields son placas de circuitos modulares que se montan unas encima de otras para dar funcionalidad extra a un Arduino. Estas shields son apilables. En la figura 10 se observan varias shields apiladas en Arduino.

Cada Shield de Arduino debe tener el mismo factor de forma que el standard de Arduino con un espaciado de pines concreto para que solo haya una forma posible de encajarlo.

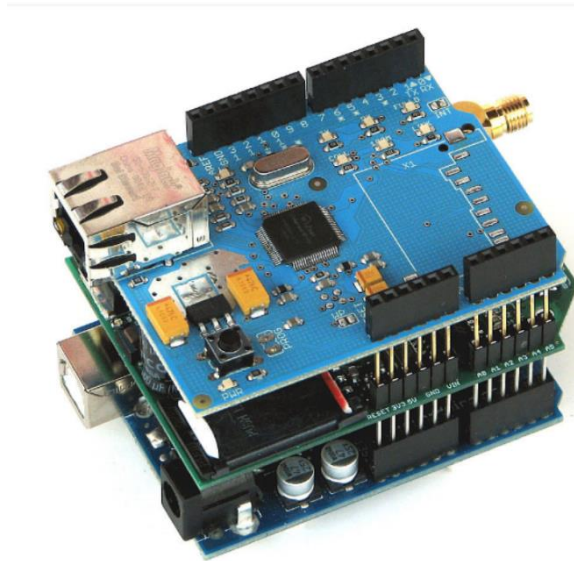


Figura 10: Shields apiladas en Arduino

Las shields se pueden comunicar con el Arduino bien por algunos de los pines digitales o analógicos o bien por algún bus como el SPI, I2C o puerto serie, así como usar algunos pines como interrupción. Además, estas shields se alimenta generalmente a través del Arduino mediante los pines de 5V y GND. 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.

En este proyecto se diseñará una Shield compatible con Arduino UNO y que será un inversor monofásico PWM unipolar.

En el mercado hay una infinidad de shields para Arduino con sus diferentes funciones, pero en este caso nos vamos a centrar en las shields de potencia, de los cuales se van a presentar algunos modelos y sus características más importantes:

- **Shield de motores y potencia:**

Basado en el controlador de doble puente L298P, cuenta con dos canales, puede estar alimentado mediante alimentación interna (V_{in}) o externa y además es posible apilarlo. La figura 11 muestra este tipo de shield.

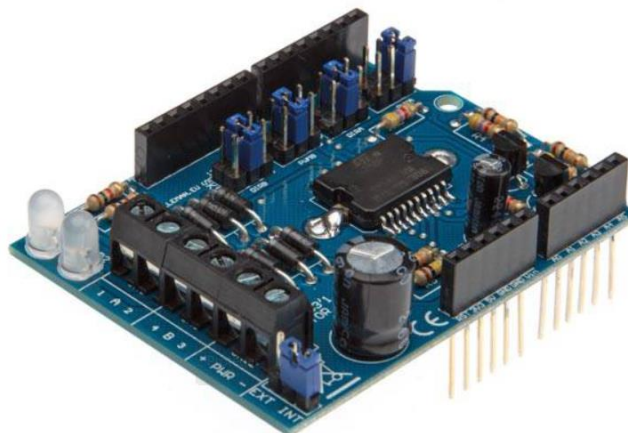


Figura 11: Shields de motores y potencia

- 2.5 A (máximo) por cada canal.
- 50 V (máximo) de entrada por la alimentación externa.
- **Shield pro-micro mini REV2.0**

Cuenta con cuatro salidas opto acopladas a relevadores mecánicos donde se pueden conectar las cargas de corriente directa como alterna. Además, es posible conectar cuatro sensores analógicos con señales de 0 a 5 voltios y sensores con interfaz de comunicación I2C. En la figura 12 se observa este tipo de shield.

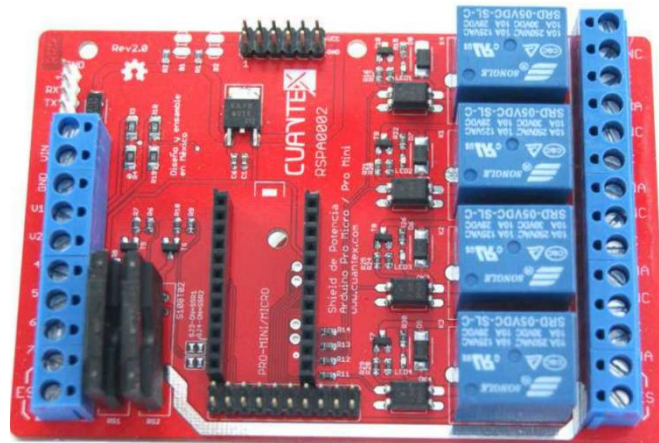


Figura 12: Shield pro-micro mini REV2.0

- Voltaje de alimentación: 5 a 12V en DC
- 6 entradas analógicas
- 2 salidas a relevador de estado solido
- 4 salidas opto acopladas a relevador mecánico
- 6 entradas digitales, 2 entradas para voltajes de entradas de 5 a 12V en DC
- Pines digitales D2 y D3 configurables con arreglo Pull-Down para botones o para controlar los relevadores de estado sólido.

- **Fuente de alimentación DFRobot:**

Se trata de un regulador basado en el LM2596, esta Shield puede dar una alimentación en un rango de 1.25 a 12V, también incluye una función de medición del voltaje de salida a través del Pin 0 analógico. La figura 13 presenta esta shield.

- Voltaje de alimentación: 4.5 – 35V
- Voltaje de salida: 1.25 – 12V
- Corriente de salida: 2A (3A pico)
- Eficiencia: 90%

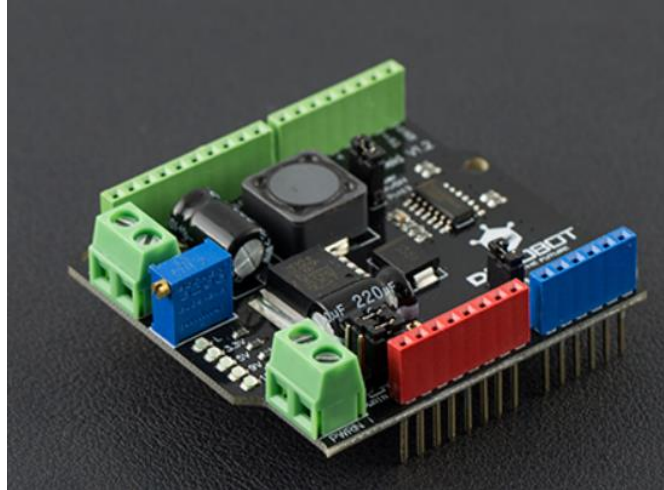


Figura 13: Shield de alimentación DFRobot

- **Pololu A4990 Dual Motor Driver Shield**

Se trata de un protector del controlador del motor, facilita el control de un par de motores de CC con cepillado bidireccionales. La placa cuenta con el controlador de motor de puente H dual A4990 de Allegro, que funciona de 6 a 32V. La figura 14 muestra este tipo de shield.



Figura 14: Pololu A4990 Dual Motor Driver Shield

- Voltaje de alimentación del motor: 6 – 32 V
- Tensión de alimentación lógica: 2.5 – 5.5V
- Corriente de salida: 0.65A continuos por motor
- Puede trabajar con frecuencias PWM ultrasónicas (>20kHz)
- El control de corriente limita la corriente máxima a 0.9A por motor

2.5 Inversores comerciales

En este apartado se van a comentar algunos de los modelos de inversores que hay en el mercado que no se controlan mediante Arduino. Estos son algunos modelos:

- **Inversor de onda sinusoidal pura de 12V a 220V, placa convertidora solar de 800W**

Esta PCB es un circuito inversor de onda sinusoidal pura, cuyo transformador principal está compuesto por dos transistores de potencia EC40 primario etapa 8, con un material solido enrollado con una tira de cobre. El ventilador es de control inteligente y la velocidad de rotación varia con la potencia de la carga. La figura 15 muestra este modelo comercial de inversor.



Figura 15: Inversor de onda sinusoidal pura de 12V a 220V

- Tamaño: 170x119x50mm
- Peso: 0.9 Kg
- Voltaje de salida: 180 – 230V
- Potencia de salida: 500 – 1000W

- **Modulo inversor PWM 0-100% a 0-10V**

Este módulo integrado se utiliza principalmente para tarjetas de control industrial convencional como la placa MACH3. Es fácil de operar y se puede ajustar con un potenciómetro. La figura 16 presenta este tipo de módulo.

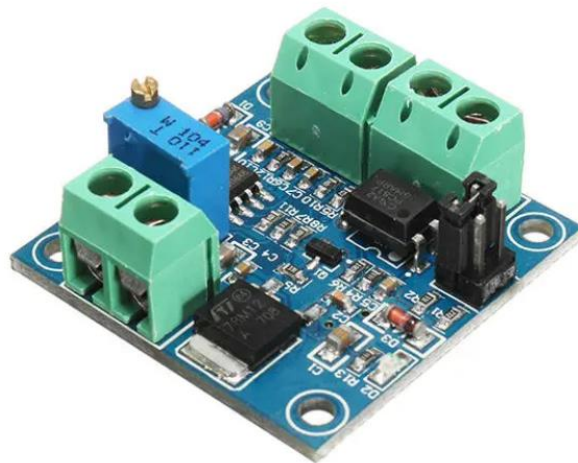


Figura 16: Inversor PWM 0 – 10V

- Voltaje de funcionamiento: 5 – 12V DC
- Voltaje de entrada: 5 – 12V
- Rango de frecuencia de la recepción de la señal PWM: 1 – 3 kHz
- Nivel de pico: 12 – 24V

2.6 Herramientas utilizadas

En este proyecto se van a utilizar algunas herramientas y programas necesarios para llevarlo a cabo. A continuación, se van a mencionar y describir brevemente:

- Arduino UNO para el control del inversor.
- Software de Arduino.
- Software de simulación y diseño de circuitos electrónicos Cadence OrCAD.
- Proteus 8 Professional para el diseño y simulación de los circuitos de mando y visualización.

2.6.1 Software de Arduino

El entorno de desarrollo integrado también llamado IDE (sigla en inglés de Integrated Development Environment), es un programa informático compuesto por un conjunto de herramientas de programación. En la figura 17 se puede observar el IDE de Arduino.

Un IDE es un entorno de programación que ha sido empaquetado como un programa de aplicación, es decir, que consiste en un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica (GUI).

Los sketches constan básicamente de una cabecera, la cual se definen librerías (`#include`), se declaran variables globales y se crean las instancias necesarias de cada librería. En el void `setup()`, se lleva a cabo la configuración inicial de las variables las cuales se ejecutarán

solo una vez al iniciar el programa, y por último el void loop (), se incluye las tareas que se quieren realizar y se repiten de manera infinita.

Los programas de Arduino están compuestos por un solo fichero con extensión “ino”, aunque es posible organizar varios ficheros. El fichero principal siempre debe estar en una carpeta con el mismo nombre que el fichero.

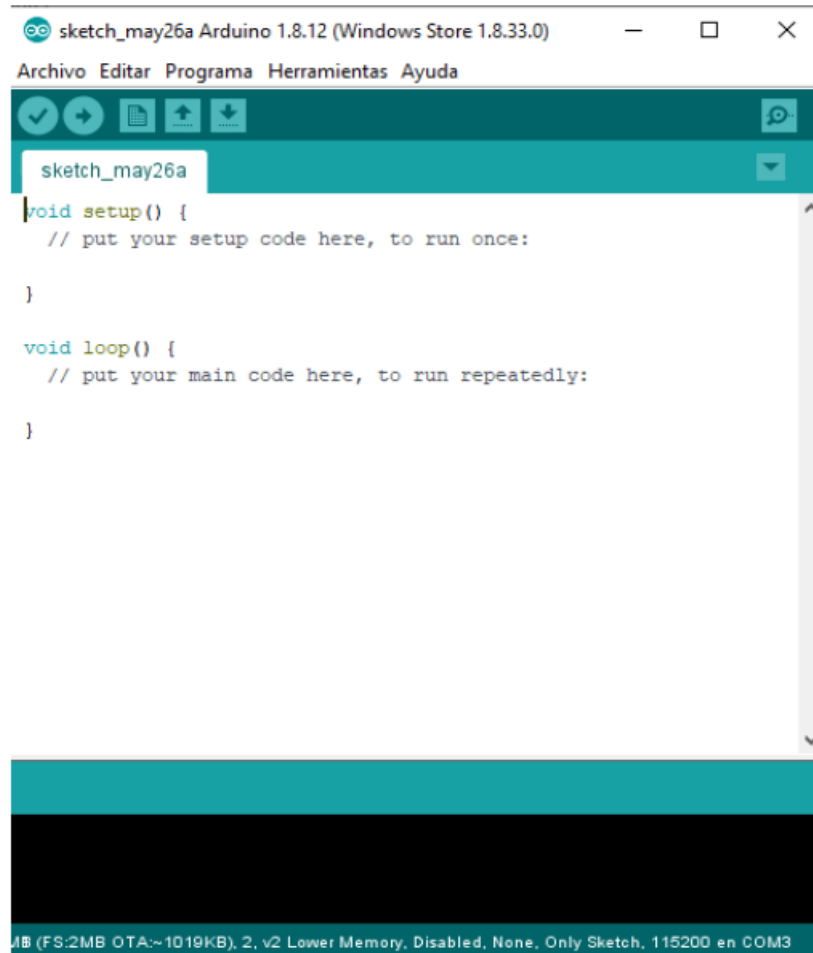


Figura 17: IDE Arduino

2.6.2 OrCAD

OrCAD Systems Corporation es la empresa de software que creó OrCAD, que es un conjunto de herramientas que principalmente se utiliza para la automatización del diseño electrónico (EDA). Además, permite la creación de esquemas electrónicos y elaborar esquemas de circuito impreso, así como la generación de sus archivos para que el fabricante pueda realizar el montaje de la placa.

En este proyecto las herramientas de OrCAD que vamos a utilizar son:

- Capture CIS
- PSpice AD
- PCB Editor

La gran ventaja que tiene utilizar estos programas es que al ser una suite de OrCAD estarán completamente integrados entre sí, por tanto, al pasar el diseño del Capture al PCB Editor solo habría que hacer las pistas del circuito impreso ya que OrCAD tiene las dimensiones de los componentes electrónicos. Además, en el caso de que algún componente no esté en la lista de componentes, podremos crearlo desde cero sin ningún tipo de problemas.

- **Capture CIS**

Esta herramienta es un software que permite dibujar esquemas de circuitos electrónicos, tanto analógicos, como digitales o mixtos. Además, se pueden elegir todos los componentes necesarios y dar los valores adecuados a cada uno de ellos. La figura 18 presenta la página de inicio de OrCAD Capture CIS.

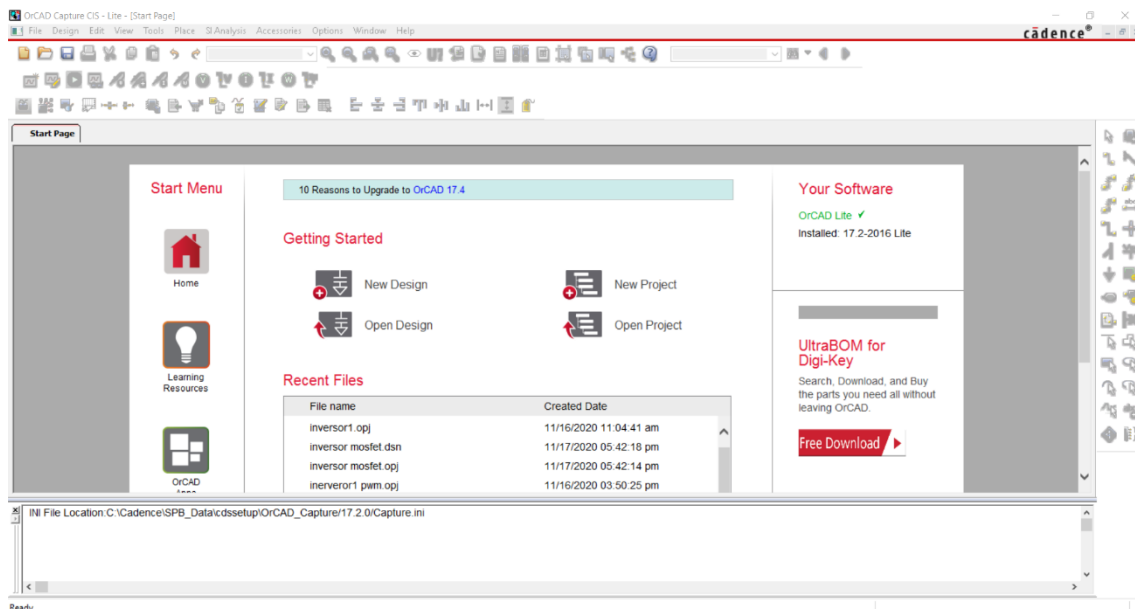


Figura 18: Página de inicio de OrCAD Capture CIS

- **PSpice AD**

PSpice será el encargado de simular y analizar el comportamiento de los circuitos electrónicos que previamente hayamos diseñado en el Capture. En este software se pueden realizar las simulaciones teniendo en cuenta distintos parámetros de funcionamiento del circuito como el tiempo de simulación o el análisis paramétricos de los componentes. En la figura 19 se muestra la página de inicio de OrCAD Pspice AD.

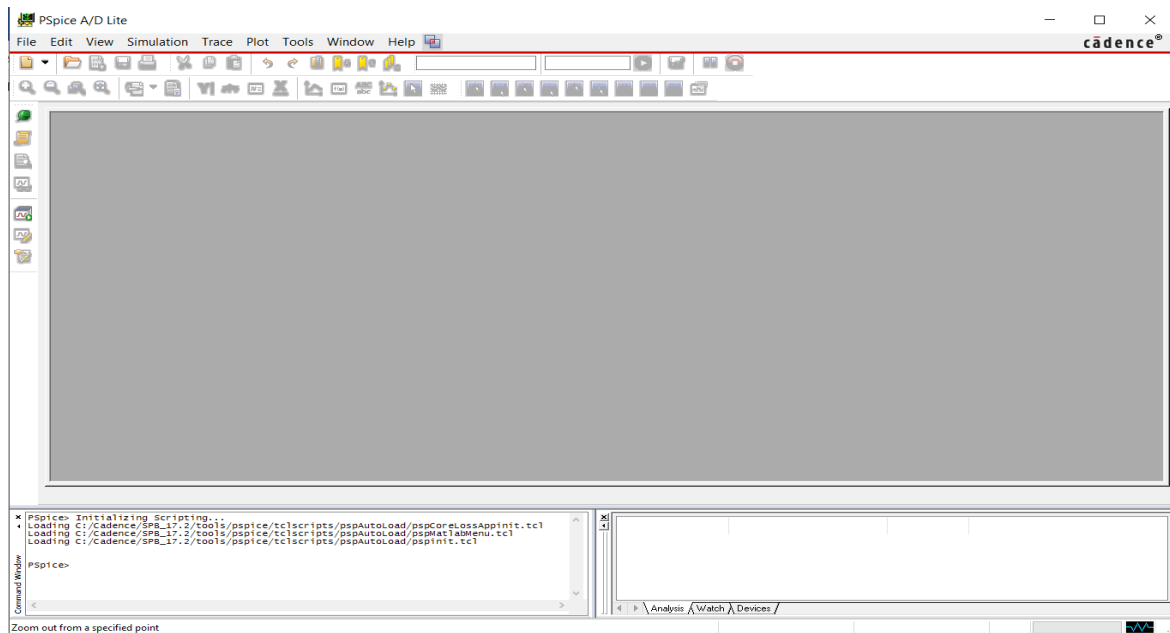


Figura 19: Página de inicio de OrCAD PSpice AD

- **PCB Editor**

Es la herramienta del diseño de la placa del circuito impreso, así como de su verificación electrónica, este software permite hacer distintos encapsulados para cada componente mediante su footprint, crear pistas de cobre en la PCB para establecer una conexión eléctrica entre dos puntos, realizar distintas capas para dividir la placa, entre otras cosas. En la figura 20 se muestra la página de inicio de PCB Editor.

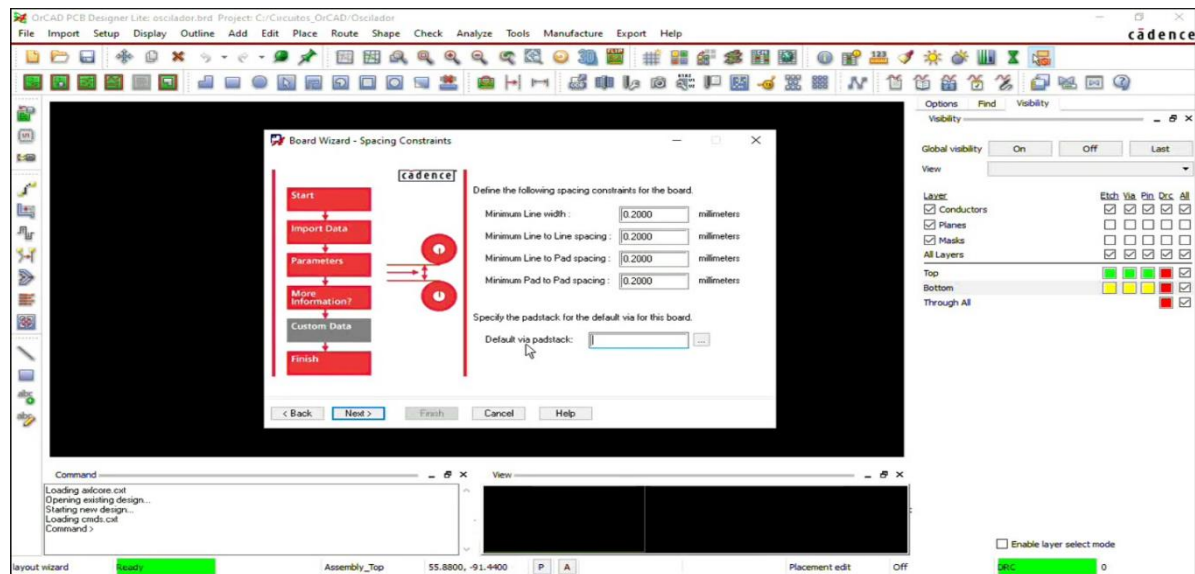


Figura 20: Página de inicio de OrCAD PCB Editor

2.6.3 Proteus 8 Professional

Proteus es un sistema completo de diseño electrónico que combina un avanzado programa de captura de esquemas, un sistema de simulación mixto (analógico y digital) basado en Spice, y un programa para la disposición de componentes en placas de circuito impreso y auto ruteado. Se trata de un software comercial fabricado por Labcenter Electronics, caracterizado por su potencia y facilidad de uso. La figura 21 muestra la página de inicio de Proteus 8 Professional.



Figura 21: Página de inicio de Proteus 8 Professional

3. IMPLEMENTACIÓN

El inversor que se va a utilizar en este proyecto será el inversor monofásico unipolar en puente completo. Este tipo de inversor la frecuencia de sus armónicos es doble con respecto al caso bipolar y la excursión de la tensión en la carga se anulan a la mitad.

En los siguientes apartados se realizará el estudio detallado del comportamiento del inversor monofásico unipolar en puente completo, así como de las distintas modulaciones que se pueden emplear en este inversor, eligiendo finalmente la que se usará en este trabajo. Además, se dará una noción teórica de algunos de los parámetros más importantes a tener en cuenta en el diseño de este inversor, como la modulación en amplitud m_a y modulación en frecuencia m_f .

Seguidamente se pasará con el diseño del propio inversor eligiendo y justificando cada uno de los componentes que lo forman. Una vez se tenga el inversor monofásico unipolar en puente completo, se realizarán una serie de ensayos en los que se va a observar con mejor claridad cómo se comporta el inversor monofásico cuando se le cambian algunos parámetros, como la frecuencia y la amplitud de las señales de control.

Más adelante, se va a detallar cómo funcionará el programa que gobierne al inversor mediante Arduino UNO por medio de diagramas de flujos. Para finalizar este apartado, se va a mostrar el diseño de la placa de circuito impreso del inversor monofásico unipolar en puente completo.

3.1 Estudio teórico del inversor monofásico en puente completo

En este apartado se va a detallar el funcionamiento del inversor que se va a implementar en este trabajo, primero se va a hacer un análisis del inversor viendo las conmutaciones que se tienen en cada estado, así como la tensión de salida que va a entregar el inversor en cada una de estas conmutaciones. Más adelante, se va a pasar a ver como es el control del voltaje que se va a utilizar, y para finalizar con este estudio teórico, se analizarán dos parámetros fundamentales en este inversor monofásico en puente completo.

3.1.1 Análisis del inversor en puente completo

En este apartado se va a hacer un estudio a fondo del inversor monofásico en puente completo, así como un análisis paso por paso de su funcionamiento. Aunque más adelante se analicen los distintos tipos de control del voltaje que puede tener el inversor, para entender su funcionamiento es necesario definir ya el tipo de modulación que se va a usar para el control del inversor, será la modulación por ancho de pulso y la figura 22 muestra como son las señales de control.

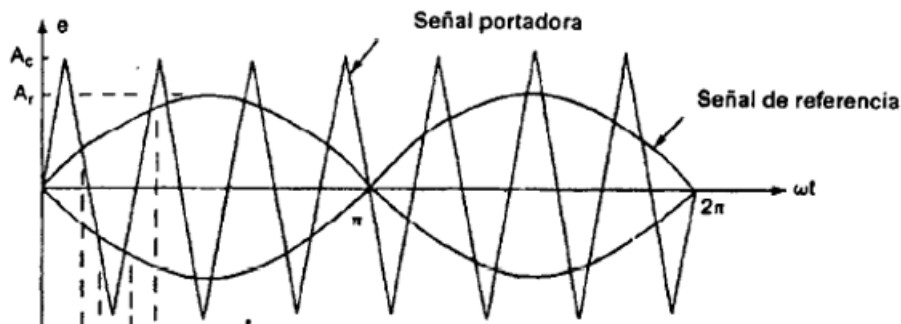


Figura 22: Modulación por ancho de pulso

En la modulación unipolar por ancho de pulso las ramas no conmutan en el mismo instante de tiempo, y por tanto la forma en la que se controlan ambas ramas es independiente, realizando para el control dos comparaciones distintas. Estas comparaciones se realizan mediante las señales de control, las dos moduladoras (senoidales) y la portadora (triangular).

Mediante estas señales ya se tendrá una secuencia para cada uno de los interruptores. A continuación, se muestra un esquema de las tensiones que recorren el puente.

- En primer lugar, la figura 23 muestra el caso cuando conducen los interruptores M_1 y M_4 :

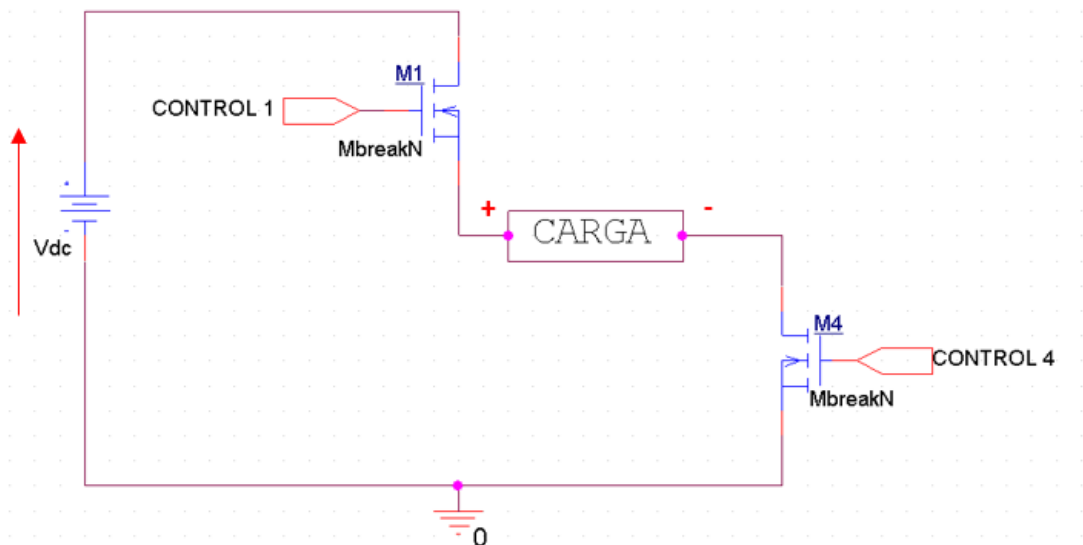


Figura 23: Tensiones del inversor si conducen M_1 y M_4

Cuando ocurre esto la tensión de salida será:

$$V_{carga} = V_{dc}$$

- En segundo lugar, se tendrá cuando conducen los transistores M_2 y M_3 , esto se presenta en la figura 24.

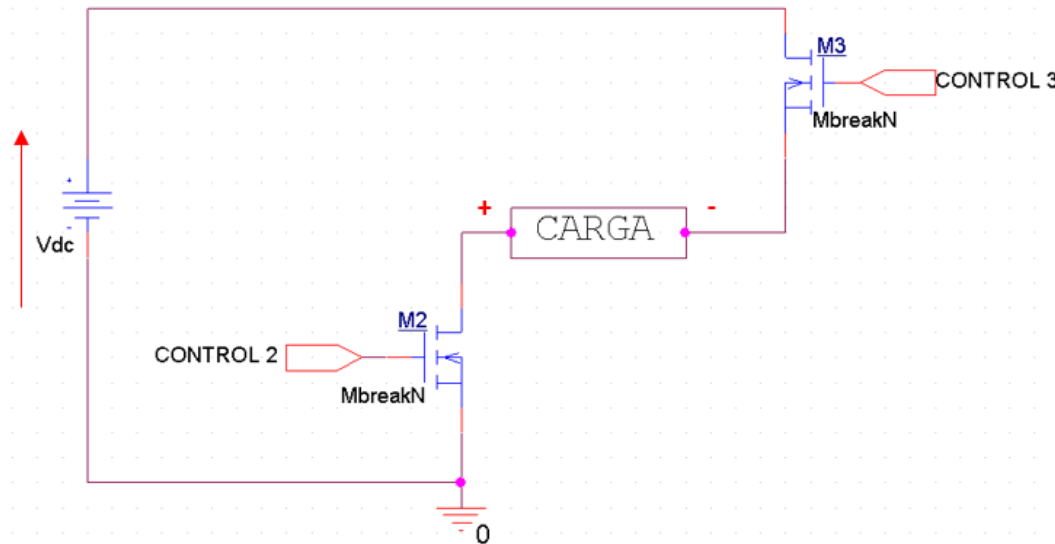


Figura 24: Tensiones del inversor si conducen M_2 y M_3

En este caso se obtendrá:

$$V_{carga} = -V_{dc}$$

- El último caso lo comparten dos estados y corresponde a cuando los interruptores M_1 y M_3 , o M_2 y M_4 están cerrados, en ambos casos la tensión de salida será de 0V ya que el circuito en los dos estados estaría abierto. El primer caso se observa en la figura 25 y el segundo caso en la figura 26.

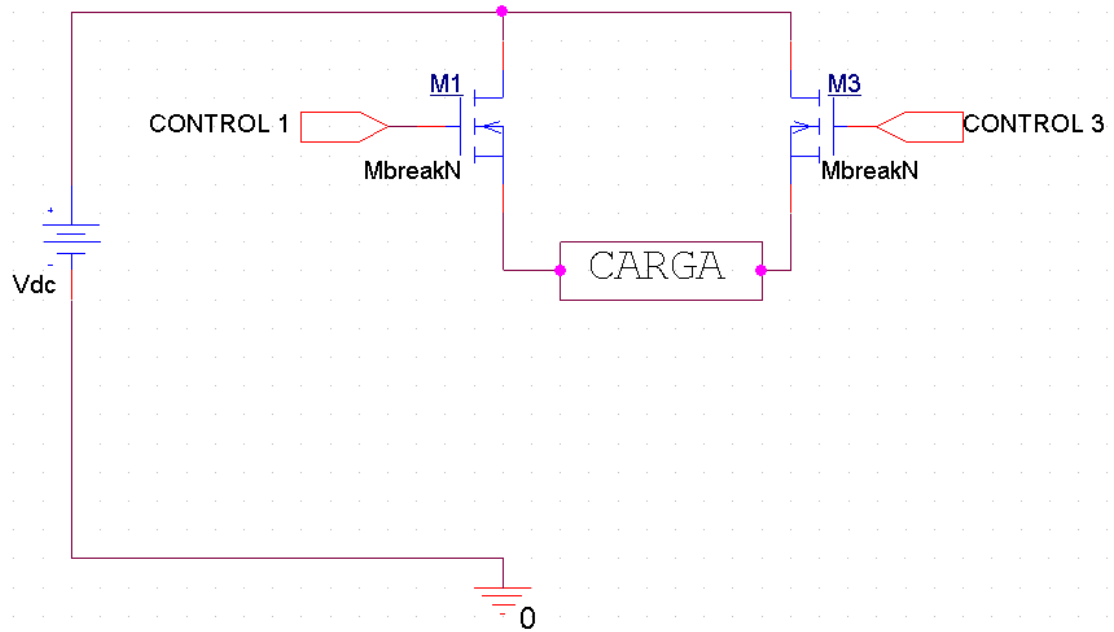


Figura 25: Tensión del inversor si conducen M_1 y M_3

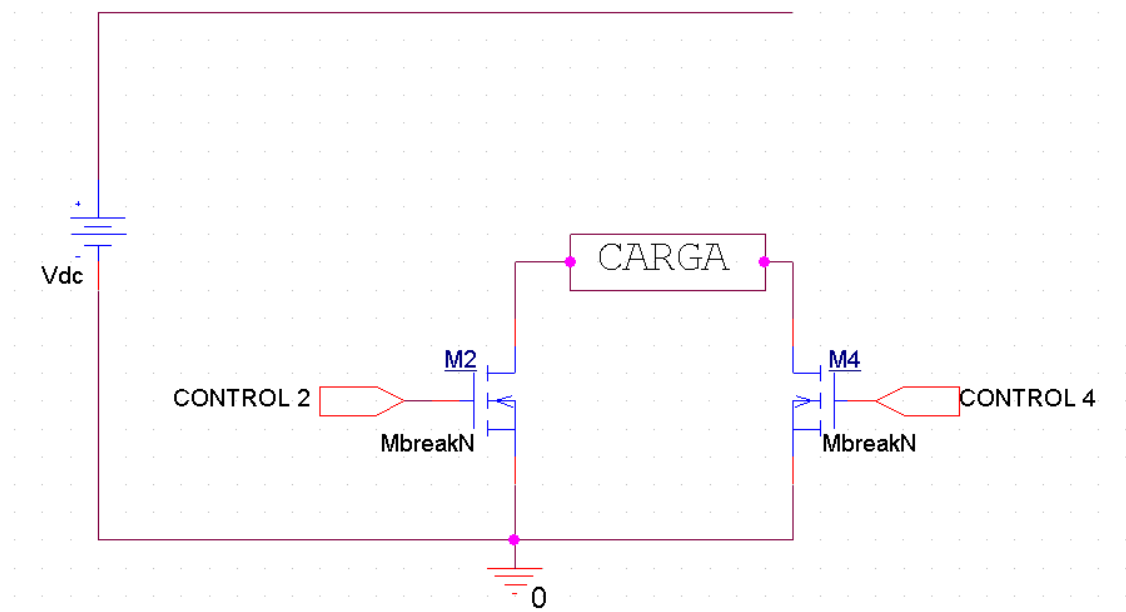


Figura 26: Tensión del inversor si conducen M_2 y M_4

En ambos casos se observa que la tensión de salida será de 0V.

3.1.2 Control de voltaje de los inversores monofásicos

En muchas aplicaciones industriales, a menudo es necesario controlar el voltaje de salida de los inversores para hacer frente a las variaciones de entrada de CD, para la regulación del voltaje de los inversores y para los requisitos de control constante del voltaje y la frecuencia. Existen varias técnicas para modificar la ganancia del inversor. El método más eficaz de controlar la ganancia y el voltaje de salida es incorporar en los inversores el control de modulación de ancho de pulso PWM. A continuación, se hará un resumen de las técnicas más comúnmente utilizadas.

- **Modulación de un solo ancho de pulso**

En este control existe un solo pulso por cada medio ciclo, el ancho del pulso se hace variar a fin de controlar el voltaje de salida del inversor. En la figura 27 se muestran la generación de las señales de excitación y el voltaje de salida para los inversores monofásicos en puente completo.

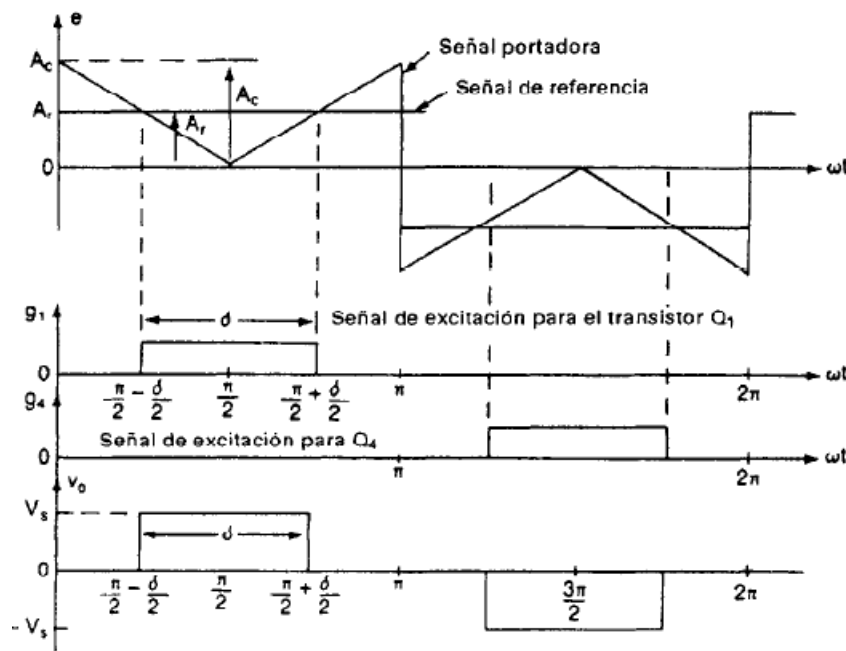


Figura 27: Modulación de un solo ancho de pulso

Las señales de excitación se generan comparando una señal rectangular de referencia de amplitud A_r , con una onda portadora triangular de amplitud A_c . La frecuencia de la señal de referencia determina la frecuencia fundamental del voltaje de salida.

- **Modulación de varios anchos de pulso**

Utilizando varios pulsos en cada medio ciclo de voltaje de salida puede reducirse el contenido armónico. La generación de señales de excitación para activar y desactivar los transistores mediante la comparación de la señal de referencia con una onda portadora triangular se muestra en la figura 28.

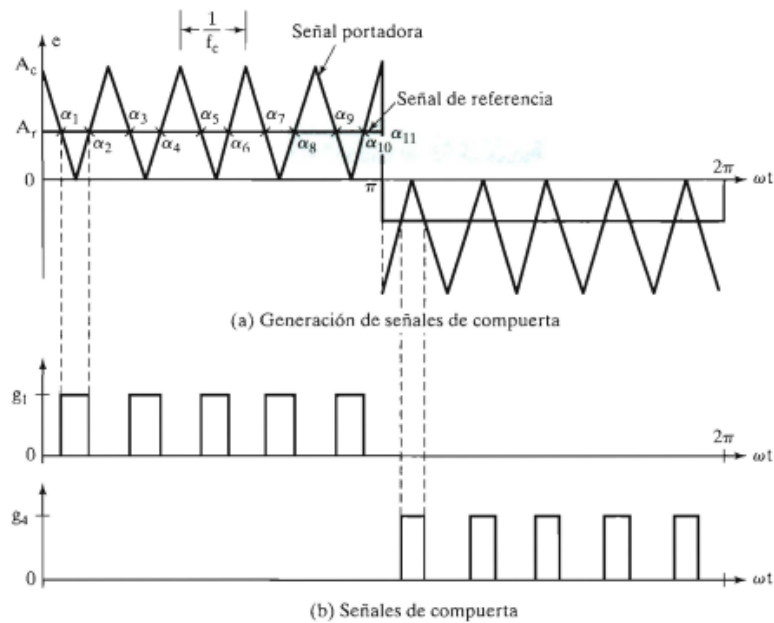


Figura 28: Señales de excitación de varios anchos de pulso

La frecuencia de la señal de referencia establece la frecuencia de salida f_0 , y la frecuencia de la portadora f_c , determina el número de pulsos por cada ciclo. El número de pulsos se determina a partir de:

$$m_f = \frac{f_{tri}}{f_0}$$

Donde m_f se define como la relación de modulación en frecuencia.

- **Modulación senoidal del ancho de pulso**

Esta modulación en vez de mantener igual el ancho de todos los pulsos, como en el caso anterior, el ancho de cada pulso varía en proporción con la amplitud de una onda senoidal evaluada en el centro del mismo pulso. El factor de distorsión y los armónicos de menor orden se reducen de forma significativa. Las señales en la puerta del transistor se generan al comparar una señal senoidal de referencia con una onda triangular de frecuencia f_c . La frecuencia de la señal de referencia f_r , determina la frecuencia de salida del inversor f_0 , y su amplitud de pico A_r controla el índice de modulación en amplitud m_a , y en consecuencia el voltaje eficaz de salida V_0 . En la figura 29 se muestra la generación de señales de control.

Este será el tipo de modulación que se use en este proyecto ya que como se ha mencionado, la distorsión armónica total se reduce de una forma muy significativa.

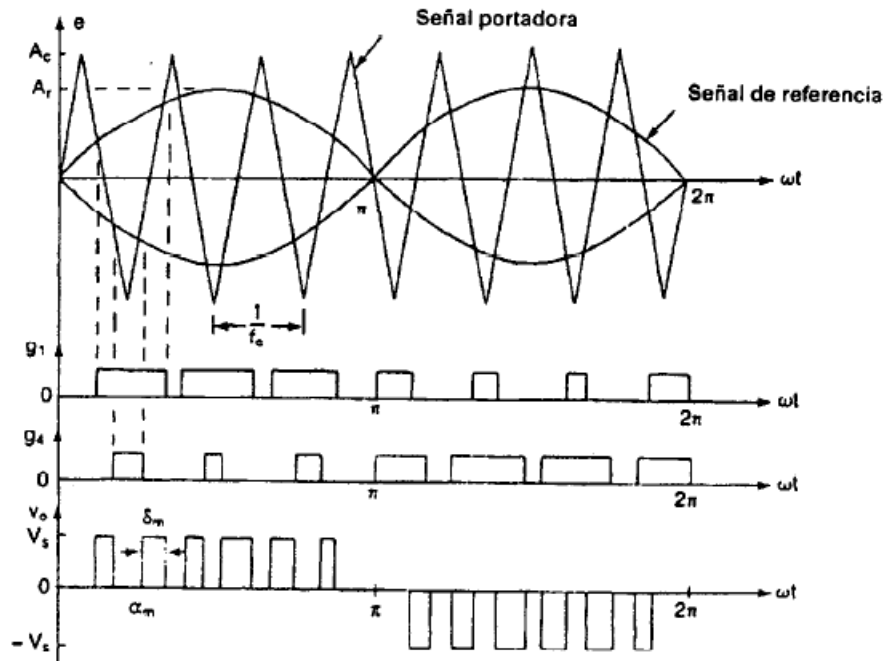


Figura 29: Señales de excitación de la modulación senoidal del ancho de pulso

Por otro lado, el voltaje de salida eficaz puede controlarse si se varía el índice de modulación de acuerdo con la siguiente expresión:

$$m_a = \frac{V_{sen}}{V_{tri}}$$

Donde m_a es el índice de modulación en amplitud.

3.1.3 Modulación de amplitud y de frecuencia

Antes de empezar con el diseño del inversor monofásico en puente, es necesario definir de forma más detallada y dando recomendaciones de funcionamiento tanto para la modulación en amplitud como en frecuencia.

Se define la modulación de amplitud como la relación de amplitudes de la señal senoidal y de la triangular (moduladora y portadora):

$$m_a = \frac{V_{sen}}{V_{tri}}$$

Además, se define la modulación de frecuencia como la relación entre las frecuencias de la señal triangular y la señal senoidal:

$$m_f = \frac{f_{tri}}{f_{sen}}$$

Con estos parámetros, se pueden establecer algunas reglas acerca de la tensión de salida, sus armónicos, etc.

1.- La amplitud del armónico fundamental de la tensión de salida es m_a veces la tensión de entrada.

Si se supone que la frecuencia de la señal triangular es lo suficientemente mayor que la frecuencia de la senoidal (m_f es elevado), se puede considerar sin error apreciable que la tensión de salida modulada es constante en cada ciclo, siendo su valor en estado alto V_e y cuando está en estado bajo $-V_e$. En estas condiciones, se puede establecer el valor medio de la tensión de salida:

$$\bar{V}_s = V_e; \quad \left(\frac{T_{on}}{T} - \frac{T_{off}}{T} \right) \longrightarrow V_e = \left(\frac{T_{on} - T_{off}}{T} \right)$$

y se demuestra, para un ciclo, que:

$$\frac{T_{on} - T_{off}}{T} = \frac{V_{sen}}{V_{tri}} = m_a$$

Por lo tanto, si se asume que la amplitud de la onda portadora es constante e inferior a la amplitud de la onda referencia (es decir $m_a < 1$), el único término variable de un ciclo a otro es la amplitud de la onda moduladora, la cual sigue una ley senoidal, con lo que se puede reescribir la fórmula inicial de manera que el valor del primer armónico de la tensión de salida toma como valor:

$$V_{armónico1} = \frac{V_{sen}}{V_{tri}} sen(wt)V_e \longrightarrow m_a sen(wt)V_e$$

Siendo w la pulsación de la onda senoidal de referencia, con lo cual se puede decir que la amplitud del primer armónico de salida es m_a veces la amplitud de la tensión de entrada.

2.- Los armónicos de la tensión de salida aparecen en la frecuencia de conmutación y sus múltiplos. Este aspecto es válido para valores de $m_f > 9$, lo cual se puede tomar como cierto siempre, salvo en casos excepcionales de muy elevada potencia. Para el caso general, puede decirse que la amplitud de los distintos armónicos es prácticamente independiente del parámetro m_f .

3.- El parámetro m_f debe de ser un entero impar, de esta manera, se obtiene una simetría impar además de una simetría de media onda.

- **Recomendaciones para los valores m_a y m_f**

La mayoría de los autores fijan el valor de 21 como frontera para que el valor de este parámetro pueda considerarse elevado o bajo.

Se pueden suministrar recomendaciones según el valor de este parámetro (asumiendo $m_a < 1$):

- $m_f < 21$

1.- Las señales senoidales y triangular deben estar sincronizadas, lo cual requiere obligatoriamente que m_f sea un valor entero. La razón hay que buscarla en que, para el caso de trabajar con ambas señales desincronizadas, la señal de salida tendría subarmónicos, lo cual es claramente indeseable. Por tanto, si la tensión de salida tiene que modificar su frecuencia, la señal triangular también tiene que cambiar.

2.- Tiene que ser un valor impar, con el objeto de aprovechar la simetría de la forma de onda.

3.- Las pendientes de las señales V_{sen} y V_{tri} deben de tener polaridades opuestas y coincidentes en su paso por cero. Este aspecto es particularmente importante para el caso de valores bajos de m_f .

- $m_f > 21$

Las amplitudes de los subarmónicos que pueden generarse al emplear PWM asíncrono son despreciables. Por tanto, si el valor de m_f es elevado, se puede fijar la frecuencia de la señal triangular y variar la frecuencia de la señal senoidal. Sin embargo, si la carga a manejar es un motor, no debe de emplearse el modo asíncrono, ya que, aunque los armónicos de baja frecuencia son de baja amplitud, pueden generarse corrientes de elevado valor y claramente indeseables.

En este trabajo los valores de m_f con los que se va a trabajar en el inversor monofásico unipolar en puente completo siempre serán iguales o inferiores a 21.

- $m_a < 1$

Para el parámetro m_a , se ha considerado que es siempre menor que la unidad, si este parámetro es mayor que la unidad, estaremos en la situación denominada sobremodulación. En esta situación, si bien la amplitud del armónico fundamental se puede incrementar, se incrementan el número de armónicos en la salida y aparecen a frecuencias menores. Por tanto, para este proyecto siempre se va a trabajar con valores de m_a iguales o menores que la unidad.

3.2 Estructura general del hardware

En este apartado se va a mostrar el esquema de bloques general del sistema al completo, en el cual se observa que el sistema va a ser autónomo y no necesitará fuentes externas a parte de la fuente de alimentación general de 5V de corriente continua y con mucha potencia para poder alimentar perfectamente a todos los elementos necesarios.

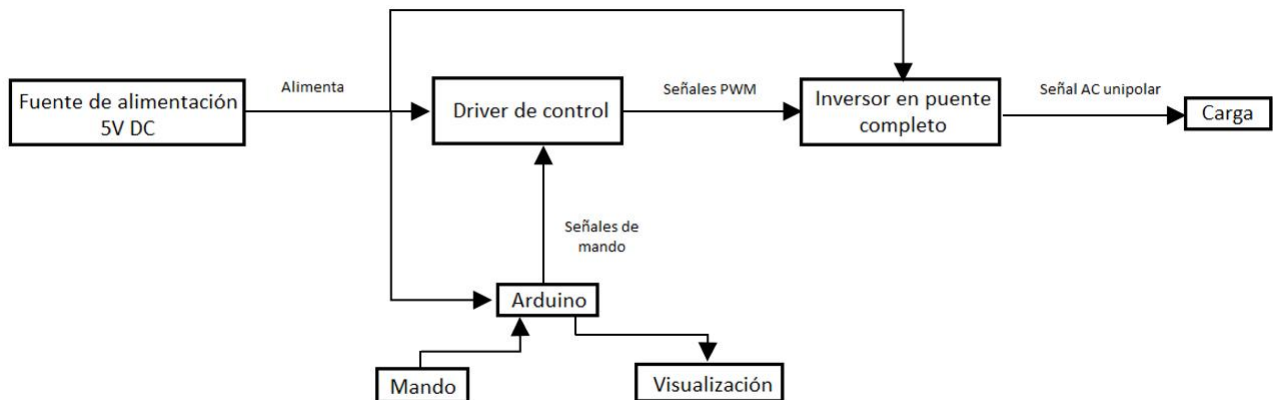


Figura 30: Esquema de bloques del sistema al completo

En el esquema de la figura 30 se puede ver que la alimentación de la fuente general de 5V DC va destinada a cuatro sitios distintos, el primero es al driver de control, el segundo es a la alimentación para que Arduino pueda funcionar, y por último va destinado al propio inversor en puente completo.

A continuación, se tiene el driver de control al cual le llegan dos señales distintas, una de ellas es de la fuente de alimentación en DC para su correcto funcionamiento, en el apartado destinado al controlador se verá con más detalle cómo se tratará esta señal para su correcto funcionamiento. La otra señal proviene de Arduino y será digital, servirá para controlar medio puente del inversor y, por tanto, se necesitarán dos señales de control para poder gobernar el puente completo. Por último, el driver de control envía dos señales PWM digitales al inversor en puente completo.

Una vez le lleguen las señales PWM al inversor, este las transformará en una señal unipolar semejante a una senoidal que enviará a la carga que se le conecte.

Por otro lado, Arduino tiene como entrada la alimentación de 5V DC y al circuito de mando. Y tiene dos salidas, el circuito de visualización que mostrará los valores de tensión y frecuencia de salida, y el driver de control del inversor.

3.2.1 Circuito de potencia y cálculo de componentes

El bloque de potencia será el corazón del sistema. Su objetivo principal es generar una señal unipolar a partir de la señal de continua. Esta señal tendría la amplitud de la fuente de DC si no existieran pérdidas en el circuito.

Anteriormente se ha descrito el funcionamiento del inversor unipolar monofásico en puente completo, pero en los siguientes apartados se van a ver con detalle cada componente que lo forma. En la figura 31 se muestra la estructura básica que formará el circuito de potencia.

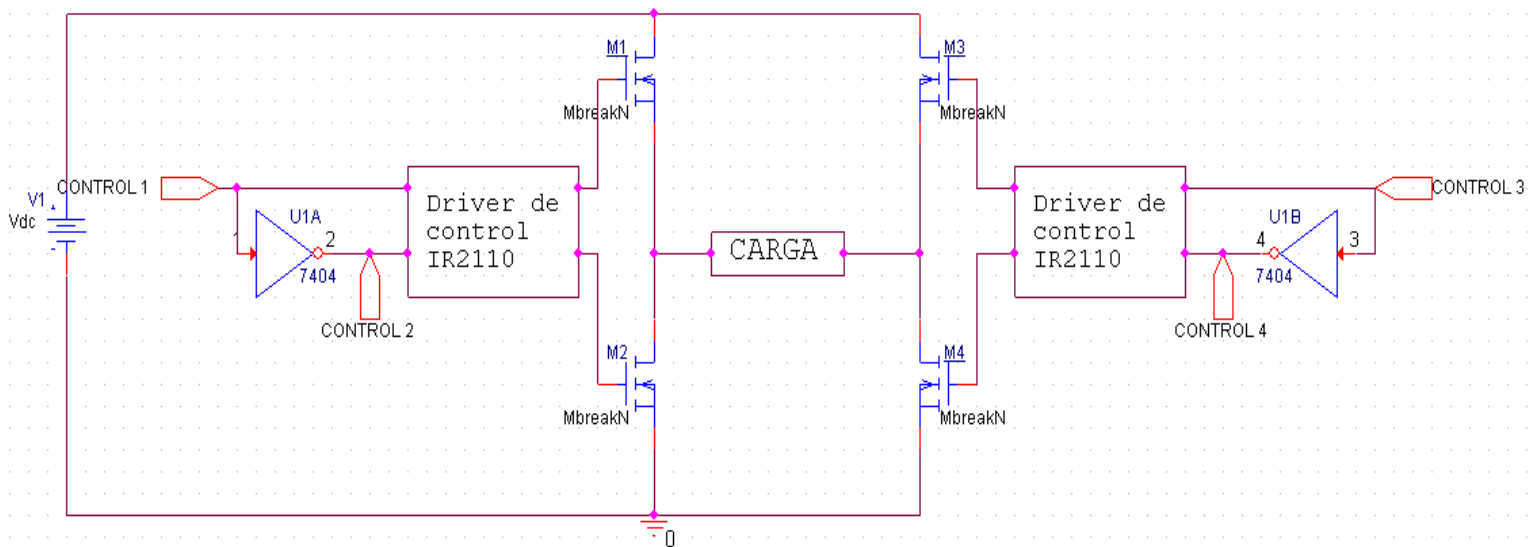


Figura 31: Inversor monofásico en puente completo

El inversor en puente completo consta de los siguientes elementos:

- Tensión de entrada: Será la correspondiente a la tensión de alimentación suministrada por la fuente de alimentación de 5V DC.
- Cuatro transistores: Se elegirán transistores mosfet de potencia, el modelo se seleccionará según las prestaciones que necesitemos en el circuito.
- Señales de control: Serán las encargadas de controlar y gobernar el puente. Las señales de *CONTROL 1* y *CONTROL 3* vendrán directamente desde Arduino UNO, para las otras dos señales de *CONTROL 2* y *CONTROL 4* se va a utilizar una puerta NOT 7404, que será la encargada de negar las señales que llegan desde Arduino para que el inversor funcione correctamente.
- Dos drivers de control IR2110: Cada uno controlará medio puente. En el apartado destinado al controlador se verán cada uno de los elementos que forman este componente para que funcione según nos dice el fabricante.
- Carga: Se realizarán dos análisis para la carga, el primero va a ser un análisis sin nada de carga, es decir, midiendo directamente con el voltímetro a la salida del inversor, y el segundo análisis se realizará mediante una carga RL la cual se calculará para que la corriente de salida sea aproximadamente de 1A.

Antes de comenzar a elegir los componentes y dar valor a algunos de ellos, se tiene que tener en cuenta las limitaciones del circuito:

- Tensión de entrada: 5V DC
- Rango de tensión de salida máxima del puente: $\pm 5V$ AC
- Corriente máxima: 1A

El rango de tensión de salida es el ideal y sin pérdidas en el circuito, en las simulaciones que se van a realizar se va a comprobar si es posible alcanzar dichos valores, de esta forma se definirá el rango de tensión de salida real que se mostrará en el capítulo de las especificaciones.

3.2.1.1 Elección del transistor

Los transistores que se van a utilizar van a ser mosfet de potencia, en el mercado hay múltiples de modelos posibles y para seleccionar alguno de ellos, se seleccionará el que mejor responda en el circuito de potencial.

Partiendo de la base que estarán controlados desde Arduino que proporcionará una señal PWM que irá variando entre 0 y 5 voltios, debemos de buscar un mosfet que se adecue a esta tensión. Los mosfets en los que una tensión tan baja es suficiente para que la corriente drenador-surtidor sea lo suficientemente alta como para que funcionen de forma correcta se denominan mosfets de nivel lógico.

Para seleccionar correctamente el transistor se tiene que tener en cuenta la tensión umbral mínima ($V_{th\ min}$), que es la mínima tensión a partir de la cual empieza a conducir el mosfet, y la tensión drenador-surtidor máxima ($V_{DS\ max}$), la cual no se debe sobrepasar porque si no el transistor se estropeará.

La tensión drenador surtidor de nuestros mosfets de potencia es de $\pm 5V$, y la tensión umbral debe de estar en un valor promedio entre 0 y 5 voltios que serán los que alimenten a la puerta de los transistores.

Con estos datos se puede comprobar los mosfets que hay disponibles en el mercado y el elegido será el mosfet de nivel lógico **IRL540N** el cual tiene las siguientes características:

	Símbolo	Valor
Continuos Drain Current	I_D	36A
Static Drain to Suorce Resistance	$R_{DS\ ON}$	0.05 Ω
Gate to Source Voltage	V_{GS}	$\pm 16V$
Peak Diode Recovery dv/dt	dv/dt	5V/ns
Avalanche Current	I_{AR}	18A
Gate to Drain Charge	Q_g	74nC
Power Disipation	P_D	140W
Operating Junction	T_J	-55 to + 175 °C
Rise Time	t_r	81ns
Turn-On Delay Time	$t_{d(on)}$	11ns
Turn-Off Delay Time	$t_{d(off)}$	39ns
Fall Time	t_f	62ns

3.2.1.2 Elección del tipo de diodo

La misión de los diodos en el puente completo será la de redireccionar la corriente reactiva hacia la fuente de DC permitiendo mantener una corriente constante y previniendo el calentamiento de los transistores. Estos diodos irán en paralelo con las resistencias que unen las patillas de salida del driver y los MOSFETs de potencia IRL540N. En la figura 32 se detalla con más claridad esta estructura. En la parte derecha iría la otra mitad del puente completo que sería exactamente igual a la mostrada.

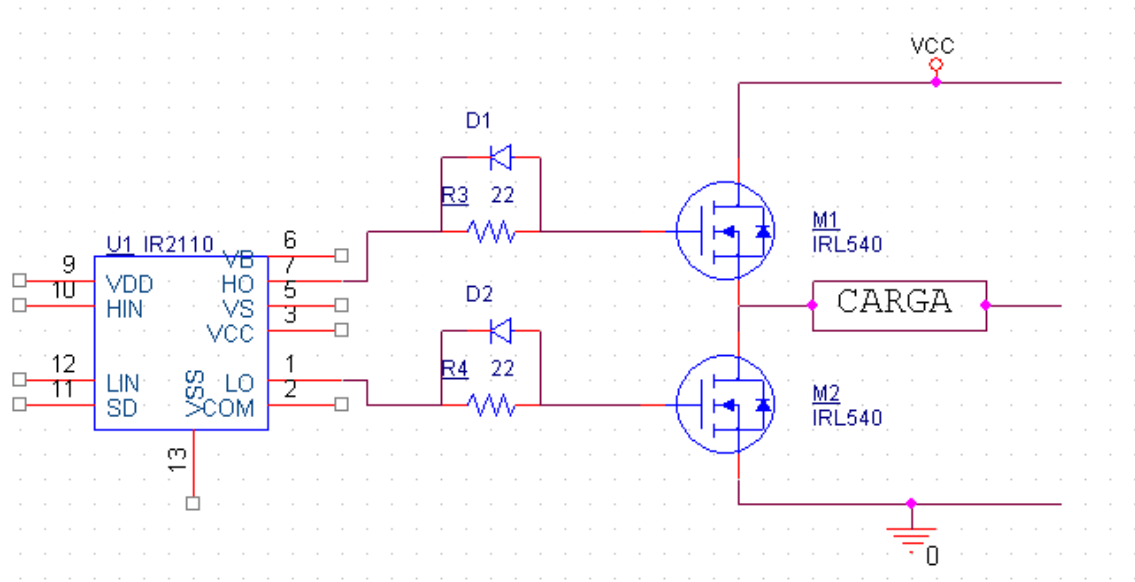


Figura 32: Estructura de la unión entre el driver y el puente

La tensión máxima que van a tener que soportar los diodos es de 5V y una corriente máxima de 1A. Se va a elegir la familia de diodos 1N400X, y dentro de esta se van a comparar sus modelos. Esta comparación se puede ver en la siguiente tabla:

	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007
Max. Recurrent peal reverse voltaje (V)	50	100	200	400	600	800	1000
Max. RMS voltaje (V)	35	70	140	280	420	560	700
MAX. DC blocking voltaje (V)	50	100	200	400	600	800	1000
Max. Reverse current at rated DC blocking voltaje (A)	$T_A = 25^{\circ}C$ $T_A = 25^{\circ}C$ → 5 → 50						
Peak forward surge current (A)	40						

Con esta tabla se puede ver que toda la familia cumple los requisitos, ya que no son muy restrictivos, y por tanto sería suficiente con el diodo **1N4001**

3.2.2 Circuito de control

3.2.2.1 Driver de control del MOSFET

Las principales razones de necesitar algún driver de control es que primero, hay que gobernar los transistores de potencia y la segunda es que en el puente completo aparecen unos nodos conectados a tierra flotante, esto es, que estos puntos no están directamente conectados a masa. Además, como la corriente máxima que puede suministrar Arduino UNO es de 40mA en cada una de sus salidas analógicas, siendo 20mA el máximo recomendable, en el caso de que se conecte el inversor antes de que se ejecute el programa desde Arduino UNO puede que haya problemas en la puerta de los mosfets, como tensiones flotantes en las que se pueda dañar algún elemento del circuito.

El driver seleccionado será el **IR2110**, se trata de un controlador mosfet e IGBT de alta tensión y alta velocidad con canales de salida independientes con señal de lado alto y bajo. Los controladores de salida cuentan con una etapa buffer y con pulso alto diseñado para la conducción mínima del conductor transversal. La figura 33 muestra el patillaje de este driver.

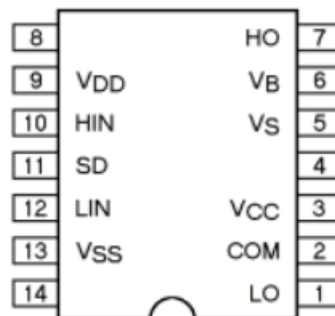


Figura 33: Driver de control IR2110

Algunas de sus principales características son:

- Es totalmente operativo a +500V o +600V
- Compatible con el nivel lógico de 3.3V
- Entradas CMOS con disparador Schmitt y pull-down
- Rango de conducción de puerta entre 10 y 20 V
- Retardo de entrada de 120ns
- Retardo de salida de 94ns
- Se suele utilizar para el control de motores.

La forma con la que se va a utilizar este driver será para controlar dos de los cuatro transistores que forman el puente, por tanto, se van a utilizar dos drivers IR2110 para este proyecto.

Si se observa el datasheet del fabricante, este controlador ya tiene una estructura básica para su montaje en medio puente que se observa en la figura 34. En este proyecto como se tiene un puente completo habrá que adaptar esta estructura.

Typical Connection

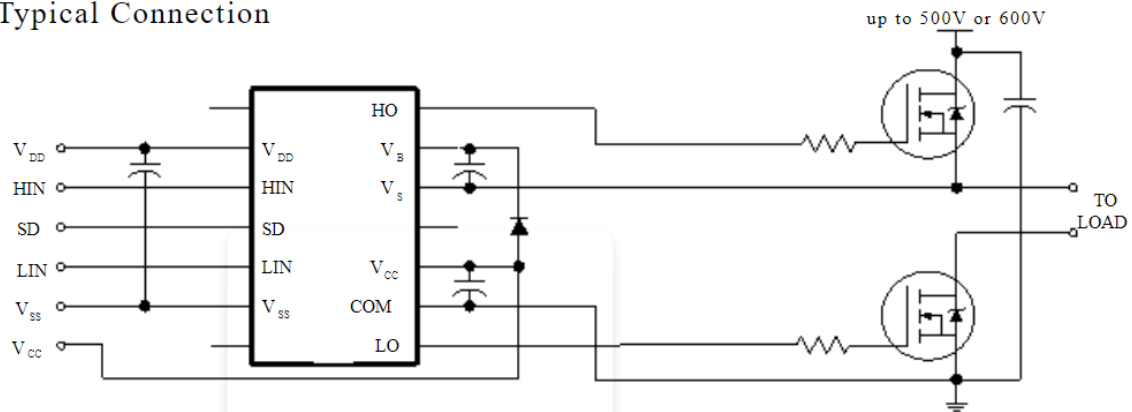


Figura 34: Conexión para el driver en medio puente

A partir de esta referencia del fabricante se va a proceder al montaje y análisis del inversor en los siguientes apartados.

3.2.3.2 Valor de las resistencias

Según se ha visto en la figura 35 de la conexión del driver, es necesario poner una resistencia entre las patillas de salida del driver de control y el transistor. Estas resistencias son necesarias para reducir la corriente y proteger a los pines del driver que controlan a los transistores.

En los mosfets la selección de la resistencia es un tanto crítica, ya que la puerta de estos transistores actúa parecido a un condensador y al juntarse con la resistencia crea un filtro paso bajo. Por tanto, la resistencia debe ser lo suficientemente baja como para permitir que el mosfet cambie lo suficientemente rápido sus señales, pero también tiene que ser lo suficientemente alta como para que la corriente no ponga en peligro los pines del controlador.

En las hojas de características del IR2110, el fabricante dice algunos valores de resistencia posibles, que van desde los 10Ω hasta los 33Ω . El valor que se ha elegido para este proyecto es de resistencias de **22Ω** . Con este valor no habrá ningún problema para el funcionamiento del inversor y se cumplirán los requisitos expuestos.

3.2.2.3 Valor de los condensadores en el driver

Al igual que las resistencias que se han expuesto con anterioridad, el fabricante del driver incluye unos condensadores en el montaje del controlador que son necesarios para su funcionamiento. En la figura 35 se ven la distribución de estos condensadores.

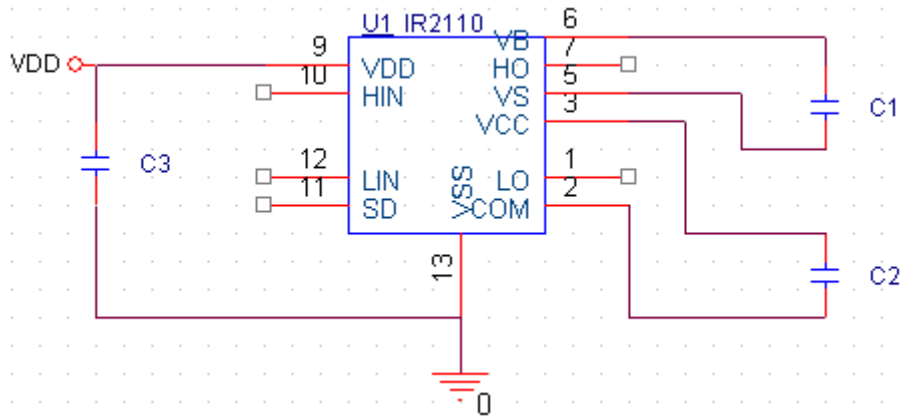


Figura 35: Condensadores que componen al driver

A continuación, se van a realizar los cálculos de estos condensadores, pero hay que tener en cuenta los valores en las hojas de características de los transistores utilizados, ya que harán falta para este cálculo. Estos valores son los siguientes:

- $Q_g = 15 \text{ nC}$
- $I_{qbs(\text{max})} = 230 \text{ }\mu\text{A}$
- $Q_{ls} = 5 \text{ nC}$

Para el cálculo de los condensadores C_1 y C_2 , primero hay que calcular la corriente mínima que tiene que pasar por estos condensadores.

$$I_{\min} = 2 \cdot Q_g + \frac{I_{qbs(\text{max})}}{\text{Frecuencia}} + Q_{ls} + \frac{I_{cbs(\text{leak})}}{\text{Frecuencia}}$$

En esta expresión el término de la derecha se puede despreciar ya que solo se tiene en cuenta para condensadores de grandes capacidades, además la frecuencia será de 100Hz puesto que será la frecuencia máxima que va a trabajar el inversor. Por tanto, sustituyendo valores quedaría como:

$$I_{\min} = 2 \cdot 15 \cdot 10^{-9} + \frac{230 \cdot 10^{-6}}{100} + 5 \cdot 10^{-9} = 2.335 \cdot 10^{-6} \text{ A}$$

Una vez calculado esto, se puede saber el valor de los condensadores a partir de la siguiente expresión:

$$C_1 = C_2 = \frac{2 \cdot \left(2 \cdot Q_g + \frac{I_{qbs(\text{max})}}{\text{Frecuencia}} + Q_{ls} + \frac{I_{cbs(\text{leak})}}{\text{Frecuencia}} \right)}{V_{CC} - V_f - V_{\min}} = \frac{2 \cdot I_{\min}}{V_{CC} - V_f - V_{\min}}$$

Donde V_{CC} es la tensión de alimentación que serán 5V, V_f es la tensión máxima directa instantánea de los diodos utilizados, en las hojas de características se puede ver que es 1V, y $V_{\min}$ es la tensión mínima del inversor que será de 0V. Finalmente quedaría como:

$$C_1 = C_2 = \frac{2 \cdot 2.335 \cdot 10^{-6}}{5 - 1} = 1.167 \cdot 10^{-6} \text{ F}$$

Como esto no es un valor comercial, se aproximará al valor por encima del resultado y se puede concluir que $C_1 = C_2 = 1.2 \mu F$

La función principal del condensador C_3 es la de estabilizar la tensión de entrada de alimentación del driver, puesto que viene de una fuente de tensión principal de 5V DC ya estabilizada, este condensador no será necesario en este proyecto.

3.2.3 Fuente de alimentación

Para este proyecto el circuito de alimentación tiene que dar energía al driver de control, al inversor en puente completo y a la placa de Arduino UNO, la tensión que se proporcione a estos elementos no deberá de tener cambios y además siempre será en corriente continua.

Con respecto al driver, en las hojas de características del fabricante se puede observar que tiene que ser alimentado por dos patillas, la de VDD que corresponde a la patilla 9 y la de VCC que corresponde a la patilla 3 del driver. Para VDD, que es la entrada de voltaje lógico la alimentación será de 5V, y para VCC que es el voltaje positivo para el alto voltaje tendrá que estar entre 10V y 20V para que el driver funcione de forma correcta. Por tanto, se tendrán que tener dos entradas de tensión, una de 5V y otra que esté en el rango de funcionamiento del controlador.

Por otra parte, Arduino se tiene que alimentar con 5V DC al igual que la patilla 9 del driver.

Como se necesitan dos entradas de alimentación a distinto voltaje, lo que se va a hacer en este proyecto es que a partir de una fuente de alimentación de 5V DC se elevará la tensión hasta estar en el rango de funcionamiento del driver deseado. Para ello se va a utilizar el oscilador 555 y mediante el circuito de la figura 36 se doblará el valor de la tensión de entrada teniendo a la salida 10V.

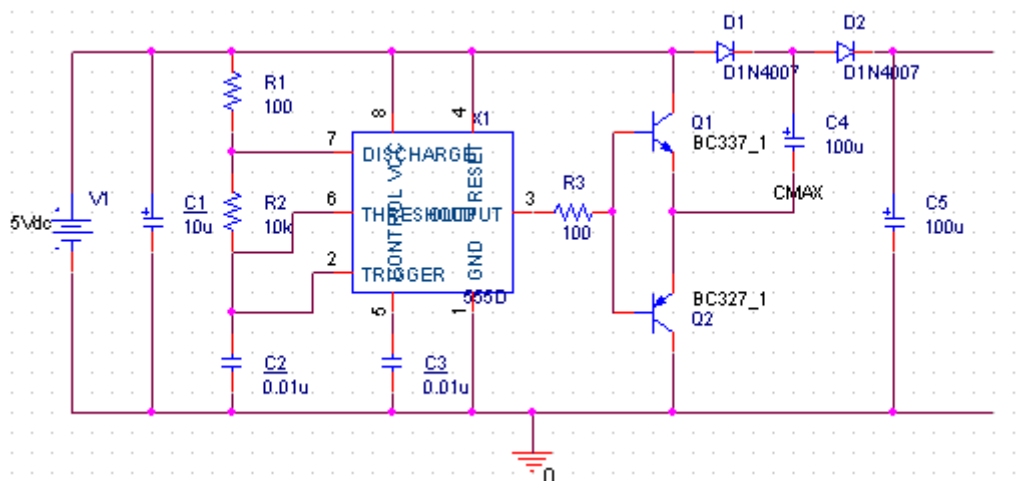


Figura 36: Multiplicador de tensión

Como hay diversos elementos dentro de este montaje como resistencias, diodos, condensadores y transistores, existirán una serie de pérdidas de tensión que hagan que el valor de tensión de salida no sea el deseado y esté por debajo de los 10V, por tanto, el driver no estaría en su rango de tensión de funcionamiento.

Lo que se va a hacer es multiplicar de nuevo la tensión que se tiene a la salida de este montaje, de manera que así se va a conseguir estar entre los 10V y 20V que el driver necesita para su funcionamiento. La figura 37 muestra el esquema final del circuito de alimentación.

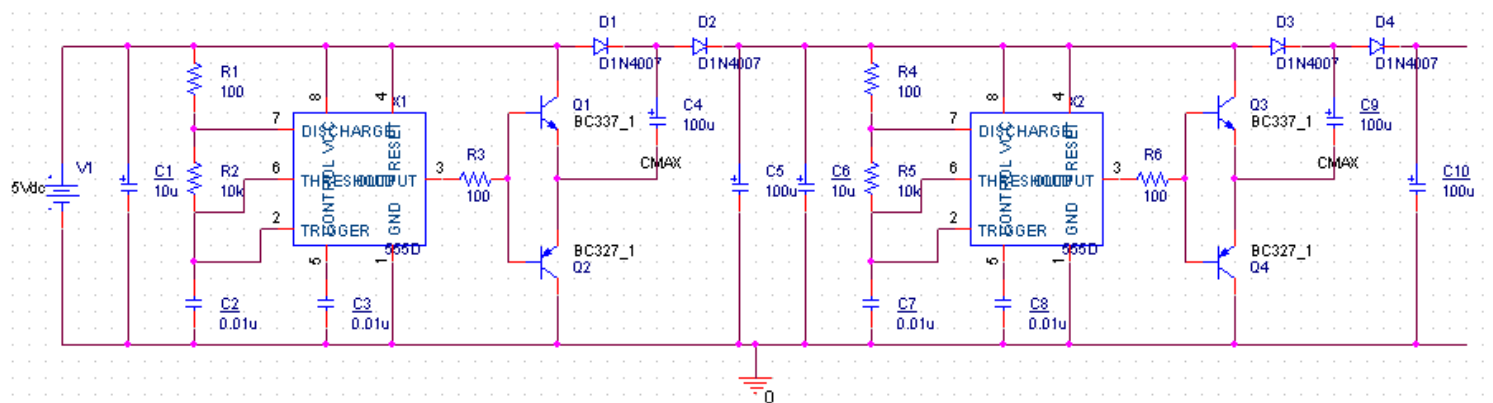


Figura 37: Multiplicador de tensión utilizado

Si se mide la tensión de salida de este multiplicador de tensión, se obtiene que proporciona una tensión de unos 12V DC lo que será más que suficiente para que el controlador funcione de forma correcta. La figura 38 muestra la tensión de salida del circuito.

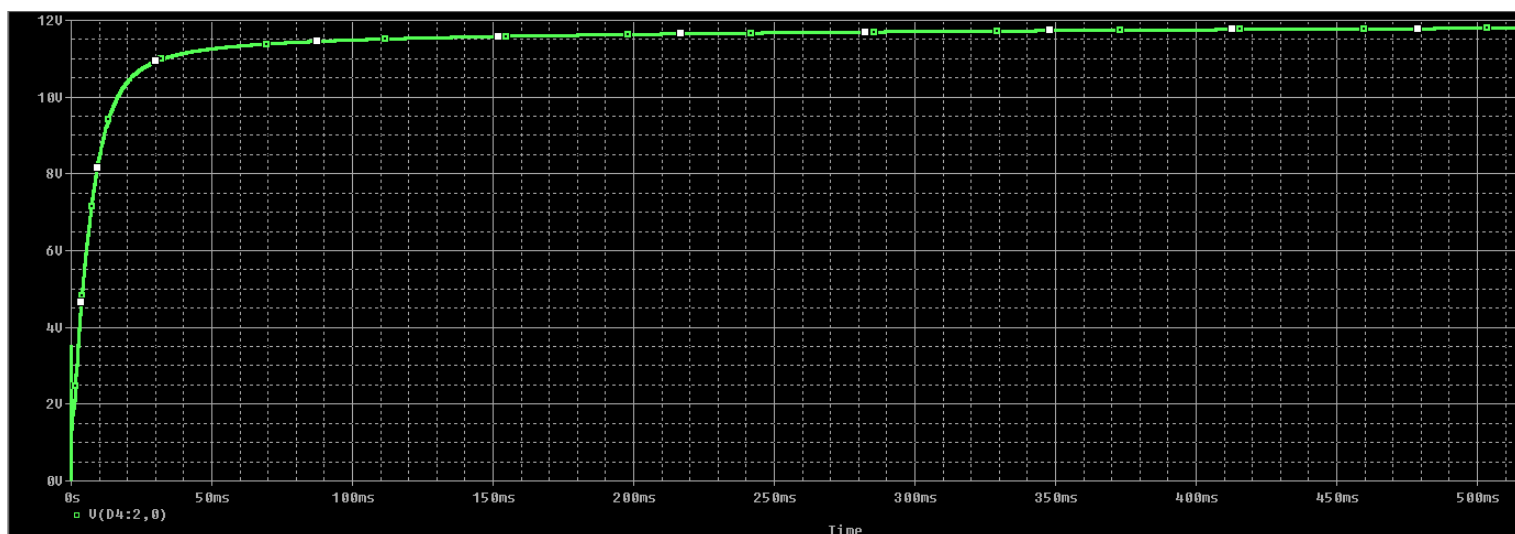


Figura 38: Tensión de salida del multiplicador de tensión

Aunque esta tensión de salida no es instantánea se puede ver que se alcanzan los 10V en menos de 20 milisegundos y que permanece prácticamente constante en los 12V en menos de 100 milisegundos. Por tanto, este será el circuito que alimente el driver de control a partir de una fuente de alimentación de 5V.

3.2.4 Cálculo de disipadores de calor

Para calcular si es necesario algún disipador de calor en alguno de los componentes que forman el inversor, 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 unión $T_{j,máx}$, la máxima temperatura ambiente $T_{a,máx}$ y la resistencia térmica unión-ambiente R_{ja} , se tiene la siguiente expresión:

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

Si el resultado de esta ecuación es superior a la potencia que disipará el componente del circuito, no hará falta disipador. En cambio, si el resultado de la ecuación es inferior que el calculado para el componente, sí habrá que utilizar un disipador de calor para ese componente.

El cálculo de la potencia disipada de cada componente se calcula con las hojas de características, y hay que tener en cuenta otros valores a parte de los de la ecuación expuesta anteriormente, 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 se está 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. Por lo tanto, con esta constante se asegura que el componente no se rompe por exceso de temperatura. Algunos valores orientativos del coeficiente de seguridad pueden ser:

- 0.5 para un diseño normal.
- 0.6 para economizar el tamaño del disipador.
- 0.7 cuando haya una muy buena convección.

Primero hay que calcular la resistencia térmica del disipador, para ello se debe conocer previamente la potencia que disipará el componente mediante las ecuaciones correspondientes para el cálculo en el circuito.

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

Una vez se ha hecho esto, 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 proporcionado por el fabricante, se puede calcular la potencia máxima que el componente más el disipador pueden disipar.

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

3.2.4.1 Disipador térmico para el controlador IR2110

En este punto se va a comprobar si es necesario poner un disipador térmico al controlador que regula el inversor monofásico. Primero hay que mirar la potencia máxima que puede suministrar el driver según el fabricante, y es de 1.6W, en principio se va a suponer que el dispositivo va a suministrar la corriente máxima, es decir, 1A.

Se hace el cálculo de la potencia que es capaz de disipar el driver sin disipador.

$$P_{disipada} = \frac{T_{j,máx} - T_{a,máx}}{R_{ja}} = \frac{150^{\circ}C - 25^{\circ}C}{75^{\circ}C/W} = 1.66W$$

Con el resultado de esta ecuación se puede comprobar que no hace falta añadir un disipador de calor para el driver de control, ya que la potencia disipada del componente es mayor que la que hay en las hojas de características del componente.

3.2.4.2 Disipador térmico para el LM555

Después de comprobar que el driver no necesita disipador, se va a hacer lo mismo para el LM555 que es parte del circuito de alimentación del inversor. Para ello hay que empezar igual que en el caso anterior y mirar la potencia máxima que puede suministrar este componente según el fabricante, y es de 600mW.

Se hace el cálculo de la potencia que es capaz de disipar el LM555 sin disipador.

$$P_{disipada} = \frac{T_{j,máx} - T_{a,máx}}{R_{ja}} = \frac{70^{\circ}C - 25^{\circ}C}{170^{\circ}C/W} = 0.2647W$$

Con este cálculo se comprueba que está por encima de la potencia que tiene que disipar, por lo que hay que calcular la resistencia térmica necesaria para el disipador que se seleccionará.

$$R_{disipada} = \frac{T_{j,máx} - T_{a,máx}}{P} - (R_{jc} + R_{cs}) = \frac{70^{\circ}C - 25^{\circ}C}{0.6W} - (55 + 0.5)^{\circ}C/W = 19.5^{\circ}C/W$$

Una vez que se ha calculado la resistencia térmica del disipador, se tiene que elegir un disipador comercial. En este caso no se tiene un disipador con esta resistencia térmica, por lo tanto, se tiene que elegir una más pequeña que la calculada, en este caso tendrá un valor de $R_{disipada} = 19^{\circ}C/W$.

Ahora se puede ver la potencia máxima del LM555 junto con el disipador térmico

$$P_{disipada} = \frac{T_{j,máx} - T_{a,máx}}{R_{jc} + R_{cs} + R_{disipada}} = \frac{70^{\circ}C - 25^{\circ}C}{55^{\circ}C/W + 0.5^{\circ}C/W + 19^{\circ}C/W} = 0.61W$$

3.2.4.3 Disipador térmico para el transistor Mosfet IRL540

El último dispositivo que hay que comprobar si necesita regulador térmico, serán los transistores mosfets de potencia IRL540 empleados en el puente completo del inversor. Al igual que en los casos anteriores, primero hay que saber que los transistores mosfets en nuestro inversor van a disipar un máximo de 5W.

Por tanto, la potencia máxima que es capaz de disipar el transistor sin ayuda de ningún disipador es de:

$$P_{disipada} = \frac{T_{j,máx} - T_{a,máx}}{R_{ja}} = \frac{175^{\circ}C - 25^{\circ}C}{62^{\circ}C/W} = 2.42W$$

Como la potencia máxima que va a disipar el transistor en el inversor monofásico es mayor que la potencia que puede disipar el mosfet sin disipador, será necesario ponerle un disipador térmico. Por lo tanto, hay que calcular la resistencia térmica mínima necesaria teniendo en cuenta que se va a considerar un valor de coeficiente de seguridad igual a $k=0.5$

$$R_{disipada} = \frac{k \cdot T_{j,máx} - T_{a,máx}}{P} - (R_{jc} + R_{cs}) = \frac{0.5 \cdot 175^{\circ}C - 25^{\circ}C}{5W} - (1 + 0.5)^{\circ}C/W$$

$$R_{disipada} = 12.5^{\circ}C/W$$

Como sí hay disipadores comerciales con este valor, finalmente se hace el cálculo de la potencia máxima que el transistor mosfet más el disipador pueden disipar.

$$P_{disipada} = \frac{T_{j,máx} - T_{a,máx}}{R_{jc} + R_{cs} + R_{disipada}} = \frac{175^{\circ}C - 25^{\circ}C}{1^{\circ}C/W + 0.5^{\circ}C/W + 12.5^{\circ}C/W} = 10.7W$$

3.2.5 Circuito de mando y visualización

El circuito de mando consta de cuatro pulsadores para poder interactuar con Arduino Uno, y así poder variar cada uno de los parámetros de entrada al antojo del usuario que controle el inversor, además también tiene cuatro resistencias, las cuales se denominan pull-up y sirven para establecer la tensión fija de 5V cuando no se pulsa el pulsador, y una tensión de 0V cuando se pulsa. El valor de estas resistencias será de $R_{11} = R_{12} = R_{13} = R_{14} = 10k\Omega$.

En cuanto al circuito de visualización no es más que una pantalla LCD (*Liquid Crystal Display*) conectada directamente a la placa de Arduino UNO. La pantalla que se utilizará es de 16x2, esto significa que se pueden mostrar 16 caracteres en la primera fila y otros 16 en la segunda fila.

En la figura 39 se ven ambos circuitos conectados.

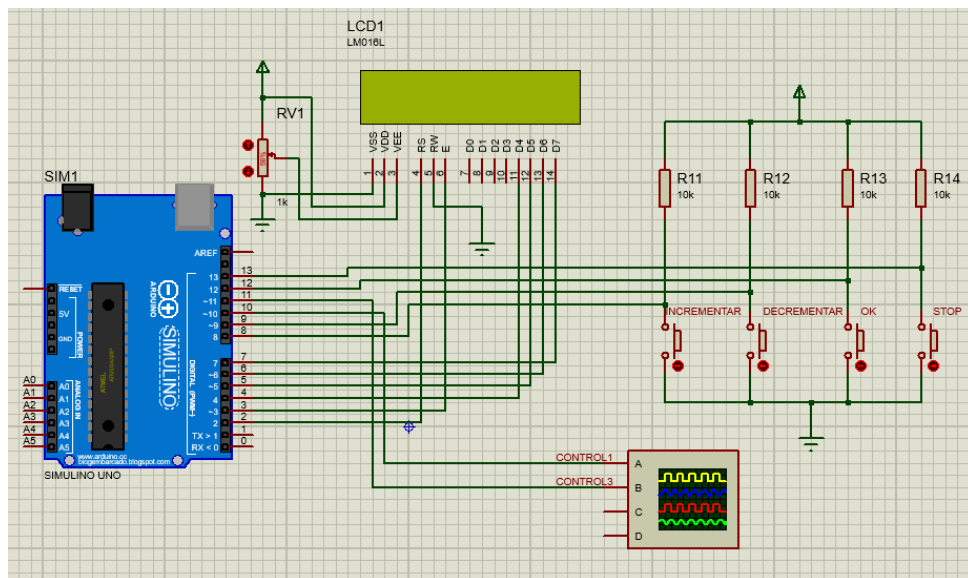


Figura 39: Circuito de mando y visualización

Se puede apreciar en la figura 39 que los pines digitales 2,3,4,5,6 y 7 de Arduino UNO se conectan directamente a los pines RS, E, D4, D5, D6 y D7 respectivamente de la pantalla LCD. Además, el pin RW de la pantalla se conectará a masa directamente. Por otro lado, se tiene la conexión entre la placa de Arduino UNO y el circuito de mando, para conectarlos se necesitan los pines digitales 8, 9, 12 y 13 de Arduino UNO que se conectan directamente a cada uno de los pulsadores que forman el circuito de mando.

Además de las conexiones entre la pantalla LCD y Arduino UNO, la pantalla necesita un potenciómetro para regular su brillo. Si este elemento no se pone los caracteres no se verán de forma correcta en la pantalla. El valor de este potenciómetro será de $R_{V1} = 1k\Omega$.

En el próximo capítulo se detallará el funcionamiento completo de toda la programación para el control del inversor monofásico en puente completo, pero antes es necesario explicar el funcionamiento de cada uno de los botones que forman el circuito de mando, así como los parámetros de entrada que controlan.

- **Incrementar y decrementar:** Se van a utilizar para dar valor a la frecuencia de entrada de las señales, la tensión de salida y la modulación en frecuencia. Cada uno de estos parámetros de entrada tendrá un rango de funcionamiento que no deberá de pasarse ni por arriba ni por debajo de este, además cada una de las variables se incrementará o decrementará específicamente. En la siguiente tabla se recoge el rango de funcionamiento y el incremento y decremento que tiene cada parámetro por separado.

	Rango	Incremento y decremento
Frecuencia de las señales	0 - 100 Hz	± 5 Hz
Tensión de salida	0.5 – 5 V	± 0.1 V
Modulación en frecuencia (m_f)	1 - 21	± 2 unidades

- **OK:** La función de este pulsador es de confirmar las acciones. Por ejemplo, cuando se elige algún parámetro de los anteriores descritos para pasar al siguiente habrá que pulsar este botón.
- **Stop:** Una vez se crean las señales PWM que controlan al inversor y empiece su funcionamiento, si se desea cambiar alguna o algunas de las variables que controlan estas señales (frecuencia, m_a o m_f), se tendrá que pulsar este botón para parar la simulación y de esta manera se podrán modificar.

Aunque en este apartado se ha explicado el funcionamiento de cada uno de los pulsadores que forman la botonera y como es la pantalla LCD que se va a utilizar, en los siguientes apartados se verá más claro el funcionamiento del circuito de mando y el circuito de visualización.

3.3 Programación

En este capítulo del proyecto se explicará el programa que utiliza Arduino UNO para poder controlar el circuito de potencia, el circuito de mando y el circuito de visualización.

Como se ha mencionado, la programación se realizará en el entorno de programación IDE de Arduino. Lo primero que hay que hacer cuando se empieza a escribir el código es incluir las bibliotecas que se van a utilizar en el proyecto. En este trabajo en particular se tiene que instalar la biblioteca que contiene las instrucciones de la pantalla LCD, dentro del manual de usuario se explicará la forma de descargarla e importarla al entorno de programación. Después de incluir las bibliotecas necesarias, hay que definir todas las variables que se usaran en el proyecto, seguidamente hay que entrar en la configuración del *setup*, el cual se muestra en la figura 40.

En la parte del *setup* del programa, lo primero que hay que hacer es inicializar el puerto serie de Arduino UNO, después hay que inicializar la pantalla LCD que se va a utilizar para más adelante configurarla con algún mensaje de inicio, esto asegurará de que todo ha ido correctamente. Por último, habrá que definir los pines digitales que se van a utilizar y declararlos si son de entrada o salida. Después de todo esto se entrará al programa que se ejecutará de modo continuo (*bucle loop*).

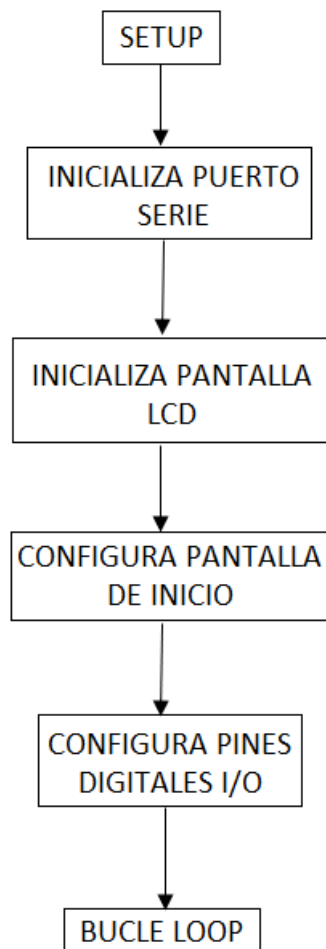


Figura 40: Bucle de configuración de Arduino

El *bucle loop* es el programa que se ejecuta continuamente en Arduino cuando está en funcionamiento. La figura 41 muestra el bucle que se realiza, aunque en esta figura se ha tratado de simplificar lo máximo posible el funcionamiento del programa para así poder comprenderlo de una forma más sencilla. Además, se va a añadir otro diagrama en la figura 42 para entender lo que hace el bloque que genera las señales PWM de CONTROL1 y CONTROL3 que gobiernan al inversor monofásico, de esta manera se aclara de una forma más visual el funcionamiento de este bloque. El programa completo se muestra en el apartado de Programas, el cual tiene anotaciones que hacen que se pueda entender paso por paso el mismo.

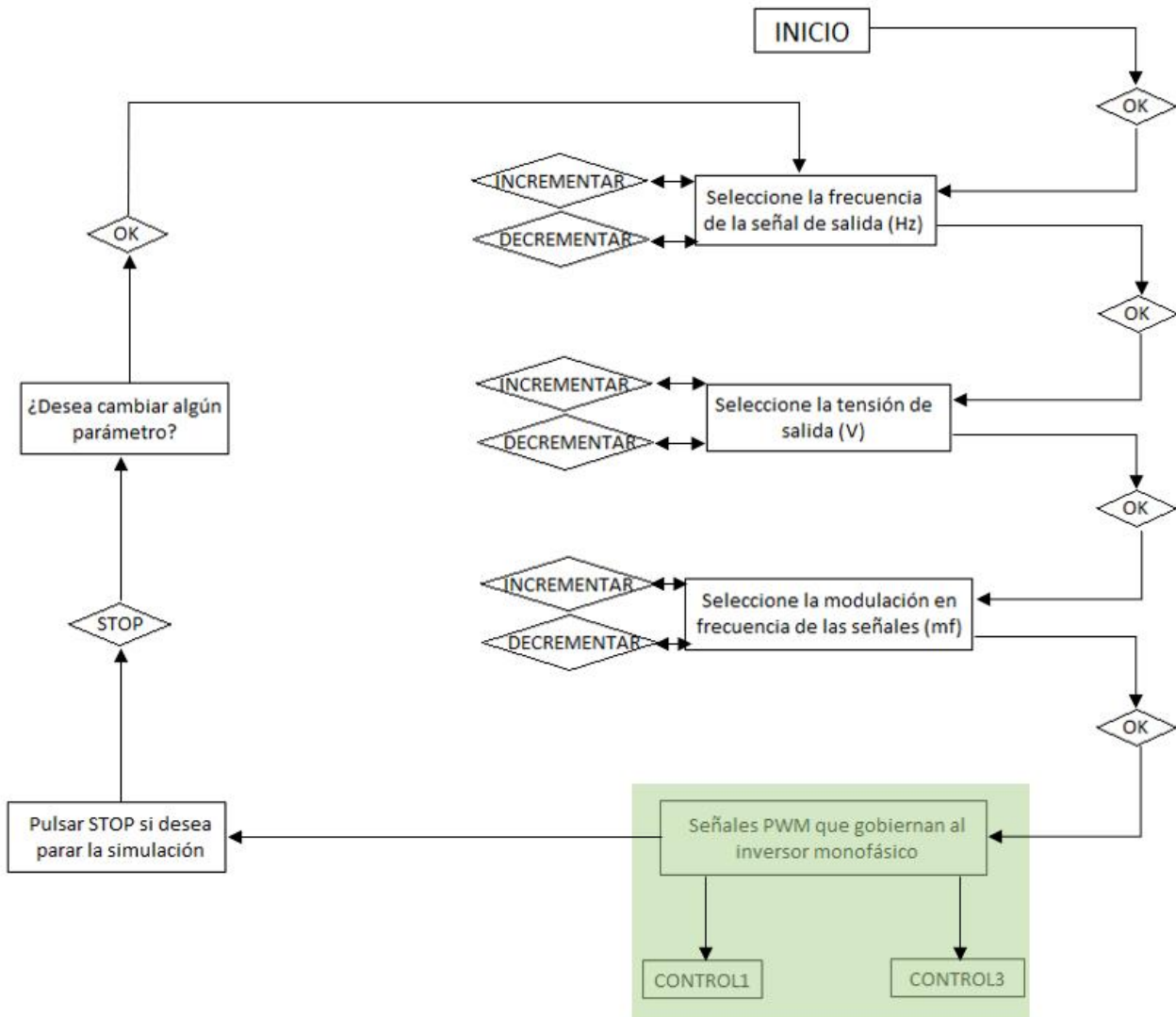


Figura 41: Bucle loop de Arduino

El *bucle loop* se inicia tras darle al pulsador OK, al usuario irá pidiendo que introduzca los valores de la frecuencia y tensión de la señal unipolar de salida, así como el valor de la modulación en frecuencia m_f que desee (para este valor, en el manual de usuario, hay una tabla con el fin de ayudar al usuario a elegirlo). Estas señales se podrán incrementar o decrementar según guste mediante los pulsadores INCREMENTAR Y DECREMENTAR, pero siempre teniendo en cuenta el rango de funcionamiento de cada parámetro. Para confirmar la acción de seleccionar una variable y pasar a la siguiente, se tendrá que pulsar de nuevo el botón OK.

Una vez seleccionados los parámetros de entrada del inversor, el bloque que genera las señales PWM será el encargado de transformar estos datos de entrada en las señales de CONTROL1 Y CONTROL3, que son las que se mandarán para el control del inversor monofásico en puente completo.

Si en algún momento el usuario decide de cambiar las señales de entrada por otras distintas, tendrá que pulsar el botón STOP, seguidamente le saldrá un mensaje en pantalla por si quiere cambiar alguna variable de entrada, si pulsa en OK, volverá al principio del ciclo.

Una vez descrito el *bucle loop*, se va a pasar a ver desde dentro el funcionamiento del bloque de las señales PWM que gobiernan al inversor monofásico. La figura 42 muestra un diagrama de su funcionamiento.

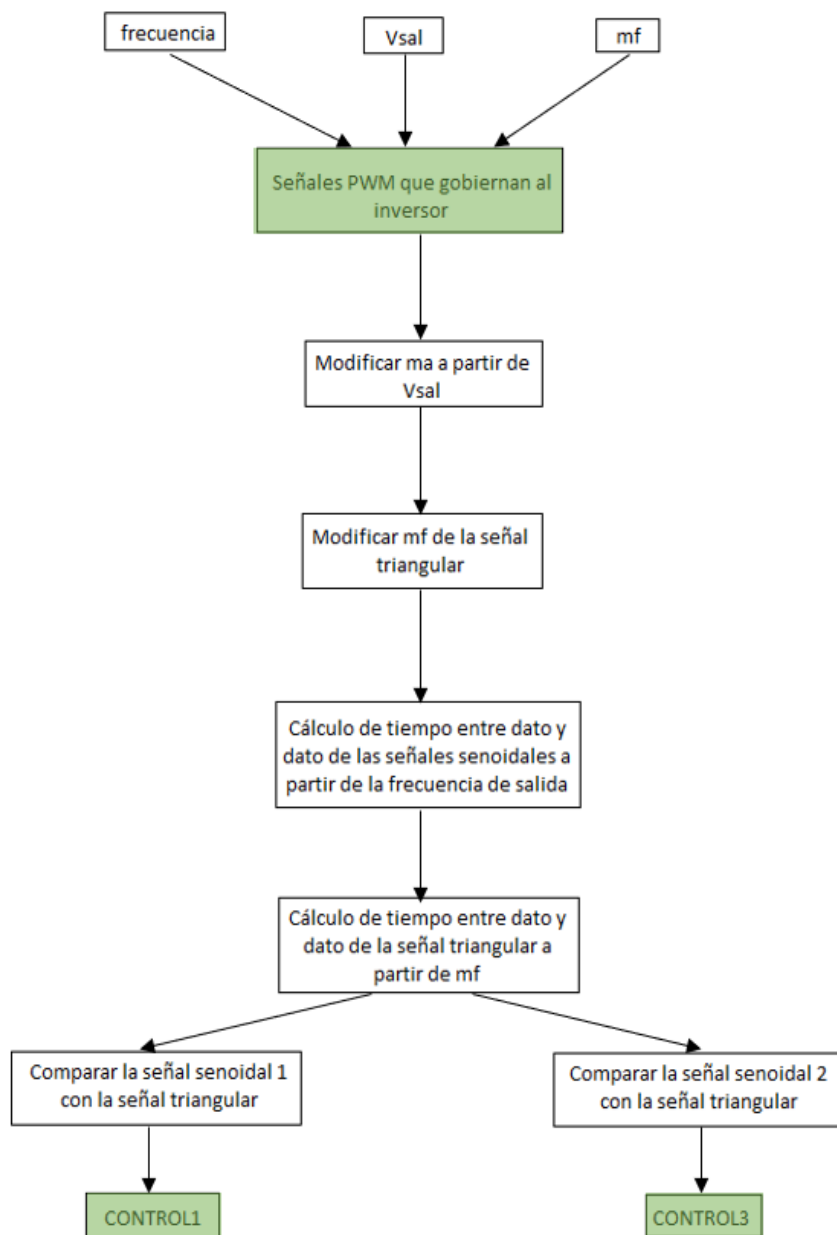


Figura 42: Generación de las señales PWM que gobiernan al inversor

En cuanto al bloque que genera las señales PWM de control que gobiernan al inversor monofásico, se puede ver que recibe como entradas los parámetros seleccionados por el usuario. Una vez que tiene estos datos, primero se pasa a modificar las amplitudes de las señales senoidales fijándose en la tensión de salida seleccionada, seguidamente modifica la modulación en frecuencia de la señal triangular teniendo en cuenta m_f . Cuando ya se tiene esto realizado se pasa a calcular el tiempo entre dato y dato, primero de las señales senoidales con ayuda de la frecuencia de entrada, para posteriormente calcular el de la señal triangular.

Cuando se han calculado todas las variables según los parámetros de entrada que el usuario ha introducido, ya se está en disposición de ir comparando primero la señal senoidal con la señal triangular para así obtener CONTROL1, y después la senoidal desfasada 180° con la triangular para así tener CONTROL3.

3.4 Placa de circuito impreso

El diseño de la placa de circuito impreso (PCB), ha sido realizado mediante el software de OrCAD PCB Editor, después de hacer el intento de realizar el diseño de las pistas sobre una misma cara, ha resultado imposible por la gran cantidad de elementos que componen el circuito, por tanto, finalmente se ha optado por el diseño de una placa de dos caras (una superior o Top, y una inferior o Bottom).

La figura 43 muestra el diseño completo de la placa de circuito impreso con las medidas externas, en esta imagen se muestran las pistas de la cara Top (pistas en verde) y las pistas de la cara Bottom (pistas en amarillo), además de la colocación de todos los componentes. En esta shield, Arduino se conecta por su parte superior, en la esquina superior derecha mediante los pines destinados a esta tarea. Entre los pines de conexión se encuentran los pulsadores que harán cambiar los valores además de la propia pantalla LCD para verlos.

Para el diseño de la anchura de las pistas se ha seguido como estándar la norma ANSI-IPC 2221. Con la siguiente ecuación se pueden obtener las anchuras de las pistas:

$$Ancho = \frac{\left(\frac{I}{k_1 \cdot \Delta T^{k_2}} \right)^{1/k_3}}{L \cdot 1.378}$$

Donde:

- I: Corriente máxima en amperios (A)
- ΔT : Incremento de temperatura máximo (°C)
- L: Grosor de la capa de cobre, en onzas por pie cuadrado (oz/ft^2). Para este proyecto $L = 0.0305mm = 0.8714 oz/ft^2$
- K1: Constante de 0.0150 para pistas internas y 0.0647 para pistas externas
- K2: Constante de 0.5453 para pistas internas y 0.4281 para pistas externas
- K3: Constante de 0.7349 para pistas internas y 0.6732 para pistas externas

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

La anchura de las pistas es el siguiente:

$$Ancho = \frac{\left(\frac{1}{0.0647 \cdot 15^{0.4281}}\right)^{1/0.6732}}{0.817 \cdot 1.378} = 8.689 \text{ mils} = 0.221 \text{ mm}$$

Para una mayor seguridad se eligen de un ancho de 0.5mm

En el capítulo de planos, se mostrarán los diferentes planos de las pistas para el diseño, los pads ed conexión, información de los taladros a realizar y planos de la posición de los diferentes componentes que forman la PCB.

En cuanto a las medidas de la figura 43, están expresadas en pulgadas, ya que es la medida por defecto en el programa OrCAD PCB Editor, si se pasan a centímetros se tiene:

- Largo de la placa; 9.04 pulgadas = 22.96 centímetros
- Ancho de la placa: 4.78 pulgadas = 12.14 centímetros

Por tanto, la placa que se ha diseñado es una placa relativamente de grandes dimensiones debido al gran número de componentes que hay en ella.

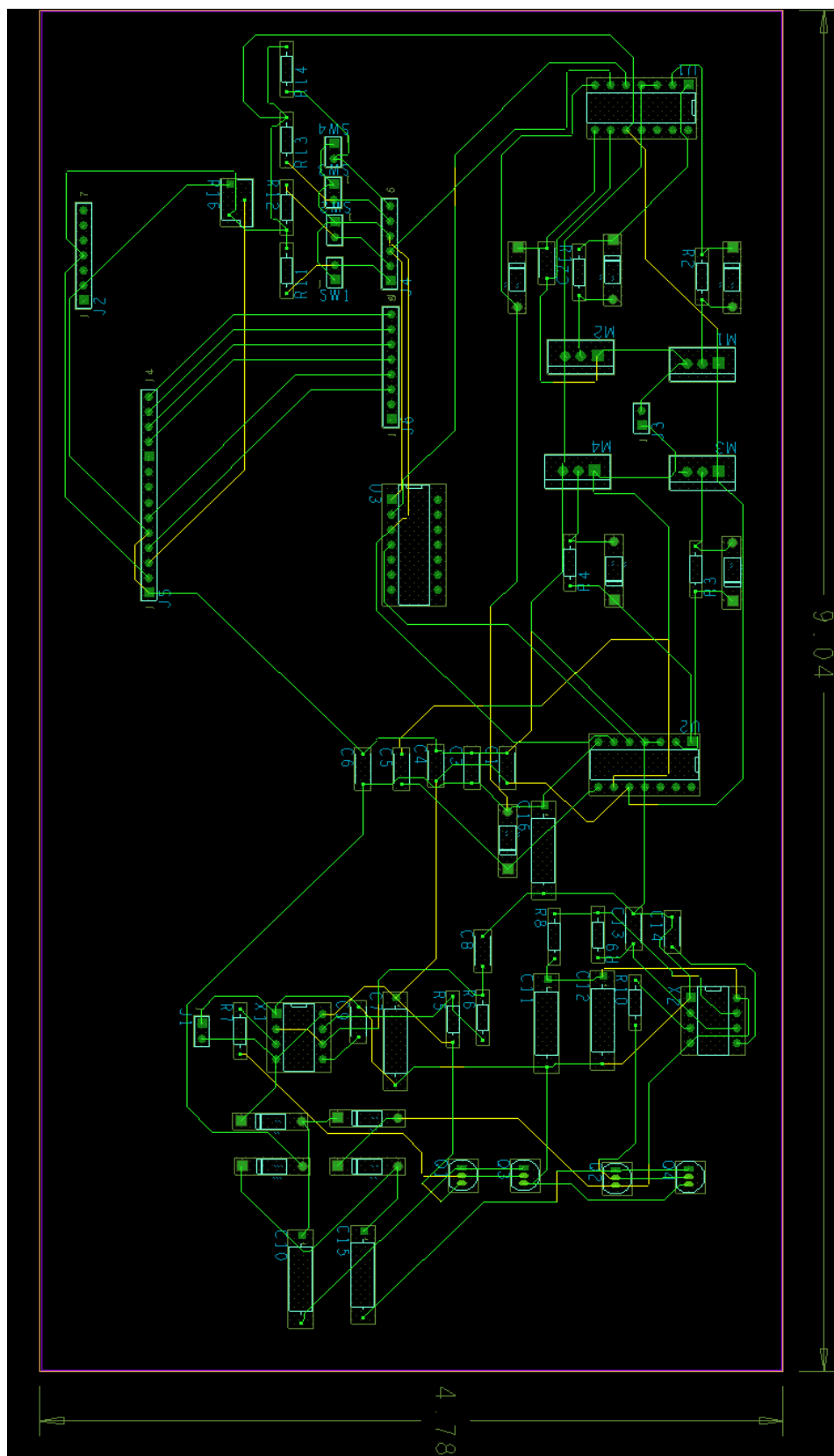


Figura 43: Diseño de la placa de circuito impreso

4. ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO

Para comprender mejor cómo se comporta el inversor en puente completo, será necesario hacer una serie de simulaciones cambiando los parámetros de entrada (frecuencia, m_a o m_f) de forma progresiva, de esta manera se irán recogiendo los datos de salida en unas tablas que para hacerlos más visuales se pasarán a graficarlos.

Una vez se haga esto, se hará un breve comentario respecto a cada simulación realizada para aclarar el comportamiento del inversor monofásico con respecto a las variables que se han ido modificando.

Antes de empezar con las simulaciones en OrCAD Capture CIS, es necesario incluir un modelo simulable a parte de los que traen ya las propias librerías de Capture. Este modelo es el del driver de control IR2110 que se utiliza en este proyecto, ya que si se busca dentro de los elementos del programa no aparece. Por tanto, el siguiente apartado estará dedicado a como hay que incluirlo, y aunque sea para este elemento en específico, la guía sirve para cualquier componente a simular en general.

4.1 Incluir modelo simulable en Capture CIS

En este proyecto se necesitará incluir un modelo de driver de control para el inversor que la propia biblioteca del simulador Capture CIS no incluye entre sus diversos modelos. Además, el modelo deberá ser simulable para obtener los distintos resultados del inversor.

En primer lugar, como el modelo no está incluido en ninguna librería se deberá de buscar y descargar por internet la carpeta con todos los archivos del componente a simular. La figura 44 muestra la carpeta con todos los archivos que componen el modelo a simular.

 Documentation	22/11/2021 19:06	Carpeta de archivos	
 Model	22/11/2021 19:06	Carpeta de archivos	
 readme	22/11/2021 17:19	Documento de tex...	9 KB

Figura 44: Carpeta con el modelo a simular

Si se abre la carpeta *Model* aparecerá algo como se muestra en la figura 45.

results	22/11/2021 19:07	Carpeta de archivos	
DEMO_TESTBENCH.sxsch	22/11/2021 17:19	Archivo SXSCH	114 KB
IGBT_650V_TRENCHSTOP5_F5_L1	22/11/2021 17:19	Archivo LIB	51 KB
IGBT_650V_TRENCHSTOP5_F5_L1.sxslb	22/11/2021 17:19	Archivo SXSLB	3 KB
IR2110.err	22/11/2021 17:22	Archivo ERR	1 KB
IR2110.ind	22/11/2021 17:22	Archivo IND	4 KB
IR2110	22/11/2021 17:21	Archivo LIB	22 KB
IR2110.sxslb	22/11/2021 17:19	Archivo SXSLB	29 KB

Figura 45: Archivos de la carpeta del modelo a simular

Una vez se tenga esto descargado y localizado en el ordenador, se tiene que pinchar sobre el archivo *.lib* del componente a simular. En este caso sería abrir el archivo *IR2110.lib*. Al hacer este paso se abrirá la ventana que aparece en la figura 46.

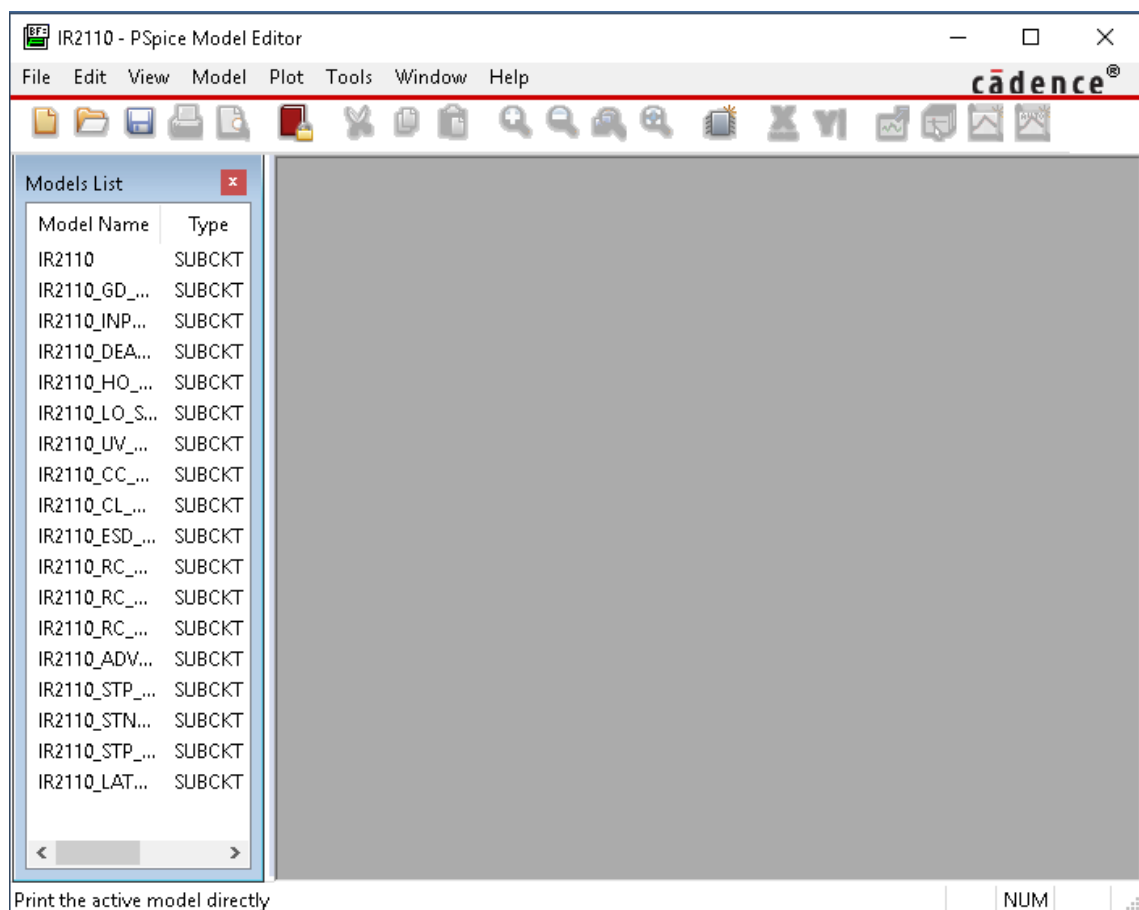


Figura 46: Archivo .lib del componente

Como se puede ver en el margen de la izquierda se muestran todos los subcircuitos de los que se compone el modelo y que son necesarios para la correcta simulación del mismo. En este componente hay un gran número de subcircuitos, pero eso variará para cada modelo en cuestión.

El siguiente paso será el de importar el modelo a este editor para seguidamente exportarlo en forma de librería con todos sus componentes al Capture CIS. Para ello hay que pinchar en *File* → *Model Import Wizard*, y se abrirá la ventana que aparece en la figura 47.

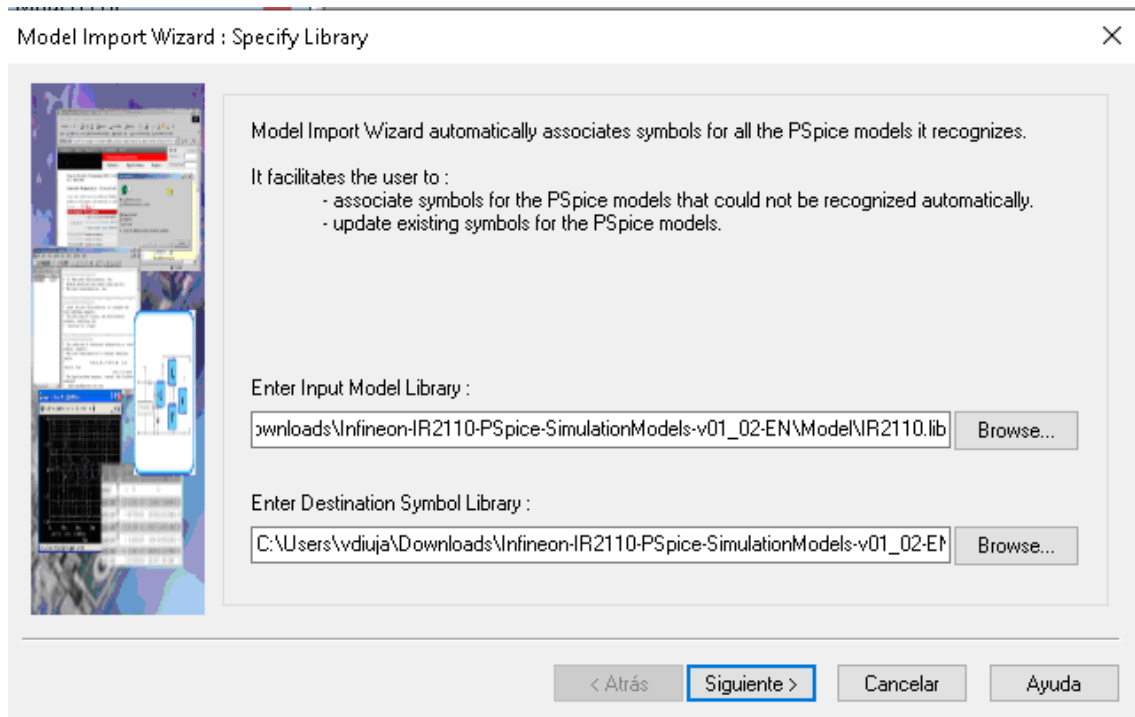


Figura 47: Importar la librería del componente a simular

En esta figura se ven dos opciones de directorios a elegir, en la primera hay que seleccionar la librería con el modelo de entrada a simular (normalmente ya viene seleccionada), y en la segunda opción hay que elegir el directorio donde se quiere guardar la librería con los componentes. Tras localizar esto hay que darle a siguiente y posteriormente a finalizar.

Cuando el programa haya terminado de crear la librería, si se ha creado de forma correcta, en la carpeta de archivos de la Figura 48 se observa que se ha añadido un símbolo en forma de librería y extensión olb.

results	18/01/2022 10:25	Carpeta de archivos	
DEMO_TESTBENCH.sxsch	22/11/2021 17:19	Archivo SXSCH	114 KB
IGBT_650V_TRENCHSTOP5_F5_L1	22/11/2021 17:19	Archivo LIB	51 KB
IGBT_650V_TRENCHSTOP5_F5_L1.sxslb	22/11/2021 17:19	Archivo SXSLB	3 KB
IR2110.err	18/01/2022 10:36	Archivo ERR	1 KB
IR2110.ind	22/11/2021 17:22	Archivo IND	4 KB
IR2110	22/11/2021 17:21	Archivo LIB	22 KB
IR2110	18/01/2022 10:35	Archivo OLB	36 KB
IR2110.sxslb	22/11/2021 17:19	Archivo SXSLB	29 KB
IR2110.symwiz	18/01/2022 10:36	Documento de tex...	1 KB

Figura 48: Librería con el modelo a simular

En este momento ya se está a disposición de incluir los componentes en forma de símbolos en el programa Capture CIS, para ello se agregará de la misma forma que las demás librerías. La figura 49 muestra los componentes de la librería creada dentro de Capture CIS.

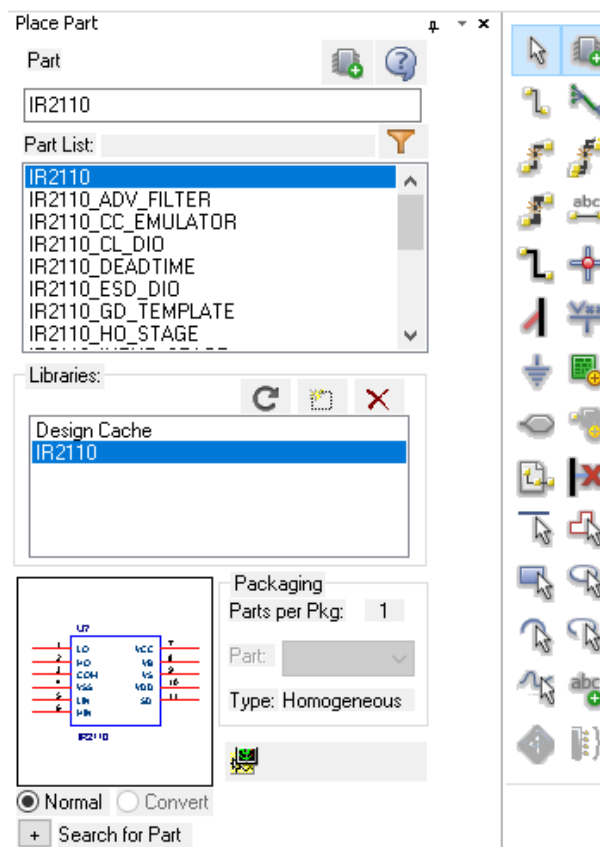


Figura 49: Librería del modelo en Capture CIS

Al incluir la librería se puede ver que hay diversos componentes que también se pueden simular, ya que el modelo descargado contenía más modelos a parte del driver que interesa para este proyecto.

Para terminar y que el modelo sea simulable, hay que hacer un último paso y es añadir el modelo a la simulación. Para ello, en la pestaña donde se tenga la simulación con los parámetros deseados, se tiene que ir a la opción *Configuration Files*, y dentro se pincha sobre *Library*. La figura 50 muestra la ventana que debe de aparecer.

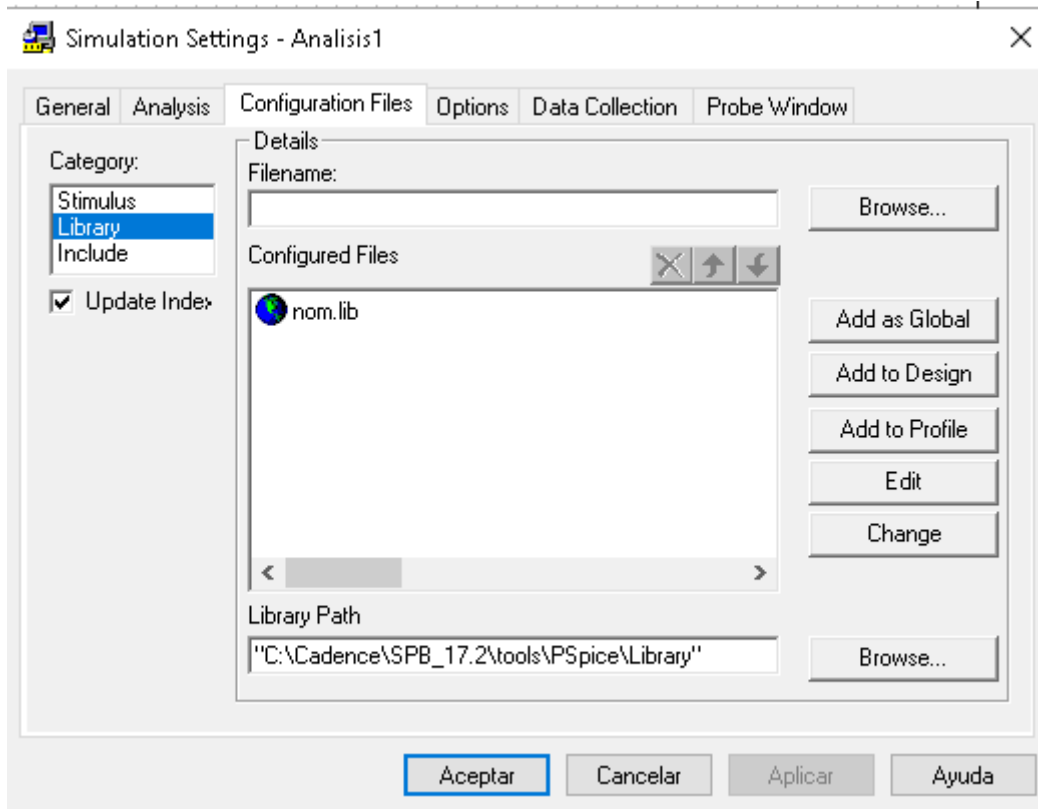


Figura 50: Librerías incluidas en el editor de Capture CIS

Como se puede ver solo hay una librería añadida y es la *nom.lib*, esta es la que incluye la mayoría de modelos con los que se trabaja pero que no tiene el componente que se ha creado. Para añadirlo hay que pulsar sobre *Browse*, buscar la extensión *.lib* dentro de la carpeta de los archivos descargados y añadirlo al proyecto, lo recomendable es darle a *Add to Design*, ya que se añadirá únicamente a este trabajo. En la figura 51, se puede ver que aparece la librería a simular junto con la de *nom.lib*.

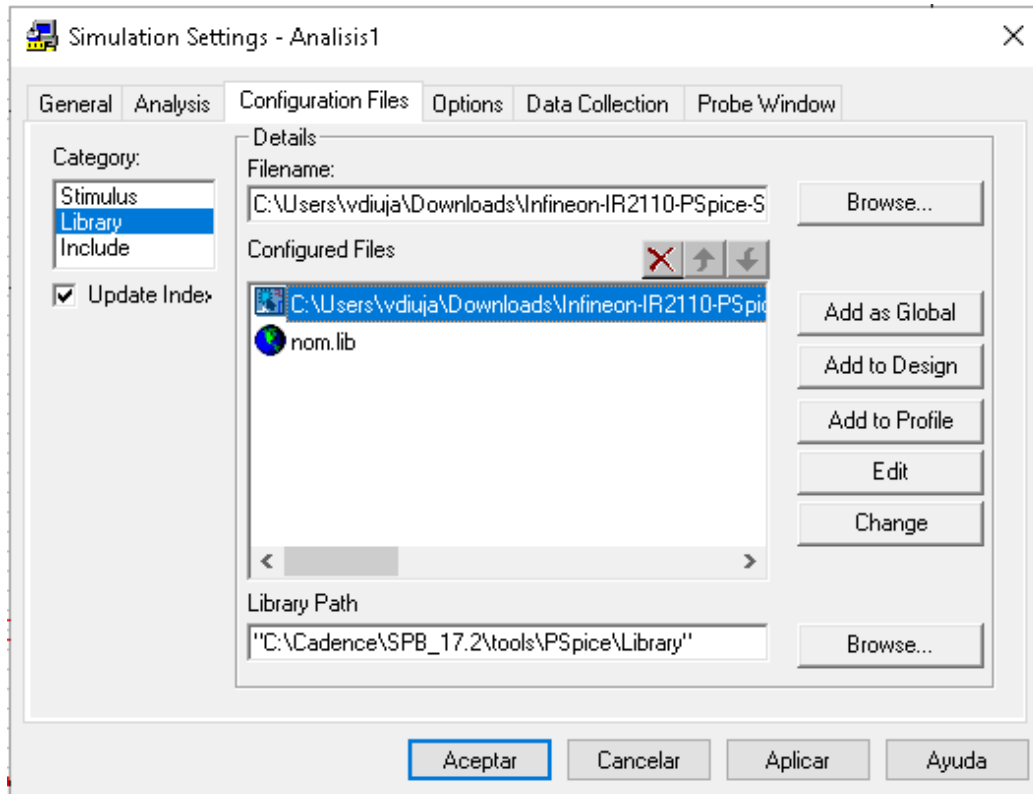


Figura 51: Librería del modelo en el perfil de simulación

Una vez terminados todos los pasos ya se está en disposición de incluir y simular el símbolo en el proyecto y poder trabajar con él al igual que con los demás componentes de las librerías de Capture CIS.

4.2 Ensayos

En este apartado se van a realizar tres experimentos para entender el funcionamiento y el rango de trabajo óptimo del inversor de una manera más visual. Para ello, en cada uno de los ensayos se irán dejando algunos parámetros de funcionamiento fijos y los demás se van a ir variando.

Para cada uno de los tres experimentos se van a comparar los casos en el que el inversor está sin carga y después con una carga RL que se pasará a analizar, para finalmente ver los resultados.

Cuando se analice cada uno de estos apartados se va a medir la distorsión armónica total, y en el caso de tener la carga RL además en el último estudio se medirá la tensión, potencia y la corriente de salida.

- **Cálculo de la carga RL**

Lo normal es que el inversor esté alimentando a algún tipo de dispositivo y que por tanto esté alimentando a algún tipo de carga, además una de sus aplicaciones más comunes es para el control de un motor, por tanto, la carga elegida será una carga RL, la cual se va a pasar a analizar.

Primero, para el cálculo de la resistencia tenemos que la tensión de salida será de 5V, se puede suponer que la corriente en la carga que se quiere obtener sea bastante alta y alrededor de 1A, por tanto, la resistencia que se utilizará será:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{5V}{1A} = 5\Omega$$

Para la bobina, se va a suponer un valor de 100mH que, aunque sea un valor muy alto, se ha comprobado que en el mercado hay bobinas con este valor de inducción. Una vez que se tienen los valores de la resistencia y la bobina, se está en disposición de calcular la frecuencia de corte que se tendrá:

$$f_{corte} = \frac{R}{2\pi \cdot L} = \frac{5\Omega}{2\pi \cdot 0.1H} = 7.95 \text{ Hz} \longrightarrow f_{corte} = 8\text{Hz}$$

Un valor comercial de este resultado sería de **L = 100mH**.

Una vez obtenido los valores de la carga RL ya se puede a pasar a analizar el inversor en cada uno de los tres experimentos anteriores.

4.2.1 Variación de la modulación en frecuencia

En este primer análisis se va a ver el rango de funcionamiento óptimo en la modulación en frecuencia. Para ello primero se fijan la modulación en amplitud $m_a = 1$ y una frecuencia constante $f=50\text{Hz}$, por tanto, lo que se va a ir variando será la modulación en frecuencia desde $m_f = 1$ hasta $m_f = 21$, de forma que se pase solo por los números enteros e impares. La siguiente tabla recoge los datos del ensayo, y en la figura 52 se representan en una gráfica para ver los resultados de forma más visual.

m_f	THD (%) sin carga	THD (%) con carga RL
1	29,59	30,67
3	27,93	29,53
5	22,56	25,12
7	14,3	15,33
9	4,04	7,31
11	6,38	6,83
13	7,77	7,86
15	7,65	8,83
17	7,57	9,53
19	8,66	9,73
21	9,06	11,55

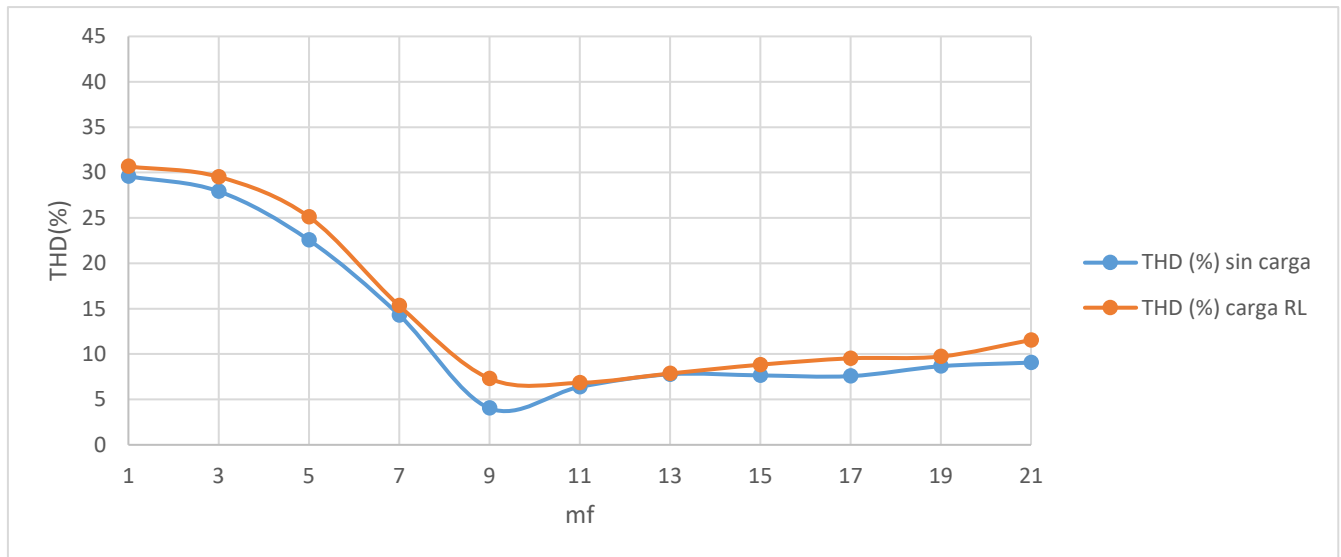


Figura 52: THD para una variación en mf

Una vez realizado este análisis se puede concluir que los mejores valores de funcionamiento para la modulación en frecuencia son entre 7 y 17. No obstante en los extremos analizados el inversor también muestra buenos resultados de su funcionamiento.

Como se ve en la comparación de los análisis, la distorsión de la señal de salida es ligeramente menor en el caso de que el inversor esté en vacío, pero aún teniendo la carga RL se puede decir que el inversor tiene un muy buen comportamiento.

4.2.2 Variación de la frecuencia

En este segundo análisis se va a elegir un valor central de modulación en frecuencia $m_f = 11$, la modulación en amplitud será igual que la del apartado anterior $m_a = 1$, y esta vez lo que irá cambiando será la frecuencia de entrada de control desde 1Hz hasta llegar a los 100Hz. En la siguiente tabla se recogen los datos del ensayo, y la figura 53 se representan en una gráfica.

$f(\text{Hz})$	THD (%) sin carga	THD (%) con carga RL
1	31,02	33,56
10	7,72	8,71
20	6,41	8,23
30	7,72	8,86
40	6,98	8,02
50	6,38	6,83
60	7,16	8,66
70	7,52	8,79
80	8,49	8,93
90	8,77	9,37
100	9,56	9,76

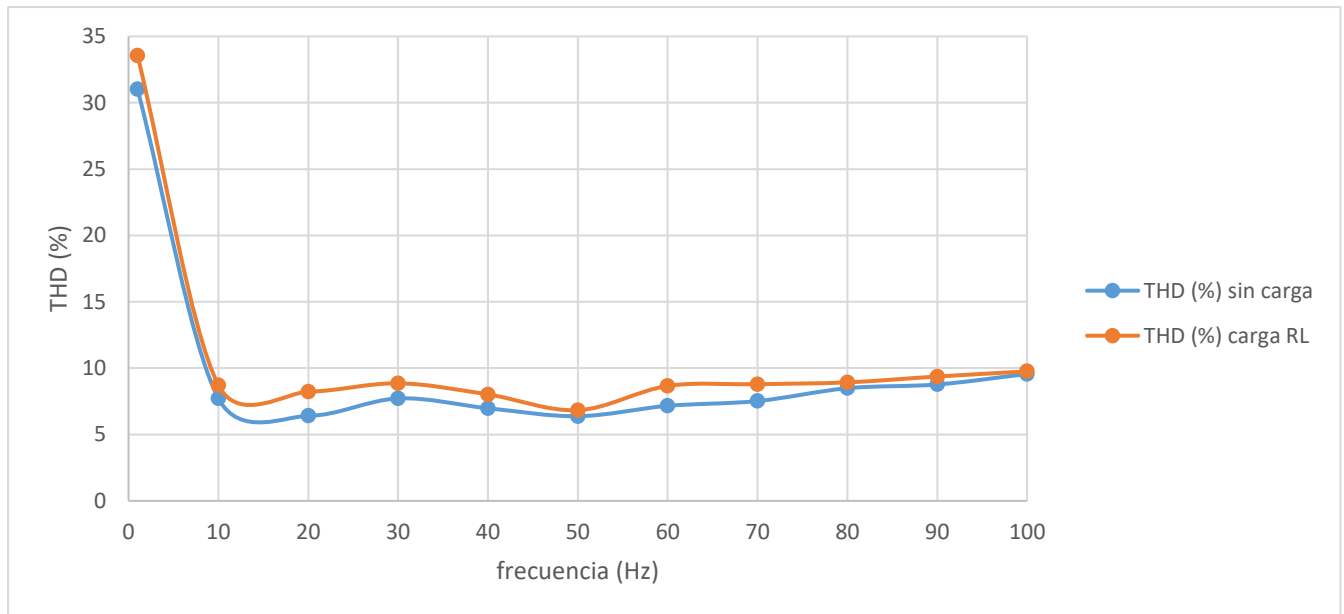


Figura 53: THD para una variación en frecuencia

En este segundo análisis se puede observar que la distorsión armónica total permanece prácticamente constante para todos los valores excepto para valores por debajo de los 10 hercios. De forma análoga a lo que pasaba en el anterior experimento, la distorsión armónica es ligeramente menor en el caso de que el inversor esté sin ninguna carga, pero con la carga RL también tiene un excelente comportamiento

4.2.3 Variación de la modulación en amplitud

Para el tercer y último análisis del inversor los parámetros fijos serán la modulación en frecuencia, que de nuevo será de un valor intermedio $m_f = 11$, la frecuencia como se ha visto en el experimento anterior puede variar sin alterar prácticamente los resultados, pero no obstante se elegirá un valor central $f=50\text{Hz}$, y ahora lo que va a ir variando es la modulación en amplitud con un rango desde 0.1 hasta 1. En la siguiente tabla se recogen los datos del ensayo, y la figura 54 se representan en una gráfica.

m_a	THD (%) sin carga	THD (%) con carga RL
0,1	90,26	98,22
0,2	63,38	64,52
0,3	45,55	48,36
0,4	23,33	25,63
0,5	16,68	15,53
0,6	14,02	12,36
0,7	12,98	11,53
0,8	8,25	7,65
0,9	7,59	7,03
1	6,38	6,83

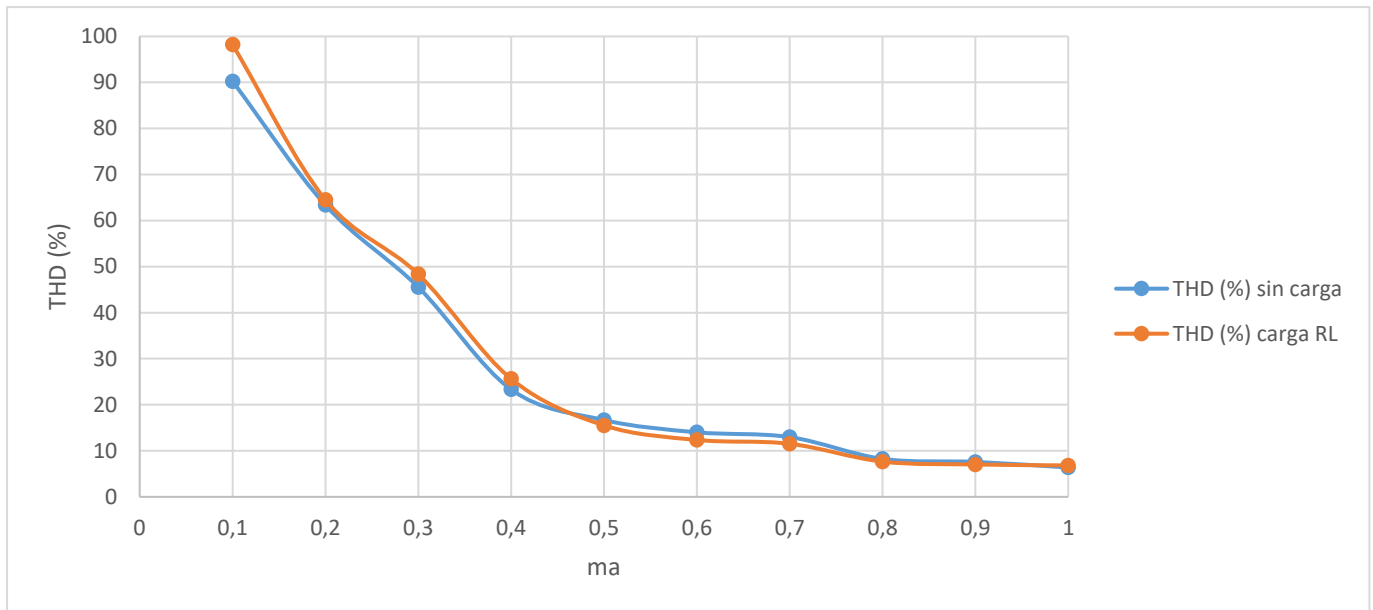


Figura 54: THD para una variación en m_a

Como se puede observar en los resultados este es un parámetro que distorsiona bastante el THD, para valores bajos se dispara mucho la distorsión armónica mientras que cuanto más se acerca a 1 los valores tienden a estabilizarse. Por tanto, será recomendable que para el correcto funcionamiento del inversor la modulación en amplitud esté cerca de 1.

Al igual que en los anteriores casos, y aunque el comportamiento es muy parecido en ambos casos, la distorsión armónica es ligeramente inferior en el caso de que no haya carga.

Además, con respecto a este parámetro, es interesante realizar algunas medias más en el caso de que esté la carga RL estudiada, ya que se va a ir viendo como varían la tensión, corriente y potencia de la señal de salida respecto a la modulación en amplitud.

m_a	$V_0(V)$	$I_0(mA)$	Potencia (W)
0,1	0,45	119,32	0,053694
0,2	0,97	224,89	0,2181433
0,3	1,44	328,24	0,4726656
0,4	1,97	419,36	0,8261392
0,5	2,46	512,47	1,2606762
0,6	2,97	589,36	1,7503992
0,7	3,43	685,14	2,3500302
0,8	3,89	767,96	2,9873644
0,9	4,45	840,31	3,7393795
1	4,93	919,87	4,5349591

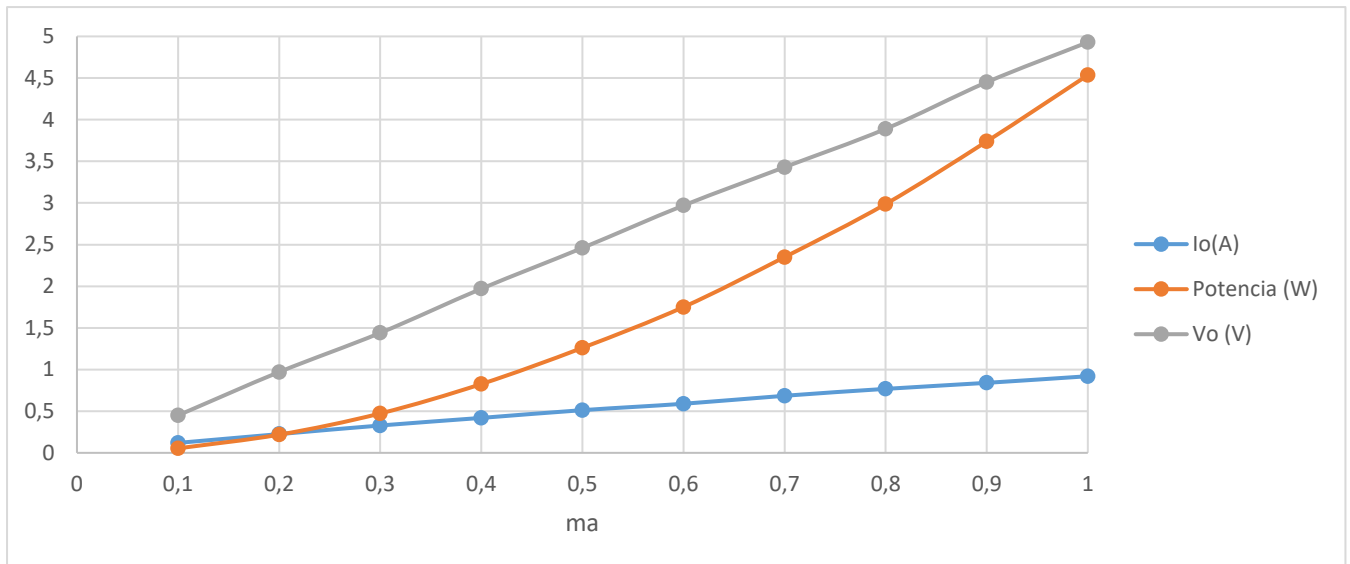


Figura 55: Tensión, potencia y corriente para una variación en m_a con carga RL

En la gráfica de la figura 55, se puede ver que la tensión, la corriente y la potencia en la señal de salida sufren grandes cambios con pequeñas variaciones de la modulación en amplitud. Además, se puede ver que el inversor se está comportando de una forma correcta ya que la tensión de salida varía directamente y de una forma lineal con la modulación en amplitud, al igual que se estudió en los apartados destinados a estos parámetros.

Como resumen a todos estos ensayos se puede concluir que:

- Respecto a la modulación en frecuencia m_f lo óptimo es que tome un rango intermedio entre 7 y 17 porque, aunque la potencia y corriente de salida no varían significativamente con este parámetro, la distorsión armónica sí que tiende a incrementarse al salirse de este rango.
- La frecuencia de la señal de control no es un parámetro restrictivo para valores superiores a los 10Hz ya que ninguna de las mediciones varía, aunque la frecuencia cambie, por tanto, se puede cambiar en el rango entre los 10 y 100Hz sin notar cambio en los parámetros de salida.
- Por último, respecto a la modulación en amplitud m_a , se ha comprobado que es el parámetro que menos debe de cambiar ya que con pequeñas variaciones se han medido grandes cambios tanto en la potencia, tensión y corriente de salida como en la distorsión armónica total. Se puede concluir que este parámetro debe de estar cercano a la unidad para que no haya pérdidas de potencia ni corriente.

5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El sistema es un inversor autónomo monofásico en puente completo controlado por la plataforma de Arduino y totalmente autónomo. Dispone de una pantalla LCD y una botonera con cuatro pulsadores para elegir y visualizar los parámetros de entrada que el usuario puede introducir a su antojo, pero siempre dentro de unos rangos de funcionamiento.

Se ha logrado obtener una tensión de salida con un rango máximo de $\pm 5V$ AC, esto puede variar según los parámetros de entrada introducidos por el usuario y siguiendo el comportamiento básico del inversor. Además, el inversor es capaz de suministrar una corriente máxima de 1A.

Después de realizar el estudio y diseño de este inversor se puede observar que, tras incluir los distintos componentes auxiliares este inversor es totalmente autónomo, esto significa que conectándolo solo a la tensión de alimentación el sistema funciona de forma indefinida.

Con respecto a los futuros trabajos que se pueden realizar siguiendo la línea de este proyecto, se podría aumentar la frecuencia de entrada de las señales de control para comprobar el límite al que deja de ser estable el inversor monofásico en puente completo. Se podría también superar el límite establecido en la modulación en frecuencia como 21 para ver si se consiguen mejores resultados y hasta donde es capaz de aumentarse este parámetro en el inversor sin que afecte de una forma negativa a la salida.

Si se habla de las cargas que se le pueden poner al inversor, en este trabajo se ha enfocado a la simulación de una carga RL que equivale a un motor, ya que es la carga más habitual que se conecta. Pero hay muchas más posibilidades que se pueden abordar para ver si el inversor sigue dando tan buenos resultados. Por ejemplo, se pueden simular cargas pequeñas que no consuman mucha energía ya que la potencia de salida del inversor es de 5W.

Por otro lado, se tienen los elementos que forman el propio puente completo, como los mosfets de potencia o el driver de control. Se podrían simular otros componentes con características parecidas para ver si los resultados se pueden mejorar. Además, el driver IR2110 tiene la desventaja que por una de sus patillas tiene que estar alimentado entre 10 y 20V DC, esto ha hecho que se tenga que buscar una manera de elevar la tensión de entrada de 5V mediante un multiplicador de tensión. Sería interesante encontrar otro controlador que no necesitara este aporte de tensión extra.

También se podría hacer un inversor que maneje mayores potencias de salida cambiando la tensión que les llega a los mosfets del puente completo. De esta forma se podría utilizar para muchas más cargas que necesiten más potencia.

Otro trabajo interesante sería incluir en el diseño algún sensor de tensión para medir el voltaje salida, de esta forma se podría ir midiendo a tiempo real esta señal y mostrando su valor por la pantalla LCD. Con esto se puede certificar sin ayuda de aparatos de medida externos, que la tensión que el usuario elige mediante la botonera es igual a la tensión que el sensor mide constantemente.

Para finalizar y cambiando a la interfaz de la pantalla LCD, se podría hacer algún menú de opciones de tal forma que el usuario cambie algún parámetro en concreto y no tenga la necesidad de pasar por todos ellos si quiere cambiar algo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. W. Hart, Power Electronics, 2011.
- [2] M. H. Rashid, Electrónica de potencia. Circuitos, dispositivos y aplicaciones. Tercera edición.
- [3] Arduino, 2022. [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/>
- [4] Arduino.cl, 2022. [En línea]. Available: <https://www.arduino.cl/>
- [5] Power Shield DFRobot, 2022. [En línea]. Available: <https://www.dfrobot.com/product-378.html>
- [6] Shield de motores y potencia para Arduino UNO, 2022. [En línea]. Available: <https://mundoelectronica.net/modulos-para-arduino/1820-modulo-shield-de-motores-y-potencia-para-arduino-uno-r3-motor-reles-solenoides-etc.html>
- [7] Pololu A4990 Dual Motor Driver Shield para Arduino, 2022. [En línea]. Available: <https://www.meloper.com/es/tienda/componentes/rob%C3%B3tica/pololu-a4990-dual-motor-driver-shield-for-arduino/>
- [8] Shield de potencia para Arduino Pro micro mini REV2.0, 2022. [En línea]. Available: <https://hetpro-store.com/rspa0002/>
- [9] Módulo convertidor PWM a analógico (0 – 10V), 2022. [En línea]. Available: <https://opencircuit.es/producto/M%C3%B3dulo-convertidor-PWM-a-anal%C3%B3gico-0-10-V>
- [10] OrCAD, 2022. [En línea]. Available: <https://www.orcad.com/>
- [11] Proteus Professional, 2022. [En línea]. Available: <https://www.labcenter.com/>
- [12] LCD Arduino, 2022. [En línea]. Available: <https://controlautomaticoeducacion.com/arduino/lcd/>
- [13] Juan Díaz González <<Universidad de Oviedo>>, 1998. [En línea]. Available: <http://ieeepels-ies.es/Pels/Pdf/Leccion%20Inversores%20Juan%20Diaz.pdf>
- [14] Inversores. Conversión de continua a alterna, 2022. [En línea]. Available: <https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/7/7878/inversores.pdf>

PLIEGO DE CONDICIONES

1. ESPECIFICACIONES

El sistema es un inversor monofásico en puente completo controlado por la plataforma de Arduino y totalmente autónomo. Dispone de una pantalla LCD para elegir los parámetros que controlan el inversor, así como una botonera que permite el control total de estos valores y la puesta en marcha y parada de las señales de control.

Las siguientes especificaciones son para una carga igual que la simulada en la memoria, es decir, una carga RL de $R = 5\Omega$ y $L = 8.2mH$.

- Tensión de entrada al inversor: 5V DC
- Tensión de entrada al controlador: 12V DC
- Corriente máxima de salida: 1A
- Rango de frecuencia de salida: 1 - 100 Hz
- Rango de la modulación en frecuencia de entrada: 1 - 21
- Rango de la tensión de salida seleccionable: 0.5 – 5V
- Control de la tensión gobernado por Arduino UNO.
- Circuito de mando que consiste en cuatro pulsadores, y circuito de visualización de los parámetros de entrada que el usuario puede elegir, consiste en una pantalla LCD de 2 filas por 16 columnas.
- Diseño de una placa de circuito impreso (PCB) que contenga toda la circuitería, salvo el mismo Arduino, y que sea directamente conectable a Arduino UNO.

Los componentes auxiliares tienen las siguientes especificaciones:

- Pantalla LCD de 2x16
 - Voltaje de funcionamiento de 4.7 a 5.3 V
 - Consumo de corriente de 1mA sin retroiluminación
 - Módulo de pantalla LCD alfanumérico
 - Consta de dos filas y cada fila puede imprimir 16 caracteres
 - Puede funcionar tanto en modo de 8 bits como de 4 bits
- Pulsadores
 - Tensión máxima de contacto de 24V en DC
 - Corriente máxima de contacto de 50mA
- Driver de control IR2110
 - Canales flotantes de salida de alto voltaje hasta 500V y de bajo voltaje
 - Rango de voltaje de salida de 10 a 20V
 - Alimentación separada para la lógica entre 3.3 y 20V
 - Encapsulado PDIP de 14 pines
- Puerta lógica 7404
 - Rango de tensión de alimentación de 4.75 a 5.25V
 - Corriente de salida de 8mA
 - Rango de temperatura de funcionamiento de 0 a 70°C
 - Encapsulado DIP

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 tal y como aparece en la figura 56, seleccionando dentro de las opciones de descarga el tipo de sistema operativo que tiene el ordenador.

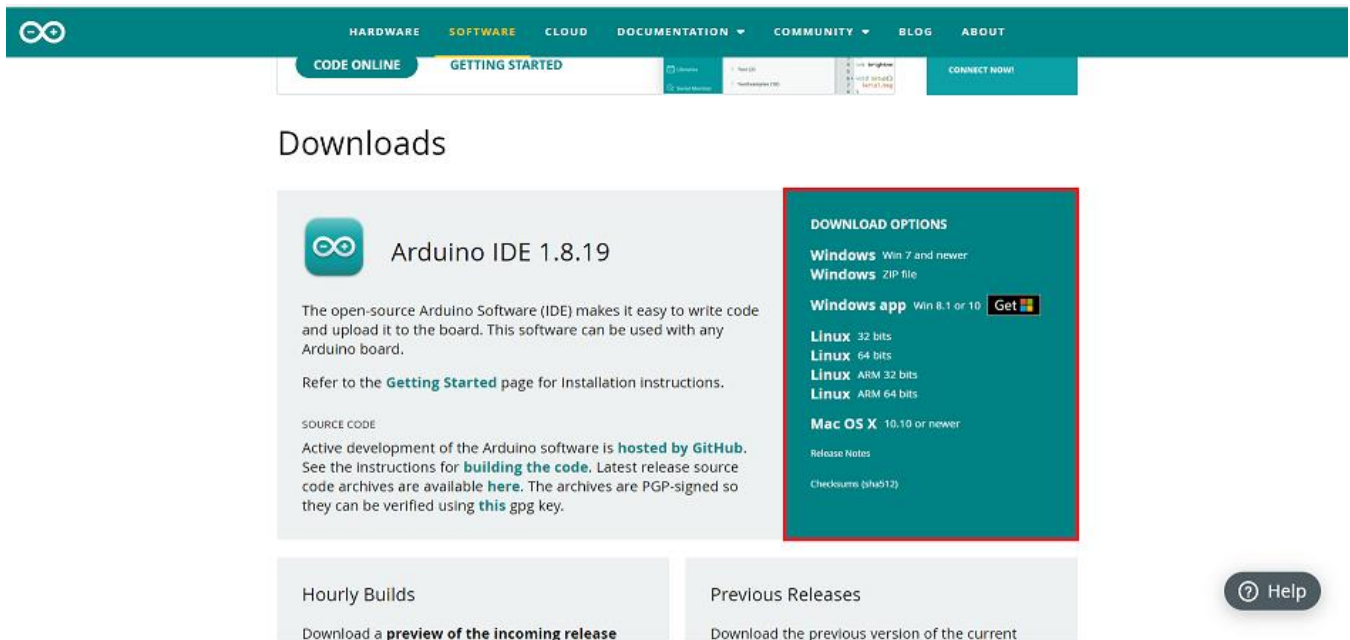


Figura 56: Descarga del entorno del IDE de Arduino

Después de finalizar la instalación del software, se tiene que entrar en este programa en cuestión, y posteriormente se conecta la placa de Arduino UNO al PC mediante el puerto USB. Tras conectarlo hay que seleccionar la placa que se está utilizando como se muestra en la figura 57.

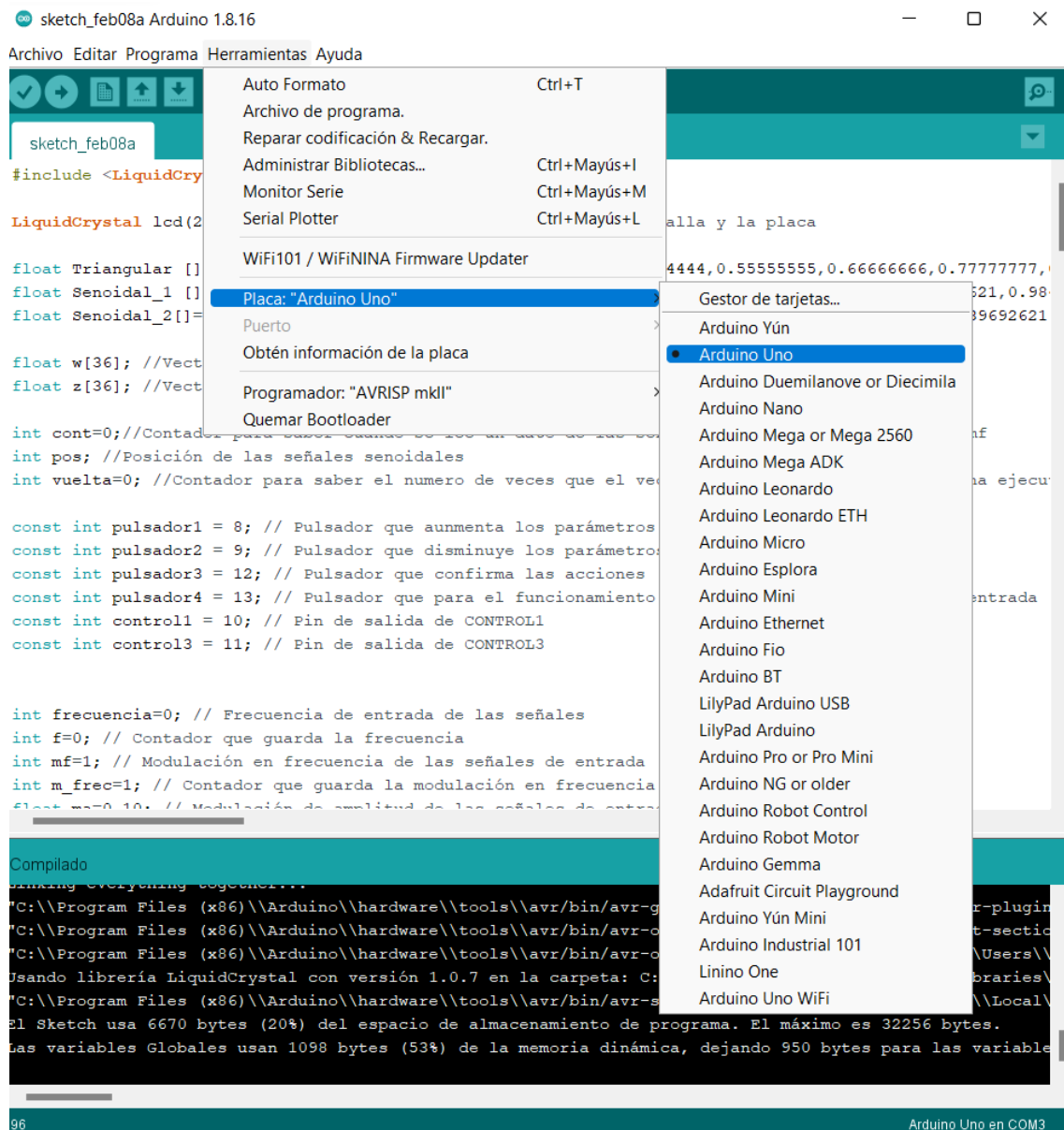


Figura 67: Selección del tipo de placa de Arduino utilizada

Seguidamente hay que seleccionar el puerto en el que está conectado, esto se muestra en la figura 58.

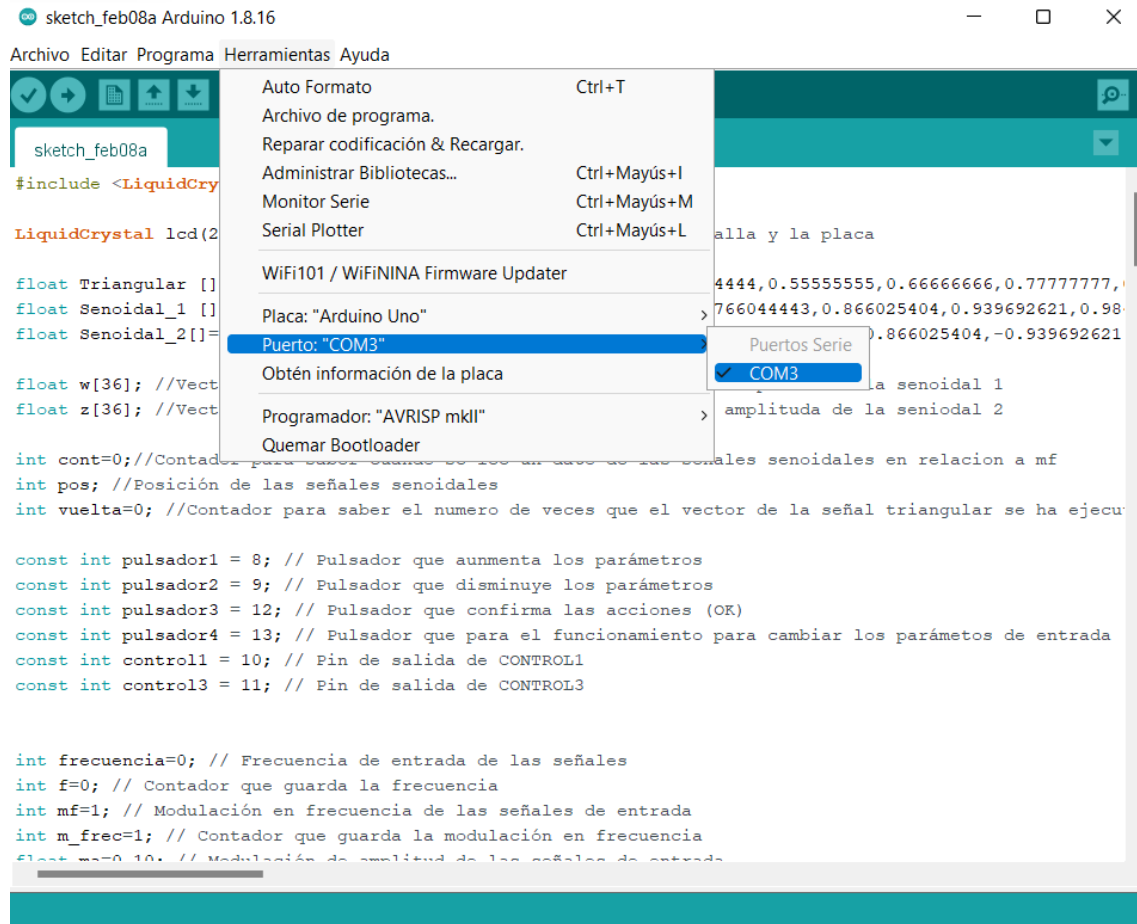


Figura 58: Selección del puerto en el que está conectada la placa de Arduino UNO

Después, se añadirán las librerías utilizadas en el proyecto para que pueda funcionar de forma adecuada. En este caso se tiene que incluir la librería *LiquidCrystal*, que es la que añade los comandos de la pantalla LCD. La figura 59 muestra donde se deben de buscar las librerías para añadirlas.

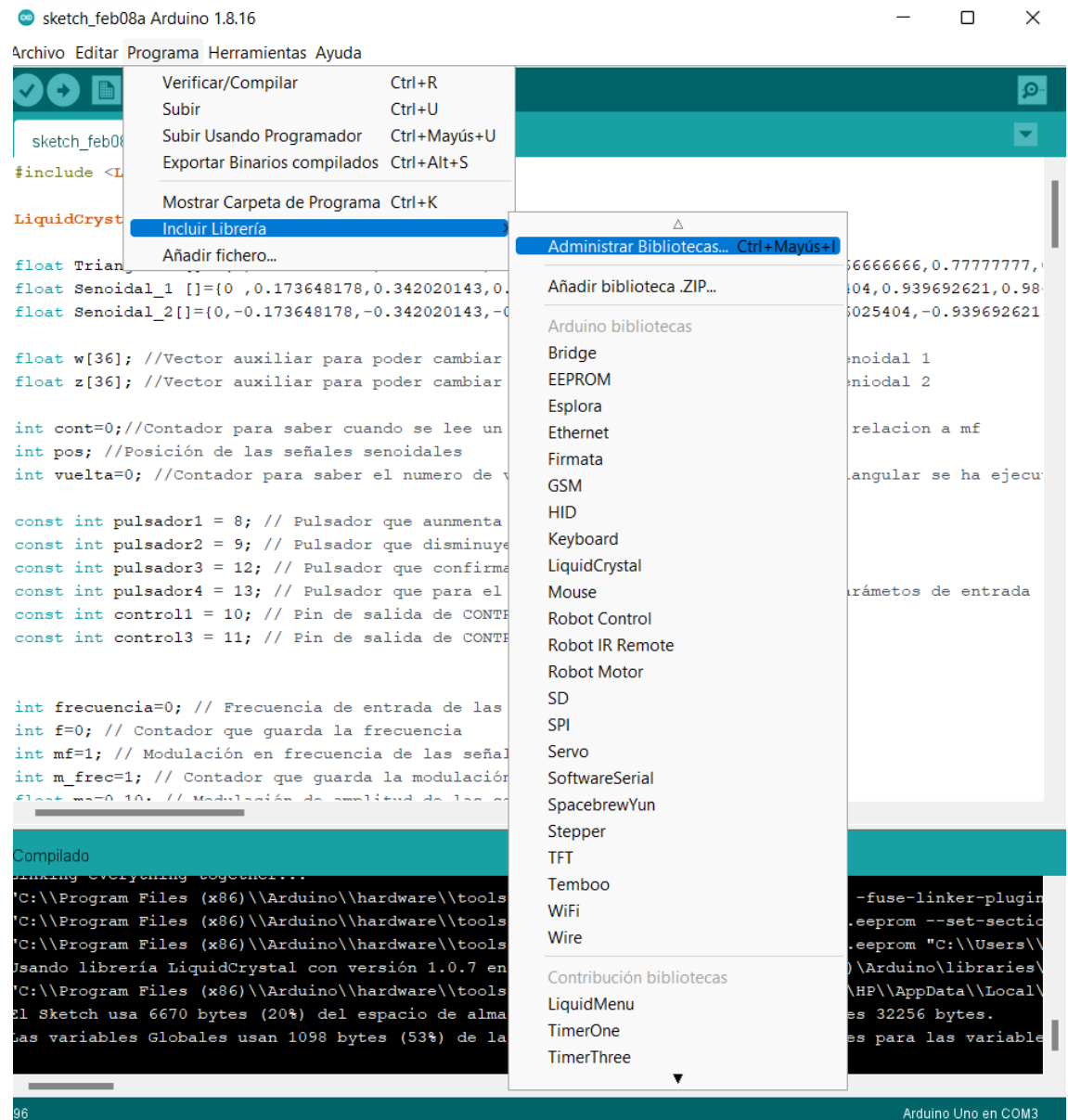


Figura 59: Incluir librería al entorno IDE de Arduino

Una vez se pulse la opción de Administrar Bibliotecas, aparecerá la ventana que se muestra en la figura 60.

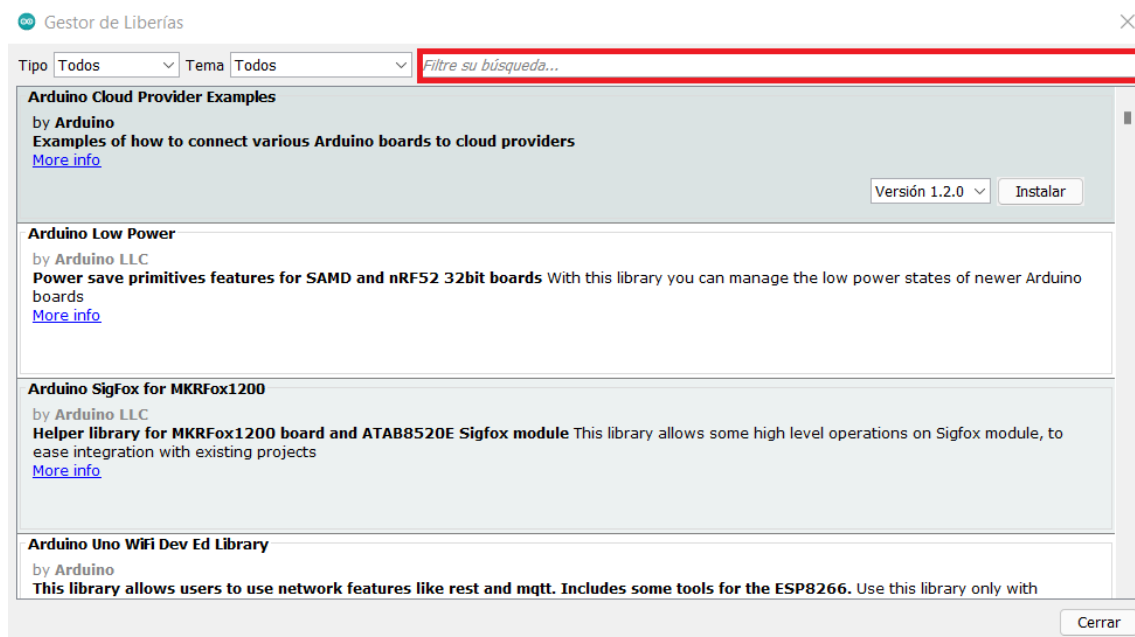


Figura 60: Gestor de librerías de Arduino

En el cuadro recuadrado de rojo de la imagen 60, se puede filtrar la búsqueda de la librería para poder encontrarla antes. Una vez encontrada la biblioteca, simplemente habrá que pulsar en el botón de instalar y para certificar que está instalada tiene que aparecer igual que se muestra en la figura 61.

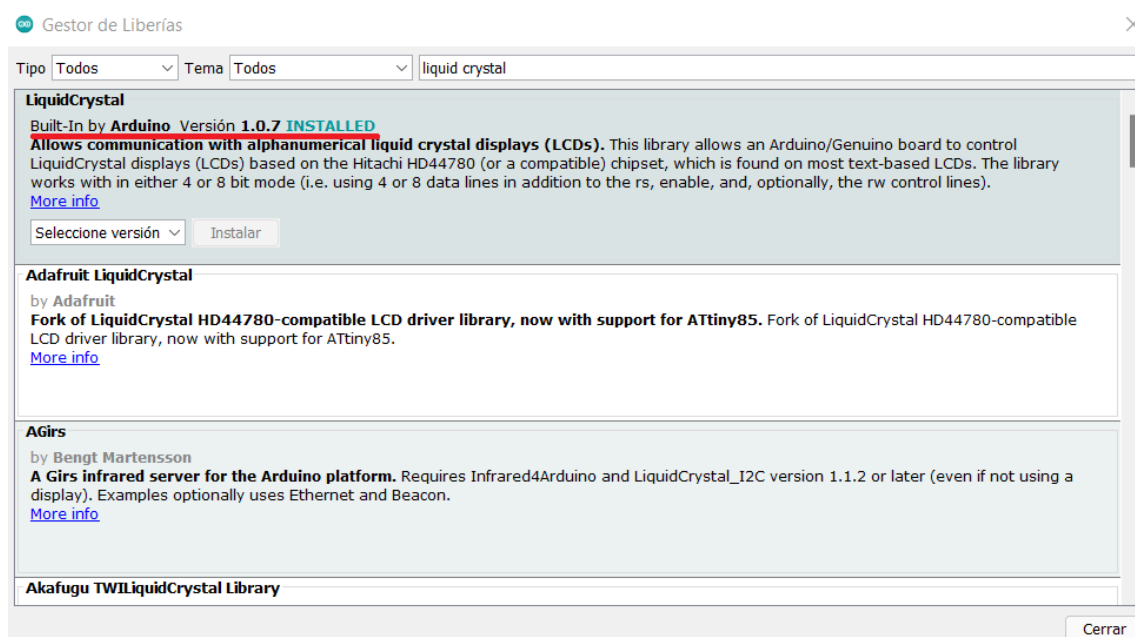


Figura 61: Biblioteca instalada en el entorno IDE de Arduino

Una vez se ha añadido la librería, ya se está en disposición para copiar el programa que se utilizará para este proyecto, este programa se encuentra en el capítulo de Programas de este mismo proyecto. El programa solo habrá que copiarlo del trabajo y pegarlo en el entorno IDE de Arduino sin hacer ninguna modificación.

Cuando se tenga el programa copiado, solo habrá que pulsar en el botón para subirlo a la placa de Arduino UNO, tal como aparece en la figura 62.

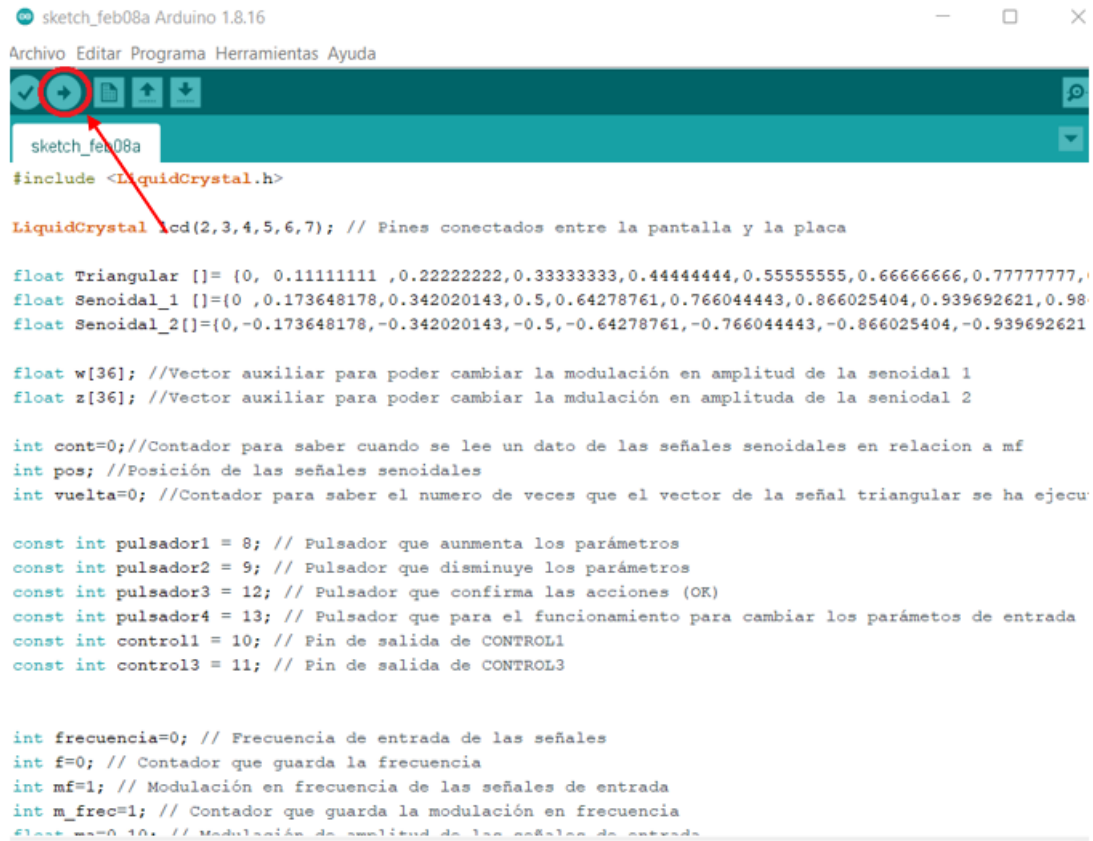


Figura 62: Subir el programa a Arduino

Una vez subido el programa a la placa de Arduino UNO, y si están todos los componentes conectados de forma correcta, ya se está en disposición para su funcionamiento.

2.2 Guía de funcionamiento

En esta guía se explicará el manejo del sistema debido a que debe de llevar un orden en concreto cuando el usuario decida introducir los parámetros de funcionamiento del inversor y como se pueden cambiar con la botonera del sistema.

La simulación y visualización de cada uno de los pasos se hará con el programa de Proteus Professional 8.

Una vez cargado el programa en la placa de Arduino UNO, la pantalla LCD da muestra un mensaje de inicio como el de la figura 63.

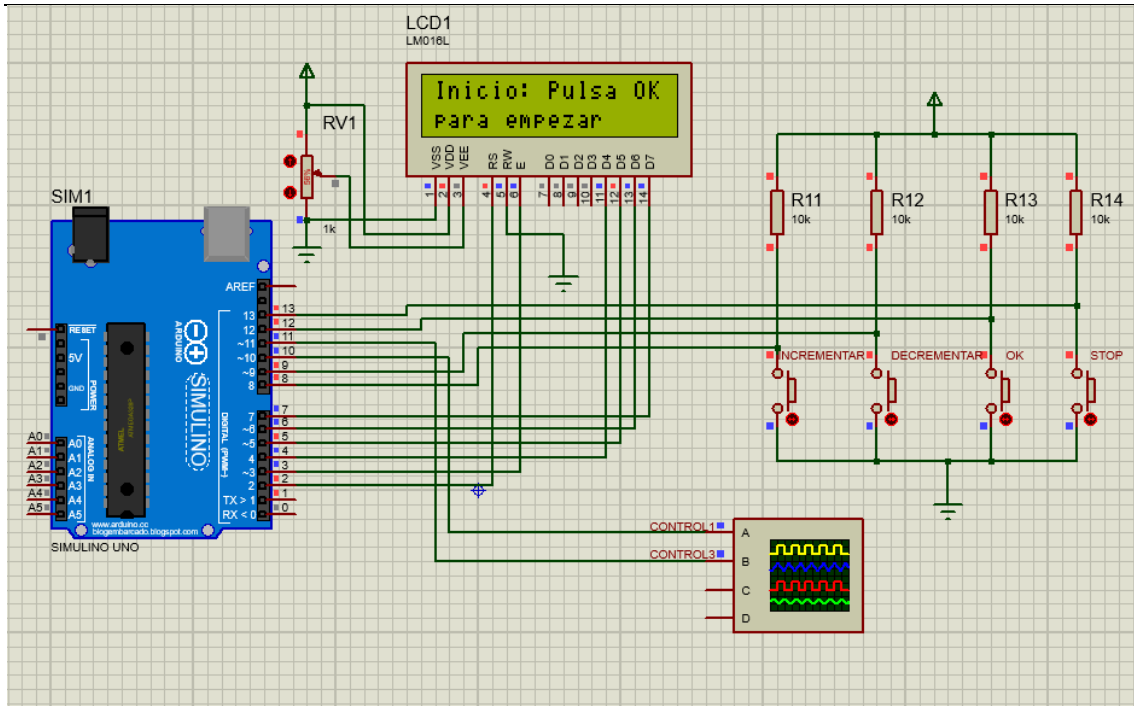


Figura 63: Mensaje de inicio en la pantalla LCD

Cuando se visualiza esto en la pantalla, significa que el programa está esperando a que el usuario pulse el botón de OK para empezar con la introducción de los parámetros. Una vez se ha pulsado este botón, el siguiente paso es el de seleccionar la frecuencia de salida de las señales de control. La pantalla LCD mostrará el mensaje que se presenta en la figura 64.

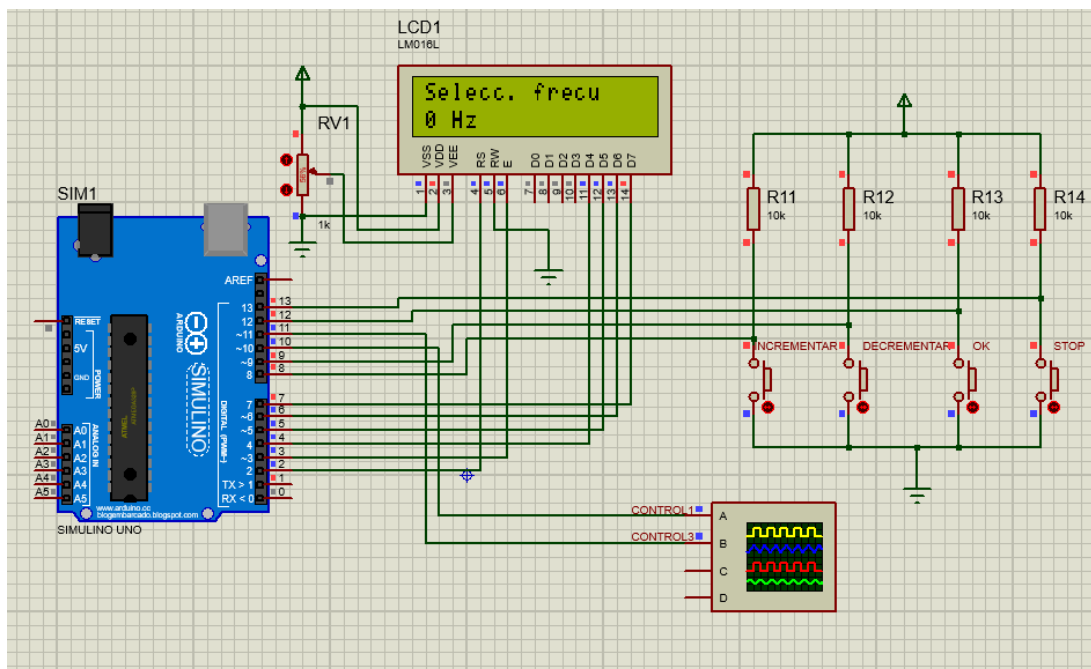


Figura 64: Mensaje de selección de la frecuencia de las señales de control

Mediante los botones de INCREMENTAR y DECREMENTAR el usuario puede elegir la frecuencia que desee, siempre en el rango establecido entre 0 y 100 Hz con saltos de cinco en cinco hercios. La propia programación no deja al usuario pasarse de estos márgenes de frecuencia.

Una vez elegida la frecuencia de las señales de control, el usuario deberá de pulsar el botón OK para confirmar que la frecuencia es la deseada. Cuando se ha hecho esto, lo siguiente será elegir la tensión de salida que van a tener las señales que tendrán las señales. La figura 65 presenta el mensaje que tiene que aparecer por la pantalla LCD.

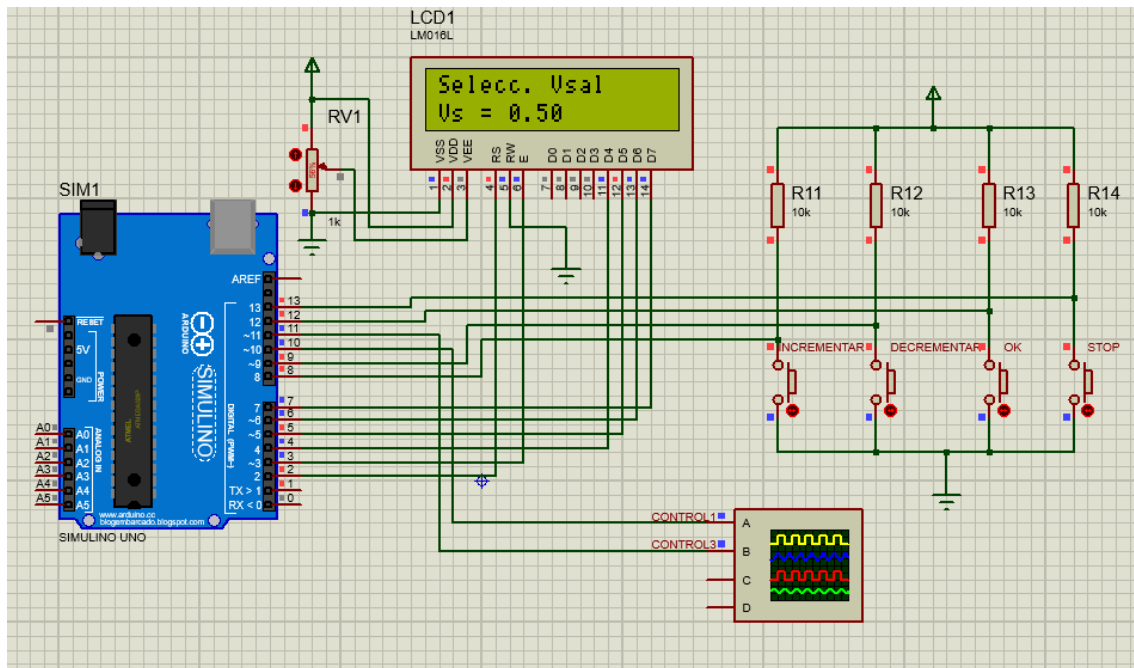


Figura 65: Mensaje de selección de la tensión de salida

Al igual que para seleccionar la frecuencia, los botones de INCREMENTAR y DECREMENTAR permiten al usuario elegir la modulación la tensión de salida que desee. Esta vez el rango de funcionamiento es entre 0.5 y 5V con saltos de 0.1V cada vez que se pulse alguno de estos botones. Al igual que en el caso anterior, el programa no dejará pasarse de estos rangos de funcionamiento.

Cuando se han elegido estos dos parámetros, sólo queda introducir el último que es la modulación en frecuencia. Tras confirmar la tensión de salida pulsando sobre el botón OK, saldrá el mensaje que se muestra en la figura 66 por pantalla.

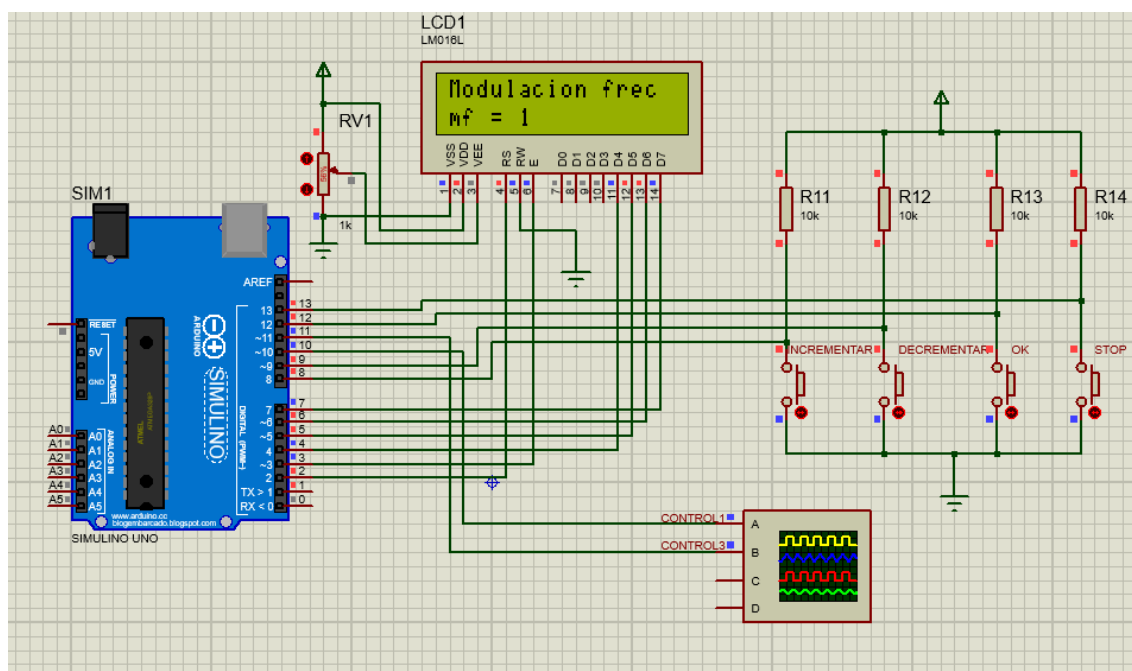


Figura 66: Mensaje de selección de la modulación en frecuencia

Como pasaba en los dos anteriores casos, mediante los botones de INCREMENTAR y DECREMENTAR, se puede elegir la modulación en frecuencia que el usuario desee, siempre estando el rango entre 1 y 21, con saltos de dos en dos, de forma que solo se pase por los números impares. Con este parámetro, el programa tampoco dejará pasarse de los límites de funcionamiento establecidos.

Al contrario de la tensión de salida y la frecuencia, la modulación en frecuencia no es un parámetro en el que se vea a simple vista los cambios que pueda sufrir la señal de salida, por tanto, se va a dejar a continuación una tabla que recoge (según las simulaciones estudiadas en este proyecto) si m_f es recomendable, poco recomendable o nada recomendable, para que el usuario pueda tener una guía que le sirva de ayuda para seleccionar su valor.

Valor de m_f	Impacto en la señal de salida
1	Nada recomendable
3	Poco recomendable
5	Poco recomendable
7	Recomendable
9	Recomendable
11	Recomendable
13	Recomendable
15	Recomendable
17	Recomendable
19	Poco recomendable
21	Poco recomendable

Como se ve en la tabla desde $m_f = 7$ hasta $m_f = 17$ se puede seleccionar cualquier valor sin que afecte significativamente a la señal de salida. Fuera de este rango se apreciarán grandes distorsiones armónicas en la señal de salida.

Cuando ya se han seleccionado los tres valores de entrada que darán forma a las señales de control, y se ha pulsado en el botón OK para confirmar los pasos, el sistema mostrará un mensaje tal y como aparece en la figura 67. Este mensaje quiere decir que las señales de control CONTROL1 y CONTROL3 ya se están generando.

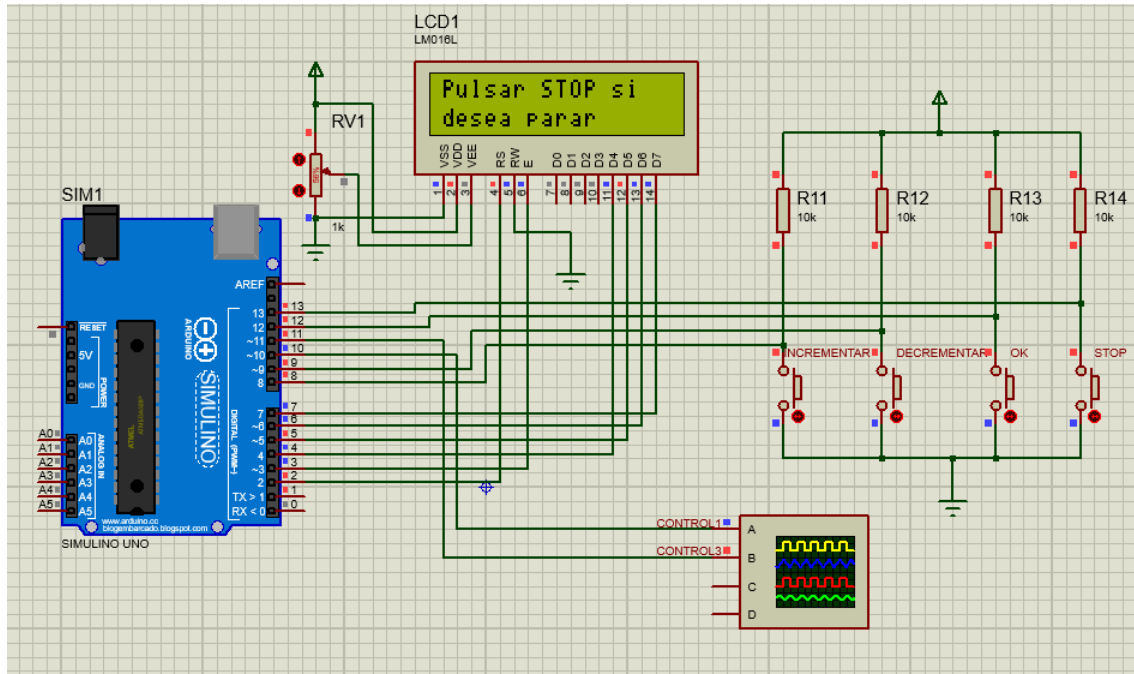


Figura 67: Mensaje cuando se generan las señales de control para el inversor

Además, este mensaje muestra la opción de que se pueda parar la generación de estas señales de control cuando el usuario que lo esté manejando lo desee. Mediante el pulsador de STOP se puede realizar esta opción. Si se hace esto, el sistema le da la opción de volver a cambiar los parámetros de entrada de las señales de control, el mensaje que aparecerá es el que se muestra en la figura 68.

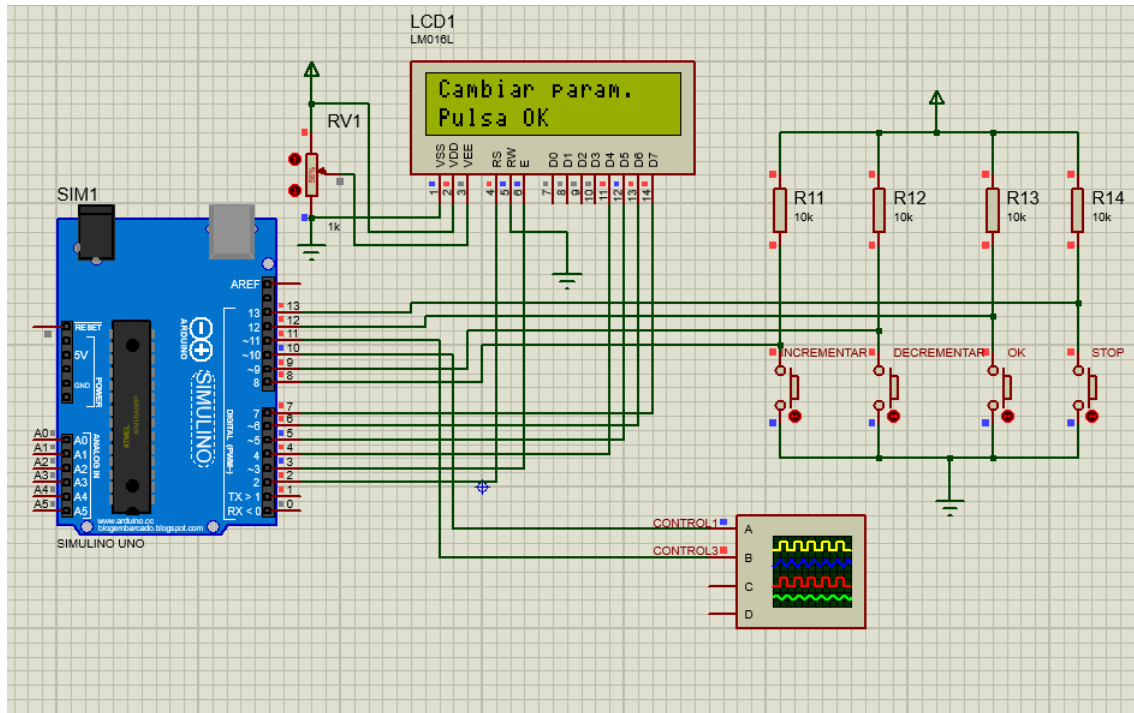


Figura 68: Mensaje para cambiar los parámetros de entrada

Al pulsar sobre el botón OK, se vuelve al paso primero de la selección de la frecuencia de entrada y se pasará por cada parámetro por si se quiere cambiar alguno más.

Las señales de CONTROL1 y CONTROL 3, se pueden ver mediante el osciloscopio digital que hay en el diseño del circuito de mando y visualización.

3. HOJAS DE CARACTERÍSTICAS



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



radiospares

RADIONICS



Technical Specification

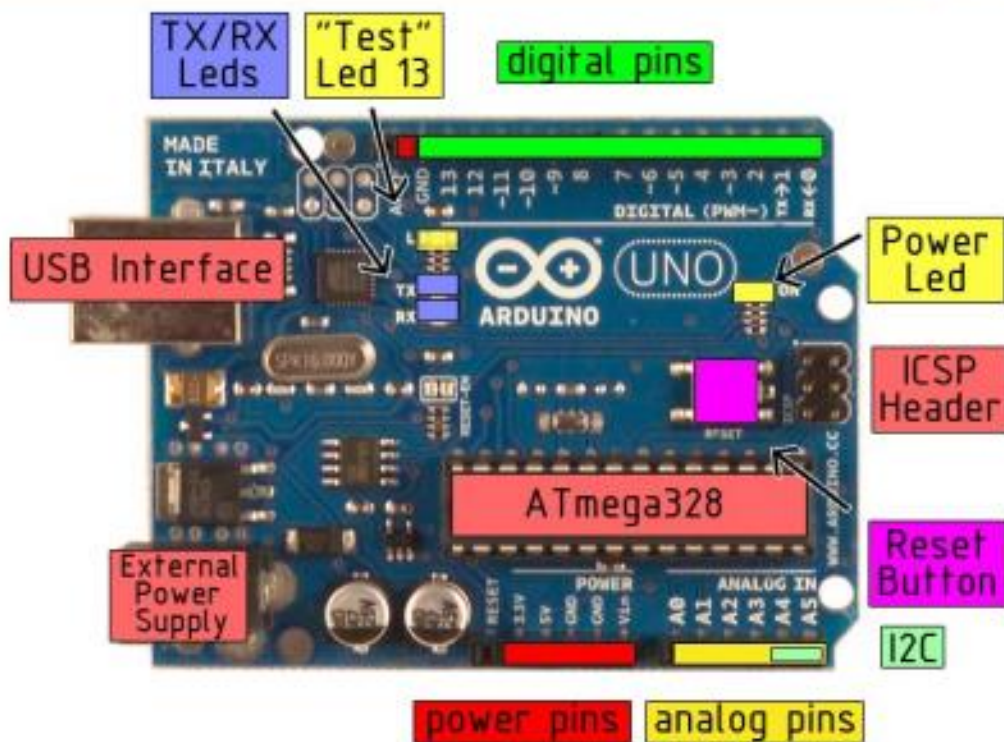


EAGLE files: [arduino-duemilanove-uno-design.zip](#) Schematic: [arduino-uno-schematic.pdf](#)

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

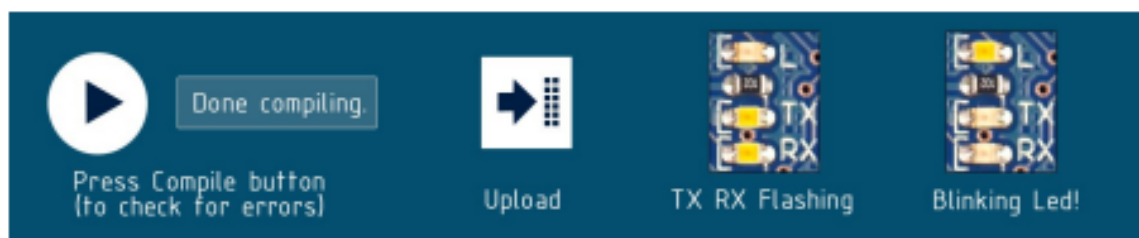
Now you're actually ready to "burn" your first program on the arduino board. To select "blink led", the physical translation of the well known programming "hello world", select

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

Once you have your sketch 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.

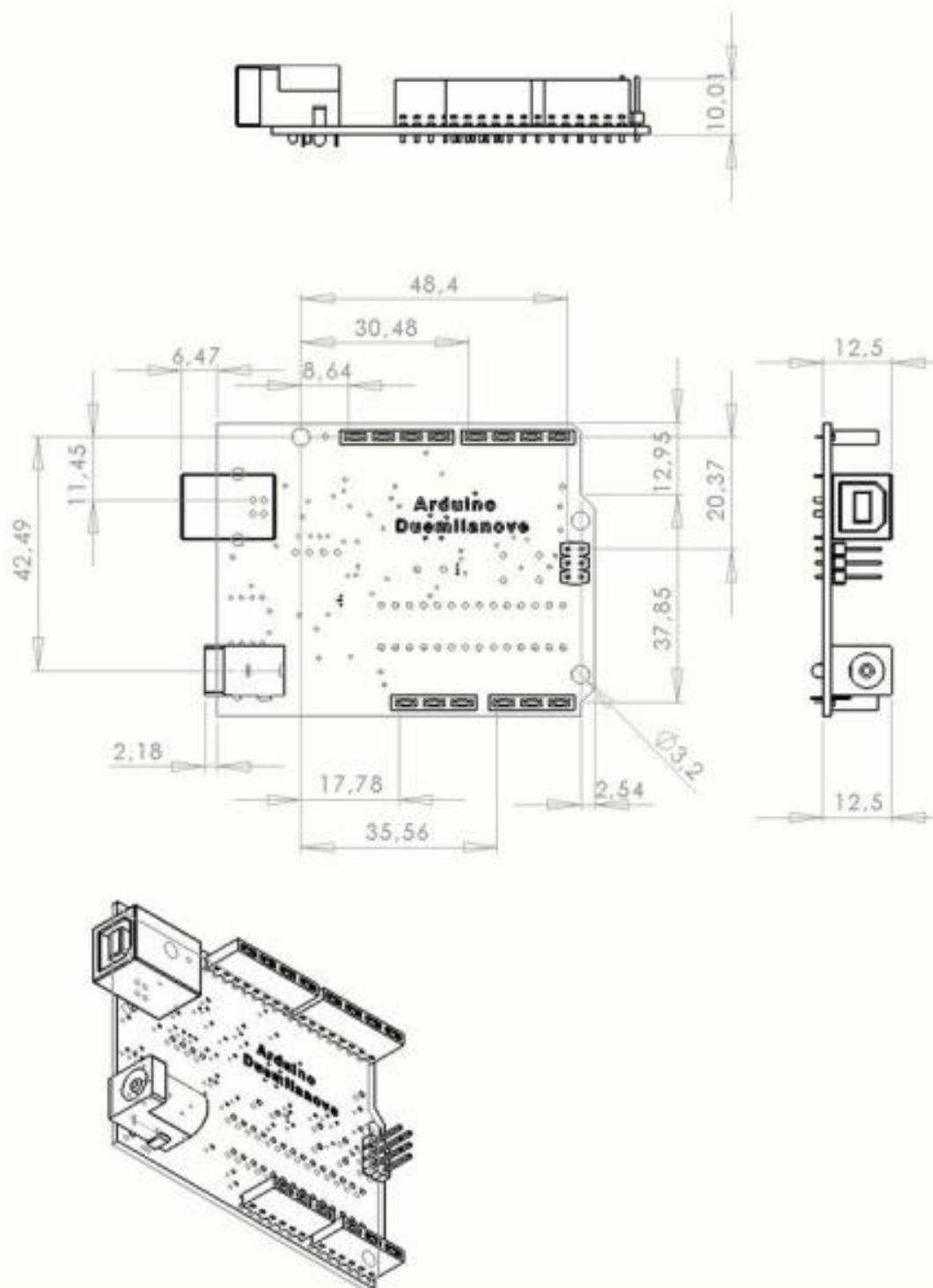


radiospares

RADIONICS



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.



Enviromental 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



XIAMEN AMOTEC DISPLAY CO.,LTD

**SPECIFICATIONS OF
LCD MODULE**

MODULE NO : ADM1602K-NSW-FBS/3.3V

DOC.REVISION: 00

	SIGNATURE	DATE
PREPARED BY (RD ENGINEER)	QIU	2008-10-29
CHECKED BY	<i>Chen</i>	2008-10-29
APPROVED BY	<i>yfe</i>	2008-10-29

DOCUMENT REVISION HISTORY

VERSINO	DATE	DESCRIPTION	CHANGED BY
00	Oct-29-2008	First issue	

CONTENTS

Item	Page
Functions & Features	3
Mechanical specifications	3
Dimensional Outline	4
Absolute maximum ratings	5
Block diagram	5
Pin description	5
Contrast adjust	6
Optical characteristics	6
Electrical characteristics	6
Timing Characteristics	7-8
Instruction description	9-12
Display character address code:	12
character pattern	13
Quality Specifications	14-21

1. Features

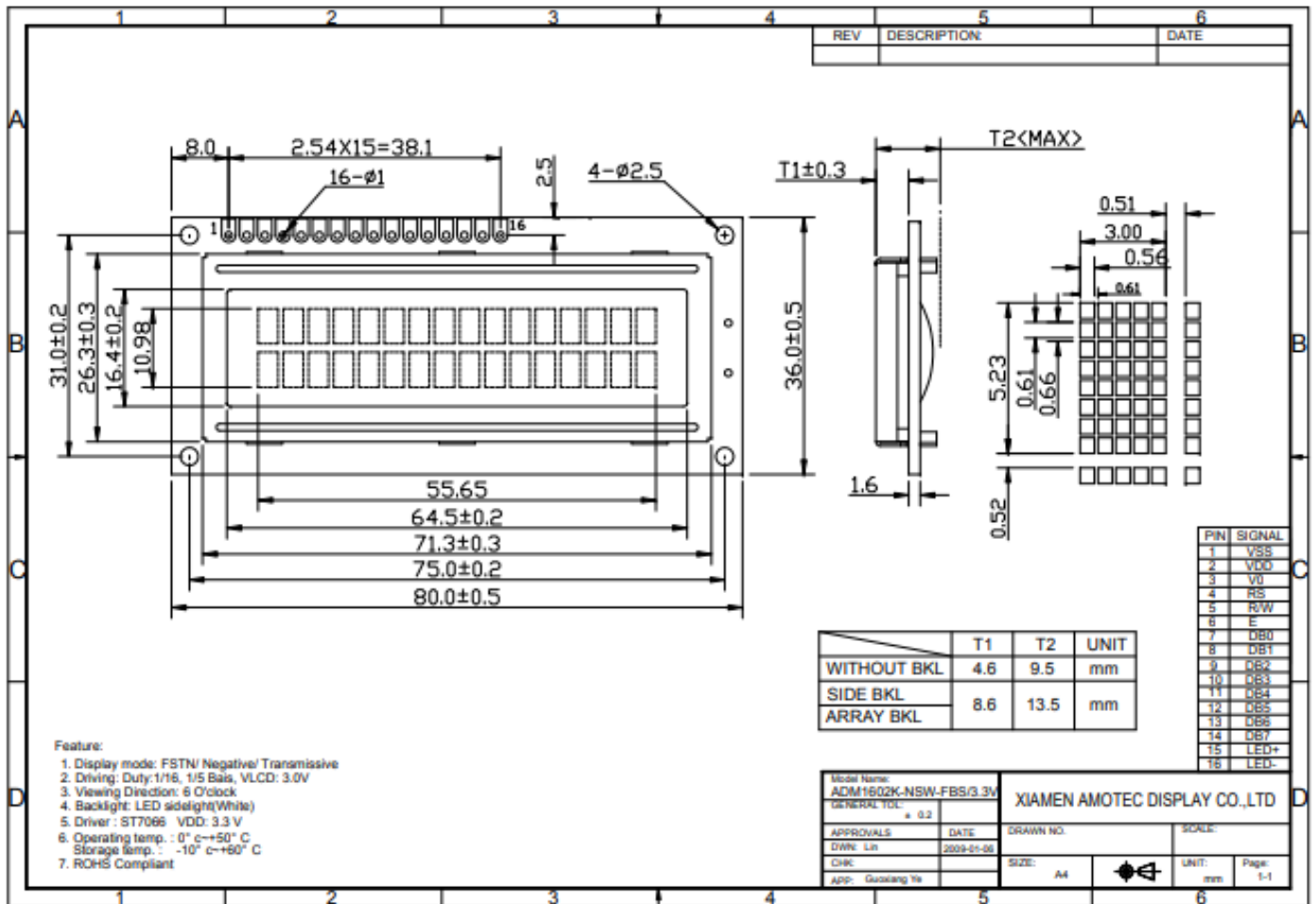
1. 5x8 dots with cursor
2. 16characters *2lines display
3. 4-bit or 8-bit MPU interfaces
4. Built-in controller (ST7066 or equivalent)
5. Display Mode & Backlight Variations
6. ROHS Compliant

LCD type	☐ TN			
	☐ FSTN	☒ FSTN Negative		
	☐ STN Yellow Green	☐ STN Gray		☐ STN Blue Negative
View direction	☒ 6 O'clock		☐ 12 O'clock	
Rear Polarizer	☐ Reflective		☐ Transflective	☒ Transmissive
Backlight Type	☒ LED	☐ EL	☐ Internal Power	☒ 3.3V Input
		☐ CCFL	☒ External Power	☐ 5.0V Input
Backlight Color	☒ White	☐ Blue	☐ Amber	☐ Yellow-Green
Temperature Range	☒ Normal		☐ Wide	☐ Super Wide
DC to DC circuit	☐ Build-in		☒ Not Build-in	
Touch screen	☐ With		☒ Without	
Font type	☒ English-Japanese		☐ English-Europen	☐ English-Russian
			☐ Other	

2. MECHANICAL SPECIFICATIONS

Module size	80.0mm(L)*36.0mm(W)* Max13.5(H)mm
Viewing area	64.5mm(L)*16.4mm(W)
Character size	3.00mm(L)*5.23mm(W)
Character pitch	3.51mm(L)*5.75mm(W)
Weight	Approx.

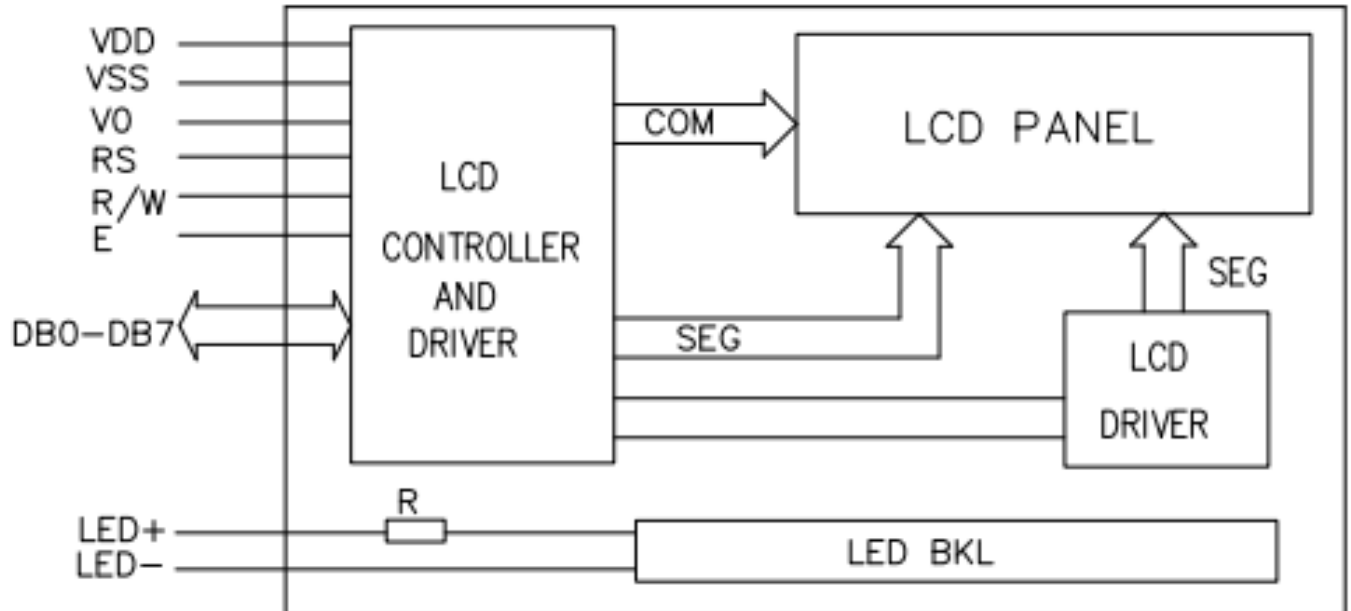
3. Outline dimension



4. Absolute maximum ratings

Item	Symbol	Standard			Unit
Power voltage	$V_{DD}-V_{SS}$	0	-	7.0	V
Input voltage	V_{IN}	V_{SS}	-	V_{DD}	
Operating temperature range	V_{OP}	0	-	+50	°C
Storage temperature range	V_{ST}	-10	-	+60	

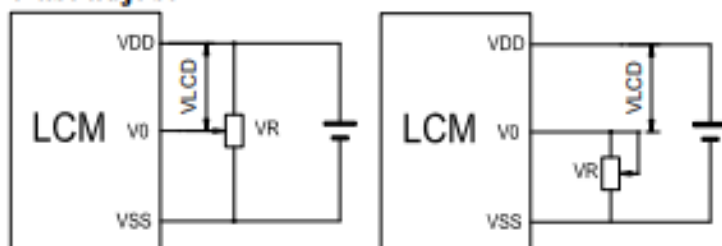
5. Block diagram



6. Interface pin description

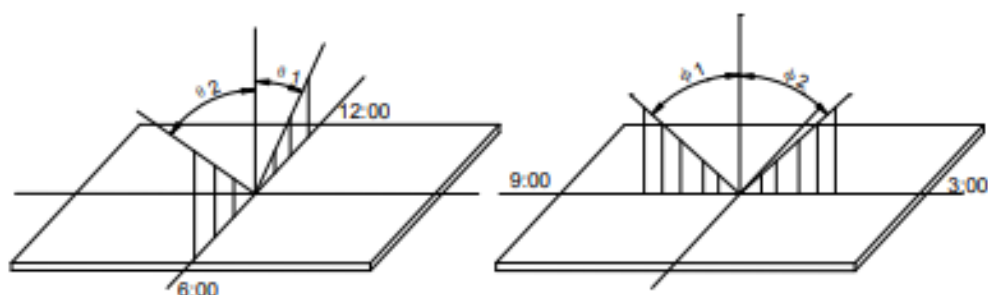
Pin no.	Symbol	External connection	Function
1	Vss	Power supply	Signal ground for LCM
2	V _{DD}		Power supply for logic for LCM
3	V ₀		Contrast adjust
4	RS	MPU	Register select signal
5	R/W	MPU	Read/write select signal
6	E	MPU	Operation (data read/write) enable signal
7~10	DB0~DB3	MPU	Four low order bi-directional three-state data bus lines. Used for data transfer between the MPU and the LCM. These four are not used during 4-bit operation.
11~14	DB4~DB7	MPU	Four high order bi-directional three-state data bus lines. Used for data transfer between the MPU
15	LED+	LED BKL power supply	Power supply for BKL
16	LED-		Power supply for BKL

7. Contrast adjust



$V_{DD}-V_0$: LCD Driving voltage VR: 10k~20k

8. Optical characteristics



STN type display module ($T_a=25^\circ\text{C}$, $V_{DD}=3.3\text{V}$)

Item	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Viewing angle	$\theta 1$	$C_r \geq 3$		20		deg
	$\theta 2$			40		
	$\Phi 1$			35		
	$\Phi 2$			35		
Contrast ratio	C_r		-	10	-	-
Response time (rise)	T_r	-	-	200	250	ms
Response time (fall)	T_f	-	-	300	350	

9. Electrical characteristics

DC characteristics

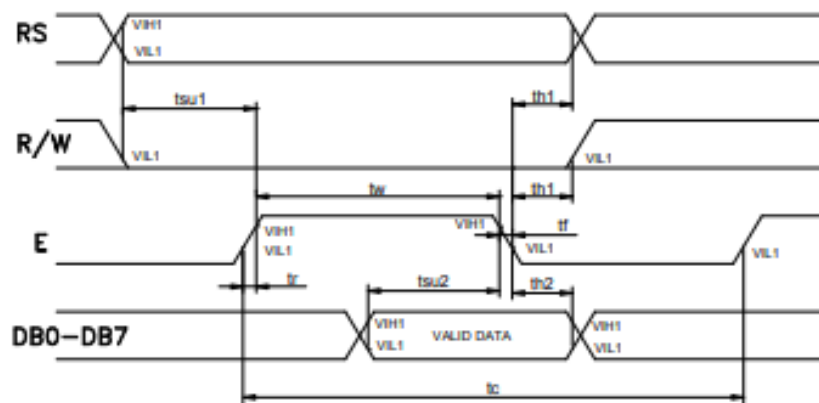
Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Supply voltage for LCD	$V_{DD}-V_0$	$T_a=25^\circ\text{C}$	-	3.0	-	V
Input voltage	V_{DD}		3.1	3.3	3.5	
Supply current	I_{DD}	$T_a=25^\circ\text{C}$, $V_{DD}=3.3\text{V}$	-	1.5	2.5	mA
Input leakage current	I_{LKG}		-	-	1.0	μA
"H" level input voltage	V_{IH}		2.2	-	V_{DD}	V
"L" level input voltage	V_{IL}	Twice initial value or less	0	-	0.6	
"H" level output voltage	V_{OH}	$I_{OH}=-0.25\text{mA}$	2.4	-	-	
"L" level output voltage	V_{OL}	$I_{OH}=1.6\text{mA}$	-	-	0.4	
Backlight supply voltage	V_F		-	3.0		mA
Backlight supply current	I_{LED}	$V_{LED}=3.3\text{V}$ $R=25\Omega$			16	

10. Timing Characteristics

Write cycle ($T_a=25^\circ\text{C}$, $V_{DD}=3.3\text{V}$)

Parameter	Symbol	Test pin	Min.	Typ.	Max.	Unit
Enable cycle time	t_c	E	500	-	-	ns
Enable pulse width	t_w		300	-	-	
Enable rise/fall time	t_r, t_f		-	-	25	
RS; R/W setup time	t_{su1}	RS; R/W RS; R/W	100	-	-	
RS; R/W address hold time	t_{h1}		10	-	-	
Read data output delay	t_{su2}	DB0~DB7	60	-	-	
Read data hold time	t_{h2}		10	-	-	

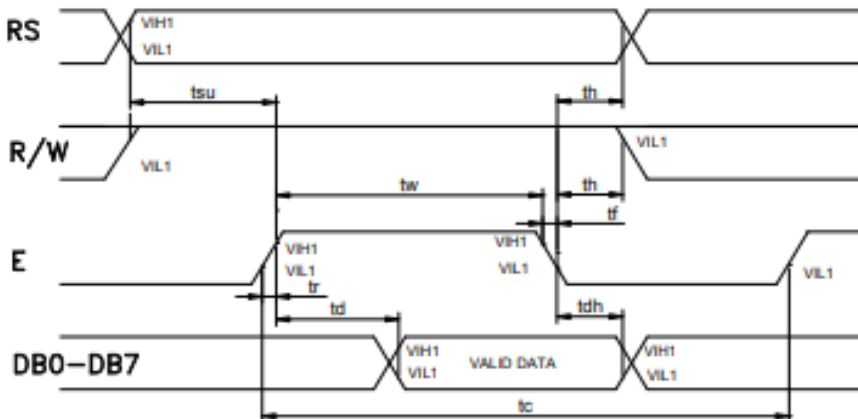
Write mode timing diagram



Read cycle ($T_a=25^\circ\text{C}$, $V_{DD}=3.3\text{V}$)

Parameter	Symbol	Test pin	Min.	Typ.	Max.	Unit
Enable cycle time	t_c	E	500	-	-	ns
Enable pulse width	t_w		300	-	-	
Enable rise/fall time	t_r, t_f		-	-	25	
RS; R/W setup time	t_{su}	RS; R/W RS; R/W	100	-	-	
RS; R/W address hold time	t_h		10	-	-	
Read data output delay	t_d	DB0~DB7	60	-	90	
Read data hold time	t_{dh}		20	-	-	

Read mode timing diagram



11. FUNCTION DESCRIPTION

11.1 System Interface

This chip has all two kinds of interface type with MPU : 4-bit bus and 8-bit bus. 4-bit bus and 8-bit bus is selected by DL bit in the instruction register.

11.2 Busy Flag (BF)

When BF = "High", it indicates that the internal operation is being processed. So during this time the next instruction cannot be accepted. BF can be read, when RS = Low and R/W = High (Read Instruction Operation), through DB7 port. Before executing the next instruction, be sure that BF is not high.

11.3 Address Counter (AC)

Address Counter (AC) stores DDRAM/CGRAM address, transferred from IR. After writing into (reading from) DDRAM/CGRAM, AC is automatically increased (decreased) by 1. When RS = "Low" and R/W = "High", AC can be read through DB0 – DB6 ports.

11.4 Display Data RAM (DDRAM)

DDRAM stores display data of maximum 80 x 8 bits (80 characters). DDRAM address is set in the address counter (AC) as a hexadecimal number.

Display position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DDRAM address	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
DDRAM address	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F

11.5 CGROM (Character Generator ROM)

CGROM has a 5 x 8 dots 204 characters pattern and a 5 x 10 dots 32 characters pattern. CGROM has 204 character patterns of 5 x 8 dots.

11.6 CGRAM (Character Generator RAM)

CGRAM has up to 5 , 8 dot, 8 characters. By writing font data to CGRAM, user defined characters can be used.

Character Code (DDRAM Data)								CGRAM Address						Character Patterns (CGRAM Data)								
b8	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0	b5	b4	b3	b2	b1	b0	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	1	1	1	1	1
						0	0	0				0	0	1				0	0			
						0	0	0				0	1	0				0	0			
						0	0	0				0	1	1				0	0			
						0	0	0				1	0	0				0	0			
						0	0	0				1	0	1				0	0			
						0	0	0				1	1	0				0	0			
						0	0	0				1	1	1				0	0			
0	0	0	0	0	-	0	0	1	0	0	1	0	0	0	-	-	-	1	1	1	1	0
						0	0	1				0	0	1				1	0	0	1	
						0	0	1				0	1	0				1	0	0	1	
						0	0	1				0	1	1				1	1	1	0	
						0	0	1				1	0	0				1	0	0	0	
						0	0	1				1	0	1				1	0	1	0	
						0	0	1				1	1	0				0	1	0	1	
						0	0	1				1	1	1				0	0	0	0	

Relationship between CGRAM Addresses, Character Codes (DDRAM) and Character patterns (CGRAM Data)

Notes:

- Character code bits 0 to 2 correspond to CGRAM address bits 3 to 5 (3 bits: 8 types).
- CGRAM address bits 0 to 2 designate the character pattern line position. The 8th line is the cursor position

and its display is formed by a logical OR with the cursor. Maintain the 8th line data, corresponding to the cursor display position, at 0 as the cursor display. If the 8th line data is 1, 1 bit will light up the 8th line regardless of the cursor presence.

3. Character pattern row positions correspond to CGRAM data bits 0 to 4 (bit 4 being at the left).

4. As shown Table, CGRAM character patterns are selected when character code bits 4 to 7 are all 0. However, since character code bit 3 has no effect, the R display example above can be selected by either character code 00H or 08H.

5. 1 for CGRAM data corresponds to display selection and 0 to non-selection.

"-": Indicates no effect.

11.7 Cursor/Blink Control Circuit

It controls cursor/blink ON/OFF at cursor position.

11.8 Outline

To overcome the speed difference between the internal clock of ST7066 and the MPU clock, ST7066 performs internal operations by storing control in formations to IR or DR. The internal operation is determined according to the signal from MPU, composed of read/write and data bus (Refer to Table7).

Instructions can be divided largely into four groups:

- 1) ST7066 function set instructions (set display methods, set data length, etc.)
- 2) Address set instructions to internal RAM
- 3) Data transfer instructions with internal RAM
- 4) Others

The address of the internal RAM is automatically increased or decreased by 1.

Note: during internal operation, busy flag (DB7) is read "High".

Busy flag check must be preceded by the next instruction.

11.9 Instruction Table

Instruction	Instruction code										Description	Execution time (fosc= 270 KHZ)
	RS	R/M	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0		
Clear Display	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Write "20H" to DDRA and set DDRAM address to "00H" from AC	1.53ms
Return Home	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-	Set DDRAM address to "00H" From AC and return cursor to its original position if shifted. The contents of DDRAM are not changed.	1.53ms
Entry mode Set	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	SH	Assign cursor moving direction And blinking of entire display	39us
Display ON/OFF control	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	Set display (D), cursor (C), and Blinking of cursor (B) on/off Control bit.	
Cursor or Display shift	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	-	-	Set cursor moving and display Shift control bit, and the Direction, without changing of DDRAM data.	39us
Function set	0	0	0	0	1	DL	N	F	-	-	Set interface data length (DL: 8-Bit/4-bit), numbers of display Line (N: =2-line/1-line) and, Display font type (F: 5x11/5x8)	39us
Set CGRAM Address	0	0	0	1	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Set CGRAM address in address Counter.	39us
Set DDRAM Address	0	0	1	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Set DDRAM address in address Counter.	39us
Read busy Flag and Address	0	1	BF	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Whether during internal Operation or not can be known By reading BF. The contents of Address counter can also be read.	0us
Write data to Address	1	0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Write data into internal RAM (DDRAM/CGRAM).	43us
Read data From RAM	1	1	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Read data from internal RAM (DDRAM/CGRAM).	43us

NOTE:

When an MPU program with checking the busy flag (DB7) is made, it must be necessary $1/2f_{osc}$ is necessary for executing the next instruction by the falling edge of the "E" signal after the busy flag (DB7) goes to "Low".

11.3Contents

1) Clear display

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Clear all the display data by writing "20H" (space code) to all DDRAM address, and set DDRAM address to "00H" into AC (address counter).

Return cursor to the original status, namely, bring the cursor to the left edge on the first line of the display. Make the entry mode increment (I/D="High").

2) Return home

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	-

Return home is cursor return home instruction.

Set DDRAM address to "00H" into the address counter.
Return cursor to its original site and return display to its original status, if shifted.
Contents of DDRAM does not change.

3) Entry mode set

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	SH

Set the moving direction of cursor and display.

I/D: increment / decrement of DDRAM address (cursor or blink)

When I/D="high", cursor/blink moves to right and DDRAM address is increased by 1.

When I/D="Low", cursor/blink moves to left and DDRAM address is increased by 1.

*CGRAM operates the same way as DDRAM, when reading from or writing to CGRAM.

SH: shift of entire display

When DDRAM read (CGRAM read/write) operation or SH="Low", shifting of entire display is not performed. If SH="High" and DDRAM write operation, shift of entire display is performed according to I/D value. (I/D="high". shift left, I/D="Low". Shift right).

4) Display ON/OFF control

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	1	D	C	B

Control display/cursor/blink ON/OFF 1 bit register.

D: Display ON/OFF control bit

When D="High", entire display is turned on.

When D="Low", display is turned off, but display data remains in DDRAM.

C: cursor ON/OFF control bit

When D="High", cursor is turned on.

When D="Low", cursor is disappeared in current display, but I/D register preserves its data.

B: Cursor blink ON/OFF control bit

When B="High", cursor blink is on, which performs alternately between all the "High" data and display characters at the cursor position.

When B="Low", blink is off.

5) Cursor or display shift

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	-	-

Shifting of right/left cursor position or display without writing or reading of display data.

This instruction is used to correct or search display data.

During 2-line mode display, cursor moves to the 2nd line after the 40th digit of the 1st line.

Note that display shift is performed simultaneously in all the lines.

When display data is shifted repeatedly, each line is shifted individually.

When display shift is performed, the contents of the address counter are not changed.

Shift patterns according to S/C and R/L bits

S/C	R/L	Operation
0	0	Shift cursor to the left, AC is decreased by 1
0	1	Shift cursor to the right, AC is increased by 1
1	0	Shift all the display to the left, cursor moves according to the display
1	1	Shift all the display to the right, cursor moves according to the display

6) Function set

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	1	DL	N	F	-	-

DL: Interface data length control bit

When DL="High", it means 8-bit bus mode with MPU.

When DL="Low", it means 4-bit bus mode with MPU. Hence, DL is a signal to select 8-bit or 4-bit bus mode.

When 4-bit bus mode, it needs to transfer 4-bit data twice.

N: Display line number control bit

When N="Low", 1-line display mode is set.

When N="High", 2-line display mode is set.

F: Display line number control bit

When F="Low", 5x8 dots format display mode is set.

When F="High", 5x11 dots format display mode.

7) Set CGRAM address

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	1	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0

Set CGRAM address to AC.

The instruction makes CGRAM data available from MPU.

8) Set DDRAM address

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	1	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0

Set DDRAM address to AC.

This instruction makes DDRAM data available from MPU.

When 1-line display mode (N=LOW), DDRAM address is from "00H" to "4FH". In 2-line display mode (N=High), DDRAM address in the 1st line from "00H" to "27H", and DDRAM address in the 2nd line is from "40H" to "67H".

9) Read busy flag & address

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	1	BF	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0

This instruction shows whether SPLC780D is in internal operation or not.

If the resultant BF is "High", internal operation is in progress and should wait BF is to be LOW, which by then the next instruction can be performed. In this instruction you can also read the value of the address counter.

10) Write data to RAM

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

Write binary 8-bit data to DDRAM/CGRAM.

The selection of RAM from DDRAM, and CGRAM, is set by the previous address set instruction (DDRAM address set, CGRAM address set).

RAM set instruction can also determine the AC direction to RAM.

After write operation. The address is automatically increased/decreased by 1, according to the entry mode.

11) Read data from RAM

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	1	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

Read binary 8-bit data from DDRAM/CGRAM.

The selection of RAM is set by the previous address set instruction. If the address set instruction of RAM is not performed before this instruction, the data that has been read first is invalid, as the direction of AC is not yet determined. If RAM data is read several times without RAM address instructions set before, read operation, the correct RAM data can be obtained from the second. But the first data would be incorrect, as there is no time margin to transfer RAM data.

In case of DDRAM read operation, cursor shift instruction plays the same role as DDRAM address set

instruction, it also transfers RAM data to output data register.

After read operation, address counter is automatically increased/decreased by 1 according to the entry mode.

After CGRAM read operation, display shift may not be executed correctly.

NOTE: In case of RAM write operation, AC is increased/decreased by 1 as in read operation.

At this time, AC indicates next address position, but only the previous data can be read by the read instruction.

12. Standard character pattern

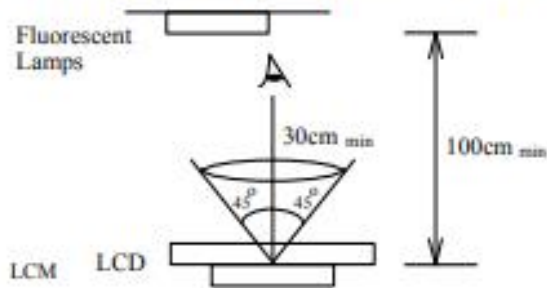
Upper 4bit Lower 4bit	LLLL	LLLH	LLHL	LLHH	LHLL	LHLH	LHHL	LHHH	HLLL	HLLH	HLHL	HLHH	HHLL	HHLH	HHHL	HHHH
LLLL	CG RAM (1)			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C
LLLH	(2)	!	"	#	\$	%	&	'	(	)	*	+	,	-	.	/
LLHL	(3)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E
LLHH	(4)	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
LHLL	(5)	U	V	W	X	Y	Z	[	\	]	^	_	`	a	b	c
LHLH	(6)	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r
LHHL	(7)	s	t	u	v	w	x	y	z	{		}	~	¡	¢	£
LHHH	(8)	¥	¦	§	¨	©	ª	«	¬	®	¯	°	±	²	³	´
HLLL	(1)	µ	¶	·	¸	¹	º	»	¼	½	¾	¿	À	Á	Â	Ã
HLLH	(2)	Ä	Å	Æ	Ç	Ð	Ñ	Ò	Ó	Ô	Õ	Ö	×	Ø	Ù	Ú
HLHL	(3)	Û	Ü	Ý	Þ	ß	à	á	â	ã	ä	å	æ	ç	ð	ñ
HLHH	(4)	ò	ó	ô	õ	ö	÷	ø	ù	ú	û	ü	ý	þ	ß	à
HHLL	(5)	á	â	ã	ä	å	æ	ç	ð	ñ	ò	ó	ô	õ	ö	÷
HHLH	(6)	ø	ù	ú	û	ü	ý	þ	ß	à	á	â	ã	ä	å	æ
HHHL	(7)	ç	ð	ñ	ò	ó	ô	õ	ö	÷	ø	ù	ú	û	ü	ý
HHHH	(8)	þ	ß	à	á	â	ã	ä	å	æ	ç	ð	ñ	ò	ó	ô

13. QUALITY SPECIFICATIONS

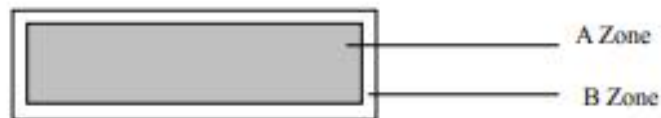
13.1 Standard of the product appearance test

Manner of appearance test: The inspection should be performed in using 20W x 2 fluorescent lamps. Distance between LCM and fluorescent lamps should be 100 cm or more. Distance between LCM and inspector eyes should be 30 cm or more.

Viewing direction for inspection is 45° from vertical against LCM.



Definition of zone:



A Zone: Active display area (minimum viewing area).

B Zone: Non-active display area (outside viewing area).

13.2 Specification of quality assurance

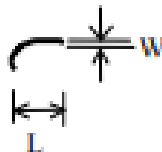
AQL inspection standard

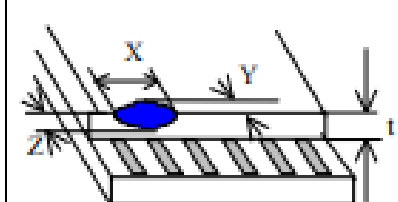
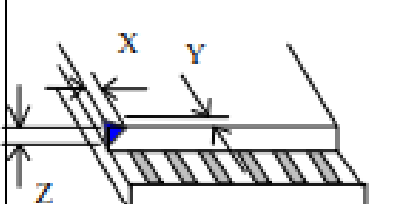
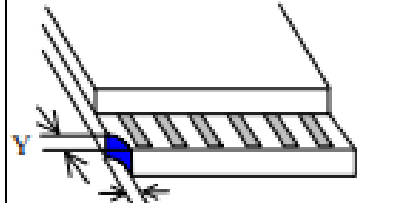
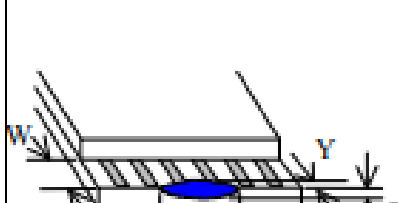
Sampling method: MIL-STD-105E, Level II, single sampling

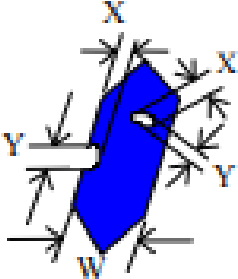
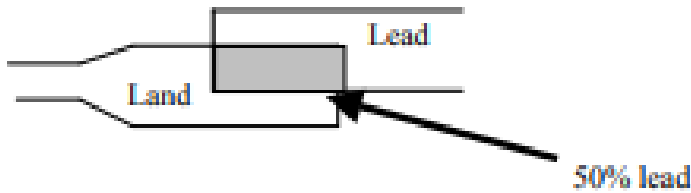
Defect classification (Note: * is not including)

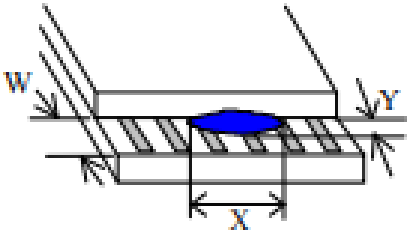
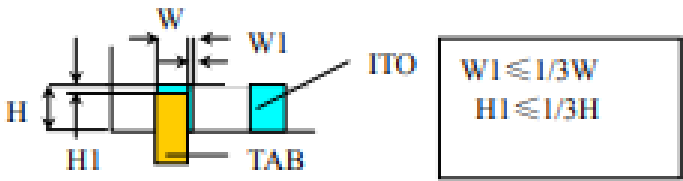
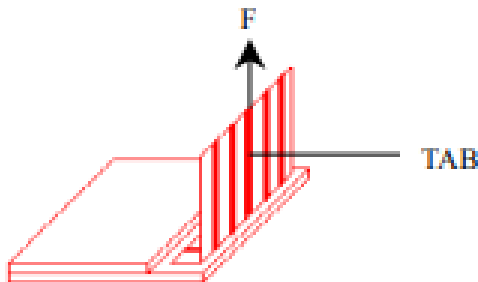
Classify	Item		Note	AQL
Major	Display state	Short or open circuit	1	0.65
		LC leakage		
		Flickering		
		No display		
		Wrong viewing direction		
		Contrast defect (dim, ghost)	2	
		Back-light	1,8	
	Non-display	Flat cable or pin reverse	10	
		Wrong or missing component	11	
Minor	Display state	Background color deviation	2	1.0
		Black spot and dust	3	
		Line defect, Scratch	4	
		Rainbow	5	
		Chip	6	
		Pin hole	7	
		Protruded	12	
		Bubble and foreign material	3	
	Soldering	Poor connection	9	
	Wire	Poor connection	10	
	TAB	Position, Bonding strength	13	

Note on defect classification

No.	Item	Criterion																				
1	Short or open circuit	Not allow																				
	LC leakage																					
	Flickering																					
	No display																					
	Wrong viewing direction																					
	Wrong Back-light																					
2	Contrast defect	Refer to approval sample																				
	Background color deviation																					
3	Point defect, Black spot, dust (including Polarizer) $\phi = (X+Y)/2$	 <table><tr><th>Point Size</th><th>Acceptable Qty.</th></tr><tr><td>$\phi \leq 0.10$</td><td>Disregard</td></tr><tr><td>$0.10 < \phi \leq 0.20$</td><td>3</td></tr><tr><td>$0.20 < \phi \leq 0.25$</td><td>2</td></tr><tr><td>$0.25 < \phi \leq 0.30$</td><td>1</td></tr><tr><td>$\phi > 0.30$</td><td>0</td></tr></table> Unit: mm	Point Size	Acceptable Qty.	$\phi \leq 0.10$	Disregard	$0.10 < \phi \leq 0.20$	3	$0.20 < \phi \leq 0.25$	2	$0.25 < \phi \leq 0.30$	1	$\phi > 0.30$	0								
Point Size	Acceptable Qty.																					
$\phi \leq 0.10$	Disregard																					
$0.10 < \phi \leq 0.20$	3																					
$0.20 < \phi \leq 0.25$	2																					
$0.25 < \phi \leq 0.30$	1																					
$\phi > 0.30$	0																					
4	Line defect, Scratch	 <table><tr><th colspan="2">Line</th><th>Acceptable Qty.</th></tr><tr><th>L</th><th>W</th><th></th></tr><tr><td>---</td><td>$0.015 \geq W$</td><td>Disregard</td></tr><tr><td>$3.0 \geq L$</td><td>$0.03 \geq W$</td><td rowspan="2">2</td></tr><tr><td>$2.0 \geq L$</td><td>$0.05 \geq W$</td></tr><tr><td>$1.0 \geq L$</td><td>$0.1 > W$</td><td>1</td></tr><tr><td>---</td><td>$0.05 < W$</td><td>Applied as point defect</td></tr></table> Unit: mm	Line		Acceptable Qty.	L	W		---	$0.015 \geq W$	Disregard	$3.0 \geq L$	$0.03 \geq W$	2	$2.0 \geq L$	$0.05 \geq W$	$1.0 \geq L$	$0.1 > W$	1	---	$0.05 < W$	Applied as point defect
Line		Acceptable Qty.																				
L	W																					
---	$0.015 \geq W$	Disregard																				
$3.0 \geq L$	$0.03 \geq W$	2																				
$2.0 \geq L$	$0.05 \geq W$																					
$1.0 \geq L$	$0.1 > W$	1																				
---	$0.05 < W$	Applied as point defect																				
5	Rainbow	Not more than two color changes across the viewing area.																				

No	Item	Criterion																																	
6	Chip Remark: X: Length direction Y: Short direction Z: Thickness direction t: Glass thickness W: Terminal Width	 Acceptable criterion <table border="1"> <tr> <th>X</th><th>Y</th><th>Z</th></tr> <tr> <td>≤ 2</td><td>0.5mm</td><td>$\leq t/2$</td></tr> </table>  Acceptable criterion <table border="1"> <tr> <th>X</th><th>Y</th><th>Z</th></tr> <tr> <td>≤ 2</td><td>0.5mm</td><td>$\leq t$</td></tr> </table>  Acceptable criterion <table border="1"> <tr> <th>X</th><th>Y</th><th>Z</th></tr> <tr> <td>≤ 3</td><td>≤ 2</td><td>$\leq t$</td></tr> <tr> <td colspan="2">shall not reach to ITO</td><td></td></tr> </table>  Acceptable criterion <table border="1"> <tr> <th>X</th><th>Y</th><th>Z</th></tr> <tr> <td>Disregard</td><td>≤ 0.2</td><td>$\leq t$</td></tr> </table>  Acceptable criterion <table border="1"> <tr> <th>X</th><th>Y</th><th>Z</th></tr> <tr> <td>≤ 5</td><td>≤ 2</td><td>$\leq t/3$</td></tr> </table>	X	Y	Z	≤ 2	0.5mm	$\leq t/2$	X	Y	Z	≤ 2	0.5mm	$\leq t$	X	Y	Z	≤ 3	≤ 2	$\leq t$	shall not reach to ITO			X	Y	Z	Disregard	≤ 0.2	$\leq t$	X	Y	Z	≤ 5	≤ 2	$\leq t/3$
X	Y	Z																																	
≤ 2	0.5mm	$\leq t/2$																																	
X	Y	Z																																	
≤ 2	0.5mm	$\leq t$																																	
X	Y	Z																																	
≤ 3	≤ 2	$\leq t$																																	
shall not reach to ITO																																			
X	Y	Z																																	
Disregard	≤ 0.2	$\leq t$																																	
X	Y	Z																																	
≤ 5	≤ 2	$\leq t/3$																																	

No.	Item	Criterion								
7	Segment pattern W = Segment width $\phi = (X+Y)/2$	(1) Pin hole $\phi < 0.10\text{mm}$ is acceptable. <table><tr><th>Point Size</th><th>Acceptable Qty</th></tr><tr><td>$\phi \leq 1/4W$</td><td>Disregard</td></tr><tr><td>$1/4W < \phi \leq 1/2W$</td><td>1</td></tr><tr><td>$\phi > 1/2W$</td><td>0</td></tr></table> Unit: mm	Point Size	Acceptable Qty	$\phi \leq 1/4W$	Disregard	$1/4W < \phi \leq 1/2W$	1	$\phi > 1/2W$	0
Point Size	Acceptable Qty									
$\phi \leq 1/4W$	Disregard									
$1/4W < \phi \leq 1/2W$	1									
$\phi > 1/2W$	0									
8	Back-light	(1) The color of backlight should correspond its specification. (2) Not allow flickering								
9	Soldering	(1) Not allow heavy dirty and solder ball on PCB. (The size of dirty refer to point and dust defect) (2) Over 50% of lead should be soldered on Land. 								
10	Wire	(1) Copper wire should not be rusted (2) Not allow crack on copper wire connection. (3) Not allow reversing the position of the flat cable. (4) Not allow exposed copper wire inside the flat cable.								
11*	PCB	(1) Not allow screw rust or damage. (2) Not allow missing or wrong putting of component.								

No	Item	Criterion
12	Protruded W: Terminal Width	 Acceptable criteria: $Y \leq 0.4$
13	TAB	1. Position  2. TAB bonding strength test  $P (=F/\text{TAB bonding width}) \geq 650\text{gf/cm}$ (speed rate: 1mm/min) 5pcs per SOA (shipment)
14	Total no. of acceptable Defect	A. Zone Maximum 2 minor non-conformities per one unit. Defect distance: each point to be separated over 10mm B. Zone It is acceptable when it is no trouble for quality and assembly in customer's end product.

13.3 Reliability of LCM

Reliability test condition:

Item	Condition	Time (hrs)	Assessment
High temp. Storage	80°C	48	No abnormalities in functions and appearance
High temp. Operating	70°C	48	
Low temp. Storage	-30°C	48	
Low temp. Operating	-20°C	48	
Humidity	40°C/ 90%RH	48	
Temp. Cycle	0°C ← 25°C → 50°C (30 min ← 5 min → 30min)	10cycles	

Recovery time should be 24 hours minimum. Moreover, functions, performance and appearance shall be free from remarkable deterioration within 50,000 hours under ordinary operating and storage conditions room temperature (20±8°C), normal humidity (below 65% RH), and in the area not exposed to direct sun light.

13.4 Precaution for using LCD/LCM

LCD/LCM is assembled and adjusted with a high degree of precision. Do not attempt to make any alteration or modification. The followings should be noted.

General Precautions:

1. LCD panel is made of glass. Avoid excessive mechanical shock or applying strong pressure onto the surface of display area.
2. The polarizer used on the display surface is easily scratched and damaged. Extreme care should be taken when handling. To clean dust or dirt off the display surface, wipe gently with cotton, or other soft material soaked with isopropyl alcohol, ethyl alcohol or trichlorotrifluoroethane, do not use water, ketone or aromatics and never scrub hard.
3. Do not tamper in any way with the tabs on the metal frame.
4. Do not make any modification on the PCB without consulting AMOTEC
5. When mounting a LCM, make sure that the PCB is not under any stress such as bending or twisting. Elastomer contacts are very delicate and missing pixels could result from slight dislocation of any of the elements.
6. Avoid pressing on the metal bezel, otherwise the elastomer connector could be deformed and lose contact, resulting in missing pixels and also cause rainbow on the display.
7. Be careful not to touch or swallow liquid crystal that might leak from a damaged cell. Any liquid crystal adheres to skin or clothes, wash it off immediately with soap and water.

Static Electricity Precautions:

1. CMOS LSI is used for the module circuit; therefore operators should be grounded whenever he/she comes into contact with the module.
2. Do not touch any of the conductive parts such as the LSI pads; the copper leads on the PCB and the interface terminals with any parts of the human body.

3. Do not touch the connection terminals of the display with bare hand; it will cause disconnection or defective insulation of terminals.
4. The modules should be kept in anti-static bags or other containers resistant to static for storage.
5. Only properly grounded soldering irons should be used.
6. If an electric screwdriver is used, it should be grounded and shielded to prevent sparks.
7. The normal static prevention measures should be observed for work clothes and working benches.
8. Since dry air is inductive to static, a relative humidity of 50-60% is recommended.

Soldering Precautions:

1. Soldering should be performed only on the I/O terminals.
2. Use soldering irons with proper grounding and no leakage.
3. Soldering temperature: $280^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$
4. Soldering time: 3 to 4 second.
5. Use eutectic solder with resin flux filling.
6. If flux is used, the LCD surface should be protected to avoid spattering flux.
7. Flux residue should be removed.

Operation Precautions:

1. The viewing angle can be adjusted by varying the LCD driving voltage V_o .
2. Since applied DC voltage causes electro-chemical reactions, which deteriorate the display, the applied pulse waveform should be a symmetric waveform such that no DC component remains. Be sure to use the specified operating voltage.
3. Driving voltage should be kept within specified range; excess voltage will shorten display life.
4. Response time increases with decrease in temperature.
5. Display color may be affected at temperatures above its operational range.
6. Keep the temperature within the specified range usage and storage. Excessive temperature and humidity could cause polarization degradation, polarizer peel-off or generate bubbles.
7. For long-term storage over 40 °C is required, the relative humidity should be kept below 60%, and avoid direct sunlight.

Limited Warranty

AMOTEC LCDs and modules are not consumer products, but may be incorporated by AMOTEC's customers into consumer products or components thereof, AMOTEC does not warrant that its LCDs and components are fit for any such particular purpose.

1. The liability of AMOTEC is limited to repair or replacement on the terms set forth below. AMOTEC will not be responsible for any subsequent or consequential events or injury or damage to any personnel or user including third party personnel and/or user. Unless otherwise agreed in writing between AMOTEC and the customer, AMOTEC will only replace or repair any of its LCD which is found defective electrically or visually when inspected in accordance with AMOTEC general LCD inspection standard. (Copies available on request)
2. No warranty can be granted if any of the precautions state in handling liquid crystal display above has been disregarded. Broken glass, scratches on polarizer mechanical damages as well as defects that are caused accelerated environment tests are excluded from warranty.
3. In returning the LCD/LCM, they must be properly packaged; there should be detailed description of the failures or defect.

IR2110(S)PbF/IR2113(S)PbF

HIGH AND LOW SIDE DRIVER

Features

- Floating channel designed for bootstrap operation
Fully operational to +500V or +600V
Tolerant to negative transient voltage
dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V logic compatible
Separate logic supply range from 3.3V to 20V
Logic and power ground $\pm 5V$ offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs

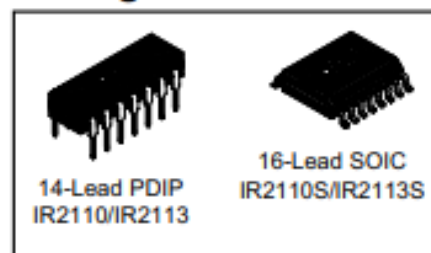
Product Summary

V_{OFFSET} (IR2110)	500V max.
(IR2113)	600V max.
$I_{\text{O+/-}}$	2A / 2A
V_{OUT}	10 - 20V
$t_{\text{on/off}}$ (typ.)	120 & 94 ns
Delay Matching (IR2110)	10 ns max.
(IR2113)	20ns max.

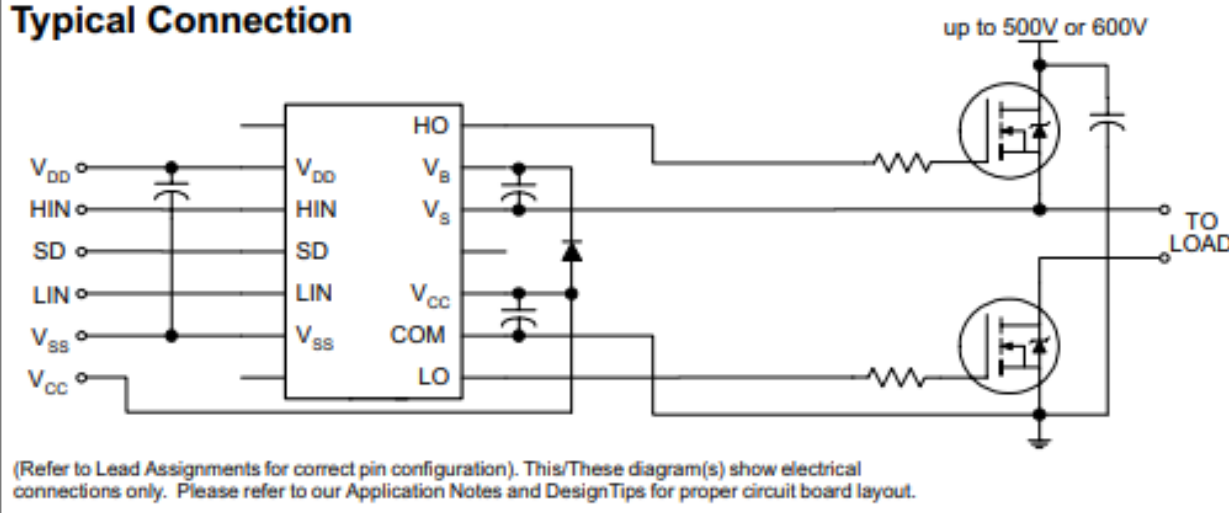
Description

The IR2110/IR2113 are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL output, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 500 or 600 volts.

Packages



Typical Connection



IR2110(S)PbF/IR2113(S)PbF

International
IR Rectifier

Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM. The thermal resistance and power dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions. Additional information is shown in Figures 28 through 35.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V_B	High side floating supply voltage (IR2110)	-0.3	525	V
	(IR2113)	-0.3	625	
V_S	High side floating supply offset voltage	$V_B - 25$	$V_B + 0.3$	
V_{HO}	High side floating output voltage	$V_S - 0.3$	$V_B + 0.3$	
V_{CC}	Low side fixed supply voltage	-0.3	25	
V_{LO}	Low side output voltage	-0.3	$V_{CC} + 0.3$	
V_{DD}	Logic supply voltage	-0.3	$V_{SS} + 25$	
V_{SS}	Logic supply offset voltage	$V_{CC} - 25$	$V_{CC} + 0.3$	
V_{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	$V_{SS} - 0.3$	$V_{DD} + 0.3$	
dV_S/dt	Allowable offset supply voltage transient (figure 2)	—	50	V/ns
P_D	Package power dissipation @ $T_A \leq +25^\circ\text{C}$ (14 lead DIP)	—	1.6	W
	(16 lead SOIC)	—	1.25	
R_{THJA}	Thermal resistance, junction to ambient (14 lead DIP)	—	75	$^\circ\text{C/W}$
	(16 lead SOIC)	—	100	
T_J	Junction temperature	—	150	$^\circ\text{C}$
T_S	Storage temperature	-55	150	
T_L	Lead temperature (soldering, 10 seconds)	—	300	

Recommended Operating Conditions

The input/output logic timing diagram is shown in figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. The V_S and V_{SS} offset ratings are tested with all supplies biased at 15V differential. Typical ratings at other bias conditions are shown in figures 36 and 37.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V_B	High side floating supply absolute voltage	$V_S + 10$	$V_S + 20$	V
V_S	High side floating supply offset voltage (IR2110)	Note 1	500	
	(IR2113)	Note 1	600	
V_{HO}	High side floating output voltage	V_S	V_B	
V_{CC}	Low side fixed supply voltage	10	20	
V_{LO}	Low side output voltage	0	V_{CC}	
V_{DD}	Logic supply voltage	$V_{SS} + 3$	$V_{SS} + 20$	
V_{SS}	Logic supply offset voltage	-5 (Note 2)	5	
V_{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V_{SS}	V_{DD}	$^\circ\text{C}$
T_A	Ambient temperature	-40	125	

Note 1: Logic operational for V_S of -4 to +500V. Logic state held for V_S of -4V to $-V_{BS}$. (Please refer to the Design Tip DT97-3 for more details).

Note 2: When $V_{DD} < 5V$, the minimum V_{SS} offset is limited to $-V_{DD}$.

Dynamic Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, C_L = 1000 pF, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The dynamic electrical characteristics are measured using the test circuit shown in Figure 3.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
t_{on}	Turn-on propagation delay	7	—	120	150	ns	$V_S = 0V$
t_{off}	Turn-off propagation delay	8	—	94	125		$V_S = 500V/600V$
t_{sd}	Shutdown propagation delay	9	—	110	140		$V_S = 500V/600V$
t_r	Turn-on rise time	10	—	25	35		
t_f	Turn-off fall time	11	—	17	25		
MT	Delay matching, HS & LS turn-on/off	(IR2110) (IR2113)	—	—	—	10 20	

Static Electrical Characteristics

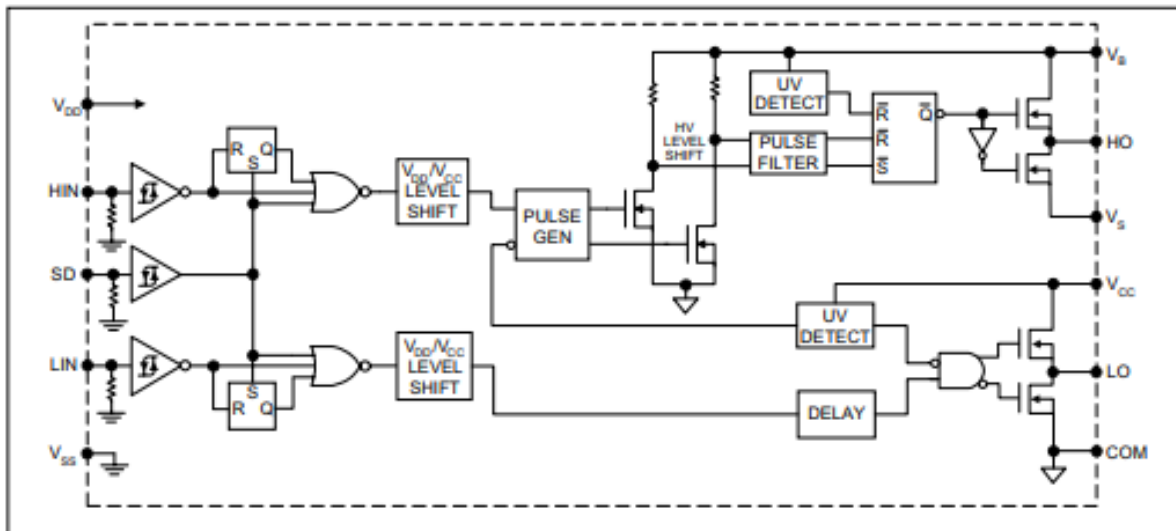
V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The V_{IH} , V_{TH} and I_{IN} parameters are referenced to V_{SS} and are applicable to all three logic input leads: HIN, LIN and SD. The V_O and I_O parameters are referenced to COM and are applicable to the respective output leads: HO or LO.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
V_{IH}	Logic "1" input voltage	12	9.5	—	—	V	
V_{IL}	Logic "0" input voltage	13	—	—	6.0		
V_{OH}	High level output voltage, $V_{BIAS} - V_O$	14	—	—	1.2		$I_O = 0A$
V_{OL}	Low level output voltage, V_O	15	—	—	0.1		$I_O = 0A$
I_{LK}	Offset supply leakage current	16	—	—	50	μA	$V_B = V_S = 500V/600V$
I_{QBS}	Quiescent V_{BS} supply current	17	—	125	230		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{QCC}	Quiescent V_{CC} supply current	18	—	180	340		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{QDD}	Quiescent V_{DD} supply current	19	—	15	30		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{IN+}	Logic "1" input bias current	20	—	20	40		$V_{IN} = V_{DD}$
I_{IN-}	Logic "0" input bias current	21	—	—	1.0		$V_{IN} = 0V$
V_{BSUV+}	V_{BS} supply undervoltage positive going threshold	22	7.5	8.6	9.7	V	
V_{BSUV-}	V_{BS} supply undervoltage negative going threshold	23	7.0	8.2	9.4		
V_{CCUV+}	V_{CC} supply undervoltage positive going threshold	24	7.4	8.5	9.6		
V_{CCUV-}	V_{CC} supply undervoltage negative going threshold	25	7.0	8.2	9.4		
I_{O+}	Output high short circuit pulsed current	26	2.0	2.5	—	A	$V_O = 0V$, $V_{IN} = V_{DD}$ $PW \leq 10 \mu s$
I_{O-}	Output low short circuit pulsed current	27	2.0	2.5	—		$V_O = 15V$, $V_{IN} = 0V$ $PW \leq 10 \mu s$

IR2110(S)PbF/IR2113(S)PbF

International
IR Rectifier

Functional Block Diagram



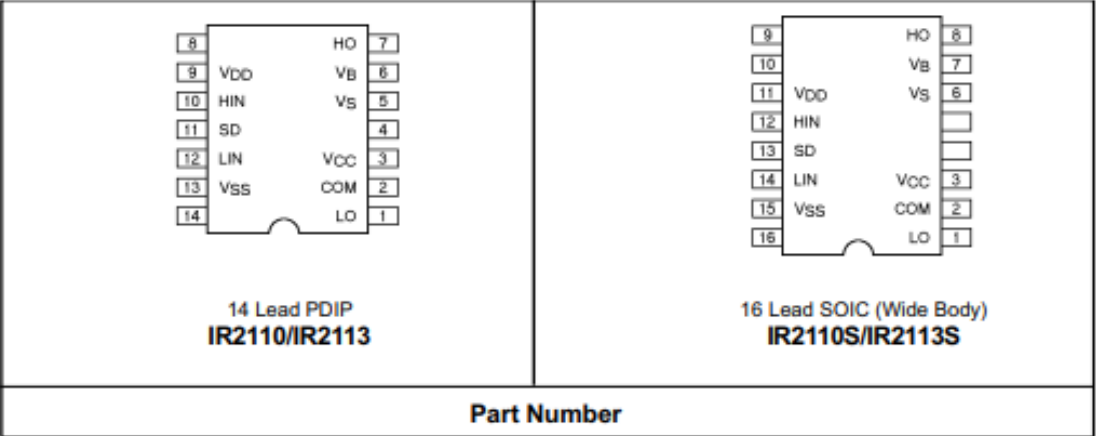
Lead Definitions

Symbol	Description
VDD	Logic supply
HIN	Logic input for high side gate driver output (HO), in phase
SD	Logic input for shutdown
LIN	Logic input for low side gate driver output (LO), in phase
VSS	Logic ground
VB	High side floating supply
HO	High side gate drive output
VS	High side floating supply return
VCC	Low side supply
LO	Low side gate drive output
COM	Low side return



IR2110(S)PbF/IR2113(S)PbF

Lead Assignments



IR2110(S)PbF/IR2113(S)PbF

International
IR Rectifier

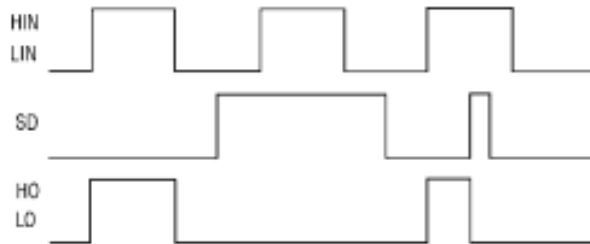


Figure 1. Input/Output Timing Diagram

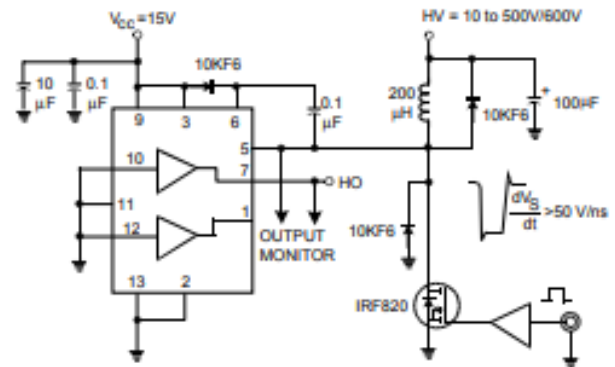


Figure 2. Floating Supply Voltage Transient Test Circuit

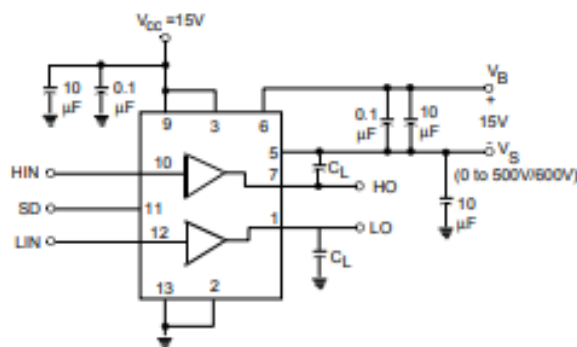


Figure 3. Switching Time Test Circuit

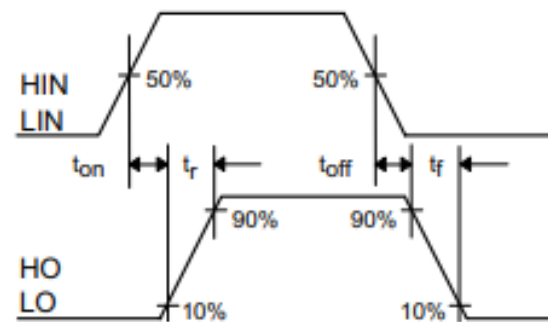


Figure 4. Switching Time Waveform Definition

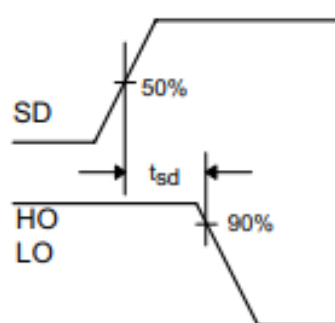


Figure 5. Shutdown Waveform Definitions

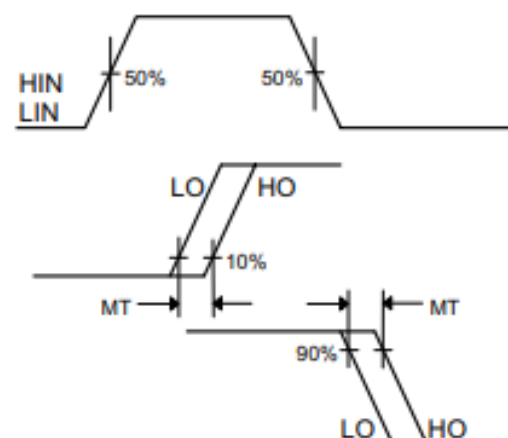


Figure 6. Delay Matching Waveform Definitions

International
IOR Rectifier

IR2110(S)PbF/IR2113(S)PbF

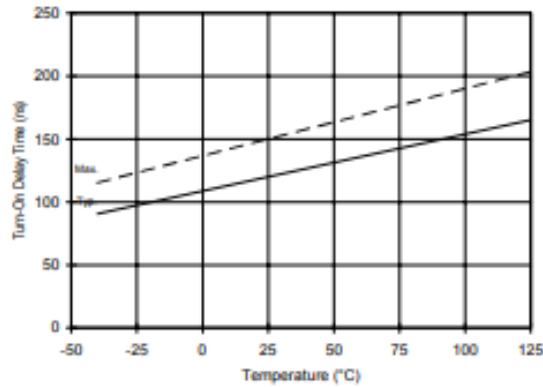


Figure 7A. Turn-On Time vs. Temperature

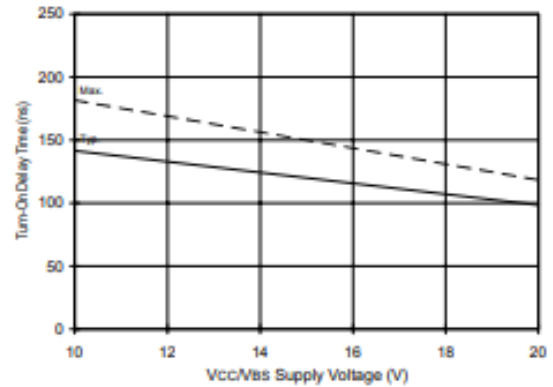


Figure 7B. Turn-On Time vs. Vcc/Vss Supply Voltage

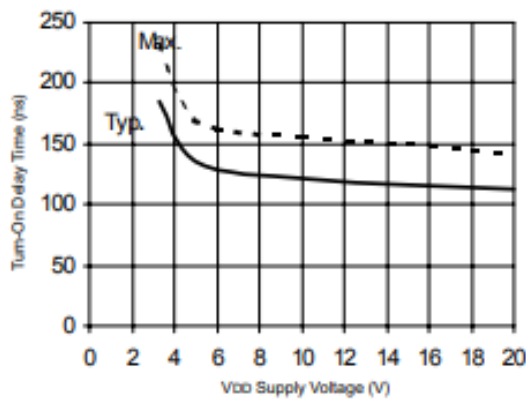


Figure 7C. Turn-On Time vs. VDD Supply Voltage

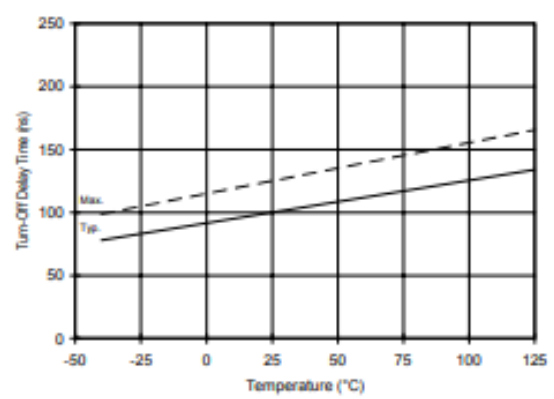


Figure 8A. Turn-Off Time vs. Temperature

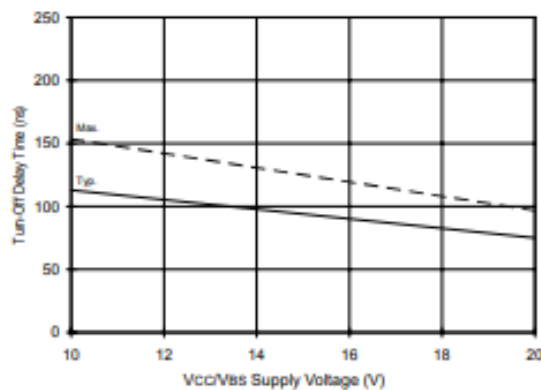


Figure 8B. Turn-Off Time vs. Vcc/Vss Supply Voltage

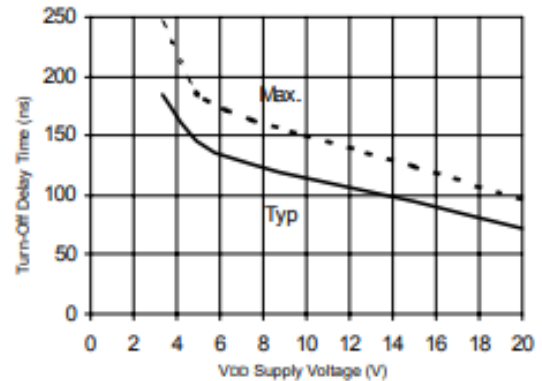


Figure 8C. Turn-Off Time vs. VDD Supply Voltage

IR2110(S)PbF/IR2113(S)PbF

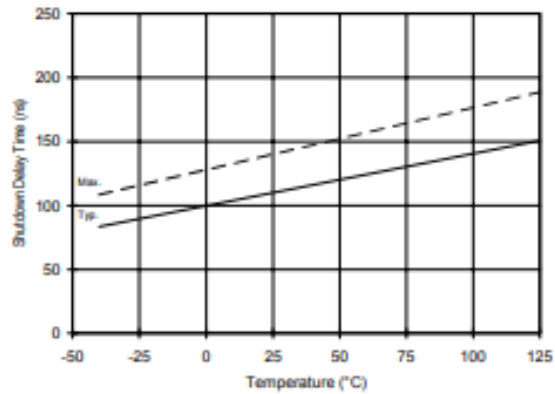
International
IOR Rectifier

Figure 9A. Shutdown Time vs. Temperature

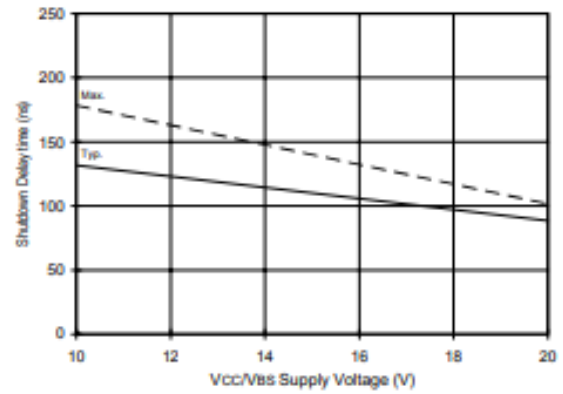


Figure 9B. Shutdown Time vs. Vcc/Vss Supply Voltage

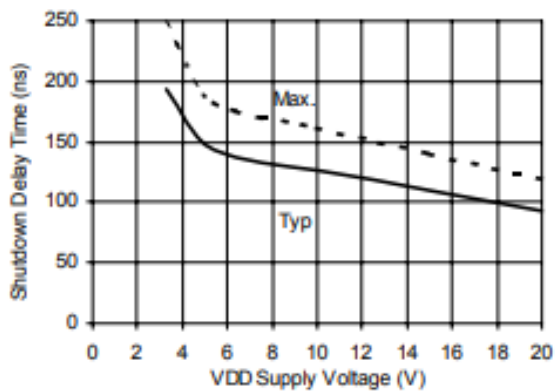


Figure 9C. Shutdown Time vs. VDD Supply Voltage

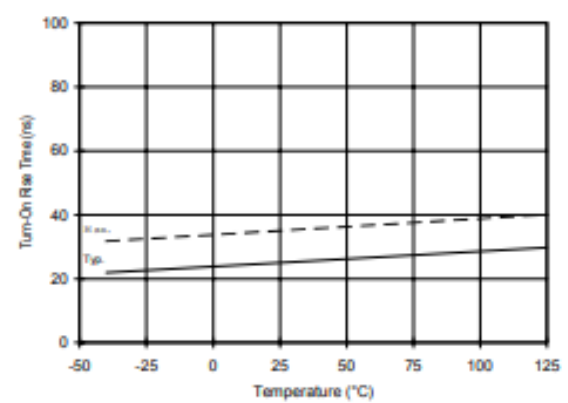


Figure 10A. Turn-On Rise Time vs. Temperature

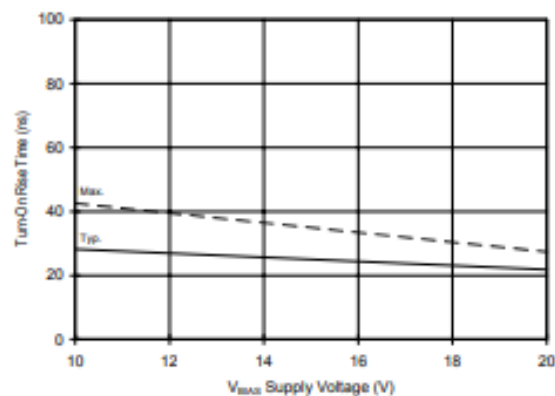


Figure 10B. Turn-On Rise Time vs. Voltage

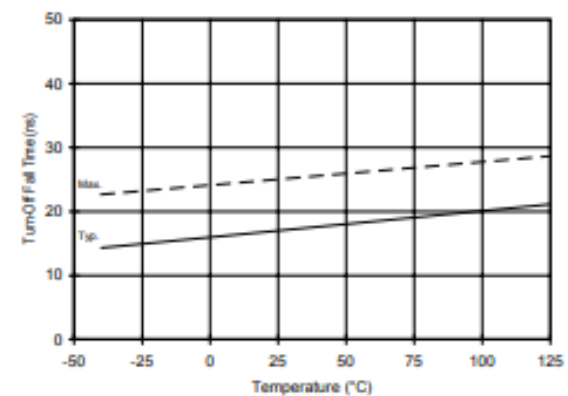


Figure 11A. Turn-Off Fall Time vs. Temperature

International
IOR Rectifier

IR2110(S)PbF/IR2113(S)PbF

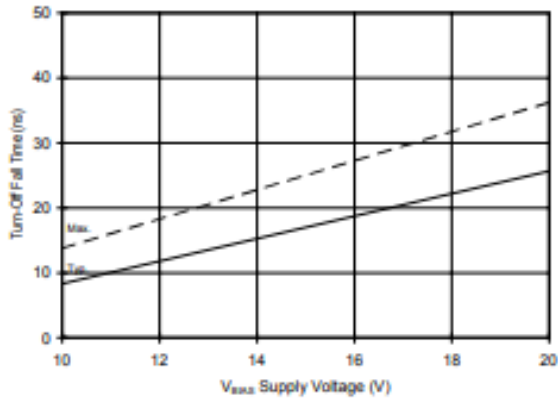


Figure 11B. Turn-Off Fall Time vs. Voltage

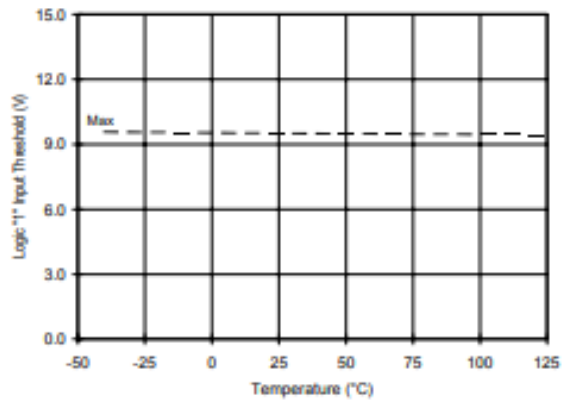


Figure 12A. Logic "1" Input Threshold vs. Temperature

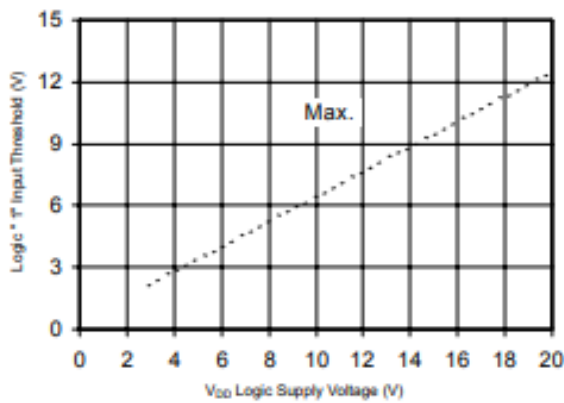


Figure 12B. Logic "1" Input Threshold vs. Voltage

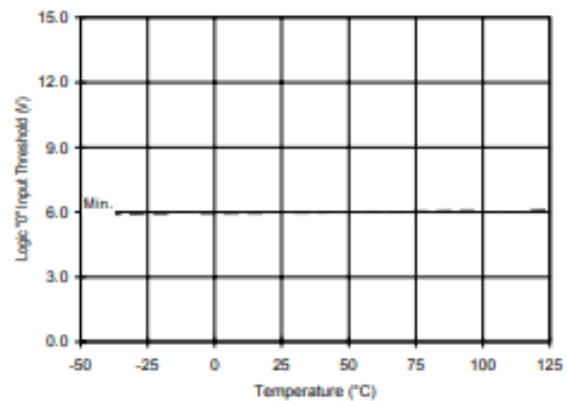


Figure 13A. Logic "0" Input Threshold vs. Temperature

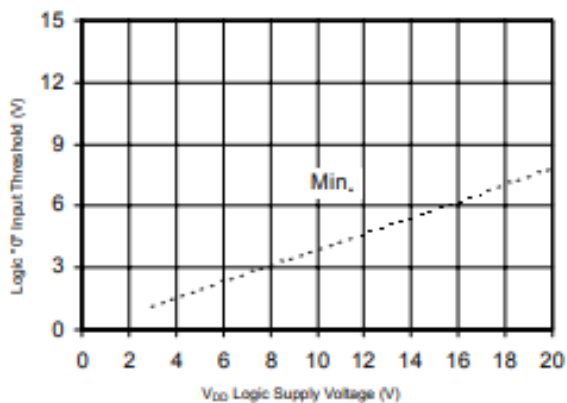


Figure 13B. Logic "0" Input Threshold vs. Voltage

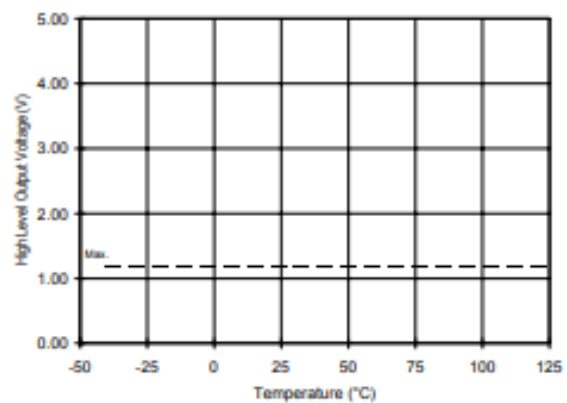
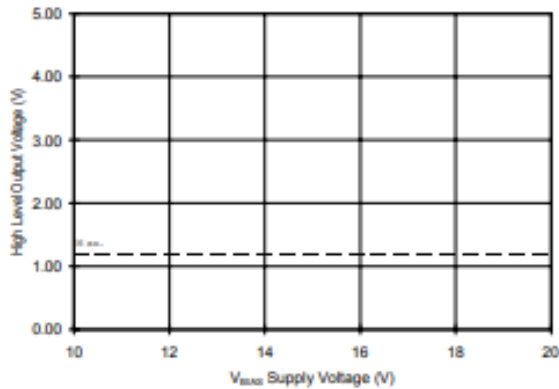
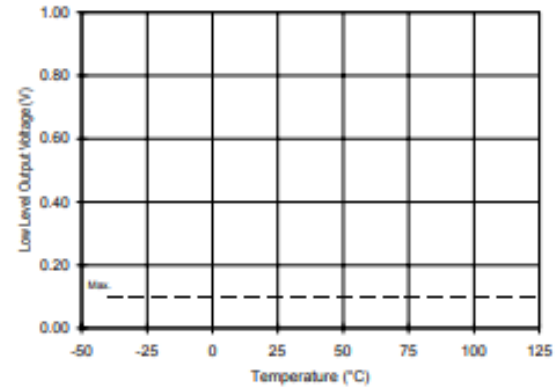
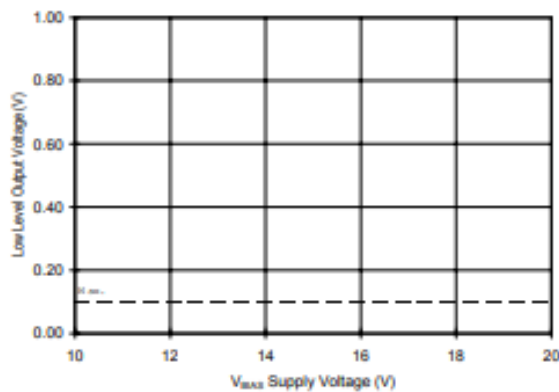
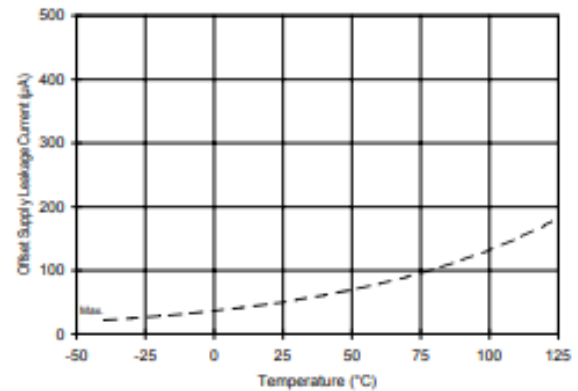
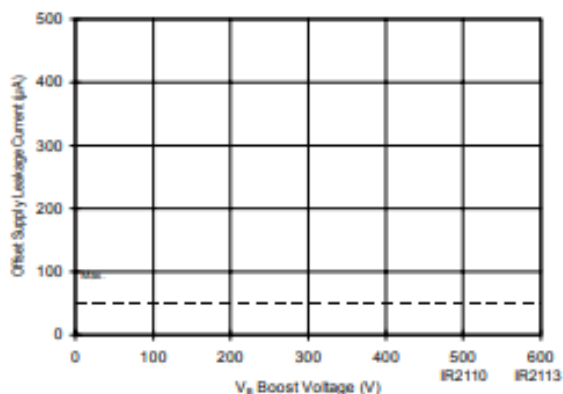
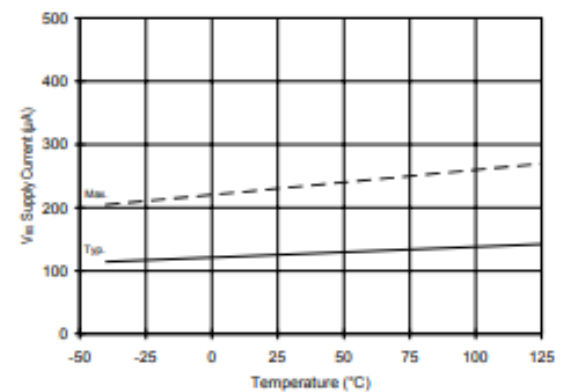


Figure 14A. High Level Output vs. Temperature

IR2110(S)PbF/IR2113(S)PbFInternational
IR Rectifier**Figure 14B. High Level Output vs. Voltage****Figure 15A. Low Level Output vs. Temperature****Figure 15B. Low Level Output vs. Voltage****Figure 16A. Offset Supply Current vs. Temperature****Figure 16B. Offset Supply Current vs. Voltage****Figure 17A. V_{BIAS} Supply Current vs. Temperature**

International
IOR Rectifier

IR2110(S)PbF/IR2113(S)PbF

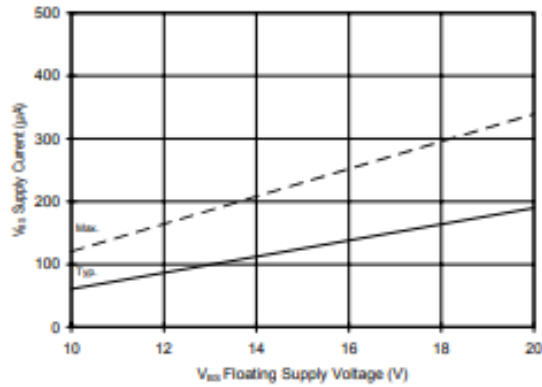


Figure 17B. V_{BS} Supply Current vs. Voltage

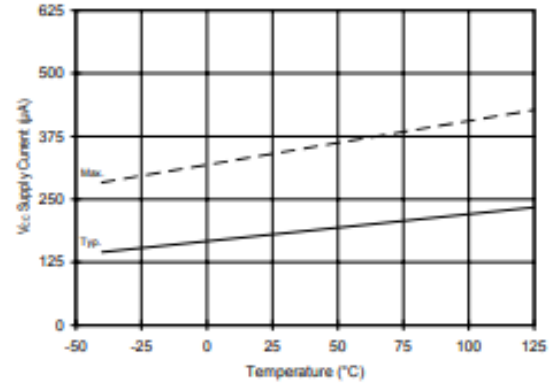


Figure 18A. V_{CC} Supply Current vs. Temperature

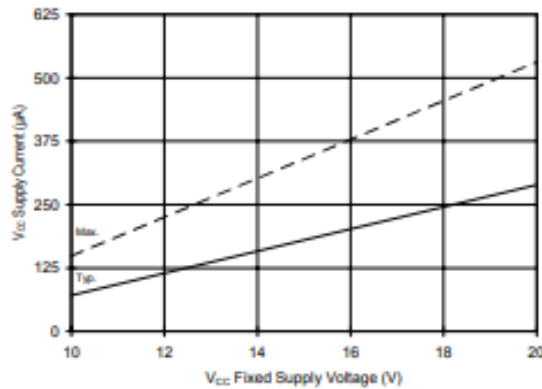


Figure 18B. V_{CC} Supply Current vs. Voltage

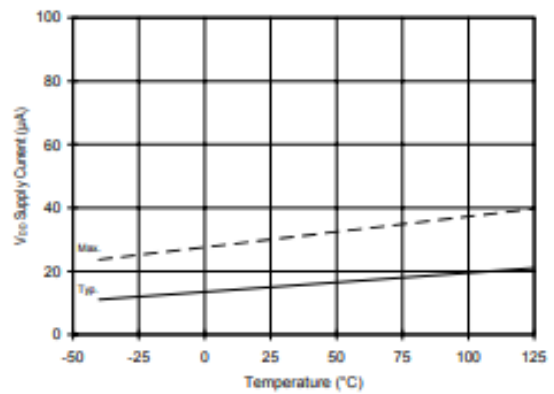


Figure 19A. V_{DD} Supply Current vs. Temperature

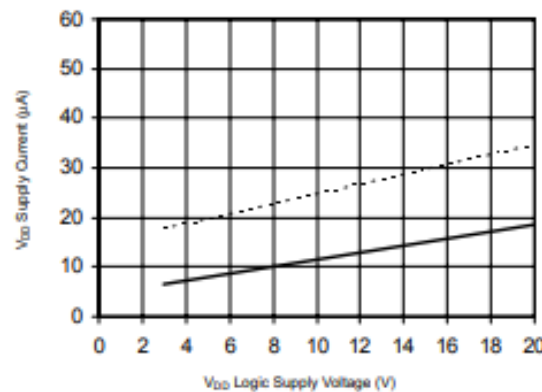


Figure 19B. V_{DD} Supply Current vs. V_{DD} Voltage

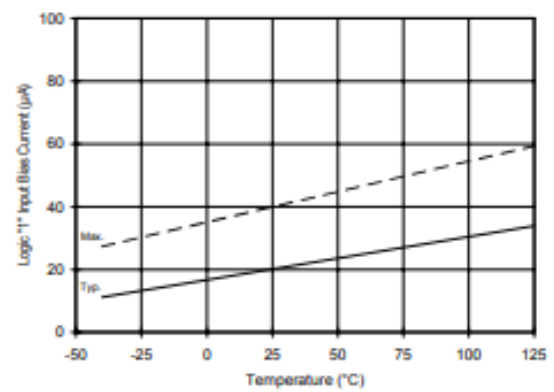


Figure 20A. Logic "1" Input Current vs. Temperature

IR2110(S)PbF/IR2113(S)PbF

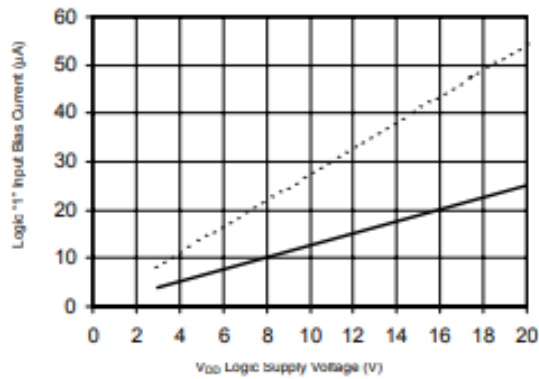
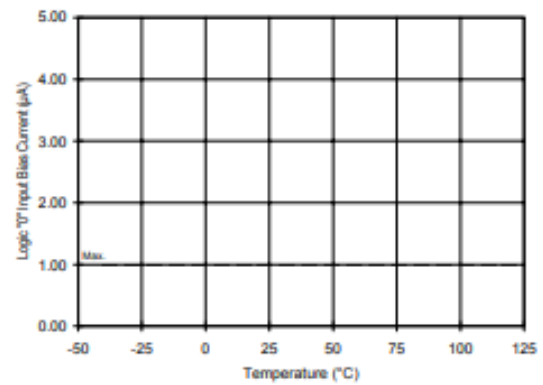
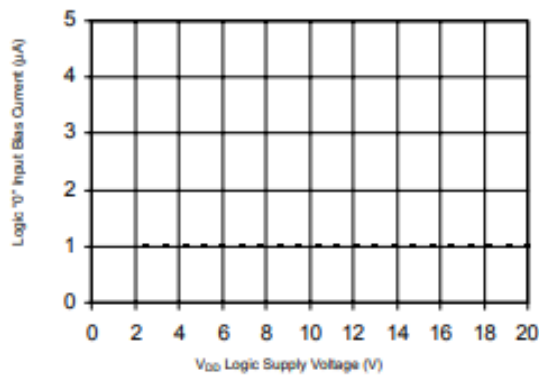
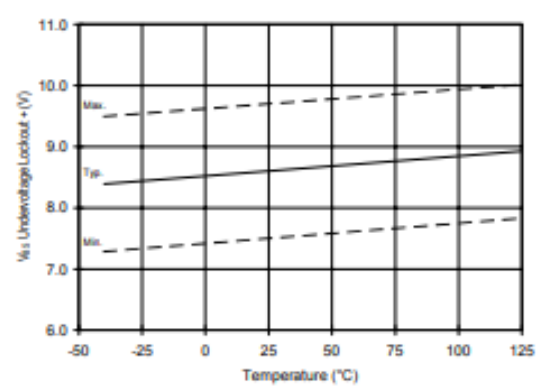
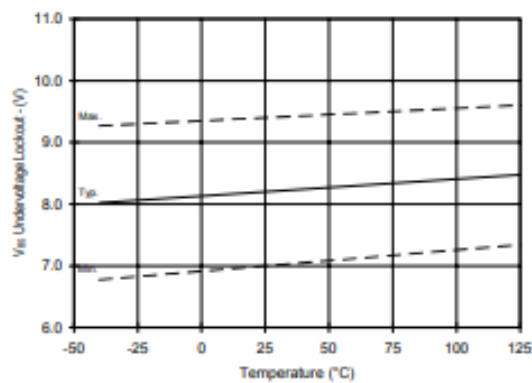
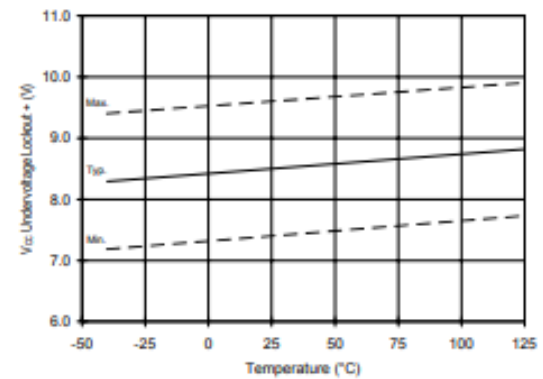
International
IOR RectifierFigure 20B. Logic "1" Input Current vs. V_{DD} Voltage

Figure 21A. Logic "0" Input Current vs. Temperature

Figure 21B. Logic "0" Input Current vs. V_{DD} VoltageFigure 22. V_{BS} Undervoltage (+) vs. TemperatureFigure 23. V_{BS} Undervoltage (-) vs. TemperatureFigure 24. V_{CC} Undervoltage (+) vs. Temperature

International
IR Rectifier

IR2110(S)PbF/IR2113(S)PbF

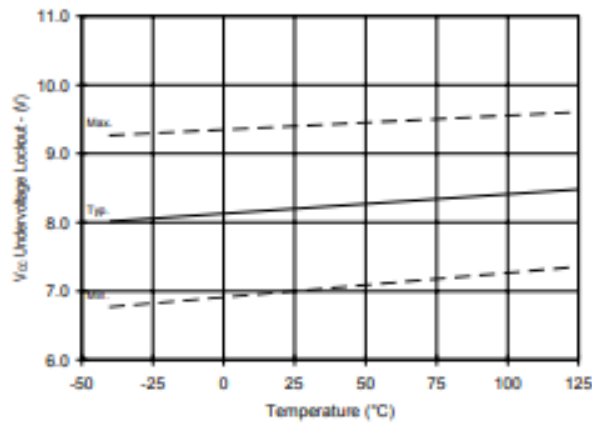


Figure 25. V_{CC} Undervoltage Lockout (-) vs. Temperature

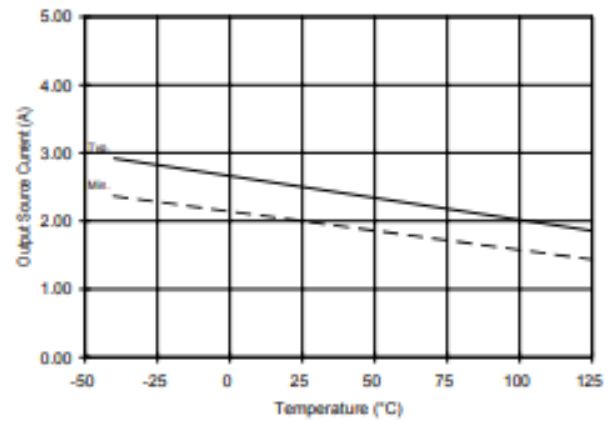


Figure 26A. Output Source Current vs. Temperature

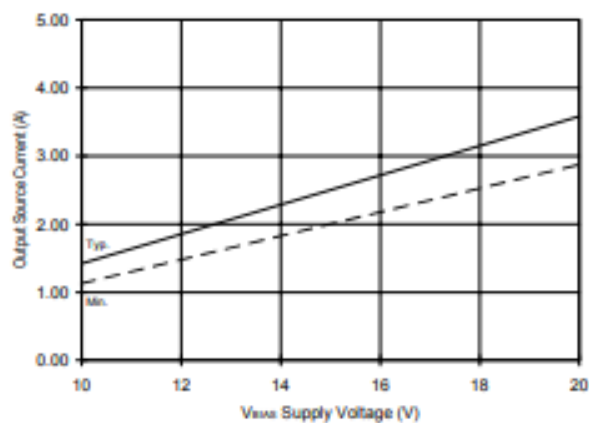


Figure 26B. Output Source Current vs. Voltage

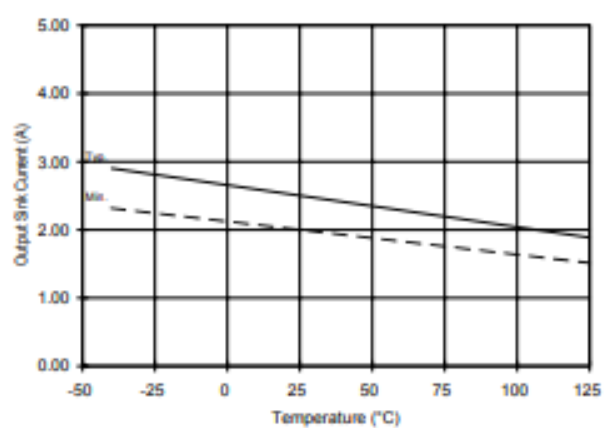


Figure 27A. Output Sink Current vs. Temperature

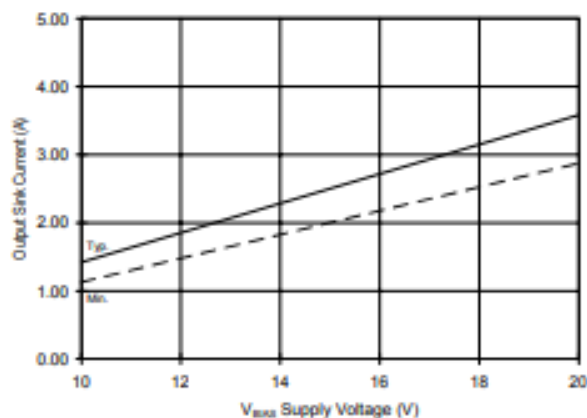


Figure 27B. Output Sink Current vs. Voltage

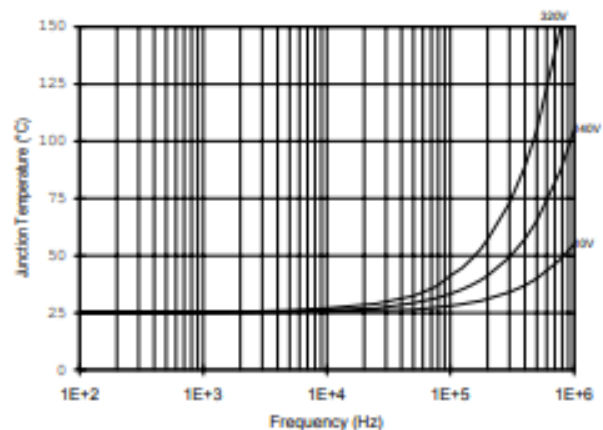


Figure 28. IR2110/IR2113 T_J vs. Frequency (IRFBC20) $R_{GATE} = 33\Omega$, $V_{CC} = 15V$

IR2110(S)PbF/IR2113(S)PbF

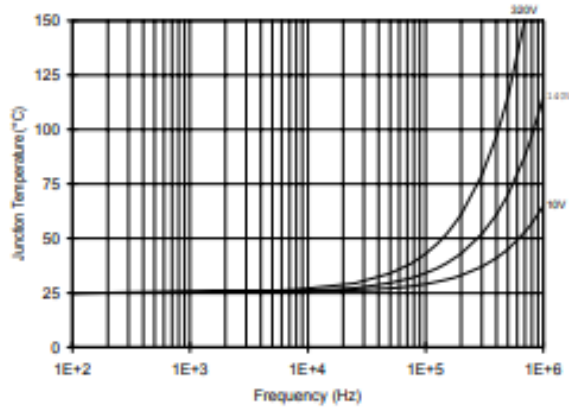
International
IOR Rectifier

Figure 29. IR2110/IR2113 T_j vs. Frequency (IRFBC30) $R_{\text{GATE}} = 22\Omega$, $V_{\text{CC}} = 15\text{V}$

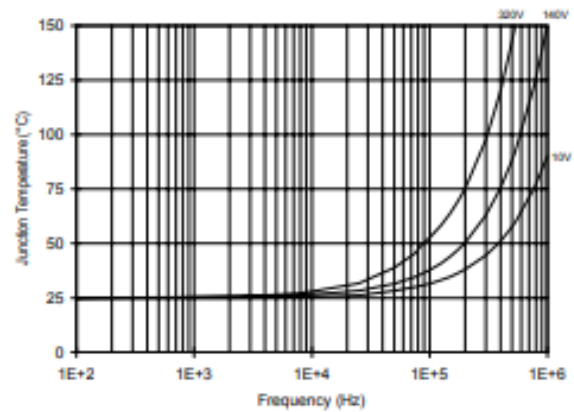


Figure 30. IR2110/IR2113 T_j vs. Frequency (IRFBC40) $R_{\text{GATE}} = 15\Omega$, $V_{\text{CC}} = 15\text{V}$

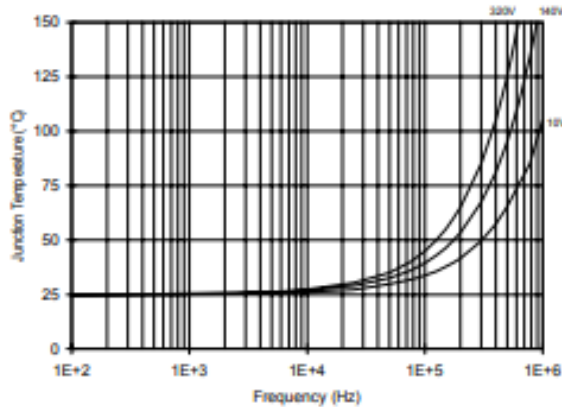


Figure 31. IR2110/IR2113 T_j vs. Frequency (IRFPE50) $R_{\text{GATE}} = 10\Omega$, $V_{\text{CC}} = 15\text{V}$

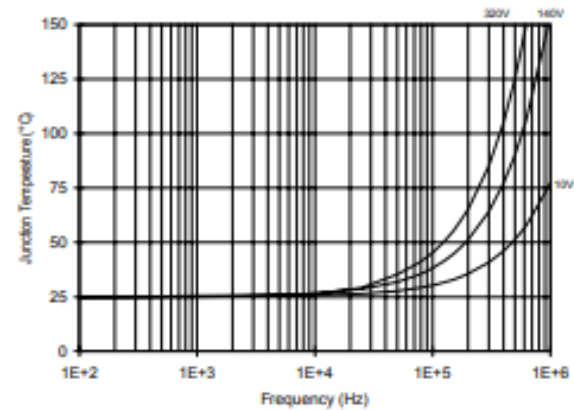


Figure 32. IR2110S/IR2113S T_j vs. Frequency (IRFBC20) $R_{\text{GATE}} = 33\Omega$, $V_{\text{CC}} = 15\text{V}$

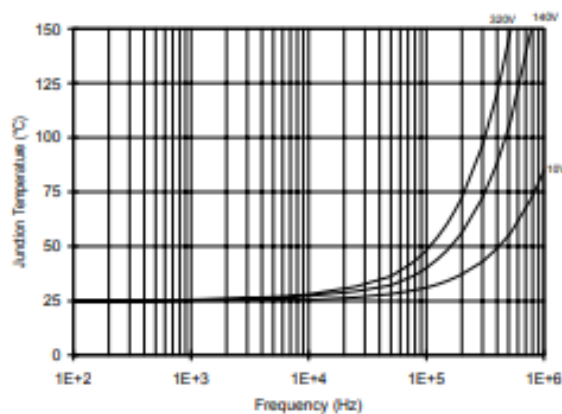


Figure 33. IR2110S/IR2113S T_j vs. Frequency (IRFBC30) $R_{\text{GATE}} = 22\Omega$, $V_{\text{CC}} = 15\text{V}$

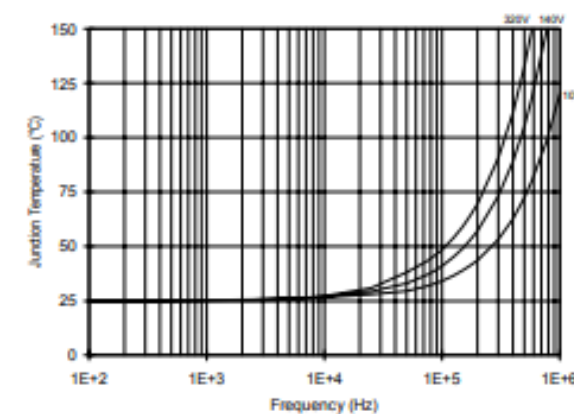


Figure 34. IR2110S/IR2113S T_j vs. Frequency (IRFBC40) $R_{\text{GATE}} = 15\Omega$, $V_{\text{CC}} = 15\text{V}$

International
IR Rectifier

IR2110(S)PbF/IR2113(S)PbF

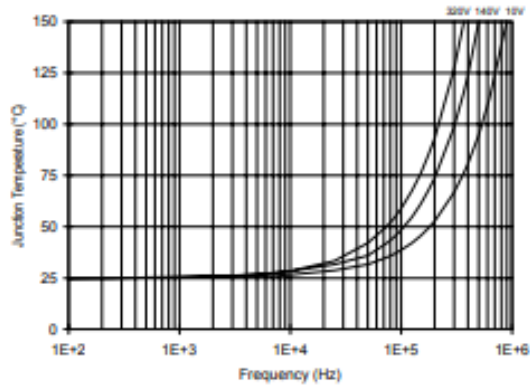


Figure 35. IR2110S/IR2113S T_J vs. Frequency (IRFPE50) $R_{GATE} = 10\Omega$, $V_{CC} = 15V$

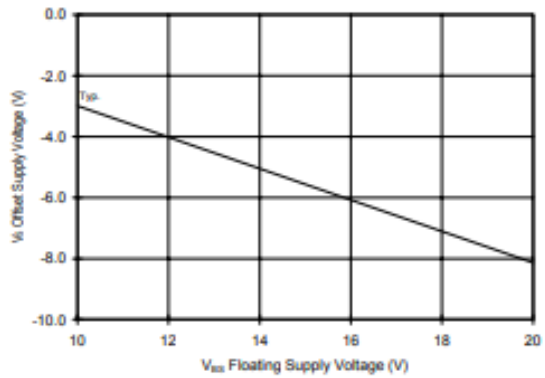


Figure 36. Maximum V_S Negative Offset vs. V_{SS} Supply Voltage

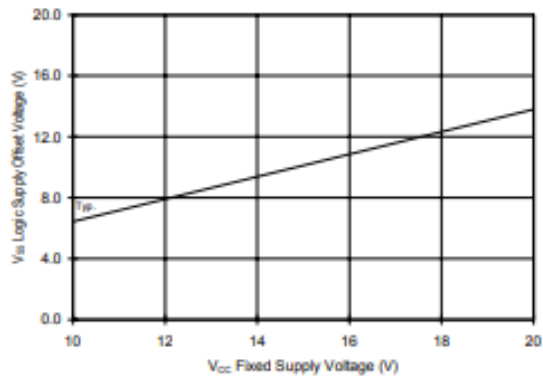
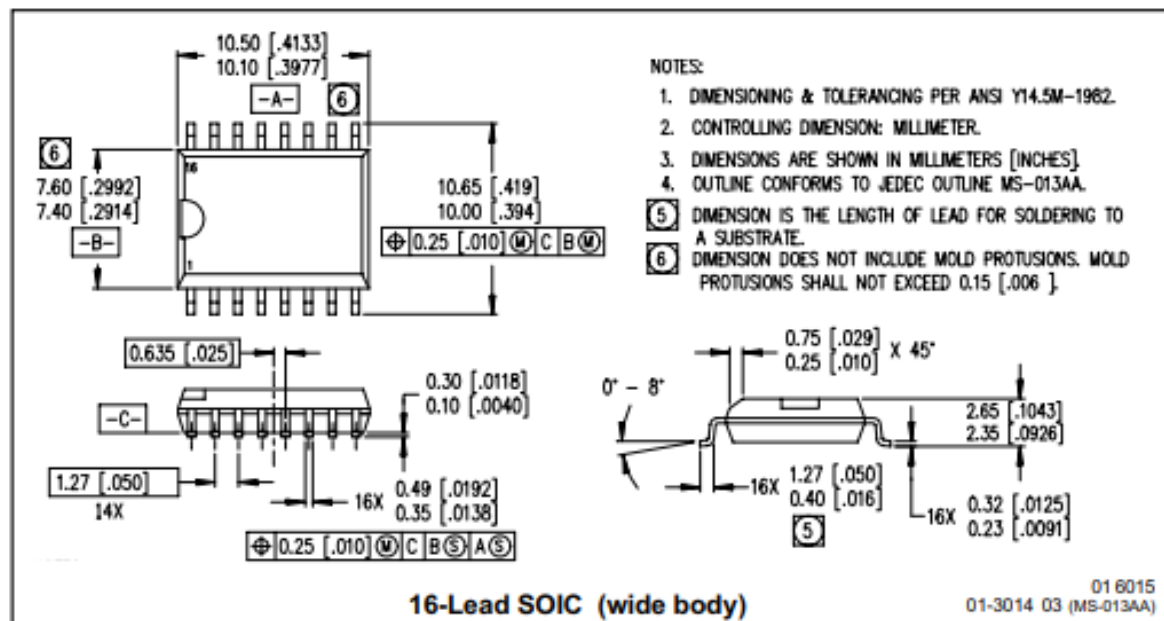
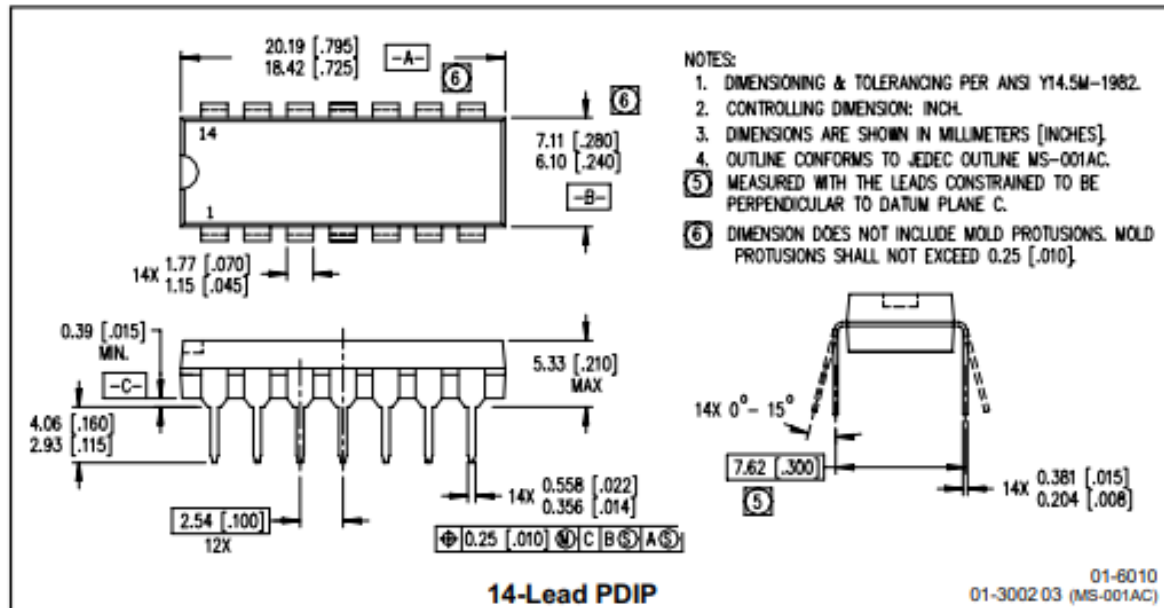


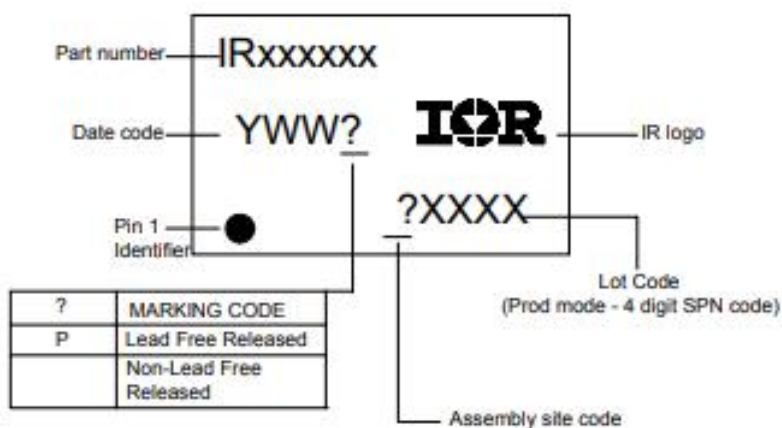
Figure 37. Maximum V_{SS} Positive Offset vs. V_{CC} Supply Voltage

IR2110(S)PbF/IR2113(S)PbF

International
IOR Rectifier

Case Outlines



IR2110(S)PbF/IR2113(S)PbF**LEADFREE PART MARKING INFORMATION****ORDER INFORMATION****Part only available Lead Free**

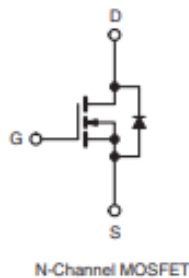
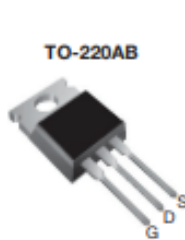
14-Lead PDIP **IR2110** order IR2110PbF
 14-Lead PDIP **IR2113** order IR2113PbF
 16-Lead SOIC **IR2110S** order IR2110SPbF
 16-Lead SOIC **IR2113S** order IR2113SPbF

**IRL540, SiHL540**

Vishay Siliconix

Power MOSFET

PRODUCT SUMMARY		
V_{DS} (V)	100	
$R_{DS(on)}$ (Ω)	$V_{GS} = 5.0$ V	0.077
Q_g (Max.) (nC)	64	
Q_{gs} (nC)	9.4	
Q_{gd} (nC)	27	
Configuration	Single	

**FEATURES**

- Dynamic dV/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- Logic-Level Gate Drive
- $R_{DS(on)}$ Specified at $V_{GS} = 4$ V and 5 V
- 175 °C Operating Temperature
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Compliant to RoHS Directive 2002/95/EC

**DESCRIPTION**

Third generation Power MOSFETs from Vishay provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

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

ORDERING INFORMATION	
Package	TO-220AB
Lead (Pb)-free	IRL540PbF SiHL540-E3
SnPb	IRL540 SiHL540

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_C = 25$ °C, unless otherwise noted)				
PARAMETER	SYMBOL	LIMIT	UNIT	
Drain-Source Voltage	V_{DS}	100	V	
Gate-Source Voltage	V_{GS}	± 10		
Continuous Drain Current	V_{GS} at 5.0 V	$T_C = 25$ °C	28	A
		$T_C = 100$ °C	20	
Pulsed Drain Current ^a	I_{DM}	110		
Linear Derating Factor		1.0	W/°C	
Single Pulse Avalanche Energy ^b	E_{AS}	440	mJ	
Avalanche Current ^a	I_{AR}	28	A	
Repetitive Avalanche Energy ^a	E_{AR}	15	mJ	
Maximum Power Dissipation	$T_C = 25$ °C	P_D	150	W
Peak Diode Recovery dV/dt^c	dV/dt	5.5	V/ns	
Operating Junction and Storage Temperature Range	T_J, T_{stg}	- 55 to + 175	°C	
Soldering Recommendations (Peak Temperature)	for 10 s	300 ^d		
Mounting Torque	6-32 or M3 screw		10	lbf · in
			1.1	N · m

Notes

- Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
- $V_{DS} = 25$ V, starting $T_J = 25$ °C, $L = 841$ μ H, $R_g = 25$ Ω , $I_{AS} = 28$ A (see fig. 12c).
- $I_{SD} \leq 28$ A, $dI/dt \leq 170$ A/ μ s, $V_{DS} \leq V_{DS}$, $T_J \leq 175$ °C.
- 1.6 mm from case.

* Pb containing terminations are not RoHS compliant, exemptions may apply

IRL540, SiHL540

Vishay Siliconix



THERMAL RESISTANCE RATINGS				
PARAMETER	SYMBOL	TYP.	MAX.	UNIT
Maximum Junction-to-Ambient	R_{thJA}	-	62	°C/W
Case-to-Sink, Flat, Grease Surface	R_{thCS}	0.50	-	
Maximum Junction-to-Case (Drain)	R_{thJC}	-	1.0	

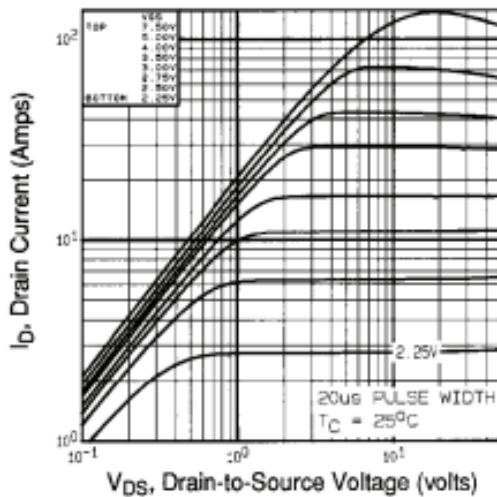
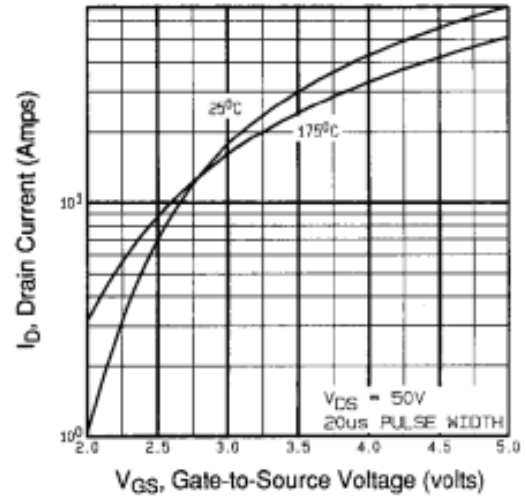
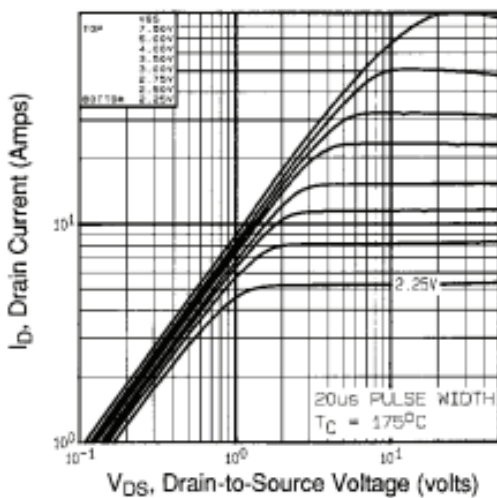
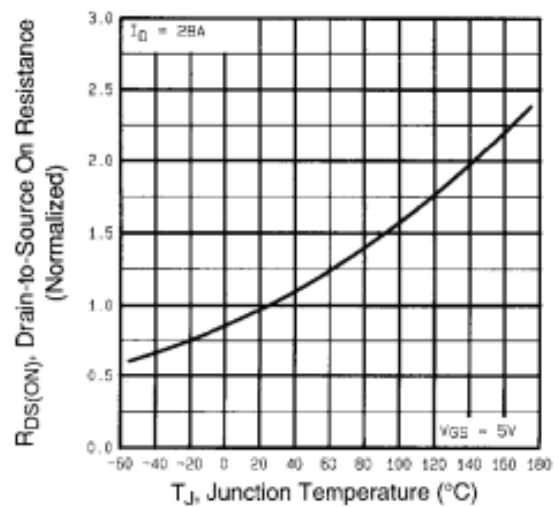
SPECIFICATIONS (T _J = 25 °C, unless otherwise noted)							
PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS		MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Static							
Drain-Source Breakdown Voltage	V _{DS}	V _{GS} = 0 V, I _D = 250 μA		100	-	-	V
V _{DS} Temperature Coefficient	ΔV _{DS} /T _J	Reference to 25 °C, I _D = 1 mA		-	0.12	-	V/°C
Gate-Source Threshold Voltage	V _{GS(th)}	V _{DS} = V _{GS} , I _D = 250 μA		1.0	-	2.0	V
Gate-Source Leakage	I _{GSS}	V _{GS} = ± 10 V		-	-	± 100	nA
Zero Gate Voltage Drain Current	I _{DSS}	V _{DS} = 100 V, V _{GS} = 0 V		-	-	25	μA
		V _{DS} = 80 V, V _{GS} = 0 V, T _J = 150 °C		-	-	250	
Drain-Source On-State Resistance	R _{DS(on)}	V _{GS} = 5.0 V	I _D = 17 A ^b	-	-	0.077	Ω
		V _{GS} = 4.0 V	I _D = 14 A ^b	-	-	0.11	
Forward Transconductance	g _{fs}	V _{DS} = 50 V, I _D = 17 A		12	-	-	S
Dynamic							
Input Capacitance	C _{iss}	V _{GS} = 0 V, V _{DS} = 25 V, f = 1.0 MHz, see fig. 5		-	2200	-	pF
Output Capacitance	C _{oss}			-	560	-	
Reverse Transfer Capacitance	C _{rss}			-	140	-	
Total Gate Charge	Q _g	V _{GS} = 5.0 V	I _D = 28 A, V _{DS} = 80 V, see fig. 6 and 13 ^b	-	-	64	nC
Gate-Source Charge	Q _{gs}			-	-	9.4	
Gate-Drain Charge	Q _{gd}			-	-	27	
Turn-On Delay Time	t _{d(on)}	V _{DD} = 50 V, I _D = 28 A, R _g = 9.0 Ω, R _D = 1.7 Ω, see fig. 10 ^b		-	8.5	-	ns
Rise Time	t _r			-	170	-	
Turn-Off Delay Time	t _{d(off)}			-	35	-	
Fall Time	t _f			-	80	-	
Internal Drain Inductance	L _D	Between lead, 6 mm (0.25") from package and center of die contact		-	4.5	-	nH
Internal Source Inductance	L _S			-	7.5	-	
Drain-Source Body Diode Characteristics							
Continuous Source-Drain Diode Current	I _S	MOSFET symbol showing the integral reverse p - n junction diode		-	-	28	A
Pulsed Diode Forward Current ^a	I _{SM}			-	-	110	
Body Diode Voltage	V _{SD}	T _J = 25 °C, I _S = 28 A, V _{GS} = 0 V ^b		-	-	2.5	V
Body Diode Reverse Recovery Time	t _{rr}	T _J = 25 °C, I _F = 28 A, di/dt = 100 A/μs ^b		-	200	260	ns
Body Diode Reverse Recovery Charge	Q _{rr}			-	1.7	2.90	μC
Forward Turn-On Time	t _{on}	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L _S and L _D)					

Notes

- a. Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
 b. Pulse width $\leq 300\text{ }\mu\text{s}$; duty cycle $\leq 2\%$.

**IRL540, SiHL540**

Vishay Siliconix

TYPICAL CHARACTERISTICS (25 °C, unless otherwise noted)**Fig. 1 - Typical Output Characteristics, $T_C = 25^\circ\text{C}$** **Fig. 3 - Typical Transfer Characteristics****Fig. 2 - Typical Output Characteristics, $T_C = 175^\circ\text{C}$** **Fig. 4 - Normalized On-Resistance vs. Temperature**

IRL540, SiHL540

Vishay Siliconix

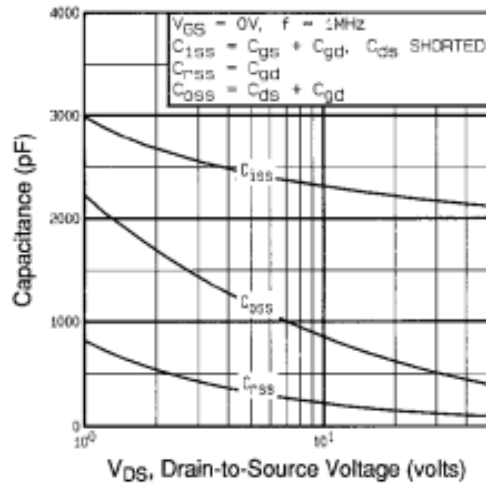


Fig. 5 - Typical Capacitance vs. Drain-to-Source Voltage

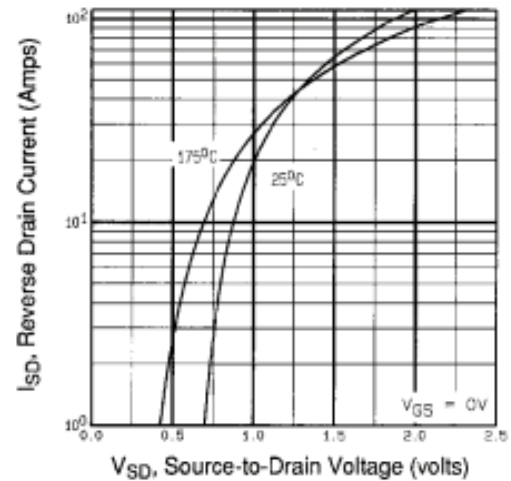


Fig. 7 - Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

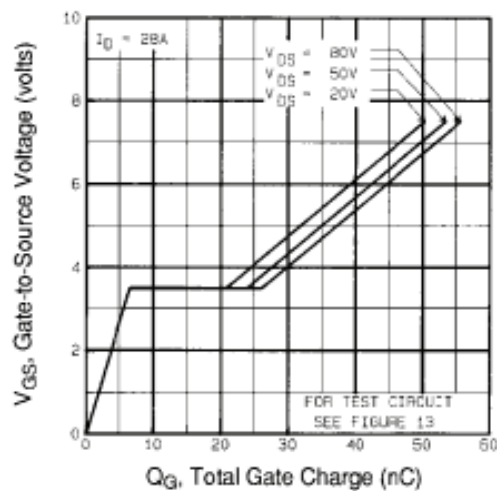


Fig. 6 - Typical Gate Charge vs. Gate-to-Source Voltage

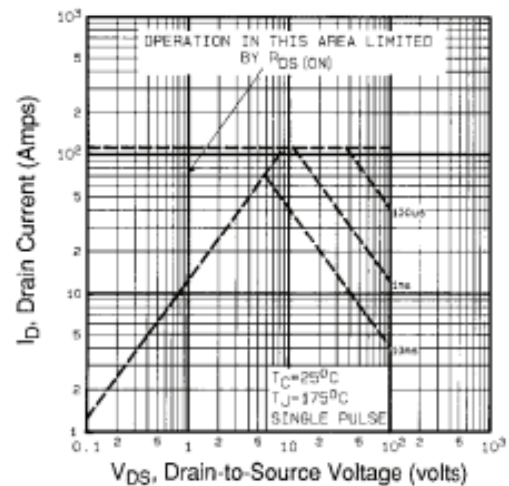
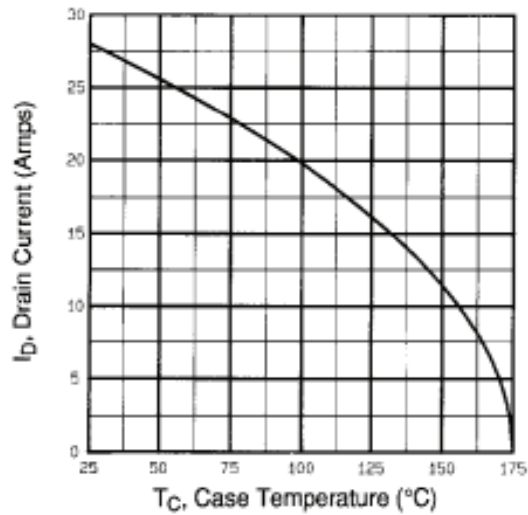
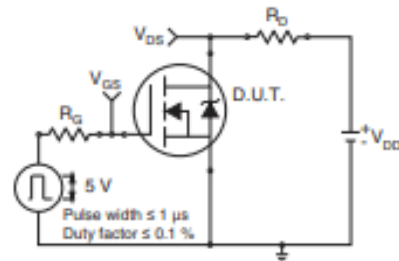
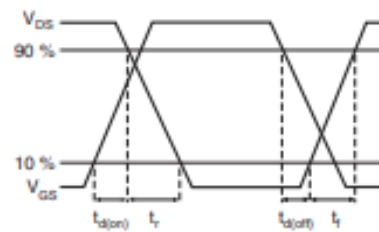
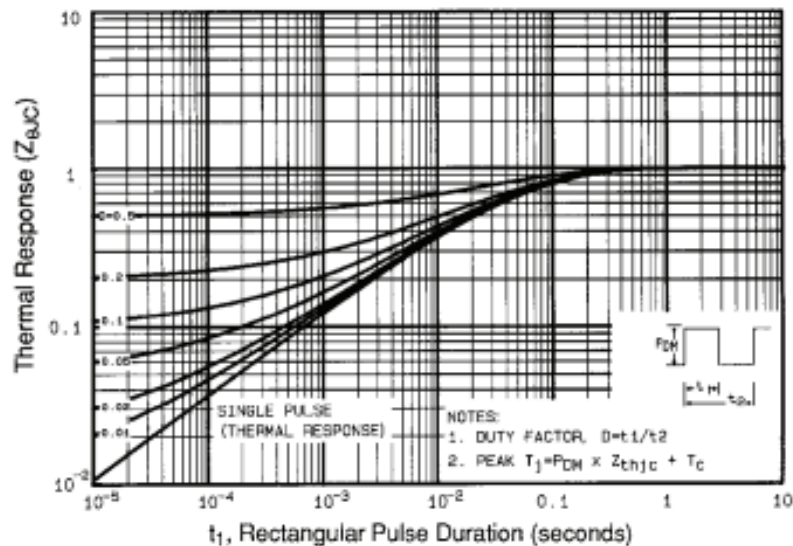


Fig. 8 - Maximum Safe Operating Area

**IRL540, SiHL540**

Vishay Siliconix

**Fig. 9 - Maximum Safe Operating Area****Fig. 10a - Switching Time Test Circuit****Fig. 10b - Switching Time Waveforms****Fig. 11 - Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case**

IRL540, SiHL540

Vishay Siliconix

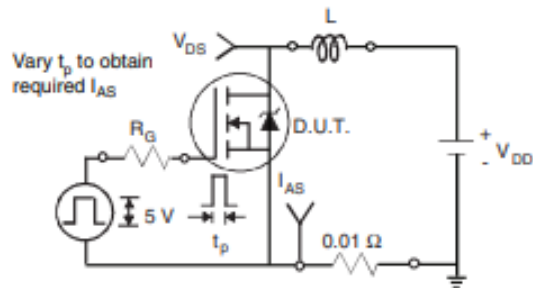


Fig. 12a - Unclamped Inductive Test Circuit

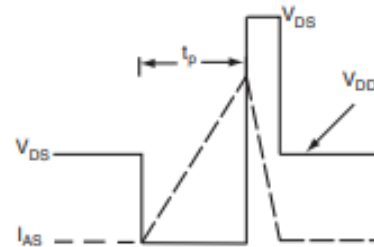


Fig. 12b - Unclamped Inductive Waveforms

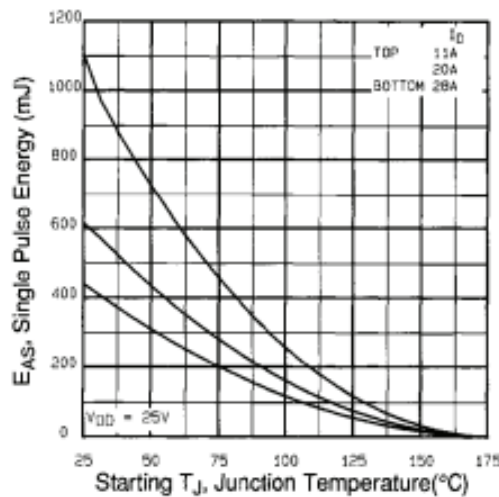


Fig. 12c - Maximum Avalanche Energy vs. Drain Current

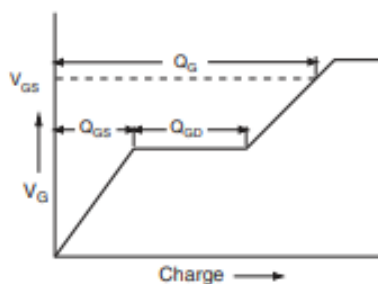


Fig. 13a - Basic Gate Charge Waveform

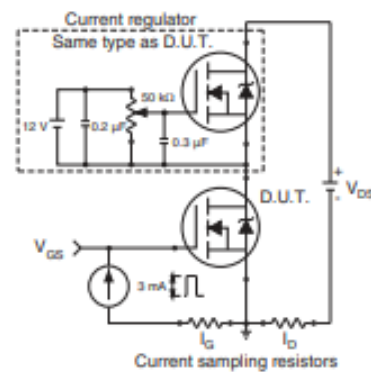


Fig. 13b - Gate Charge Test Circuit



IRL540, SiHL540

Vishay Siliconix

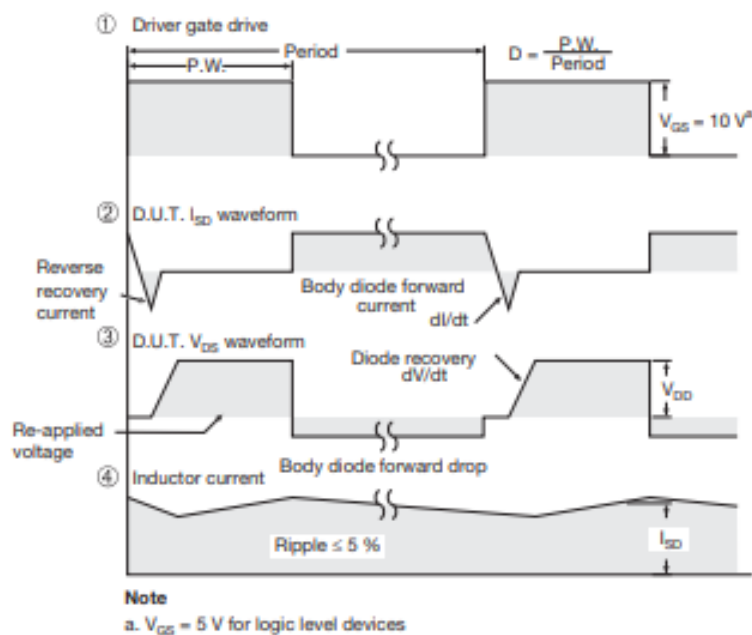
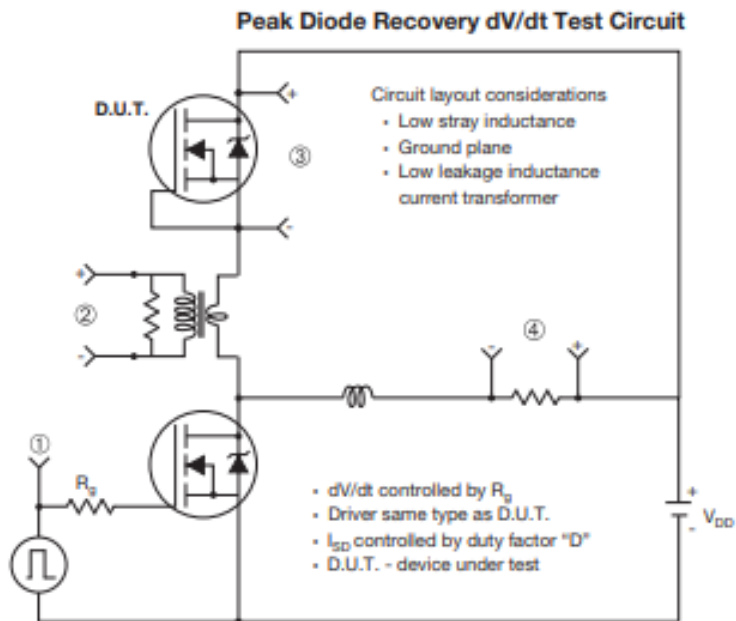


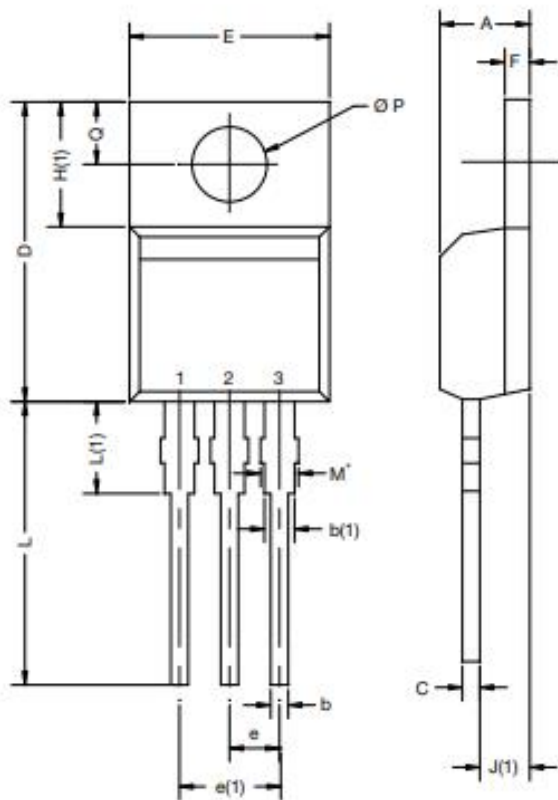
Fig. 14 - For N-Channel


www.vishay.com

Package Information

Vishay Siliconix

TO-220-1

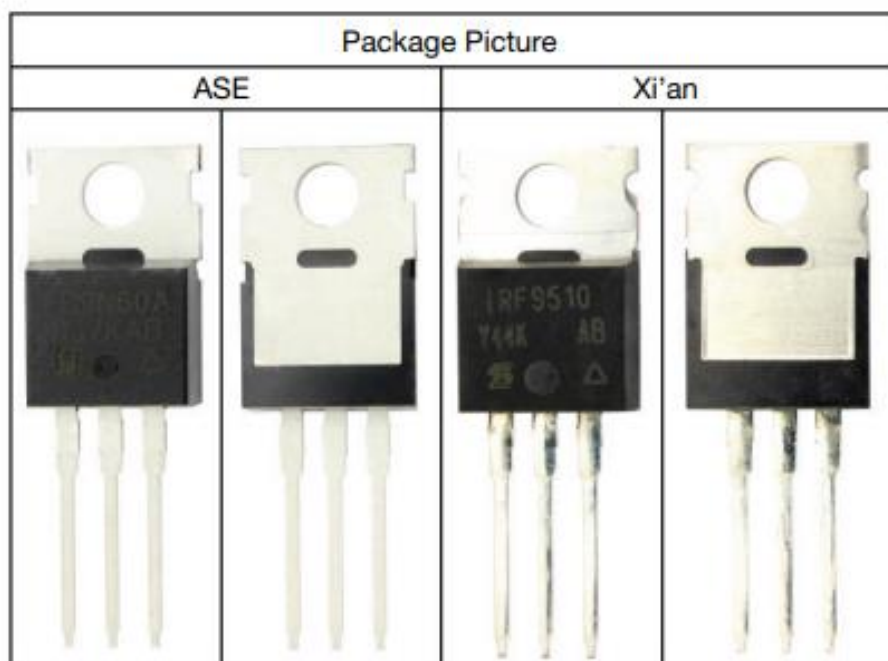


DIM.	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
A	4.24	4.65	0.167	0.183
b	0.69	1.02	0.027	0.040
b(1)	1.14	1.78	0.045	0.070
c	0.36	0.61	0.014	0.024
D	14.33	15.85	0.564	0.624
E	9.96	10.52	0.392	0.414
e	2.41	2.67	0.095	0.105
e(1)	4.88	5.28	0.192	0.208
F	1.14	1.40	0.045	0.055
H(1)	6.10	6.71	0.240	0.264
J(1)	2.41	2.92	0.095	0.115
L	13.36	14.40	0.526	0.567
L(1)	3.33	4.04	0.131	0.159
$\varnothing P$	3.53	3.94	0.139	0.155
Q	2.54	3.00	0.100	0.118

ECN: X15-0364-Rev. C, 14-Dec-15
DWG: 6031

Note

- M* = 0.052 inches to 0.064 inches (dimension including protrusion), heatsink hole for HVM



www.vishay.com

Legal Disclaimer Notice

Vishay

Disclaimer

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

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

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

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

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

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

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



August 1986
Revised February 2000

DM7404

Hex Inverting Gates

General Description

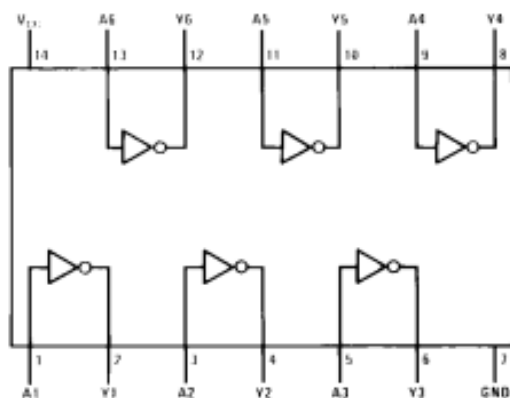
This device contains six independent gates each of which performs the logic INVERT function.

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
DM7404M	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150 Narrow
DM7404N	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

Connection Diagram



Function Table

$$Y = \bar{A}$$

Inputs	Output
A	Y
L	H
H	L

H = HIGH Logic Level
L = LOW Logic Level

DM7404

Absolute Maximum Ratings(Note 1)

Supply Voltage	7V
Input Voltage	5.5V
Operating Free Air Temperature Range	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Note 1: The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the Electrical Characteristics tables are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The "Recommended Operating Conditions" table will define the conditions for actual device operation.

Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	Min	Nom	Max	Units
V_{CC}	Supply Voltage	4.75	5	5.25	V
V_{IH}	HIGH Level Input Voltage	2			V
V_{IL}	LOW Level Input Voltage			0.8	V
I_{OH}	HIGH Level Output Current			-0.4	mA
I_{OL}	LOW Level Output Current			16	mA
T_A	Free Air Operating Temperature	0		70	°C

Electrical Characteristics

over recommended operating free air temperature range (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ (Note 2)	Max	Units
V_I	Input Clamp Voltage	$V_{CC} = \text{Min}, I_I = -12 \text{ mA}$			-1.5	V
V_{OH}	HIGH Level Output Voltage	$V_{CC} = \text{Min}, I_{OH} = \text{Max}$ $V_{IL} = \text{Max}$	2.4	3.4		V
V_{OL}	LOW Level Output Voltage	$V_{CC} = \text{Min}, I_{OL} = \text{Max}$ $V_{IH} = \text{Min}$		0.2	0.4	V
I_I	Input Current @ Max Input Voltage	$V_{CC} = \text{Max}, V_I = 5.5 \text{ V}$			1	mA
I_{IH}	HIGH Level Input Current	$V_{CC} = \text{Max}, V_I = 2.4 \text{ V}$			40	μA
I_{IL}	LOW Level Input Current	$V_{CC} = \text{Max}, V_I = 0.4 \text{ V}$			-1.6	mA
I_{OS}	Short Circuit Output Current	$V_{CC} = \text{Max}$ (Note 3)	-18		-55	mA
I_{CCH}	Supply Current with Outputs HIGH	$V_{CC} = \text{Max}$		6	12	mA
I_{CCL}	Supply Current with Outputs LOW	$V_{CC} = \text{Max}$		18	33	mA

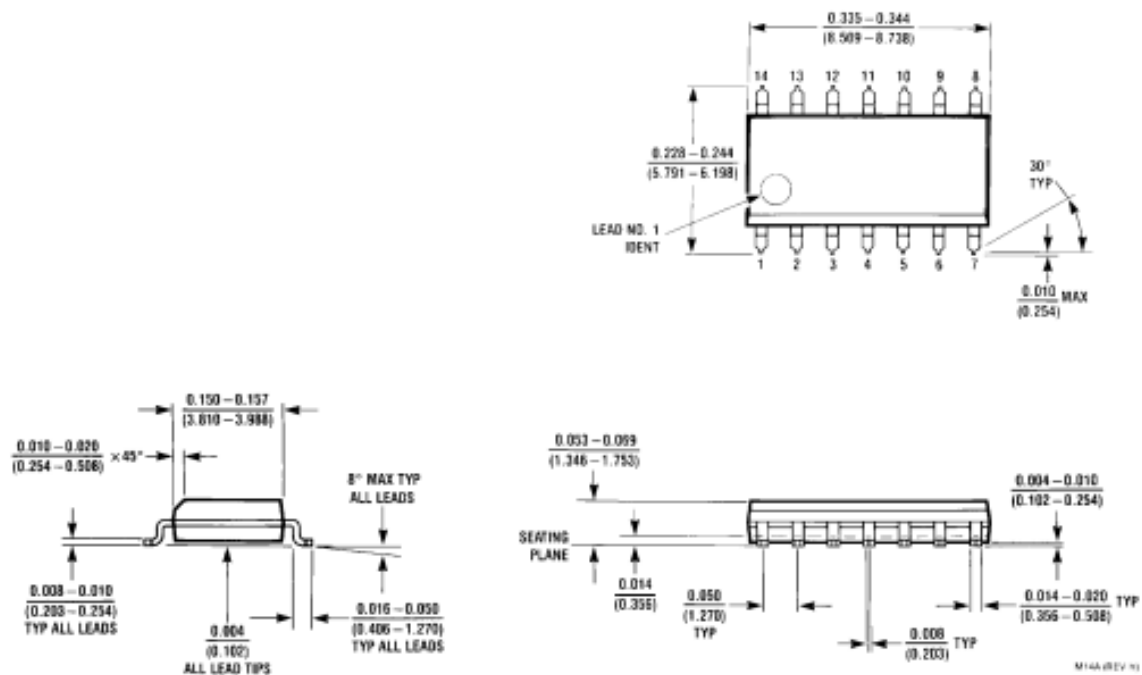
Note 2: All typicals are at $V_{CC} = 5 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ \text{C}$.

Note 3: Not more than one output should be shorted at a time.

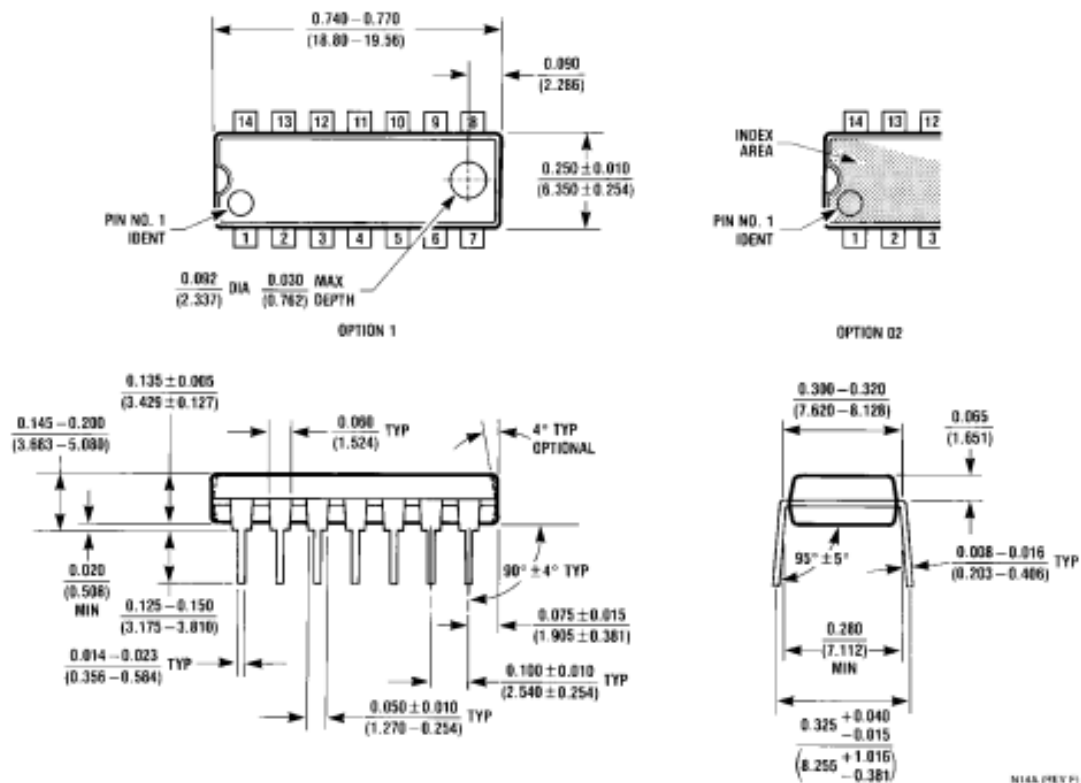
Switching Characteristics

at $V_{CC} = 5 \text{ V}$ and $T_A = 25^\circ \text{C}$

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Max	Units
t_{PLH}	Propagation Delay Time LOW-to-HIGH Level Output	$C_L = 15 \text{ pF}$ $R_L = 400\Omega$		22	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time HIGH-to-LOW Level Output			15	ns

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted

14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150 Narrow Package Number M14A

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)

Fairchild does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and Fairchild reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

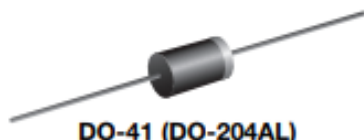
1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

www.fairchildsemi.com


1N4001, 1N4002, 1N4003, 1N4004, 1N4005, 1N4006, 1N4007
www.vishay.com

Vishay General Semiconductor

General Purpose Plastic Rectifier


DO-41 (DO-204AL)

FEATURES

- Low forward voltage drop
- Low leakage current
- High forward surge capability
- Solder dip 275 °C max. 10 s, per JESD 22-B106
- Material categorization: for definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912


RoHS
COMPLIANT

PRIMARY CHARACTERISTICS	
$I_{F(AV)}$	1.0 A
V_{RRM}	50 V, 100 V, 200 V, 400 V, 600 V, 800 V, 1000 V
I_{FSM} (8.3 ms sine-wave)	30 A
I_{FSM} (square wave $t_p = 1$ ms)	45 A
V_F	1.1 V
I_R	5.0 μ A
T_J max.	150 °C
Package	DO-41 (DO-204AL)
Circuit configuration	Single

TYPICAL APPLICATIONS

For use in general purpose rectification of power supplies, inverters, converters, and freewheeling diodes application.

MECHANICAL DATA

Case: DO-41 (DO-204AL), molded epoxy body
Molding compound meets UL 94 V-0 flammability rating
Base P/N-E3 - RoHS-compliant, commercial grade

Terminals: matte tin plated leads, solderable per J-STD-002 and JESD 22-B102

E3 suffix meets JESD 201 class 1A whisker test

Polarity: color band denotes cathode end

MAXIMUM RATINGS (T _A = 25 °C unless otherwise noted)										
PARAMETER	SYMBOL	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	UNIT	
Maximum repetitive peak reverse voltage	V _{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V	
Maximum RMS voltage	V _{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	V	
Maximum DC blocking voltage	V _{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	V	
Maximum average forward rectified current 0.375" (9.5 mm) lead length at T _A = 75 °C	I _{F(AV)}	1.0							A	
Peak forward surge current 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load	I _{FSM}	30							A	
Non-repetitive peak forward surge current square waveform T _A = 25 °C (fig. 3)	t _p = 1 ms	I _{FSM}	45							A
	t _p = 2 ms		35							
	t _p = 5 ms		30							
Maximum full load reverse current, full cycle average 0.375" (9.5 mm) lead length T _L = 75 °C	I _{R(AV)}	30							μA	
Rating for fusing (t < 8.3 ms)	I ² t (1)	3.7							A ² s	
Operating junction and storage temperature range	T _J , T _{STG}	-50 to +150							°C	

Note

(1) For device using on bridge rectifier application



1N4001, 1N4002, 1N4003, 1N4004, 1N4005, 1N4006, 1N4007

www.vishay.com

Vishay General Semiconductor

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T _A = 25 °C unless otherwise noted)											
PARAMETER	TEST CONDITIONS		SYMBOL	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	UNIT
Maximum instantaneous forward voltage	1.0 A		V _F	1.1							V
Maximum DC reverse current at rated DC blocking voltage	T _A = 25 °C		I _R	5.0							μA
	T _A = 125 °C			50							
Typical junction capacitance	4.0 V, 1 MHz		C _J	15							pF

THERMAL CHARACTERISTICS (T _A = 25 °C unless otherwise noted)									
PARAMETER	SYMBOL	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	UNIT
Typical thermal resistance	R _{θJA} ⁽¹⁾	50							°C/W
	R _{θJL} ⁽¹⁾	25							

Note

(1) Thermal resistance from junction to ambient at 0.375" (9.5 mm) lead length, PCB mounted

ORDERING INFORMATION (Example)				
PREFERRED P/N	UNIT WEIGHT (g)	PREFERRED PACKAGE CODE	BASE QUANTITY	DELIVERY MODE
1N4004-E3/54	0.33	54	5500	13" diameter paper tape and reel
1N4004-E3/73	0.33	73	3000	Ammo pack packaging

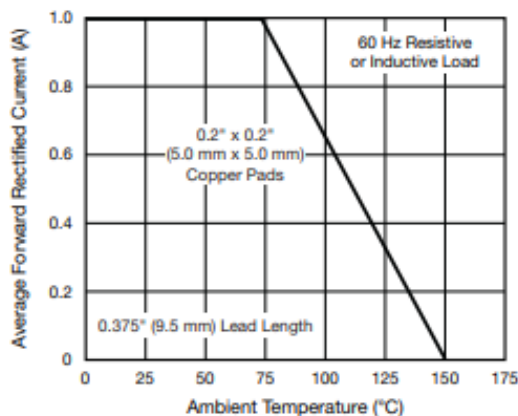
RATINGS AND CHARACTERISTICS CURVES ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Fig. 1 - Forward Current Derating Curve

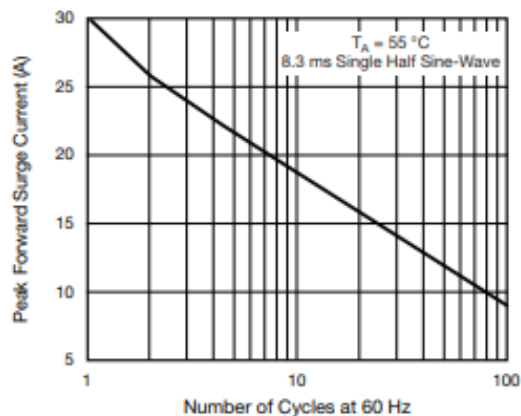
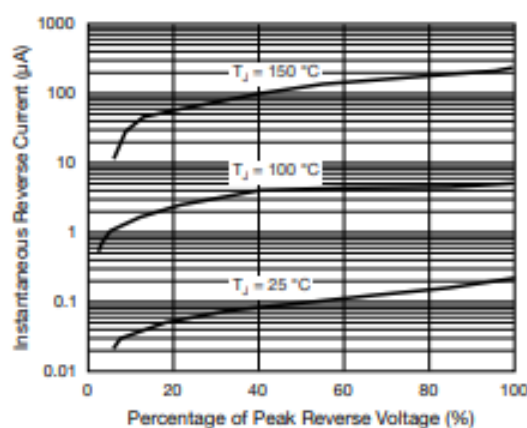
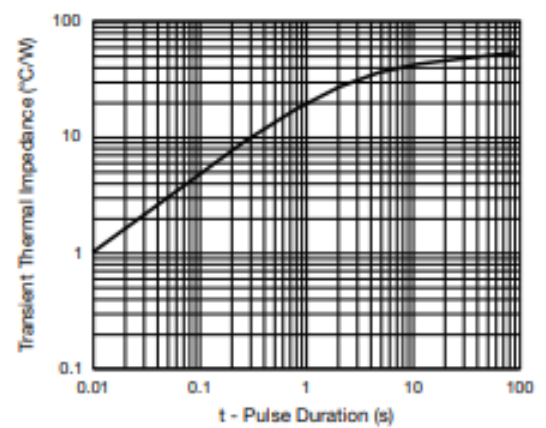
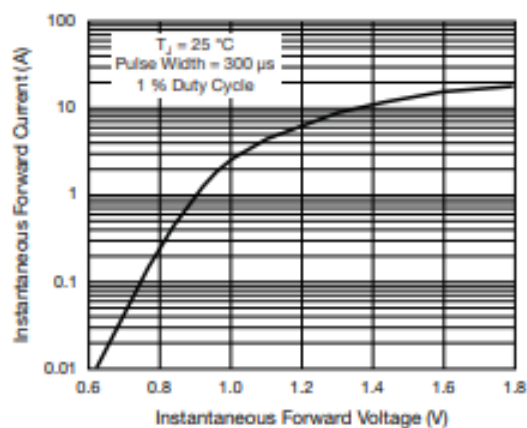
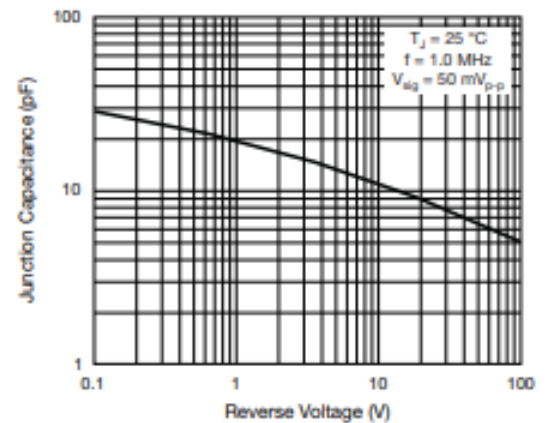
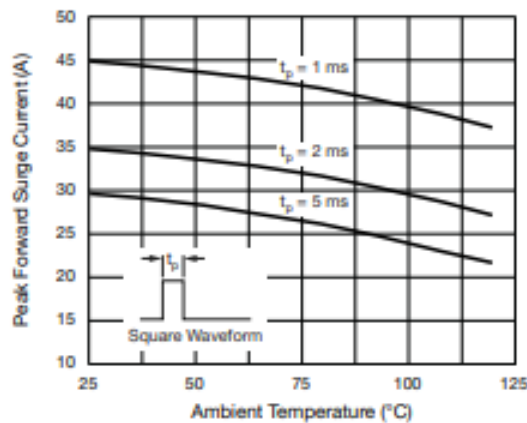


Fig. 2 - Maximum Non-repetitive Peak Forward Surge Current

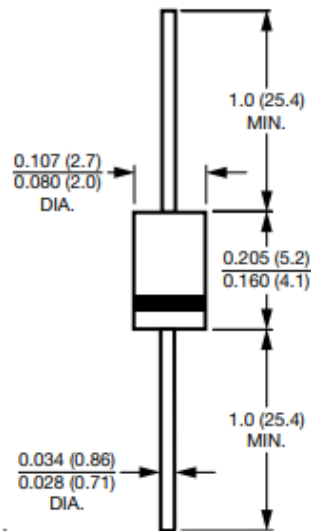

1N4001, 1N4002, 1N4003, 1N4004, 1N4005, 1N4006, 1N4007
www.vishay.com

Vishay General Semiconductor



**1N4001, 1N4002, 1N4003, 1N4004, 1N4005, 1N4006, 1N4007**www.vishay.com

Vishay General Semiconductor

PACKAGE OUTLINE DIMENSIONS in inches (millimeters)**DO-41 (DO-204AL)****Note**

- Lead diameter is $\frac{0.026}{0.023}$ (0.66 / 0.58) for suffix "E" part numbers

Switches

<https://www.schurter.com/PG09>

6x6 mm tact switches

Print and SMD Switch 6x6



LSH: Gullwing, variable height



LPH: Through hole, variable height



LPS: Through hole, square



LPV: Through hole, angled

See below:

Approvals and Compliances

Description

- Switches are possible with different heights
- Design 6x6 mm Through hole or SMD mounting
- Solder terminals

Unique Selling Proposition

- Reliable tactile feedback on input
- Simple assembly
- Long life time

Weblinks

[html-datasheet](#), [General Product Information](#), [CAD-Drawings](#), [Product News](#), [Detailed request for product](#)

Technical Data

Electrical Data

Switching Voltage	12 VDC
Switching Current	50 mA
Lifetime	> 10 ⁶ actuations at Rated Switching Capacity
Contact Resistance	max. 100 mΩ
	max. 100 mΩ after lifetime
Duration of Bounce	typ. 0.1 ms

Mechanical Data

Actuating Force	1.6 ± 0.5 N
Actuating Travel	0.25 ± 0.2 / -0.1 mm
End Stop Strength	50 N / 3 s
Lifetime	> 10 ⁶ actuations

Climatical Data

Operating Temperature	-20 °C to 70 °C
Storage Temperature	-30 °C to 85 °C
IP-Protection	IP 40

Soldering Data

Soldering Methods	Reflow
Solderability	245 °C / 5 sec (IEC 60068-2-58 Test Td)
Resistance to Soldering Heat	260 °C / 10 sec (IEC 60068-2-58 Test Td)

Material

Terminals	CuZn37 0.7 μm Ag
Socket	UL 94V-0
Actuator	UL 94V-0

Approvals and Compliances

Detailed information on product approvals, code requirements, usage instructions and detailed test conditions can be looked up in [Details about Approvals](#)

Application standards

Application standards where the product can be used

Organization	Design	Standard	Description
	Designed for applications acc.	IEC/UL 60950	IEC 60950-1 includes the basic requirements for the safety of information technology equipment.

Compliances

The product complies with following Guide Lines

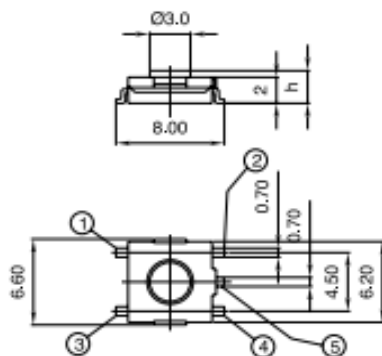
Identification	Details	Initiator	Description
	RoHS	SCHURTER AG	EU Directive RoHS 2011/65/EU
	China RoHS	SCHURTER AG	The law SJ / T 11363-2006 (China RoHS) has been in force since 1 March 2007. It is similar to the EU directive RoHS.
	REACH	SCHURTER AG	On 1 June 2007, Regulation (EC) No 1907/2006 on the Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals 1 (abbreviated as "REACH") entered into force.

6x6 mm tact switches

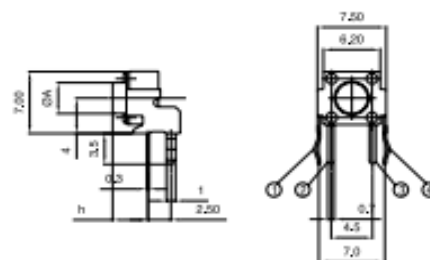
Switches
<https://www.schurter.com/PG09>

Dimension [mm]

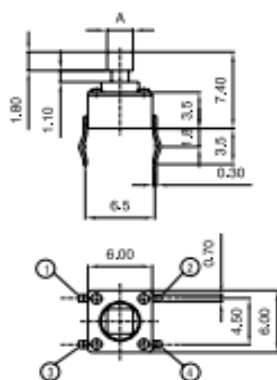
LSG Gullwing basic module



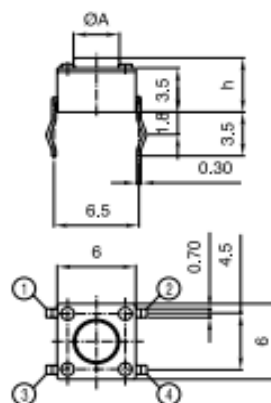
LPV PCB basic module



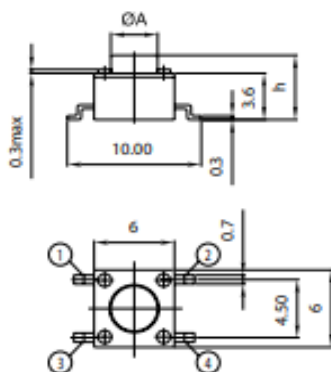
LPS PCB basic module



LPH PCB basic module



LSH Gullwing basic module



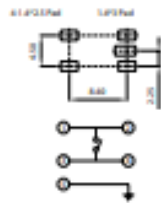
Switches

<https://www.schurter.com /PG09>

6x6 mm tact switches

Drilling diagrams

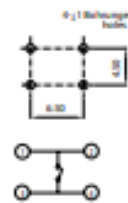
LSG: Gullwing



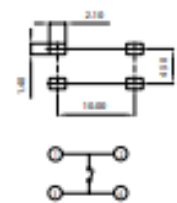
LPV PCB lead



LPH / LPS PCB lead



LSH Gullwing lead



All Variants

Type	Terminal	Type	Actuator ø A / Overall height	Packaging	Order Number
LPH	Through hole	Height variable	12.50 mm	loose in boxes(2000 pcs.)	1301.9307
LPH	Through hole	Height variable	4.30 mm	loose in boxes(2000 pcs.)	1301.9301
LPH	Through hole	Height variable	5.00 mm	loose in boxes(2000 pcs.)	1301.9302
LPH	Through hole	Height variable	7.00 mm	loose in boxes(2000 pcs.)	1301.9303
LPH	Through hole	Height variable	7.30 mm	loose in boxes(2000 pcs.)	1301.9304
LPH	Through hole	Height variable	8.00 mm	loose in boxes(2000 pcs.)	1301.9305
LPH	Through hole	Height variable	9.50 mm	loose in boxes(2000 pcs.)	1301.9306
LPS	Through hole	square 2.40 mm x 2.40 mm	-	loose in boxes(2000 pcs.)	1301.9308
LPS	Through hole	square 2.80 mm x 2.80 mm	-	loose in boxes(2000 pcs.)	1301.9309
LPV	Through hole	angled	11.35 mm	loose in boxes(2000 pcs.)	1301.9502
LPV	Through hole	angled	3.85 mm	loose in boxes(2000 pcs.)	1301.9501
LPV	Through hole	angled	6.15 mm	loose in boxes(2000 pcs.)	1301.9503
LSG	Gullwing	-	3.10 mm	Blister Tape 33 cm Reel(1500 pcs.)	1301.9324.25
LSH	Gullwing	Height variable	12.50 mm	Blister Tape 33 cm Reel(250 pcs.)	1301.9320.24
LSH	Gullwing	Height variable	12.50 mm	loose in boxes(2000 pcs.)	1301.9320
LSH	Gullwing	Height variable	4.30 mm	Blister Tape 33 cm Reel(1000 pcs.)	1301.9314.24
LSH	Gullwing	Height variable	4.30 mm	loose in boxes(2000 pcs.)	1301.9314
LSH	Gullwing	Height variable	5.00 mm	Blister Tape 33 cm Reel(1000 pcs.)	1301.9315.24
LSH	Gullwing	Height variable	5.00 mm	loose in boxes(2000 pcs.)	1301.9315
LSH	Gullwing	Height variable	7.00 mm	Blister Tape 33 cm Reel(750 pcs.)	1301.9316.24
LSH	Gullwing	Height variable	7.00 mm	loose in boxes(2000 pcs.)	1301.9316
LSH	Gullwing	Height variable	7.30 mm	Blister Tape 33 cm Reel(750 pcs.)	1301.9317.24
LSH	Gullwing	Height variable	7.30 mm	loose in boxes(2000 pcs.)	1301.9317
LSH	Gullwing	Height variable	8.00 mm	Blister Tape 33 cm Reel(500 pcs.)	1301.9318.24
LSH	Gullwing	Height variable	8.00 mm	loose in boxes(2000 pcs.)	1301.9318
LSH	Gullwing	Height variable	9.50 mm	Blister Tape 33 cm Reel(400 pcs.)	1301.9319.24
LSH	Gullwing	Height variable	9.50 mm	loose in boxes(2000 pcs.)	1301.9319

Most Popular:

Availability for all products can be searched real-time: <https://www.schurter.com/en/Stock-Check/Stock-Check-SCHURTER>



Features

- Single and dual section control
- Metal shaft styles
- Carbon element
- Center and multiple detent options
- Wide range of resistance tapers
- Plain or knurled shaft options



PDB18 Series - 17 mm Rotary Potentiometer

Electrical Characteristics

Taper..... Linear, audio
Standard Resistance Range..... 1 K ohms to 1 M ohms
Standard Resistance Tolerance..... $\pm 20\%$
Residual Resistance..... 1 % max.

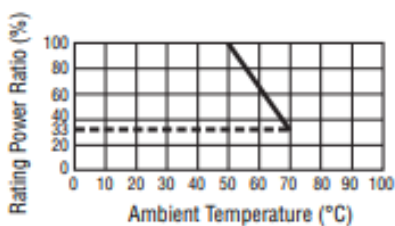
Environmental Characteristics

Operating Temperature..... -10°C to $+50^{\circ}\text{C}$
Power Rating
Linear..... 0.2 watt
Dual Section..... 0.125 watt
Audio..... 0.1 watt
Dual Section..... 0.06 watt
Maximum Operating Voltage
Linear..... 200 V
Audio..... 150 V
Sliding Noise..... 47 mV max.

Mechanical Characteristics

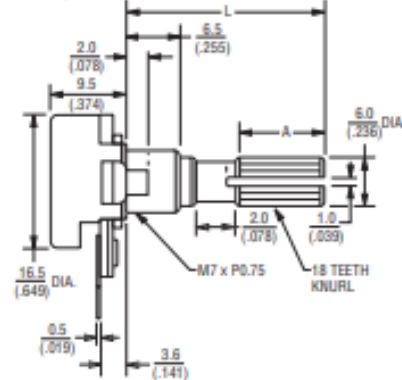
Mechanical Angle..... $300^{\circ} \pm 5^{\circ}$
Rotational Torque..... 10 to 150 gf-cm
Detent Torque..... 150 to 500 g-cm
Stop Strength..... 5 kg-cm min.
Rotational Life..... 15,000 cycles
Soldering Condition
..... 260°C max. within 3 seconds
Hardware..... One flat washer and mounting nut supplied per potentiometer with bushing

Derating Curve



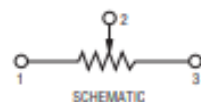
Product Dimensions

PDB181-K

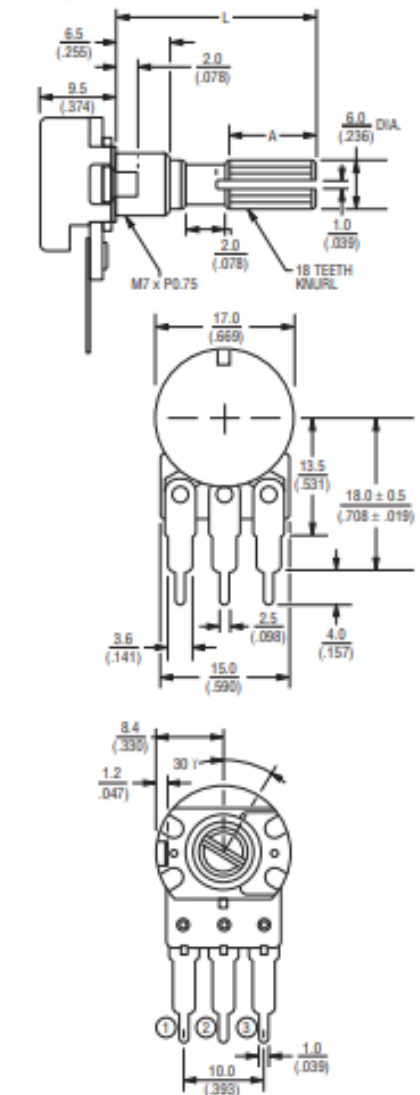


SHAFT SHOWN IN CCW POSITION

DIMENSIONS: MM (INCHES)



PDB181-A



SHAFT SHOWN IN CCW POSITION



WARNING Cancer and Reproductive Harm
www.P65Warnings.ca.gov

*RoHS Directive 2015/863, Mar 31, 2015 and Annex.

Specifications are subject to change without notice.

Users should verify actual device performance in their specific applications.

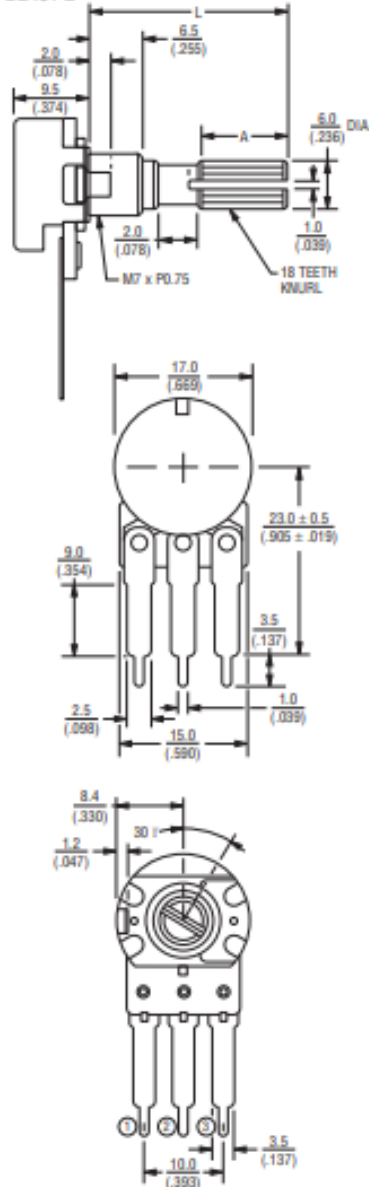
The products described herein and this document are subject to specific disclaimers as set forth on the last page of this document, and at www.bourns.com/legal/disclaimer.pdf.

Additional Features

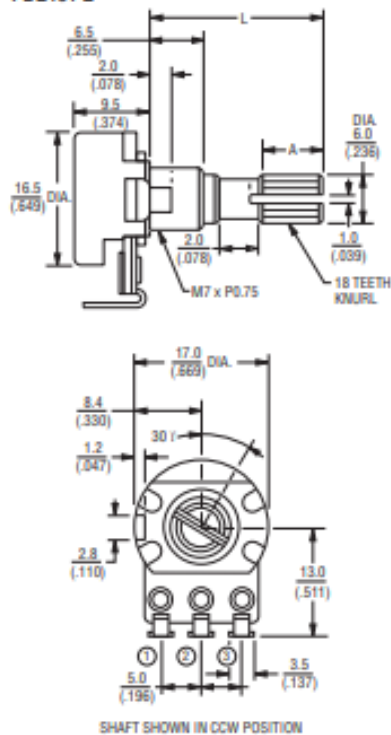
- Linear, audio and reverse audio taper options
- RoHS compliant*

Applications

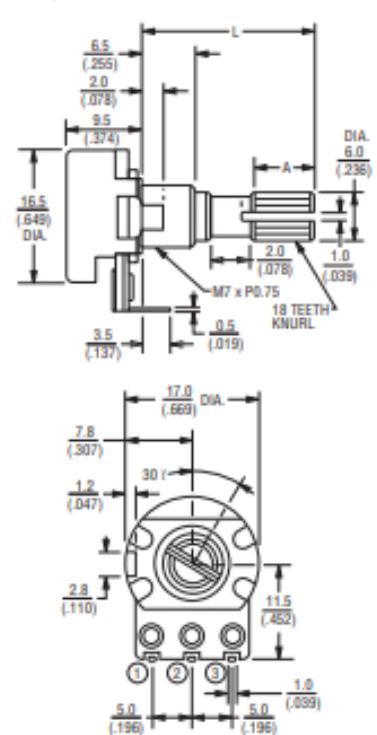
- Audio/TV sets
- Amplifiers/mixers/drum machines/synthesizers
- PCs/monitors
- Appliances

PDB18 Series - 17 mm Rotary Potentiometer**BOURNS®****Product Dimensions****PDB181-B**

SHAFT SHOWN IN CCW POSITION

PDB181-E

SHAFT SHOWN IN CCW POSITION

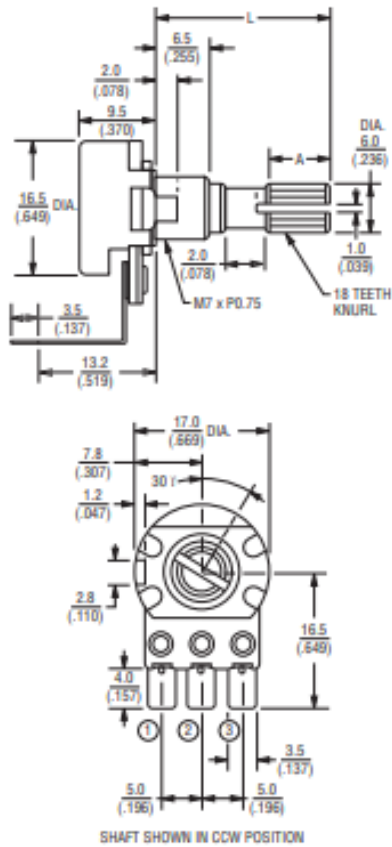
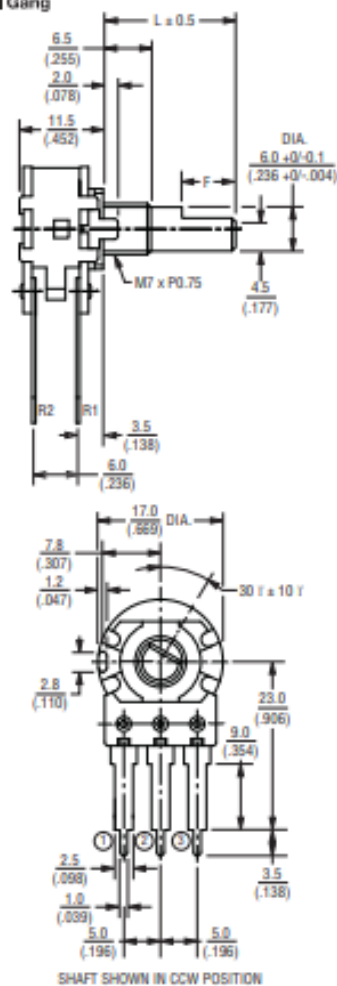
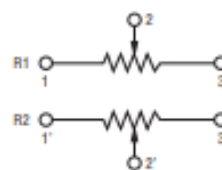
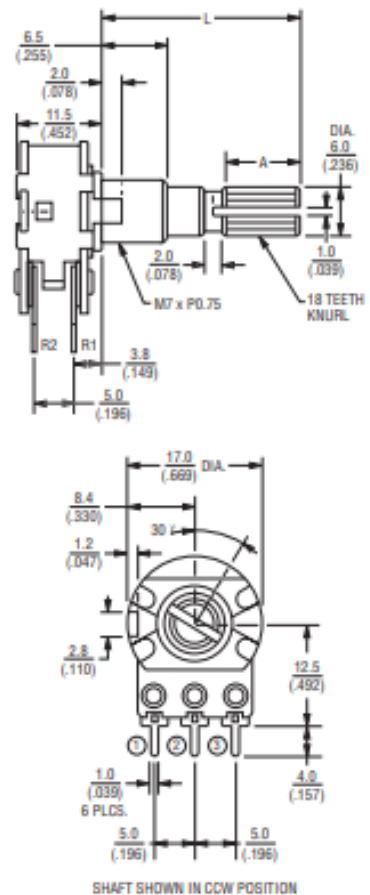
DIMENSIONS: $\frac{\text{MM}}{(\text{INCHES})}$ **PDB181-D**

SHAFT SHOWN IN CCW POSITION

Specifications are subject to change without notice.

Users should verify actual device performance in their specific applications.

The products described herein and this document are subject to specific legal disclaimers as set forth on the last page of this document, and at www.bourns.com/docs/legal/disclaimer.pdf.

PDB18 Series - 17 mm Rotary Potentiometer**BOURNS®****Product Dimensions****PDB181-P****PDB182-B
Dual Gang****PDB182-K
Dual Gang****SCHEMATIC**

DIMENSIONS: $\frac{\text{MM}}{(\text{INCHES})}$

Specifications are subject to change without notice.

Users should verify actual device performance in their specific applications.

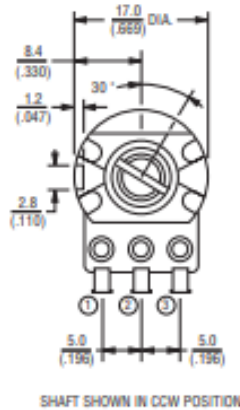
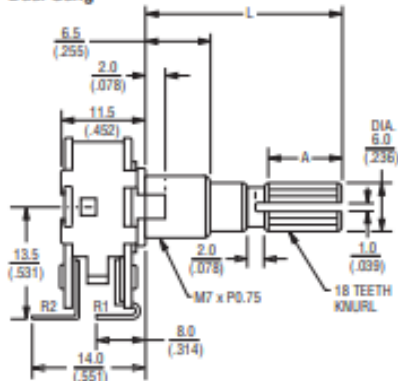
The products described herein and this document are subject to specific legal disclaimers as set forth on the last page of this document, and at www.bourns.com/docs/legal/disclaimer.pdf.

PDB18 Series - 17 mm Rotary Potentiometer

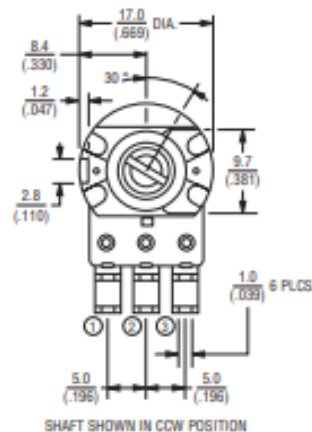
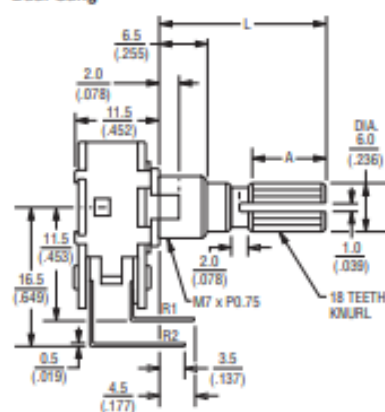
BOURNS®

Product Dimensions

PDB182-E
Dual Gang



PDB182-D
Dual Gang

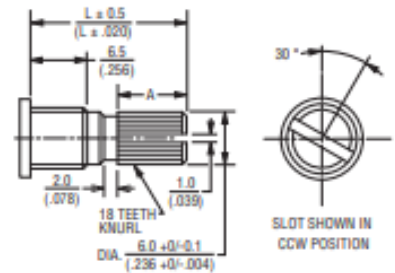


DIMENSIONS: $\frac{\text{MM}}{(\text{INCHES})}$

Shaft Styles

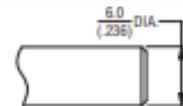
K Type

L	$\frac{15}{(591)}$	$\frac{18}{(709)}$	$\frac{20}{(787)}$	$\frac{25}{(984)}$	$\frac{30}{(1181)}$
A	$\frac{6.5}{(256)}$	$\frac{6.5}{(256)}$	$\frac{11.5}{(453)}$	$\frac{14}{(551)}$	$\frac{19}{(748)}$



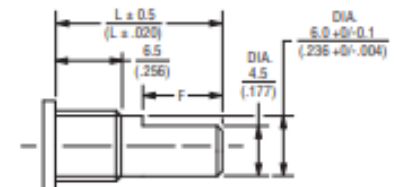
P Type

L	$\frac{20}{(.787)}$	$\frac{25}{(.984)}$	$\frac{30}{(1.181)}$
---	---------------------	---------------------	----------------------



F Type

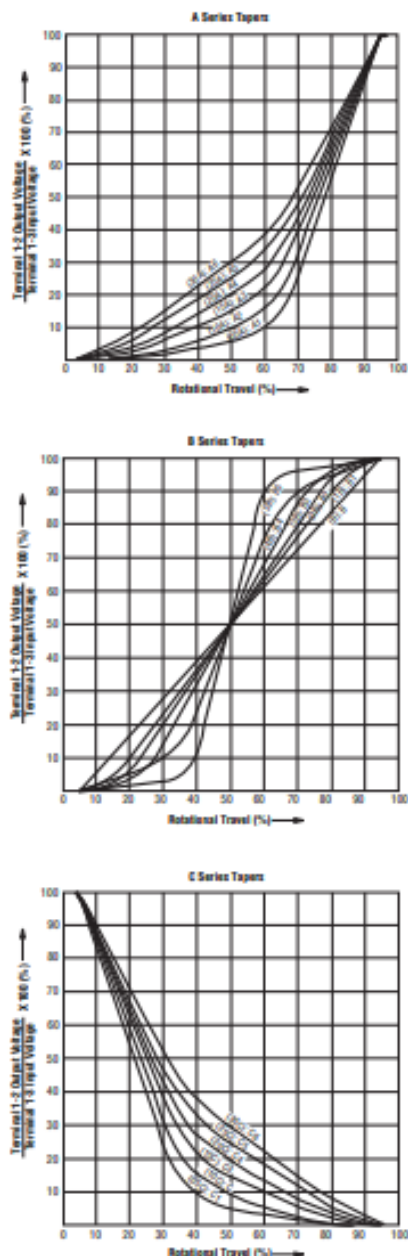
L	$\frac{15}{(.591)}$	$\frac{20}{(.787)}$	$\frac{25}{(.984)}$	$\frac{30}{(1.181)}$	$\frac{35}{(1.378)}$
F	$\frac{7}{(.276)}$	$\frac{12}{(.472)}$	$\frac{12}{(.472)}$	$\frac{12}{(.472)}$	$\frac{12}{(.472)}$



Specifications are subject to change without notice.

Users should verify actual device performance in their specific applications.

The products described herein and this document are subject to specific legal disclaimers as set forth on the last page of this document, and at www.bourns.com/docs/legal/disclaimer.pdf.

PDB18 Series - 17 mm Rotary Potentiometer**BOURNS®****Tapers****How To Order****PDB18 1 - K 4 25 K - 103 A1**

- Model** _____
- Number of Sections**
- 1 = Single Section
 - 2 = Dual Section
- Terminal Configuration (Pin Layout)**
(see individual drawings)
- K = PC Pins vertical/Down Facing (12.5 mm)
 - A = PC Pins vertical/Down Facing (18.0 mm)
 - B = PC Pins vertical/Down Facing (23.0 mm)
 - E = Solder Lugs Rear Facing
 - P = PC Pins Rear Facing
 - D = PC Pins Front Facing
- Detent Option**
- 2 = Center Detent
 - 4 = No Detents
 - 5 = 10 Detent / 11 Position
 - 6 = 20 Detent / 21 Position
 - 7 = 30 Detent / 31 Position
 - 8 = 40 Detent / 41 Position
- Standard Shaft Length**
- 15 = 15 mm
 - 18 = 18 mm
 - 20 = 20 mm
 - 25 = 25 mm
 - 30 = 30 mm
- Shaft Style**
- F = Metal Flatted Shaft
 - K = Metal Knurled Type Shaft 18 Toothed Serration Type
 - P = Metal Plain Shaft
- Resistance Code (See Table)** _____
- Resistance Taper (See Taper Charts)**
Taper Series followed by Curve Number
- Other styles available.

Standard Resistance Table

Resistance (Ohms)	Resistance Code
1,000	102
2,000	202
5,000	502
10,000	103
20,000	203
50,000	503
100,000	104
200,000	204
500,000	504
1,000,000	105

BOURNS®Asia-Pacific: Tel: +886-2 2562-4117 • Email: asiacus@bourns.comEMEA: Tel: +36 88 885 877 • Email: eurocus@bourns.comThe Americas: Tel: +1-951 781-5500 • Email: americus@bourns.comwww.bourns.com

REV. 10/19

Specifications are subject to change without notice.

Users should verify actual device performance in their specific applications.

The products described herein and this document are subject to specific legal disclaimers as set forth on the last page of this document, and at www.bourns.com/docs/legal/disclaimer.pdf.

Legal Disclaimer Notice

BOURNS®

This legal disclaimer applies to purchasers and users of Bourns® products manufactured by or on behalf of Bourns, Inc. and its affiliates (collectively, "Bourns").

Unless otherwise expressly indicated in writing, Bourns® products and data sheets relating thereto are subject to change without notice. Users should check for and obtain the latest relevant information and verify that such information is current and complete before placing orders for Bourns® products.

The characteristics and parameters of a Bourns® product set forth in its data sheet are based on laboratory conditions, and statements regarding the suitability of products for certain types of applications are based on Bourns' knowledge of typical requirements in generic applications. The characteristics and parameters of a Bourns® product in a user application may vary from the data sheet characteristics and parameters due to (i) the combination of the Bourns® product with other components in the user's application, or (ii) the environment of the user application itself. The characteristics and parameters of a Bourns® product also can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. Users should always verify the actual performance of the Bourns® product in their specific devices and applications, and make their own independent judgments regarding the amount of additional test margin to design into their device or application to compensate for differences between laboratory and real world conditions.

Unless Bourns has explicitly designated an individual Bourns® product as meeting the requirements of a particular industry standard (e.g., ISO/TS 16949) or a particular qualification (e.g., UL listed or recognized), Bourns is not responsible for any failure of an individual Bourns® product to meet the requirements of such industry standard or particular qualification. Users of Bourns® products are responsible for ensuring compliance with safety-related requirements and standards applicable to their devices or applications.

Bourns® products are not recommended, authorized or intended for use in nuclear, lifesaving, life-critical or life-sustaining applications, nor in any other applications where failure or malfunction may result in personal injury, death, or severe property or environmental damage. Unless expressly and specifically approved in writing by two authorized Bourns representatives on a case-by-case basis, use of any Bourns® products in such unauthorized applications might not be safe and thus is at the user's sole risk. Life-critical applications include devices identified by the U.S. Food and Drug Administration as Class III devices and generally equivalent classifications outside of the United States.

Bourns expressly identifies those Bourns® standard products that are suitable for use in automotive applications on such products' data sheets in the section entitled "Applications." Unless expressly and specifically approved in writing by two authorized Bourns representatives on a case-by-case basis, use of any other Bourns® standard products in an automotive application might not be safe and thus is not recommended, authorized or intended and is at the user's sole risk. If Bourns expressly identifies a sub-category of automotive application in the data sheet for its standard products (such as infotainment or lighting), such identification means that Bourns has reviewed its standard product and has determined that if such Bourns® standard product is considered for potential use in automotive applications, it should only be used in such sub-category of automotive applications. Any reference to Bourns® standard product in the data sheet as compliant with the AEC-Q standard or "automotive grade" does not by itself mean that Bourns has approved such product for use in an automotive application.

Bourns® standard products are not tested to comply with United States Federal Aviation Administration standards generally or any other generally equivalent governmental organization standard applicable to products designed or manufactured for use in aircraft or space applications. Bourns expressly identifies Bourns® standard products that are suitable for use in aircraft or space applications on such products' data sheets in the section entitled "Applications." Unless expressly and specifically approved in writing by two authorized Bourns representatives on a case-by-case basis, use of any other Bourns® standard product in an aircraft or space application might not be safe and thus is not recommended, authorized or intended and is at the user's sole risk.

The use and level of testing applicable to Bourns® custom products shall be negotiated on a case-by-case basis by Bourns and the user for which such Bourns® custom products are specially designed. Absent a written agreement between Bourns and the user regarding the use and level of such testing, the above provisions applicable to Bourns® standard products shall also apply to such Bourns® custom products.

Users shall not sell, transfer, export or re-export any Bourns® products or technology for use in activities which involve the design, development, production, use or stockpiling of nuclear, chemical or biological weapons or missiles, nor shall they use Bourns® products or technology in any facility which engages in activities relating to such devices. The foregoing restrictions apply to all uses and applications that violate national or international prohibitions, including embargos or international regulations. Further, Bourns® products and Bourns technology and technical data may not under any circumstance be exported or re-exported to countries subject to international sanctions or embargoes. Bourns® products may not, without prior authorization from Bourns and/or the U.S. Government, be resold, transferred, or re-exported to any party not eligible to receive U.S. commodities, software, and technical data.

To the maximum extent permitted by applicable law, Bourns disclaims (i) any and all liability for special, punitive, consequential, incidental or indirect damages or lost revenues or lost profits, and (ii) any and all implied warranties, including implied warranties of fitness for particular purpose, non-infringement and merchantability.

For your convenience, copies of this Legal Disclaimer Notice with German, Spanish, Japanese, Traditional Chinese and Simplified Chinese bilingual versions are available at:

Web Page: <http://www.bourns.com/legal/disclaimers-terms-and-policies>

PDF: <http://www.bourns.com/docs/Legal/disclaimer.pdf>



ENGLISH

Datasheet

RS Pro RS Series Axial Carbon Resistor 10k Ω $\pm$ 5% 0.25W - 500 $\rightarrow$ +350ppm/ $^{\circ}$ C
RS Stock No: **707-7745**



Product Details

RS Pro axial carbon resistor with $\pm$ 5% tolerance, provides 10 k Ω resistance and is power rated at 0.25 W. The temperature coefficient of resistance is in the range -500 to +350 ppm/ $^{\circ}$ C. Carbon film axial leaded resistor offers excellent long-term stability. It features standard solder-plated copper leads. Applications include automotive, telecommunication and medical equipment. A comprehensive range of high stability carbon film resistors are qualified and tested to the requirements of IEC 115 and IEC 115-2. The ruggedized welded cap and lead method of manufacture provides a considerable strength and resistance to damage. The coating materials and the colour bands are epoxy resin and are highly resistant to solvents, abrasion and chipping. Improvements in materials and processing have allowed the rated power to be improved. Excellent stability against changes in load conditions or moisture levels, with a low noise level and high reliability make these carbon film resistors suitable for a wide range of applications. Rated at 70 $^{\circ}$ C in free air mounted horizontally.

Features and Benefits

- Available in resistances from 1 Ω to 9.1 m Ω
- Resistor body: 2.3 mm diameter, 6.3 mm length
- Long-term stability
- Solder plated copper leads

RS, Professionally Approved Products, gives you professional quality parts across all products categories. Our range has been testified by engineers as giving comparable quality to that of the leading brands without paying a premium price.


ENGLISH
Specifications:

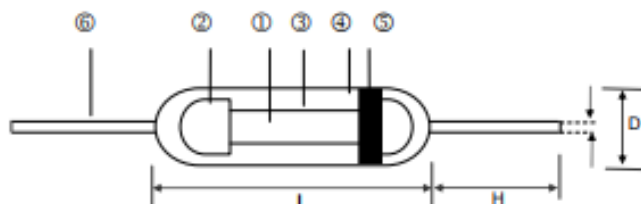
Case Style	Ceramic
Diameter	2.3 mm
Dimensions	2.3 (dia.) x 6.3 mm
Lead Diameter	0.55 mm
Length	6.3 mm
Maximum Operating Temperature	+155°C
Maximum Temperature Coefficient	+350 ppm/°C
Minimum Operating Temperature	-55°C
Minimum Temperature Coefficient	-500 ppm/°C
Power Rating	0.25 W
Resistance	10 kΩ
Technology	Carbon Film
Temperature Coefficient	-500 to +350 ppm/°C
Termination Style	Axial
Tolerance	±5%
Maximum Operating Voltage	250 V
Lead Length	28 mm
Maximum Overload Voltage	500 V

RS, Professionally Approved Products, gives you professional quality parts across all products categories. Our range has been testified by engineers as giving comparable quality to that of the leading brands without paying a premium price.



ENGLISH

Carbon Film Leaded Resistor - RS Series



① Ceramic Rod	④ Non-flame Paint With Sol Vent-proof
② Tinned Iron Caps	⑤ Colour Code
③ Carbon Film	⑥ Lead Wire

■Dimensions

Unit: mm

Type	L	D	H	d	Weight (g) (1000pcs)
Carbon 0.125W	3.3±0.4/-0.2	1.8±0.3	29.3±2.0	0.452.3±0.03	92
Carbon 0.25W	6.3±0.5	2.3±0.3	28±2.0	0.55±0.03	155
Carbon 0.5W (H)	6.3±0.5	2.3±0.3	28±2.0	0.55±0.03	155
Carbon 1W (H)	9.0±0.5	3.2±0.5	26±2.0	0.65±0.03	352
Carbon 2W (H)	11.5±1.0	4.5±0.5	35±2.0	0.78±0.03	775

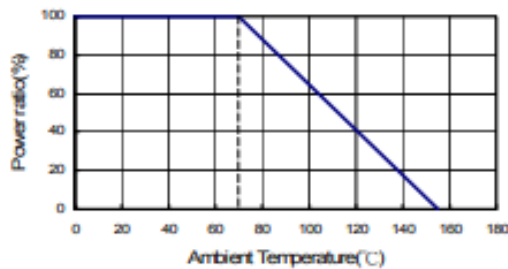
■Part Numbering

RS-	Carbon-	1R-	5%-	0.125W
Series	Carbon Carbon(H)	0.5R: 0.5 Ω	±5%	Power rating @ 70°C 0.125W

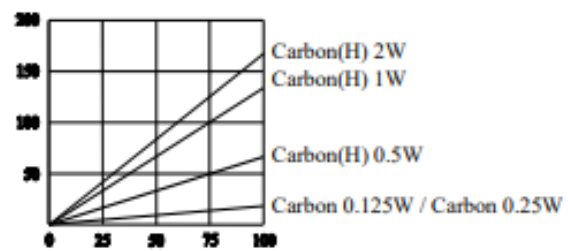
RS, Professionally Approved Products, gives you professional quality parts across all products categories. Our range has been testified by engineers as giving comparable quality to that of the leading brands without paying a premium price.


ENGLISH

Derating Curve



Hop-Spot Temperature



Environmental Characteristics

Item	Requirement	Test Method
Short Time Overload	$\pm(0.75\%+0.05\Omega)$	JIS-C-5201-1 5.5 RCWV*2.5 or Max. overload voltage for 5 seconds
Insulation Resistance	$>1000M\Omega$	JIS-C-5201-1 5.6 Apply 100V _{DC} for 1 minute
Endurance	$\pm(3\%+0.05\Omega)$	JIS-C-5201-1 7.10 70 $\pm$ 2°C, Max. working voltage for 1000 hrs with 1.5 hrs "ON" and 0.5 hrs "OFF"
Damp Heat with Load	100K Ω $\pm$ 3% 100K Ω $\pm$ 5%	JIS-C-5201-1 7.9 40 $\pm$ 2°C, 90~95% R.H. Max. working voltage for 1000 hrs with 1.5 hrs "ON" and 0.5 hrs "OFF"
Solderability	90% min. Coverage	JIS-C-5201-1 6.5 245 $\pm$ 5°C for 3 seconds
Dielectric Withstanding Voltage	By Type	JIS-C-5201-1 5.7 Apply Max. Overload Voltage for 1 minute
Temperature Coefficient	$<100K\Omega$ +350ppm~-500ppm 100K Ω ~1M Ω -0ppm~-700ppm $>1M\Omega$ -0ppm~-1500ppm	Resistance value at room temperature and room Temperature+100°C
Pulse Overload	$\pm(1\%+0.05\Omega)$	JIS-C-5201-1 5.8 4 times RCWV for 10000 cycles with 1 second "ON" and 25 seconds "OFF"
Resistance To Solvent	No deterioration of coatings and markings	JIS-C-5201-1 6.9 Trichroethane for 1 min. with ultrasonic
Terminal Strength	Tensile: 2.5 kg	Direct Load for 10 seconds In the direction off the terminal leads

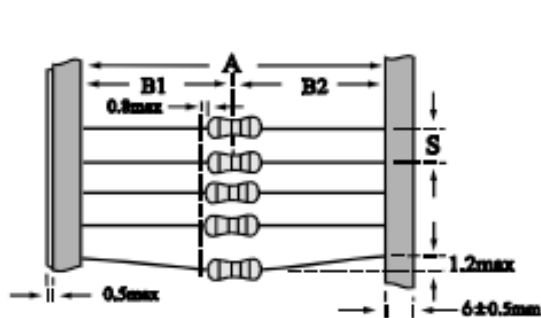
■ Rated Continuous Working Voltage(RCWV) = $\sqrt{P \cdot R}$

■ Storage Temperature: 25 $\pm$ 3°C; Humidity < 80%RH

RS, Professionally Approved Products, gives you professional quality parts across all products categories. Our range has been testified by engineers as giving comparable quality to that of the leading brands without paying a premium price.

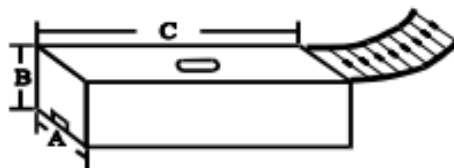

ENGLISH
■Electrical Specifications

Type	Item	Power Rating at 70°C	Operating Temp. Range	Max. Working Voltage	Max. Overload Voltage	Dielectric Withstanding Voltage	Resistance Range
							±5%
Carbon		0.125W	-55 ~ +155°C	150V	300V	300V	0.1Ω - 22MΩ
Carbon		0.25W		250V	500V	500V	1Ω - 10MΩ
Carbon(H)		0.5W		300V	500V	500V	0.1Ω - 22MΩ
Carbon(H)		1W		400V	800V	800V	1Ω - 10MΩ
Carbon(H)		2W		500V	1000V	1000V	0.1Ω - 10MΩ

■Taping/Packing Specifications
Packing Methods (Ammo)


Unit: mm

Packaging Type	Packing Methods		
	A	B1-B2	S
Carbon 0.125W	52+1/-0	1.2	5
Carbon 0.25W	52+1/-0	1.2	5
Carbon 0.5W (H)	52+1/-0	1.2	5
Carbon 1W (H)	52+1/-0	1.5	5
Carbon 2W (H)	52+1/-0	1.5	10

Ammo Packing


Unit: mm

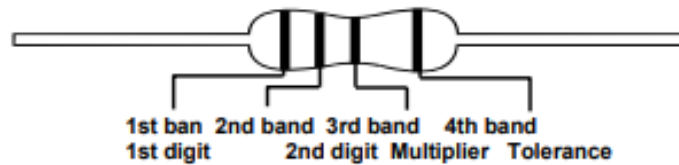
Packaging Type	Packing Methods			Ammo Packing			
	A	B1-B2	S	A	B	C	Qty
Carbon 0.125W	26+1/-0	1.0	5	80	105	264	5,000
Carbon 0.25W	26+1/-0	1.0	5	80	105	264	5,000
Carbon 0.5W (H)	26+1/-0	1.0	5	80	105	264	5,000
Carbon 1W (H)	73+1/-0	1.5	5	103	82	265	1,000
Carbon 2W (H)	73+1/-0	1.5	10	103	96	265	1,000

RS, Professionally Approved Products, gives you professional quality parts across all products categories. Our range has been testified by engineers as giving comparable quality to that of the leading brands without paying a premium price.



■ Marking & Resistance Tolerance

ENGLISH



±5%	E-24	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1
-----	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Color	Digit	Multiplier	Tolerance	
	-	-	-	-
	-	10^{-2}	-	-
	-	10^{-1}	±5.0%	J
	0	10^0	-	-
	1	10^1	-	-
	2	10^2	-	-
	3	10^3	-	-
	4	10^4	-	-
	5	10^5	-	-
	6	10^6	-	-
	7	10^7	-	-
	8	10^8	-	-
	9	10^9	-	-

RS, Professionally Approved Products, gives you professional quality parts across all products categories. Our range has been testified by engineers as giving comparable quality to that of the leading brands without paying a premium price.



ENGLISH

Datasheet

RS Pro RS Series Axial Carbon Resistor 22Ω ±5% 2W -500

→ +350ppm/°C

RS Stock No: 707-8808



Product Details

RS Pro axial carbon resistor with ±5% tolerance, provides 22 Ω resistance and is power rated at 2 W. The temperature coefficient of resistance is in the range -500 to +350 ppm/°C. Carbon film axial leaded resistor offers excellent long-term stability. It features standard solder-plated copper leads. Applications include automotive, telecommunication and medical equipment. A comprehensive range of high stability carbon film resistors are qualified and tested to the requirements of IEC 115 and IEC 115-2. The ruggedized welded cap and lead method of manufacture provides a considerable strength and resistance to damage. The coating materials and the colour bands are epoxy resin and are highly resistant to solvents, abrasion and chipping. Improvements in materials and processing have allowed the rated power to be improved. Excellent stability against changes in load conditions or moisture levels, with a low noise level and high reliability make these carbon film resistors suitable for a wide range of applications. Rated at 70°C in free air mounted horizontally.

Features and Benefits

- Available in resistances from 1 Ω to 9.1 mΩ
- Resistor body: 2.3 mm diameter, 6.3 mm length
- Long-term stability
- Solder plated copper leads

RS, Professionally Approved Products, gives you professional quality parts across all products categories. Our range has been testified by engineers as giving comparable quality to that of the leading brands without paying a premium price.


ENGLISH
Specifications:

Case Style	Ceramic
Diameter	4.5 mm
Dimensions	4.5 (dia.) x 11.5 mm
Lead Diameter	0.78 mm
Length	11.5 mm
Maximum Operating Temperature	+155°C
Maximum Temperature Coefficient	+350 ppm/°C
Minimum Operating Temperature	-55°C
Minimum Temperature Coefficient	-500 ppm/°C
Power Rating	2 W
Resistance	22 Ω
Technology	Carbon Film
Temperature Coefficient	-500 to +350 ppm/°C
Termination Style	Axial
Tolerance	$\pm 5\%$
Maximum Overload Voltage	1000 V
Lead Length	35 mm
Maximum Operating Voltage	500 V

RS, Professionally Approved Products, gives you professional quality parts across all products categories. Our range has been testified by engineers as giving comparable quality to that of the leading brands without paying a premium price.

ALUMINUM ELECTROLYTIC CAPACITORS

nichicon

LD

Miniature sized, Long Life Assurance

Long Life

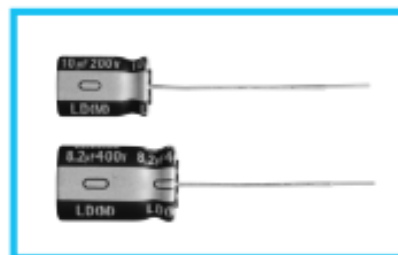
Upgrade

- Long Life product withstanding load life of 10000 to 20000 hours at +105°C.
- Suited for the power supply for LED lighting.
- Compliant to the RoHS directive (2011/65/EU).

CY
HE

Long Life

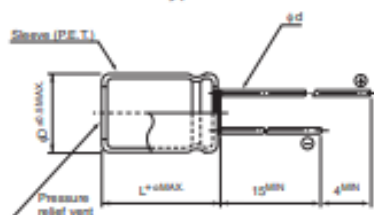
LD



Specifications

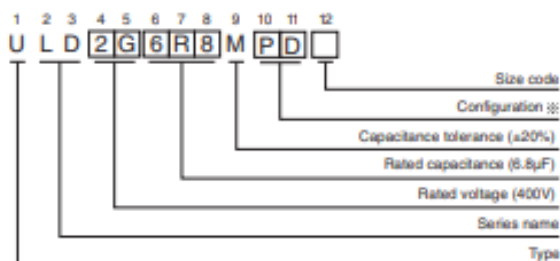
Item	Performance Characteristics								
Category Temperature Range	-25 to +105°C(10 to 100V, 450V), -40 to +105°C(160 to 400V)								
Rated Voltage Range	10 to 450V								
Rated Capacitance Range	1 to 330μF								
Capacitance Tolerance	±20% at 120Hz, 20°C								
Leakage Current	Rated Voltage(V)	10 to 100					160 to 450		
	—	After 2 minute's application of rated voltage at 20°C, leakage current is not more than 0.01CV or 3(μA), whichever is greater.					After 1 minute's application of rated voltage at 20°C, CV ≤ 1000 : 1=0.1CV+40(μA) or less After 1 minute's application of rated voltage at 20°C, CV>1000: 1=0.04CV+100(μA) or less		
Tangent of loss angle (tan δ)	Measurement frequency : 120Hz at 20°C								
	Rated voltage (V)	10	16	25	35	50	63	100	160 to 450
	tan δ (MAX.)	0.45	0.35	0.3	0.22	0.19	0.17	0.15	0.24
Stability at Low Temperature	Measurement frequency : 120Hz								
	Rated voltage (V)	10	16	25-35	50 to 100	160 to 250	400	450	
	Impedance ratio Z-25°C / Z+20°C	8	6	4	3	3	6	6	
	ZT / Z20 (MAX.)	Z-40°C / Z+20°C	—	—	—	—	8	10	—
Endurance	Rated Voltage(V)	10 to 100				160 to 450			
	—	The specifications listed at right shall be met when the capacitors are restored to 20°C after D.C. bias plus rated ripple current is applied for 10000 hours at 105°C, the peak voltage shall not exceed the rated voltage.				The specifications listed at right shall be met when the capacitors are restored to 20°C after D.C. bias plus rated ripple current is applied for 20000 hours (12000 hours for φ6.3×11L, φ8×9L φ10×9L, 15000 hours φ8×11.5L, φ10×12.5L) at 105°C, the peak voltage shall not exceed the rated voltage.			
	Capacitance change	Within ± 25%(10V to 100V) ± 30%(160V to 450V) of the initial capacitance value							
	tan δ	300% or less than the initial specified value							
	Leakage current	Less than or equal to the initial specified value							
Shelf Life	After storing the capacitors under no load at 105°C for 1000 hours and then performing voltage treatment based on JIS C 5101-4 clause 4.1 at 20°C, they shall meet the specified values for the endurance characteristics listed above.								
Marking	Printed with white color letter on dark brown sleeve.								

Radial Lead Type



	φD	5	6.3	8	10	12.5	16	18
P	2.0	2.5	3.5	5.0	5.0	7.5	7.5	
φd	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	
α	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	

Type numbering system (Example : 400V 6.8µF)



Configuration

φ D	Pb-free leadwire Pb-free PET sleeve
5	DD
6.3	ED
8-10	PD
12.5 to 18	HD

- Please refer to page 20 about the end seal configuration.
- Please refer to page 20, 21, 22 about the formed or taped product spec.
- Please refer to page 4 for the minimum order quantity.

ALUMINUM ELECTROLYTIC CAPACITORS

nichicon

LD series

■ Dimensions

V		10	16	25	35	50	63	100
Cap	Code	1A	1C	1E	1V	1H	1J	2A
1	010					5x11	25	Case size φD × L (mm)
2.2	2R2					5x11	35	※
3.3	3R3					5x11	70	
4.7	4R7					5x11	80	5x11 70
6.8	6R8					5x11	80	5x11 70
10	100					5x11	90	5x11 80 6.3x11 150
22	220					5x11	135	6.3x11 170 8x11.5 230
33	330			5x11 130	5x11 130	6.3x11 190	6.3x11 170	
47	470		5x11 130	5x11 130	6.3x11 210	6.3x11 190	8x11.5 240	
100	101	5x11 130	6.3x11 210	6.3x11 210	8x11.5 330	8x11.5 270		
150	151		6.3x11 210	8x11.5 330				
220	221	6.3x11 210	8x11.5 330					
270	271		8x11.5 330					
330	331	8x11.5 330						

※ : Rated ripple (mA rms) at 105°C 100kHz

• Frequency coefficient of rated ripple current

Cap (μF)	Frequency	120Hz	1kHz	10kHz	100kHz
1 to 10μF		0.42	0.60	0.80	1.00
22 to 33μF		0.55	0.75	0.90	1.00
47 to 330μF		0.70	0.85	0.95	1.00

V		160	200	250	400	450
Cap	Code	2C	2D	2E	2G	2W
1	010				6.3 × 11	24
1.2	1R2				8 × 9	28
1.5	1R5				6.3 × 11	29
1.8	1R8			6.3 × 11	33	8 × 9
2.2	2R2		6.3 × 11	36	6.3 × 11	36
2.7	2R7				8 × 11.5	40
3.3	3R3		6.3 × 11	42	6.3 × 11	42
3.9	3R9				8 × 9	30
4.7	4R7		6.3 × 11	49	8 × 9	53
5.6	5R6	6.3 × 11	52	6.3 × 11	50	8 × 11.5
6.8	6R8	6.3 × 11	55	8 × 9	62	8 × 11.5
8.2	8R2		8 × 9	66	10 × 9	76
10	100	8 × 9	70	8 × 11.5	80	10 × 12.5
12	120		10 × 9	88	10 × 12.5	97
15	150	8 × 11.5	92			
18	180	▲ 10 × 9	95			
22	220	10 × 12.5	121	10 × 12.5	113	10 × 16
27	270		10 × 16	149		
33	330	10 × 16	158			
47	470					
68	680					

※ : Rated ripple current (mA rms) at 105°C 120Hz

▲ : In this case, ② will be put at 12th digit of type numbering system.

• Frequency coefficient of rated ripple current

Cap (μF)	Frequency	120Hz	1kHz	10kHz	100kHz or more
1 to 5.6μF		1.00	1.60	1.80	2.00
6.8 to 18μF		1.00	1.50	1.70	1.90
22 to 68μF		1.00	1.40	1.60	1.80



Is Now Part of



ON Semiconductor®

To learn more about ON Semiconductor, please visit our website at
www.onsemi.com

Please note: As part of the Fairchild Semiconductor integration, some of the Fairchild orderable part numbers will need to change in order to meet ON Semiconductor's system requirements. Since the ON Semiconductor product management systems do not have the ability to manage part nomenclature that utilizes an underscore (_), the underscore (_) in the Fairchild part numbers will be changed to a dash (-). This document may contain device numbers with an underscore (_). Please check the ON Semiconductor website to verify the updated device numbers. The most current and up-to-date ordering information can be found at www.onsemi.com. Please email any questions regarding the system integration to Fairchild_questions@onsemi.com.

ON Semiconductor and the ON Semiconductor logo are trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC d/b/a ON Semiconductor or its subsidiaries in the United States and/or other countries. ON Semiconductor owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of ON Semiconductor's product/patent coverage may be accessed at www.onsemi.com/site/pdf/Patent_Marketing.pdf. ON Semiconductor reserves the right to make changes without further notice to any products herein. ON Semiconductor makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does ON Semiconductor assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. Buyer is responsible for its products and applications using ON Semiconductor products, including compliance with all laws, regulations and safety requirements or standards, regardless of any support or applications information provided by ON Semiconductor. "Typical" parameters which may be provided in ON Semiconductor 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. ON Semiconductor does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. ON Semiconductor products are not designed, intended, or authorized for use as a critical component in life support systems or any FDA Class 3 medical devices or medical devices with a same or similar classification in a foreign jurisdiction or any devices intended for implantation in the human body. Should Buyer purchase or use ON Semiconductor products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold ON Semiconductor 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 ON Semiconductor was negligent regarding the design or manufacture of the part. ON Semiconductor is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.



January 2013

LM555 — Single Timer

LM555 Single Timer

Features

- High-Current Drive Capability: 200 mA
- Adjustable Duty Cycle
- Temperature Stability of 0.005%/°C
- Timing From μs to Hours
- Turn off Time Less Than 2 μs

Applications

- Precision Timing
- Pulse Generation
- Delay Generation
- Sequential Timing

Description

The LM555 is a highly stable controller capable of producing accurate timing pulses. With a monostable operation, the delay is controlled by one external resistor and one capacitor. With astable operation, the frequency and duty cycle are accurately controlled by two external resistors and one capacitor.

8-DIP



8-SOIC



Ordering Information

Part Number	Operating Temperature Range	Top Mark	Package	Packing Method
LM555CN	0 ~ +70°C	LM555CN	DIP 8L	Rail
LM555CM		LM555CM	SOIC 8L	Rail
LM555CMX		LM555CM	SOIC 8L	Tape & Reel

Block Diagram

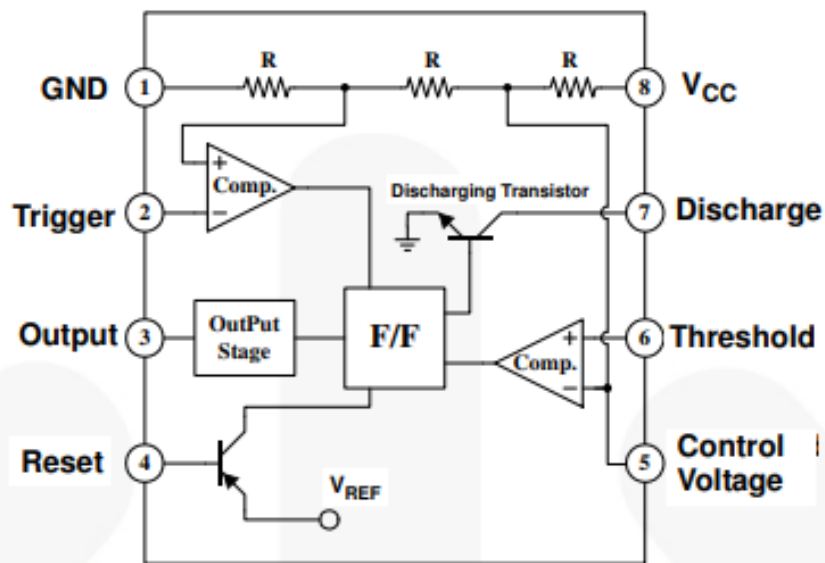


Figure 1. Block Diagram

Absolute Maximum Ratings

Stresses exceeding the absolute maximum ratings may damage the device. The device may not function or be operable above the recommended operating conditions and stressing the parts to these levels is not recommended. In addition, extended exposure to stresses above the recommended operating conditions may affect device reliability. The absolute maximum ratings are stress ratings only. Values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _{CC}	Supply Voltage	16	V
T _{LEAD}	Lead Temperature (Soldering 10s)	300	°C
P _D	Power Dissipation	600	mW
T _{OPR}	Operating Temperature Range	0 ~ +70	°C
T _{STG}	Storage Temperature Range	-65 ~ +150	°C

Electrical Characteristics

Values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = 5 \sim 15\text{ V}$ unless otherwise specified.

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Supply Voltage	V_{CC}		4.5		16.0	V
Supply Current (Low Stable) ⁽¹⁾	I_{CC}	$V_{CC} = 5\text{ V}, R_L = \infty$		3	6	mA
		$V_{CC} = 15\text{ V}, R_L = \infty$		7.5	15.0	mA
Timing Error (Monostable) Initial Accuracy ⁽²⁾	ACCUR	$R_A = 1\text{ k}\Omega$ to $100\text{ k}\Omega$ $C = 0.1\text{ }\mu\text{F}$		1.0	3.0	%
Drift with Temperature ⁽³⁾	$\Delta t / \Delta T$			50		ppm / $^\circ\text{C}$
Drift with Supply Voltage ⁽³⁾	$\Delta t / \Delta V_{CC}$			0.1	0.5	% / V
Timing Error (Astable) Initial Accuracy ⁽²⁾	ACCUR	$R_A = 1\text{ k}\Omega$ to $100\text{ k}\Omega$ $C = 0.1\text{ }\mu\text{F}$		2.25		%
Drift with Temperature ⁽³⁾	$\Delta t / \Delta T$			150		ppm / $^\circ\text{C}$
Drift with Supply Voltage ⁽³⁾	$\Delta t / \Delta V_{CC}$			0.3		% / V
Control Voltage	V_C	$V_{CC} = 15\text{ V}$	9.0	10.0	11.0	V
		$V_{CC} = 5\text{ V}$	2.60	3.33	4.00	V
Threshold Voltage	V_{TH}	$V_{CC} = 15\text{ V}$		10.0		V
		$V_{CC} = 5\text{ V}$		3.33		V
Threshold Current ⁽⁴⁾	I_{TH}			0.10	0.25	μA
Trigger Voltage	V_{TR}	$V_{CC} = 5\text{ V}$	1.10	1.67	2.20	V
		$V_{CC} = 15\text{ V}$	4.5	5.0	5.6	V
Trigger Current	I_{TR}	$V_{TR} = 0\text{ V}$		0.01	2.00	μA
Reset Voltage	V_{RST}		0.4	0.7	1.0	V
Reset Current	I_{RST}			0.1	0.4	mA
Low Output Voltage	V_{OL}	$V_{CC} = 15\text{ V}, I_{SINK} = 10\text{ mA}$		0.06	0.25	V
		$V_{CC} = 15\text{ V}, I_{SINK} = 50\text{ mA}$		0.30	0.75	V
		$V_{CC} = 5\text{ V}, I_{SINK} = 5\text{ mA}$		0.05	0.35	V
High Output Voltage	V_{OH}	$V_{CC} = 15\text{ V}, I_{SOURCE} = 200\text{ mA}$		12.5		V
		$V_{CC} = 15\text{ V}, I_{SOURCE} = 100\text{ mA}$	12.75	13.30		V
		$V_{CC} = 5\text{ V}, I_{SOURCE} = 100\text{ mA}$	2.75	3.30		V
Rise Time of Output ⁽³⁾	t_R			100		ns
Fall Time of Output ⁽³⁾	t_F			100		ns
Discharge Leakage Current	I_{LKG}			20	100	nA

Notes:

1. When the output is high, the supply current is typically 1 mA less than at $V_{CC} = 5\text{ V}$.
2. Tested at $V_{CC} = 5.0\text{ V}$ and $V_{CC} = 15\text{ V}$.
3. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.
4. This determines the maximum value of $R_A + R_B$ for 15 V operation, the maximum total $R = 20\text{ M}\Omega$, and for 5 V operation, the maximum total $R = 6.7\text{ M}\Omega$.

Application Information

Table 1 below is the basic operating table of 555 timer.

Table 1. Basic Operating Table

Reset (PIN 4)	V_{TR} (PIN 2)	V_{TH} (PIN 6)	Output (PIN 3)	Discharging Transistor (PIN 7)
Low	X	X	Low	ON
High	$< 1/3 V_{CC}$	X	High	OFF
High	$> 1/3 V_{CC}$	$> 2/3 V_{CC}$	Low	ON
High	$> 1/3 V_{CC}$	$< 2/3 V_{CC}$	Previous State	

When the low signal input is applied to the reset terminal, the timer output remains low regardless of the threshold voltage or the trigger voltage. Only when the high signal is applied to the reset terminal, the timer's output changes according to threshold voltage and trigger voltage.

When the threshold voltage exceeds $2/3$ of the supply voltage while the timer output is high, the timer's internal discharge transistor turns on, lowering the threshold voltage to below $1/3$ of the supply voltage. During this time, the timer output is maintained low. Later, if a low signal is applied to the trigger voltage so that it becomes $1/3$ of the supply voltage, the timer's internal discharge transistor turns off, increasing the threshold voltage and driving the timer output again at high.

1. Monostable Operation

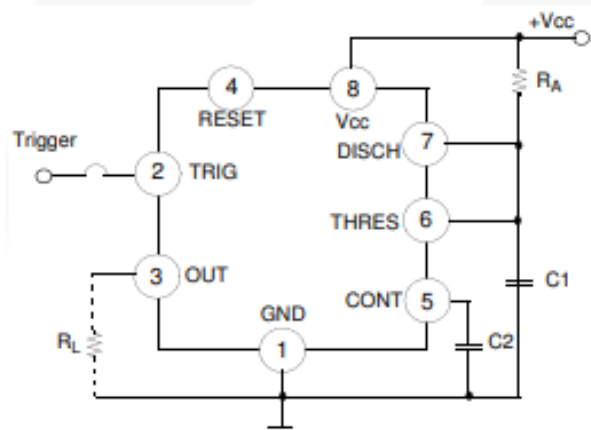


Figure 2. Monostable Circuit

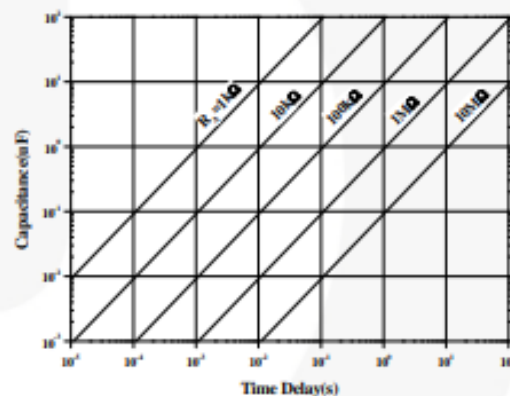


Figure 3. Resistance and Capacitance vs. Time Delay (t_D)

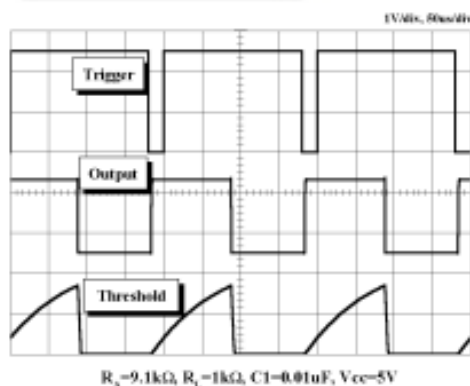


Figure 4. Waveforms of Monostable Operation

1. Monostable Operation

Figure 2 illustrates a monostable circuit. In this mode, the timer generates a fixed pulse whenever the trigger voltage falls below $V_{CC}/3$. When the trigger pulse voltage applied to the #2 pin falls below $V_{CC}/3$ while the timer output is low, the timer's internal flip-flop turns the discharging transistor off and causes the timer output to become high by charging the external capacitor C1 and setting the flip-flop output at the same time.

The voltage across the external capacitor C1, V_{C1} increases exponentially with the time constant $t = R_A \cdot C$ and reaches $2 V_{CC}/3$ at $t_D = 1.1 R_A \cdot C$. Hence, capacitor C1 is charged through resistor R_A . The greater the time constant $R_A C$, the longer it takes for the V_{C1} to reach $2 V_{CC}/3$. In other words, the time constant $R_A C$ controls the output pulse width.

When the applied voltage to the capacitor C1 reaches $2 V_{CC}/3$, the comparator on the trigger terminal resets the flip-flop, turning the discharging transistor on. At this time, C1 begins to discharge and the timer output converts to low. In this way, the timer operating in the monostable repeats the above process. Figure 3 shows the time constant relationship based on R_A and C. Figure 4 shows the general waveforms during the monostable operation.

It must be noted that, for a normal operation, the trigger pulse voltage needs to maintain a minimum of $V_{CC}/3$ before the timer output turns low. That is, although the output remains unaffected even if a different trigger pulse is applied while the output is high, it may be affected and the waveform does not operate properly if the trigger pulse voltage at the end of the output pulse remains at below $V_{CC}/3$. Figure 5 shows such a timer output abnormality.

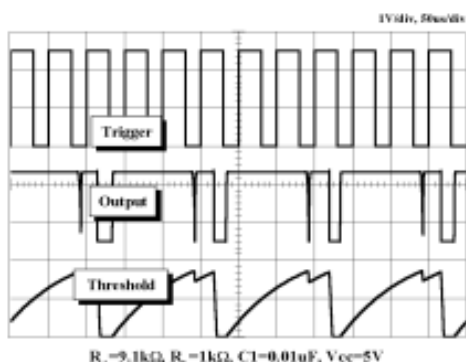


Figure 5. Waveforms of Monostable Operation (abnormal)

2. Astable Operation

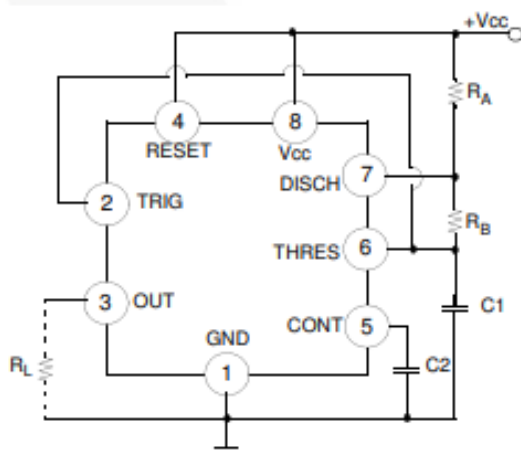


Figure 6. A Stable Circuit

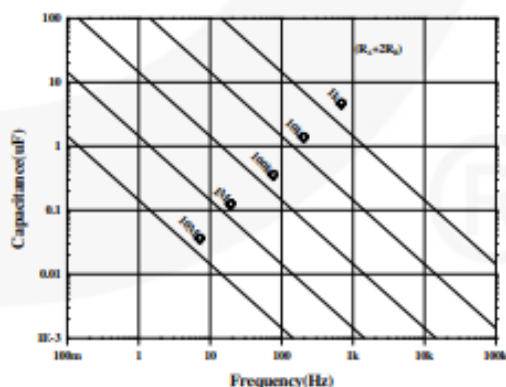


Figure 7. Capacitance and Resistance vs. Frequency

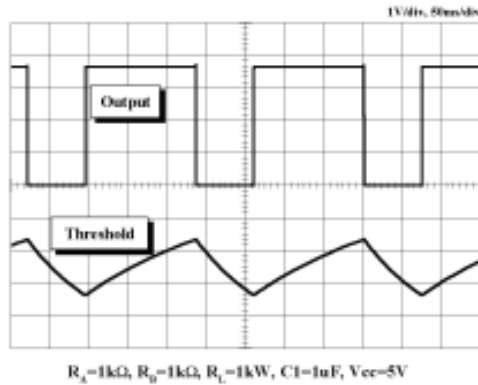
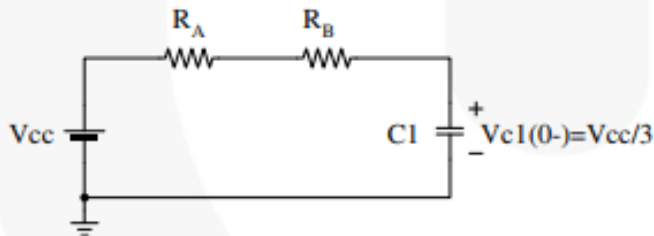


Figure 8. Waveforms of Astable Operation

An astable timer operation is achieved by adding resistor R_B to Figure 2 and configuring as shown on Figure 6. In the astable operation, the trigger terminal and the threshold terminal are connected so that a self-trigger is formed, operating as a multi-vibrator. When the timer output is high, its internal discharging transistor turns off and the V_{C1} increases by exponential function with the time constant $(R_A + R_B) \cdot C$.

When the V_{C1} , or the threshold voltage, reaches $2 V_{CC}/3$; the comparator output on the trigger terminal becomes high, resetting the F/F and causing the timer output to become low. This turns on the discharging transistor and the $C1$ discharges through the discharging channel formed by R_B and the discharging transistor. When the V_{C1} falls below $V_{CC}/3$, the comparator output on the trigger terminal becomes high and the timer output becomes high again. The discharging transistor turns off and the V_{C1} rises again.

In the above process, the section where the timer output is high is the time it takes for the V_{C1} to rise from $V_{CC}/3$ to $2 V_{CC}/3$, and the section where the timer output is low is the time it takes for the V_{C1} to drop from $2 V_{CC}/3$ to $V_{CC}/3$. When timer output is high, the equivalent circuit for charging capacitor $C1$ is as follows:



$$C_1 \frac{dv_{C1}}{dt} = \frac{V_{CC} - V(0-)}{R_A + R_B} \quad (1)$$

$$V_{C1}(0+) = V_{CC}/3 \quad (2)$$

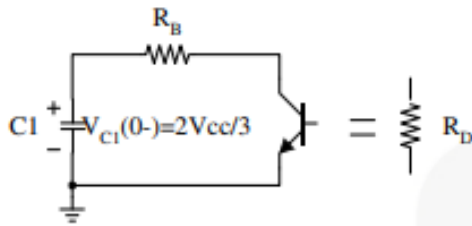
$$V_{C1}(t) = V_{CC} \left(1 - \frac{2}{3} e^{-\left(\frac{t}{(R_A + R_B) C_1} \right)} \right) \quad (3)$$

Since the duration of the timer output high state (t_H) is the amount of time it takes for the $V_{C1}(t)$ to reach $2 V_{CC}/3$,

$$V_{C1}(t) = \frac{2}{3} V_{CC} = V_{CC} \left(1 - \frac{2}{3} e^{-\left(\frac{t_H}{(R_A + R_B) C_1} \right)} \right) \quad (4)$$

$$t_H = C_1 (R_A + R_B) \ln 2 = 0.693 (R_A + R_B) C_1 \quad (5)$$

The equivalent circuit for discharging capacitor C1, when timer output is low is, as follows:



$$C_1 \frac{dv_{C1}}{dt} + \frac{1}{R_A + R_B} v_{C1} = 0 \quad (6)$$

$$v_{C1}(t) = \frac{2}{3} V_{CC} e^{-\frac{t}{(R_A + R_D)C_1}} \quad (7)$$

Since the duration of the timer output low state (t_L) is the amount of time it takes for the $v_{C1}(t)$ to reach $V_{CC}/3$,

$$\frac{1}{3} V_{CC} = \frac{2}{3} V_{CC} e^{-\frac{t_L}{(R_A + R_D)C_1}} \quad (8)$$

$$t_L = C_1 (R_B + R_D) \ln 2 = 0.693 (R_B + R_D) C_1 \quad (9)$$

Since R_D is normally $R_B \gg R_D$ although related to the size of discharging transistor,

$$t_L = 0.693 R_B C_1 \quad (10)$$

Consequently, if the timer operates in astable, the period is the same with ' $t = t_H + t_L = 0.693(R_A + R_B)C_1 + 0.693R_B C_1 = 0.693(R_A + 2R_B)C_1$ '

because the period is the sum of the charge time and discharge time. Since frequency is the reciprocal of the period, the following applies:

$$\text{frequency, } f = \frac{1}{t} = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B)C_1} \quad (11)$$

3. Frequency Divider

By adjusting the length of the timing cycle, the basic circuit of Figure 1 can be made to operate as a frequency divider. Figure 9 illustrates a divide-by-three circuit that makes use of the fact that retriggering cannot occur during the timing cycle.

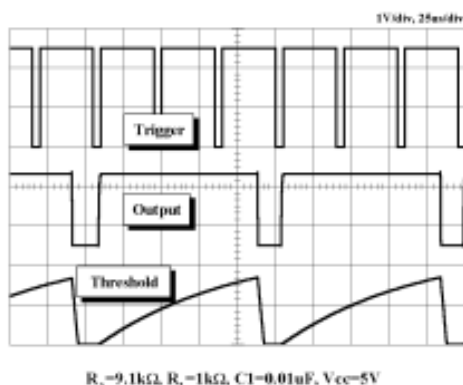


Figure 9. Waveforms of Frequency Divider Operation

4. Pulse Width Modulation

The timer output waveform may be changed by modulating the control voltage applied to the timer's pin 5 and changing the reference of the timer's internal comparators. Figure 10 illustrates the pulse width modulation circuit.

When the continuous trigger pulse train is applied in the monostable mode, the timer output width is modulated according to the signal applied to the control terminal. Sine wave, as well as other waveforms, may be applied as a signal to the control terminal. Figure 11 shows the example of pulse width modulation waveform.

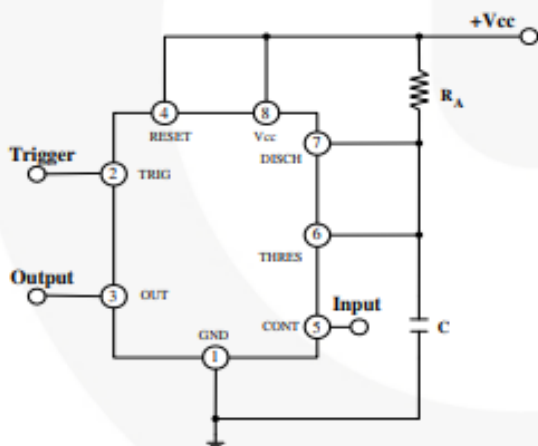


Figure 10. Circuit for Pulse Width Modulation

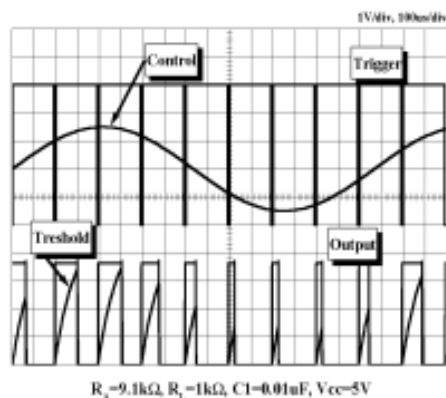


Figure 11. Waveforms of Pulse Width Modulation

5. Pulse Position Modulation

If the modulating signal is applied to the control terminal while the timer is connected for the astable operation, as in Figure 12, the timer becomes a pulse position modulator.

In the pulse position modulator, the reference of the timer's internal comparators is modulated, which modulates the timer output according to the modulation signal applied to the control terminal.

Figure 13 illustrates a sine wave for modulation signal and the resulting output pulse position modulation; however, any wave shape be used.

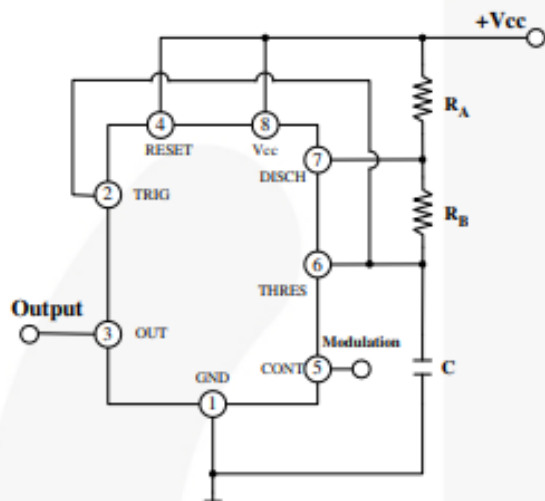


Figure 12. Circuit for Pulse Position Modulation

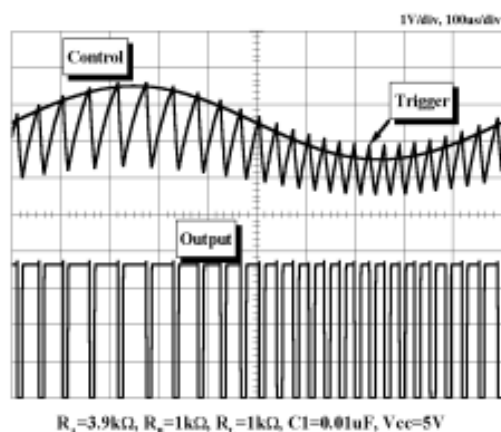


Figure 13. Waveforms of pulse position modulation

6. Linear Ramp

When the pull-up resistor R_A in the monostable circuit shown in Figure 2 is replaced with constant current source, the V_{C1} increases linearly, generating a linear ramp. Figure 14 shows the linear ramp generating circuit and Figure 15 illustrates the generated linear ramp waveforms.

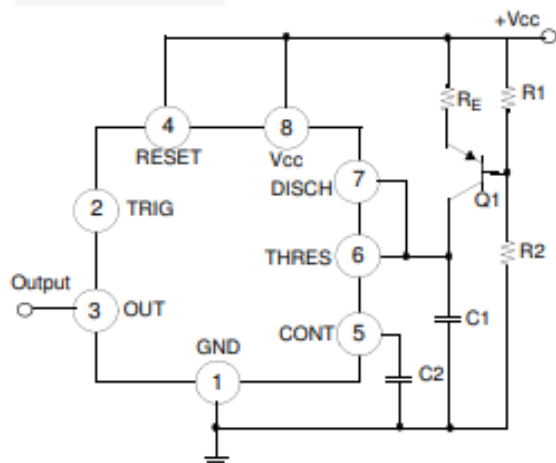


Figure 14. Circuit for Linear Ramp

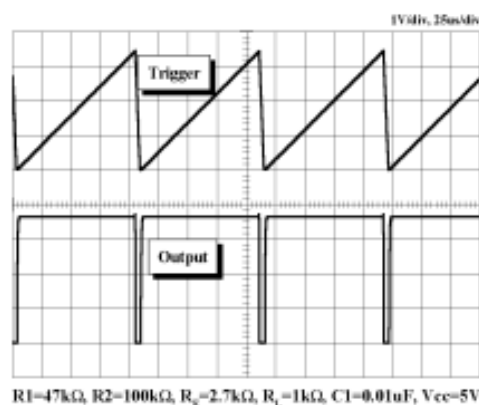


Figure 15. Waveforms of Linear Ramp

In Figure 14, current source is created by PNP transistor Q1 and resistor R1, R2, and R_E.

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_E}{R_E} \quad (12)$$

Here, V_E is

$$V_E = V_{BE} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \quad (13)$$

For example, if V_{CC} = 15 V, R_E = 20 kΩ, R₁ = 5 kΩ, R₂ = 10 kΩ, and V_{BE} = 0.7 V, V_E = 0.7 V + 10 V = 10.7 V, and I_C = (15 - 10.7) / 20 k = 0.215 mA.

When the trigger starts in a timer configured as shown in Figure 14, the current flowing through capacitor C1 becomes a constant current generated by PNP transistor and resistors.

Hence, the V_C is a linear ramp function as shown in Figure 15. The gradient S of the linear ramp function is defined as follows:

$$S = \frac{V_{p-p}}{t} \quad (14)$$

Here the V_{p-p} is the peak-to-peak voltage.

If the electric charge amount accumulated in the capacitor is divided by the capacitance, the V_C comes out as follows:

$$V = Q/C \quad (15)$$

The above equation divided on both sides by t gives:

$$\frac{V}{t} = \frac{Q}{C} \frac{1}{t} \quad (16)$$

and may be simplified into the following equation:

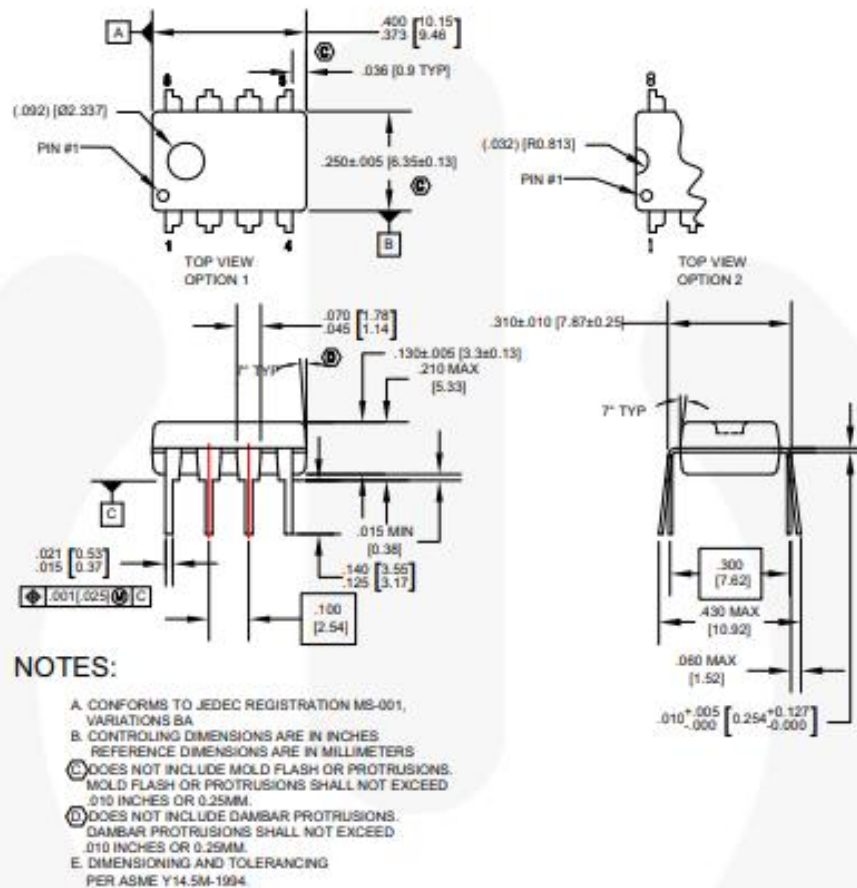
$$S = I/C \quad (17)$$

In other words, the gradient of the linear ramp function appearing across the capacitor can be obtained by using the constant current flowing through the capacitor.

If the constant current flow through the capacitor is 0.215 mA and the capacitance is 0.02 μF, the gradient of the ramp function at both ends of the capacitor is S = 0.215 m / 0.022 μ = 9.77 V/ms.

Physical Dimensions

8-DIP



N08EREVG

Figure 16. 8-Lead, DIP, JEDEC MS-001, 300" WIDE

Package drawings are provided as a service to customers considering Fairchild components. Drawings may change in any manner without notice. Please note the revision and/or date on the drawing and contact a Fairchild Semiconductor representative to verify or obtain the most recent revision. Package specifications do not expand the terms of Fairchild's worldwide terms and conditions, specifically the warranty therein, which covers Fairchild products.

Always visit Fairchild Semiconductor's online packaging area for the most recent package drawings:

<http://www.fairchildsemi.com/packaging/>

For current tape and reel specifications, visit Fairchild Semiconductor's online packaging area:

http://www.fairchildsemi.com/products/discrete/pdf/8dip_tr.pdf

Physical Dimensions (continued)

8-SOIC

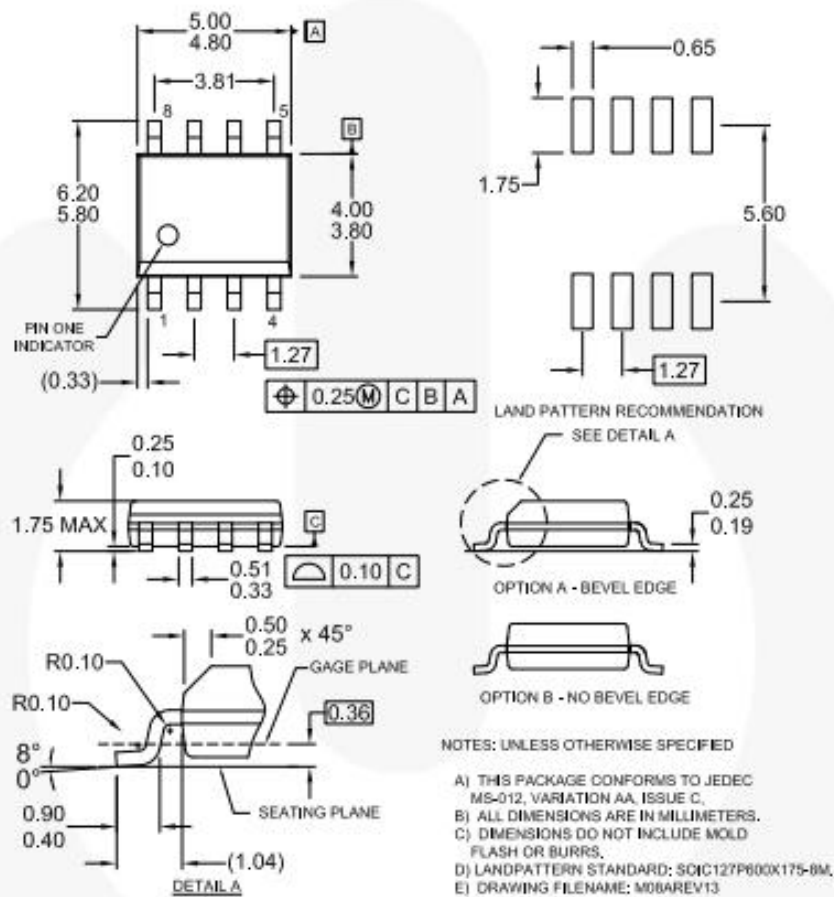


Figure 17. 8-Lead, SOIC, JEDEC MS-012, 150" NARROW BODY

Package drawings are provided as a service to customers considering Fairchild components. Drawings may change in any manner without notice. Please note the revision and/or date on the drawing and contact a Fairchild Semiconductor representative to verify or obtain the most recent revision. Package specifications do not expand the terms of Fairchild's worldwide terms and conditions, specifically the warranty therein, which covers Fairchild products.

Always visit Fairchild Semiconductor's online packaging area for the most recent package drawings:

<http://www.fairchildsemi.com/packaging/>

For current tape and reel specifications, visit Fairchild Semiconductor's online packaging area:

<http://www.fairchildsemi.com/dwg/M0/M08A.pdf>



FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR



TRADEMARKS

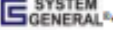
The following includes registered and unregistered trademarks and service marks, owned by Fairchild Semiconductor and/or its global subsidiaries, and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

2Cool™
AccuPower™
AX-CAP™
BitSiC™
Build it Now™
CorePLUS™
CorePOWER™
CROSSVOLT™
CTL™
Current Transfer Logic™
DEUXPEED®
Dual Cool™
EcoSPARK®
EfficientMax™
ESBC™

Fairchild®
Fairchild Semiconductor®
FACT Quiet Series™
FACT®
FAST®
FastvCore™
FETBench™
FPS™

F-PFS™
FRFET®
Global Power Resource™
GreenBridge™
Green FPS™
Green FPS™ e-Series™
Gmax™
GTO™
IntelliMAX™
ISOPLANAR™
Making Small Speakers Sound Louder and Better™
MegaBuck™
MICROCOUPLER™
MicroFET™
MicroPak™
MicroPak2™
MillerDrive™
MotionMax™
mWSaver™
OptoHit™
OPTOLOGIC®
OPTOPLANAR®

PowerTrench®
PowerXS™
Programmable Active Droop™
QFET®
QS™
Quiet Series™
RapidConfigure™

Saving our world, 1mW/W at a time™
SignalWise™
SmartMax™
SMART START™
Solutions for Your Success™
SPM®
STEALTH™
SuperFET®
SuperSOT™-3
SuperSOT™-6
SuperSOT™-8
SupreMOS®
SyndFET™
Sync-Lock™
 SYSTEM GENERAL®

The Power Franchise®

TinyBoost™
TinyBuck™
TinyCalc™
TinyLogic®
TINYOPTO™
TinyPower™
TinyPWM™
TinyWire™
TranSiC™
TriFault Detect™
TRUECURRENT®
µSerDes™

UHC®
Ultra FRFET™
UniFET™
VCX™
VisualMax™
VoltagePlus™
XS™

* Trademarks of System General Corporation, used under license by Fairchild Semiconductor.

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION, OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS. THESE SPECIFICATIONS DO NOT EXPAND THE TERMS OF FAIRCHILD'S WORLDWIDE TERMS AND CONDITIONS, SPECIFICALLY THE WARRANTY THEREIN, WHICH COVERS THESE PRODUCTS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION.

As used herein:

- Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury of the user.
- A critical component in any component of a life support, device, or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

ANTI-COUNTERFEITING POLICY

Fairchild Semiconductor Corporation's Anti-Counterfeiting Policy. Fairchild's Anti-Counterfeiting Policy is also stated on our external website, www.fairchildsemi.com, under Sales Support.

Counterfeiting of semiconductor parts is a growing problem in the industry. All manufacturers of semiconductor products are experiencing counterfeiting of their parts. Customers who inadvertently purchase counterfeit parts experience many problems such as loss of brand reputation, substandard performance, failed applications, and increased cost of production and manufacturing delays. Fairchild is taking strong measures to protect ourselves and our customers from the proliferation of counterfeit parts. Fairchild strongly encourages customers to purchase Fairchild parts either directly from Fairchild or from Authorized Fairchild Distributors who are listed by country on our web page cited above. Products customers buy either from Fairchild directly or from Authorized Fairchild Distributors are genuine parts, have full traceability, meet Fairchild's quality standards for handling and storage and provide access to Fairchild's full range of up-to-date technical and product information. Fairchild and our Authorized Distributors will stand behind all warranties and will appropriately address any warranty issues that may arise. Fairchild will not provide any warranty coverage or other assistance for parts bought from Unauthorized Sources. Fairchild is committed to combat this global problem and encourage our customers to do their part in stopping this practice by buying direct or from authorized distributors.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative / In Design	Datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	Datasheet contains preliminary data; supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice to improve design.
No Identification Needed	Full Production	Datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice to improve the design.
Obsolete	Not In Production	Datasheet contains specifications on a product that is discontinued by Fairchild Semiconductor. The datasheet is for reference information only.

Rev. 163

ON Semiconductor and  are trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC dba ON Semiconductor or its subsidiaries in the United States and/or other countries. ON Semiconductor owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of ON Semiconductor's product/patent coverage may be accessed at www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marketing.pdf. ON Semiconductor reserves the right to make changes without further notice to any products herein. ON Semiconductor makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does ON Semiconductor assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. Buyer is responsible for its products and applications using ON Semiconductor products, including compliance with all laws, regulations and safety requirements or standards, regardless of any support or applications information provided by ON Semiconductor. "Typical" parameters which may be provided in ON Semiconductor 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. ON Semiconductor does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. ON Semiconductor products are not designed, intended, or authorized for use as a critical component in life support systems or any FDA Class 3 medical devices or medical devices with a same or similar classification in a foreign jurisdiction or any devices intended for implantation in the human body. Should Buyer purchase or use ON Semiconductor products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold ON Semiconductor 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 ON Semiconductor was negligent regarding the design or manufacture of the part. ON Semiconductor 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
19521 E. 32nd Pkwy, Aurora, Colorado 80011 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: 81-3-5817-1050

ON Semiconductor Website: www.onsemi.com

Order Literature: <http://www.onsemi.com/orderlit>

For additional information, please contact your local
Sales Representative

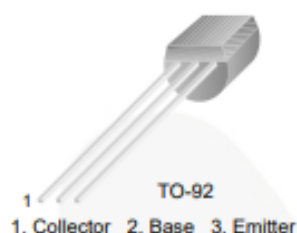


October 2014

BC337 / BC338 NPN Epitaxial Silicon Transistor

Features

- Switching and Amplifier Applications
- Suitable for AF-Driver Stages and Low-Power Output Stages
- Complement to BC327 / BC328



Ordering Information

Part Number	Top Mark	Package	Packing Method
BC33716BU	BC33716	TO-92 3L	Bulk
BC33716TA	BC33716	TO-92 3L	Ammo
BC33716TFR	BC33716	TO-92 3L	Tape and Reel
BC33725BU	BC33725	TO-92 3L	Bulk
BC33725TA	BC33725	TO-92 3L	Ammo
BC33725TAR	BC33725	TO-92 3L	Ammo
BC33725TF	BC33725	TO-92 3L	Tape and Reel
BC33725TFR	BC33725	TO-92 3L	Tape and Reel
BC33740BU	BC33740	TO-92 3L	Bulk
BC33740TA	BC33740	TO-92 3L	Ammo
BC33825TA	BC33825	TO-92 3L	Ammo

Absolute Maximum Ratings

Stresses exceeding the absolute maximum ratings may damage the device. The device may not function or be operable above the recommended operating conditions and stressing the parts to these levels is not recommended. In addition, extended exposure to stresses above the recommended operating conditions may affect device reliability. The absolute maximum ratings are stress ratings only. Values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter		Value	Unit
V_{CES}	Collector-Emitter Voltage	BC337	50	V
		BC338	30	
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	BC337	45	V
		BC338	25	
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage		5	V
I_C	Collector Current (DC)		800	mA
T_J	Junction Temperature		150	°C
T_{STG}	Storage Temperature		-55 to 150	°C

Thermal Characteristics⁽¹⁾Values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Value	Unit
P_D	Power Dissipation	625	mW
	Derate Above 25°C	5.0	mW/ $^\circ\text{C}$
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	200	$^\circ\text{C}/\text{W}$

Note:

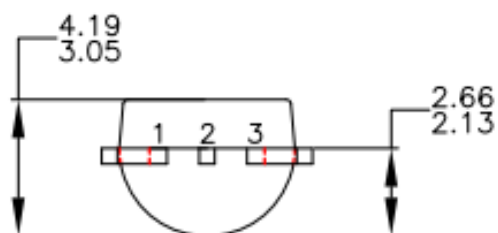
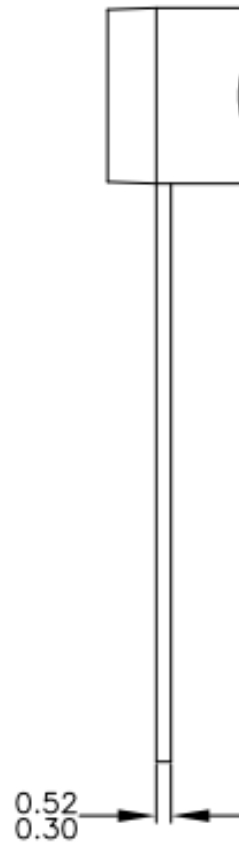
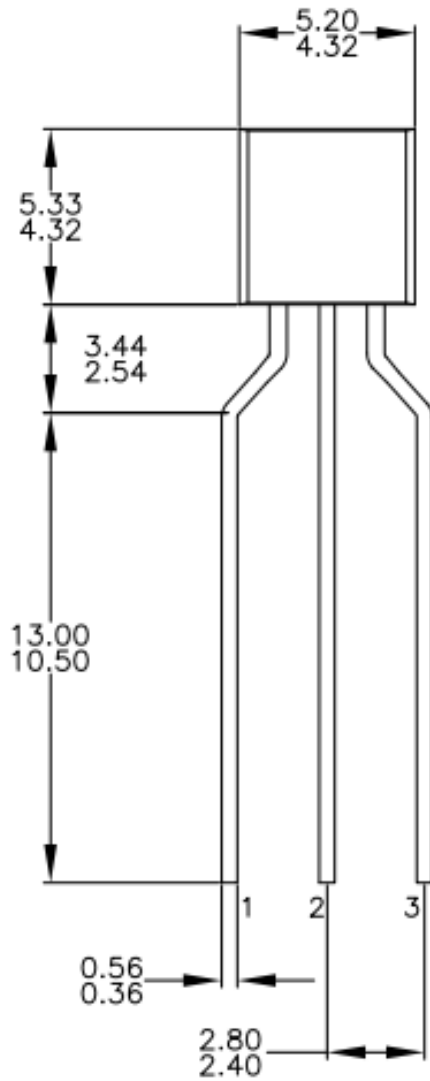
1. PCB size: FR-4, 76 mm x 114 mm x 1.57 mm (3.0 inch x 4.5 inch x 0.062 inch) with minimum land pattern size.

Electrical CharacteristicsValues are at $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
BV_{CEO}	Collector-Emitter Breakdown Voltage	BC337 $I_C = 10\text{ mA}, I_B = 0$	45			V
		BC338	25			
BV_{CES}	Collector-Emitter Breakdown Voltage	BC337 $I_C = 0.1\text{ mA}, V_{BE} = 0$	50			V
		BC338	30			
BV_{EBO}	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E = 0.1\text{ mA}, I_C = 0$	5			V
I_{CES}	Collector Cut-Off Current	BC337 $V_{CE} = 45\text{ V}, I_B = 0$		2	100	nA
		BC338 $V_{CE} = 25\text{ V}, I_B = 0$		2	100	
h_{FE1}	DC Current Gain	$V_{CE} = 1\text{ V}, I_C = 100\text{ mA}$	100		630	
h_{FE2}		$V_{CE} = 1\text{ V}, I_C = 300\text{ mA}$	60			
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 500\text{ mA}, I_B = 50\text{ mA}$			0.7	V
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE} = 1\text{ V}, I_C = 300\text{ mA}$			1.2	V
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 10\text{ mA}, f = 50\text{ MHz}$		100		MHz
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB} = 10\text{ V}, I_E = 0, f = 1\text{ MHz}$		12		pF

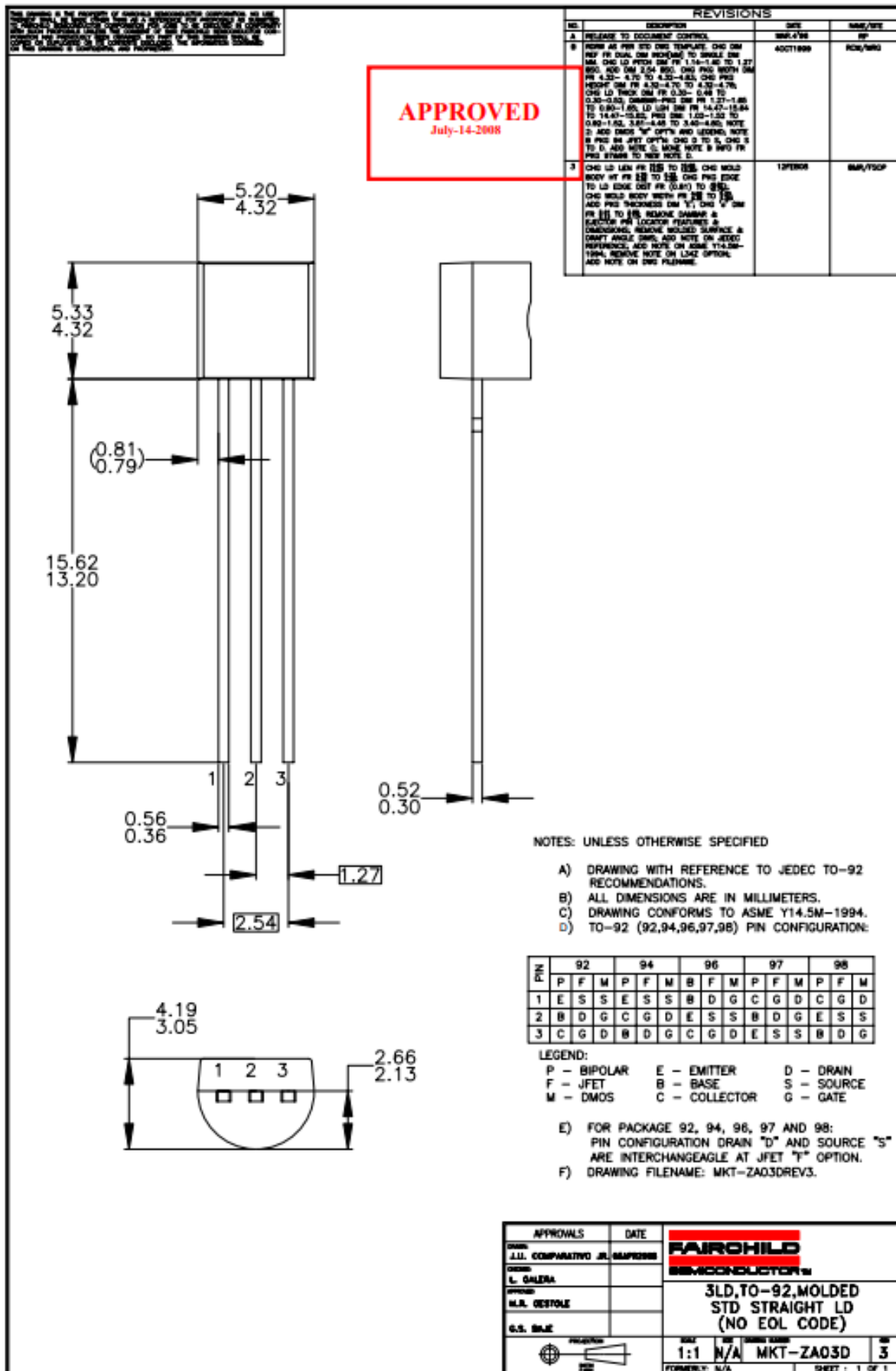
 h_{FE} Classification

Classification	16	25	40
h_{FE1}	100 ~ 250	160 ~ 400	250 ~ 630
h_{FE2}	60 ~	100 ~	170 ~



NOTES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

- A. DRAWING CONFORMS TO JEDEC MS-013, VARIATION AC.
- B. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.
- C. DRAWING CONFORMS TO ASME Y14.5M-2009.
- D. DRAWING FILENAME: MKT-ZA03FREV3.
- E. FAIRCHILD SEMICONDUCTOR.



**TRADEMARKS**

The following includes registered and unregistered trademarks and service marks, owned by Fairchild Semiconductor and/or its global subsidiaries, and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

AccuPower™	F-PFS™	OPTOPLANAR®	SYSTEM GENERAL®
Awinda®	FRFET®		TinyBoost®
AX-CAP®	Global Power Resource™		TinyBuck®
BitSiC™	GreenBridge™		TinyCalc™
Build it Now™	Green FPS™		TinyLogic®
CorePLUS™	Green FPS™ e-Series™		TINYOPTO™
CorePOWER™	Gmax™		TinyPower™
CROSSVOLT™	GTO™		TinyPWM™
CTL™	IntelliMAX™		TinyWire™
Current Transfer Logic™	ISOPLANAR™		TransiC™
DEUXPEED®	Making Small Speakers Sound Louder and Better™		TriFault Detect™
Dual Cool™	MegaBuck™		TRUECURRENT®
EcoSPARK®	MICROCOUPLER™		µSerDes™
EfficientMax™	MicroFET™		UHC™
ESBC™	MicroPak™		Ultra FRFET™
Fairchild®	MicroPak2™		UniFET™
Fairchild Semiconductor®	MillerDrive™		VCX™
FACT Quiet Series™	MotionMax™		VisualMax™
FACT®	MotionGrid®		VoltagePlus™
FAST®	MTI®		XS™
FastvCore™	MTx®		Xsens™
FETBench™	MVN®		仙童™
FPS™	mWSaver®		
	OptoHiT™		
	OPTOLOGIC®		

* Trademarks of System General Corporation, used under license by Fairchild Semiconductor.

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION, OR DESIGN. TO OBTAIN THE LATEST, MOST UP-TO-DATE DATASHEET AND PRODUCT INFORMATION, VISIT OUR WEBSITE AT [HTTP://WWW.FAIRCHILDSEMI.COM](http://www.fairchildsemi.com). FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS. THESE SPECIFICATIONS DO NOT EXPAND THE TERMS OF FAIRCHILD'S WORLDWIDE TERMS AND CONDITIONS, SPECIFICALLY THE WARRANTY THEREIN, WHICH COVERS THESE PRODUCTS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury of the user.
2. A critical component in any component of a life support device, or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

ANTI-COUNTERFEITING POLICY

Fairchild Semiconductor Corporation's Anti-Counterfeiting Policy. Fairchild's Anti-Counterfeiting Policy is also stated on our external website, www.fairchildsemi.com, under Sales Support.

Counterfeiting of semiconductor parts is a growing problem in the industry. All manufacturers of semiconductor products are experiencing counterfeiting of their parts. Customers who inadvertently purchase counterfeit parts experience many problems such as loss of brand reputation, substandard performance, failed applications, and increased cost of production and manufacturing delays. Fairchild is taking strong measures to protect ourselves and our customers from the proliferation of counterfeit parts. Fairchild strongly encourages customers to purchase Fairchild parts either directly from Fairchild or from Authorized Fairchild Distributors who are listed by country on our web page cited above. Products customers buy either from Fairchild directly or from Authorized Fairchild Distributors are genuine parts, have full traceability, meet Fairchild's quality standards for handling and storage and provide access to Fairchild's full range of up-to-date technical and product information. Fairchild and our Authorized Distributors will stand behind all warranties and will appropriately address any warranty issues that may arise. Fairchild will not provide any warranty coverage or other assistance for parts bought from Unauthorized Sources. Fairchild is committed to combat this global problem and encourage our customers to do their part in stopping this practice by buying direct or from authorized distributors.

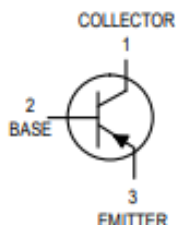
PRODUCT STATUS DEFINITIONS**Definition of Terms**

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative / In Design	Datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	Datasheet contains preliminary data; supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice to improve design.
No Identification Needed	Full Production	Datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice to improve the design.
Obsolete	Not In Production	Datasheet contains specifications on a product that is discontinued by Fairchild Semiconductor. The datasheet is for reference information only.

Rev. 172

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

 Order this document
 by BC327/D

Amplifier Transistors
PNP Silicon
BC327,-16,-25
BC328,-16,-25

 CASE 29-04, STYLE 17
 TO-92 (TO-226AA)

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	BC327	BC328	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	-45	-25	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	-50	-30	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	-5.0		Vdc
Collector Current — Continuous	I_C	-800		mA dc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	625 5.0		mW mW/°C
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	1.5 12		Watt 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	$R_{\theta JA}$	200	°C/W
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	83.3	°C/W

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

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	-----	------

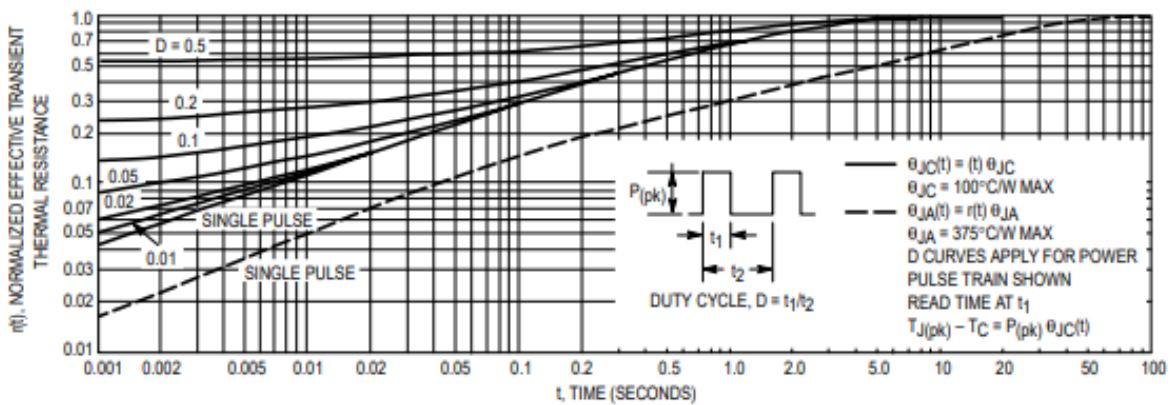
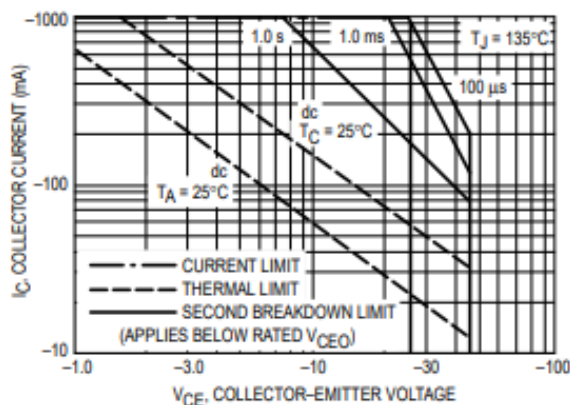
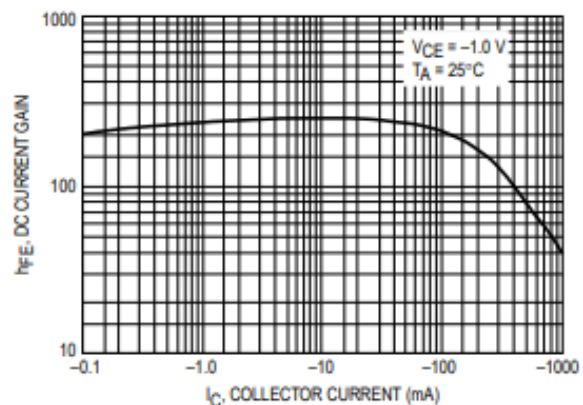
OFF CHARACTERISTICS

Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = -10\text{ mA}$, $I_E = 0$)	BC327 BC328	$V_{(BR)CEO}$	-45 -25	— —	— —	Vdc
Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = -100\text{ }\mu\text{A}$, $I_E = 0$)	BC327 BC328	$V_{(BR)CES}$	-50 -30	— —	— —	Vdc
Emitter-Base Breakdown Voltage ($I_E = -10\text{ }\mu\text{A}$, $I_C = 0$)		$V_{(BR)EBO}$	-5.0	—	—	Vdc
Collector Cutoff Current ($V_{CB} = -30\text{ V}$, $I_E = 0$) ($V_{CB} = -20\text{ V}$, $I_E = 0$)	BC327 BC328	I_{CBO}	— —	— —	-100 -100	nA dc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = -45\text{ V}$, $V_{BE} = 0$) ($V_{CE} = -25\text{ V}$, $V_{BE} = 0$)	BC327 BC328	I_{CES}	— —	— —	-100 -100	nA dc
Emitter Cutoff Current ($V_{EB} = -4.0\text{ V}$, $I_C = 0$)		I_{EBO}	—	—	-100	nA dc



BC327,-16,-25 BC328,-16,-25**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted) (Continued)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
ON CHARACTERISTICS					
DC Current Gain ($I_C = -100\text{ mA}$, $V_{CE} = -1.0\text{ V}$)	h_{FE}	100	—	630	—
BC327/BC328		100	—	250	
BC327-16/BC328-16		160	—	400	
BC327-25/BC328-25		40	—	—	
($I_C = -300\text{ mA}$, $V_{CE} = -1.0\text{ V}$)					
Base-Emitter On Voltage ($I_C = -300\text{ mA}$, $V_{CE} = -1.0\text{ V}$)	$V_{BE(on)}$	—	—	-1.2	Vdc
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = -500\text{ mA}$, $I_B = -50\text{ mA}$)	$V_{CE(sat)}$	—	—	-0.7	Vdc
SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS					
Output Capacitance ($V_{CB} = -10\text{ V}$, $I_E = 0$, $f = 1.0\text{ MHz}$)	C_{ob}	—	11	—	pF
Current-Gain — Bandwidth Product ($I_C = -10\text{ mA}$, $V_{CE} = -5.0\text{ V}$, $f = 100\text{ MHz}$)	f_T	—	260	—	MHz

**Figure 1. Thermal Response****Figure 2. Active Region — Safe Operating Area****Figure 3. DC Current Gain**

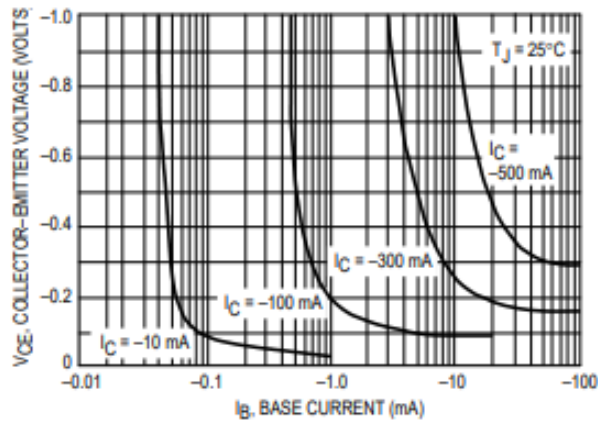


Figure 4. Saturation Region

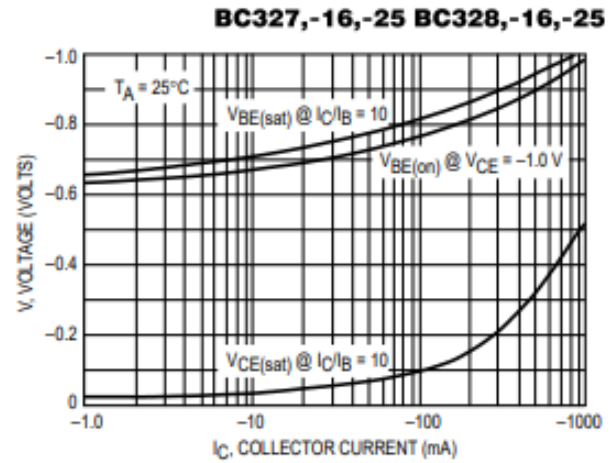


Figure 5. "On" Voltages

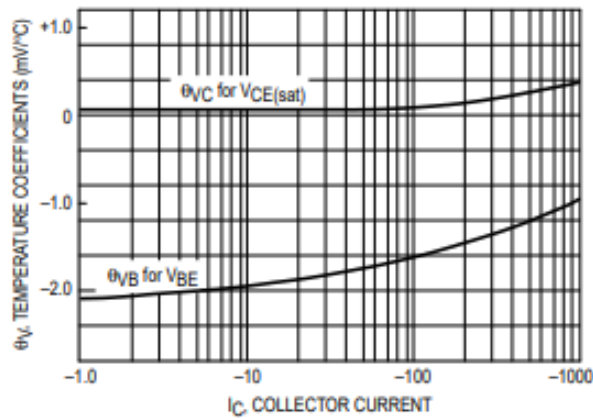


Figure 6. Temperature Coefficients

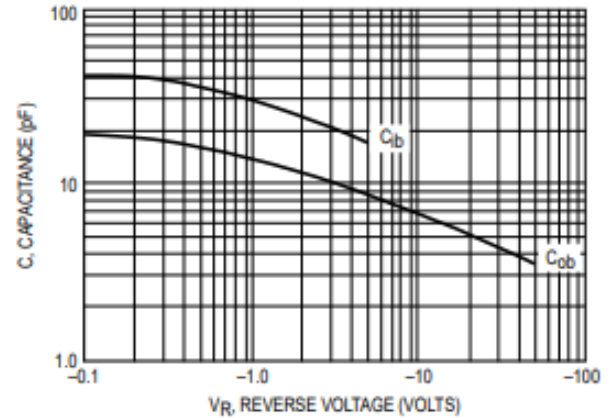
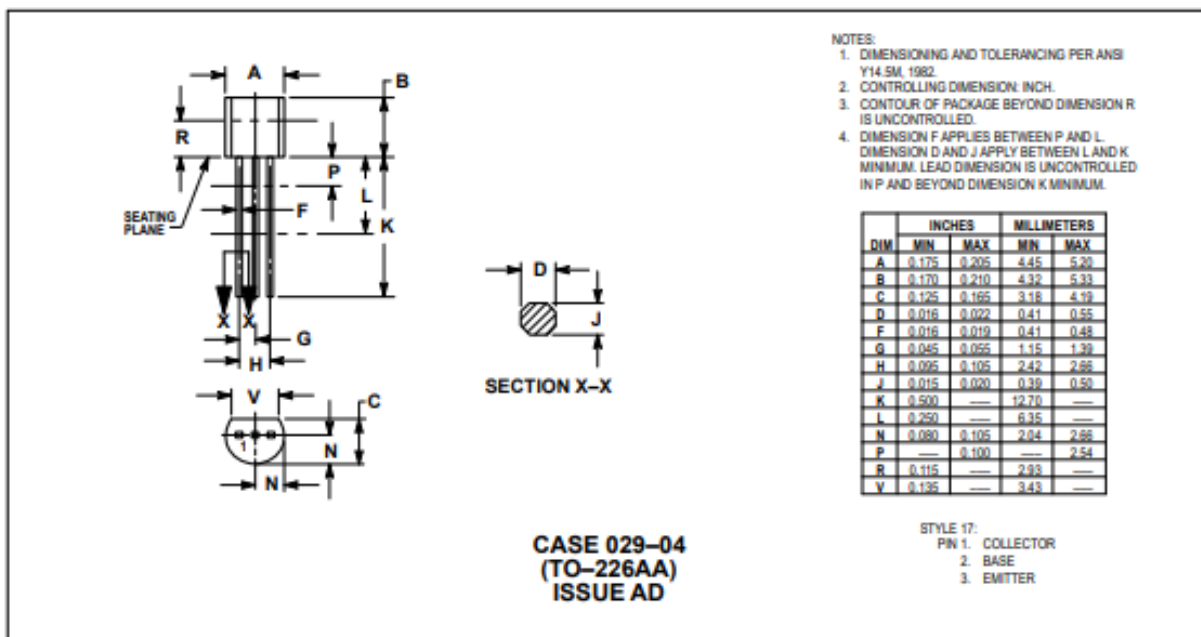


Figure 7. Capacitances

BC327,-16,-25 BC328,-16,-25**PACKAGE DIMENSIONS**

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola 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 consequential or incidental damages. "Typical" parameters can and do vary in different applications. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola 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 Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola 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 Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and (M) are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:

USA/EUROPE: Motorola Literature Distribution;
P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, Toshikatsu Otsuki,
6F Seibu-Butsuryu-Center, 3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-3521-8315

MFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com - TOUCHTONE (802) 244-8809
INTERNET: http://Design-NET.com

HONG KONG: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 88 Tai Ping Industrial Park,
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298

**MOTOROLA****BC327/D**

General Purpose Capacitors

GPR Series



Features

- Wide CV value range for general purpose
- Safely vent construction products, GPR series are guaranteed 2,000 hours at 85°C

Specifications

Item	Performance																								
Operating Temperature Range	-40°C to +85°C																								
Rated Working Voltage Range	10 to 100V DC																								
Nominal Capacitance Range	0.1 to 22,000μF																								
Capacitance Tolerance	± 20% (at +20°C, 120 Hz)																								
Leakage Current	I = 0.01CV or 3 (μA) Max. I : Leakage Current(μA) C : Rated Capacitance(μF) V : Working Voltage(v) Which ever is greater after 3 mins.																								
Dissipation Factor (tan δ) (120Hz \ +20°C)	<table><tr><td>Working voltage (V)</td><td>10</td><td>16</td><td>25</td><td>35</td><td>50</td><td>63</td><td>100</td></tr><tr><td>tan δ Max.</td><td>0.2</td><td>0.17</td><td>0.15</td><td>0.12</td><td>0.1</td><td>0.09</td><td>0.08</td></tr></table> Add 0.02 per 1,000 μF for more than 1,000 μF	Working voltage (V)	10	16	25	35	50	63	100	tan δ Max.	0.2	0.17	0.15	0.12	0.1	0.09	0.08								
Working voltage (V)	10	16	25	35	50	63	100																		
tan δ Max.	0.2	0.17	0.15	0.12	0.1	0.09	0.08																		
Ripple Current	Refer to standard products table (120Hz, +85°C) Correction factor for frequency. <table><tr><td>Frequency (Hz)</td><td>50 / 60</td><td>120</td><td>1 K</td><td>10 K</td></tr><tr><td>Correction Factor (Multiplier)</td><td>0.7</td><td>1</td><td>1.3</td><td>1.7</td></tr></table>	Frequency (Hz)	50 / 60	120	1 K	10 K	Correction Factor (Multiplier)	0.7	1	1.3	1.7														
Frequency (Hz)	50 / 60	120	1 K	10 K																					
Correction Factor (Multiplier)	0.7	1	1.3	1.7																					
Characteristics at High and Low Temperature (Stability at 120 Hz)	<table><tr><td>Working voltage (V)</td><td>10</td><td>16</td><td>25</td><td>35</td><td>50</td><td>63</td><td>100</td></tr><tr><td>-25°C / +20°C</td><td>3</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td></tr><tr><td>-40°C / +20°C</td><td>6</td><td>4</td><td>4</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td></tr></table> For capacitance value > 1,000 μF, Add 0.5 per another 1,000 μF for -25°C / +25°C. Add 1 per another 1,000 μF for -40°C / +20°C.	Working voltage (V)	10	16	25	35	50	63	100	-25°C / +20°C	3	2	2	2	2	2	2	-40°C / +20°C	6	4	4	3	3	3	3
Working voltage (V)	10	16	25	35	50	63	100																		
-25°C / +20°C	3	2	2	2	2	2	2																		
-40°C / +20°C	6	4	4	3	3	3	3																		
High Temperature Loading	After 2,000 hours application of DC rated working voltage at +85°C, The capacitor shall meet the following limits: Post test requirements at +20°C. <table><tr><td>Leakage current</td><td>≤ the initial specified value</td></tr><tr><td>Capacitance change</td><td>≤ ±20% of initial measured value</td></tr><tr><td>Dissipation factor (tan δ)</td><td>≤ 150% of initial specified value</td></tr></table>	Leakage current	≤ the initial specified value	Capacitance change	≤ ±20% of initial measured value	Dissipation factor (tan δ)	≤ 150% of initial specified value																		
Leakage current	≤ the initial specified value																								
Capacitance change	≤ ±20% of initial measured value																								
Dissipation factor (tan δ)	≤ 150% of initial specified value																								
Shelf Life	After storage for 500 hours at +85°C with no voltage applied. Post test requirements at +20°C same limits as high temperature loading.																								

www.element14.com
www.farnell.com
www.newark.com

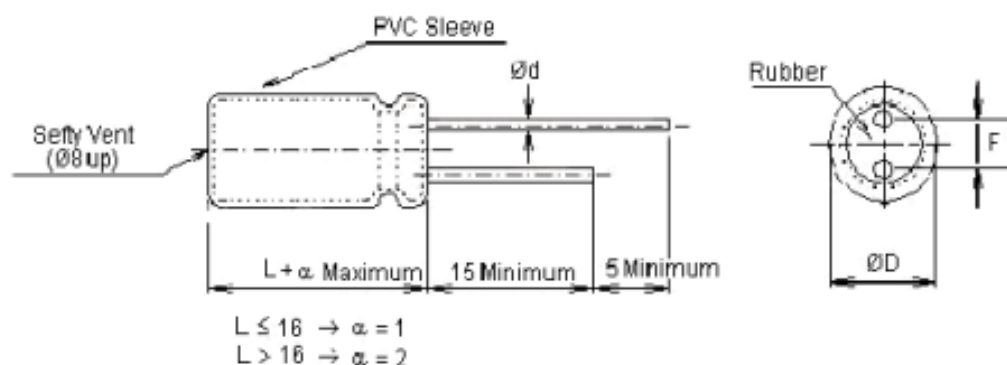


General Purpose Capacitors

GPR Series



Diagram of Dimensions



Dimensions : Millimetres

ØD (+0.5 Max.)	5	6.3	8	10	13	16	18	22	25
F (±0.5)	2	2.5	3.5	5	5	7.5	7.5	10	12
Ød (±0.02)	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8

Case Size Table

Ø D x L (mm)

W V (SV) μF	10 (13)	16 (20)	25 (32)	35 (44)	50 (63)	63 (79)	100 (125)
0.1	-	-	-	→	5 × 11	-	5 × 11
0.22	-	-	-	→		-	
0.33	-	-	-	→		-	
0.47	-	-	-	→		-	
1	-	-	-	→		-	
2.2	-	-	-	→		-	
3.3	-	-	-	→		-	
4.7	-	-	-	→		-	
10	-	→	5 × 11	5 × 11	6.3 × 11	5 × 11	6.3 × 11
22	-	→				6.3 × 11	8 × 11
33	→	5 × 11		6.3 × 11		10 × 13	
47	→			8 × 11		10 × 16	
100	5 × 11	6.3 × 11	6.3 × 11	8 × 11	8 × 11	10 × 13	13 × 21
220	6.3 × 11		8 × 11	10 × 13	10 × 16	10 × 21	16 × 26
330		8 × 11	10 × 13	10 × 16	10 × 21	13 × 21	16 × 26
470	10 × 16		13 × 21		13 × 26	16 × 32	
1,000	10 × 13	10 × 16	10 × 21	13 × 21	16 × 26	16 × 32	18 × 42

General Purpose Capacitors

GPR Series



W V (SV) μF	10 (13)	16 (20)	25 (32)	35 (44)	50 (63)	63 (79)	100 (125)
2,200	10 × 21	13 × 21	13 × 26	16 × 26	16 × 36	18 × 36	25 × 50
3,300	13 × 21	13 × 26	16 × 26	16 × 36	18 × 36	22 × 42	-
4,700	13 × 26	16 × 26	16 × 36	18 × 36	22 × 41	25 × 50	-
6,800	16 × 26	16 × 36	18 × 36	22 × 41	25 × 50	30 × 46	-
8,200	18 × 36	18 × 42	22 × 46	22 × 50	30 × 46	-	-
10,000	18 × 32	18 × 36	22 × 41	25 × 50	-	-	-
15,000	18 × 36	22 × 50	25 × 50	-	-	-	-
22,000	22 × 50	25 × 50	30 × 46	-	-	-	-
8,200	18 × 36	18 × 42	22 × 46	22 × 50	30 × 46	-	-
10,000	18 × 32	18 × 36	22 × 41	25 × 50		-	-
15,000	18 × 36	22 × 50	25 × 50	-	-	-	-
22,000	22 × 50	25 × 50	30 × 46	-	-	-	-

Dimensions : Millimetres

- All blank voltage on sleeve marking is the same voltage as $\mu\text{S} \rightarrow \mu\text{F}$ point to.

Permissible Ripple Current

Maximum Ripple Current : mA (rms) (at 85°C 120 Hz)

W V (SV) μF	10 (13)	16 (20)	25 (32)	35 (44)	50 (63)	63 (79)	100 (125)
0.1-0.47	-	-	-	-	8	-	10
1	-	-	-	-	13	-	16
2.2	-	-	-	-	21	-	27
3.3	-	-	-	-	30	-	40
4.7	-	-	30	35	40	40	45
10	-	45	45	50	60	65	75
22	60	60	70	80	90	110	130
33	75	85	95	105	120	140	170
47	90	100	120	135	150	180	230
100	140	170	180	220	250	280	380
150	220	240	310	350	400	450	550
220	240	280	320	380	430	490	680
330	320	360	420	480	540	680	800
470	400	460	540	620	750	880	1,000
560	500	580	670	770	880	1,050	1,170
680	570	660	760	870	1,000	1,160	1,330
820	640	740	850	970	1,130	1,300	1,500

www.element14.com
www.farnell.com
www.newark.com



General Purpose Capacitors

GPR Series



W V (SV) μF	10 (13)	16 (20)	25 (32)	35 (44)	50 (63)	63 (79)	100 (125)
1,000	660	760	900	1,040	1,260	1,400	1,970
2,200	1,050	1,250	1,460	1,700	1,900	2,460	3,390
3,300	1,340	1,620	1,800	2,060	2,180	3,270	-
4,700	1,720	1,960	2,150	2,280	3,380	3,800	-
6,800	2,060	2,250	2,400	3,490	4,110	4,500	-
8,200	2,520	2,870	3,420	3,780	4,150	-	-
10,000	2,640	2,980	3,710	4,170	4,300	-	-
15,000	3,120	3,890	4,270	-	-	-	-
22,000	4,010	4,410	4,500	-	-	-	-

Dimensions : Millimetres

Part Number Table

Description	Part Number
CAPACITOR, 100uF, 10V	MCGPR10V107M5X11
CAPACITOR, 220uF, 10V	MCGPR10V227M6.3X11
CAPACITOR, 470uF, 10V	MCGPR10V477M8X11
CAPACITOR, 1000uF, 10V	MCGPR10V108M8X14
CAPACITOR, 2200uF, 10V	MCGPR10V228M10X21
CAPACITOR, 4700uF, 10V	MCGPR10V478M13X26
CAPACITOR, 10uF, 16V	MCGPR16V106M5X11
CAPACITOR, 22uF, 16V	MCGPR16V226M5X11
CAPACITOR, 33uF, 16V	MCGPR16V336M5X11
CAPACITOR, 47uF, 16V	MCGPR16V476M5X11
CAPACITOR, 100uF, 16V	MCGPR16V107M6.3X11
CAPACITOR, 220uF, 16V	MCGPR16V227M6.3X11
CAPACITOR, 330uF, 16V	MCGPR16V337M8X11
CAPACITOR, 470uF, 16V	MCGPR16V477M8X11
CAPACITOR, 1000uF, 16V	MCGPR16V108M10X16
CAPACITOR, 2200uF, 16V	MCGPR16V228M13X21
CAPACITOR, 3300uF, 16V	MCGPR16V338M13X26
CAPACITOR, 4700uF, 16V	MCGPR16V478M16X26
CAPACITOR, 10uF, 25V	MCGPR25V106M5X11
CAPACITOR, 22uF, 25V	MCGPR25V226M5X11
CAPACITOR, 33uF, 25V	MCGPR25V336M5X11

Description	Part Number
CAPACITOR, 47uF, 25V	MCGPR25V476M5X11
CAPACITOR, 100uF, 25V	MCGPR25V107M6.3X11
CAPACITOR, 220uF, 25V	MCGPR25V227M8X11
CAPACITOR, 330uF, 25V	MCGPR25V337M8X14
CAPACITOR, 470uF, 25V	MCGPR25V477M10X16
CAPACITOR, 1000uF, 25V	MCGPR25V108M10X21
CAPACITOR, 2200uF, 25V	MCGPR25V228M13X26
CAPACITOR, 3300uF, 25V	MCGPR25V338M16X26
CAPACITOR, 4700uF, 25V	MCGPR25V478M16X32
CAPACITOR, 4.7uF, 35V	MCGPR35V475M5X11
CAPACITOR, 10uF, 35V	MCGPR35V106M5X11
CAPACITOR, 22uF, 35V	MCGPR35V226M5X11
CAPACITOR, 33uF, 35V	MCGPR35V336M5X11
CAPACITOR, 47uF, 35V	MCGPR35V476M6.3X11
CAPACITOR, 100uF, 35V	MCGPR35V107M8X11
CAPACITOR, 220uF, 35V	MCGPR35V227M10X13
CAPACITOR, 330uF, 35V	MCGPR35V337M10X16
CAPACITOR, 470uF, 35V	MCGPR35V477M10X21
CAPACITOR, 1000uF, 35V	MCGPR35V108M13X21
CAPACITOR, 2200uF, 35V	MCGPR35V228M16X32
CAPACITOR, 3300uF, 35V	MCGPR35V338M16X32

www.element14.com
www.farnell.com
www.newark.com



General Purpose Capacitors

GPR Series



Part Number Table

Description	Part Number
CAPACITOR, 4700UF, 35V	MCGPR35V478M18X36
CAPACITOR, 0.47UF, 50V	MCGPR50V474M5X11
CAPACITOR, 1UF, 50V	MCGPR50V105M5X11
CAPACITOR, 2.2UF, 50V	MCGPR50V225M5X11
CAPACITOR, 3.3UF, 50V	MCGPR50V335M5X11
CAPACITOR, 4.7UF, 50V	MCGPR50V475M5X11
CAPACITOR, 10UF, 50V	MCGPR50V106M5X11
CAPACITOR, 22UF, 50V	MCGPR50V226M5X11
CAPACITOR, 33UF, 50V	MCGPR50V336M6.3X11
CAPACITOR, 47UF, 50V	MCGPR50V476M6.3X11
CAPACITOR, 100UF, 50V	MCGPR50V107M8X11
CAPACITOR, 220UF, 50V	MCGPR50V227M10X16
CAPACITOR, 330UF, 50V	MCGPR50V337M10X21
CAPACITOR, 470UF, 50V	MCGPR50V477M13X21
CAPACITOR, 1000UF, 50V	MCGPR50V108M16X26
CAPACITOR, 2200UF, 50V	MCGPR50V228M16X32
CAPACITOR, 3300UF, 50V	MCGPR50V338M18X33
CAPACITOR, 4700UF, 50V	MCGPR50V478M22X41
CAPACITOR, 1UF, 63V	MCGPR63V105M5X11
CAPACITOR, 2.2UF, 63V	MCGPR63V225M5X11

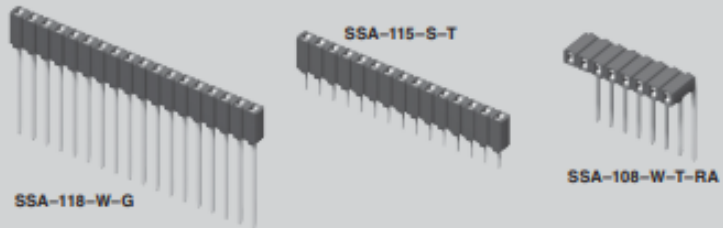
Description	Part Number
CAPACITOR, 4.7UF, 63V	MCGPR63V475M5X11
CAPACITOR, 10UF, 63V	MCGPR63V106M5X11
CAPACITOR, 22UF, 63V	MCGPR63V226M6.3X11
CAPACITOR, 47UF, 63V	MCGPR63V476M8X11
CAPACITOR, 100UF, 63V	MCGPR63V107M10X13
CAPACITOR, 220UF, 63V	MCGPR63V227M10X21
CAPACITOR, 470UF, 63V	MCGPR63V477M13X26
CAPACITOR, 1000UF, 63V	MCGPR63V108M16X32
CAPACITOR, 2200UF, 63V	MCGPR63V228M18X36
CAPACITOR, 4700UF, 63V	MCGPR63V478M25X42
CAPACITOR, 1UF, 100V	MCGPR100V105M5X11
CAPACITOR, 2.2UF, 100V	MCGPR100V225M5X11
CAPACITOR, 4.7UF, 100V	MCGPR100V475M5X11
CAPACITOR, 10UF, 100V	MCGPR100V106M6.3X11
CAPACITOR, 22UF, 100V	MCGPR100V226M8X11
CAPACITOR, 47UF, 100V	MCGPR100V476M10X16
CAPACITOR, 100UF, 100V	MCGPR100V107M13X21
CAPACITOR, 220UF, 100V	MCGPR100V227M16X26
CAPACITOR, 470UF, 100V	MCGPR100V477M16X32

Important Notice : This data sheet and its contents (the "Information") belong to the members of the Premier Farnell group of companies (the "Group") or are licensed to it. No licence is granted for the use of it other than for information purposes in connection with the products to which it relates. No licence of any intellectual property rights is granted. The information is subject to change without notice and replaces all data sheets previously supplied. The information supplied is believed to be accurate but the Group assumes no responsibility for its accuracy or completeness, any error in or omission from it or for any use made of it. Users of this data sheet should check for themselves the information and the suitability of the products for their purpose and not make any assumptions based on information included or omitted. Liability for loss or damage resulting from any reliance on the information or use of it (including liability resulting from negligence or where the Group was aware of the possibility of such loss or damage arising) is excluded. This will not operate to limit or restrict the Group's liability for death or personal injury resulting from its negligence. Multicomp is the registered trademark of the Group. © Premier Farnell plc 2012.

www.element14.com
www.farnell.com
www.newark.com



F-215 SUPPLEMENT
samtec



(2,54 mm) .100"

SSA SERIES

LOW COST SOCKET STRIPS

Mates with:
TS, HTS, BBS,
BBL, BHS

SPECIFICATIONS

For complete specifications
see www.samtec.com?SSA

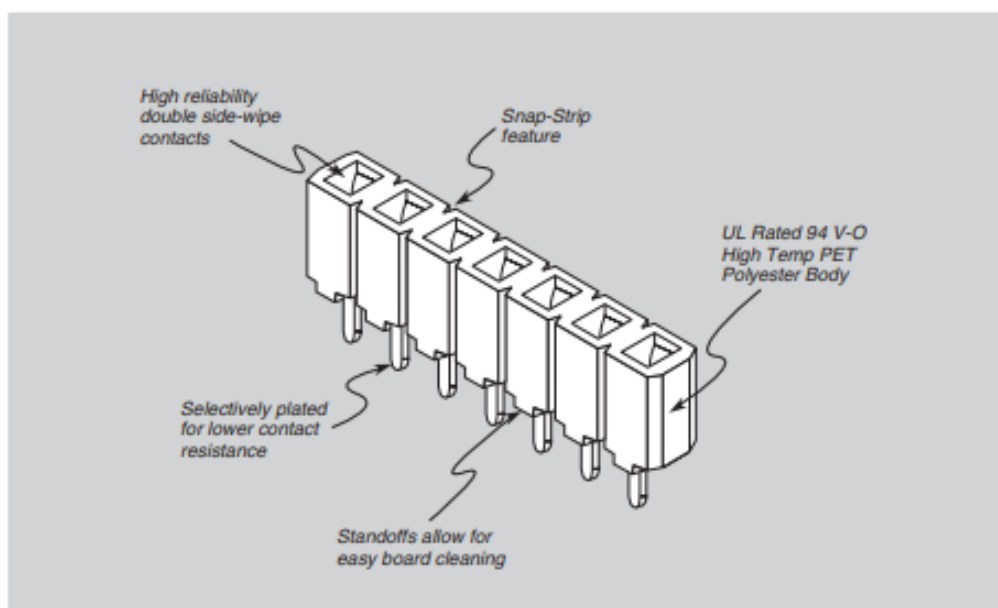
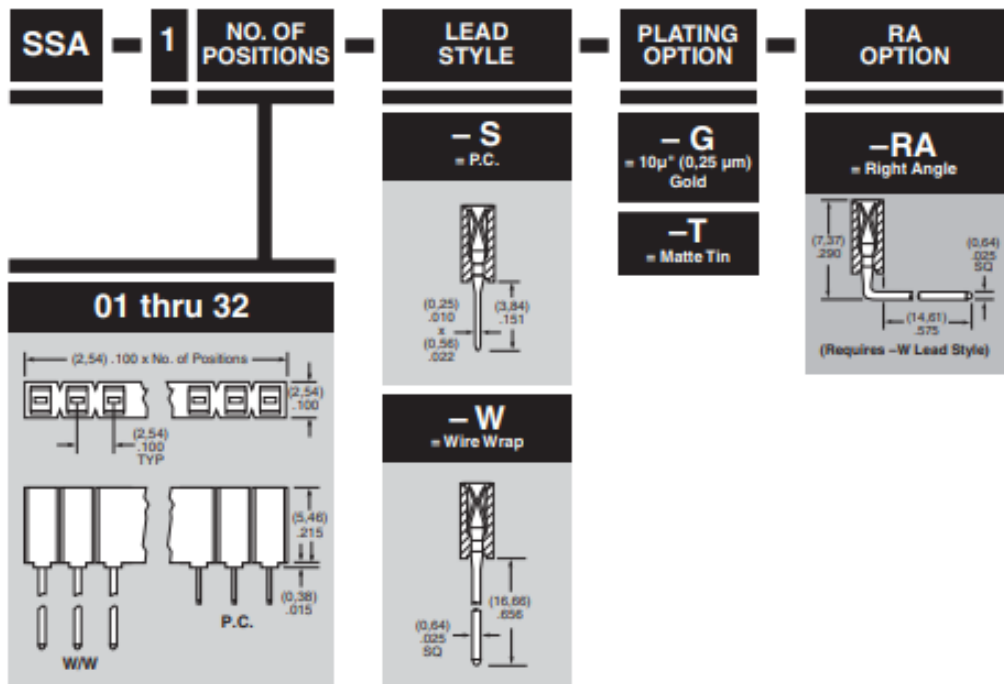
Insulator Material:
Black PET Polyester
Contact Material:
Phosphor Bronze
Plating:
Au or Sn over
50µ" (1,27 µm) Ni
Flammability Rating:
UL 94V-O
Insulation Resistance:
5000 MΩ min
Operating Temp Range:
-55°C to +125°C with Gold
-55°C to +105°C with Tin
Heat Deflection Temp:
215°C @ 254 psi (1,8 MPa)
Dielectric Withstanding Voltage:
1000 VRMS
Contact Resistance:
10 mΩ
Lead Size Range:
(0,38 mm) .015" to
(0,56 mm) .022" DIA
and most IC leads
Insertion Depth:
(1,27 mm) .050" to
(3,30 mm) .130"
Insertion Force:
(Single contact only)
10 oz (2,78 N) average
Withdrawal Force:
(Single contact only)
5 oz (1,39 N) average
RoHS Compliant:
Yes
Lead-Free Solderable:
Wave only

RECOGNITIONS

For complete scope of
recognitions see
www.samtec.com/quality



Note: Some lengths, styles
and options are non-standard,
non-returnable.



WWW.SAMTEC.COM

Due to technical progress, all designs, specifications and components are subject to change without notice.



DATASHEET

Board Level Cooling - Channel 6021



BOARD LEVEL COOLING – Channel 6021

Channel 6021 is a series of channel board level heat sinks designed to cool TO-220 and TO-220-single gauge devices. Representative image only.

ORDERING INFORMATION

Part Number	Device Type
6021BG	TO-220, TO-220-single gauge
6021B-SF1G	TO-220, TO-220-single gauge



HEAT SINK DETAILS

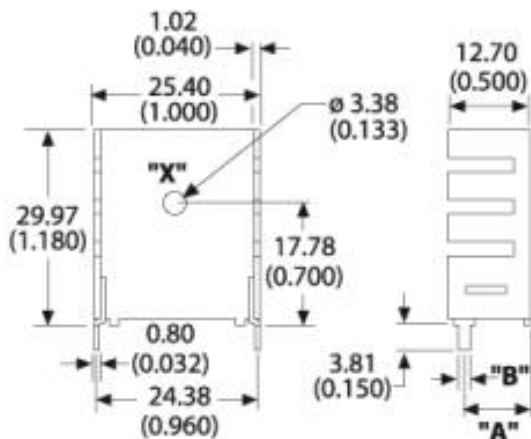
Property	Details
Material	Aluminum
Finish	Black Anodize
Device Attachment Options	Requires Mounting Kit, Mounting Stud
Thermal Interface Material	-

Property	Details
Heat Sink Width (mm)	25.40
Heat Sink Length (mm)	12.70
Heat Sink Height (mm)	29.97
Heat Sink Mounting Direction	Vertical

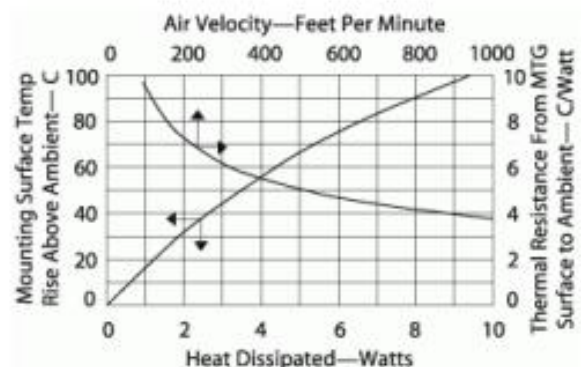
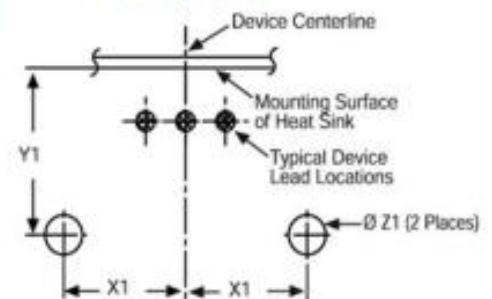
MECHANICAL & PERFORMANCE

Drawing dimensions are shown in mm, (in)

Part Number	"A" Dim	"B" Dim	"X" Dim	"Y" Dim	"Z" Dim
6021BG	10.16	1.78	-	-	-
6021B-SF1G	-	-	12.19 (0.480)	9.14 (0.360)	2.21 (0.087)



Mounting Details:



USA: 1.855.322.2843
EUROPE: 39.051.764002
ASIA: 86.21.6115.2000 x8122



Board Level Cooling
www.aavid.com

4. PROGRAMAS

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

El programa cuenta con comentarios para ir explicando todos los procesos que hace paso por paso.

```
#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(2,3,4,5,6,7); // Pines conectados entre la pantalla y la placa

float Triangular []= {0, 0.11111111
,0.22222222,0.33333333,0.44444444,0.55555555,0.66666666,0.77777777,0.88888888
8,0.99999999,
0.88889,0.77779,0.66668,0.55557,0.44446,0.33335,0.22224,0.11113, 0,-
0.111109,-0.22222,-0.333331,-0.444442,-0.55553, -0.666664,-0.777775,-0.888886,-
0.999997,-0.888892,-0.777781,-0.66667,-0.555559,-0.444448,-0.333337,-0.222226,-
0.111115,0}; // Vector de 36 datos que formar la señal triangular desde 0 a 2pi
float Senoidal_1 []={0
,0.173648178,0.342020143,0.5,0.64278761,0.766044443,0.866025404,0.939692621,0
.984807753,1,0.984807753,0.939692621,0.866025404,0.766044443,0.64278761,0.5,0
.342020143,0.173648178,0,-0.173648178,-0.342020143,-0.5,-0.64278761,-
0.766044443,-0.866025404,-0.939692621,-0.984807753,-1,-0.984807753,-
0.939692621,-0.866025404,-0.766044443,-0.64278761,-0.5,-0.342020143,-
0.173648178,0}; //Vector de 36 datos que forma la señal senoidal desde 0 2pi
float Senoidal_2[]={0,-0.173648178,-0.342020143,-0.5,-0.64278761,-
0.766044443,-0.866025404,-0.939692621,-0.984807753,-1,-0.984807753,-
0.939692621,-0.866025404,-0.766044443,-0.64278761,-0.5,-0.342020143,-
0.173648178,0,0.173648178,0.342020143,0.5,0.64278761,0.766044443,0.866025404,
0.939692621,0.984807753,1,0.984807753,0.939692621,0.866025404,0.766044443,0.
64278761,0.5,0.342020143,0.173648178,0}; // Vector de 36 datos que forma una
señal senoidal desfasada 180 grados con la anterior

float w[36]; //Vector auxiliar para poder cambiar la modulación en amplitud de la
senoidal 1
float z[36]; //Vector auxiliar para poder cambiar la mdulación en amplituda de la
senoidal 2

int cont=0;//Contador para saber cuando se lee un dato de las señales
senoidales en relacion a mf
int pos; //Posición de las señales senoidales
int vuelta=0; //Contador para saber el numero de veces que el vector de la
señal triangular se ha ejecutado

const int pulsador1 = 8; // Pulsador que aumenta los parámetros
const int pulsador2 = 9; // Pulsador que disminuye los parámetros
const int pulsador3 = 12; // Pulsador que confirma las acciones (OK)
const int pulsador4 = 13; // Pulsador que para el funcionamiento para cambiar
los parámetros de entrada (STOP)
const int control1 = 10; // Pin de salida de CONTROL1
const int control3 = 11; // Pin de salida de CONTROL3
```

```
int frecuencia=0; // Frecuencia de entrada de las señales
int f=0; // Contador que guarda la frecuencia
int mf=1; // Modulación en frecuencia de las señales de entrada
int m_frec=1; // Contador que guarda la modulación en frecuencia
float Vs=0.50; // Tensión de la señal de salida
float V_sal=0.50; // Contador que guarda la tensión de salida
float m_ampli = 1.0; // Modulación en amplitud de las señales de control
int tTri=0; // Tiempo entre dato y dato de la señal triangular
int tSen=0; // Tiempo entre dato y dato de la señal senoidal

int cont_OK=0; // Contador para saber las veces que se pulsa OK
boolean calcular=true; // Lógico para calcular los datos de las señales sólo una
vez en el bucle loop

void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    Serial.begin(9600);
    lcd.begin(16,2); //Inicializa la pantalla LCD

    lcd.setCursor(0,0); // Posicion inicial para escribir
    lcd.print("Inicio: Pulsa OK");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("para empezar");

    pinMode(pulsador1,INPUT); // Configuración del pin 8 como entrada
    pinMode(pulsador2,INPUT); // Configuración del pin 9 como entrada
    pinMode(pulsador3,INPUT); // Configuración del pin 12 como entrada
    pinMode(pulsador4,INPUT); // Configuración del pin 13 como entrada
    pinMode(control1, OUTPUT); // Configuración del pin 10 como salida
    pinMode(control3, OUTPUT); // Configuración del pin 11 como salida
}

void loop() {
    // put your main code here, to run repeatedly:
    int conf = digitalRead(12); // Información del pin 12 (botón OK)
    int parar = digitalRead(13); // Información del pin 13 (botón STOP)

    if (conf == 0){ // Si se pulsa OK pasa al siguiente estado
        cont_OK++;
        while (digitalRead(12) == 0){ // Espera para que no haya varios pulsos
            lcd.clear(); // Limpia la pantalla
        }
        switch (cont_OK){ // Menú de opciones para los parámetros de entrada
            case 1: // En el caso 1 se selecciona la frecuencia de las señales de salida
                lcd.setCursor(0,0);
                lcd.print("Selecc. frecu");
                lcd.setCursor(0,1);
                lcd.print(frec(f)); // Llamada a la función de modificar la frecuencia de las
señales de salida
                lcd.print(" Hz");
                break;
            case 2: // En el caso 2 se selecciona la tensión de salida
```

```

        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("Selecc. Vsal");
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print("Vs = ");
        lcd.print(t_salida(V_sal)); // Llamada a la función de modificar la tensión de
salida de la señal
        break;
    case 3: // En el caso 3 se selecciona la modulación en frecuencia
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("Modulacion frec");
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print("mf = ");
        lcd.print(mod_frec(m_frec)); // Llamada a la función de modificar la
modulación en frecuencia de las señales
        break;
    case 4: // En el caso 4 se crean las señales de CONTROL1 y CONTROL3
        if (calcular){ // Lógico para que se calculen solo una vez los datos dentro
del bucle loop
            m_ampli = V_sal/5; // Cálculo de la modulación en amplitud de las
señales a partir de la tensión de salida introducida
            amplitud(w,z,m_ampli,Senoidal_1,Senoidal_2); // Llamada a la funcion de
cambiar la amplitud
            tTri=TiempoTri(m_frec, f); // Llamada a la funcion del tiempo entre dato y
dato de la funcion triangular
            tSen=TiempoSen(f); // Llamada a la funcion del tiempor entre dato y dato
de la funcion senoidal
        }
        calcular=false; // Se pone a falso el lógico y no se cambiará hasta que el
usuario decida cambiar algún parámetro
        for(int i=0; i<36; i++){ // Bucle para leer los 3 vectores de datos de las
señales senoidales y triangular
            delayMicroseconds(tTri); // Espera a que pase el tiempo en la señal
triangular acorde con la frecuencia introducida
            cont++;
            if (cont == m_frec){ // Cuando el contador del bucle sea igual a la
modulación en frecuencia entrará
                pos=(i/m_frec)+(vuelta*(36/m_frec)); // Posicion de los vectores de la
señal senoidal en relacion a mf
                delayMicroseconds(tSen); // Espera a que pase el tiempo en la señal
senoidal acorde con la frecuencia introducida
                cont=0;
                if(i==35){ // Si el bucle for llega al final es que ya ha dado una vuelta y
se tiene en cuenta para poder calcular la variable 'pos'
                    vuelta++;
                }
                if(pos==35){ // Si la variable 'pos' llega al final se reinicia la variable
'vuelta'
                    vuelta=0;
                }
            }
            if (w[pos]>=Triangular[i]){ // Si la señal senoidal 1 es mayor que la
triangular, valor alto en CONTROL1
                digitalWrite(control1,HIGH);
            }else{
                digitalWrite(control1,LOW); //Si es mas pequeña, valor bajo

```

```

    }
    if (z[pos]>=Triangular[i]){ // Si la señal senoidal 2 es mayor que la
triangular, valor alto en CONTROL3
        digitalWrite(control3,HIGH);
    }else{
        digitalWrite(control3,LOW); //Si es mas pequeña, valor bajo
    }
}
}
lcd.setCursor(0,0); // Mientras el están saliendo las dos señales de control
por los pines, en la pantalla LCD se muestra un mensaje por si el usuario decide parar
la simulación
lcd.print("Pulsar STOP si");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("desea parar");
if (parar == 0){
    cont_OK++;
    while(digitalRead(13)==0){}
    lcd.clear();
}
break;

```

case 5: // El caso 5 es para iniciar de nuevo el proceso si así lo desea el usuario

```

        lcd.setCursor(0,0); // Para seleccionar la frecuencia de entrada
        lcd.print("Cambiar param.");
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print("Pulsa OK");
        conf = digitalRead(12); // Información del pin 12
        if (conf == 0){
            calcular = true; // Si el usuario decide cambiar algo se vuelve a calcular
        }
        cont_OK=1;
        lcd.clear();
        while (digitalRead(12) == 0){
        }
        break;
    }
}

```

```
int frec(int frecuencia){ // Función que devuelve la frecuencia seleccionada de las
señales de salida por el usuario
    int sumar = digitalRead(8); // Para saber lo que hay en el pin 8 (pulsador
INCREMENTAR)
    int restar = digitalRead(9); // Para saber lo que hay en el pin 9 (pulsador
DECREMENTAR)
    while(f>=0 && f<=100){ // Bucle para cambiar la frecuencia de las señales
        if (sumar == 0){
            f=f+5;
            if (f==105){// Para que no se desborde por arriba
                f=100;
            }
            while (digitalRead(8) == 0){}
        }
        if (restar == 0){
            f=f-5;
```

```

        if (f==5){ // Para que no se desborde por abajo
            f=0;
        }
        while (digitalRead(9) == 0){
        }
        return f;
    }
}

float t_salida (float Vs){ // Función que devuelve la tensión de salida
seleccionada por el usuario
    int sumar = digitalRead(8);
    int restar = digitalRead(9);
    while(V_sal>=0.50 && V_sal<=5.00){ // Bucle para cambiar la tensión de salida
        if (sumar == 0){
            V_sal=V_sal+0.50;
            if (V_sal==5.50){ // Para que no desborde por arriba
                V_sal=5.00;
            }
            while (digitalRead(8) == 0){
            }
        }
        if (restar == 0){
            V_sal=V_sal-0.50;
            if (V_sal==0.0){ // Para que no desborde por abajo
                V_sal=0.50;
            }
            while (digitalRead(9) == 0){
            }
        }
        return V_sal;
    }
}

int mod_frec(int mf){ // Función que devuelve la modulación en frecuencia
seleccionada por el usuario
    int sumar = digitalRead(8);
    int restar = digitalRead(9);
    while(m_frec >= 1 && m_frec <= 21){
        if (sumar == 0){
            m_frec = m_frec + 2;
            if (m_frec == 23){
                m_frec = 21;
            }
            while (digitalRead(8) == 0){
            }
        }
        if (restar == 0){
            m_frec = m_frec - 2;
            if (m_frec == -1){
                m_frec = 1;
            }
            while (digitalRead(9) == 0){
            }
        }
        return m_frec;
    }
}

```

```

int confirmar(){ // Función que devuelve las veces que se pulsa el botón OK
    int conf = digitalRead(12); // Información del pin 12 (botón OK)
    int cont_OK=0;
    if (conf == 0){
        cont_OK++;
        while (digitalRead(12) == 0){}
    }
    return cont_OK;
}

void amplitud(float v[], float y [],float m, float Sen_1[],float Sen_2[]){ // Función
que cambia la amplitud de la señal senoidal en funcion de ma
    for(int i=0; i<36; i++){
        v[i]=Sen_1[i]*m; //Multiplica cada valor del vector de la señal senoidal por
ma
        y[i]=Sen_2[i]*m;
    }
}

int TiempoSen(int f){ //Función que devuelve el tiempo entre dato y dato de la
señal senoidal a partir de la frecuencia
    float t;
    int d;
    t=(1/f)*1000000; // Periodo de la señal senoidal en us
    return d=t/36; // Tiempo entre dato y dato (tiene que ir dividido entre el número
de datos que tiene el vector de la señal senoidal
}

int TiempoTri(int modfrec, int frecsen){ //Función que devuelve el tiempo entre
dato y dato de la señal triangular a partir de mf y la frecuencia de la señal senoidal
    float ftri,t;
    int d;
    ftri=modfrec*frecsen; // Frecuencia de la señal triangular
    t=(1/ftri)*1000000; // Periodo de la señal triangular en us
    return d=t/36; // Tiempo entre dato y dato (tiene que ir dividido entre el
número de datos que tiene el vector de la señal triangular
}

```


PLANOS

El sistema es un inversor monofásico unipolar en puente completo controlado por la plataforma de Arduino y totalmente autónomo. Dispone de una pantalla LCD interactiva para visualizar los parámetros que el usuario puede cambiar a su gusto, así como una botonera que consta de cuatro pulsadores para poder elegir cada uno de estos parámetros según el usuario lo desee.

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

Los diagramas que se muestran en esta sección están a tamaño real, esto es a escala 1:1, y están listos para su impresión sobre el cliché. Esto se ha realizado con el propósito de poder crear las pistas sobre una placa de circuito impreso virgen.

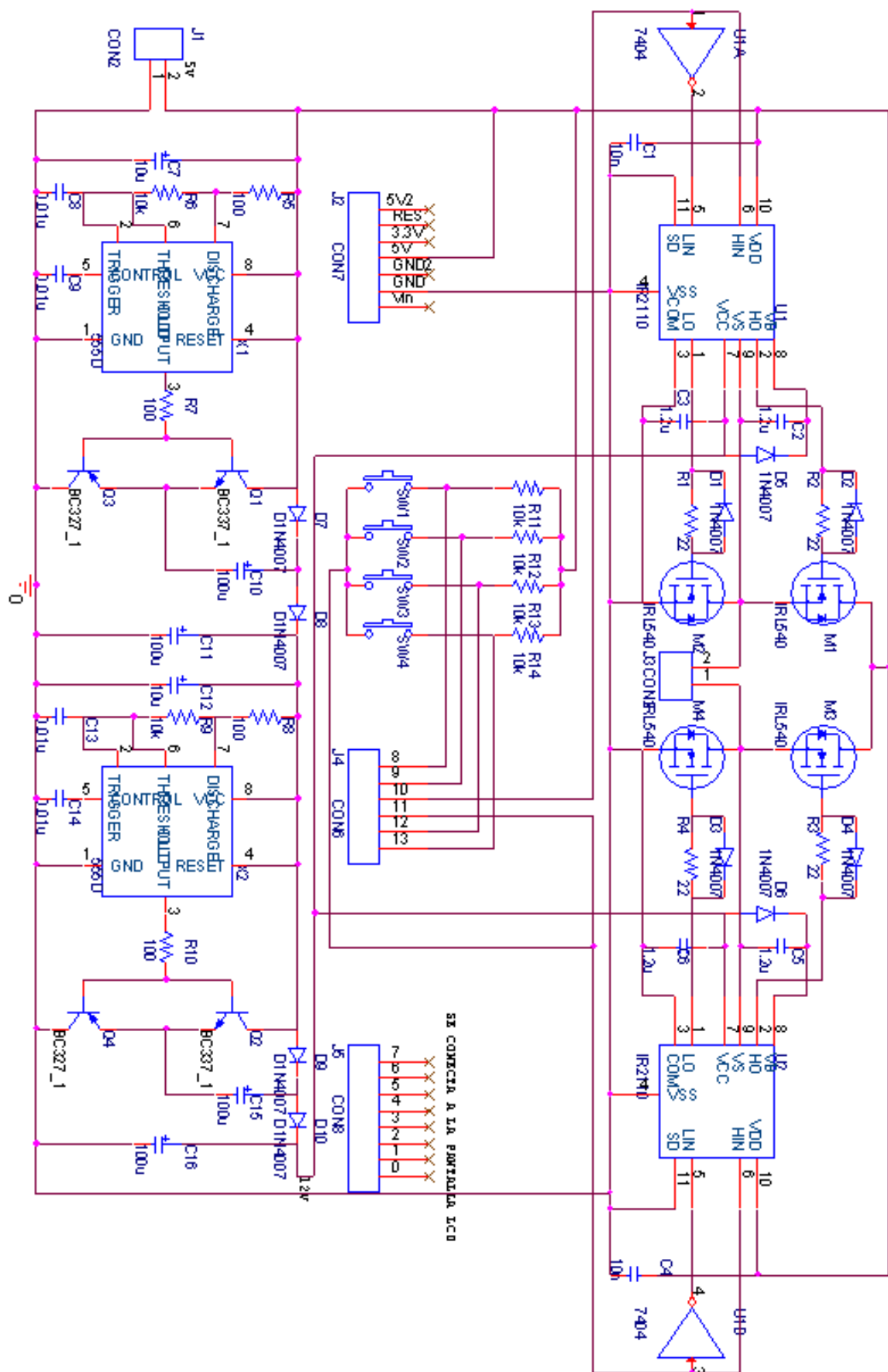


Figura 69: Esquema completo del sistema

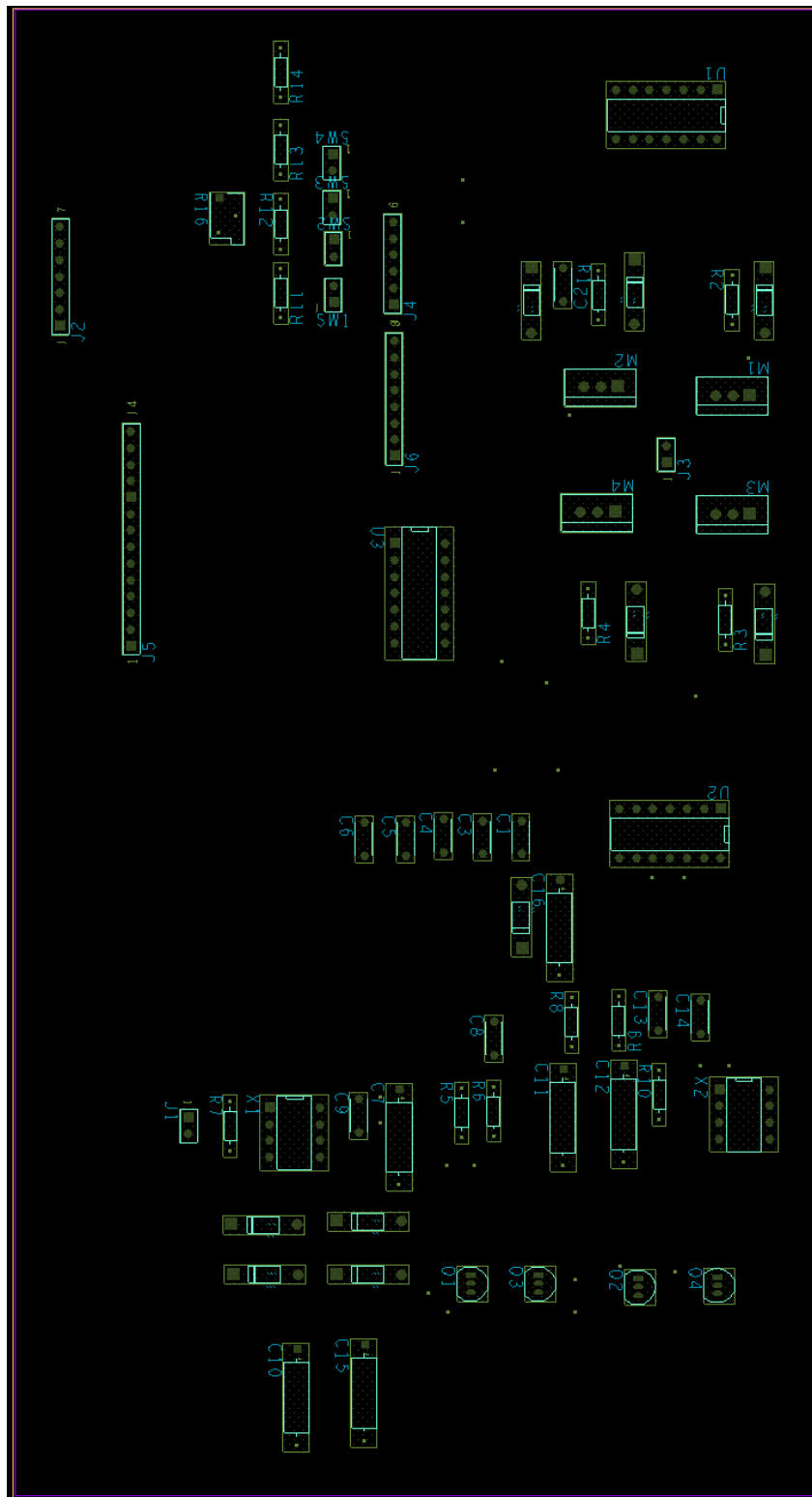


Figura 70: Diagrama de ensamblaje del circuito impreso

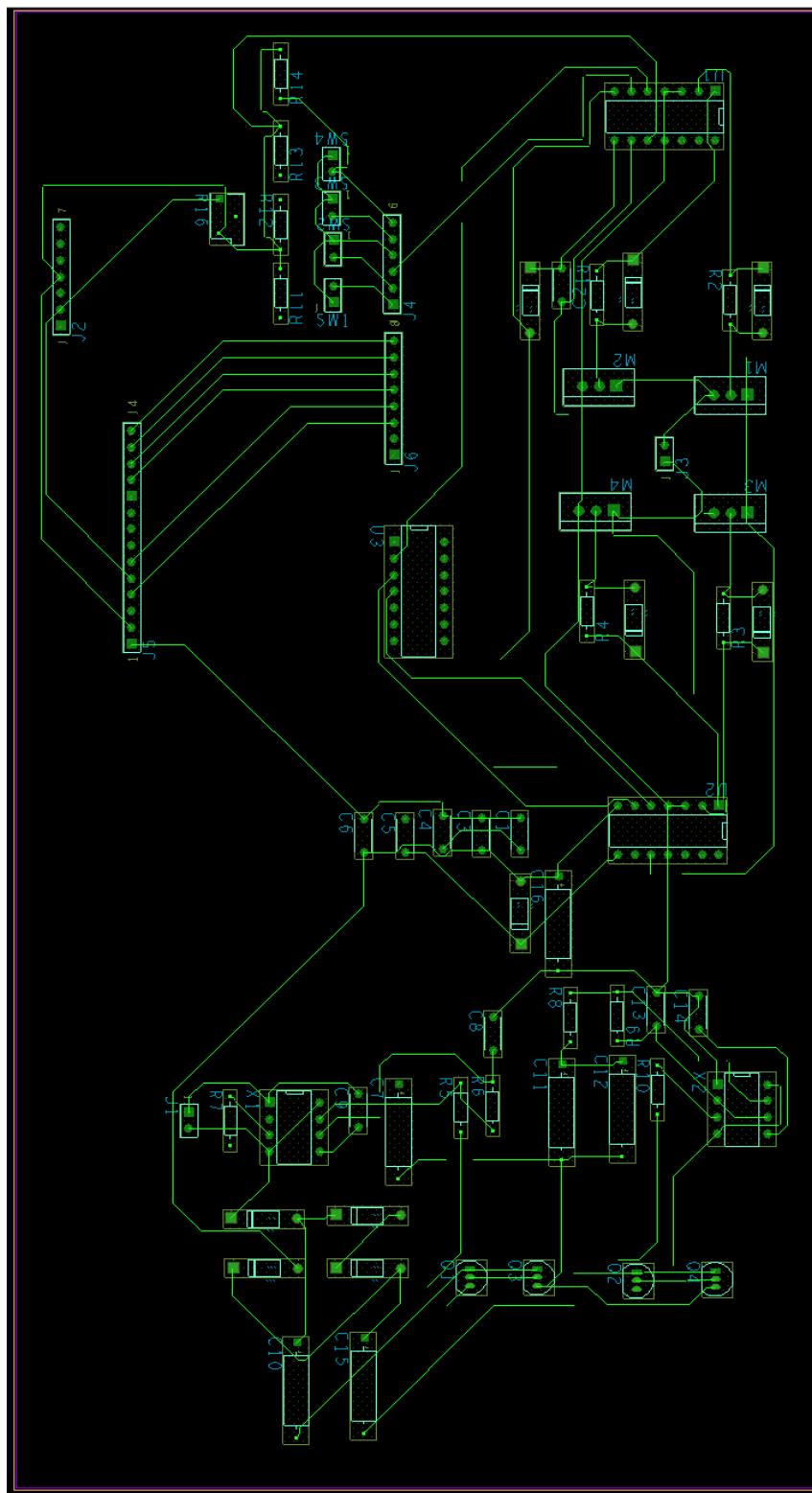


Figura 71: Componentes y conexiones en la cara Top

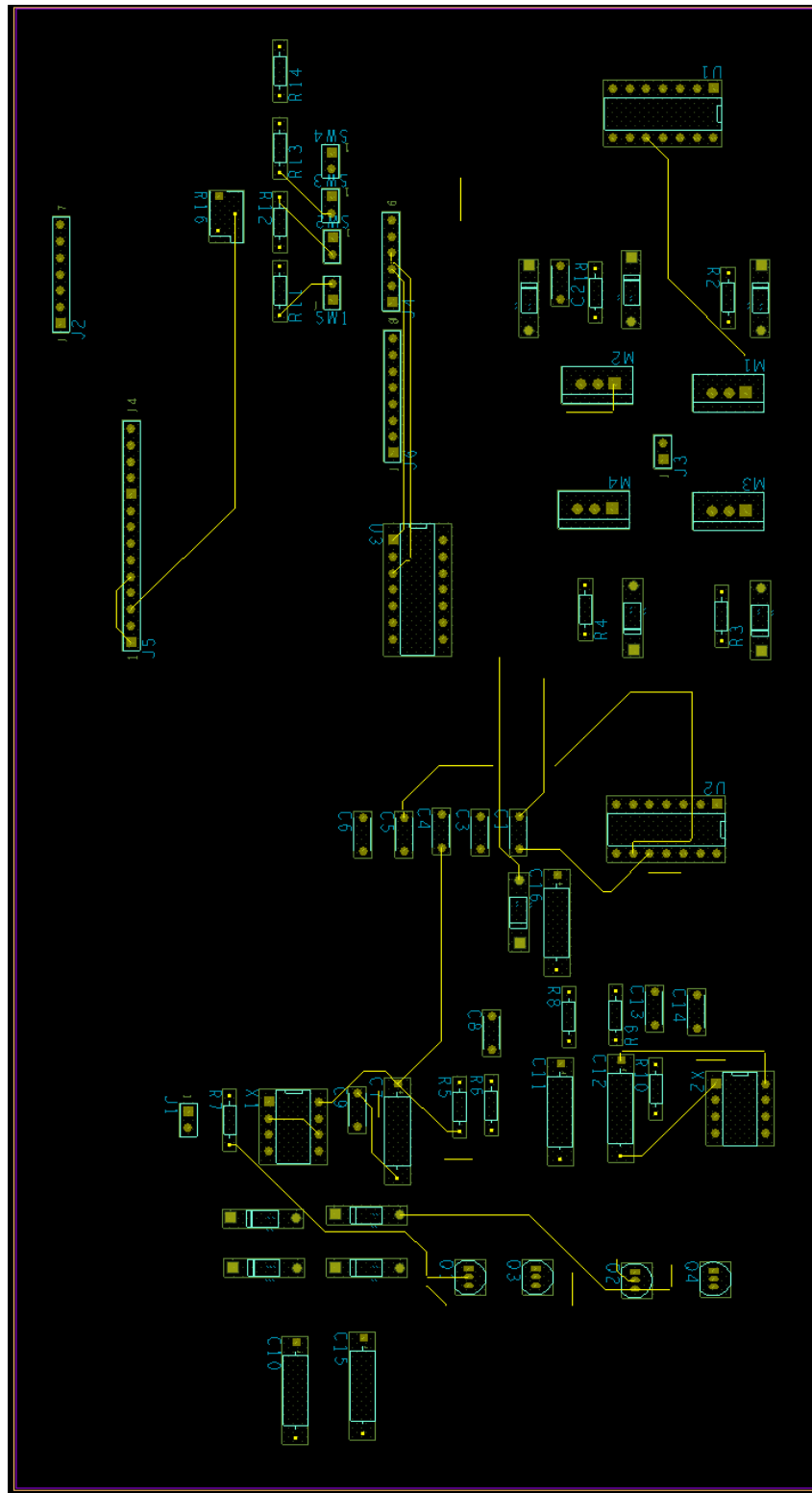


Figura 72: componentes y conexiones en la cara Bottom

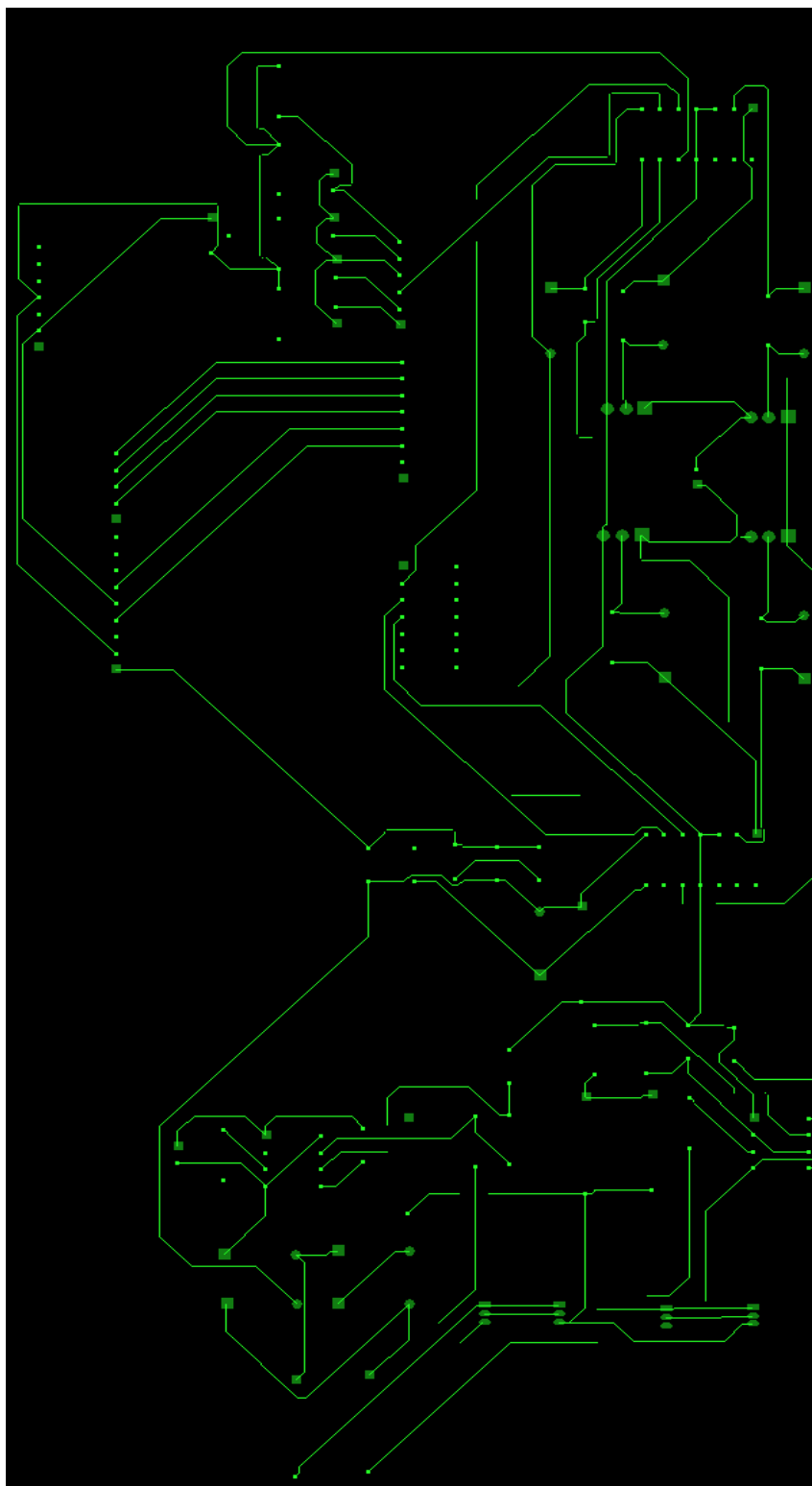


Figura 73: Pistas de la cara Top

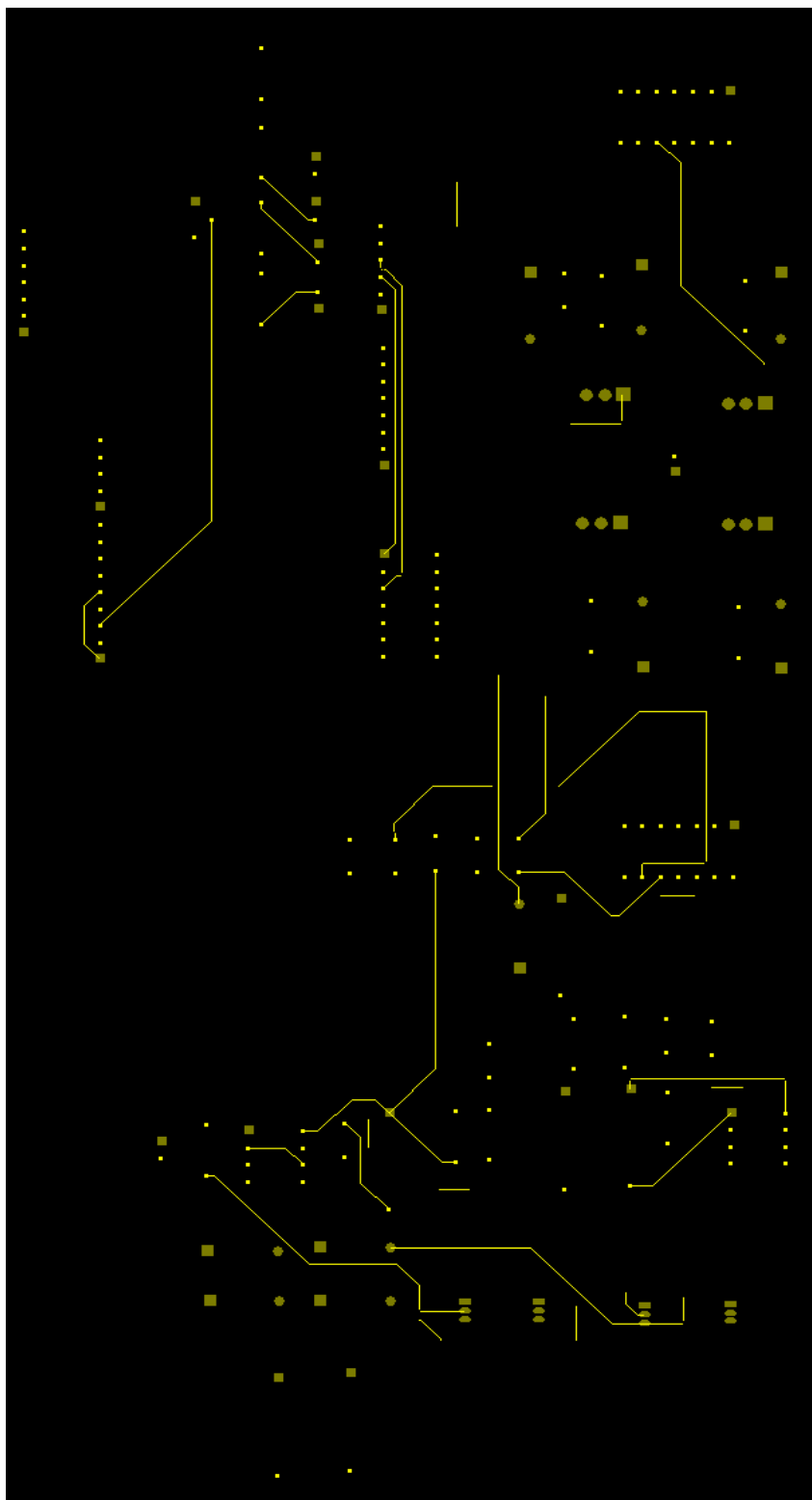


Figura 74: Pistas de la cara Bottom

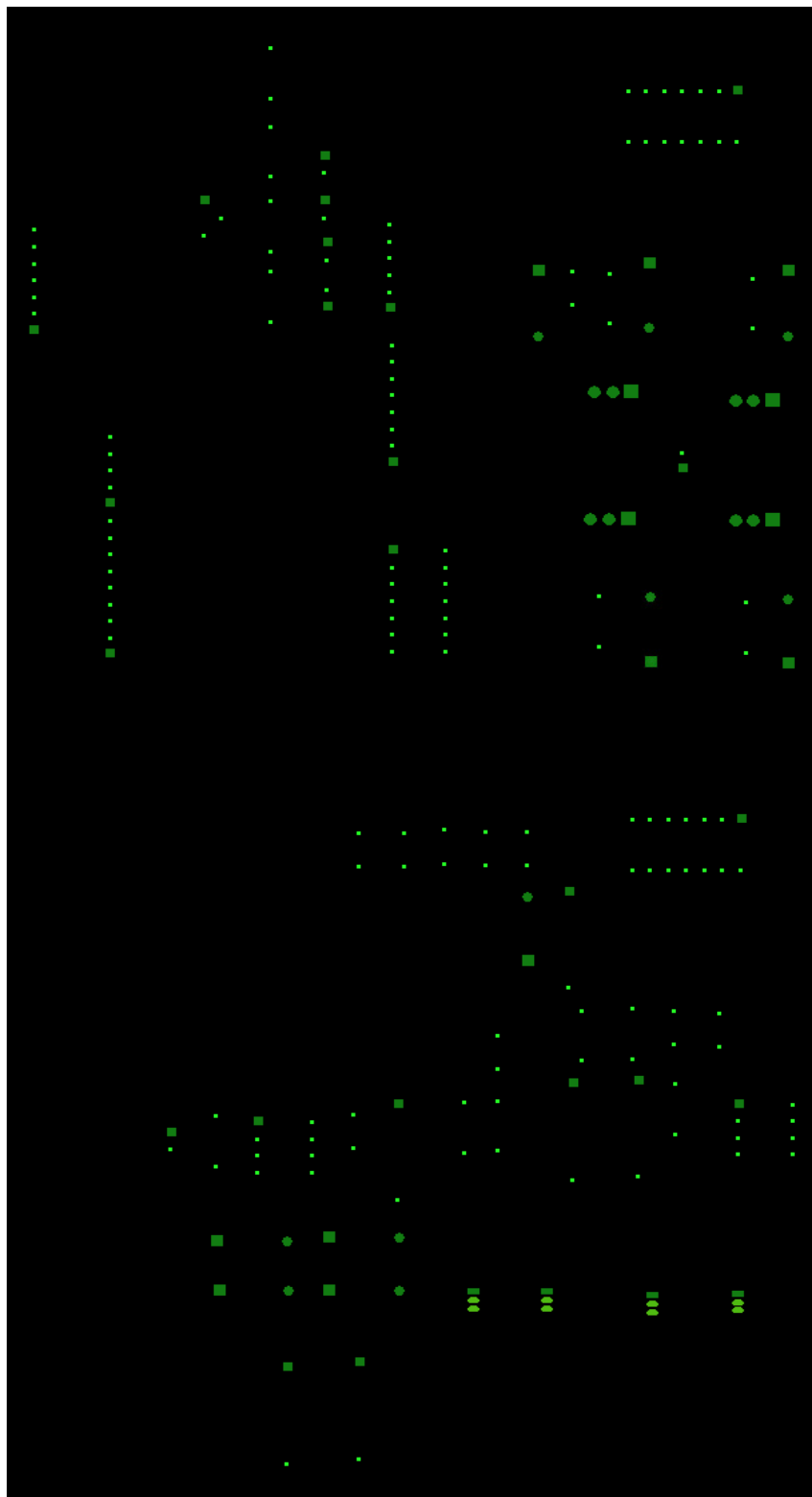


Figura 75: Taladros de la PCB vistos desde Top

'Placa-1-2.drl' created for holes connecting TOP and BOTTOM

Num	Size	+/- Tolerance		Plating	Quantity
1.	13.0000	0.0000/	0.0000	PLATED	24
2.	28.0000	0.0000/	0.0000	PLATED	31
3.	31.0000	0.0000/	0.0000	PLATED	24
4.	34.0000	0.0000/	0.0000	PLATED	78
5.	36.0000	0.0000/	0.0000	PLATED	20
6.	37.0000	0.0000/	0.0000	PLATED	47
7.	54.0000	0.0000/	0.0000	PLATED	12
---- Total holes:					236

Figura 76: Información de los taladros

PRESUPUESTO

• DISPOSICIONES LEGALES

En este capítulo se describen tanto los costes económicos de todo el trabajo realizado, así como todos los costes de los materiales utilizados.

Los precios de los componentes utilizados están comprobados a fecha de 25 de abril de 2022, no haciéndose responsable el autor de la variación de precio a una fecha distinta de la expuesta.

Los distribuidores de los que se han obtenidos los diferentes componentes son:

- Arduino
- RS Components
- Mouser
- Farnell

• PRESUPUESTO DE MATERIALES

A continuación, se detallan los distintos precios de cada componente utilizado para el diseño del inversor monofásico en puente completo, además de la placa de circuito impreso y la placa de Arduino UNO.

Código	Componente	N.º ref. fabricante	Cantidad	Precio	Total
1.01	Arduino UNO REV3	8058333490090	1	20.00€	20.00€
1.02	Pantalla LCD 2x16	MIKROE-55	1	10.99€	10.99€
1.03	IR2110	IR2110PBF	2	3.75€	7.5€
1.04	IRL540N	IRL540NPBF	4	1.85€	7.4€
1.05	7404	SN7404DR	1	1.86€	1.86€
1.06	1N4001	628-8931	4	0.259€	1.036€
1.07	555	NE5855P	2	0.38€	0.76€
1.08	BC337	BC337-40 A1	2	0.031€	0.062€
1.09	BC327	BC32740TA	2	0.079€	0.158€
1.10	Interruptor táctil LSH 6x6 short travel switch 4.3mm	1301.9314.24	4	0.43€	1.72€
1.11	Potenciómetro 1kΩ DUAL	PDB182-K220K-102B	1	1.78€	1.78€
1.12	Resistencia 10kΩ ±5%, 0.25W	739-7538	6	0.008€	0.048€
1.13	Resistencia 22Ω ±5%, 2W	707-8808	4	0.071€	0.284€
1.14	Resistencia Vishay 100Ω ±1%, 0.25W	707-7587	4	0.265€	1.06€
1.15	Condensador 1.2μF ±20%, 400V DC	ULD2G1R2MPD	4	0.45€	0.9€
1.16	Condensador 10nF ±1%, 63V DC	426-3110	2	2.137€	4.274€
1.17	Condensador 10μF electrolítico ±20%, 35V DC	ECAVM100	2	0.22€	0.44€
1.18	Condensador 10nF ±80%, 3kV	180-4839	4	0.131€	0.524€

Código	Componente	N.º ref. fabricante	Cantidad	Precio	Total
1.19	Condensador 100µF electrolítico ±20%, 35V DC	ECA1VM101	4	0.44€	1.76€
1.20	Cabezal de 2 pines	251-8086	2	0.137€	0.274€
1.21	Cabezal de 7 pines	826652-7	1	0.626€	0.626€
1.22	Cabezal de 4 pines	251-8115	1	0.265€	0.265€
1.23	Cabezal de 14 pines	HTSW-106-14-G-S	1	0.81€	0.81€
1.24	Cabezal de 8 pines	251-8288	1	0.709€	0.709€
1.25	Diodo de silicio 1N4007	1N4007-E3/54	10	0.166€	1.66€
1.26	Placa de cobre de doble cara	AEB20	1	10.54€	10.54€
1.27	Disipador térmico 12.5°C/W	6021BG	4	1.49 €	5.96€
1.28	Disipador térmico 19°C/W	523002B00000G	2	0.83€	1.66€
				TOTAL	85.06€

- PRESUPUESTO DE PERSONAL**

A continuación, se van a detallar 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 del hardware	20	20.00€	400.00€
2.02	Diseño del software	12	20.00€	240.00€
2.03	Montaje	3	15.00€	45.00€
2.04	Pruebas y simulaciones	60	20.00€	1200.00€
2.05	Elaboración de la documentación	90	15.00€	1350.00€
			TOTAL	3235.00€

- RESUMEN DEL PRESUPUESTO**

Presupuestos de componentes	85.06€
Presupuesto del personal	3235.00€
Presupuesto de ejecución material	3320.06€
Gastos generales (15%)	498.01€
Beneficio industrial (6%)	199.21€
Total parcial	4017.28€
IVA (21%)	843.63€
Presupuesto de ejecución por contrata	4860.91€

Asciende el presupuesto a la expresada cantidad de **CUATRO MIL OCHOCIENTOS SESENTA euros con NOVENTA Y UN céntimos.**

Si, por ejemplo, algún fabricante de PCB quisiera fabricar una tirada de 1000 unidades de los inversores monofásicos en puente completo que se han desarrollado en este proyecto, la unidad saldría a un coste de **CUATRO euros con OCHENTA Y SEIS céntimos**.