



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Jaén

Trabajo Fin de Grado

RECTIFICADOR CONTROLADO DE 4 CUADRANTES GOBERNADO POR ARDUINO.

Alumno: Francisco Miguel García Olivas

Tutor: Rafael José Gutiérrez Moya
Dpto: Ingeniería Electrónica y Automática

Junio, 2023



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

Don Rafael José Gutierrez Moya, tutor del Trabajo Fin de Grado titulado:
Rectificador controlado de 4 cuadrantes gobernado por Arduino, que presenta
Francisco Miguel García Olivas, autoriza su presentación para defensa y evaluación
en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, Junio de 2023

El alumno:

El tutor:

Francisco Miguel García Olivas

Rafael José Gutierrez Moya

ÍNDICE

MEMORIA.....	6
1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. Objetivos	8
1.2. Plan de trabajo	8
1.3. Estructura.....	9
2. ESTADO DEL ARTE Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS	11
2.1. Rectificador totalmente controlado de cuatro cuadrantes	11
2.1.1. Descripción	11
2.1.2. Aplicaciones	11
2.1.3. Circuito tipo	12
2.2. Ejemplo de diferentes rectificadores en el mercado	14
2.3. Estudio de Arduino y sus Shield	17
2.3.1. Arduino	17
2.3.2. Arduino UNO y sus características.....	18
2.3.3. Shields de Arduino	20
2.3.4. Shields de potencia.....	21
2.4. Herramientas utilizadas.....	25
2.4.1. Proteus	25
2.4.2. OrCAD	28
2.4.3. Arduino IDE.....	30
3. IMPLEMENTACIÓN	31
3.1. Estructura general del hardware.....	32
3.1.1. Circuito de potencia	34
3.1.2. Circuito de disparo	36
3.1.3. Circuito de mando y visualización.	39
3.1.4. Circuito detector de cruce por cero.....	42
3.1.5. Rectificador. Primera y segunda etapa.....	44
3.2. Disipación de calor	47
3.2.1. Cálculo potencia de disipación tiristor TS1220.	48
3.2.2. Cálculo potencia de disipación regulador de tensión LM317	49
3.2.3. Cálculo potencia de disipación puente de diodos MB6S.	49
3.3. Programación.....	50
3.3.1. Definición de variables y librerías.....	50
3.3.2. Bloque Setup	51

3.3.3.	Bloque Loop.....	52
3.3.4.	Funciones	53
3.4.	Diseño de la placa de circuito impreso	56
4.	ESTUDIO DE FUNCIONAMIENTO	59
4.1.	Análisis funcionamiento circuito digital	59
4.2.	Análisis funcionamiento circuito de potencia.	63
4.2.1.	Análisis de funcionamiento, carga resistiva.	64
4.2.2.	Análisis de funcionamiento, carga resistiva-inductiva.	65
4.2.3.	Análisis de funcionamiento, carga resistiva-inductiva y fuente de alimentación. 66	
4.2.4.	Análisis de funcionamiento, variación de la carga resistiva.	67
4.2.5.	Análisis de funcionamiento, variación de la carga inductiva.	68
4.2.6.	Análisis de funcionamiento, variación tensión de alimentación.....	69
5.	CONCLUSIONES.....	71
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
	Referencias	72
	PLIEGO DE CONDICIONES	73
1.	ESPECIFICACIONES	74
2.	MANUAL DE USUARIO	75
2.1.	Carga del programa de Arduino	75
2.2.	Guía de uso	77
3.	PROGRAMA	79
	HOJAS DE CARACTERÍSTICAS	86
1.	REGULADOR DE TENSIÓN LINEAL LM317	87
2.	PUENTE RECTIFICADOR MB6S	98
3.	AMPLIFICADOR OPERACIONAL LM311	101
4.	INDUCTOR ACOPLADO SRF1260.....	114
5.	TIRISTOR TS1220	116
6.	POTENCIOMETRO BOURNS 3310.....	130
	PLANOS	136
	ESQUEMÁTICO.....	137
	CONDUCTORES SUPERIOR E INFERIOR.....	138
	ASSEMBLY SUPERIOR E INFERIOR	139
	AGUJEROS	140
	PRESUPUESTO	141
1.	DISPOSICIONES LEGALES	142

2. PRESUPUESTO MATERIAL	143
3. PRESUPUESTO DE PERSONAL	143
4. RESUMEN DE PRESUPUESTO.....	144

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Funcionamiento en 2 cuadrantes [1].....	13
Figura 2. Circuito tipo rectificador de 2 cuadrantes [1].....	13
Figura 3. Funcionamiento en los cuatro cuadrantes [1]	13
Figura 4. Convertidor DCS800 de ABB [3].....	15
Figura 5. Sinamics DC Master de Siemens [4]	16
Figura 6. Controlador de motor DC RS PRO [9]	16
Figura 7. Controlador motor DC Maxon [9].....	16
Figura 8. Variantes de Arduino.....	18
Figura 9. Pinout de Arduino UNO [2]	20
Figura 10. Adafruit Servo Shield.....	22
Figura 11. Arduino Motor Shield Rev3 [2].....	22
Figura 12. Arduino 4 Relays shield [2]	24
Figura 13. Arduino 9 Axis Motion Shield [2]	24
Figura 14. Interfaz Proteus ISIS	26
Figura 15. Interfaz Proteus ARES	27
Figura 16. Visor 3D Proteus	27
Figura 17. Interfaz Orcad Pspice	29
Figura 18. Interfaz Orcad Capture	29
Figura 19. Interfaz Arduino IDE	30
Figura 20. Circuito tipo rectificador totalmente controlado de 4 cuadrantes [1]	31
Figura 21. Estructura general del circuito.	32
Figura 22. Circuito de potencia.....	34
Figura 23. Configuración disparos tiristores.....	36
Figura 24. Disparos con ángulo de 50 grados	37
Figura 25. Salida con ángulos de disparo de 50 grados	38
Figura 26. Disparos con ángulo de 120 grados	38
Figura 27. Salida con ángulos de disparo de 120 grados	39
Figura 28. Circuito de control de disparos y visualización.....	40
Figura 29. Pull-Up y Pull-Down.....	40
Figura 30. Circuito detector de cruce por cero.....	42
Figura 31. Señal circuito detector de cruce por cero (señal roja)	44
Figura 32. Circuito rectificador (Primera y segunda etapa)	44
Figura 33. Puente rectificador MB6S	45
Figura 34. Divisor de tensión conectado al regulador de tensión	46
Figura 35. Diagrama de flujo inicio programa	50
Figura 36. Diagrama de flujo bloque Setup.....	51
Figura 37. Diagrama de flujo bloque Loop.....	53
Figura 38. Diagrama de flujo dispararRectificador().....	54
Figura 39. Vista frontal PCB	57
Figura 40. Vista inferior PCB	58
Figura 41. Vista trasera PCB	58

Figura 42. Simulación circuito control. Mensaje de bienvenida.....	59
Figura 43. Simulación circuito de control. Salida activada	60
Figura 44. Señales de disparo para el rectificador positivo.....	60
Figura 45. Simulación circuito de control. Salida pausada.....	61
Figura 46. Simulación circuito de control. Modifica ángulo 60 grados.....	61
Figura 47. Señales de disparo para el rectificador negativo	62
Figura 48. Simulación circuito de control. Salida activada 100 grados.....	62
Figura 49. Potencia media en la carga.	63
Figura 50. Tensión instantánea para un ángulo de disparo de 30 grados.....	63
Figura 51. Relación potencia - ángulo de disparo para una carga resistiva	64
Figura 52. Relación potencia - ángulo de disparo para una carga resistiva-inductiva	65
Figura 53. Relación potencia – ángulo de disparo para una carga resistiva-inductiva y fuente de tensión.....	66
Figura 54. Relación potencia - resistencia (Ángulo de disparo 30º)	67
Figura 55. Relación potencia – inductancia (Ángulo de disparo 30º)	69
Figura 56. Relación Potencia - tensión de alimentación (Ángulo de disparo: 30º)	70
Figura 57. Descarga Arduino IDE	75
Figura 58. Instalación librería LiquidCrystal	76
Figura 59. Verificar y cargar código.	76
Figura 60. Vista inferior PCB	77
Figura 61. Vista frontal PCB	77
Figura 62. Mensaje de bienvenida.....	78
Figura 63. Mensaje salida activada	78
Figura 64. Vista lateral PCB	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características técnicas Arduino UNO [5].....	19
Tabla 2. Pines utilizados Arduino	34
Tabla 3. Presupuesto material.....	143
Tabla 4. Presupuesto de personal.....	143

MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN

En la era actual, la electrónica de potencia ha experimentado un rápido desarrollo, ofreciendo una amplia gama de aplicaciones en diversos campos. Uno de los dispositivos más utilizados en esta área es el rectificador controlado de cuatro cuadrantes, el cual permite la conversión de corriente alterna en corriente continua con una capacidad de control en los cuatro cuadrantes de la forma de onda de entrada. Este es un componente clave en sistemas de potencia como la tracción eléctrica de vehículos, la generación de energía renovable y el control de motores. La capacidad de funcionar en los cuatro cuadrantes hace que este rectificador sea altamente versátil y adaptable a diferentes aplicaciones.

En el presente trabajo de fin de grado (TFG), se propone el diseño e implementación de un rectificador controlado de cuatro cuadrantes gobernado por Arduino. El objetivo principal de este TFG es desarrollar un sistema de control para el rectificador controlado de cuatro cuadrantes utilizando la placa Arduino y otros componentes electrónicos complementarios. Se busca aprovechar las capacidades de programación de Arduino para lograr un control preciso y eficiente del rectificador en los diferentes cuadrantes de funcionamiento.

Se prevé el diseño y simulación de un rectificador totalmente controlado de cuatro cuadrantes, el cual permitirá variar el ángulo de disparo de los tiristores mediante la placa de desarrollo Arduino en tiempo real para obtener una variación de la tensión de salida. Arduino permitirá el control absoluto de los disparos de los tiristores, que modificarán la salida a gusto, pudiendo obtener una salida en los cuatro cuadrantes.

1.1. Objetivos

El objetivo es diseñar una placa de circuito impreso (PCB) basada en un rectificador totalmente controlado de cuatro cuadrantes gobernado por Arduino, que deberá tener los siguientes límites, márgenes y especificaciones:

- Señal de entrada de 12 V eficaces y 50 Hz.
- Tensión media de salida entre 10 V y -10 V.
- Corriente máxima de 2 A.
- Control del ángulo de disparo de los tiristores mediante Arduino
- Alimentación de Arduino con una señal continua de 10 V.
- Alimentación de los pines de Arduino y LCD con una señal continua de 5 V.
- Control del ángulo de disparo sin necesidad de modificar código.
- Implementación de un LCD que represente el disparo que se está obteniendo.

1.2. Plan de trabajo

En el presente proyecto se seguirá el siguiente plan de trabajo:

- Diseño y estudio del modelo de rectificador totalmente controlado.
- Diseño y ajuste de la parte de potencia.
- Elección de los dispositivos necesarios.
- Diseño del rectificador que alimente al Arduino.
- Diseño del conexionado para disparar los diferentes SCR del modelo.
- Diseño del programa que detectará el cruce por cero, y efectuará el disparo.
- Diseño del circuito digital que permita modificar la señal y representarla.
- Cálculos teóricos del circuito.
- Simulación del circuito, y obtención de resultados.
- Diseño de la placa de circuito impreso (PCB)

1.3. Estructura

El proyecto seguirá la siguiente estructura general:

- Memoria: Se desglosará la memoria en los siguientes capítulos:
 1. Introducción. Se detallarán los objetivos del presente proyecto, el plan de trabajo y estructura.
 2. Estado del arte y herramientas. En este capítulo se detallará el significado de rectificador totalmente controlado de cuatro cuadrantes. Se estudiará Arduino y sus diferentes Shields. Y introducción a las diferentes herramientas utilizadas.
 3. Implementación. Se describirá en detalle el circuito escogido y las soluciones aportadas. Se explicará cada una de las partes del circuito y el programa utilizado en Arduino para el control de este.
 4. Estudio de funcionamiento. Se testearán las soluciones obtenidas, obteniendo las diferentes simulaciones, variando diferentes parámetros, como son la carga y el ángulo de disparo.
 5. Conclusiones. Se resumirán las distintas conclusiones obtenidas de este proyecto.
- Referencias bibliográficas. Bibliografía utilizada en el proyecto.
- Pliego de condiciones: El pliego de condiciones dispondrá de diferentes capítulos. A groso modo, la estructura del pliego es la siguiente:
 1. Especificaciones del circuito.
 2. Manual de usuario del circuito, explicando las pautas a seguir para el buen uso y funcionamiento del circuito.
 3. Hojas de características de los diferentes dispositivos utilizados en el diseño del presente proyecto.

- Planos. Se mostrarán los diferentes planos a tener en cuenta en el proyecto, tales como esquemático del circuito, ensamblaje, y plano de los conductores del circuito impreso.
- Presupuesto. Para el presente proyecto se presupuestará el material necesario, y la mano de obra invertida para el diseño, y montaje del mismo.

2. ESTADO DEL ARTE Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS

2.1. Rectificador totalmente controlado de cuatro cuadrantes

2.1.1. Descripción

Un rectificador totalmente controlado de cuatro cuadrantes es un dispositivo utilizado en la electrónica de potencia para convertir corriente alterna (CA) en corriente continua (CC). A diferencia de los rectificadores controlados convencionales, que solo puede controlar la conducción de corriente en dos cuadrantes, un rectificador totalmente controlado de cuatro cuadrantes permite el control bidireccional de la corriente, lo que significa que puede conducir corriente en ambos sentidos, tanto en el cuadrante positivo como en el negativo.

Este tipo de rectificador utiliza dispositivos electrónicos de potencia, como tiristores o IGBT (transistores de puerta aislada bipolar), para controlar el flujo de corriente. Estos dispositivos permiten la activación y desactivación de la conducción de corriente en diferentes momentos del ciclo de la señal de entrada de CA, lo que proporciona un control preciso de la corriente continua resultante.

2.1.2. Aplicaciones

Los rectificadores totalmente controlados de cuatro cuadrantes tienen varios usos y aplicaciones importantes en la electrónica de potencia. Algunos de ellos incluyen:

1. Control de velocidad de motores: Estos rectificadores se utilizan en aplicaciones de control de velocidad de motores eléctricos, como motores de tracción de trenes, grúas o elevadores. Permiten una regulación precisa de la velocidad y la dirección del motor mediante el control bidireccional de la corriente.
2. Fuentes de alimentación regulables: Los rectificadores de cuatro cuadrantes se utilizan en fuentes de alimentación regulables que requieren una conversión de CA a CC con control bidireccional. Por ejemplo, en aplicaciones de laboratorio o sistemas de suministro de energía para equipos electrónicos sensibles.

3. Transmisión de energía eléctrica: En sistemas de transmisión de energía eléctrica, los rectificadores de cuatro cuadrantes se utilizan en la conversión de corriente alterna de alta tensión (CA) a corriente continua (CC) para su transmisión eficiente y controlable a largas distancias. Estos sistemas, se denominan HVDC (Sistemas de Corriente Continua de Alta Tensión).
4. Aplicaciones de tracción eléctrica: En vehículos eléctricos y sistemas de tracción eléctrica, estos rectificadores se utilizan para controlar y regular la corriente suministrada a los motores de tracción, permitiendo la regeneración de energía durante el frenado y mejorando la eficiencia del sistema en general.
5. Ciclo-convertidores. También denominados controladores de corriente alterna, permiten obtener a su salida un voltaje variable con una frecuencia fija, además de un alto contenido en armónicos. Para obtener esta salida, se compone de dos etapas, en la primera un convertidor de alterna fija a continua variable (Mediante un rectificador totalmente controlado), y en la segunda etapa un convertidor de corriente continua variable a alterna de frecuencia variable.

2.1.3. Circuito tipo

El rectificador totalmente controlado de cuatro cuadrantes no es un circuito de fácil obtención. En su defecto, existen rectificadores controlados de 2 cuadrantes. Para formar un rectificador de 4 cuadrantes se usa la configuración de 2 cuadrantes, colocados en antiparalelo. Esto haría que, uno genere una salida positiva, y el otro genere una salida negativa en la carga. La configuración de un rectificador de 2 cuadrantes sería la representada en la Figura 2, extraída del libro de Muhammad Rashid [1], que como se puede observar, permitiría el control en corriente positiva, y tensión positiva o negativa.

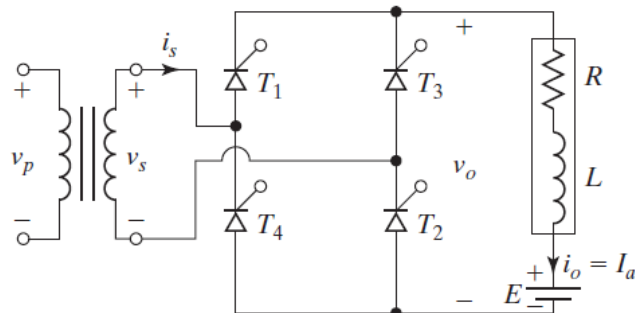


Figura 2. Circuito tipo rectificador de 2 cuadrantes [1]

Cuyo funcionamiento sería el siguiente, representado en la Figura 1

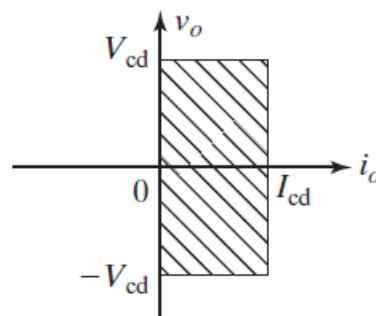


Figura 1. Funcionamiento en 2 cuadrantes [1]

Como se puede observar en la Figura 1, si se añadiese otro circuito de la misma forma, conectado en antiparalelo, se obtendrían los valores de corriente positiva y negativa, y tensiones positivas y negativas, como se podría observar en la Figura 3.

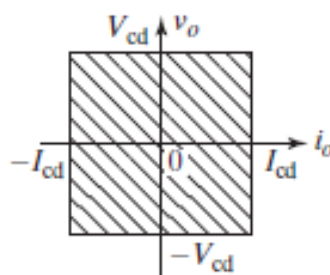


Figura 3. Funcionamiento en los cuatro cuadrantes [1]

La suma de ambos convertidores conforma el anteriormente denominado rectificador totalmente controlado de cuatro cuadrantes. Este podría ser de la forma anteriormente denominada, o con variantes, como por ejemplo sin corriente circulante. O en lugar de funcionar ambos rectificadores a la vez, alternar su funcionamiento.

Pese a que este rectificador posee diversas ecuaciones que rigen su comportamiento, la más importante es la siguiente, que rige los ángulos de disparo.

Para asegurar que el funcionamiento de ambos rectificadores sea el mismo pero de sentido contrario, se debe asegurar primero, que las tensiones promedio que ambos entregan son iguales pero de sentido contrario.

$$V_{cd1} = -V_{cd2}$$

Dado que la tensión promedio depende del ángulo de disparo, se cumpliría la siguiente igualdad, que asegura que ambos ángulos de disparo deben estar desfasados 180 grados.

$$\alpha_2 = \pi - \alpha_1$$

Donde α_1 es el ángulo de disparo del rectificador positivo, y α_2 es el ángulo de disparo del rectificador negativo.

2.2. Ejemplo de diferentes rectificadores en el mercado

Los rectificadores totalmente controlados de cuatro cuadrantes no son un dispositivo comúnmente comercializado, ya que es una configuración compleja y especializada que solo se encuentra en investigación o industria. Existen dispositivos que permiten controlar el movimiento de motores en los cuatro cuadrantes, y a su vez también existen rectificadores de media onda, onda completa y de dos cuadrantes.

En este capítulo se hablará de los dispositivos que permiten controlar el movimiento de un motor en cuatro cuadrantes.

Para obtener un control en cuatro cuadrantes, existen diversos dispositivos comerciales. Estos son en su mayoría de uso industrial. Dos ejemplos de estos son los siguientes.

- **Convertidor de corriente continua DCS800 de la marca ABB [2]** (Figura 4). Este dispositivo permite obtener funcionamiento en los cuatro cuadrantes de Par-Velocidad y Corriente-Tensión. Este dispositivo posee unas características específicas para el uso industrial, con aplicaciones tales como: bancos de ensayos, elevadores para minas, laminadores, cargadores de batería...



Figura 4. Convertidor DCS800 de ABB [3]

Como se puede observar en la imagen anterior, para el mismo modelo existen distintos tipos, esto se debe a la gran variedad de uso que se puede ofrecer, desde tensiones de 230 V hasta los 1.200 V.

- **Sinamics DC Master de Siemens [3]** (Figura 5). Este dispositivo está diseñado para la alimentación de inducido y excitación de motores de corriente continua. Estos equipos compactos contienen una etapa de potencia que alimenta al inducido, y otra etapa que alimenta a la excitación. Permite su uso con corrientes dividida en dos rangos. Para corrientes entre 15 A y 1.200 A, ambas etapas están diseñadas con módulos de tiristores aislados eléctricamente. Para corrientes superiores, los tiristores usados son de disco.



Figura 5. Sinamics DC Master de Siemens [4]

- **Controlador de motor DC RS PRO (Figura 6).** Este módulo integrado permite el control en cuatro cuadrantes de motores de hasta 60 W, teniendo en su salida como máximo 35 V, y 2,2 A. Este controlador emplea la técnica de retroalimentación de inducido, que permite mantener una regulación de la velocidad.



Figura 6. Controlador de motor DC RS PRO [9]

- **Controlador de motor DC Maxon (Figura 7).** Controlador mediante PWM de cuatro cuadrantes. Este controlador permite manejar motores de corriente continua en cuatro cuadrantes mediante bucle cerrado o bucle abierto con tensiones de salida de hasta 50 V y 15 A [4].



Figura 7. Controlador motor DC Maxon [9]

2.3. Estudio de Arduino y sus Shield

2.3.1. Arduino

Arduino es una plataforma de código abierto para la creación de proyectos interactivos y prototipado electrónico. Se compone de una placa de desarrollo con un microcontrolador Atmel AVR y un entorno de programación que simplifica la escritura y carga de código en dicho microcontrolador.

La placa de Arduino ha sido diseñada pensando en la facilidad de uso, incluso para personas sin conocimientos previos de electrónica o programación. Está equipada con una serie de pines de entrada/salida que permiten la conexión de sensores, actuadores y otros componentes electrónicos. Estos pines pueden programarse para llevar a cabo diversas funciones, como la lectura de datos de sensores, el control de motores o luces, y la comunicación con otros dispositivos.

El entorno de programación de Arduino es gratuito y multiplataforma. Está basado en el lenguaje de programación Wiring y utiliza una variante simplificada de C++. El entorno incluye una biblioteca estándar y una serie de ejemplos y tutoriales que facilitan la programación de proyectos.

Arduino se ha convertido en una herramienta popular en el ámbito de la electrónica y la creación de prototipos debido a su simplicidad, versatilidad y bajo costo. Es utilizado tanto por aficionados como por profesionales en una amplia variedad de campos, como robótica, domótica, arte interactivo, Internet de las cosas (IoT) y muchas otras áreas donde se requiere control y automatización.

Además de la placa de desarrollo original, llamada Arduino Uno, existen diferentes modelos y variantes de placas Arduino que ofrecen diferentes características y capacidades, lo que permite adaptarse a las necesidades específicas de cada proyecto. También existe una gran comunidad de usuarios de Arduino que comparten conocimientos, proyectos y soluciones a través de foros, tutoriales y otros recursos en línea, lo que facilita el aprendizaje y la colaboración.

En la (Figura 8) se pueden ver algunos de los diferentes tipos de Arduino que existen. A parte de estos, también existen Shields oficiales de la marca Arduino, para cada uno de ellos.



Figura 8. Variantes de Arduino.

A parte de estas variantes anteriores, existen modificaciones de estas mismas, como por ejemplo Arduino UNO Wifi, que permite la conexión a una red Wifi sin necesidad de un Shield adicional. O ediciones especiales, como Arduino UNO Mini Limited Edition.

2.3.2. Arduino UNO y sus características

Como ya se ha explicado anteriormente, Arduino es una placa de desarrollo sencilla y versátil, a la par que potente. En este caso, nos centraremos en la placa de desarrollo Arduino UNO. Esta placa posee un microchip ATmega328P. Esta placa es la mediana de las diferentes placas que posee Arduino. Es la más usada, puesto que no es tan grande como la Arduino MEGA, y posee múltiples pines con diferentes funciones.

Las características técnicas de esta placa de desarrollo, extraídas de la página oficial de Arduino [5] son las siguientes Tabla 1:

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS ARDUINO UNO	
Microcontrolador	ATmega328P
Voltage operacional	5 V
Voltage de entrada (recomendado)	7-12 V
Voltage límite	6-20 V
Pines digitales Entrada/Salida	14 (6 de ellos ofrecen salida PWM)
Pines analógicos de entrada	6
Corriente Continua por Pin E/S	20 mA
Corriente Continua entregada en el pin 3.3 V	50 mA
Memoria Flash	32 KB (ATmega328P), 0.5 KB son usados por el bootloader o gestor de arranque.
SRAM (Memoria de acceso aleatorio)	2 KB
EEPROM (Memoria de solo lectura)	1 KB
Velocidad reloj interno	16 MHz
Longitud	68.6 mm
Ancho	53.4 mm
Peso	25 g

Tabla 1. Características técnicas Arduino UNO [5]

Para una mejor comprensión de esta placa, es necesario verla con sus distintos pines. (Figura 9)

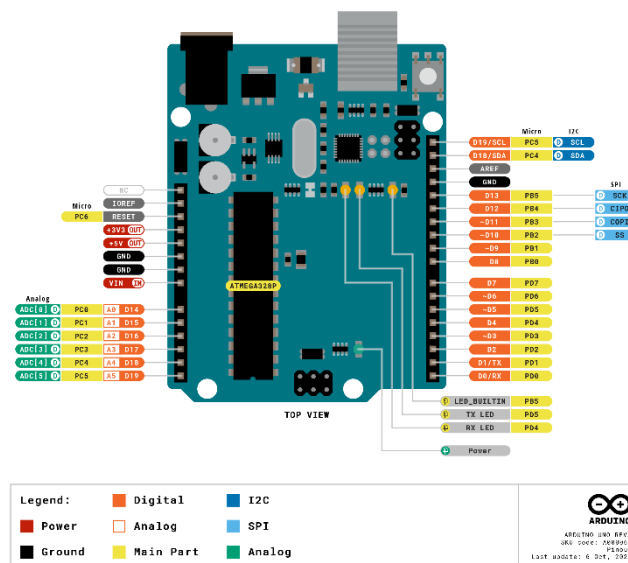


Figura 9. Pinout de Arduino UNO [2]

2.3.3. Shields de Arduino

Una shield de Arduino es una placa de expansión que se conecta directamente sobre una placa base de Arduino. Está diseñada para facilitar la conexión de componentes adicionales y ampliar las capacidades de la placa base. Las shields de Arduino generalmente se conectan a través de los pines de entrada/salida de la placa base y se apilan directamente sobre ella, proporcionando una interfaz fácil y rápida. Estas shields suelen tener un formato específico que coincide con el diseño y tamaño de la placa base de Arduino, lo que garantiza una conexión segura y estable.

Existen diferentes tipos de shields disponibles, cada una diseñada para una función o aplicación específica. Algunas de las shields más comunes incluyen:

- Shields de comunicación: Estas shields permiten la comunicación con otros dispositivos o redes. Por ejemplo, hay shields para conexión Wi-Fi, Bluetooth, Ethernet, GSM, entre otros. Estas shields facilitan la conexión y la comunicación con otros dispositivos o servicios.
- Shields de sensores: Estas shields están equipadas con una variedad de sensores, como sensores de temperatura, acelerómetros, giroscopios,

magnetómetros, sensores de luz, etc. Estas shields simplifican la adquisición de datos y el monitoreo de variables ambientales.

- Shields de actuadores: Estas shields están diseñadas para controlar diferentes tipos de actuadores, como motores paso a paso, servomotores, relés, etc. Permiten el control preciso de dispositivos mecánicos o eléctricos.
- Shields de pantalla: Estas shields incluyen una pantalla integrada, como una pantalla LCD o una matriz de LED, que permite mostrar información de manera visual. Facilitan la creación de interfaces de usuario y la visualización de datos.

Las shields de Arduino son especialmente útiles porque evitan la necesidad de realizar conexiones complicadas y reducen el tiempo de desarrollo de proyectos. Al permitir la ampliación y personalización de las capacidades de la placa base, las shields ofrecen una forma conveniente de adaptar Arduino a diferentes aplicaciones y necesidades específicas.

2.3.4. Shields de potencia.

Los shields de potencia para Arduino son placas de expansión que se conectan a un Arduino con el fin de brindar funcionalidades adicionales relacionadas con el manejo de energía, como el control de motores, la gestión energética y la manipulación de señales de alta potencia. Estos shields son ampliamente utilizados en una variedad de proyectos, desde robótica hasta automatización.

A continuación, se presentan algunos ejemplos populares de shields de potencia para Arduino que ofrecen diversas capacidades y características:

- **Adafruit Motor/Stepper/Servo Shield (Figura 10):** Este shield proporciona la capacidad de controlar hasta 4 motores de corriente continua o 2 motores paso a paso. Además, ofrece conexiones para servomotores, lo que lo convierte en una opción ideal para proyectos de robótica y mecatrónica. Características:
 - Comunicación I2C con Arduino.
 - 2 conexiones para servomotores de 5 V.
 - Posibilidad de uso de motores de 4.5 V hasta 13.5 V.
 - Facilidad de uso con librería.

-
- Motor Shield**
- Pines macho**
- Jumper alimentación**

- **Arduino Motor Shield Rev3** (Figura 11): Este shield, desarrollado oficialmente por Arduino, permite controlar hasta 2 motores de corriente continua o 1 motor paso a paso. Es compatible con las placas Arduino Uno y Arduino Mega, y se utiliza ampliamente en proyectos de robótica y automatización. Sus características son las siguientes:
 - Voltaje operacional: entre 5V y 12V.
 - Controlador motor: L298P, maneja 2 motores de continua o un motor paso a paso.
 - Máxima corriente: 2 A por canal, máximo 4 A (con alimentación externa).

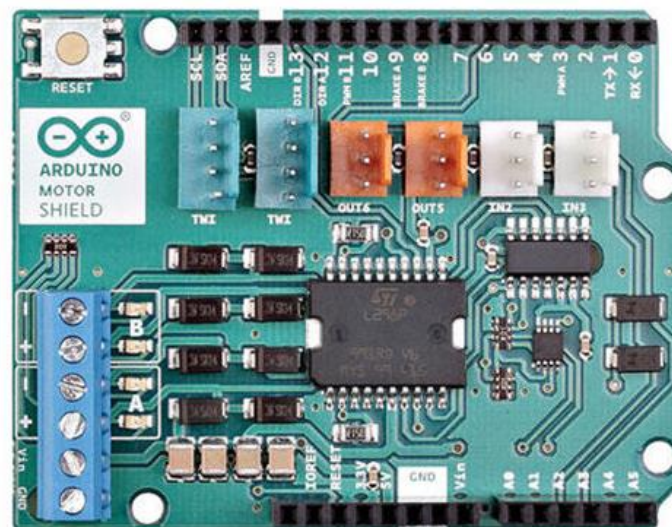


Figura 11. Arduino Motor Shield Rev3 [2]

- **Arduino 9 Axis Motion Shield (Figura 13).** Este shield es una placa de expansión diseñada para Arduino que integra un conjunto de sensores de movimiento en un solo dispositivo. Esta placa es compatible con diferentes modelos de Arduino y ofrece una solución conveniente para proyectos que requieren detección y seguimiento de movimiento en tiempo real. El shield combina tres tipos de sensores de movimiento: un acelerómetro, un giroscopio y un magnetómetro. Estos sensores trabajan en conjunto para proporcionar una medición precisa y completa del movimiento en tres dimensiones. A continuación, se describen brevemente las funciones de cada uno de estos sensores:

1. **Acelerómetro:** El acelerómetro detecta la aceleración lineal en las tres direcciones espaciales. Proporciona información sobre la orientación del objeto en relación con la gravedad y se utiliza para medir la aceleración o la inclinación.
2. **Giroscopio:** El giroscopio mide la velocidad angular o la tasa de rotación en los tres ejes. Proporciona información sobre la velocidad de rotación del objeto y se utiliza para detectar cambios en la orientación angular.
3. **Magnetómetro:** El magnetómetro mide el campo magnético terrestre en las tres dimensiones. Proporciona información sobre la orientación del objeto en relación con el campo magnético y se utiliza para detectar la dirección o el ángulo de inclinación en relación con el norte magnético.

El Arduino 9 Axis Motion Shield ofrece una interfaz sencilla para acceder a los datos de los sensores de movimiento. Puedes utilizar la biblioteca o librería específica para este shield que proporciona Arduino para facilitar la programación y lectura de los valores medidos por los sensores. Estos datos pueden ser utilizados para controlar motores, realizar seguimiento de objetos, realizar acciones basadas en el movimiento, entre otros.

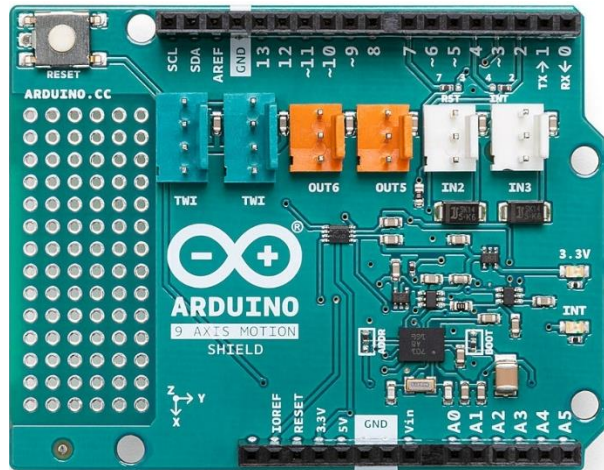


Figura 13. Arduino 9 Axis Motion Shield [2]

- Arduino 4 Relays shield** (Figura 12). El Arduino 4 Relays Shield es una placa de expansión diseñada para Arduino que permite controlar hasta cuatro relés de forma simultánea. Un relé es un interruptor electromagnético que puede abrir o cerrar circuitos eléctricos de mayor potencia utilizando señales de baja potencia. El shield se conecta directamente a una placa Arduino y proporciona las salidas necesarias para controlar los relés. Cada relé del shield puede ser activado o desactivado independientemente mediante el código programado en Arduino, lo que brinda un control flexible sobre diferentes dispositivos o cargas eléctricas. Es compatible con varios modelos de Arduino, como Arduino Uno, Arduino Mega, entre otros.

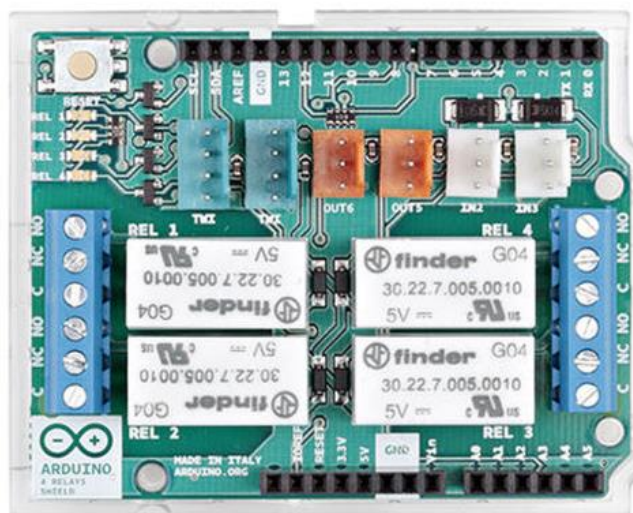


Figura 12. Arduino 4 Relays shield [2]

2.4. Herramientas utilizadas

2.4.1. Proteus

Proteus [6] es un software de diseño y simulación electrónica ampliamente utilizado en la industria y la educación. Es una herramienta poderosa que permite a los ingenieros y diseñadores crear prototipos virtuales de circuitos electrónicos y sistemas embebidos antes de llevarlos a la etapa de construcción física.

El software Proteus consta de dos componentes principales: ISIS (Integrated Simulation Integrated System) y ARES (Advanced Routing and Editing Software). ISIS se utiliza para diseñar y simular circuitos electrónicos, mientras que ARES se utiliza para diseñar y enrutar placas de circuito impreso (PCB). Ambos componentes están estrechamente integrados, lo que facilita la transición desde la etapa de diseño hasta la implementación física del circuito.

Características principales de Proteus:

1. Diseño de circuitos (Figura 14): Proteus ofrece una amplia biblioteca de componentes electrónicos que se pueden arrastrar y soltar en el área de diseño para construir circuitos electrónicos. Los usuarios pueden conectar componentes, definir propiedades eléctricas y establecer interacciones entre ellos.
2. Simulación: Una de las características más destacadas de Proteus es su capacidad de simular circuitos electrónicos. Permite realizar simulaciones interactivas y en tiempo real para verificar el comportamiento del circuito antes de construirlo físicamente. Esto incluye la simulación de señales analógicas y digitales, la depuración de código y la verificación de diseños lógicos.
3. Modelado de componentes: Proteus permite a los usuarios crear modelos de componentes personalizados o importar modelos de fabricantes para utilizar en sus diseños. Esto es especialmente útil cuando se trabaja con componentes específicos que no están disponibles en la biblioteca predeterminada.

4. Diseño de PCB: ARES (Figura 15), el componente de diseño de PCB de Proteus, proporciona herramientas para el diseño y enrutamiento de placas de circuito impreso. Permite definir la disposición de los componentes en la placa, trazar las pistas de conexión y generar archivos de producción para la fabricación de PCB.
5. Verificación de reglas y análisis: Proteus realiza verificaciones automáticas de reglas y análisis para garantizar la integridad del diseño. Esto incluye verificaciones de enrutamiento, colisiones, errores de conexión, distancias mínimas, entre otros.

Proteus es utilizado en una amplia gama de aplicaciones, como diseño de sistemas embebidos, electrónica de potencia, control industrial, IoT (Internet of Things), sistemas de control y educación. Su capacidad de diseño y simulación avanzada lo convierte en una herramienta valiosa para el desarrollo de proyectos electrónicos.

Es importante mencionar que Proteus es un software comercial y requiere una licencia para su uso completo. Sin embargo, también existe una versión de evaluación gratuita que proporciona funcionalidad limitada pero útil para proyectos más pequeños o educativos.

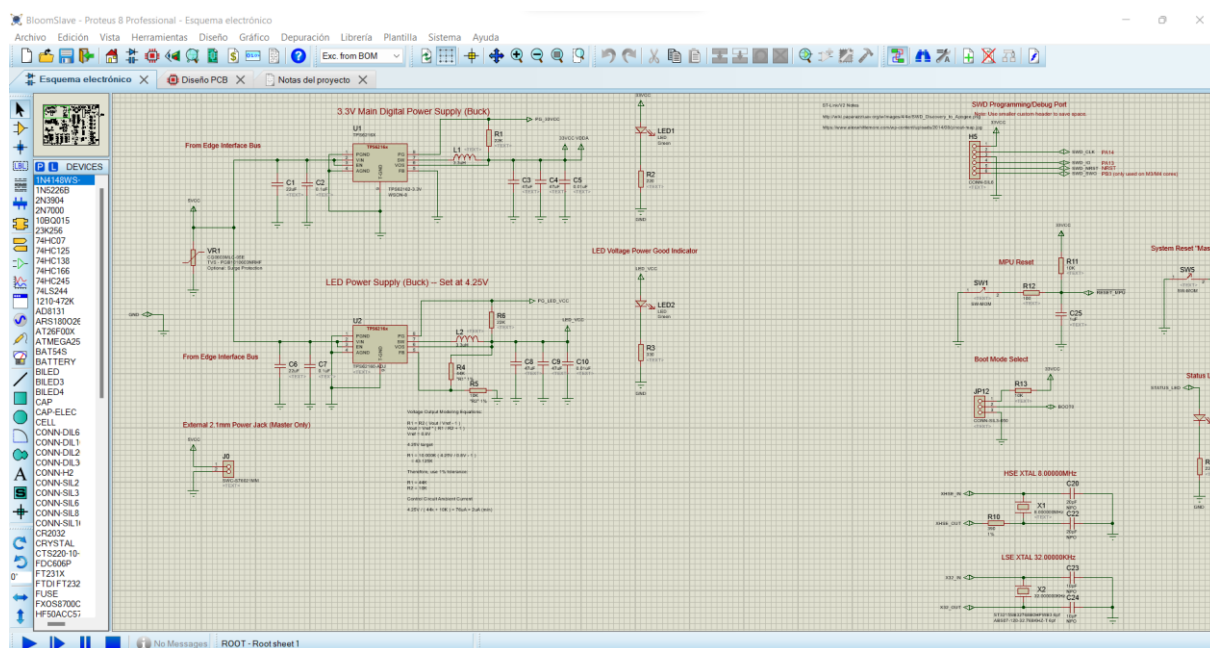


Figura 14. Interfaz Proteus ISIS

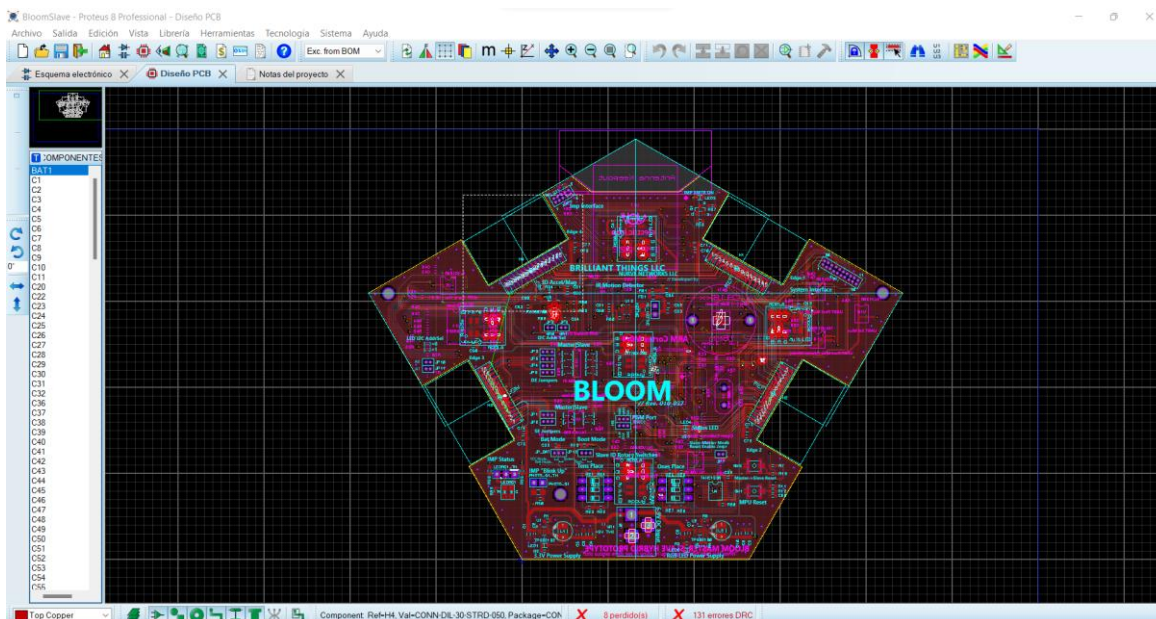


Figura 15. Interfaz Proteus ARES

Una de las ventajas que posee Proteus frente a otros programas de diseño de PCBs es que, aparte de poder obtener una visión de la PCB, y del esquemático dentro del mismo programa, también permite obtener una visión en 3 dimensiones de la PCB, con todos los componentes montados. En la Figura 16 se ve un ejemplo de esto:

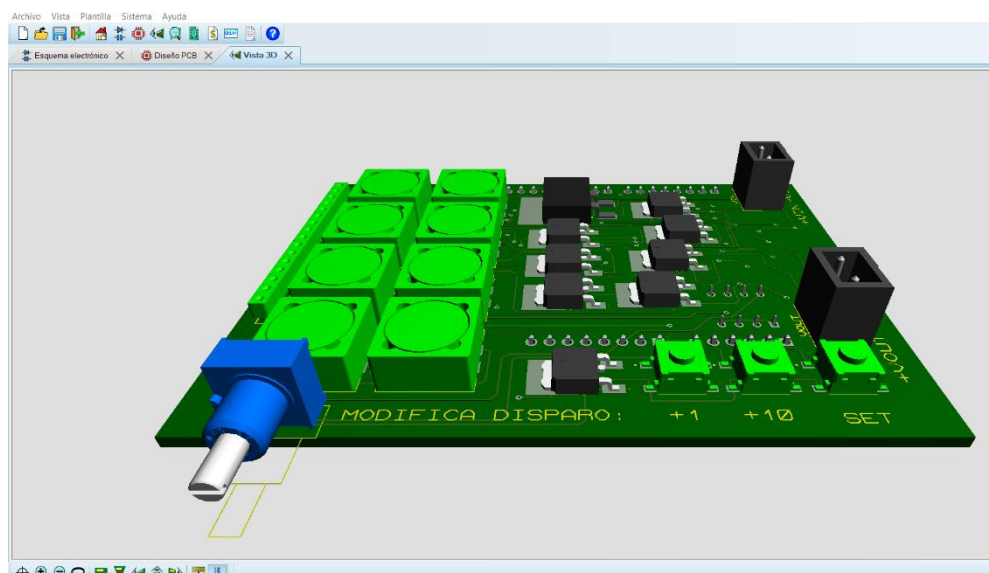


Figura 16. Visor 3D Proteus

Este software se puede obtener desde su página (<https://www.labcenter.com/>), obteniendo una licencia de pago. También existen licencias de estudiantes, asociadas a universidades, que permiten libertad de uso a los estudiantes o profesores. En el siguiente enlace existe una guía de uso del programa [7]

2.4.2. OrCAD

ORCAD es un software ampliamente utilizado en el diseño de circuitos electrónicos y PCB (Printed Circuit Board). Este software incluye varias herramientas especializadas que abarcan diferentes aspectos del proceso de diseño. A continuación, se describen brevemente algunas de las herramientas clave de ORCAD:

1. OrCAD Capture (Figura 18): Es la herramienta principal para el diseño de esquemáticos. Permite crear y editar esquemas electrónicos de forma intuitiva, seleccionar componentes de una amplia biblioteca, establecer conexiones entre ellos y verificar la integridad del diseño.
2. Pspice (Figura 17): Es un simulador de circuitos analógicos y mixtos basado en el estándar SPICE. PSpice permite simular el comportamiento de circuitos electrónicos en el dominio del tiempo y de la frecuencia, lo que ayuda a los diseñadores a evaluar el rendimiento de sus diseños y verificar su funcionamiento.
3. OrCAD PCB Editor: Es una herramienta de diseño de PCB completa que permite diseñar placas de circuito impreso. Proporciona capacidades avanzadas de colocación y enrutamiento de pistas, soporte para reglas de diseño personalizadas, análisis de integridad de señal y generación de archivos de producción.
4. OrCAD PCB Designer: Es una solución integrada para el diseño de PCB que combina las capacidades de OrCAD Capture y PCB Editor en una sola herramienta. Permite una transición fluida desde el diseño del esquemático hasta el diseño de PCB, simplificando el flujo de trabajo y mejorando la productividad.

Además de estas herramientas principales, ORCAD también incluye otras herramientas complementarias, como OrCAD Library Builder (para crear y gestionar bibliotecas de componentes), OrCAD Component Information System (para gestionar información de componentes) y OrCAD CIS (para la integración de datos de componentes en el diseño). ORCAD ofrece una amplia gama de funcionalidades y herramientas diseñadas para satisfacer las necesidades de diseño de circuitos



electrónicos y PCB, tanto para proyectos pequeños como para aplicaciones complejas y de alta gama. Su versatilidad y capacidad de integración hacen de ORCAD una opción popular entre los diseñadores y los ingenieros electrónicos.

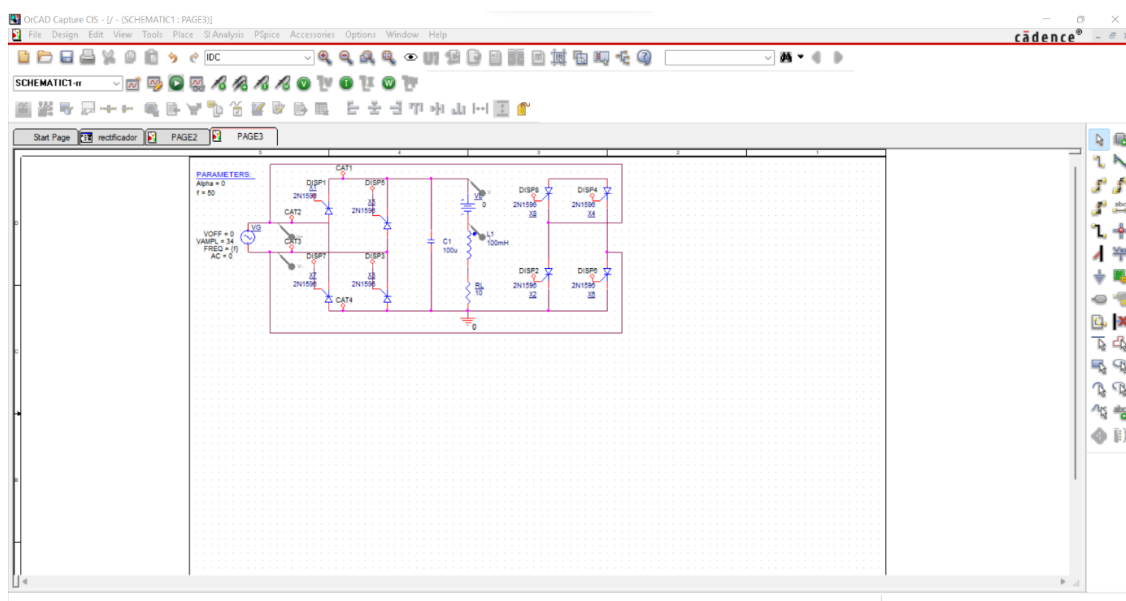


Figura 18. Interfaz Orcad Capture

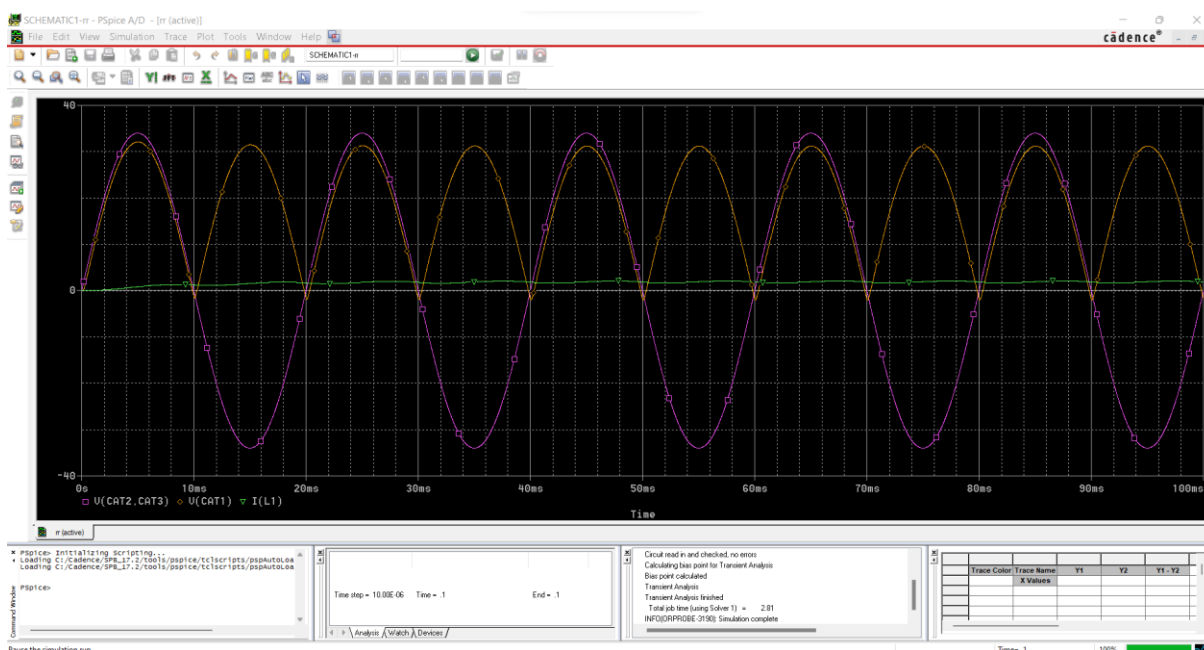


Figura 17. Interfaz Orcad Pspice

Este software, de la misma manera que el anterior, se puede obtener mediante licencia, en su página web (<https://www.orcad.com/>). Este también dispone de una versión demo, y una versión académica. Dentro de la misma página existen infinidad de videos tutoriales de uso. [8]

2.4.3. Arduino IDE

Arduino IDE (Figura 19) es un entorno de desarrollo integrado para crear y codificar placas Arduino. Está diseñado para herramientas de programación y software fáciles de usar en placas Arduino. Arduino IDE proporciona un entorno de programación y un entorno de desarrollo procedimental basado en el lenguaje de programación Wired.

Incluye también una interfaz intuitiva y características útiles como codificación de texto, finalización de código, administración de bibliotecas y monitoreo en tiempo real de los pines de la placa. También proporciona herramientas para depurar código y mostrar mensajes de error durante el proceso.

El objetivo principal de IDE Arduino es proporcionar a los principiantes y expertos un entorno de programación accesible y fácil de usar en el que puedan crear proyectos interactivos y modelos informáticos utilizando la placa Arduino. Además, Arduino IDE es una plataforma abierta que se puede descargar y usar de forma gratuita en varios sistemas operativos, incluidos Windows, macOS y Linux.

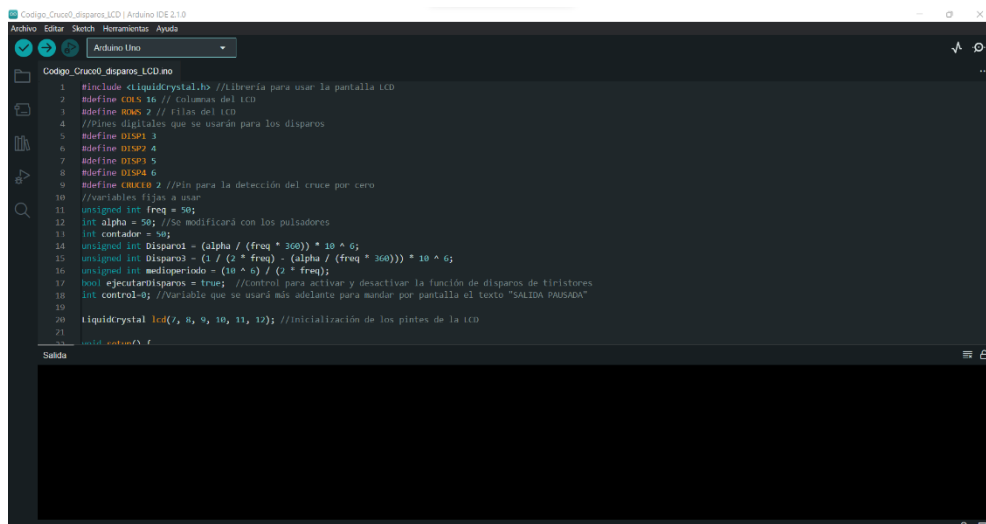


Figura 19. Interfaz Arduino IDE

Arduino IDE se puede obtener de manera gratuita desde su página oficial (<https://www.arduino.cc/>), así como guías de uso, y tutoriales de diferentes programas. [5]

3. IMPLEMENTACIÓN

El rectificador escogido para su implementación en el presente proyecto es el rectificador totalmente controlado de 4 cuadrantes, gobernado con Arduino. Este circuito irá conformado en su parte de potencia, con tiristores, que regularán la tensión y corrientes de salida, en función del ángulo especificado.

El rectificador totalmente controlado de 4 cuadrantes, se compone de dos rectificadores de 2 cuadrantes, conectados en antiparalelo. Esto asegura corrientes y tensiones tanto positivas como negativas.

Uno de los rectificadores usuales es el siguiente, extraído del libro de Muhammad Rashid [1].

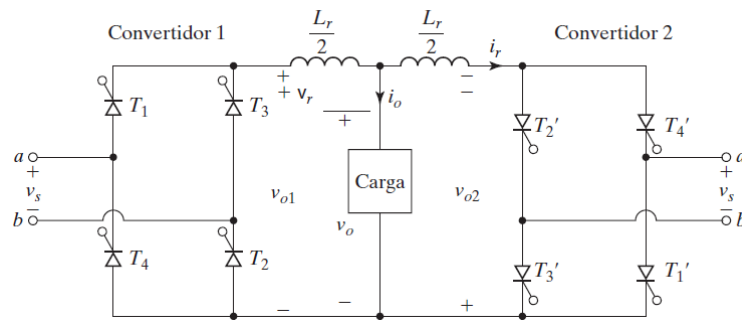


Figura 20. Circuito tipo rectificador totalmente controlado de 4 cuadrantes [1]

Pese a que en el presente proyecto se ha usado una variante de este circuito, se pueden extraer las ecuaciones de funcionamiento de este.

Por tanto, las tensiones promedio en la carga tendrán el siguiente valor:

$$V_{cd1} = \frac{2 \times V_m}{\pi} \times \cos \alpha_1 ; V_{cd2} = \frac{2 \times V_m}{\pi} \times \cos \alpha_2$$

Donde V_m es la tensión promedio en la entrada, y α_1 y α_2 los ángulos de disparo de los rectificadores positivo y negativo respectivamente.

La variante usada en este proyecto, carece de inductancia circulante. La única inductancia que posee es la de la misma carga. A su vez, se ha previsto la inserción

de un condensador en paralelo con la carga, que, como se detallará más adelante, eliminará sobretensiones en la carga.

El funcionamiento escogido para el circuito, será el siguiente:

- Para ángulos de disparo inferiores a 90° , únicamente conducirá el rectificador positivo.
- Para ángulos de disparo superiores a 90° , conducirá el rectificador negativo.

Este funcionamiento se programará en Arduino, y controlará los disparos de esta manera. Para el presente capítulo y el siguiente, se tendrá en cuenta, que, dado que en Orcad no se puede simular este comportamiento, se realizará mediante la desconexión del rectificador que no deba funcionar en cada intervalo.

En el presente capítulo y sus apartados, se estudiará a fondo el comportamiento de dicho rectificador, así como se calcularán los parámetros necesarios para su implementación.

3.1. Estructura general del hardware

El rectificador, así como su parte de control, seguirá la siguiente estructura (Figura 21).

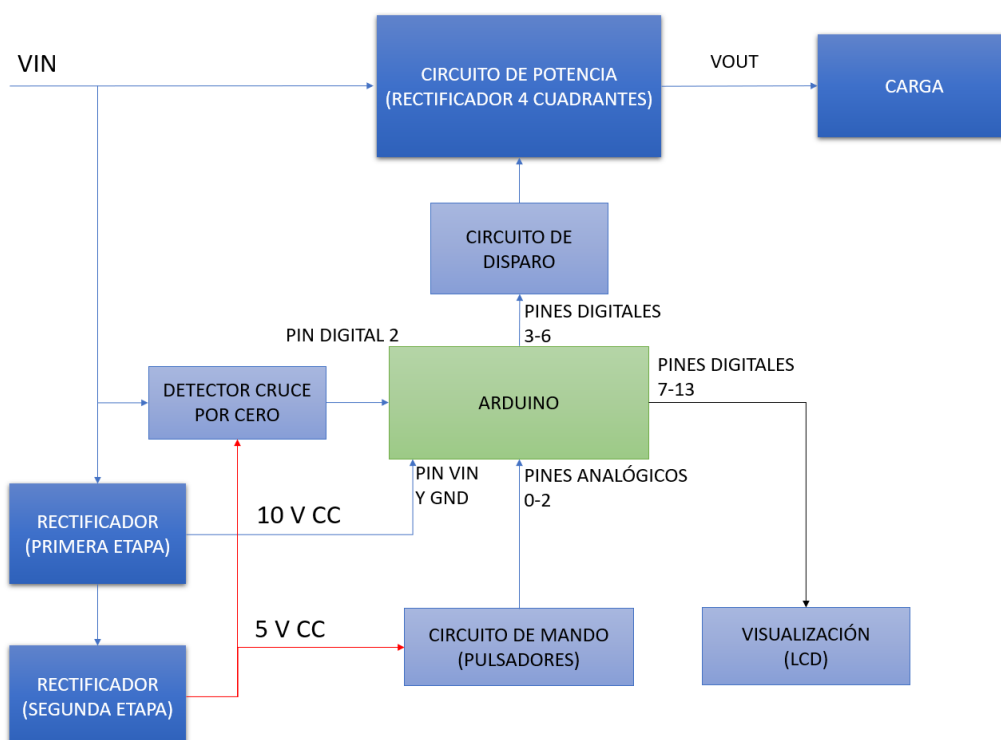


Figura 21. Estructura general del circuito.

De la estructura anterior, se pueden sacar las siguientes señales y partes del circuito:

- Señal de Alimentación. Señal de entrada de Corriente Alterna que alimentará el circuito, y la placa de Arduino. Se tomará esta señal de 12 V eficaces, con una frecuencia de 50 Hz.
- Rectificador (Primera etapa). Este rectificador, tomando la tensión de alimentación, la reducirá y rectificará para alimentar la placa de Arduino con una tensión de 10 V de corriente continua.
- Rectificador (Segunda etapa). Tomando como entrada, los 10 V de corriente continua del Rectificador (Primera etapa), devolverá una señal de 5 V de continua que alimentará al circuito de detección de cruce por cero, y al circuito de control de disparos.
- Circuito de cruce por cero. Este circuito tendrá como entradas la señal de alimentación y la salida del rectificador (segunda etapa). Servirá para detectar el paso por cero de la señal de alterna, y notificarlo al Arduino por el Pin digital 2, mediante un valor alto.
- Circuito de disparo. Este circuito tendrá como entradas los pines digitales 3-6, conectados a una tierra común. Disparará los tiristores necesarios en cada momento. Este circuito posee un aislamiento eléctrico entre la parte de control y la parte de potencia.
- Circuito de control disparos (pulsadores). Teniendo como entrada la tensión de salida del rectificador (Segunda etapa), y salida los pines analógicos 0-2, devolverá un valor bajo cuando se accione cada uno de los pulsadores.
- Circuito visualización (LCD). Esta parte del circuito, conectada a los pines digitales 7-12, permitirá visualizar por un LCD el ángulo que se está disparando.

Para una mejor comprensión del pinout de Arduino utilizado en cada funcionalidad, en la siguiente tabla se resumirá cada pin, con su función y al circuito al que pertenece.

Circuito	PIN	Función
Detector cruce por cero	DIGITAL 2	Detección de la señal de cruce por cero
Circuito de disparo	DIGITAL 3	Disparo rectificador positivo
	DIGITAL 4	Disparo rectificador positivo
	DIGITAL 5	Disparo rectificador negativo
	DIGITAL 6	Disparo rectificador negativo
Visualización	DIGITAL 7-13	Encendido y control LCD
Circuito de mando	ANALÓGICO 0	Pulsador +1
	ANALÓGICO 1	Pulsador +10
	ANALÓGICO 2	Pulsador SET

Tabla 2. Pines utilizados Arduino

3.1.1. Circuito de potencia

El circuito de potencia del presente proyecto tiene como finalidad convertir la tensión de alimentación en tensión continua variable, mediante el disparo de cada uno de los tiristores. Este, controlado por Arduino, activará el rectificador positivo para ángulos de disparo inferiores a 90 grados, y activará el rectificador negativo para ángulos de disparo superiores a 90 grados. El circuito que se ha diseñado es el siguiente:

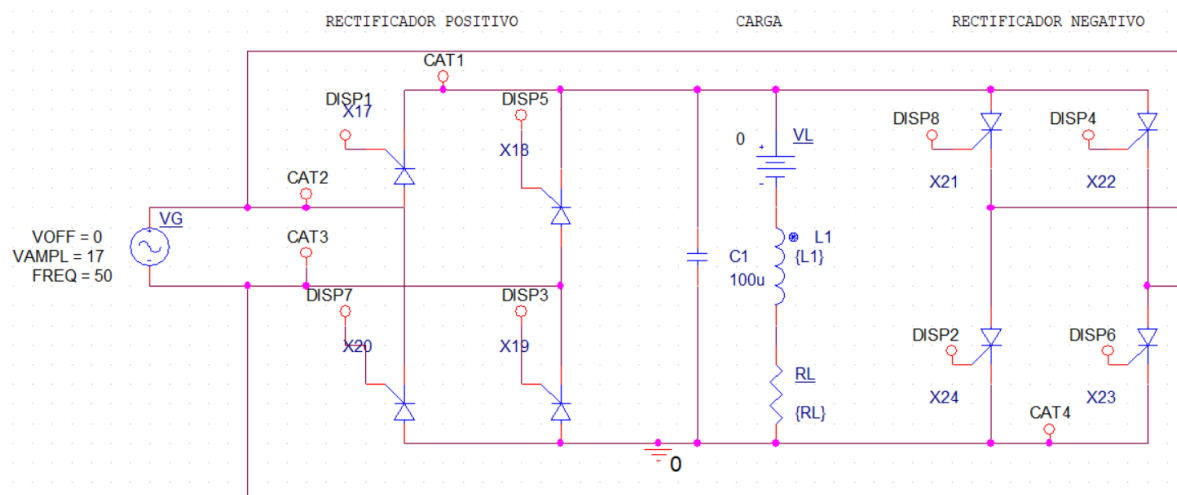


Figura 22. Circuito de potencia

Anteriormente, ya se ha explicado el circuito tipo que se va a seguir. Este circuito posee dos rectificadores de onda completa, colocados en antiparalelo. En la Figura 22, se puede observar el circuito que se ha diseñado.

En la anterior imagen se puede observar el circuito de potencia. Este se divide de la siguiente manera:

- Rectificador positivo. Este rectificador, como se ha explicado anteriormente, se activará cuando el ángulo de disparo se encuentre entre 0 y 90 grados.
- Rectificador negativo. Este rectificador se activará cuando el ángulo de disparo se encuentre entre 90 y 180 grados.
- Carga. Como se puede observar, la carga está compuesta de una resistencia, una inductancia y una fuente de alimentación. Estas se han añadido para simular el comportamiento de un motor en los cuatro cuadrantes. Para realizar las distintas pruebas, se modificarán estos valores.

A parte de esto anteriormente enumerado, también se ha añadido un condensador, en paralelo con la carga, para eliminar las oscilaciones posibles.

El condensador, se ha calculado con el valor necesario que elimine las sobretensiones producidas en la carga. Para ello, su valor debe ser tal, que para la frecuencia de funcionamiento (50Hz), se comporte como un circuito abierto, y para las frecuencias de oscilación se comporte como un cortocircuito.

Simulando el circuito anterior, sin el condensador, y realizando un análisis de Fourier, se puede observar que las frecuencias de oscilación van entre 10 y 40 kHz, teniendo su pico más alto a 27 kHz, por tanto, se tomará esta frecuencia. Dado todo lo anterior, escogiendo un condensador de 100 μ F aseguraríamos este comportamiento anteriormente determinado.

Como se puede observar en la imagen anterior, están colocados los distintos cátodos y disparos, anteriormente explicados en el apartado de Circuito de disparo.

Otro punto a tener en cuenta, es la elección del tiristor. El tiristor escogido en este caso es el modelo TS1220, el cual se ha escogido con encapsulado DPAK que

permite su integración a la PCB, y cuyas características más significativas se pueden observar en el capítulo de Hojas de Características. Este tiristor se ha escogido en base a sus características, ya que asegura un buen funcionamiento con corrientes de hasta 12 A, y tensiones de pico repetitivas de hasta 600 V.

3.1.2. Circuito de disparo

El circuito de disparo es el encargado de enviar la señal de disparo a los tiristores en cada momento. Este a su vez sirve de aislamiento entre Arduino y el circuito de potencia para la protección de este primero. El diseño se ha realizado usando inductores acoplados, que recibirán como entradas positivas las salidas de los Pines digitales 3-6, e irán conectados a una tierra común, la de Arduino. En sus salidas se conectarán cátodo y puerta de cada uno de los tiristores. En la siguiente imagen se puede observar el diseño escogido (Figura 23).

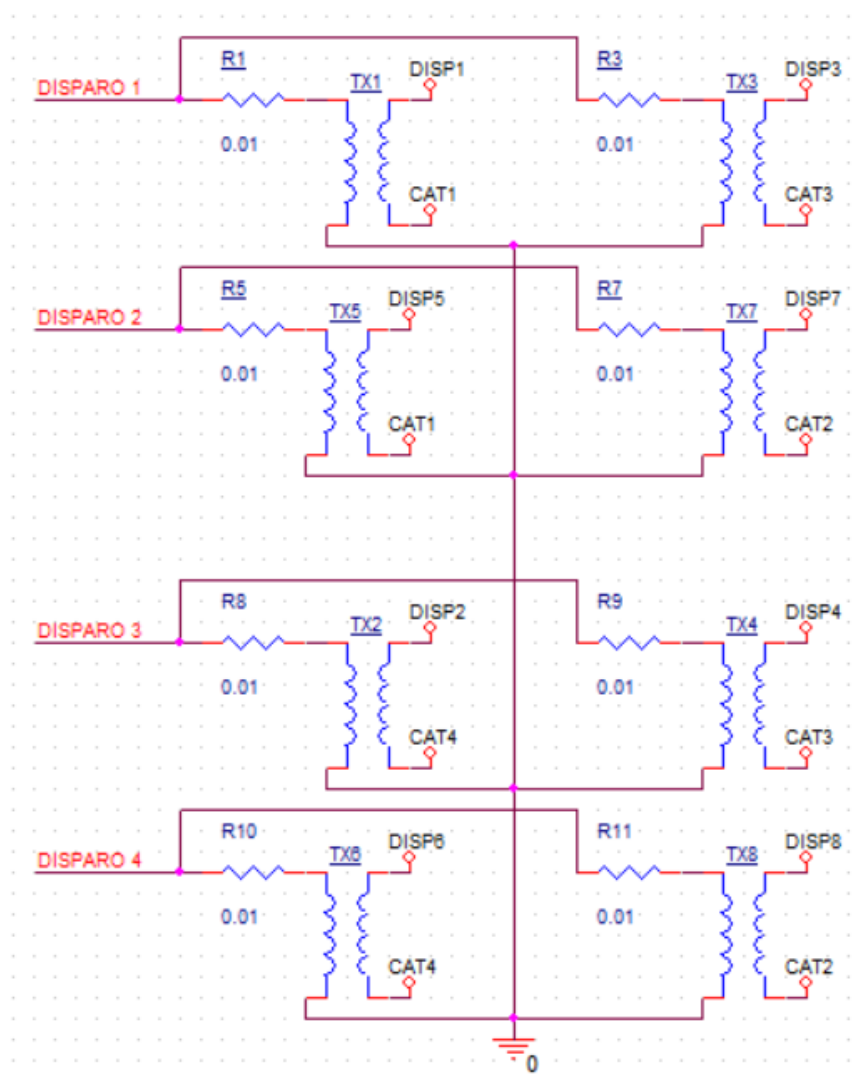


Figura 23. Configuración disparos tiristores

Como se puede observar en la Figura 23, los tiristores comparten entradas a pares, pero no comparten puertas ni cátodos, por tanto, es necesaria la instalación de un inductor por tiristor. Más adelante se observará y analizará los puntos de conexión de los cátodos y disparos en el circuito de potencia.

El inductor escogido es SRF1260-100M, cuyas características se especifican en el apartado de Hojas de Características. La elección de este dispositivo, se ha realizado ya que dadas sus características permite el envío de la señal de disparo al circuito de potencia, y a su vez, dado que dispone de un doble apantallamiento, no realizará interferencia alguna con el resto de componentes y circuitería, tanto de la PCB, como de Arduino.

En la Figura 23, se puede observar que las entradas se han nombrado como Disparo 1, Disparo 2, Disparo 3 y Disparo 4. Estas entradas se corresponden con los pines digitales 3-6 de Arduino.

Como se ha explicado anteriormente, al inicio del capítulo, se ha programado un comportamiento de disparo, que no se puede realizar en las simulaciones de Orcad, esto es, que funcionará un rectificador u otro en función del ángulo de disparo. Por tanto, este comportamiento se realizará en Orcad, desconectando un rectificador u otro en función del ángulo de disparo.

Dado lo cual, en la Figura 24 se puede observar un ejemplo de los disparos para un ángulo de disparo de 50 grados.

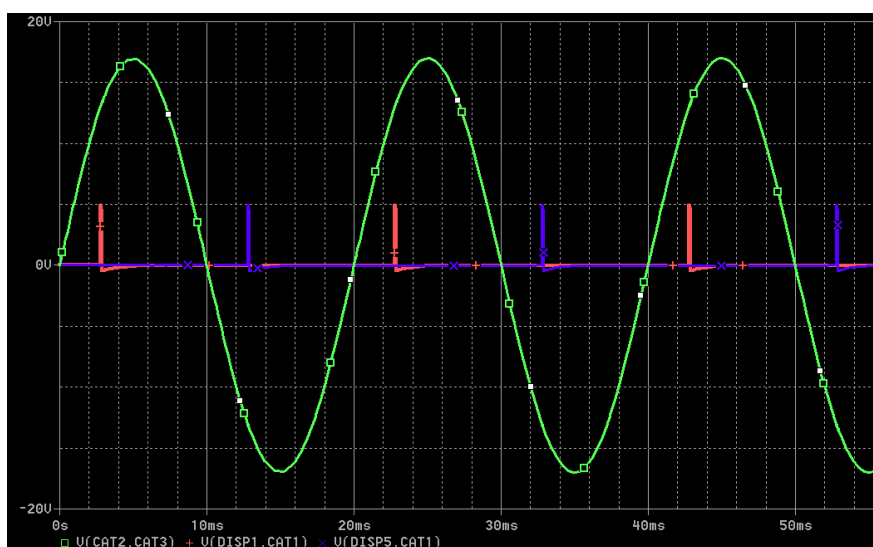


Figura 24. Disparos con ángulo de 50 grados

Dados los disparos anteriores, la salida tendrá la forma siguiente (Figura 25):

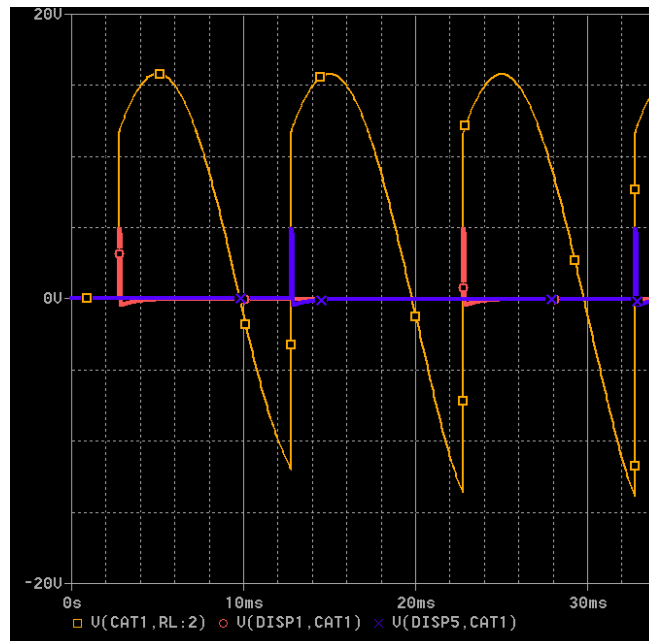


Figura 25. Salida con ángulos de disparo de 50 grados

Igual que en el caso anterior, en la Figura 26 puede observar un ejemplo de los disparos para un ángulo de disparo de 120 grados.

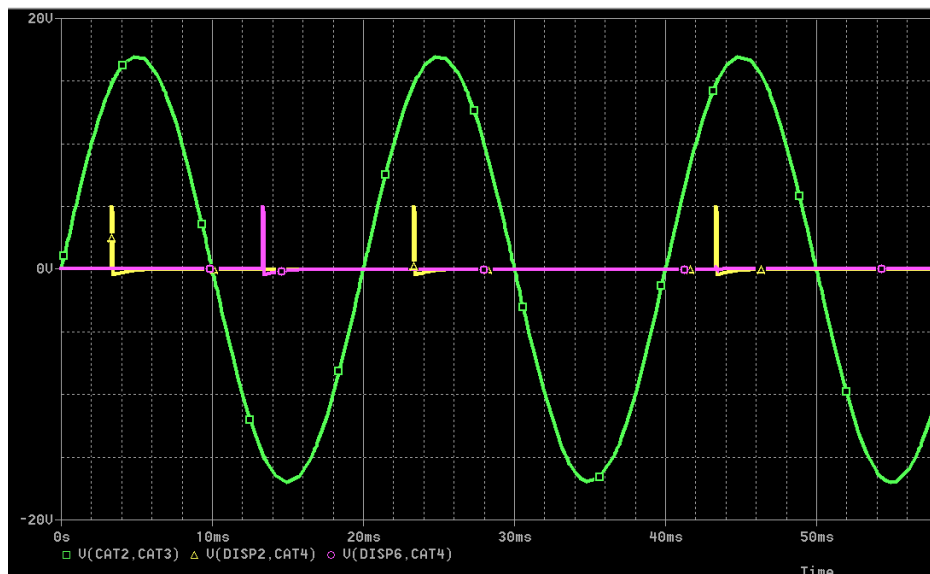


Figura 26. Disparos con ángulo de 120 grados

Dados los disparos anteriores, para un ángulo de disparo de 120 grados, la salida será de la siguiente forma (Figura 27):

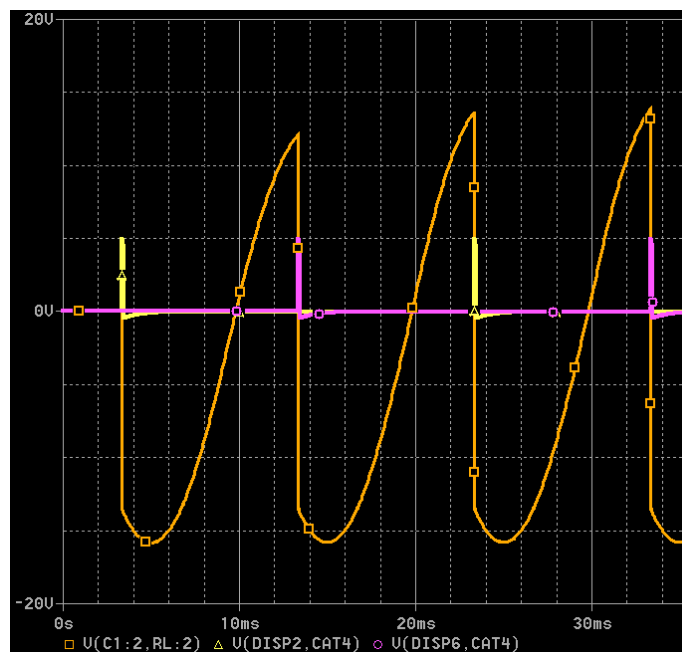


Figura 27. Salida con ángulos de disparo de 120 grados

Como se puede observar en las imágenes anteriores, cuando el ángulo de disparo es menor de 90 grados, se activan los disparos 1 y 2 y a su vez el rectificador positivo, y cuando el ángulo de disparo es superior a 90 grados, se activan los disparos 3 y 4, y a su vez el rectificador negativo. Este es el comportamiento que realizará Arduino, activará los pulsos en función del ángulo.

3.1.3. Circuito de mando y visualización.

El circuito de control de los disparos y de visualización, permite modificar el ángulo de disparo, usando pulsadores, y a su vez representar en un LCD el ángulo con el que se está disparando. El objetivo de este circuito es permitir modificar esta variable sin necesidad de acceder al código de programación, y poder observar lo que está ocurriendo en cada momento. En la Figura 28 se puede observar este circuito de control de los disparos y el circuito de visualización.

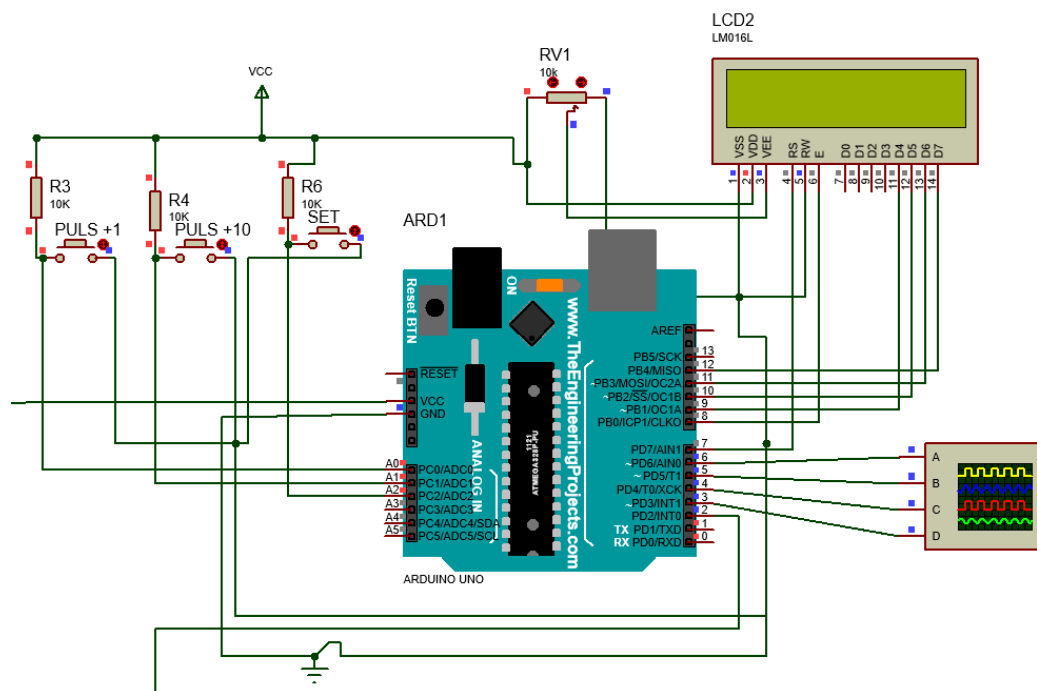


Figura 28. Circuito de control de disparos y visualización

La conexión del circuito de control de los disparos se lleva a cabo en los pines analógicos 0-2 de Arduino, que permiten detectar variaciones en la tensión de entrada. El circuito de visualización se conecta a los pines digitales 7-12, que controlarán la información que se muestra en el LCD.

Para poder detectar el cambio en los tres pulsadores, se ha previsto la configuración de resistencia de Pull-Up. Estas configuraciones de Pull-Up, y Pull-Down, se pueden observar en la Figura 29.

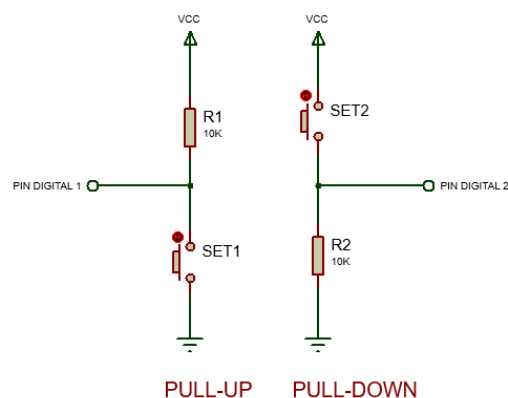


Figura 29. Pull-Up y Pull-Down

Estas configuraciones, permiten lo siguiente:

- Resistencia de pull-up. Si no se activa el pulsador, el Pin Digital 1 registrará valor alto. En el momento en que se active el pulsador, registrará valor bajo.
- Resistencia de pull-down. Si no se activa el pulsador, el Pin Digital 2 registrará valor bajo. En el momento en que se active el pulsador, registrará valor alto.

Dado esto, como se ha explicado antes, se conectarán tres pulsadores con configuración Pull-Up, que permitirá registrar los cambios en Arduino, devolviendo un valor bajo cuando se active.

El valor de la resistencia de pull-up se ha fijado con 10 kΩ para asegurar la circulación de baja corriente en los pines de Arduino.

Dado que la corriente máxima que permite Arduino en sus entradas es de 20 mA, para minimizar pérdidas y disipar toda la potencia en la resistencia, se limitará la corriente a un valor muy pequeño. En este caso, la corriente que suministrará cada pin será de:

$$I = \frac{5\text{ V}}{10\text{ k}\Omega} = 0,5\text{ mA}$$

En este caso, para poder disponer de los pines digitales de Arduino para activar el LCD, y los disparos, la conexión de estos pulsadores se realizará a los tres primeros pines analógicos.

Más adelante se explicará la forma en que se configurará Arduino para que active el LCD, y detecte cuando se pulsa cada uno de los pulsadores.

La conexión del LCD se ha realizado usando solo 4 dígitos y los pines RS, RW y E. El potenciómetro que se conecta a una de las patillas del LCD tiene el objetivo de regular la intensidad lumínica de la pantalla.

Los pulsadores se han colocado con el fin de modificar la señal, como se ha explicado anteriormente. Estos pulsadores realizarán las siguientes funciones:

- Pulsador 1. Aumenta el ángulo de disparo en 1. Conectado a la entrada analógica 0.
- Pulsador 2. Aumenta el ángulo de disparo en 10. Conectado a la entrada analógica 1.
- Pulsador 3. Fija el valor del ángulo de disparo, y reanuda los disparos. Conectado a la entrada analógica 2.

3.1.4. Circuito detector de cruce por cero.

El circuito detector de cruce por cero, tomando como entrada la señal de alimentación, y la tensión de 5 V de continua que entrega el rectificador (segunda etapa), entregará al Pin digital 2 de Arduino un valor alto cuando detecte el cruce por cero de la señal de alimentación. El circuito escogido será de la siguiente manera (Figura 30):

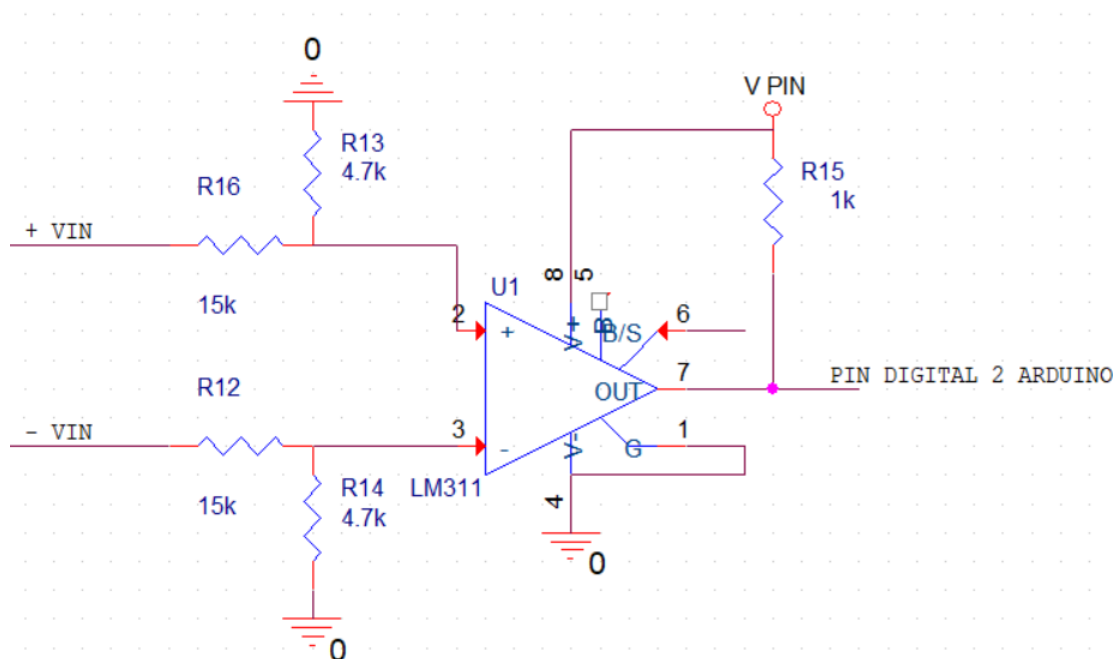


Figura 30. Circuito detector de cruce por cero.

Para la detección del cruce por cero, se ha previsto la instalación de un amplificador operacional, en este caso el LM311, que, mediante sus patillas de entrada detectará cuando la señal positiva sea superior a la negativa. La elección de este dispositivo se ha realizado en base a sus prestaciones. Estas son:

- Al no existir retroalimentación, funciona como comparador.
- Rapidez de respuesta.
- Salida de colector abierto, que permite la conexión directa con otros dispositivos o circuitos sin problemas de compatibilidad.
- Amplio rango de voltaje de operación.

Para el diseño del circuito, lo primero que se debe tener en cuenta, es que, el amplificador operacional, no permite una entrada superior a 15 V en sus patillas. Por tanto, se ha previsto un divisor de tensión para reducir esta tensión de entrada a 4 V. Este divisor de tensión tendrá los siguientes valores:

$$V_o = V_{in} \times \frac{R_{16}}{R_{16} + R_{13}}$$

Si se escoge el valor de R_1 de 15 k Ω , el valor de R_2 será el siguiente:

$$V_o \times R_{16} = V_{in} \times R_{13} - V_o \times R_{13} \rightarrow R_{13} = \frac{V_o \times R_{16}}{V_{in} - V_o}$$

$$R_{13} = \frac{4 \text{ V} \times 15 \text{ k}\Omega}{17 \text{ V} - 4 \text{ V}} = 4,61 \text{ k}\Omega \rightarrow R_{13} = 4,7 \text{ k}\Omega$$

El siguiente valor a calcular, es el de la resistencia conectada entre la alimentación de 5 V y la salida del operacional. Esta resistencia será de tal valor que asegure una baja corriente circulante por el pin de entrada de Arduino. Por tanto, dado que la tensión es de 5 V, se escogerá un valor de $R_{15} = 1 \text{ k}\Omega$, que asegurará una corriente de 5 mA.

Lo siguiente a tener en cuenta es, de qué forma detecta Arduino las entradas.

Dado que Arduino, en sus entradas digitales, solo entiende entre valor HIGH (5 V) y valor LOW (0 V), el amplificador se debe alimentar con 5 V en su patilla +V, y conectado a tierra en su patilla -V, para así devolver a la salida valor alto o bajo dependiendo de la situación.

Como ya se ha explicado anteriormente, el circuito, al detectar que el punto donde la entrada positiva comienza a ser superior que la entrada negativa, devuelve

un valor alto, en caso contrario, devuelve un valor bajo. Esto se puede observar en la Figura 31.

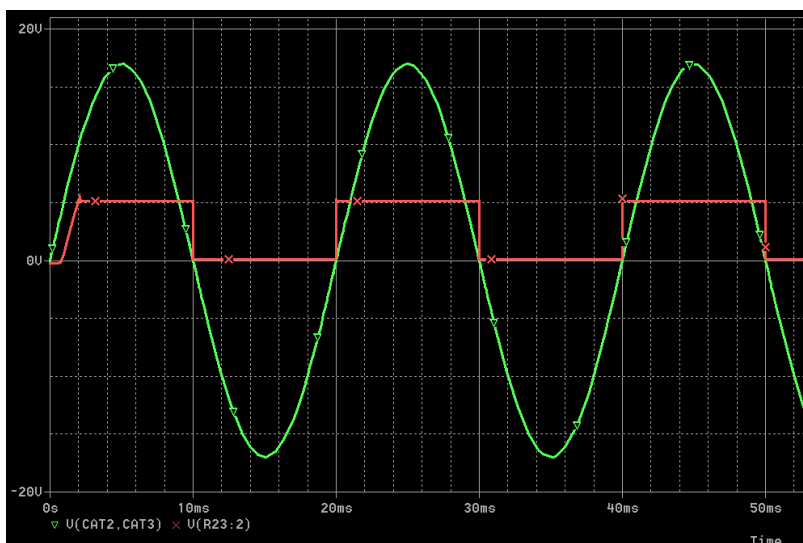


Figura 31. Señal circuito detector de cruce por cero (señal roja)

3.1.5. Rectificador. Primera y segunda etapa.

El circuito rectificador, tomando como entrada la señal de alimentación, devuelve dos salidas diferentes. En su primera etapa, devuelve una tensión continua de 10 V, y en la segunda etapa, devuelve una tensión continua de 5 V. Estas señales sirven para alimentar a Arduino, y los diferentes circuitos de control. El circuito escogido es el siguiente (Figura 32).

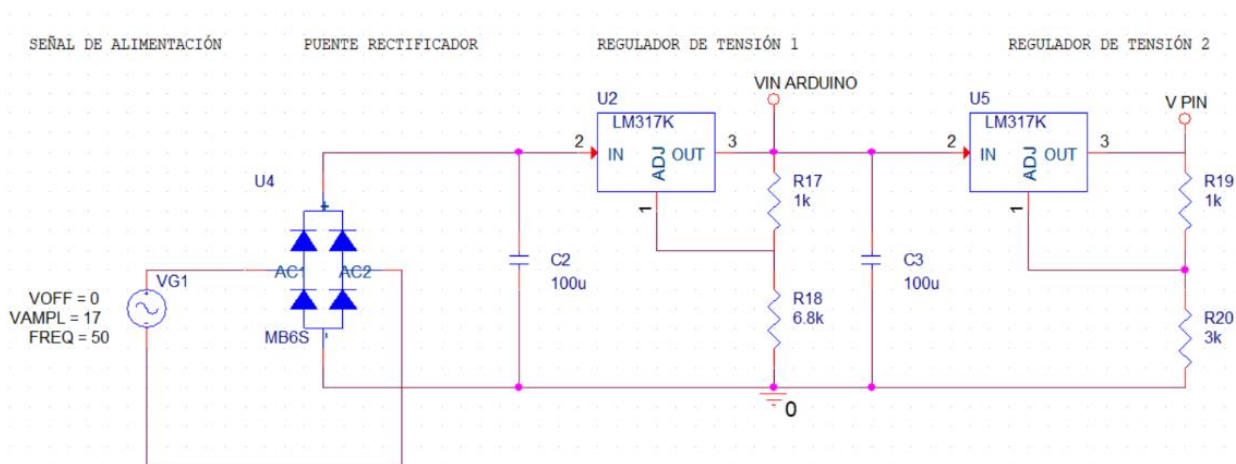


Figura 32. Circuito rectificador (Primera y segunda etapa)

En la Figura 32 se puede observar el circuito completo del rectificador, ambas etapas. Las etapas se dividirán de la siguiente manera: La primera etapa estará

compuesta por el Puente Rectificador y el Regulador de tensión 1, y la segunda etapa estará formada por el regulador de tensión 2.

Para el diseño del circuito se han escogido los siguientes elementos:

- Circuito integrado puente rectificador. Rectifica la señal alterna de entrada, y junto con el condensador acoplado en paralelo, reduce el rizado para hacerla lo más continua posible.
- Regulador de tensión 1. Tomando como entrada la salida del puente rectificador, ajustará el valor de salida, dependiendo del divisor de tensión, para fijarlo al valor necesario, en este caso 10 V.
- Regulador de tensión 2. Tomando como entrada la salida del regulador de tensión 1, ajustará el valor de salida a 5 V.

Por recomendación directa de Arduino [5], para alimentar la placa, la tensión no debe ser inferior a 7 V, ya que, si fuese menor, no se aseguraría que el resto de pines suministren 5 V, ya que puede alimentar menos y producir un mal funcionamiento. Tampoco debe ser superior a 12 V, aunque pueda funcionar hasta 20 V, ya que se puede sobrecalentar y dañar la placa. A parte de esto, los pines digitales y analógicos de entrada, deben alimentarse con 5 V, o un valor cercano a este, para asegurar que detectan las señales.

Dado todo lo anterior, se procederá al cálculo del convertidor.

En primer lugar, para el puente de diodos, se ha escogido un circuito integrado de la marca TAITRON, modelo MB6S (Figura 33). Este circuito integrado es un puente rectificador, que permite alimentarlo con hasta 600 V, y permite el paso de 0,5 A.



Figura 33. Puente rectificador MB6S

También se ha escogido, conectado en paralelo con el puente rectificador, un condensador, que eliminará el rizado de la señal. En este caso se ha escogido un condensador de 100 μF .

La siguiente fase del rectificador, es la de los reguladores lineales. El regulador escogido es LM317. Este regulador, haciendo un ajuste mediante su patilla de ajuste, permite obtener a la salida una tensión desde 1,2 V hasta 37 V. El primer paso para comenzar su diseño, es asegurar si es necesario o no atenuar la señal de entrada. Dado que la mínima diferencia de tensión que debe existir entre la entrada y la salida es de 5 V, y al corriente máxima que debe circular es de 1,5 A, se puede asegurar que no se superarán estos valores, por tanto, no es necesario disminuir la tensión de entrada.

Lo siguiente que se debe calcular, es el divisor de tensión conectado entre la señal de salida del regulador y la señal de ajuste (Figura 34). Para calcular este divisor de tensión, se seguirá la siguiente imagen extraída de la hoja de características del regulador de tensión.

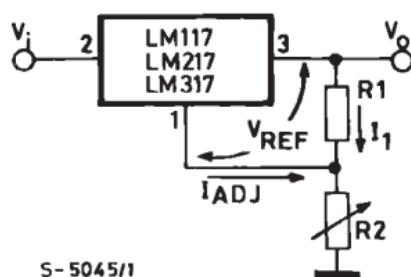


Figura 34. Divisor de tensión conectado al regulador de tensión

Se seguirá para el cálculo de la tensión de salida, la ecuación del divisor de tensión:

$$V_o = V_{ref} \times \frac{R_{17} + R_{18}}{R_1}$$

Donde el valor de la tensión de referencia viene dado en la hoja de características, y tiene el valor de 1,25 V, y el valor de la resistencia R_{17} se fijará en 1k Ω . Por tanto, para asegurar 10 V a la salida, el valor de la resistencia R_{18} será:

$$V_0 = 10 \text{ V} = 1,25\text{V} \times \frac{1\text{k}\Omega + R_{18}}{1\text{k}\Omega} \rightarrow R_{18} = 7\text{k}\Omega$$

Dado que este valor no es comercial, se escoge el valor de 6,8kΩ, ya que permitirá ofrecer un valor muy cercano a 10 V.

El último paso en el diseño del rectificador, es escoger los valores de resistencias del divisor de tensión asociado a la segunda etapa del rectificador, para obtener los 5V en los pines de entrada. Dado el mismo esquema, y la misma ecuación que hemos usado antes para el cálculo del primer regulador de tensión, el primer valor de la resistencia se fijará en 1kΩ, y el segundo se escogerá de acuerdo a la ecuación.

$$V_0 = 5 \text{ V} = 1,25\text{V} \times \frac{1\text{k}\Omega + R_{20}}{1\text{k}\Omega} \rightarrow R_{20} = 3\text{k}\Omega$$

3.2. Disipación de calor

Después del diseño del circuito, se debe realizar el estudio necesario para poder comprobar si fuese necesaria la instalación de disipadores de calor en cada uno de los puntos “más calientes”. Lo primero que se debe realizar es consultar en las hojas de características la temperatura máxima de unión, temperatura máxima ambiente, resistencia térmica unión-ambiente. Con estos datos, se debe calcular la potencia que disipará por si solo, sin necesidad de disipador:

$$P_d = \frac{T_{j,max} - T_{a,max}}{R_{ja}}$$

Donde:

- P_d es la potencia disipada, [W]
- $T_{j,max}$ es la temperatura máxima en la unión, [°C]
- $T_{a,max}$ es la temperatura ambiente máxima, [°C].
- R_{ja} es la resistencia térmica entre la unión y el ambiente, [°C/W]

Si esta potencia anteriormente calculada, es superior que la potencia máxima del dispositivo, no será necesario instalar disipadores.

Para asegurar el buen comportamiento de los dispositivos sin necesidad de instalar un disipador, habrá de tenerse en cuenta un coeficiente de seguridad k , al cual se le dará un valor de 0,8, por posibles imprevistos en el circuito que hagan que se incremente la temperatura. Añadiendo el coeficiente de seguridad, la ecuación anterior quedará de la siguiente forma:

$$\frac{P_d}{k} = \frac{T_{j,max} - T_{a,max}}{R_{ja}}$$

Dado todo esto, se procederá al cálculo de la potencia de disipación, y si fuese necesario, el disipador, de los componentes del circuito. Los componentes que se tendrán en cuenta para este cálculo serán los siguientes:

- Tiristores
- Regulador de tensión.
- Puente de diodos.

Se tendrán en cuenta estos componentes ya que son estos por los que circularán mayores corrientes, trabajarán bajo tensiones mayores, por tanto, entregarán una mayor potencia. Los componentes del circuito de control no deberán tenerse en cuenta, ya que trabajarán con 5 V, y bajas corrientes.

3.2.1. Cálculo potencia de disipación tiristor TS1220.

Para el cálculo del disipador asociado al tiristor, lo primero que se debe hacer es extraer los parámetros necesarios de su hoja de características.

- Temperatura máxima de la unión $T_{j,max} = 125\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Temperatura ambiente máxima $T_{a,max} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Resistencia térmica entre la unión y el ambiente $R_{ja} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$

Dado esto, la potencia que será capaz de disipar el tiristor es de:

$$\frac{P_d}{0,8} = \frac{125 - 25}{70} \rightarrow P_d = 0,8 \times 1,43 = 1,14\text{ W}$$

La potencia máxima que entregará el tiristor se calculará de la siguiente manera:

$$P_{max} = (V_i - V_o) \times I_o$$

Donde $V_i - V_o$ es la tensión que cae en él, e I_o es la corriente que circula por él.

Teniendo en cuenta que, la máxima tensión que caerá en él es de 0,6, y la corriente máxima que circulará por él será de 1,8 A. La potencia que entregará el tiristor será de:

$$P_{max} = 0,6 V \times 1,8 A = 1,08 W$$

Esta potencia es inferior a la que disipará el tiristor, por tanto, no es necesaria la instalación de un disipador.

3.2.2. Cálculo potencia de disipación regulador de tensión LM317

Teniendo en cuenta que la tensión que caerá en el regulador será la de la entrada (17 V), menos la de salida de 10 V, y la corriente que consumirá será 50 mA como máximo, que es la que consume Arduino. Por tanto, su potencia máxima será de:

$$P_{max} = (17 V - 10 V) \times 50 mA \times \frac{1 A}{1.000 mA} = 35 mW$$

Esta potencia, será muy inferior a la que disipe el componente, por tanto, no es necesario calcular el resto de datos.

3.2.3. Cálculo potencia de disipación puente de diodos MB6S.

De la hoja de características del puente rectificador se puede extraer que la potencia total que el dispositivo disipará es de 1,4 W. También se puede extraer que la corriente que circulará máxima es de 0,5 A. Teniendo en cuenta que en el puente no caerá más de 1 V, la potencia máxima que entregará el puente rectificador será:

$$P_{max} = 1\text{ V} \times 0,5\text{ A} = 0,5\text{ W}$$

Si se aplica el coeficiente de seguridad a la potencia disipada que se ha extraído de la hoja de características:

$$P_d = 0,8 \times 1,4\text{ W} = 1,12\text{ W}$$

Como se puede observar, la potencia máxima que disipará el puente rectificador es superior a la potencia máxima que entregará. No será necesario incluir un disipador adicional.

3.3. Programación

En el presente capítulo se detallará cada una de las funciones utilizadas en el código de Arduino, así como el objetivo de cada una de ellas.

3.3.1. Definición de variables y librerías.

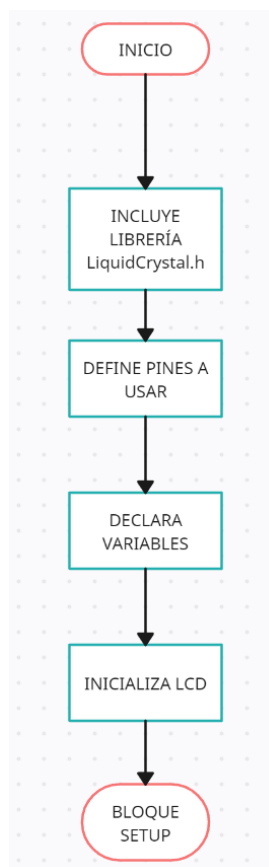


Figura 35. Diagrama de flujo inicio programa

En esta primera parte del código (Figura 35) se realizarán varias acciones:

- Incluir la librería a usar, en este caso solo se usará la librería asociada al LCD, llamada LiquidCrystal.h
- Definir el número de columnas y filas del LCD.
- Definir los pines a usar, en este caso serán el pin para la detección del cruce por cero (Pin digital 2), los cuatro pines para los disparos (Pines digitales 3-6), y los tres pines para la detección de los pulsadores (Pines analógicos 0-2).
- Fijar las variables: Frecuencia, ángulo, contador, etc.
- Inicialización de los pines de la LCD (7-12).

3.3.2. Bloque Setup

En el código de Arduino, el bloque Setup es el bloque que se realiza una única vez al comienzo del programa. Este sirve normalmente para configurar los modos de las entradas/salidas, la configuración del monitor serie, etc.

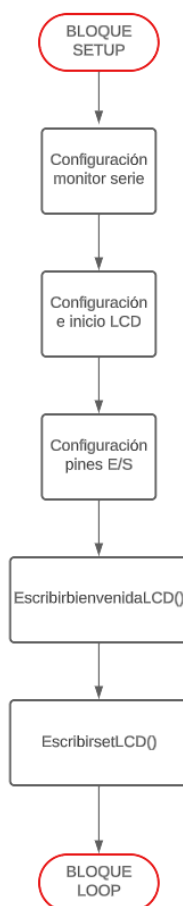


Figura 36. Diagrama de flujo bloque Setup

En este caso, las funciones a realizar dentro del bloque de Setup (Figura 36) son las siguientes:

- Configuración del monitor serie.
- Configuración de las filas y columnas del LCD, e inicio del LCD.
- Configuración de los pines de disparo como salidas (Pines digitales 3-6).
- Configuración del pin de detección del cruce por cero como entrada (Pin digital 2).
- Envío del mensaje de bienvenida al LCD.
- Envío del mensaje de salida activada.

3.3.3. Bloque Loop

El bloque Loop es el que se ejecuta constantemente. La estructura que se ha definido en este bloque Loop (Figura 37) es la siguiente:

- Si la variable booleana ejecutarDisparos es true, activa la función que realiza los disparos.
- Si se lee en el pin analógico 0 un valor cercano a cero, se pausan los disparos (se configura la variable booleana ejecutarDisparos como false, solo si es la primera vez que se pulsa), se aumenta el contador en 1, y se representa por pantalla. En caso de que el valor del contador sea superior a 180, se resta 180.
- Si se lee en el pin analógico 1 un valor cercano a cero, se pausan los disparos (se configura la variable booleana ejecutarDisparos como false, solo si es la primera vez que se pulsa), se aumenta el contador en 10 y se representa por pantalla. En caso de que el valor del contador sea superior a 180, se resta a 180. Se escribe por pantalla el valor del ángulo.
- Si se lee en el pin analógico 2 un valor cercano a cero, se fija el valor del contador en Alpha, se recalculan los valores de los retardos de los disparos, y se reanuda la función que realiza los disparos (se configura la variable booleana ejecutarDisparos como true). También se escribe por pantalla que la función está activa, y el ángulo que tiene.

El bloque Loop sigue el siguiente diagrama de flujo (Figura 37).

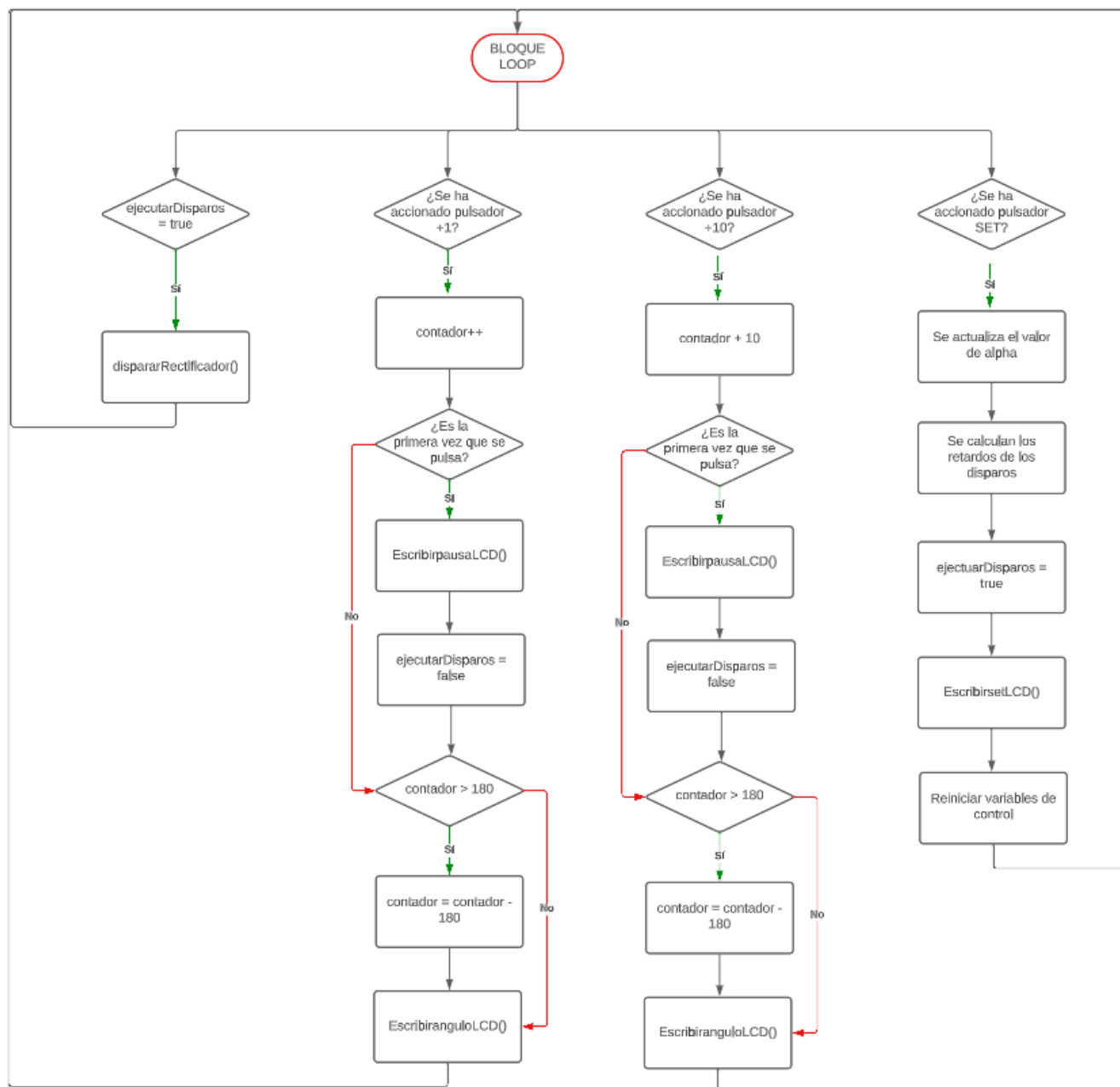


Figura 37. Diagrama de flujo bloque Loop

3.3.4. Funciones

Para simplificar el código, y poder realizar la llamada a determinadas funciones, que se usan varias veces, se han usado las siguientes funciones.

3.3.4.1. Función dispararRectificador ()

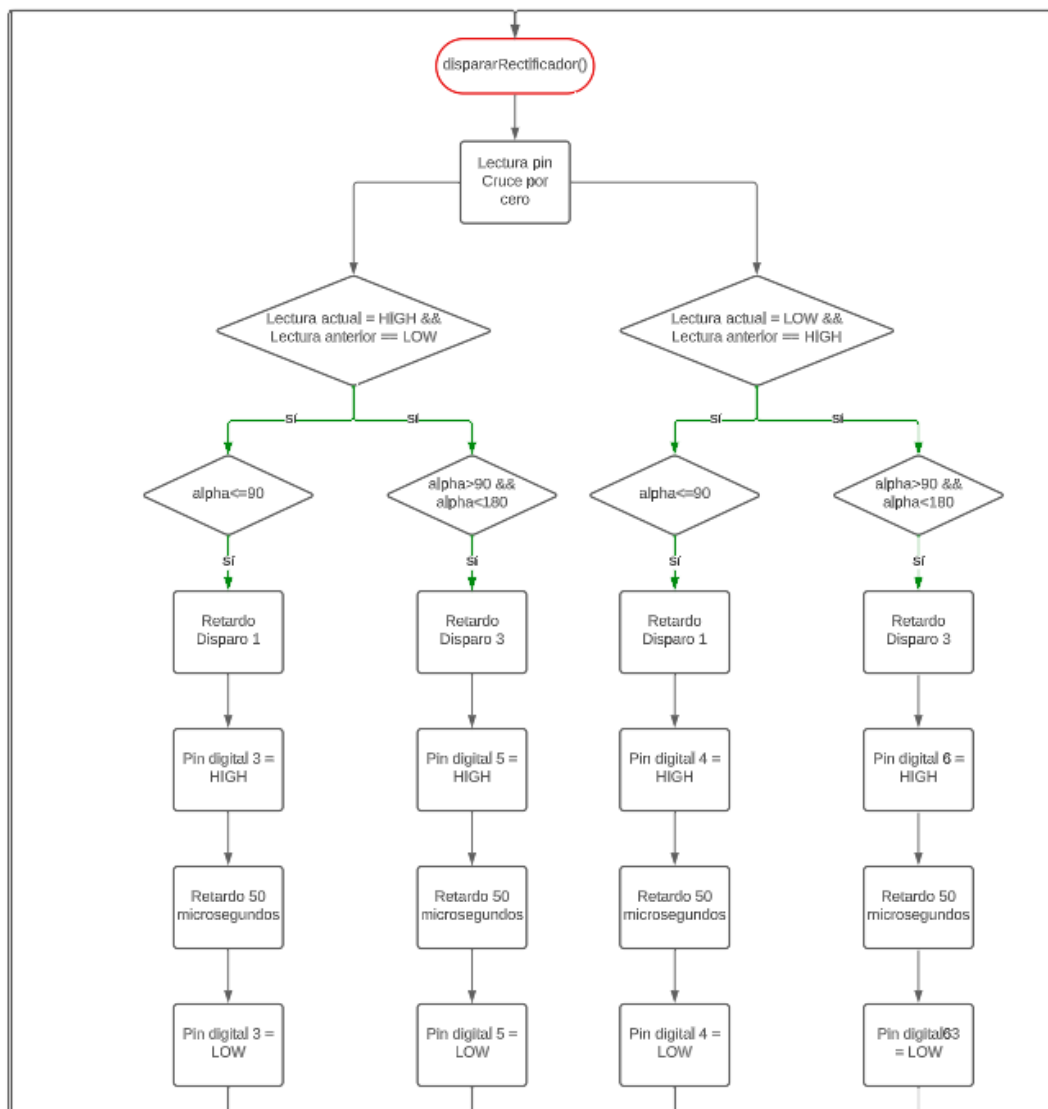


Figura 38. Diagrama de flujo dispararRectificador()

La función `dispararRectificador()` (Figura 38) lee el pin asignado al detector de cruce por cero (Pin digital 2), y en caso de que la señal esté en el momento en valor alto, y anteriormente estuviese en valor bajo (Flanco de subida), activa el pulso del primer semiciclo. En caso contrario, valor actual bajo, y anterior alto (Flanco de bajada), se activa el pulso en el semiciclo negativo.

Si el ángulo es menor de 90° , activa el disparo en el primer o segundo pin digital (dependiendo del flanco que sea) después de esperar el retardo calculado.

Si el ángulo es superior a 90° , el disparo se realiza de la misma forma, solo que en lugar del primer y segundo pin digital, usa el tercero y cuarto.

3.3.4.2. Función EscribiranguloLCD()

La función EscribiranguloLCD() se usa cuando alguno de los pulsadores de modificación del ángulo se activa. Esta función escribe lo siguiente por pantalla:

MODIFICA ANGULO

ALPHA: “contador” GRAD

3.3.4.3. Función EscribirpausaLCD()

La función EscribirpausaLCD() se usa cuando se activa por primera vez alguno de los pulsadores de modificación del ángulo. Esta función escribe lo siguiente por pantalla:

SALIDA PAUSADA

MODIFICA ANGULO

Tras esto, realiza un retardo de 2 segundos.

3.3.4.4. Función EscribirbienvenidaLCD()

La función EscribirbienvenidaLCD() se usa únicamente al principio de la ejecución del código. Esta función escribe lo siguiente por pantalla:

BIENVENIDO SELEC

ANGULO LUEGO SET

Tras esto, realiza un retardo de 2 segundos.

3.3.4.5. Función EscribirsetLCD()

La función EscribirsetLCD() se usa cuando se activa el botón de SET y en el bloque Setup. Esta función escribe por pantalla lo siguiente:

SALIDA ACTIVADA

ALPHA: “contador” GRAD

Donde contador será la variable que guarda el valor del ángulo.

3.4. Diseño de la placa de circuito impreso

Para la realización de la placa de circuito impreso, o PCB, se ha usado el software de Proteus, la herramienta ARES. Dada la complejidad del circuito, y la cantidad de elementos de los que se dispone, para poder realizar la placa lo más ajustada posible, y del menor tamaño, se ha optado por colocar elementos en la placa superior e inferior de esta.

Lo primero que se debe tener en cuenta son las anchuras de las diferentes pistas. Las pistas se separarán en dos partes, las que pertenecen al circuito de potencia y las que pertenecen al circuito de control.

Para el diseño de PCBs, se toman como referencia las normas IPC 2221y 7351. En base a esta norma se puede obtener el ancho de una pista en función de su corriente, el grosor de la capa de cobre, el incremento de temperatura máximo y tres constantes que define esta norma. La ecuación que define esta norma es la siguiente:

$$\text{Ancho pista} = \frac{\left(\frac{I}{k_1 \times \Delta T^{k_2}}\right)^{\frac{1}{k_3}}}{L \times 1,378}$$

- Las constantes a tener en cuenta son k_1 , k_2 y k_3 , que para pistas externas, ya que en este proyecto no se dispone de pistas internas, tendrán los valores de 0,0647, 0,4281 y 0,6732 respectivamente.
- I será la corriente máxima que circulará por la pista.
- L es el grosor de la capa en onzas por pie cuadrado, que en este caso se ha escogido 0,035 mm.
- ΔT es el incremento de temperatura máximo.

Como ya se ha dicho, este ancho se dividirá en dos partes.

- Ancho de pista en circuito de potencia.

Para el ancho de la pista del circuito de potencia, se tomarán 2 A, ya que, dependiendo de la carga, esta corriente variará. Esto solo será aplicable al circuito rectificador en el que se encuentran los tiristores.

$$\text{Ancho pista} = \frac{\left(\frac{2}{0,0647 \times 15^{0,4281}} \right)^{\frac{1}{0,6732}}}{0,8714 \times 1,378} = 24,4 \text{ mil} = 0,622 \text{ mm}$$

- Ancho de pista para el resto de circuitos.

Para estos circuitos, se tomará la corriente de 1 A, ya que no se demanda más corriente en ninguna de las partes.

$$\text{Ancho pista} = \frac{\left(\frac{1}{0,0647 \times 15^{0,4281}} \right)^{\frac{1}{0,6732}}}{0,8714 \times 1,378} = 10 \text{ mil} = 0,254 \text{ mm}$$

Más adelante, se podrán observar en detalles todas las características de la PCB, tales como conductores, y localización de los dispositivos instalados.

En las siguientes imágenes se puede observar la vista 3D extraída del diseño de la PCB.

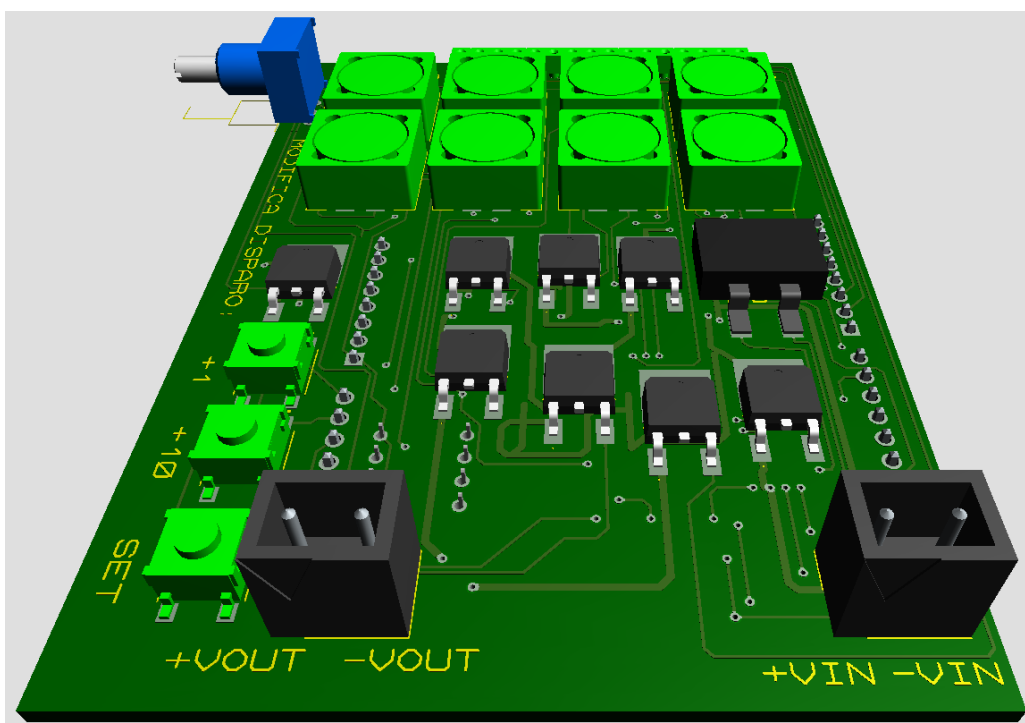


Figura 39. Vista frontal PCB

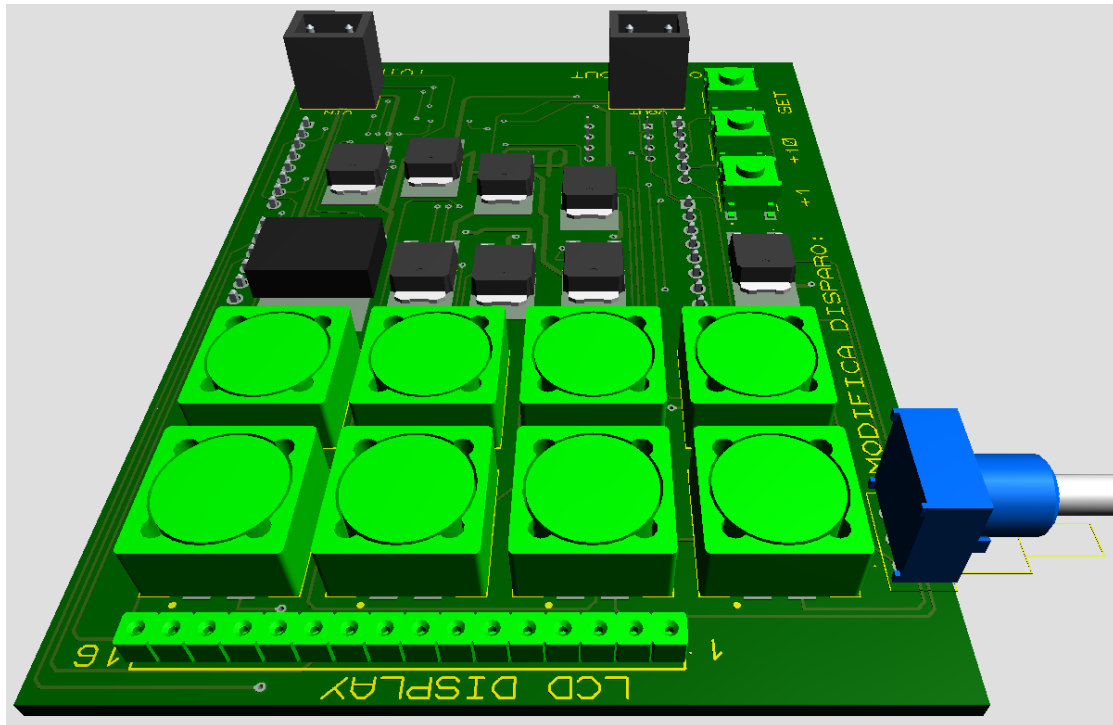


Figura 41. Vista trasera PCB

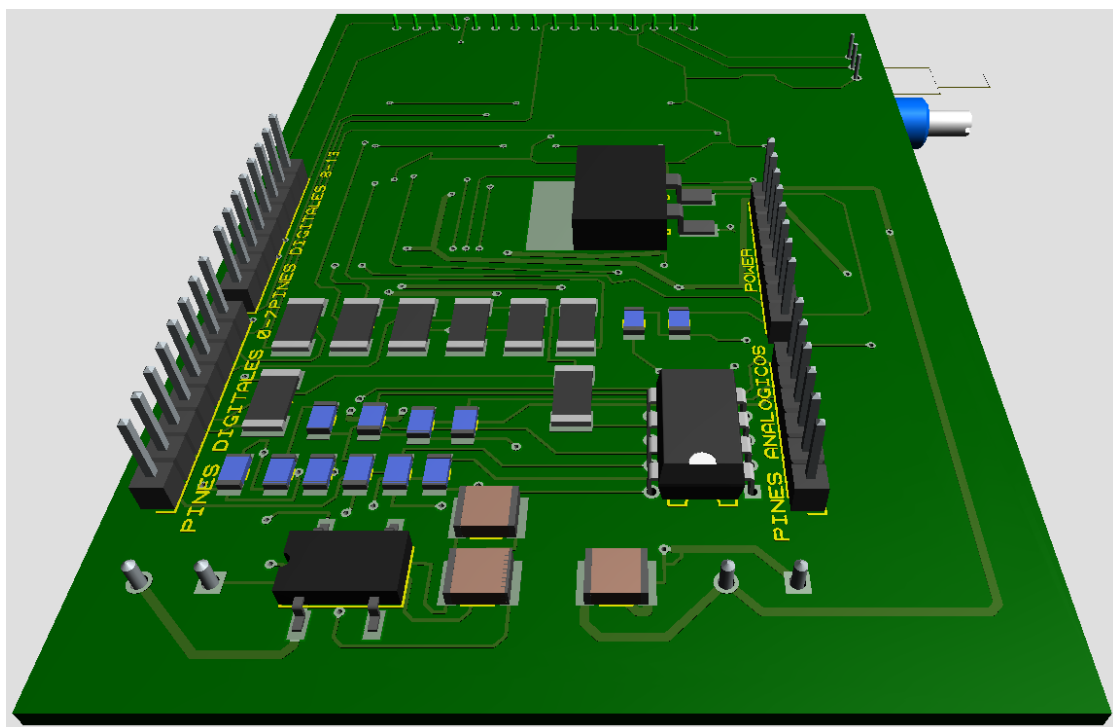


Figura 40. Vista inferior PCB

4. ESTUDIO DE FUNCIONAMIENTO

En el presente capítulo se realizará un análisis del circuito para comprobar el funcionamiento en los cuatro cuadrantes de nuestro circuito.

Como se ha explicado anteriormente, este funcionamiento en los cuatro cuadrantes quiere decir que puede tener tensión y corriente positivas y negativas.

El primer paso será analizar el funcionamiento del circuito digital conectado a Arduino.

4.1. Análisis funcionamiento circuito digital

Puesto que ya se explicó y analizó anteriormente el detector de cruce por cero, en este apartado se va a analizar el funcionamiento del LCD y los pulsadores.

Al iniciar la simulación, como ya se había explicado anteriormente, el LCD devuelve el mensaje de bienvenida. Figura 42

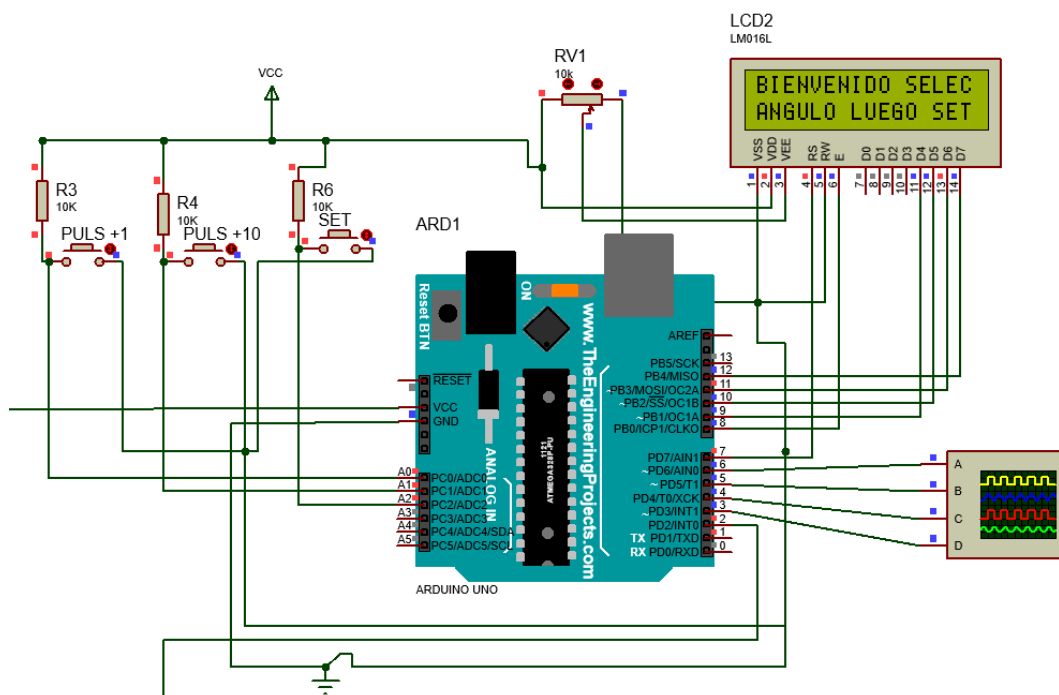


Figura 42. Simulación circuito control. Mensaje de bienvenida

Tras esto, el LCD devuelve el mensaje de que las salidas están activadas, en principio, con un ángulo de disparo de 50 grados (Figura 43).

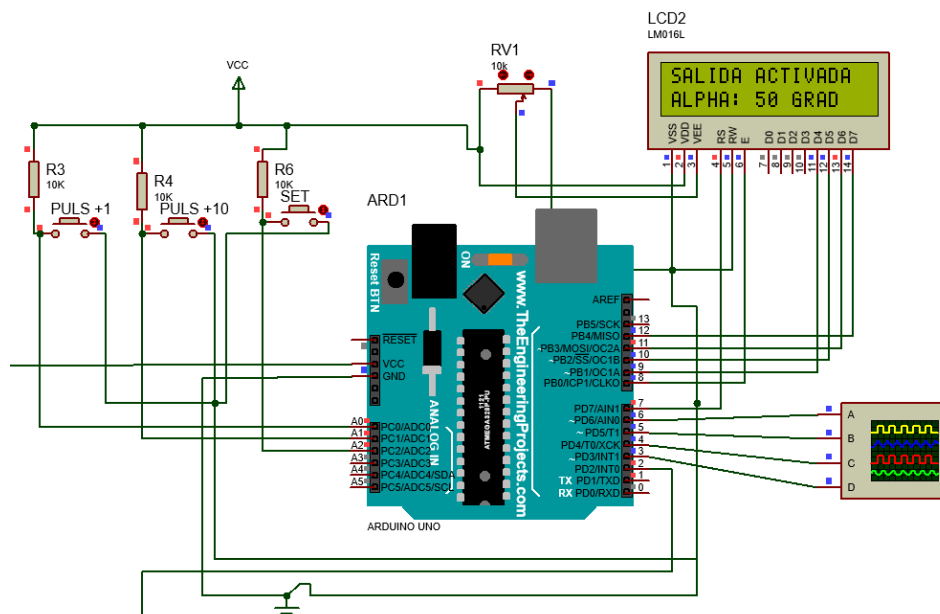


Figura 43. Simulación circuito de control. Salida activada

Como se ve en el mensaje de la Figura 43, las salidas están activadas con un ángulo de 50 grados. Por tanto, se activarían las salidas asociadas al rectificador positivo, estas son la 3 y 4, que como se puede ver en la Figura 44, se encuentran activas estas señales respecto de la señal de alimentación.

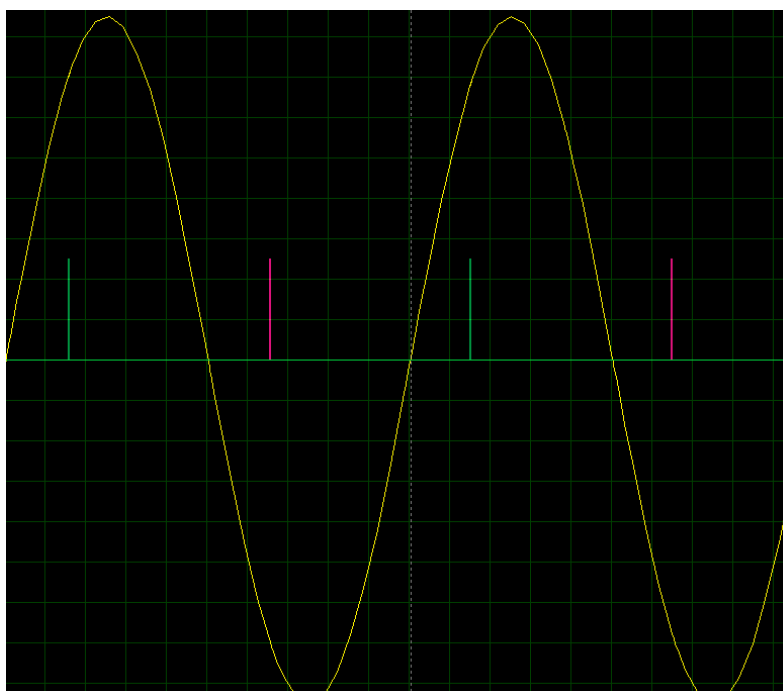


Figura 44. Señales de disparo para el rectificador positivo.

Tras esto, si pulsamos el botón +10, se pausarán las salidas, y se sumarán 10 al ángulo. Como se puede ver en las Figura 45 y Figura 46.

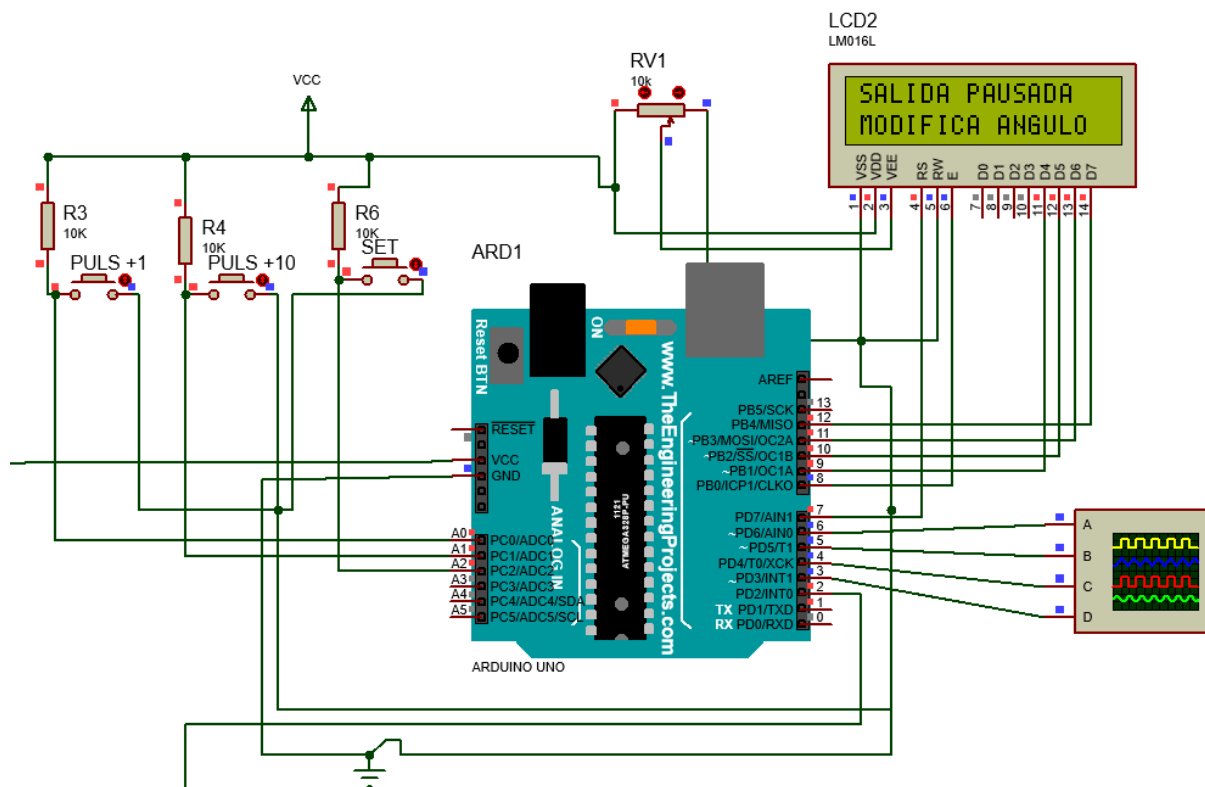


Figura 45. Simulación circuito de control. Salida pausada

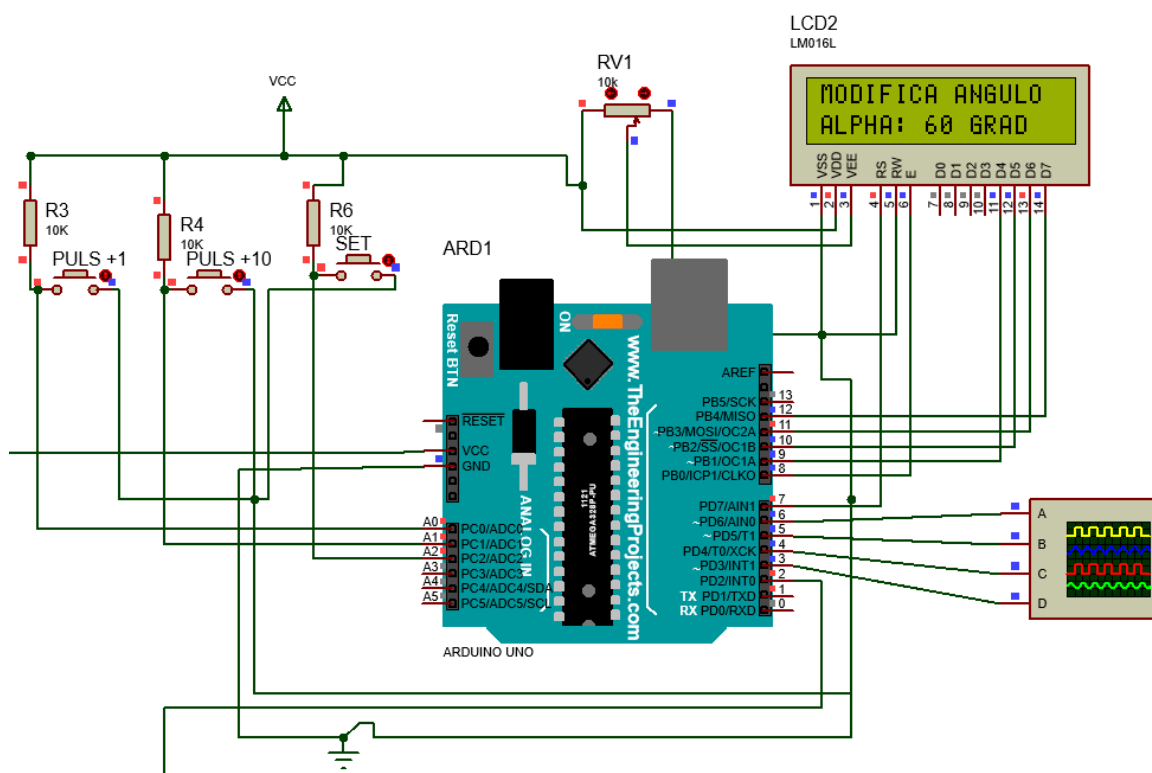


Figura 46. Simulación circuito de control. Modifica ángulo 60 grados

Tras esto, si modificamos la señal hasta 100 grados, y pulsamos el botón de Set, la salida se volverá a activar, en este caso, las asociadas al rectificador negativo. Esto se puede observar en las Figura 48 y Figura 47.

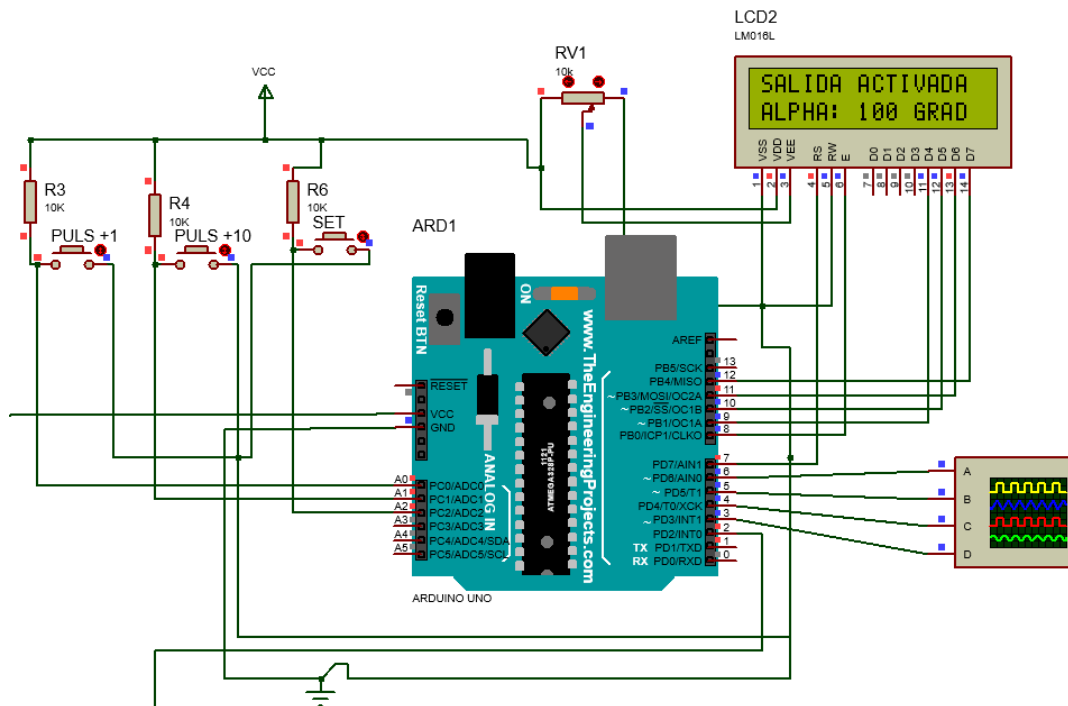


Figura 48. Simulación circuito de control. Salida activada 100 grados

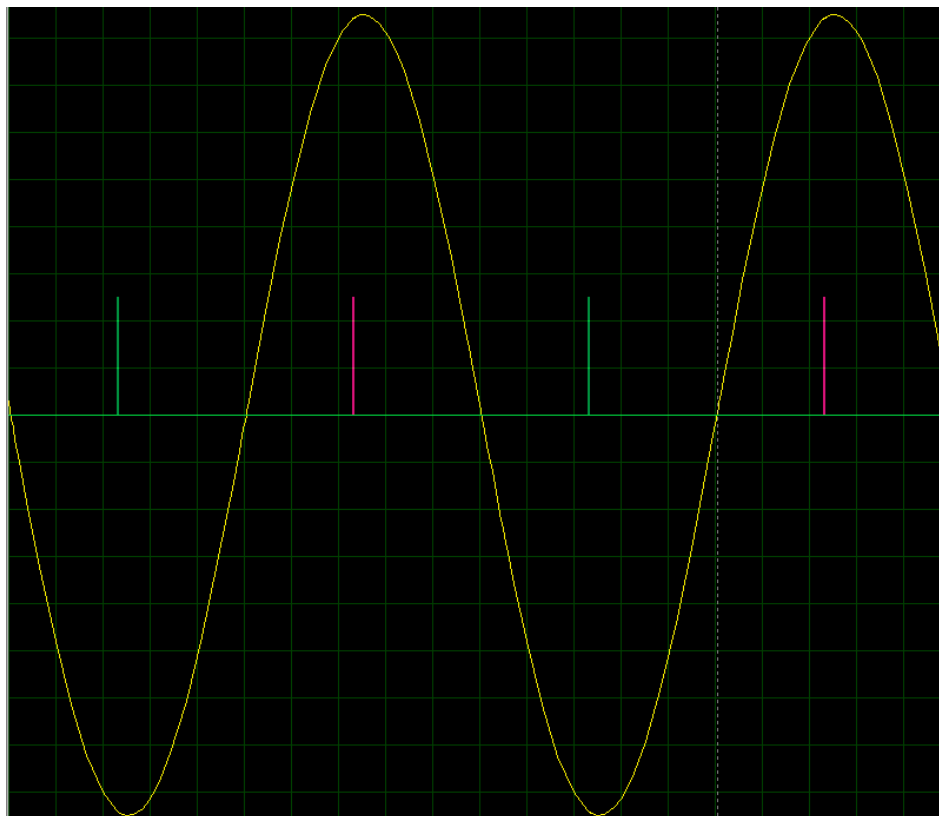


Figura 47. Señales de disparo para el rectificador negativo

4.2. Análisis funcionamiento circuito de potencia.

En el presente capítulo se va a observar el comportamiento del sistema, variando sus parámetros. Se obtendrán mediante simulación en Orcad, sus tensiones medias y potencias medias. Esto se realizará variando los ángulos de disparo con cargas fijas, o variando las cargas con ángulos de disparo fijos.

Por ejemplo, para un ángulo de disparo de 30 grados, y una carga RL de 10 Ω , y 100 mH, la tensión instantánea, tensión media y potencia media quedarían de la siguiente forma:

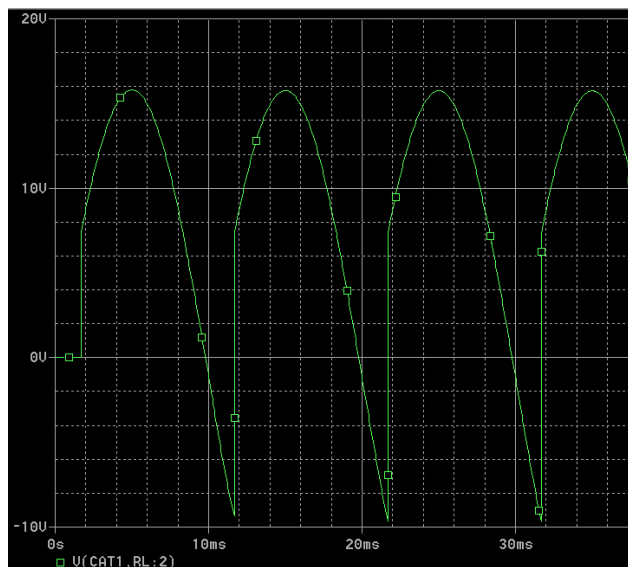


Figura 50. Tensión instantánea para un ángulo de disparo de 30 grados.

La potencia media se obtiene de la siguiente manera:

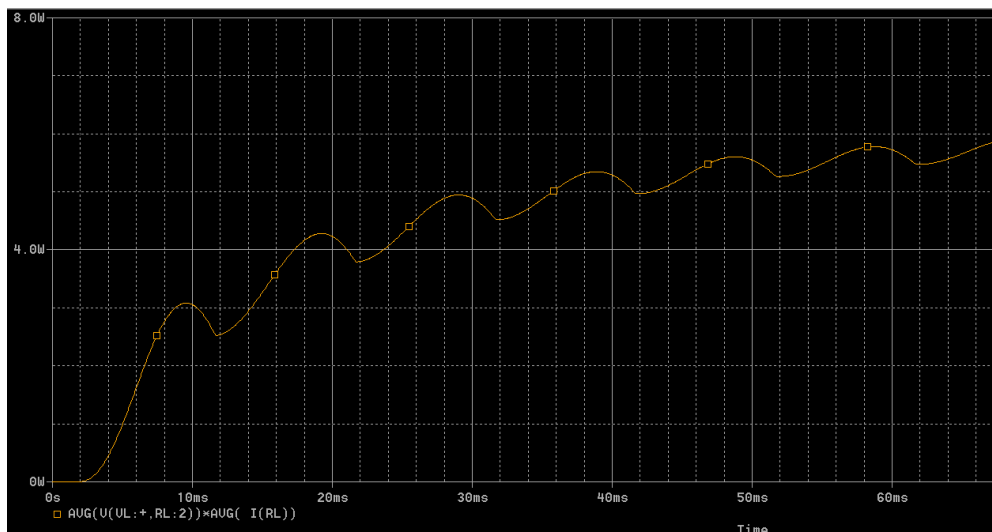


Figura 49. Potencia media en la carga.

Como se puede observar, la potencia media se obtiene de la siguiente manera:

$$P_{med} = V_m \times I_m$$

Donde V_m e I_m son las tensiones medias en la carga.

4.2.1. Análisis de funcionamiento, carga resistiva.

Para el primer análisis, se tendrá una carga resistiva pura de 10Ω , realizando un análisis paramétrico en Pspice, variando el ángulo de disparo, la gráfica de las potencias quedaría de la siguiente forma.

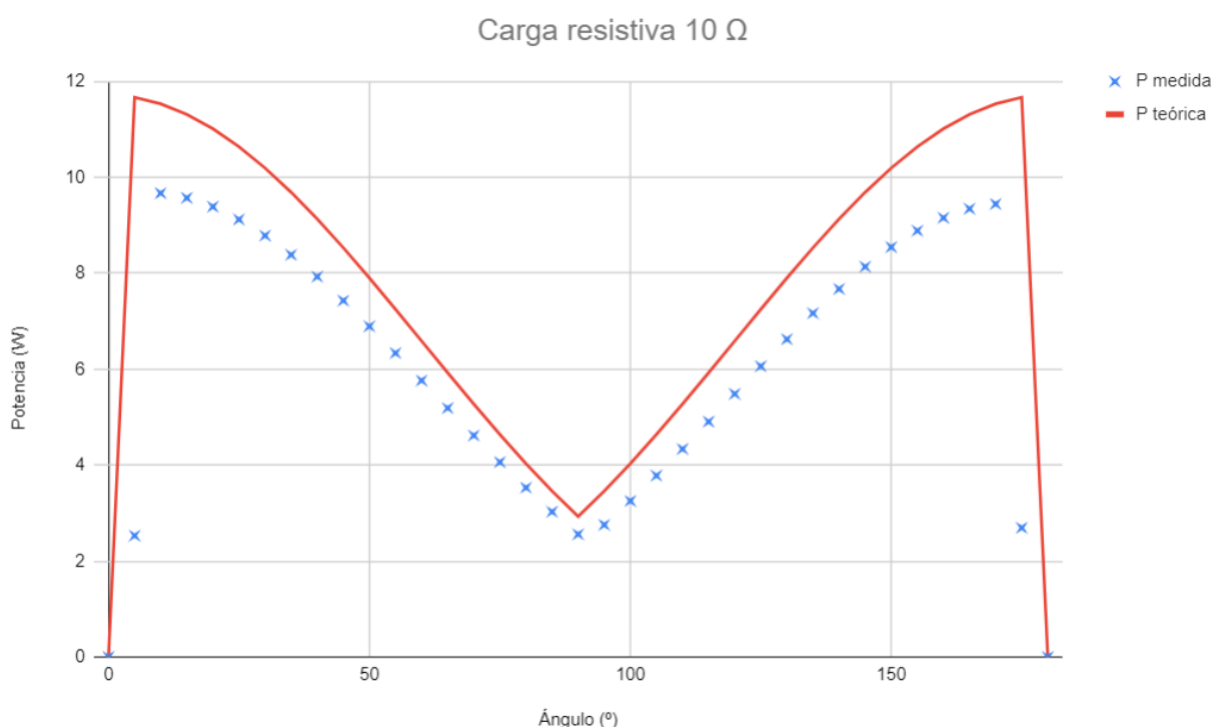


Figura 51. Relación potencia - ángulo de disparo para una carga resistiva

El cálculo de la potencia en la carga se realizará como se ha descrito anteriormente, pero para este caso particular, con carga resistiva, dado que la corriente no es continuada, dependiendo del ángulo, la potencia será la siguiente:

$$P_m = \frac{\left(\frac{V_{in}}{\pi} \times (1 + \cos(\alpha)) \right)^2}{R_L}$$

Donde V_{in} es la tensión máxima de entrada, R_L la resistencia de la carga, y α el ángulo de disparo.

Como se puede observar en la Figura 51, la potencia se reduce para ángulos cercanos a los extremos (0 y 180 grados), y para ángulos cercanos a 90 grados.

4.2.2. Análisis de funcionamiento, carga resistiva-inductiva.

Para una carga resistiva de 10 Ω e inductiva de 100 mH, realizando un análisis paramétrico variando el ángulo de disparo, las potencias en función del ángulo de disparo serán las siguientes:

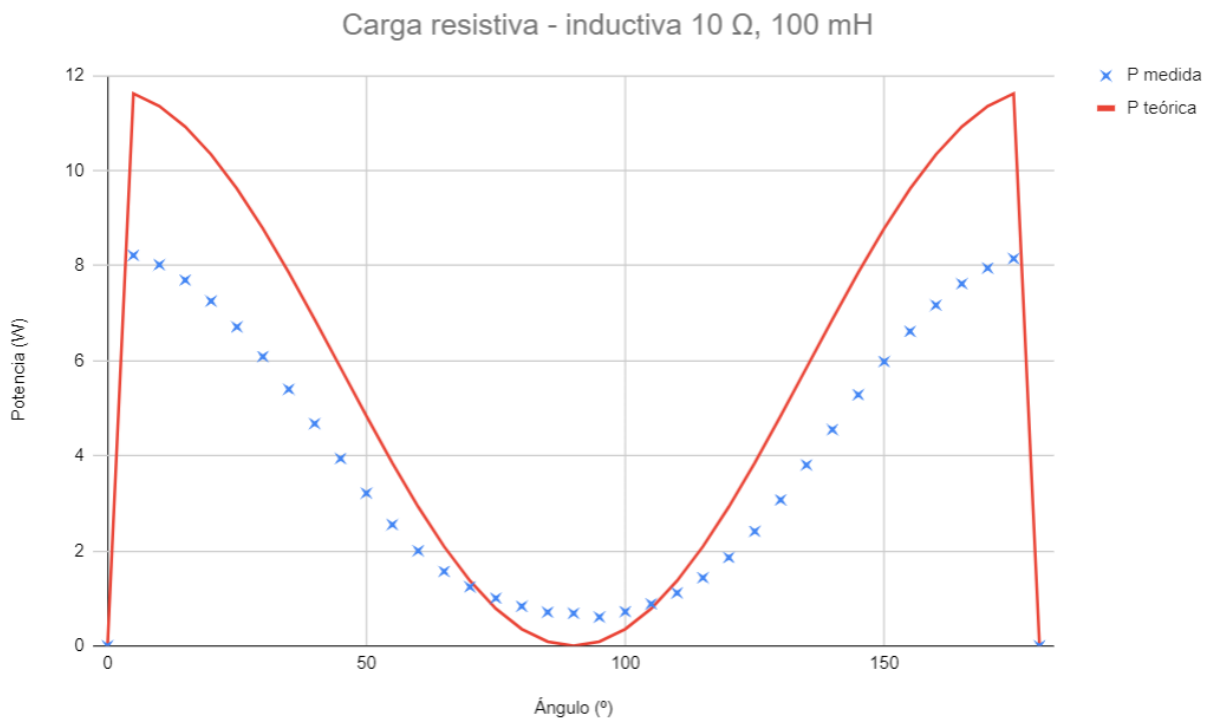


Figura 52. Relación potencia - ángulo de disparo para una carga resistiva-inductiva

Para este caso, dado que la corriente es continuada ya que se posee una inductancia que permite que se mantenga, la potencia media se calculará de la siguiente forma:

$$P_m = \frac{\frac{2 \times V_{in}}{\pi} \times \cos \alpha}{R_L}$$

Como se puede observar en la Figura 52, pese a que los valores de potencia se reducen, los cambios entre ángulos de disparo se hacen más suaves.

4.2.3. Análisis de funcionamiento, carga resistiva-inductiva y fuente de alimentación.

Para el siguiente análisis, se tendrá una carga de 10 Ω , 100 mH y una fuente de alimentación de 10 V. La fuente de alimentación simula un par contrario al movimiento. Por tanto, si está trabajando el rectificador positivo, la fuente tendrá valor negativo, y si trabaja el rectificador negativo, la fuente tendrá un valor positivo.

En la siguiente gráfica se puede observar el comportamiento que presentará la potencia en la carga para esta.

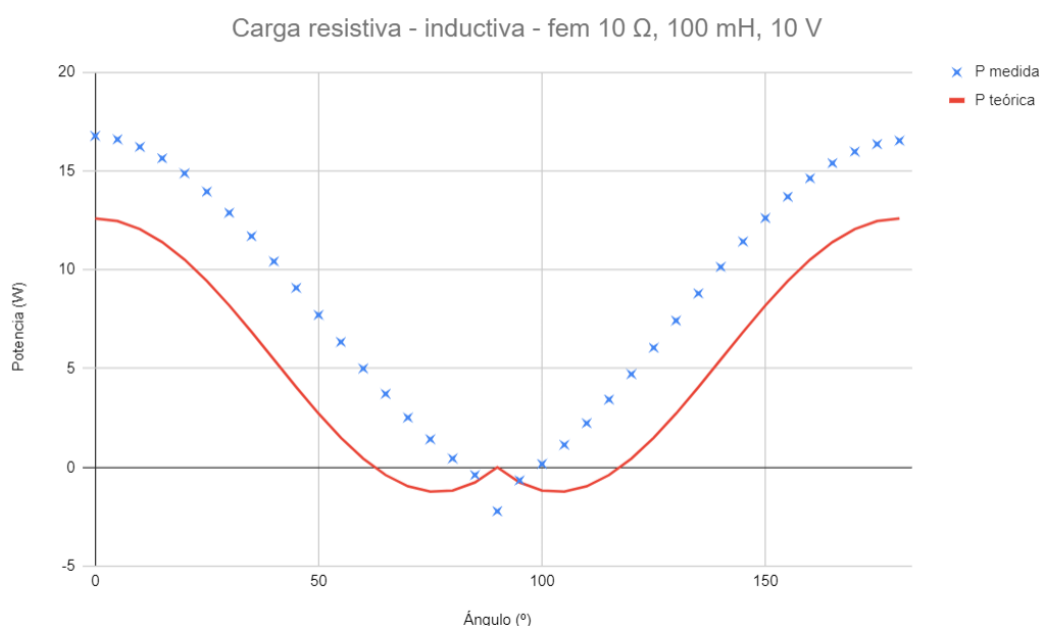


Figura 53. Relación potencia – ángulo de disparo para una carga resistiva-inductiva y fuente de tensión

La potencia teórica se ha calculado de la siguiente manera. Teniendo en cuenta que la corriente es continuada, la ecuación que permite obtener el valor de la tensión media es la siguiente:

$$V_m = \frac{2 \times V_{in}}{\pi} \times \cos \alpha$$

Dado esto, y aplicando superposición en la carga, la potencia en la carga será la siguiente:

$$P_m = V_m \times \left(\frac{(V_m - E)}{R_L} + \frac{V_m}{R_L} \right)$$

Dado que el coseno de 90 grados es 0, la potencia teórica en ese punto es nula. Aunque como se puede observar, no ocurre así.

Como se puede observar en la Figura 53, las potencias son positivas de 0 a 80 grados (primer cuadrante), de 80 a 90 grados las potencias son negativas (funcionamiento en el cuarto cuadrante), de 90 a 100 grados las potencias son negativas (funcionamiento en el segundo cuadrante) y de 100 a 180 grados las potencias son positivas (funcionamiento en el cuarto cuadrante).

4.2.4. Análisis de funcionamiento, variación de la carga resistiva.

Para este análisis, se tomará una carga resistiva variable, y una carga inductiva nula. Se han escogido un valor de ángulo de disparo significativo para cada rectificador. Se ha seleccionado un ángulo de disparo de 30 grados para el presente análisis. La resistencia se variará con la siguiente lista de valores: 0,1, 0,5, 1, 5, 10, 50, 100, 500, 1.000, 5.000, 10.000.

Para poder observar en detalle el comportamiento de la carga con estos valores, la escala de valores de x se ha fijado en una escala logarítmica, puesto que, como se observará más adelante, las potencias disminuyen mucho a grandes potencias.

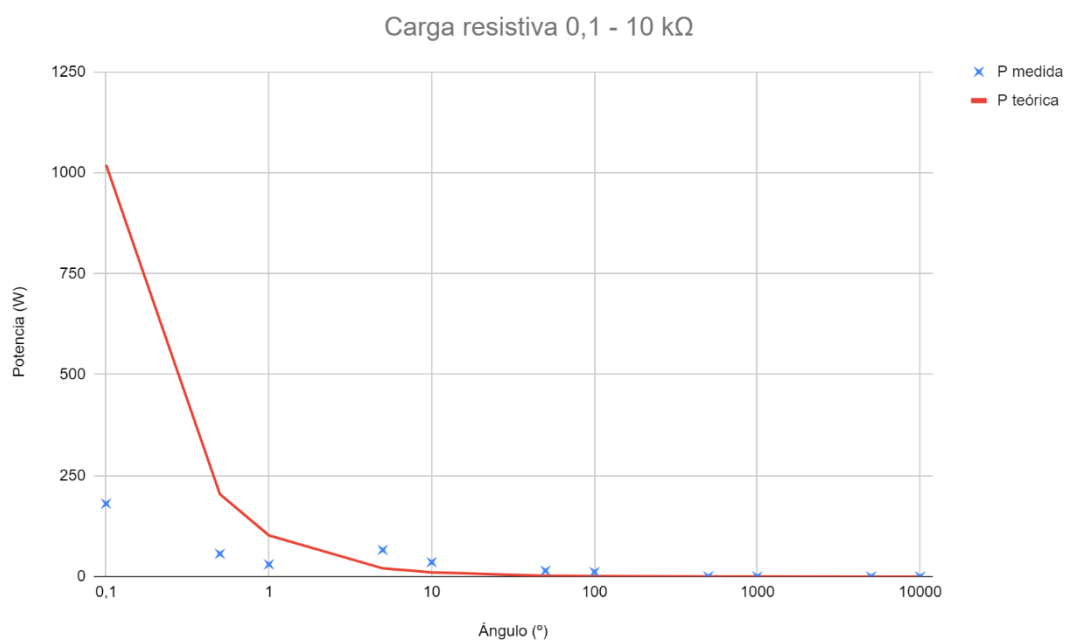


Figura 54. Relación potencia - resistencia (Ángulo de disparo 30°)

La potencia teórica, se obtiene de la misma manera que en el experimento de carga resistiva pura variando el ángulo de disparo.

$$P_m = \frac{\left(\frac{V_{in}}{\pi} \times (1 + \cos(\alpha)) \right)^2}{R_L}$$

Pese a que se podrían realizar estos ensayos con bajas resistencias, se puede observar que existe una gran incertidumbre en los datos, ya que las corrientes son bastante elevadas, lo que hace que la simulación no sea real, puesto que el dispositivo no soportaría esas corrientes.

Como se puede observar en la Figura 54, las potencias se hacen muy grandes con cargas resistivas pequeñas, y cercanas a cero con altas resistencias

4.2.5. Análisis de funcionamiento, variación de la carga inductiva.

De la misma forma que en el análisis anterior, se observará el comportamiento del sistema en este caso variando la carga inductiva. Se fijará el valor de la carga resistiva en 10 Ω , y se variará la carga inductiva con los siguientes valores: 1 mH, 5 mH, 10 mH, 50 mH, 100 mH, 500 mH, 1 H, 5 H. Se usará el mismo ángulo de disparo que en el caso anterior.

Para un ángulo de disparo de 30 grados, la gráfica potencia – inductancia será la siguiente (Figura 55):

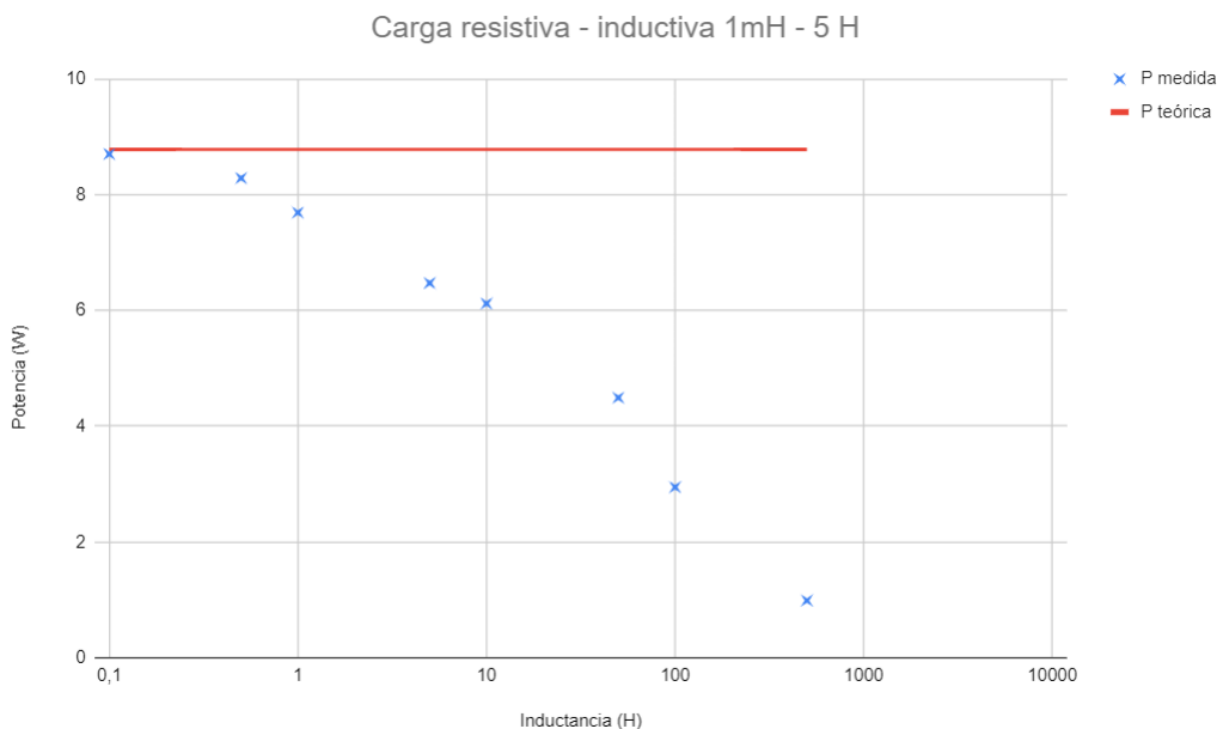


Figura 55. Relación potencia – inductancia (Ángulo de disparo 30°)

Al igual que en el caso anterior, se escogerá la ecuación para calcular la potencia de el caso de carga resistiva-inductiva.

$$P_m = \frac{\frac{2 \times V_{in}}{\pi} \times \cos \alpha}{R_L}$$

Como se puede observar, las potencias medias teóricas se mantendrían constantes, puesto que el elemento que consume es la resistencia, pero en este caso, al alcanzar grandes inductancias, alteran este comportamiento.

De las anteriores gráficas se deduce que, para bajas inductancias, la potencia es superior, pero no alcanza los valores que puede alcanzar con bajas resistencias. Con altas inductancias las potencias se reducen, pero no llegan a anularse.

4.2.6. Análisis de funcionamiento, variación tensión de alimentación.

El ultimo ensayo a realizar, es observar el comportamiento del sistema cuando se varía la tensión. Para ello se fijará la carga en 10 Ω , 100 mH y -10 V, con un ángulo de disparo de 30 grados. Se variará la tensión de generación desde los 0 V hasta el valor con el que se ha estado simulando, los 17 V pico.

En la siguiente gráfica se puede observar este comportamiento.

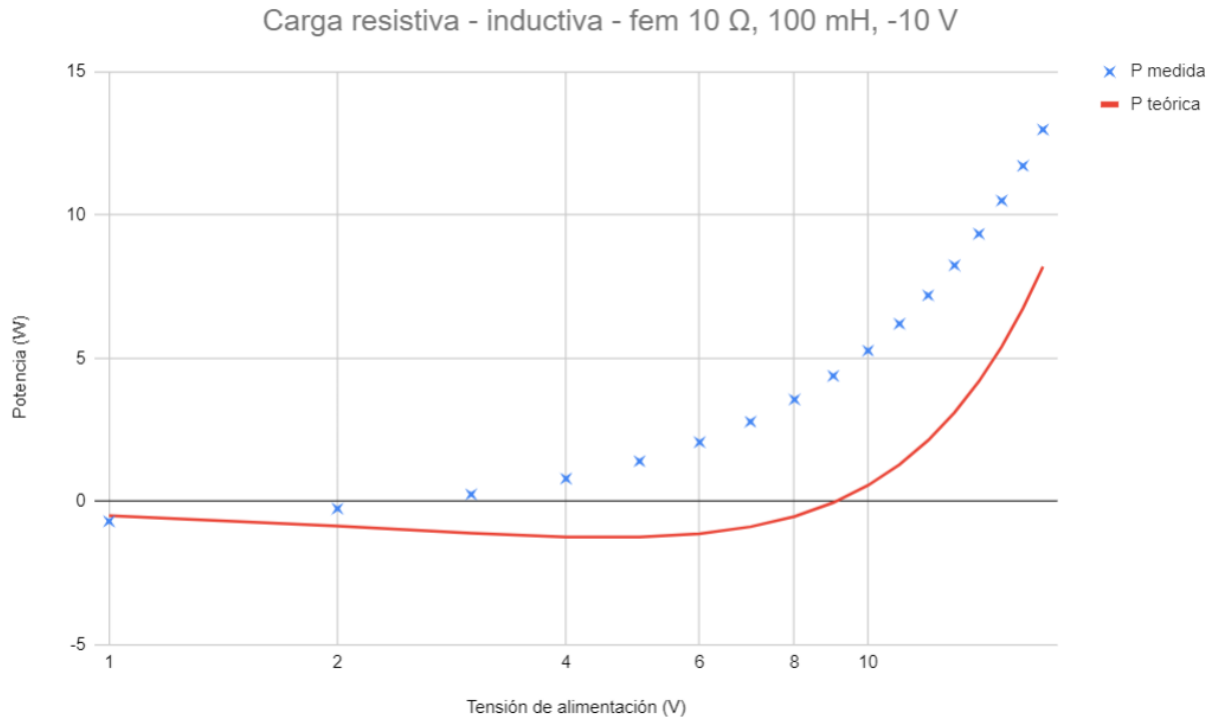


Figura 56. Relación Potencia - tensión de alimentación (Ángulo de disparo: 30°)

Como se puede observar en la Figura 56, al aumentar la tensión de alimentación, aumenta potencia, de forma casi lineal.

5. CONCLUSIONES

El sistema anteriormente diseñado y explicado es un rectificador controlado de 4 cuadrantes. Su función principal es el control de motores en los cuatro cuadrantes. Este circuito de potencia, se controla desde Arduino, habiendo previsto la instalación de pulsadores y un LCD que faciliten el control.

De las simulaciones se puede extraer que se ha conseguido el funcionamiento en los cuatro cuadrantes, obteniendo tensiones de hasta ± 10 Voltios, y corrientes de hasta 4 Amperios. Pese a que se ha obtenido esta corriente en las simulaciones, se ha limitado su uso a 2 Amperios, ya que las pistas calculadas, y componentes elegidos, se han escogido teniendo en cuenta esta limitación.

En el diseño se ha tenido en cuenta la protección del Arduino, aislándolo eléctricamente de este con unos inductores acoplados magnéticamente, que permiten su funcionamiento sin compartir tensiones ni corrientes.

El diseño, tanto del circuito, como del código, se ha realizado con el objetivo de no necesitar conexión a una fuente externa para alimentar Arduino, ni la necesidad de conectar el ordenador para modificar los ángulos de disparo.

Para trabajos futuros, se podría usar otros parámetros de entrada, y usar cargas específicas. También sería un trabajo futuro la implementación física de la PCB, la prueba y testeo. Otra de las previsiones de futuro sería la implementación de un sensor y un limitador de corriente. Ya que el presente circuito no posee limitación alguna de corriente.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Referencias

- [1] M. H. Rashid, Electrónica de potencia, Pearson, 2015.
- [2] «ABB,» [En línea]. Available: <https://global.abb/group/en>. [Último acceso: 19 junio 2023].
- [3] «Siemens,» [En línea]. Available: <https://www.siemens.com/es/es.html>. [Último acceso: 19 junio 2023].
- [4] «RS,» [En línea]. Available: <https://es.rs-online.com/>.
- [5] Arduino, «Arduino,» [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/>. [Último acceso: 10 junio 2023].
- [6] «Proteus Professional,» [En línea]. Available: <https://www.labcenter.com>.
- [7] LabCenter, «Proteus tutorials,» [En línea]. Available: <https://www.labcenter.com/tutorials/>.
- [8] Cadence, «OrCAD Capture and PCB Editor Tutorials,» [En línea]. Available: <https://resources.pcb.cadence.com/orcad-tutorials>.
- [9] «OrCAD,» [En línea]. Available: <https://www.orcad.com/>.

PLIEGO DE CONDICIONES

1. ESPECIFICACIONES

El dispositivo que se ha diseñado en el presente proyecto es un rectificador totalmente controlado de cuatro cuadrantes gobernado por Arduino. Este dispositivo dispone de tres pulsadores para modificar la señal de disparo, y una LCD que permitirá visualizar esta variable y si la salida está o no activada.

Las especificaciones del presente dispositivo son las siguientes:

- Tensión de alimentación: 17 V de pico, con una frecuencia de 50 Hz.
- Tensión de alimentación de Arduino: 10 V de corriente continua.
- Tensión de las entradas de los pines de Arduino: 5 V de corriente continua.
- Tensión máxima en la carga: 9,8 V
- Corriente máxima en la carga: 2 A
- Control del ángulo de disparo con los tres pulsadores incorporados en la PCB.
- LCD incorporado para la visualización y control del dispositivo.
- Control en 4 cuadrantes de motores de CC.

Las especificaciones del resto de los componentes de los que se dispone en el circuito se detallarán en el capítulo de hojas de características.

2. MANUAL DE USUARIO

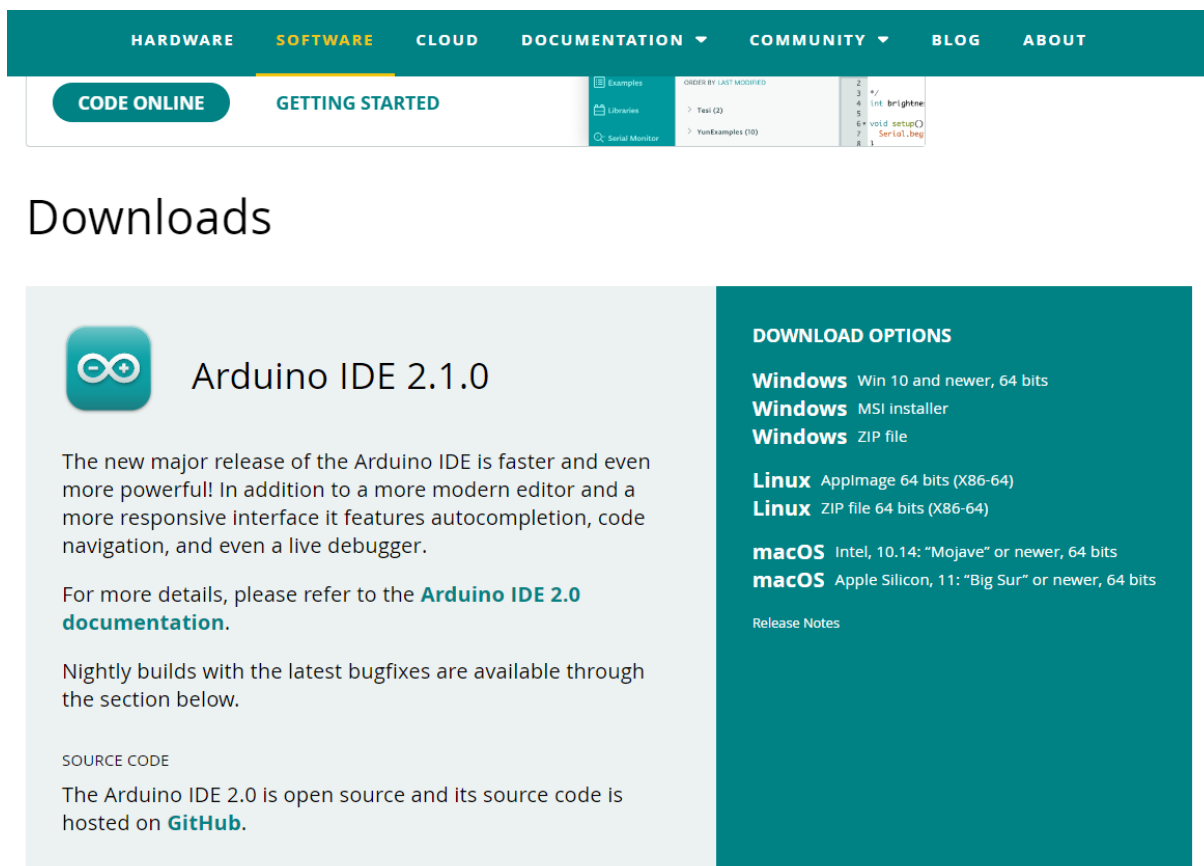
Para realizar un buen uso y funcionamiento del dispositivo, se tendrán que realizar los siguientes pasos. El primer paso a seguir será cargar el programa asociado al shield a la placa de Arduino. Tras esto, se explicará como conectar y usar el shield.

2.1. Carga del programa de Arduino

Previamente a la conexión del Shield de Arduino a este mismo, es necesario cargar el programa a la placa.

Por tanto, los pasos a seguir serían los siguientes:

1. Instalación del IDE de Arduino. Descargar e instalar el software de la página oficial de Arduino [5]. (Figura 57)



The screenshot shows the Arduino IDE 2.1.0 download page. The page has a teal header with navigation links: HARDWARE, SOFTWARE, CLOUD, DOCUMENTATION, COMMUNITY, BLOG, and ABOUT. Below the header, there are buttons for 'CODE ONLINE' and 'GETTING STARTED'. The main content area features the Arduino logo and the text 'Arduino IDE 2.1.0'. It describes the new features of the IDE, such as being faster, more powerful, and having a more modern editor. It also mentions that the IDE is open source and its source code is hosted on GitHub. On the right side, there is a 'DOWNLOAD OPTIONS' section with links for Windows (Win 10 and newer, 64 bits), Linux (ApplImage 64 bits (X86-64)), and macOS (Intel, 10.14: "Mojave" or newer, 64 bits; Apple Silicon, 11: "Big Sur" or newer, 64 bits). There is also a link to 'Release Notes'.

Figura 57. Descarga Arduino IDE

2. Una vez instalado, abrir el programa, y conectar la placa.

- Una vez la placa es conectada y reconocida por el software, es necesario instalar la librería que se va a usar. Esta es LiquidCrystal.h (Figura 58)

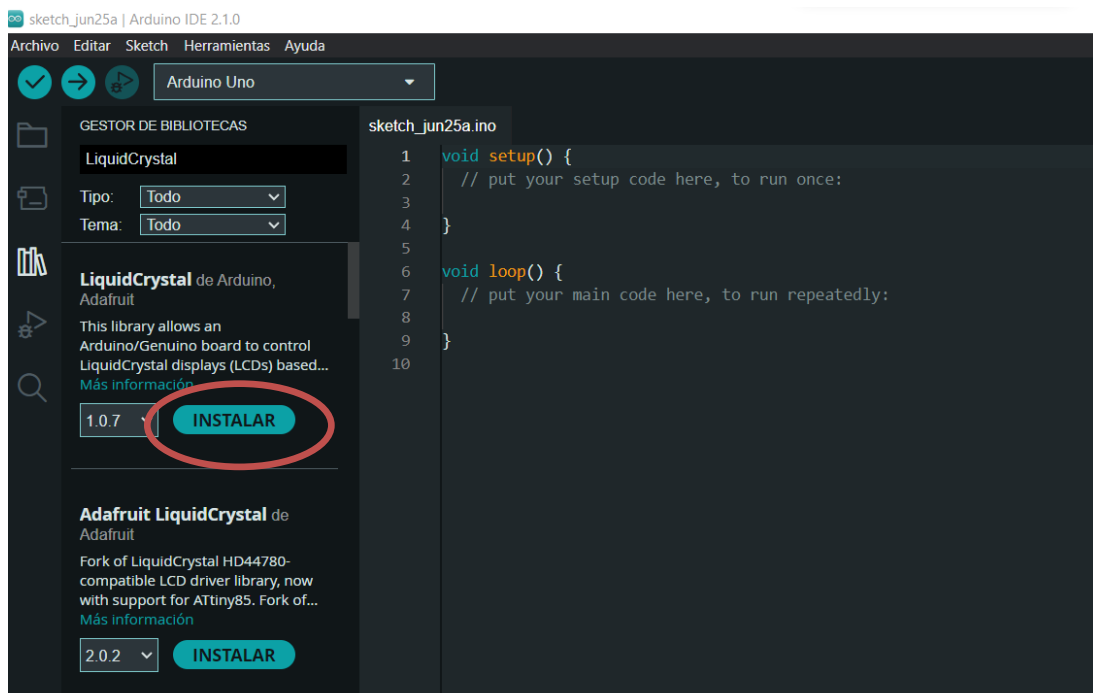


Figura 58. Instalación librería LiquidCrystal

- Una vez instalada la librería, se abre el código asociado al shield.
- Verificar y cargar a la placa. (Figura 59)

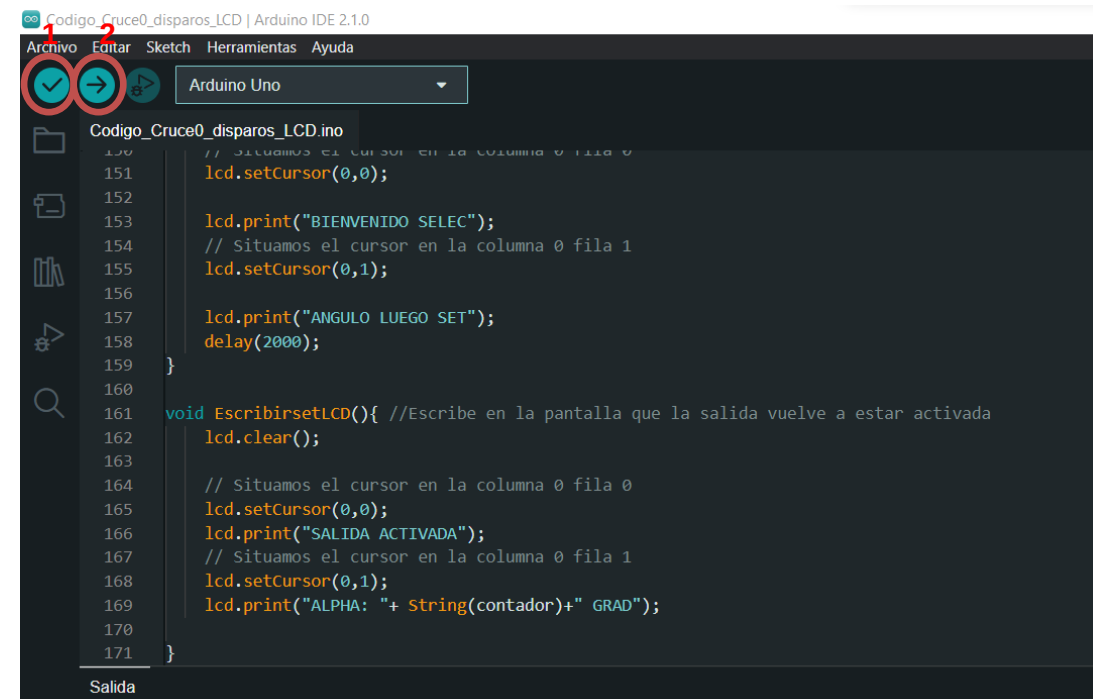


Figura 59. Verificar y cargar código.

- Desconectar la placa.

2.2. Guía de uso

Lo primero que se debe realizar, es conectar la placa, con los pines de Arduino. Como se puede ver en la Figura 60, en la parte de debajo del Shield, vienen los nombres de los pines, para conectarlo en el sentido correcto.

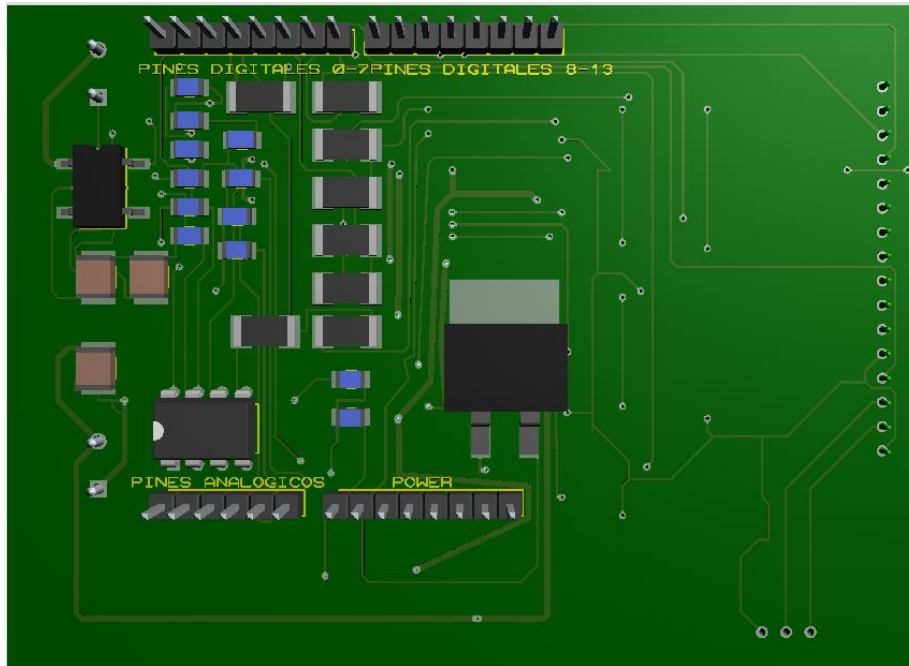


Figura 60. Vista inferior PCB

Tras esto, el siguiente paso es conectar la carga a VOUT y la alimentación a VIN del Shield, mediante los conectores de los que dispone en su capa superior (Figura 61).

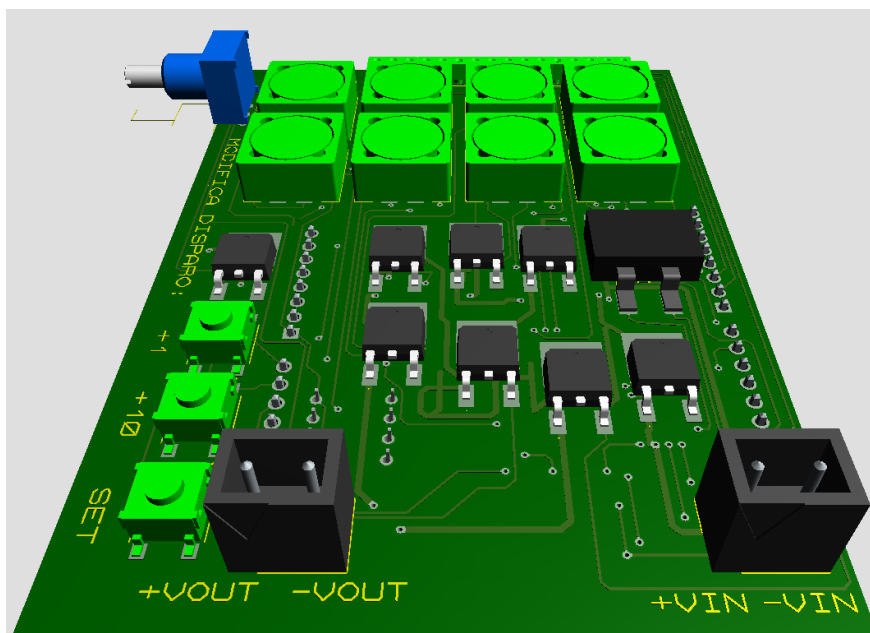
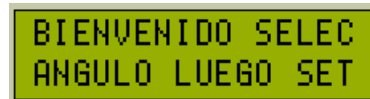


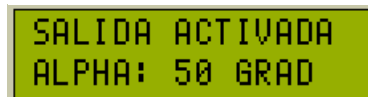
Figura 61. Vista frontal PCB

Una vez conectadas la alimentación y la carga, el display LCD reportará el mensaje de bienvenida, tras el cual, avisa de que la salida se ha activado. (Figura 62 y Figura 63).



BIENVENIDO SELEC
ANGULO LUEGO SET

Figura 62. Mensaje de bienvenida.



SALIDA ACTIVADA
ALPHA: 50 GRAD

Figura 63. Mensaje salida activada

Tras esto, ya se puede modificar la salida, usando los pulsadores instalados con este fin (Figura 64).

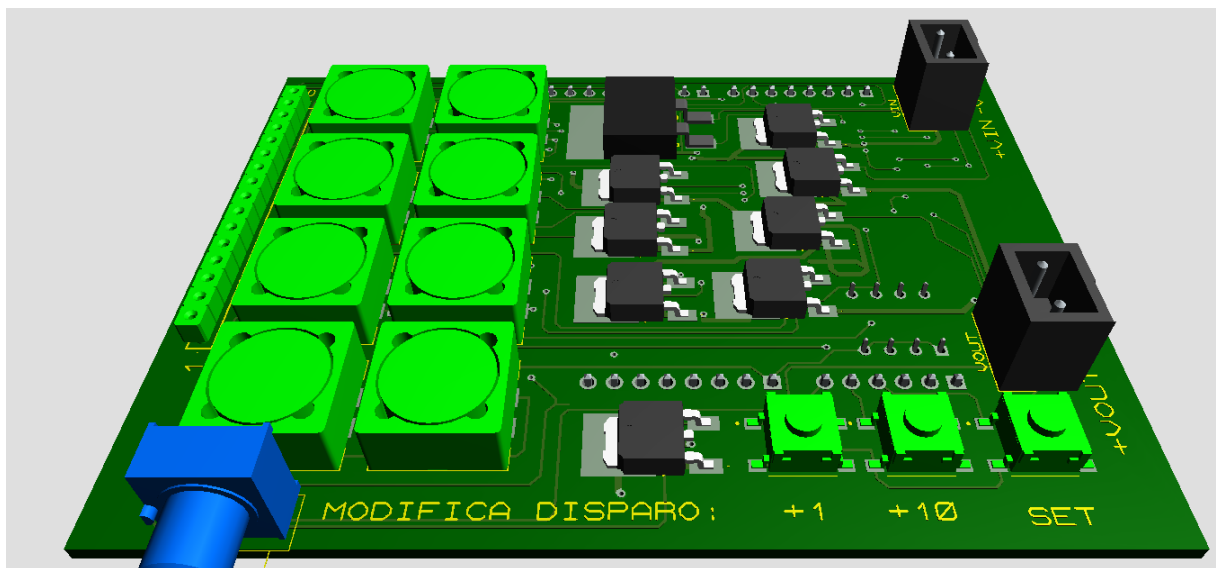


Figura 64. Vista lateral PCB

Tras pulsar uno de los dos pulsadores de modificación (+1 o +10), la salida se pausará mientras se esté modificando.

En el momento en que se haya obtenido el ángulo que se desea, se debe pulsar el botón de SET.

Tras pulsar el botón de SET, la salida vuelve a estar activa, con el ángulo que se ha definido.

3. PROGRAMA

El programa que se ha diseñado en el presente proyecto es el siguiente. Este se puede insertar directamente en el IDE de Arduino.

```
#include <LiquidCrystal.h> //Librería para usar la pantalla LCD

#define COLS 16 // Columnas del LCD

#define ROWS 2 // Filas del LCD

#define CRUCE0 2 //Pin para la detección del cruce por cero

//Pines digitales que se usarán para los disparos

#define DISP1 3

#define DISP2 4

#define DISP3 5

#define DISP4 6

//Pines analógicos para la detección de los botones

#define BOT1 A0

#define BOT10 A1

#define BOTSET A2

//variables fijas a usar

int freq = 50;

int alpha = 50; //Se modificará con los pulsadores

int contador = 50; //Registrará los cambios en los pulsadores antes de modificar la señal

unsigned int Disparo1= (alpha*(1000000))/(freq*360);

unsigned int Disparo3=(1000000/(2*freq))-(alpha*1000000)/(freq*360);

bool ejecutarDisparos = true; //Control para activar y desactivar la función de disparos de tiristores
```



```
int control=0; //Variable que se usará más adelante para mandar por pantalla el texto  
"SALIDA PAUSADA"
```

```
LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11, 12); //Inicialización de los pines de la LCD
```

```
//Variables para el control de los flancos de subida y bajada en el detector de cruce  
por cero
```

```
bool cruce = LOW;
```

```
bool cruceAnterior = LOW;
```

```
void setup() {
```

```
    // Configuración monitor serie
```

```
    Serial.begin(9600);
```

```
    // Configuración de las filas y las columnas del LCD en este caso 16 columnas y 2  
    filas
```

```
    lcd.begin(COLS, ROWS);
```

```
    //Configuración de las E/S digitales
```

```
    pinMode(DISP1, OUTPUT);
```

```
    pinMode(DISP2, OUTPUT);
```

```
    pinMode(DISP3, OUTPUT);
```

```
    pinMode(DISP4, OUTPUT);
```

```
    pinMode(CRUCERO, INPUT); //Configurado para la detección del paso por cero
```

```
    EscribirbienvenidaLCD(); //Da la bienvenida
```

```
    EscribirsetLCD(); //Escribe que la salida se activa con el ángulo definido  
    anteriormente
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
    if (ejecutarDisparos) { //Si la variable es true se activa el disparo de los tiristores
```

```
        dispararRectificador();
```

```
}
```

```
if (analogRead(BOT1) < 50) { //Lectura del primer botón. 50 por las posibles variaciones de potencial
```

```
    delay(200); // Retardo para evitar múltiples incrementos por un solo botón presionado
```

```
    contador++; //Suma 1 a la variable
```

```
    if (control == 0){ //Si es la primera vez que se pulsa, se pausa la salida
```

```
        EscribirpausaLCD();
```

```
        ejecutarDisparos = false;
```

```
    }
```

```
    if (contador > 180){ //Si el ángulo es superior a 180, se vuelve a empezar en 0
```

```
        contador=contador-180;
```

```
    }
```

```
    EscribiranguloLCD();
```

```
    control = 1;
```

```
}
```

```
if (analogRead(BOT10) < 50) { //Lectura del segundo botón
```

```
    delay(200); // Retardo para evitar múltiples incrementos por un solo botón presionado
```

```
    contador += 10; //Suma 10 a la variable
```

```
    if (control == 0){
```

```
        EscribirpausaLCD();
```

```
        ejecutarDisparos = false;
```

```
    }
```

```
    if (contador > 180){
```

```
        contador=contador-180;
```

```
    }
```

```

EscribiranguloLCD();

control = 1;

}

if (analogRead(BOTSET) < 50) { //Lectura del tercer botón

    delay(200); // Retardo para evitar múltiples incrementos por un solo botón
    presionado

    //Vuelta a definir las variables usadas para el disparo

    alpha = contador;

    Disparo1= (alpha*(1000000))/(freq*360);

    Disparo3=(1000000/(2*freq))-(alpha*1000000)/(freq*360);

    control = 0;

    ejecutarDisparos = true; // Reanudar la ejecución de los disparos

    EscribirsetLCD(); //Aviso del inicio de la salida

    //Se resetean los valores de las variables de control, para que vuelvan a comenzar
    los disparos

    cruce = LOW;

    cruceAnterior = LOW;

}

}

void dispararRectificador() { // Función para disparar el rectificador de cuatro
cuadrantes

cruce = digitalRead(CRUCE0); //Detección del cruce por cero

if (cruce == HIGH && cruceAnterior == LOW) { //Si el flanco es de subida, se activan
los disparos en el primer semiciclo

    if (alpha <= 90) { //Activación del rectificador positivo

        delayMicroseconds(Disparo1); //Retardo para efectuar el primer
disparo

        digitalWrite(DISPLAY1, HIGH); //Activación de la primera señal

```

```

delayMicroseconds(50);                //Tiempo en alto de la señal

digitalWrite(DIS1, LOW);                //Desactivación de la señal
} else if ((alpha > 90) && (alpha < 180)) { //Activación del rectificador negativo
    delayMicroseconds(Disparo3);
    digitalWrite(DIS3, HIGH);
    delayMicroseconds(50);
    digitalWrite(DIS3, LOW);
}

cruceAnterior = cruce;

} if (cruce == LOW && cruceAnterior == HIGH){ //Si el flanco es de bajada, se
activan los disparos en el segundo semiciclo.

    if (alpha <= 90) {
        delayMicroseconds(Disparo1);
        digitalWrite(DIS2, HIGH);
        delayMicroseconds(50);
        digitalWrite(DIS2, LOW);
    } else if ((alpha > 90) && (alpha < 180)) {
        delayMicroseconds(Disparo3);
        digitalWrite(DIS4, HIGH);
        delayMicroseconds(50);
        digitalWrite(DIS4, LOW);
    }
    cruceAnterior = cruce;
}
}

```

```

void EscribiranguloLCD () { //Escribe en la pantalla cuando se modifica el ángulo

```

```
lcd.clear();

// Situamos el cursor en la columna 0 fila 0
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("MODIFICA ANGULO");

// Situamos el cursor en la columna 0 fila 1
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("ALPHA: "+ String(contador)+" GRAD");
}

void EscribirpausaLCD () { //Escribe en la pantalla que la salida se ha pausado.

    lcd.clear();

    // Situamos el cursor en la columna 0 fila 0
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("SALIDA PAUSADA");

    // Situamos el cursor en la columna 0 fila 1
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("MODIFICA ANGULO");
    delay(2000);
}

void EscribirbienvenidaLCD() { //Da la bienvenida, y como proceder

    lcd.clear();

    // Situamos el cursor en la columna 0 fila 0
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("BIENVENIDO SELEC");

    // Situamos el cursor en la columna 0 fila 1
    lcd.setCursor(0,1);
```



```
    lcd.print("ANGULO LUEGO SET");  
  
    delay(2000);  
  
}  
  
void EscribirsetLCD(){ //Escribe en la pantalla que la salida vuelve a estar activada  
  
    lcd.clear();  
  
    // Situamos el cursor en la columna 0 fila 0  
  
    lcd.setCursor(0,0);  
  
    lcd.print("SALIDA ACTIVADA");  
  
    // Situamos el cursor en la columna 0 fila 1  
  
    lcd.setCursor(0,1);  
  
    lcd.print("ALPHA: "+ String(contador)+" GRAD");  
  
}
```

HOJAS DE CARACTERÍSTICAS

1.2V TO 37V VOLTAGE REGULATOR

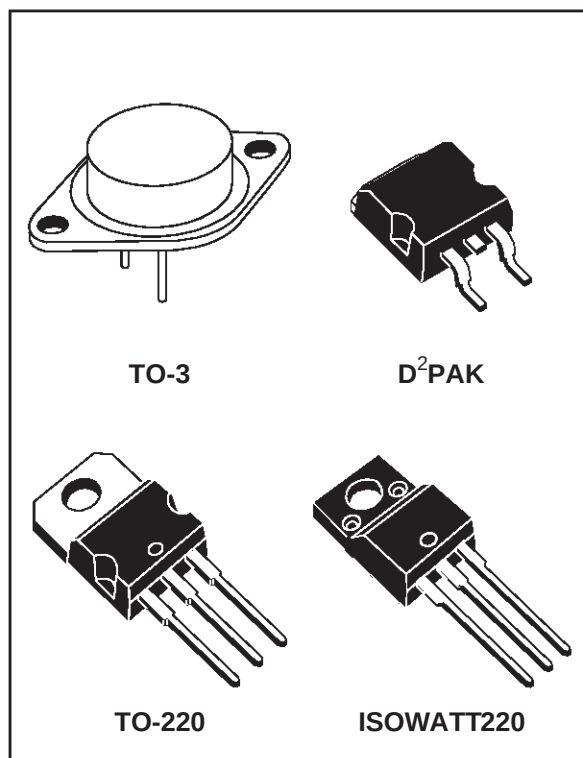
- OUTPUT VOLTAGE RANGE : 1.2 TO 37V
- OUTPUT CURRENT IN EXCESS OF 1.5A
- 0.1% LINE AND LOAD REGULATION
- FLOATING OPERATION FOR HIGH VOLTAGES
- COMPLETE SERIES OF PROTECTIONS :
CURRENT LIMITING, THERMAL SHUTDOWN AND SOA CONTROL

DESCRIPTION

The LM117/LM217/LM317 are monolithic integrated circuit in TO-220, ISOWATT220, TO-3 and D²PAK packages intended for use as positive adjustable voltage regulators.

They are designed to supply more than 1.5A of load current with an output voltage adjustable over a 1.2 to 37V range.

The nominal output voltage is selected by means of only a resistive divider, making the device exceptionally easy to use and eliminating the stocking of many fixed regulators.



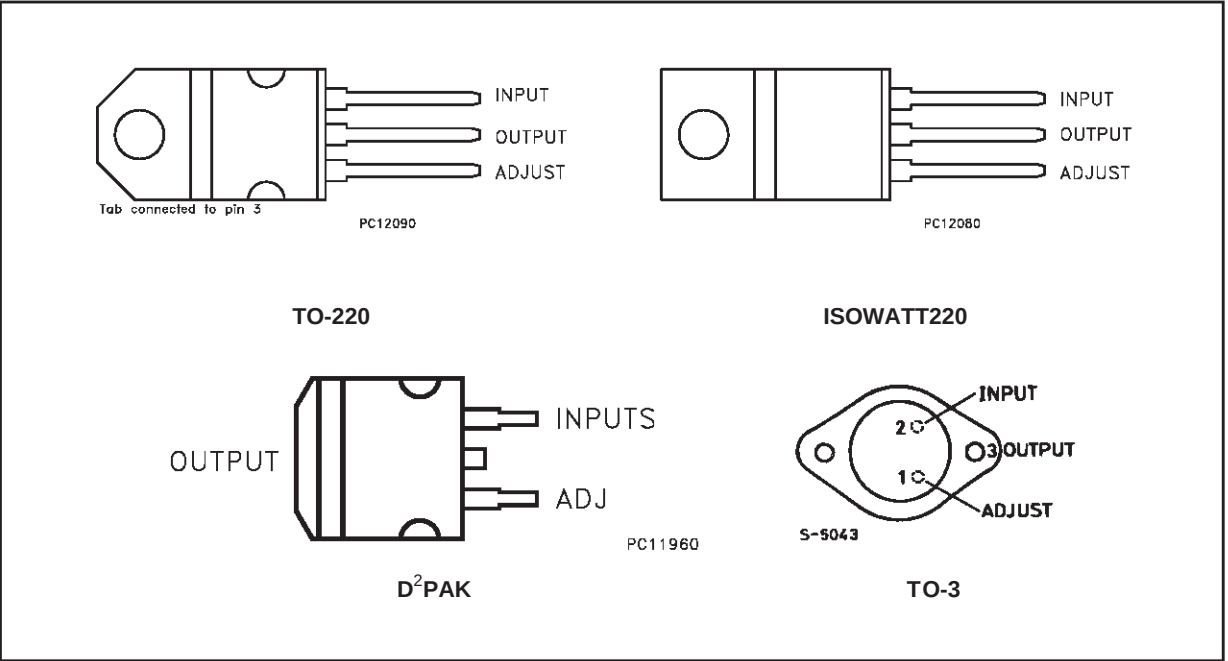
ABSOLUTE MAXIMUM RATING

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{i-o}	Input-output Differential Voltage	40	V
I_o	Output Current	Internally Limited	
T_{op}	Operating Junction Temperature for: LM117 LM217 LM317	-55 to 150 -25 to 150 0 to 125	°C °C °C
P_{tot}	Power Dissipation	Internally Limited	
T_{stg}	Storage Temperature	- 65 to 150	°C

THERMAL DATA

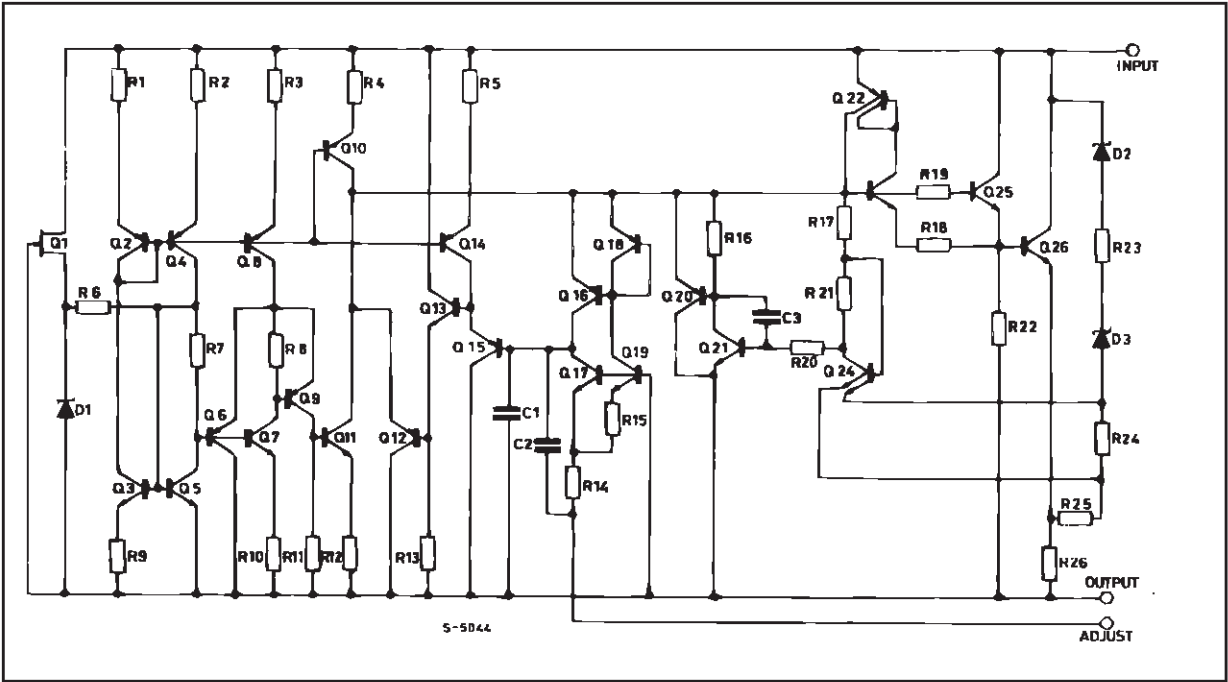
Symbol	Parameter	TO-3	TO-220	ISOWATT220	D ² PAK	Unit
$R_{thj-case}$	Thermal Resistance Junction-case	4	3	4	3	°C/W
$R_{thj-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	35	50	60	62.5	°C/W

CONNECTION DIAGRAM AND ORDERING NUMBERS (top view)

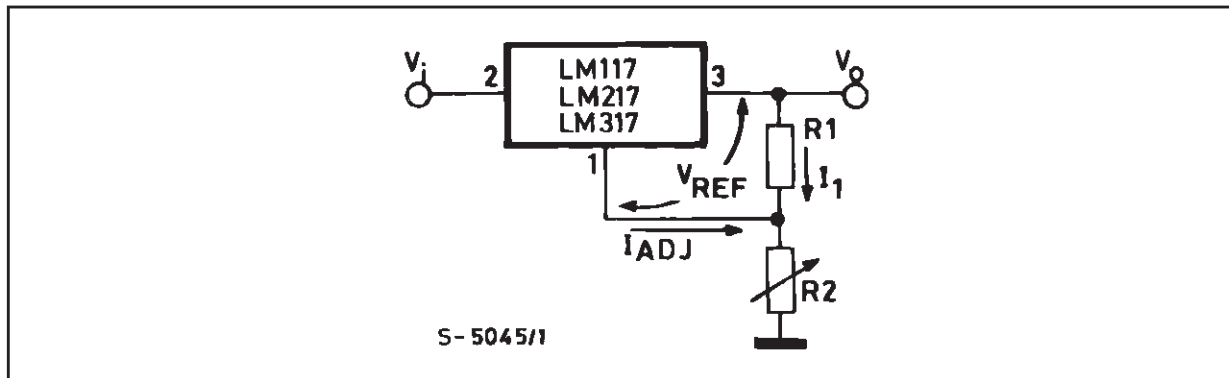


Type	TO-3	TO-220	ISOWATT220	D²PAK
LM117	LM117K			
LM217	LM217K	LM217T		LM217D2T
LM317	LM317K	LM317T	LM317P	LM317D2T

SCHEMATIC DIAGRAM



BASIC ADJUSTABLE REGULATOR



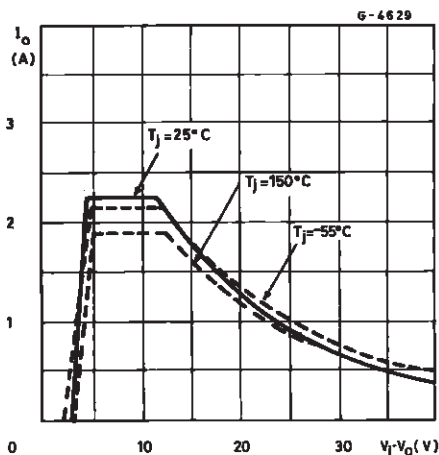
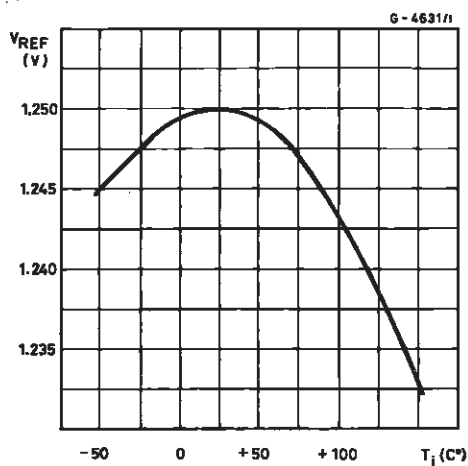
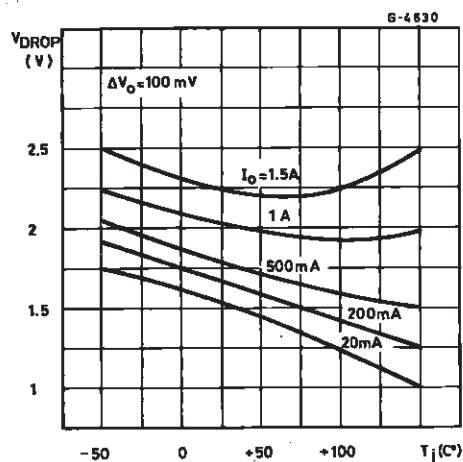
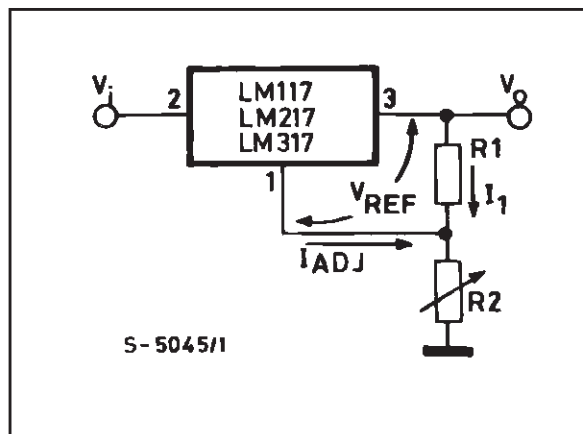
ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_i - V_o = 5\text{ V}$, $I_o = 500\text{ mA}$, $I_{MAX} = 1.5\text{ A}$ and $P_{MAX} = 20\text{ W}$, unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions		LM117/LM217			LM317			Unit
				Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
ΔV_o	Line Regulation	$V_i - V_o = 3\text{ to }40\text{ V}$	$T_j = 25^\circ\text{C}$		0.01	0.02		0.01	0.04	%/V
					0.02	0.05		0.02	0.07	%/V
ΔV_o	Load Regulation	$V_o \leq 5\text{ V}$ $I_o = 10\text{ mA to }I_{MAX}$	$T_j = 25^\circ\text{C}$		5	15		5	25	mV
					20	50		20	70	mV
		$V_o \geq 5\text{ V}$ $I_o = 10\text{ mA to }I_{MAX}$	$T_j = 25^\circ\text{C}$		0.1	0.3		0.1	0.5	%
					0.3	1		0.3	1.5	%
I_{ADJ}	Adjustment Pin Current				50	100		50	100	μA
ΔI_{ADJ}	Adjustment Pin Current	$V_i - V_o = 2.5\text{ to }40\text{ V}$ $I_o = 10\text{ mA to }I_{MAX}$			0.2	5		0.2	5	μA
V_{REF}	Reference Voltage (between pin 3 and pin 1)	$V_i - V_o = 2.5\text{ to }40\text{ V}$ $I_o = 10\text{ mA to }I_{MAX}$ $P_D \leq P_{MAX}$		1.2	1.25	1.3	1.2	1.25	1.3	V
$\frac{\Delta V_o}{V_o}$	Output Voltage Temperature Stability				1			1		%
$I_{o(min)}$	Minimum Load Current	$V_i - V_o = 40\text{ V}$			3.5	5		3.5	10	mA
$I_{o(max)}$	Maximum Load Current	$V_i - V_o \leq 15\text{ V}$ $P_D < P_{MAX}$		1.5	2.2		1.5	2.2		A
		$V_i - V_o = 40\text{ V}$ $P_D < P_{MAX}$ $T_j = 25^\circ\text{C}$			0.4			0.4		A
e_N	Output Noise Voltage (percentage of V_o)	$B = 10\text{ Hz to }10\text{ KHz}$ $T_j = 25^\circ\text{C}$			0.003			0.003		%
SVR	Supply Voltage Rejection (*)	$T_j = 25^\circ\text{C}$ $f = 120\text{ Hz}$	$C_{ADJ}=0$		65			65		dB
			$C_{ADJ}=10\mu\text{F}$	66	80		66	80		dB

(*) C_{ADJ} is connected between pin 1 and ground.

Note:

(1) Unless otherwise specified the above specs, apply over the following conditions : LM 117 $T_j = -55\text{ to }150^\circ\text{C}$;
LM 217 $T_j = -25\text{ to }150^\circ\text{C}$; LM 317 $T_j = 0\text{ to }125^\circ\text{C}$.

Figure 1 : Output Current vs. Input-output Differential Voltage.**Figure 3 :** Reference Voltage vs. Junction**Figure 2 :** Dropout Voltage vs. Junction Temperature.**Figure 4 :** Basic Adjustable Regulator.

APPLICATION INFORMATION

The LM117/217/317 provides an internal reference voltage of 1.25V between the output and adjustments terminals. This is used to set a constant current flow across an external resistor divider (see fig. 4), giving an output voltage V_O of:

$$V_O = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{ADJ} R_2$$

The device was designed to minimize the term I_{ADJ} (100μA max) and to maintain it very constant with line and load changes. Usually, the error term $I_{ADJ} \cdot R_2$ can be neglected. To obtain the previous requirement, all the regulator quiescent current is returned to the output terminal, imposing a minimum load current condition. If the load is insufficient, the output voltage will rise.

Since the LM117/217/317 is a floating regulator and "sees" only the input-to-output differential

voltage, supplies of very high voltage with respect to ground, can be regulated as long as the maximum input-to-output differential is not exceeded. Furthermore, programmable regulators are easily obtainable and, by connecting a fixed resistor between the adjustment and output, the device can be used as a precision current regulator.

In order to optimize the load regulation, the current set resistor R_1 (see fig. 4) should be tied as close as possible to the regulator, while the ground terminal of R_2 should be near the ground of the load to provide remote ground sensing.

Performance may be improved with added capacitance as follows:

An input bypass capacitor of 0.1μF

An adjustment terminal to ground 10μF capacitor

to improve the ripple rejection of about 15 dB (C_{ADJ}).

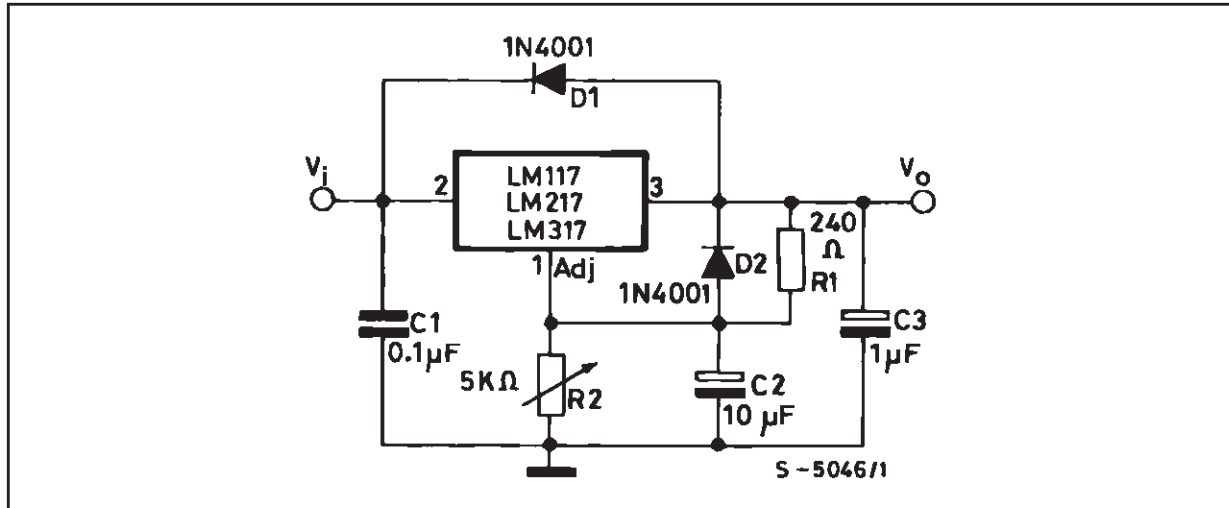
An $1\mu\text{F}$ tantalum (or $25\mu\text{F}$ Aluminium electrolytic) capacitor on the output to improve transient response.

In addition to external capacitors, it is good

practice to add protection diodes, as shown in fig.5.

D1 protect the device against input short circuit, while D2 protect against output short circuit for capacitance discharging.

Figure 5 : Voltage Regulator with Protection Diodes.



D1 protect the device against input short circuit, while D2 protects against output short circuit for capacitors discharging

Figure 6 : Slow Turn-on 15V Regulator.

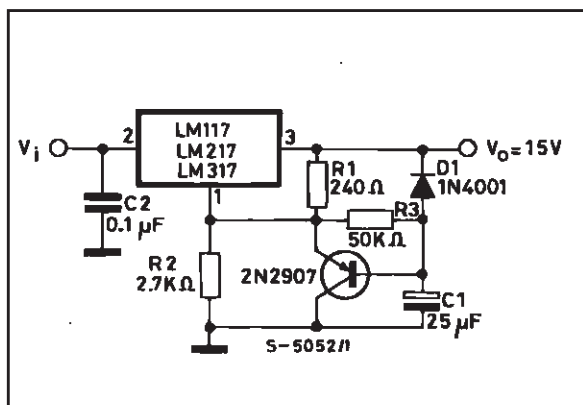


Figure 7 : Current Regulator.

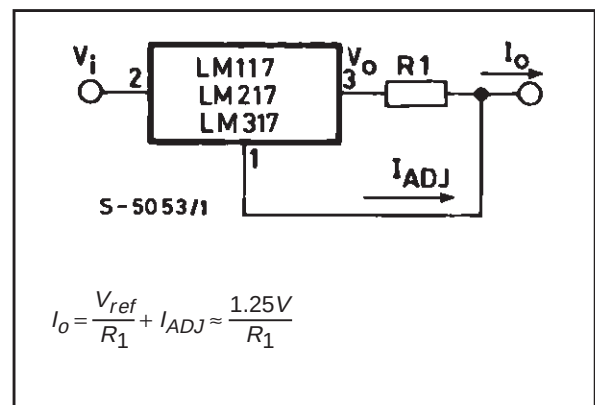
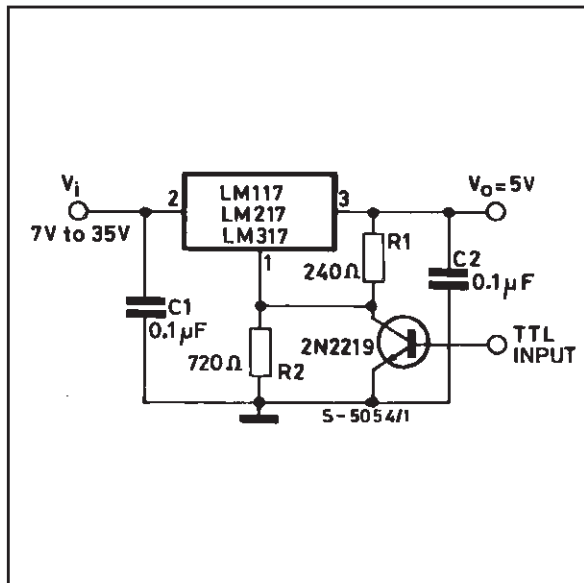
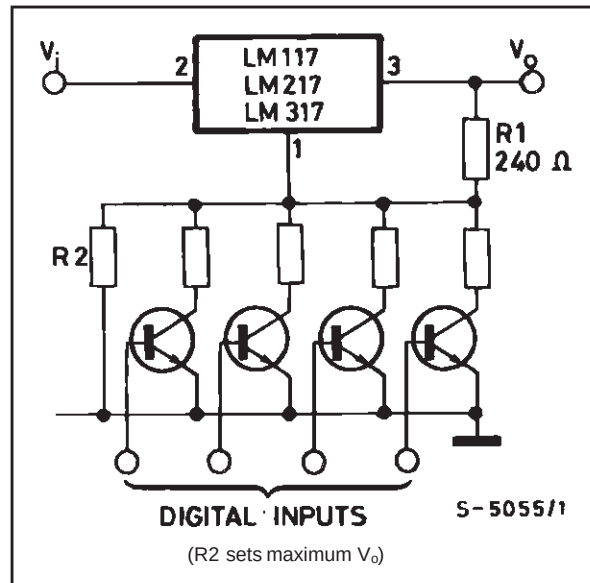
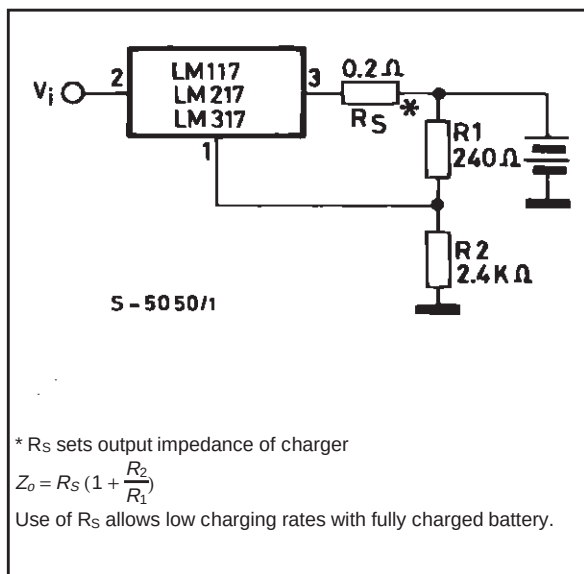
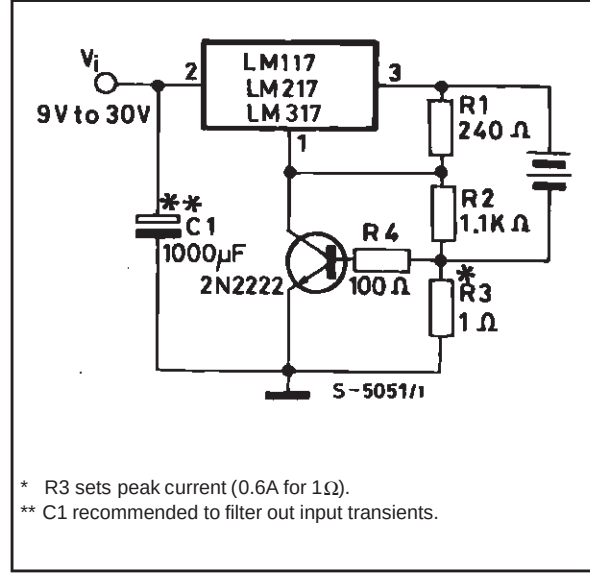
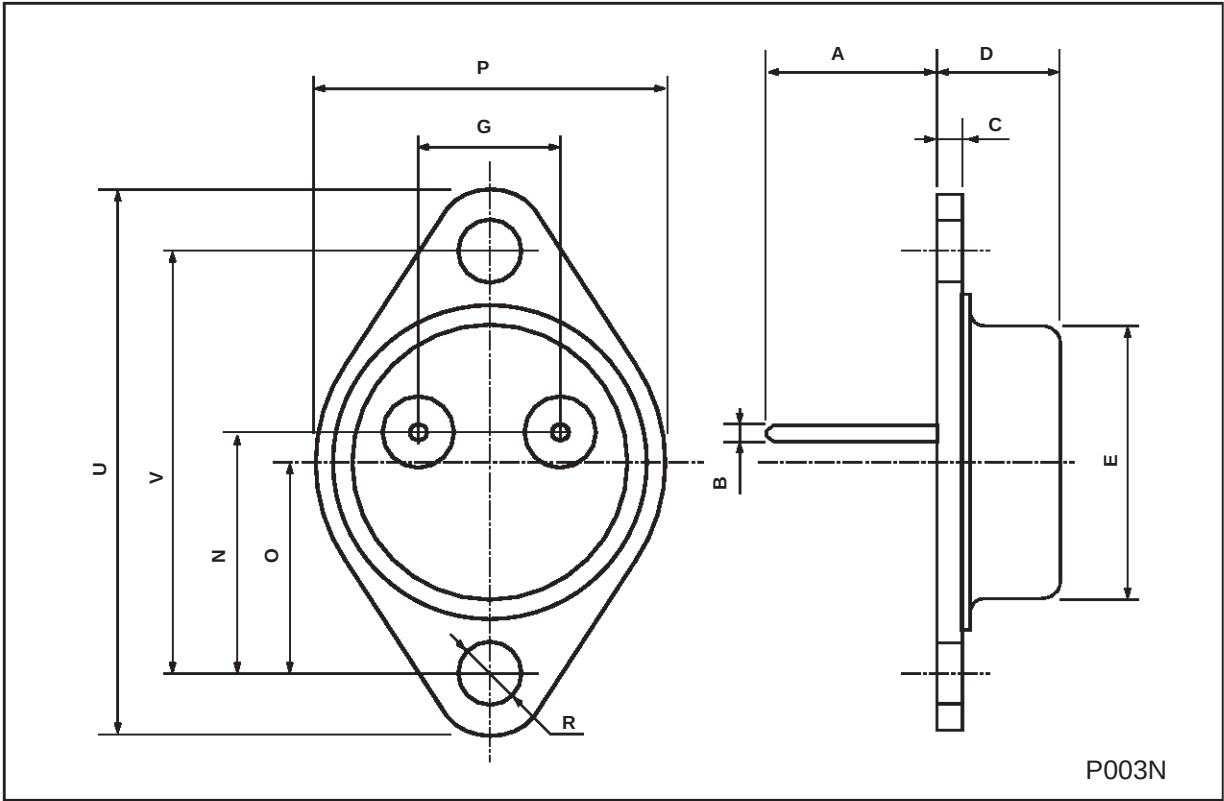


Figure 8 : 5V Electronic Shut-down Regulator

Figure 9 : Digitally Selected Outputs

Figure 10 : Battery Charger (12V)

Figure 11 : Current Limited 6V Charger


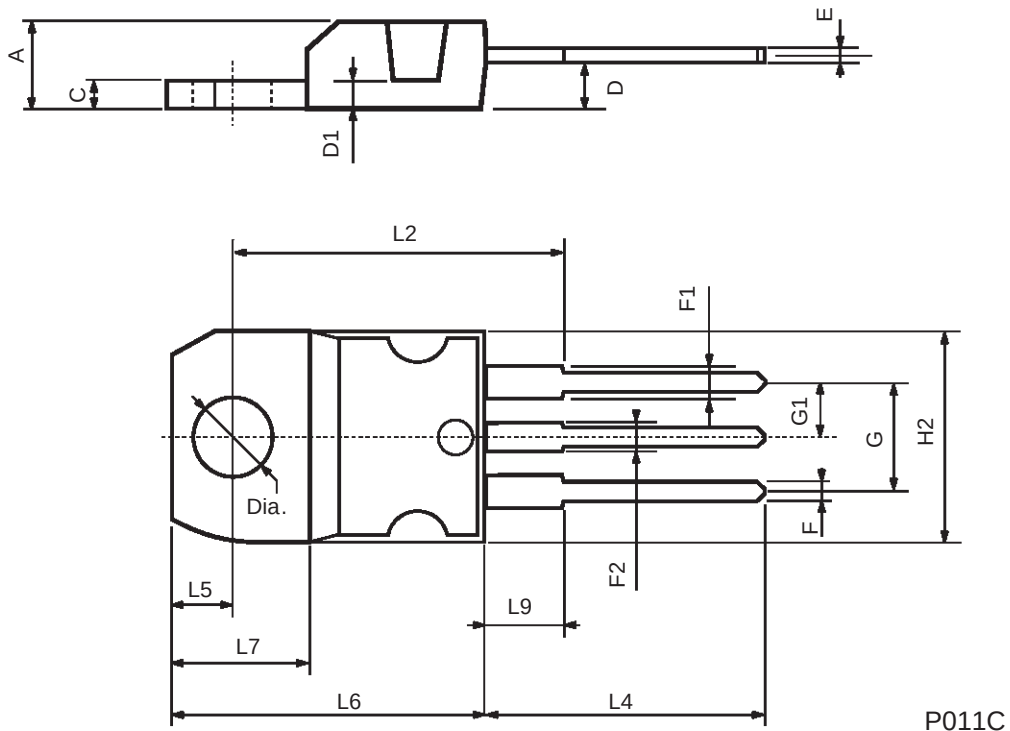
TO-3 (R) MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A		11.7			0.460	
B	0.96		1.10	0.037		0.043
C			1.70			0.066
D			8.7			0.342
E			20.0			0.787
G		10.9			0.429	
N		16.9			0.665	
P			26.2			1.031
R	3.88		4.09	0.152		0.161
U			39.50			1.555
V		30.10			1.185	



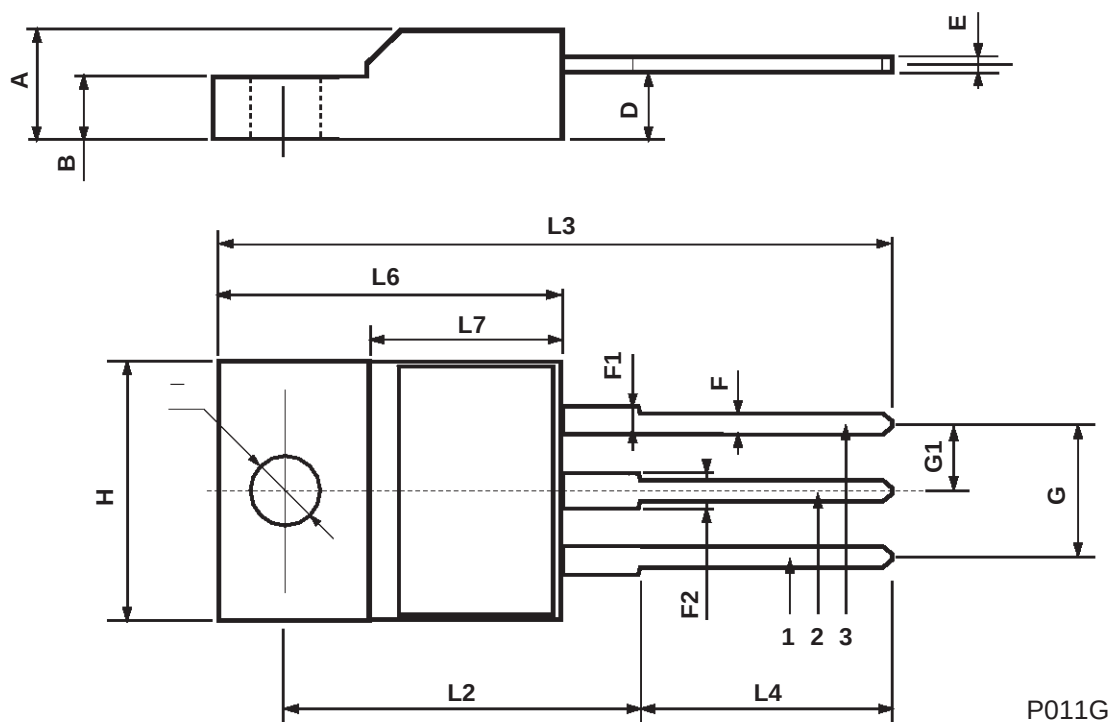
TO-220 MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.40		4.60	0.173		0.181
C	1.23		1.32	0.048		0.051
D	2.40		2.72	0.094		0.107
D1		1.27			0.050	
E	0.49		0.70	0.019		0.027
F	0.61		0.88	0.024		0.034
F1	1.14		1.70	0.044		0.067
F2	1.14		1.70	0.044		0.067
G	4.95		5.15	0.194		0.203
G1	2.4		2.7	0.094		0.106
H2	10.0		10.40	0.393		0.409
L2		16.4			0.645	
L4	13.0		14.0	0.511		0.551
L5	2.65		2.95	0.104		0.116
L6	15.25		15.75	0.600		0.620
L7	6.2		6.6	0.244		0.260
L9	3.5		3.93	0.137		0.154
DIA.	3.75		3.85	0.147		0.151



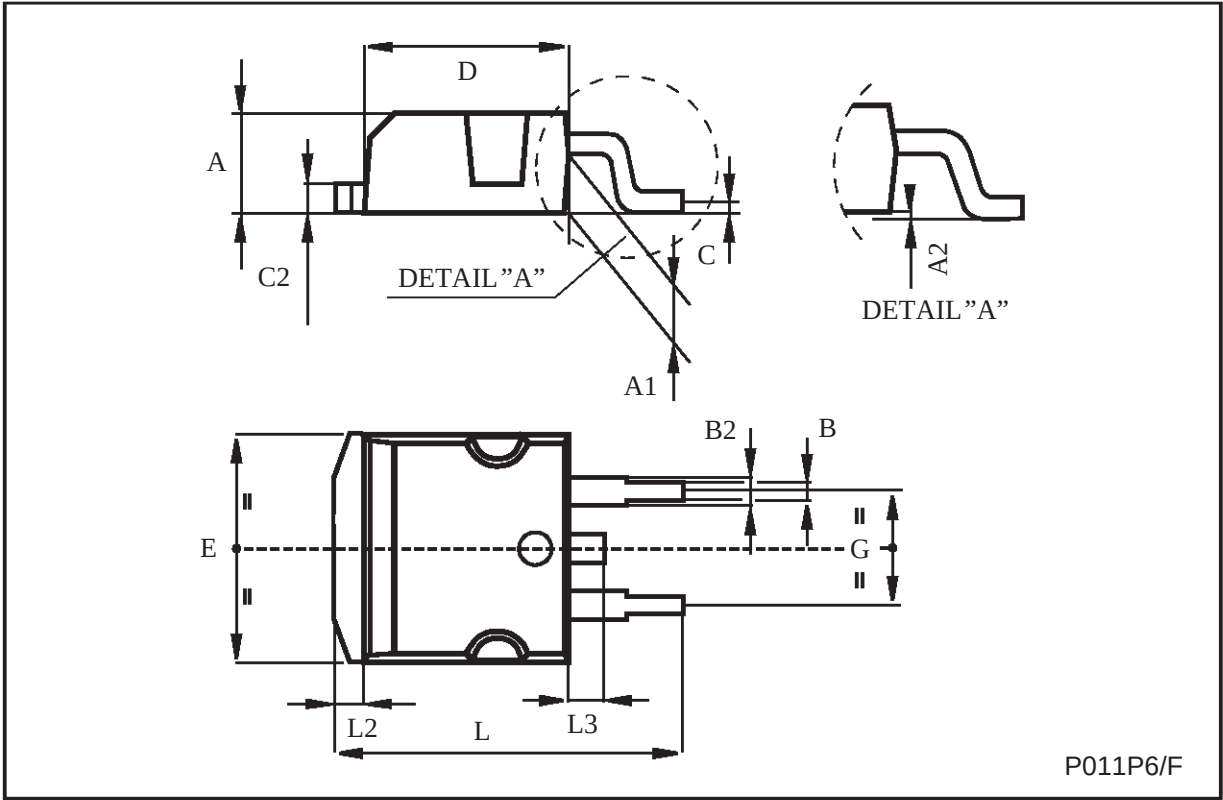
ISOWATT220 MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.4		4.6	0.173		0.181
B	2.5		2.7	0.098		0.106
D	2.5		2.75	0.098		0.108
E	0.4		0.7	0.015		0.027
F	0.75		1	0.030		0.039
F1	1.15		1.7	0.045		0.067
F2	1.15		1.7	0.045		0.067
G	4.95		5.2	0.195		0.204
G1	2.4		2.7	0.094		0.106
H	10		10.4	0.393		0.409
L2		16			0.630	
L3	28.6		30.6	1.126		1.204
L4	9.8		10.6	0.385		0.417
L6	15.9		16.4	0.626		0.645
L7	9		9.3	0.354		0.366
Ø	3		3.2	0.118		0.126



TO-263 (D²PAK) MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.4		4.6	0.173		0.181
A1	2.49		2.69	0.098		0.106
B	0.7		0.93	0.027		0.036
B2	1.14		1.7	0.044		0.067
C	0.45		0.6	0.017		0.023
C2	1.23		1.36	0.048		0.053
D	8.95		9.35	0.352		0.368
E	10		10.4	0.393		0.409
G	4.88		5.28	0.192		0.208
L	15		15.85	0.590		0.624
L2	1.27		1.4	0.050		0.055
L3	1.4		1.75	0.055		0.068



Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics

© 1999 STMicroelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved

STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco
Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - U.S.A.

<http://www.st.com>

MB1S - MB8S

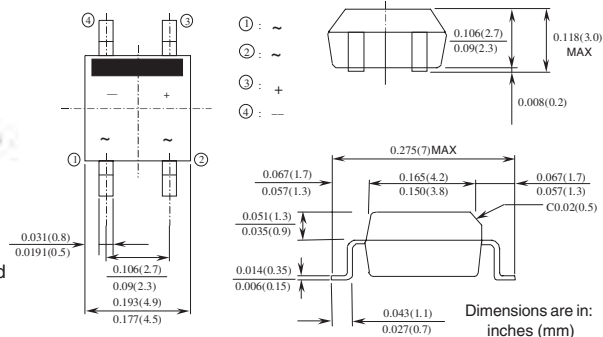
Features

- Low leakage
- Surge overload rating:
35 amperes peak.
- Ideal for printed circuit board.



SOIC-4

Polarity symbols molded
or marking on body



0.5 Ampere Glass Passivated Bridge Rectifiers

Absolute Maximum Ratings*

$T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
I_O	Average Rectified Current @ $T_A = 50^\circ\text{C}$	0.5	A
$I_{t(\text{surge})}$	Peak Forward Surge Current 8.3 ms single half-sine-wave Superimposed on rated load (JEDEC method)	35	A
P_D	Total Device Dissipation Derate above 25°C	1.4 11	W mW/ $^\circ\text{C}$
R_{JA}	Thermal Resistance, Junction to Ambient,** per leg	85	$^\circ\text{C}/\text{W}$
R_{JL}	Thermal Resistance, Junction to Lead,** per leg	20	$^\circ\text{C}/\text{W}$
T_{stg}	Storage Temperature Range	-55 to +150	$^\circ\text{C}$
T_J	Operating Junction Temperature	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

*These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

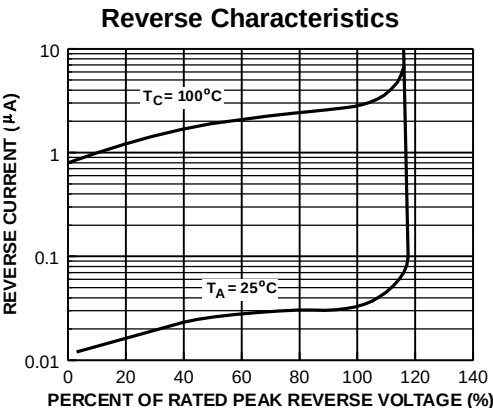
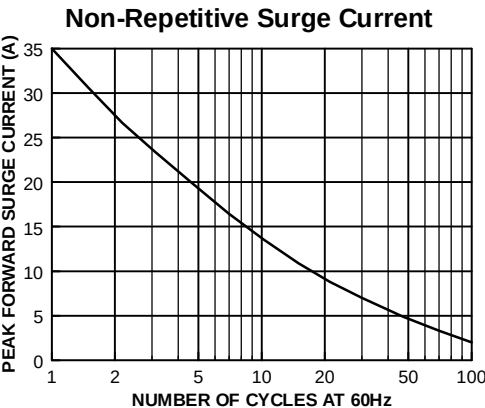
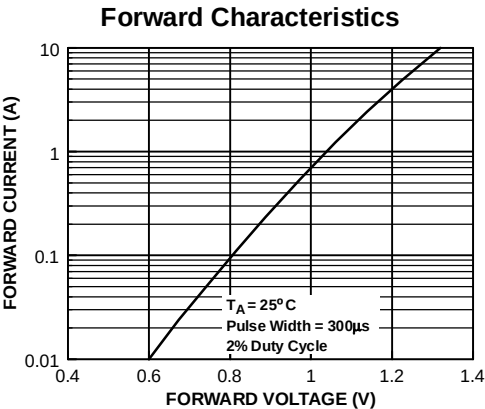
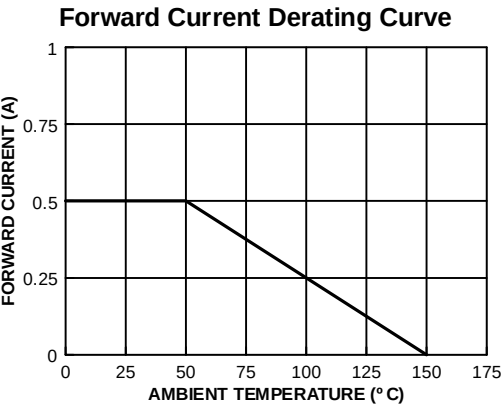
**Device mounted on PCB with 0.5-0.5" (13x13 mm) lead length.

Electrical Characteristics

$T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Parameter	Device					Units
	1S	2S	4S	6S	8S	
Peak Repetitive Reverse Voltage	100	200	400	600	800	V
Maximum RMS Bridge Input Voltage	70	140	280	420	560	V
DC Reverse Voltage (Rated V_R)	100	200	400	600	800	V
Maximum Reverse Leakage, per leg @ rated V_R $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = 125^\circ\text{C}$	5.0 0.5					A mA
Maximum Forward Voltage Drop, per bridge @ 0.5 A	1.0					V
I^2t rating for fusing $t < 8.3$ ms	5.0					A^2t
Typical Junction Capacitance, per leg $V_R = 4.0$ V, $f = 1.0$ MHz	13					pF

Typical Characteristics



TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACEx™	ISOPLANAR™
CoolFET™	MICROWIRE™
CROSSVOLT™	POP™
E ² CMOS™	PowerTrench™
FACT™	QS™
FACT Quiet Series™	Quiet Series™
FAST®	SuperSOT™-3
FASTr™	SuperSOT™-6
GTO™	SuperSOT™-8
HiSeC™	TinyLogic™

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.

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, or (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 significant injury to the user.
2. A critical component is 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.

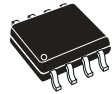
PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

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

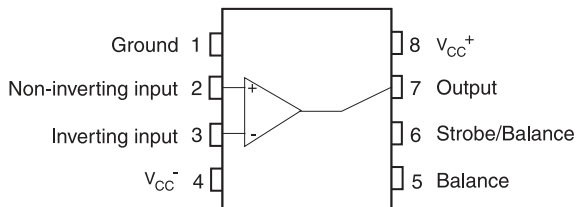
Voltage comparator with strobe

Datasheet - production data



D
SO-8
(Plastic micropackage)

Pin connections (top view)



Description

The LM211, LM311 are voltage comparators that have low input currents.

They are also designed to operate over a wide range of supply voltages: from standard ± 15 V operational amplifier supplies down to the single +5 V supply used for IC logic.

Their output is compatible with RTL-DTL and TTL as well as MOS circuits and can switch voltages up to +50 V at output currents as high as 50 mA.

Features

- Maximum input current: 150 nA
- Maximum offset current: 20 nA
- Differential input voltage range: ± 30 V
- Power consumption: 135 mW at ± 15 V
- Supply voltage: +5 V to ± 15 V
- Output current: 50 mA

Table 1. Order codes

Part number	Temperature range	Package	Packing	Marking
LM211D/DT	-40 °C, +105 °C	SO-8	Tube or tape & reel	211
LM311D/DT	0 °C, +70 °C			311

Contents

1 Schematic diagram 3

2 Absolute maximum ratings & operating conditions 4

3 Electrical characteristics 5

4 Typical application schematics 9

5 Package mechanical data 10

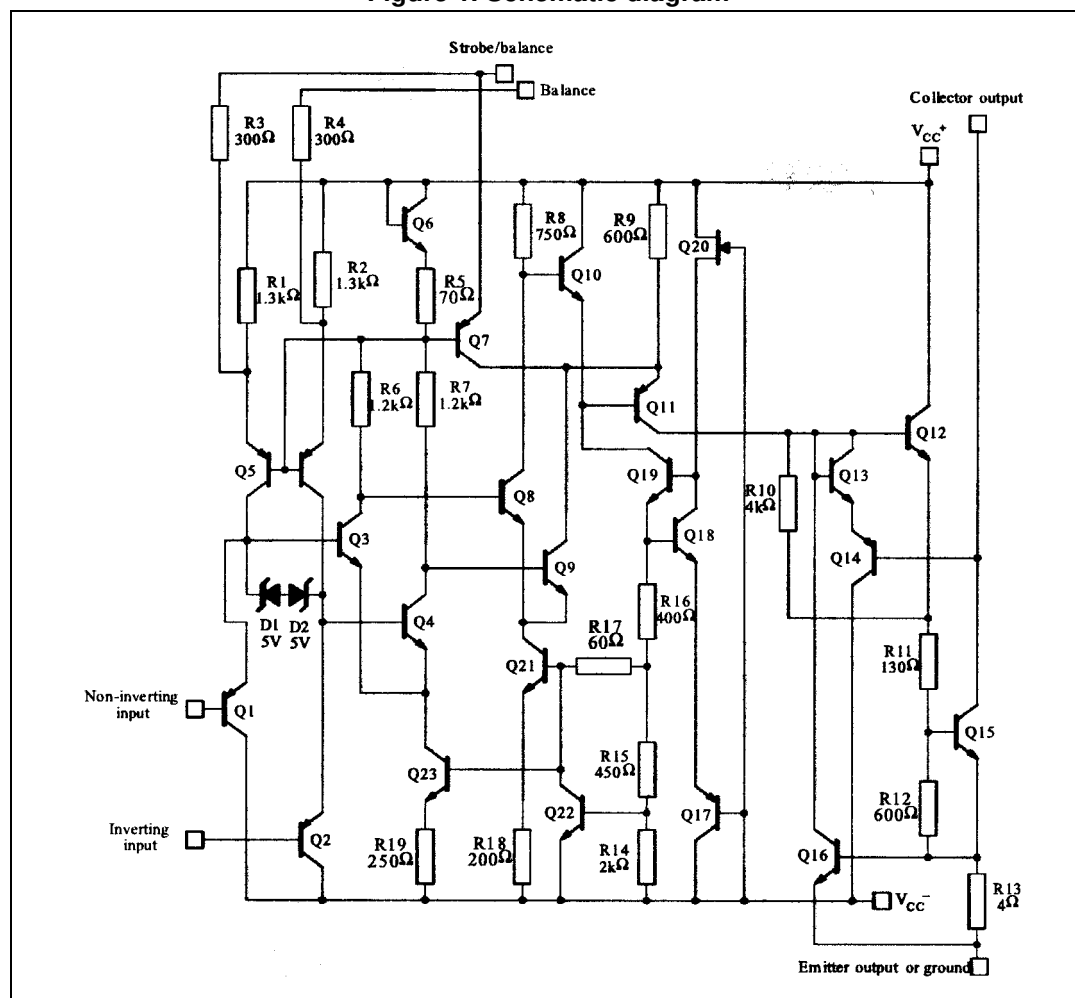
 5.1 SO-8 package information 11

6 Revision history 12



1 Schematic diagram

Figure 1. Schematic diagram



2 Absolute maximum ratings & operating conditions

Table 2. Absolute maximum ratings (AMR)

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{CC}	Supply voltage	36	V
V_{id}	Differential input voltage	± 30	V
V_i	Input voltage ⁽¹⁾	± 15	V
$V_{(1-4)}$	Ground to negative supply voltage	30	V
$V_{(7-4)}$	Output to negative supply voltage		
	LM211	50	V
	LM311	40	
	Output short-circuit duration	10	s
	Voltage at strobe pin	$V_{CC}^+ - 5$	V
P_d	Power dissipation ⁽²⁾		
	SO-8	710	mW
T_j	Junction temperature	+150	°C
T_{stg}	Storage temperature range	-65 to +150	°C
ESD	Human Body Model (HBM)	800	
	Charged Device Model (CDM)	1500	V
	Machine Model (MM)	200	

1. This rating applies for $\pm 15V$ supplies. The positive input voltage limit is 30V above the negative. The negative input voltage is equal to the negative supply voltage or 30V below the positive supply, whichever is less.
2. P_d is calculated with $T_{amb} = +25^\circ C$, $T_j = +150^\circ C$ and $R_{thja} = 175^\circ C/W$ for the SO-8 package.

Table 3. Operating conditions

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{CC}	Supply voltage	5 to ± 15	V
T_{oper}	Operating free-air temperature range		
	LM211	-40 to +105	°C
	LM311	0 to +70	

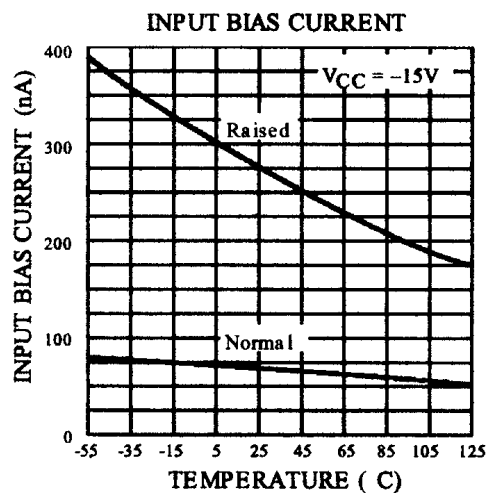
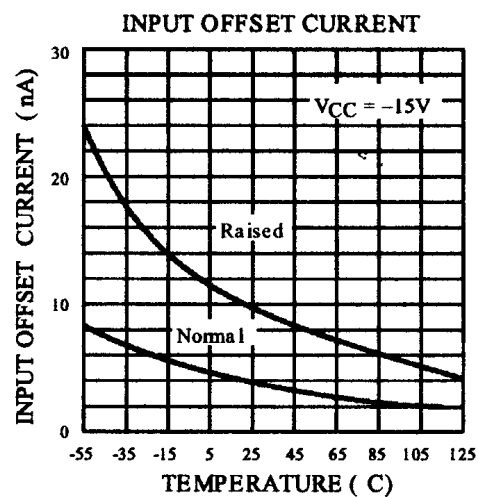
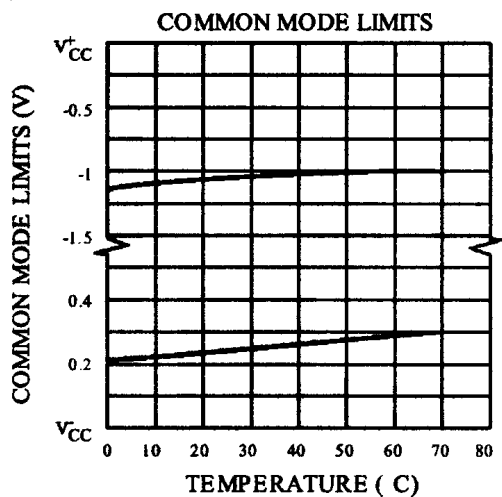
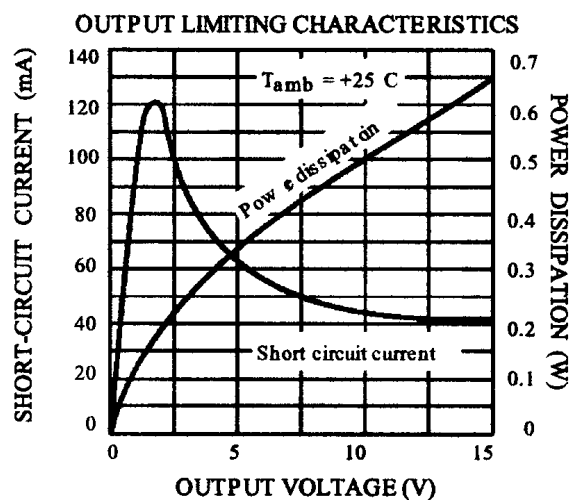
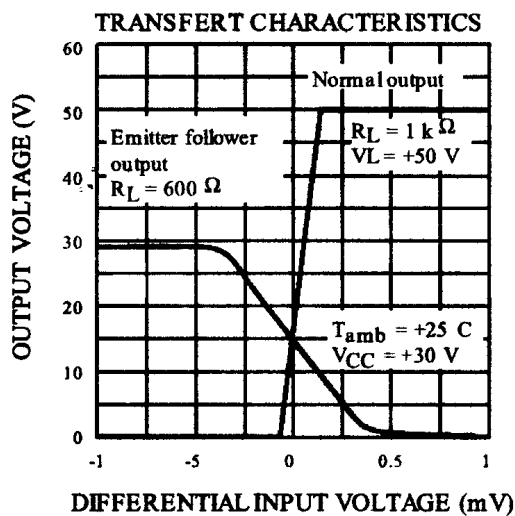
3 Electrical characteristics

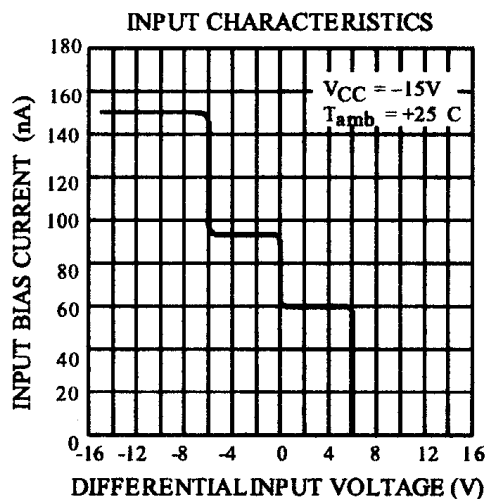
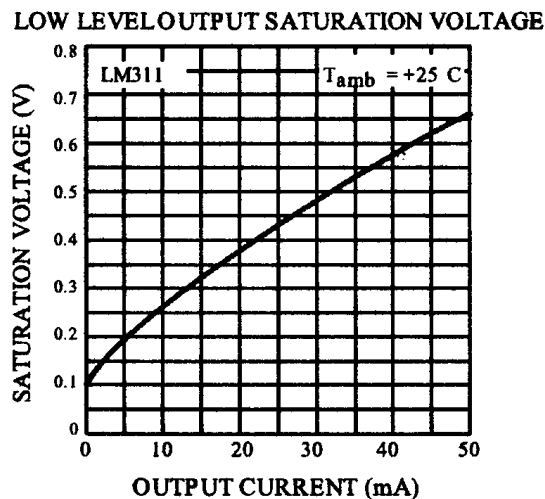
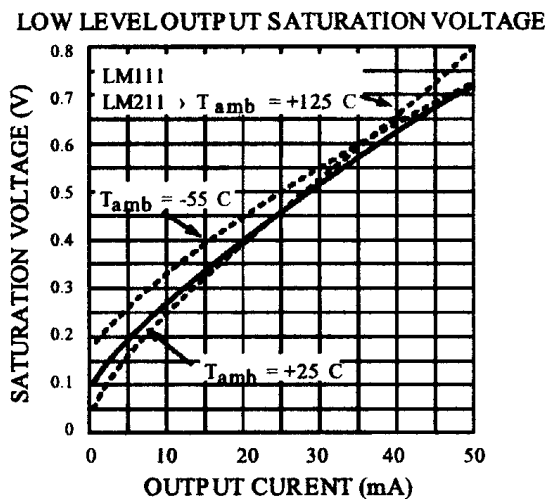
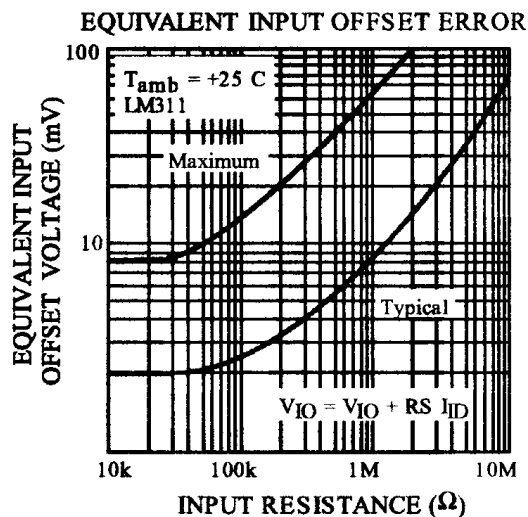
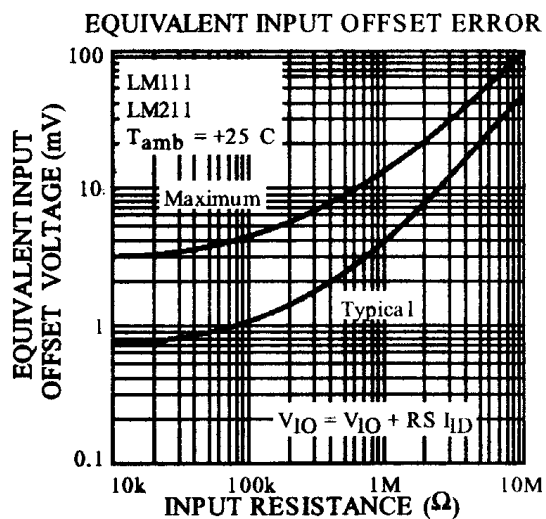
Table 4. $V_{CC+} = \pm 15\text{ V}$, $T_{\text{amb}} = +25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (unless otherwise specified)

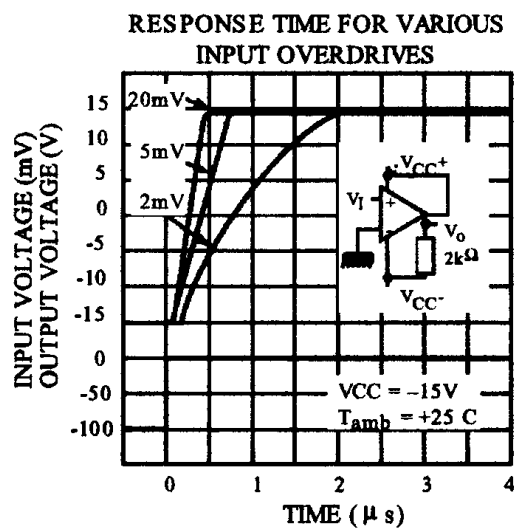
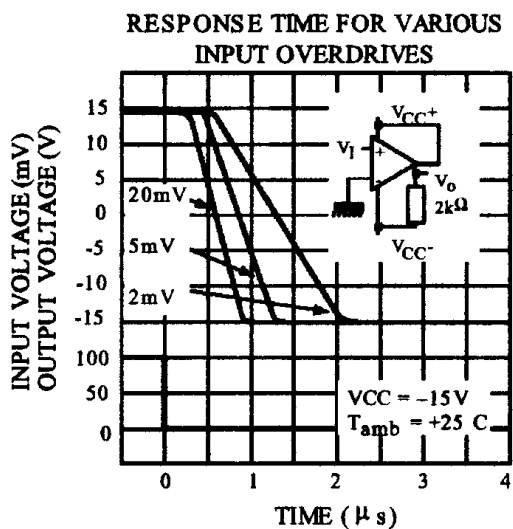
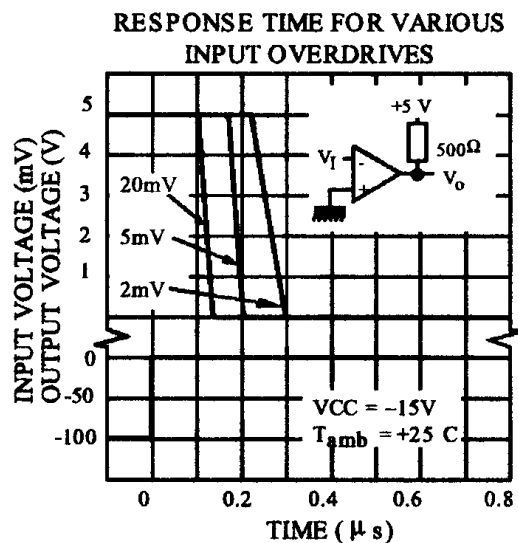
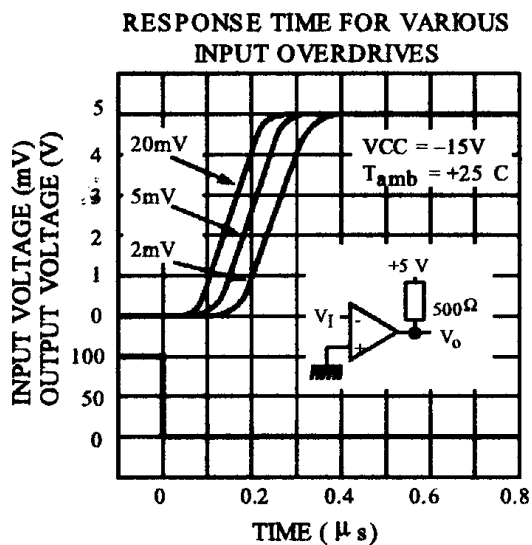
Symbol	Parameter	Conditions	LM211			LM311			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
V_{io}	Input offset voltage ⁽¹⁾	$R_S \leq 50\text{k}\Omega$ $T_{\text{amb}} = +25^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{min}} \leq T_{\text{amb}} \leq T_{\text{max}}$		0.7	3 4		2	7.5 10	mV
I_{io}	Input offset current ⁽¹⁾	$T_{\text{amb}} = +25^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{min}} \leq T_{\text{amb}} \leq T_{\text{max}}$		4	10 20		6	50 70	nA
I_{ib}	Input bias current ⁽¹⁾	$T_{\text{amb}} = +25^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{min}} \leq T_{\text{amb}} \leq T_{\text{max}}$		60	100 150		100	250 300	nA
A_{vd}	Large signal voltage gain		40	200		40	200		V/mV
I_{CC+} I_{CC-}	Supply currents	Positive Negative		5.1 4.1	6 5		5.1 4.1	7.5 5	mA
V_{icm}	Input common mode voltage range	$T_{\text{min}} \leq T_{\text{amb}} \leq T_{\text{max}}$	-14.5	+13.8 -14.7	+13	-14.5	+13.8 -14.7	+13	V
V_{OL}	Low level output voltage	$T_{\text{amb}} = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 50\text{mA}$, $V_i \leq -5\text{mV}$		0.75	1.5				V
		$T_{\text{amb}} = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 50\text{mA}$, $V_i \leq -10\text{mV}$					0.75	1.5	
		$T_{\text{min}} \leq T_{\text{amb}} \leq T_{\text{max}}$ $V_{CC+} \geq +4.5\text{V}$, $V_{CC-} = 0$ $I_O = 8\text{mA}$, $V_i \leq -6\text{mV}$		0.23	0.4				
		$T_{\text{min}} \leq T_{\text{amb}} \leq T_{\text{max}}$ $V_{CC+} \geq +4.5\text{V}$, $V_{CC-} = 0$ $I_O = 8\text{mA}$, $V_i \leq -10\text{mV}$					0.23	0.4	
I_{OH}	High level output current	$T_{\text{amb}} = +25^{\circ}\text{C}$ $V_i \geq +5\text{mV}$, $V_O = +35\text{V}$		0.2	10				nA
		$T_{\text{amb}} = +25^{\circ}\text{C}$ $V_i \geq +10\text{mV}$, $V_O = +35\text{V}$					0.2	50	nA
		$T_{\text{min}} \leq T_{\text{amb}} \leq T_{\text{max}}$ $V_i \geq +5\text{mV}$, $V_O = +35\text{V}$		0.1	0.5				μA
I_{strobe}	Strobe current			3			3		mA
t_{re}	Response time ⁽²⁾			200			200		ns

1. The offset voltage, offset current and bias current specifications apply for any supply voltage from a single +5 V supply up to $\pm 15\text{ V}$ supplies. The offset voltages and offset currents given are the maximum values required to drive the output down to +1 V or up to +14 V with a 1 mA load current. Thus, these parameters define an error band and take into account the worst-case of voltage gain and input impedance.

2. The response time specified is for a 100 mV input step with 5 mV overdrive.



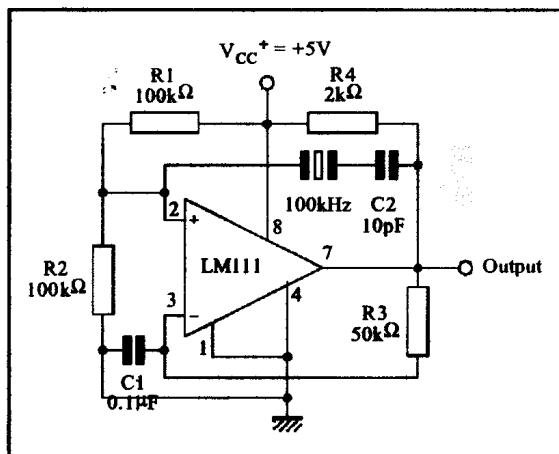




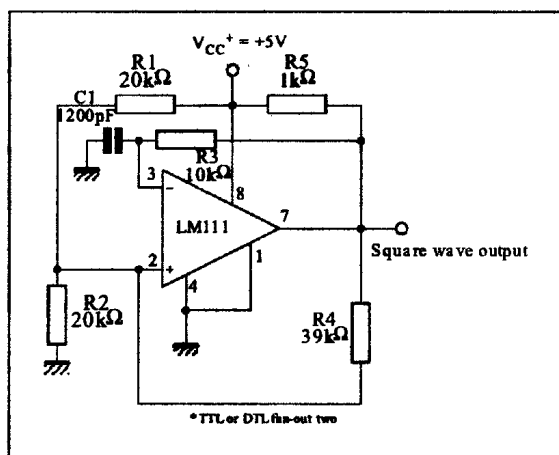
4 Typical application schematics

TYPICAL APPLICATIONS

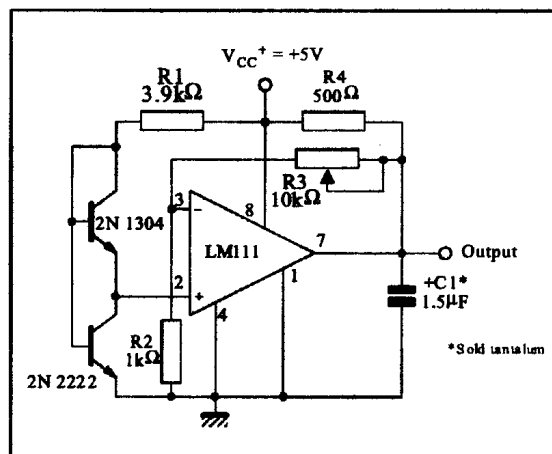
CRYSTAL OSCILLATOR



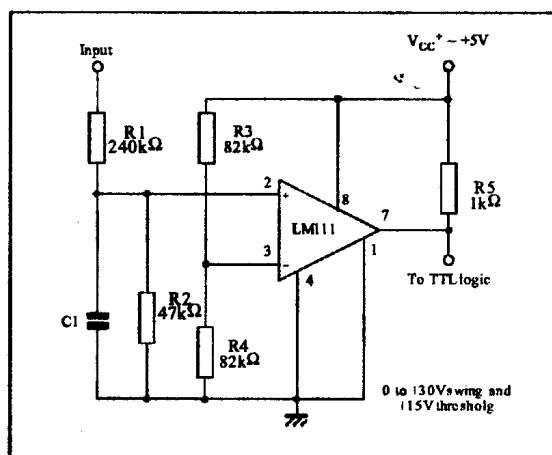
100kHz FREE RUNNING MULTIVIBRATOR



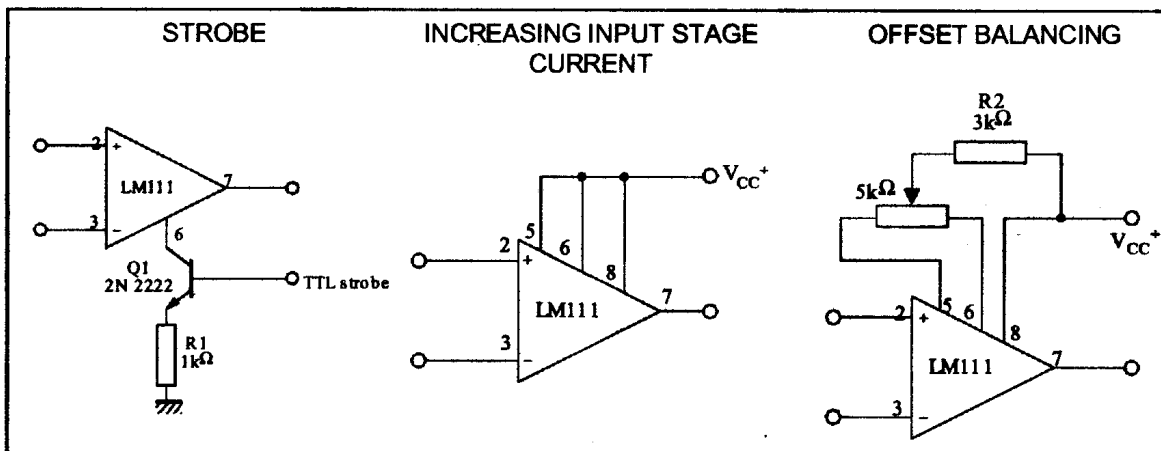
LOW VOLTAGE ADJUSTABLE REFERENCE SUPPLY



TTL INTERFACE WITH HIGH LEVEL LOGIC



AUXILIARY CIRCUITS



5 Package mechanical data

In order to meet environmental requirements, ST offers these devices in different grades of ECOPACK packages, depending on their level of environmental compliance. ECOPACK specifications, grade definitions and product status are available at: www.st.com. ECOPACK is an ST trademark.

5.1 SO-8 package information

Figure 2. SO-8 package outline

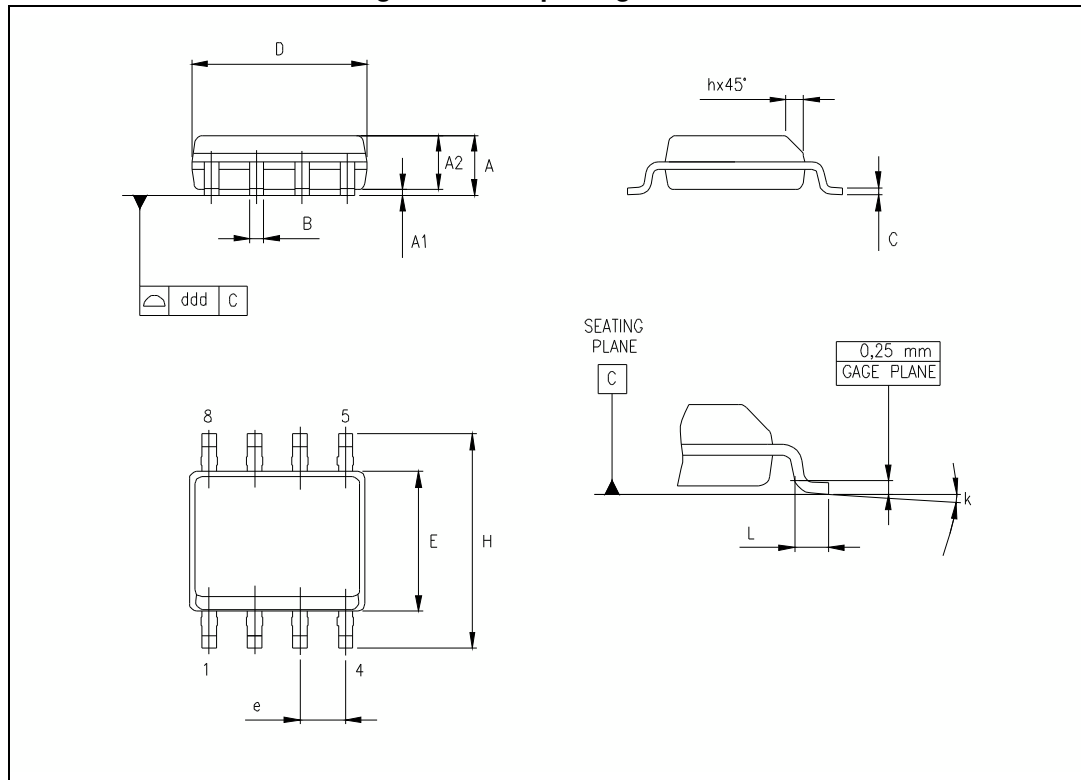


Table 5. SO-8 package mechanical data

Symbol	Dimensions					
	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A	1.35	-	1.75	0.053	-	0.069
A1	0.10	-	0.25	0.004	-	0.010
A2	1.10	-	1.65	0.043	-	0.065
B	0.33	-	0.51	0.013	-	0.020
C	0.19	-	0.25	0.007	-	0.010
D	4.80	-	5.00	0.189	-	0.197
E	3.80	-	4.00	0.150	-	0.157
e	-	1.27	-	-	0.050	-
H	5.80	-	6.20	0.228	-	0.244
h	0.25	-	0.50	0.010	-	0.020
L	0.40	-	1.27	0.016	-	0.050
k	8° (max.)			8° (max.)		
ddd	-	-	0.10	-	-	0.004

6 Revision history

Table 6. Document revision history

Date	Revision	Changes
01-Jun-2002	1	Initial release.
02-Jan-2006	2	Table 3. on page 5 updated. Formatting changes throughout.
01-Mar-2006	3	Pin connections updated on page 1.
26-Sep-2006	4	Corrected description under title on cover page.
08-Jun-2022	5	Added ESD parameter in Table 2 .

IMPORTANT NOTICE – PLEASE READ CAREFULLY

STMicroelectronics NV and its subsidiaries ("ST") reserve the right to make changes, corrections, enhancements, modifications, and improvements to ST products and/or to this document at any time without notice. Purchasers should obtain the latest relevant information on ST products before placing orders. ST products are sold pursuant to ST's terms and conditions of sale in place at the time of order acknowledgement.

Purchasers are solely responsible for the choice, selection, and use of ST products and ST assumes no liability for application assistance or the design of Purchasers' products.

No license, express or implied, to any intellectual property right is granted by ST herein.

Resale of ST products with provisions different from the information set forth herein shall void any warranty granted by ST for such product.

ST and the ST logo are trademarks of ST. For additional information about ST trademarks, please refer to www.st.com/trademarks. All other product or service names are the property of their respective owners.

Information in this document supersedes and replaces information previously supplied in any prior versions of this document.

© 2022 STMicroelectronics – All rights reserved





Features

- Multiple applications: parallel, series, dual-inductor and transformer
- Magnetically shielded, low radiation
- Inductance range: 0.47 to 4000 μ H
- Rated current up to 17.6 A
- RoHS compliant*

Applications

- SEPIC topology
- Power supplies for:
 - Communication equipment
 - Notebooks, desktop computers, servers
 - LCDs, flat panels, backlights
 - Camcorders, HDTVs, car audio systems

SRF1260 Series - Dual-Winding Shielded Power Inductors

Electrical Specifications @ 25 °C

Bourns Part No.	Parallel Rating					Series Rating				
	Inductance @ 100 KHz L (μ H)	Tol. (%)	DCR (Ω) Max.	Irms (A)	Isat (A)	Inductance @ 100 KHz L (μ H)	Tol. (%)	DCR (Ω) Max.	Irms (A)	Isat (A)
SRF1260-R47Y	0.47	± 30	0.0053	17.6	33	1.88	± 30	0.0212	8.8	16.5
SRF1260-1R0Y	1.0	± 30	0.0062	15	23.6	4	± 30	0.026	7.51	11.8
SRF1260-1R5Y	1.5	± 30	0.0073	13.8	18.3	6	± 30	0.0302	6.89	9.15
SRF1260-2R2Y	2.2	± 30	0.0085	10.9	15	8.8	± 30	0.0333	5.46	7.5
SRF1260-3R3Y	3.3	± 30	0.0101	9.26	12.7	13.2	± 30	0.0372	4.63	6.35
SRF1260-4R7Y	4.7	± 30	0.0137	7.18	9.71	18.8	± 30	0.0479	3.59	4.86
SRF1260-6R8Y	6.8	± 30	0.0186	6.64	8.68	27.2	± 30	0.0672	3.32	4.34
SRF1260-8R2Y	8.2	± 30	0.0194	5.54	7.86	32.8	± 30	0.0737	2.77	3.93
SRF1260-100M	10	± 20	0.0246	5.35	7.17	40	± 20	0.0934	2.67	3.59
SRF1260-150M	15	± 20	0.0329	4.27	5.69	60	± 20	0.125	2.13	2.85
SRF1260-220M	22	± 20	0.0451	3.7	4.71	88	± 20	0.172	1.84	2.36
SRF1260-330M	33	± 20	0.0618	3.28	3.84	132	± 20	0.256	1.64	1.92
SRF1260-470M	47	± 20	0.086	2.71	3.24	188	± 20	0.34	1.35	1.62
SRF1260-680M	68	± 20	0.117	2.22	2.7	272	± 20	0.444	1.11	1.35
SRF1260-820M	82	± 20	0.15	2.05	2.39	328	± 20	0.568	1.03	1.2
SRF1260-101M	100	± 20	0.171	1.78	2.2	400	± 20	0.656	0.892	1.1
SRF1260-151M	150	± 20	0.254	1.48	1.81	600	± 20	0.972	0.739	0.905
SRF1260-221M	220	± 20	0.354	1.19	1.51	880	± 20	1.416	0.594	0.755
SRF1260-331M	330	± 20	0.574	1.06	1.22	1320	± 20	2.29	0.53	0.61
SRF1260-471M	470	± 20	0.83	0.87	1.02	1880	± 20	3.197	0.434	0.51
SRF1260-681M	680	± 20	1.212	0.7	0.85	2720	± 20	4.635	0.35	0.425
SRF1260-821M	820	± 20	1.46	0.6	0.77	3280	± 20	5.363	0.301	0.385
SRF1260-102M	1000	± 20	1.854	0.57	0.7	4000	± 20	6.782	0.283	0.35

General Specifications

Test Voltage 0.25 V
 Hi-pot 500 Vrms, 3 mA, 3 sec.
 Reflow Soldering .. 230 °C; 50 sec. max.
 Operating Temperature
 -40 °C to +125 °C
 (Temperature rise included)
 Storage Temperature .. -40 °C to +125 °C
 Resistance to Solder Heat
 +260 °C for 10 sec.

Materials

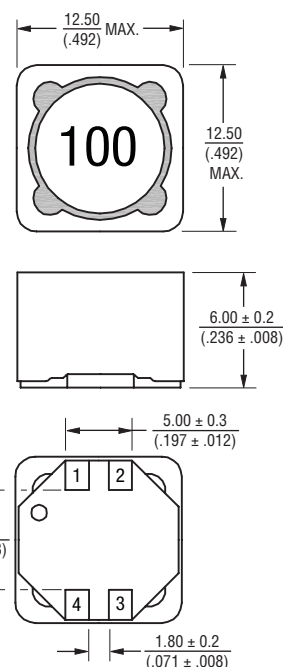
Core Ferrite
 Wire Enameled copper
 Base LCP
 Adhesive Epoxy resin
 Terminal Sn
 Rated Current
 Inductance drops 30 % at Isat
 Temperature Rise 40 °C at rated I rms
 Packaging 400 pcs. per 13-inch reel

How to Order

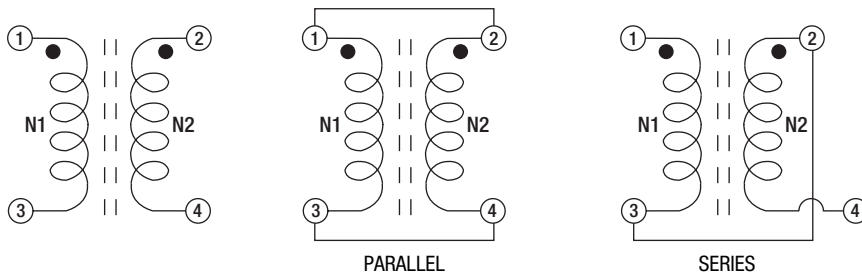
SRF1260 - 100M

Model _____
 Value Code (see table) _____

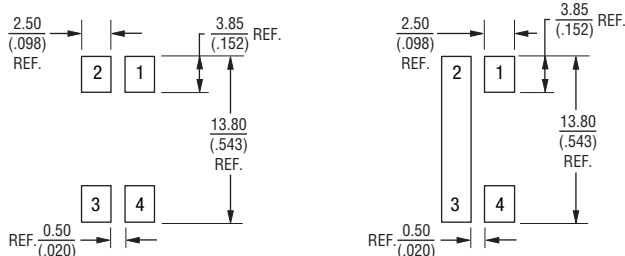
Product Dimensions



Electrical Schematic



Recommended Layout



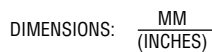
DUAL INDUCTOR MODE

SERIES MODE

*RoHS Directive 2002/95/EC Jan. 27, 2003 including annex and RoHS Recast 2011/65/EU June 8, 2011.
 Specifications are subject to change without notice.
 Customers should verify actual device performance in their specific applications.

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

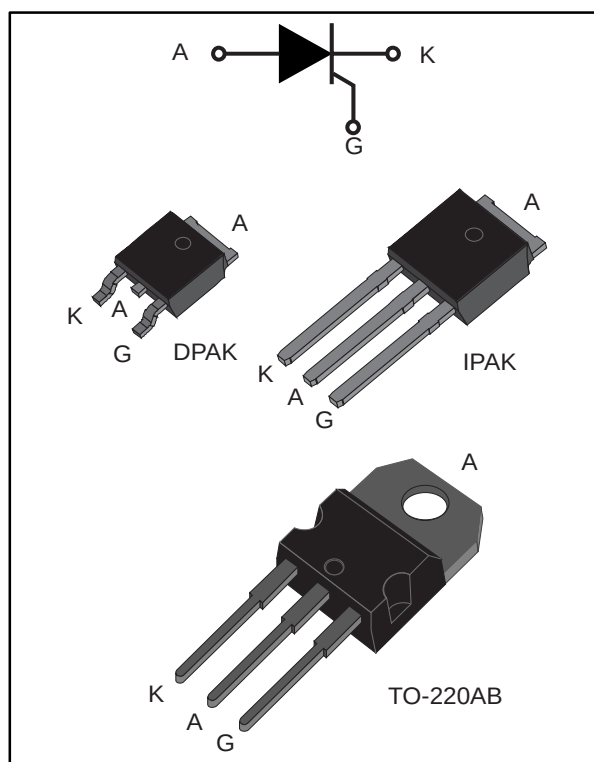
BOURNS®



Specifications are subject to change without notice.
Customers should verify actual device performance in their specific applications.

Sensitive 12 A SCRs

Datasheet - production data



Features

- On-state RMS current, $I_{T(RMS)}$ 12 A
- Repetitive peak off-state voltage, V_{DRM}/V_{RRM} 600 V
- Triggering gate current, I_{GT} 200 μ A
- ECOPACK[®]2 compliant component

Applications

- Capacitive ignition circuit for motorcycle engine
- DC brush motor drive for power tool or kitchen appliance
- Gas ignitor circuit
- Regulator driver for battery charger

Description

Thanks to highly sensitive triggering levels, the 12 A SCR series is suitable to fit all modes of control, found in applications such as overvoltage crowbar protection, motor control circuits in power tools and kitchen aids, inrush current limiting circuits, capacitive discharge ignition and voltage regulation circuits.

Available in through-hole or surface-mount packages, they provide an optimized performance in a limited space.

Table 1: Device summary

Order code	V_{DRM}/V_{RRM}	I_{GT}	Package
TS1220-600B	600 V	0.2 mA	DPAK
TS1220-600B-TR		0.2 mA	DPAK
TS1220-600H		0.2 mA	IPAK
TS1220-600T		0.2 mA	TO-220AB

1 Characteristics

Table 2: Absolute ratings (limiting values)

Symbol	Parameter			Value	Unit
$I_{T(RMS)}$	On-state RMS current (180° conduction angle)		$T_c = 105\text{ °C}$	12	A
$I_{T(AV)}$	Average on-state current (180° conduction angle)		$T_c = 105\text{ °C}$	8	A
I_{TSM}	Non repetitive surge peak on-state current	$t_p = 8.3\text{ ms}$	$T_j = 25\text{ °C}$	115	A
		$t_p = 10\text{ ms}$		110	
I^2t	I^2t value for fusing	$t_p = 10\text{ ms}$	$T_j = 25\text{ °C}$	60	A ² s
dI/dt	Critical rate of rise of on-state current $I_G = 2 \times I_{GT}$, $t_r \leq 100\text{ ns}$	$F = 60\text{ Hz}$	$T_j = 125\text{ °C}$	50	A/ μ s
I_{GM}	Peak gate current	$t_p = 20\text{ }\mu$ s	$T_j = 125\text{ °C}$	4	A
$P_{G(AV)}$	Average gate power dissipation		$T_j = 125\text{ °C}$	1	W
T_{stg}	Storage junction temperature range			- 40 to + 150	°C
T_j	Operating junction temperature range			- 40 to + 125	

Table 3: Sensitive electrical characteristics ($T_j = 25\text{ °C}$, unless otherwise specified)

Symbol	Test conditions				Unit
I _{GT}	V _D = 12 V, R _L = 140 Ω		MAX.	200	μA
V _{GT}			MAX.	0.8	V
V _{GD}	V _D = V _{DRM} , R _L = 3.3 kΩ, R _{GK} = 220 Ω	T _j = 125 °C	MIN.	0.1	V
V _{RG}	I _{RG} = 10 μA		MIN.	8	V
I _H	I _T = 50 mA, R _{GK} = 1 kΩ		MAX.	5	mA
I _L	I _G = 1 mA, R _{GK} = 1 kΩ		MAX.	6	mA
dV/dt	V _D = 67% V _{DRM} , R _{GK} = 220 Ω	T _j =125 °C	MIN.	5	V/μs
V _{TM}	I _{TM} = 24 A t _p = 380 μs	T _j = 25 °C	MAX.	1.6	V
V _{t0}	Threshold voltage	T _j = 125 °C	MAX.	0.85	V
R _d	Dynamic resistance	T _j = 125 °C	MAX.	30	mΩ
I _{DRM} I _{RRM}	V _{DRM} = V _{RRM} , R _{GK} = 1 kΩ	T _j = 25 °C	MAX.	5	μA
		T _j = 125 °C		2	mA

Table 4: Thermal resistance

Symbol	Parameter			Value	Unit
R _{th(j-c)}	Junction to case (DC)		DPAK, IPAK, TO-220AB	1.3	°C/W
R _{th(j-a)}	Junction to ambient (DC)	S = 0.5 cm ²⁽¹⁾	DPAK	70	°C/W
			IPAK	100	
			TO-220AB	60	

Notes:

(1)S = Copper surface under tab

1.1 Characteristics (curves)

Figure 1: Maximum average power dissipation versus average on-state current

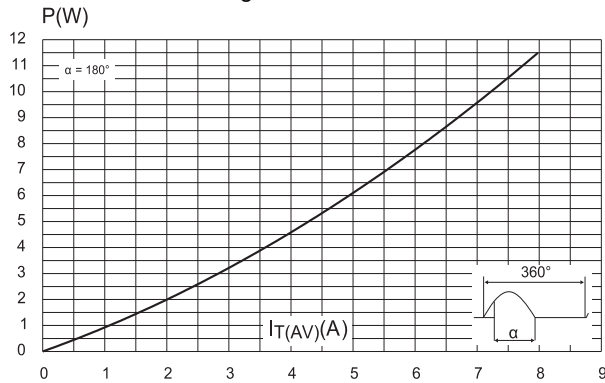


Figure 2: Average and DC on-state current versus case temperature

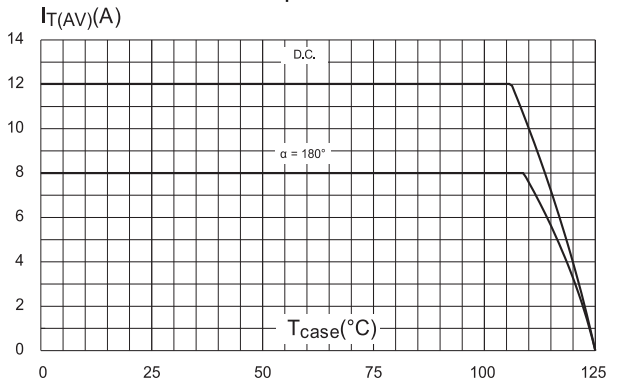


Figure 3: Average and DC on-state current versus ambient temperature (DPAK)

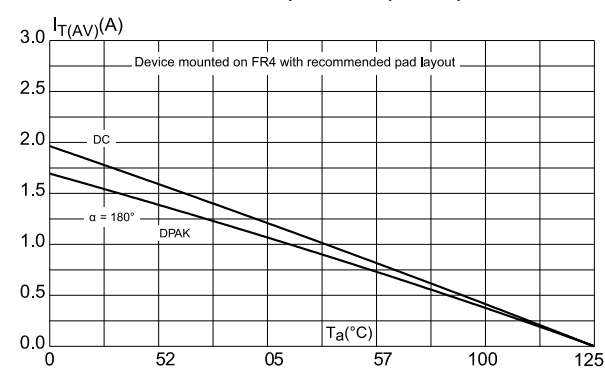


Figure 4: Relative variation of thermal impedance junction to case versus pulse duration

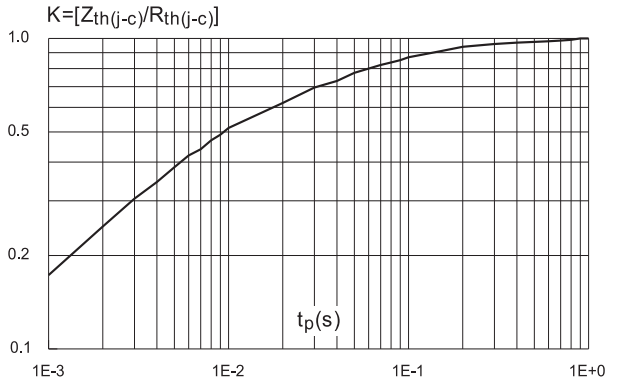


Figure 5: Relative variation of thermal impedance junction to ambient versus pulse duration

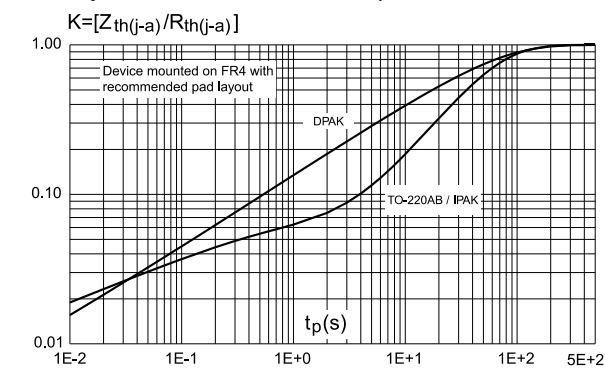


Figure 6: Relative variation of gate trigger and holding current versus junction temperature

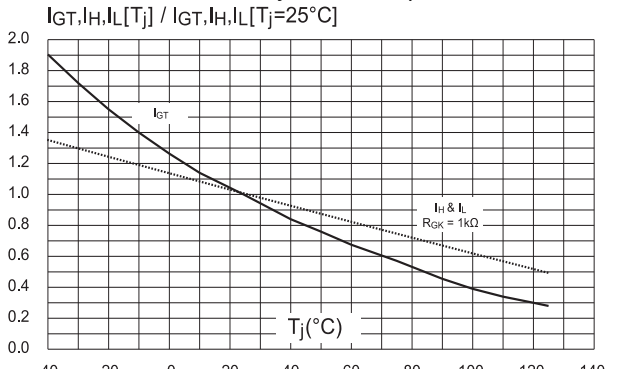


Figure 7: Relative variation of holding current versus gate-cathode resistance (typical values)

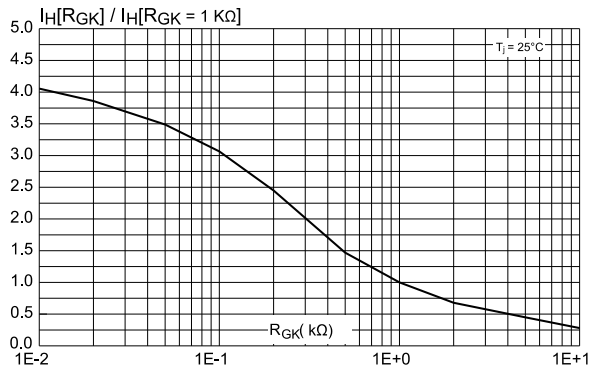


Figure 8: Relative variation of dV/dt immunity versus gate-cathode resistance (typical values)

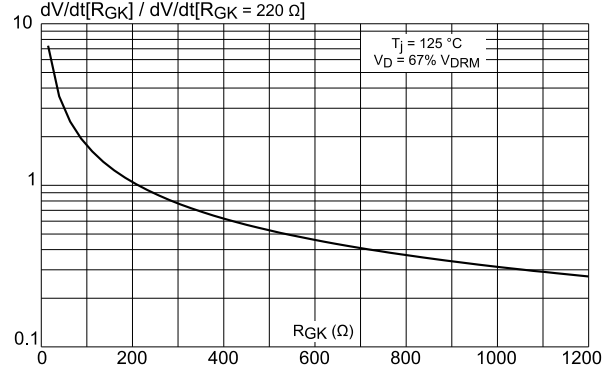


Figure 9: Relative variation of dV/dt immunity current versus gate-cathode capacitance (typical values)

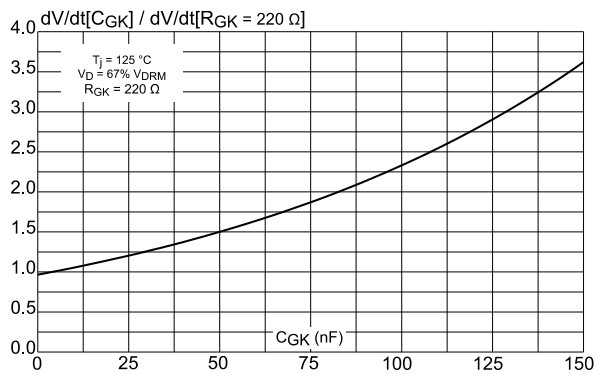


Figure 10: Surge peak on-state current versus number of cycles

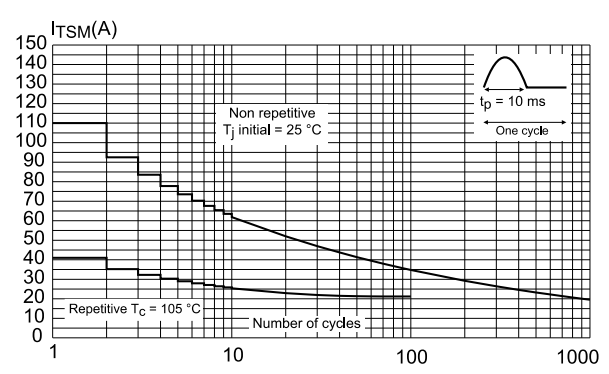


Figure 11: Non-repetitive surge peak on-state current and corresponding values versus sinusoidal pulse width

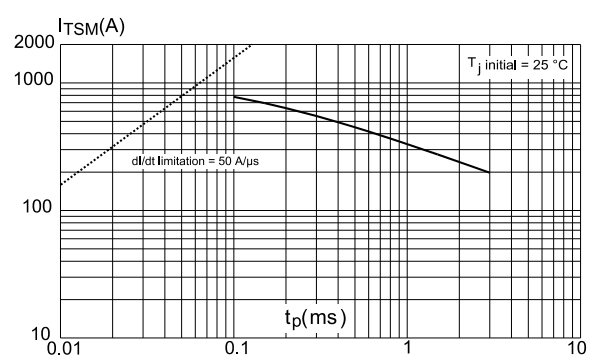


Figure 12: On-state characteristics (maximum values)

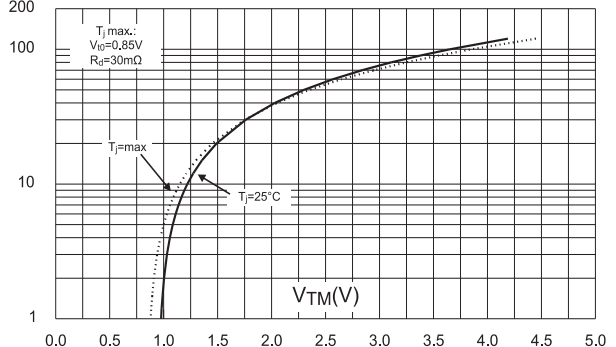
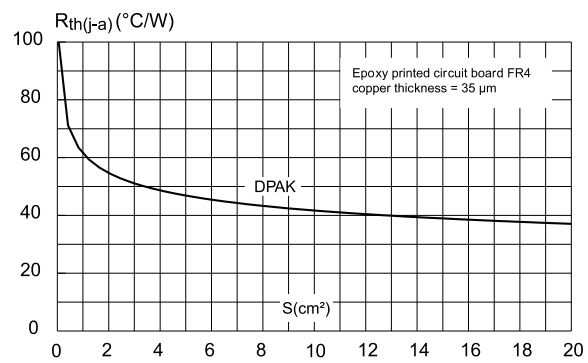


Figure 13: Thermal resistance junction to ambient versus copper surface under tab (DPAK)



2 Package information

In order to meet environmental requirements, ST offers these devices in different grades of ECOPACK® packages, depending on their level of environmental compliance. ECOPACK® specifications, grade definitions and product status are available at: www.st.com. ECOPACK® is an ST trademark.

Lead free lead plating; halogen free molding compound.

2.1 DPAK package mechanical data

Figure 14: DPAK package outline

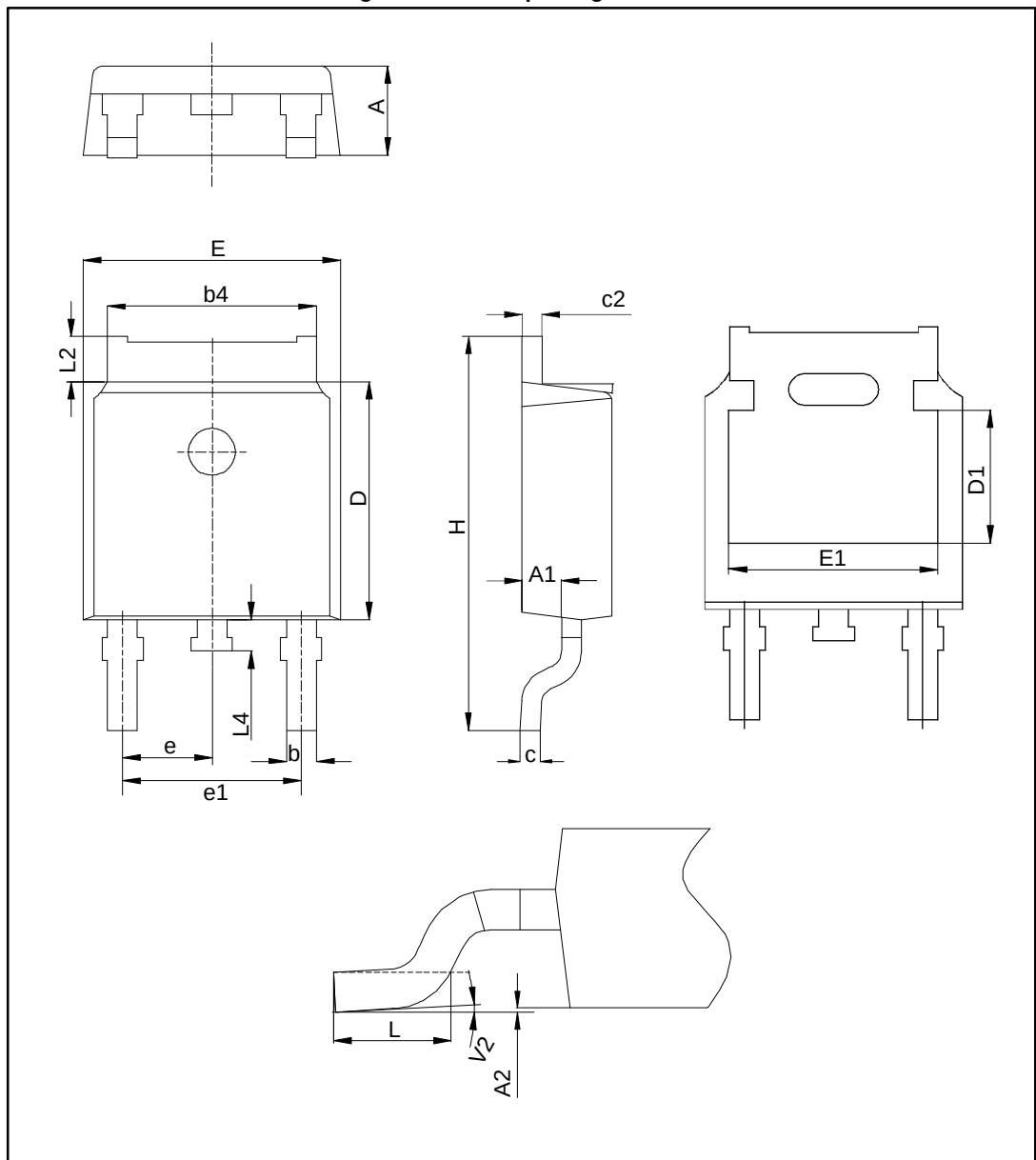
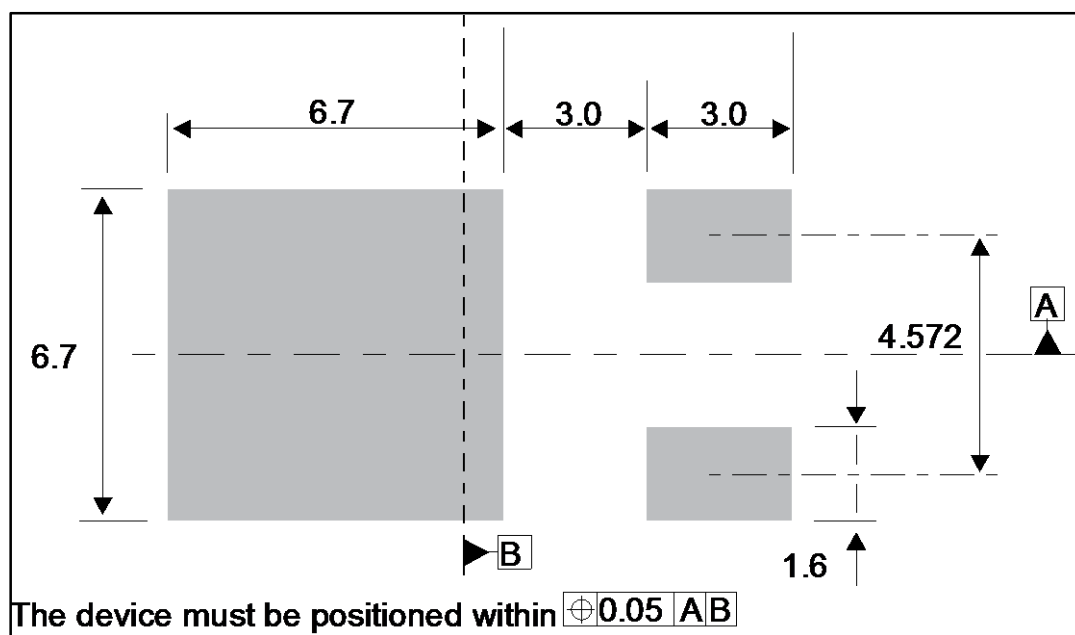


Table 5: DPAK mechanical data

Dim.	mm			Inches ⁽¹⁾		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A	2.18		2.40	0.0858		0.0945
A1	0.90		1.10	0.0354		0.0433
A2	0.03		0.23	0.0012		0.0091
b	0.64		0.90	0.0252		0.0354
b4	4.95		5.46	0.1949		0.2150
c	0.46		0.61	0.0181		0.0240
c2	0.46		0.60	0.0181		0.0240
D	5.97		6.22	0.2350		0.2449
D1	4.95		5.60	0.1949		0.2205
E	6.35		6.73	0.2500		0.2650
E1	4.32		5.50	0.1701		0.2165
e		2.286			0.0900	
e1	4.40		4.70	0.1732		0.1850
H	9.35		10.40	0.3681		0.4094
L	1.00		1.78	0.0394		0.0701
L2			1.27			0.0500
L4	0.60		1.02	0.0236		0.0402
V2	-8°		8°	-8°		8°

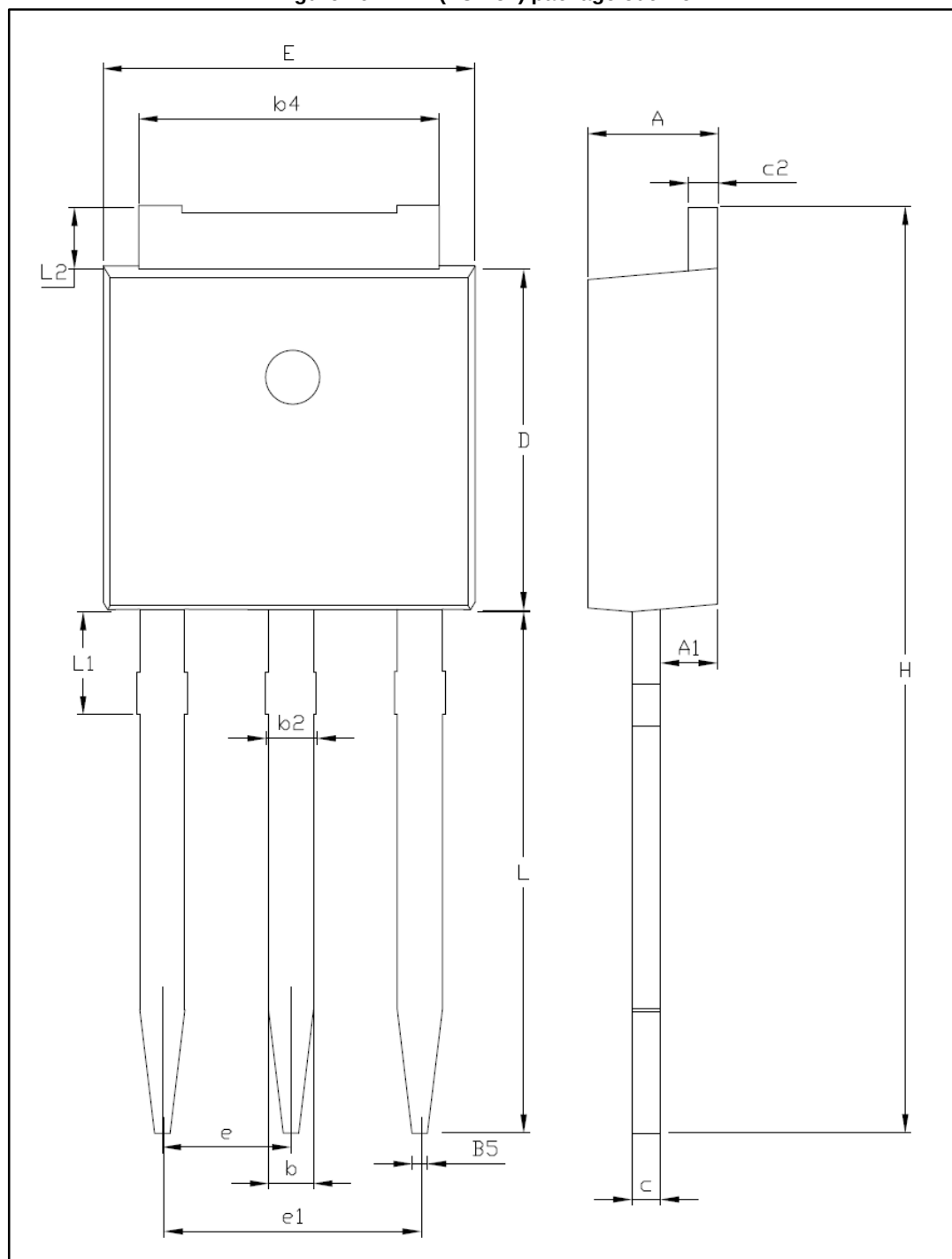
Notes:⁽¹⁾Inch dimensions are for reference only.

Figure 15: DPAK recommended footprint (dimensions are in mm)



2.2 IPAK package information

Figure 16: IPAK (TO-251) package outline



This package drawing may slightly differ from the physical package. However, all the specified dimensions are guaranteed.

Table 6: IPAK (TO-251) package mechanical data

Ref.	Dimensions					
	Millimeters			Inches ⁽¹⁾		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A	2.20		2.40	0.0866		0.0945
A1	0.90		1.10	0.0354		0.0433
b	0.64		0.90	0.0252		0.0354
b2			0.95			0.0374
b4	5.20		5.43	0.2047		0.2138
B5		0.30			0.0125	
c	0.45		0.60	0.0177		0.0236
c2	0.46		0.60	0.0181		0.0236
D	6.00		6.20	0.2362		0.2441
E	6.40		6.65	0.2520		0.2618
e		2.28			0.0898	
e1	4.40		4.60	0.1732		0.1811
H		16.10			0.6339	
L	9.00		9.60	0.3545		0.3780
L1	0.80		1.20	0.0315		0.0472
L2		0.80	1.25		0.0315	0.0492
V1		10°			10°	

Notes:

⁽¹⁾Inch dimensions are for reference only.

2.3 TO-220AB package information

Figure 17: TO-220AB package outline

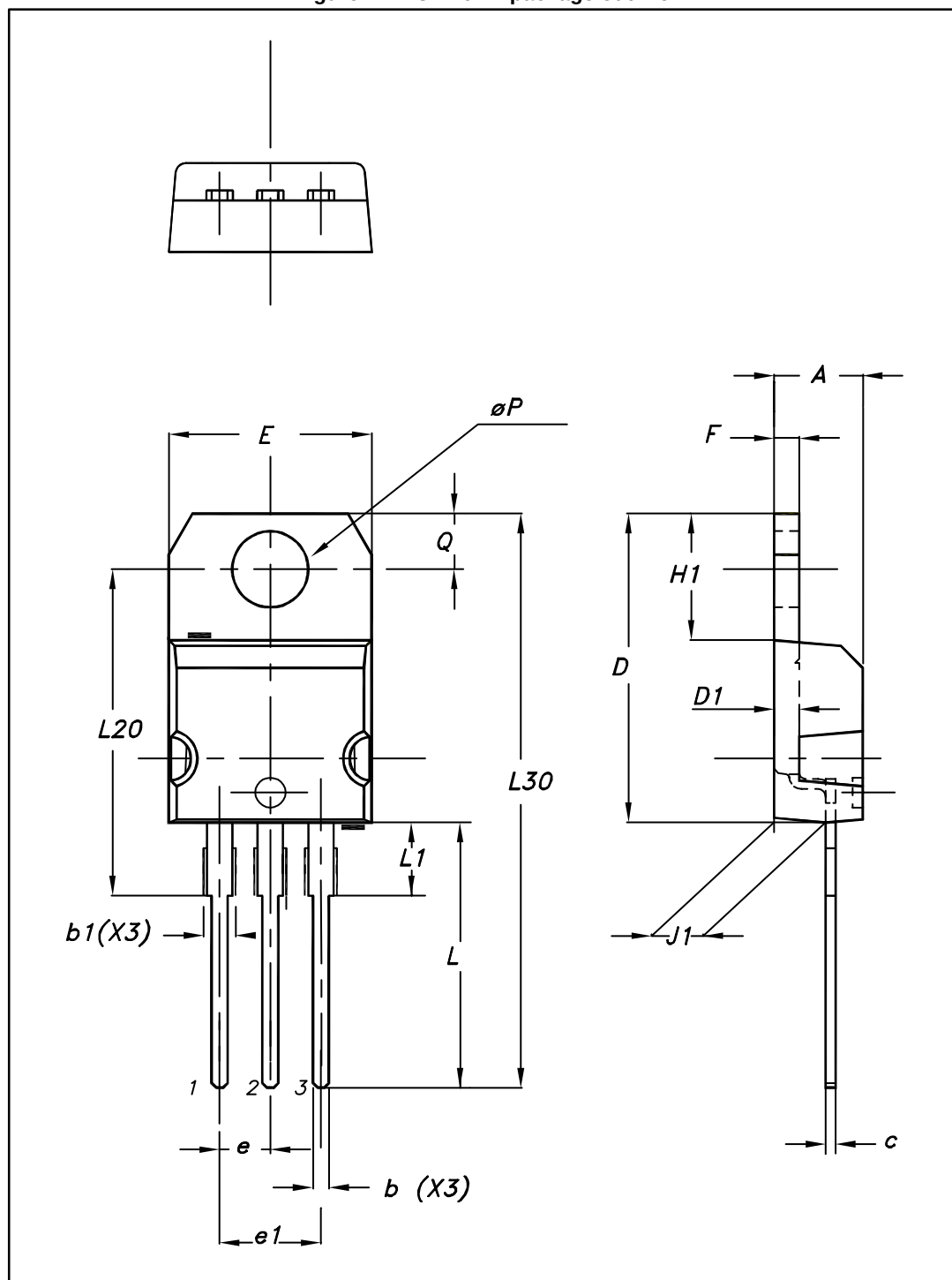


Table 7: TO-220AB package mechanical data

Ref.	Dimensions			
	Millimeters		Inches ⁽¹⁾	
	Min.	Max.	Min.	Max.
A	4.40	4.60	0.1732	0.1811
b	0.61	0.88	0.0240	0.0346
b1	1.14	1.70	0.0449	0.0669
c	0.48	0.70	0.0189	0.0276
D	15.25	15.75	0.6004	0.6201
D1	1.27 typ.		0.0500 typ.	
E	10.00	10.40	0.3937	0.4094
e	2.40	2.70	0.0945	0.1063
e1	4.95	5.15	0.1949	0.2028
F	1.23	1.32	0.0484	0.0520
H1	6.20	6.60	0.2441	0.2598
J1	2.40	2.72	0.0945	0.1071
L	13.00	14.00	0.5118	0.5512
L1	3.50	3.93	0.1378	0.1547
L20	16.40 typ.		0.6457 typ.	
L30	28.90 typ.		1.1378 typ.	
ØP	3.75	3.85	0.1476	0.1516
Q	2.65	2.95	0.1043	0.1161

Notes:⁽¹⁾Inch dimensions are for reference only.

3 Ordering information

Figure 18: TS1220 series

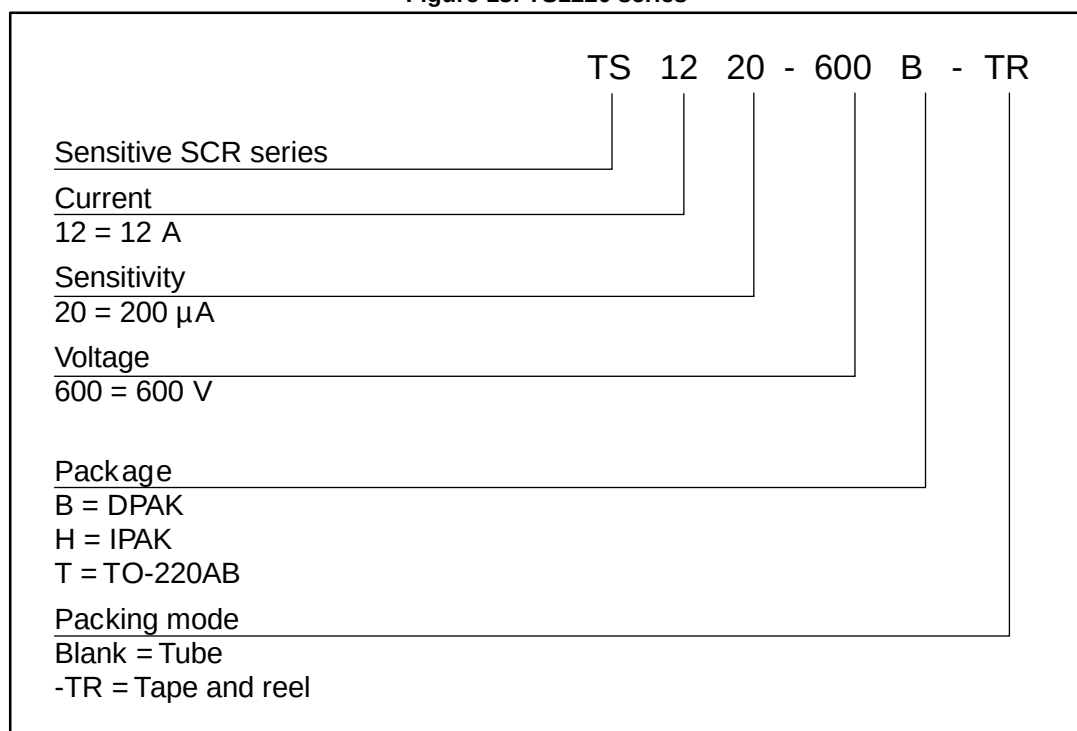


Table 8: Ordering information

Order code	Marking	Package	Weight	Base qty	Delivery mode
TS1220-600B	TS12 20600	DPAK	0.3 g	75	Tube
TS1220-600B-TR	TS12 20600	DPAK	0.3 g	2500	Tape and reel
TS1220-600H	TS12 20600	IPAK	0.3 g	75	Tube
TS1220-600T	TS1220600T	TO-220AB	2.3 g	50	Tube

4 Revision history

Table 9: Document revision history

Date	Revision	Changes
08-Apr-2015	1	First issue.
03-Aug-2016	2	Added section Applications and updated Features and in Table 1: "Device summary" in cover page. Updated Section 3: "Package information" . Minor text changes.

IMPORTANT NOTICE – PLEASE READ CAREFULLY

STMicroelectronics NV and its subsidiaries ("ST") reserve the right to make changes, corrections, enhancements, modifications, and improvements to ST products and/or to this document at any time without notice. Purchasers should obtain the latest relevant information on ST products before placing orders. ST products are sold pursuant to ST's terms and conditions of sale in place at the time of order acknowledgement.

Purchasers are solely responsible for the choice, selection, and use of ST products and ST assumes no liability for application assistance or the design of Purchasers' products.

No license, express or implied, to any intellectual property right is granted by ST herein.

Resale of ST products with provisions different from the information set forth herein shall void any warranty granted by ST for such product.

ST and the ST logo are trademarks of ST. All other product or service names are the property of their respective owners.

Information in this document supersedes and replaces information previously supplied in any prior versions of this document.

© 2016 STMicroelectronics – All rights reserved



Features

- Conductive plastic
- PC board and bushing mount
- Plastic or metal bushing and plastic shaft
- Withstands typical industrial washing processes
- Compact package saves board and panel space



3310 - 9 mm Square Sealed Panel Control

Electrical Characteristics

Standard Resistance Range - Linear	1 K ohms to 1 megohm
Total Resistance Tolerance - Linear Tapers	±20 %
Independent Linearity	±5 %
End Resistance	2 % or 2 ohms maximum (whichever is greater)
Effective Electrical Angle	270 ° ±15 °
Contact Resistance Variation	1 % or 1 ohm (whichever is greater)
Dielectric Withstanding Voltage (MIL-STD-202 – Method 301)	
Sea Level	900 VAC minimum
70,000 Feet	350 VAC minimum
Insulation Resistance	1,000 megohms minimum
Power Rating @ 70 °C (Derate to 0 at 125 °C - Voltage Limited By Power Dissipation or 200 VAC, Whichever is Less)	0.25 watts
Theoretical Resolution	Essentially infinite

Environmental Characteristics

Operating Temperature Range	-40 °C to +125 °C (-40 °F to +257 °F)
Storage Temperature Range	-55 °C to +125 °C (-67 °F to +257 °F)
Temperature Coefficient Over Storage Temperature Range	±1,000 ppm/°C
Vibration	30 G
Total Resistance Shift	±1 % maximum
Voltage Ratio Shift	±1 % maximum
Shock	100 G
Total Resistance Shift	±1 % maximum
Voltage Ratio Shift	±1 % maximum
Load Life	1,000 hours
Total Resistance Shift	±10 % TRS maximum
Rotational Life (No Load)	50,000 cycles
Total Resistance Shift	±5 % TRS maximum
Contact Resistance Variation	3 % or 3 ohms (whichever is greater)
Moisture Resistance	MIL-STD-202, Method 103, Condition B
Total Resistance Shift	±10 % TRS maximum
IP Rating	IP67
Moisture Sensitivity Level	1
ESD Classification (HBM)	N/A

Mechanical Characteristics

Stop Strength	5.65 N-cm (8 oz.-in.)
Mechanical Angle	300 ° nominal
Torque	
Starting	3.53 N-cm (5.0 oz.-in.) maximum
Running	3.53 N-cm (5.0 oz.-in.) maximum
Mounting (Torque on Bushing)	45 N-cm (4.0 lb.-in.) max [plastic bushing]; 79 N-cm (7.0 lb.-in.) max [metal bushing]
Weight (Single Section)	4.5 grams
(Each Additional Section)	2.5 grams
Terminals	Solderable pins
Soldering Condition	
Manual Soldering	96.5Sn/3.0Ag/0.5Cu solid wire or no-clean rosin cored wire; 370 °C (700 °F) max. for 3 seconds
Wave Soldering	96.5Sn/3.0Ag/0.5Cu solder with no-clean flux; 260 °C (500 °F) max. for 5 seconds
Wash Processes	For recommended wash processes, please refer to http://www.bourns.com/pdfs/sldclen.pdf
Marking	Manufacturer's trademark, model number, product code, terminal style, resistance code and date code
Ganging	2 cups maximum
Hardware	One lockwasher and one mounting nut is shipped with each potentiometer, except where noted in the part number.
Flammability	Conforms to UL94V-0
Epoxy	Conforms to UL 94V-1
IP Rating	IP67

Switch Characteristics

Switch Life	10K cycles
Contact Resistance	2 ohms max.
Dielectric Strength	350 VDC
Detent Torque	0.5 oz-in min.
Power Rating (Resistive Load)	100 mA @ 16 VDC



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 legal disclaimers as set forth on the last page of this document, and at www.bourns.com/docs/legal/disclaimer.pdf

Additional Features

- Audio taper versions available as special order
- RoHS compliant*

3310 - 9 mm Square Sealed Panel Control

BOURNS®

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

Popular values listed in boldface. Consult factory for special resistances.

How To Order

3310 Y - 0 0 1 - 103 L

Model Number Designator _____
3310 = 9 mm Panel Control

Terminal Style Designator _____
Single Cup:
C = In-line Straight Terminals Side Exit 2.54 mm centers
R = In-line Terminals Rear Exit 2.54 mm centers
P = 5.08 mm x 2.54 mm Triangular Pattern Rear Exit
Y = 5.08 mm x 5.08 mm Triangular Pattern Rear Exit
Dual Cup (Pot/Pot or Pot/Switch):
H = Dual In-line Straight Terminals Rear Exit 2.54 mm centers

Shaft End Designator _____
0 = Shaft End Slotted
1 = Shaft End Flatted

Shaft Length Designator _____
0 = 12.7 mm FMS Long Plastic Shaft (Available w/bushing only)
1 = 19.05 mm FMS Long Plastic Shaft (Available w/bushing only)
2 = 5.59 mm FMS Long Plastic Shaft (Bushingless version only)

Bushing Designator _____
Pot (or Pot/Pot):
1 = 6.35 mm x 6.35 mm Plastic
2 = 6.35 mm x 6.35 mm Ni Plated Brass
5 = Bushingless (Board Level Control)
Pot/Switch Bushing Designator (use with "H" terminal style only.)
3 = 6.35 mm x 6.35 mm Plastic
4 = 6.35 mm x 6.35 mm Ni Plated Brass
6 = Bushingless (Board Level)

Resistance Code _____
(1st 2 digits are significant, 3rd digit is number of 0s to follow)

RoHS Identifier _____
L = Compliant

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

3310 - 9 mm Square Sealed Panel Control

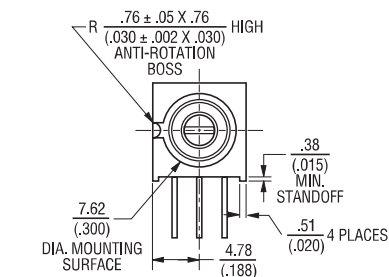
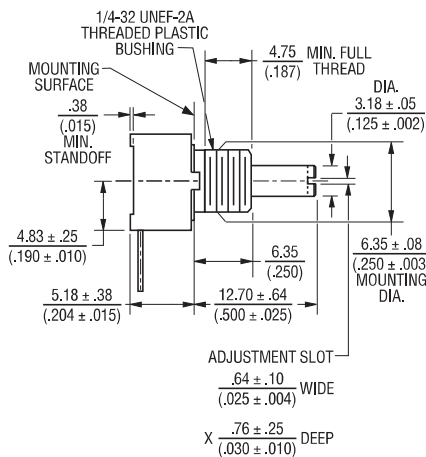
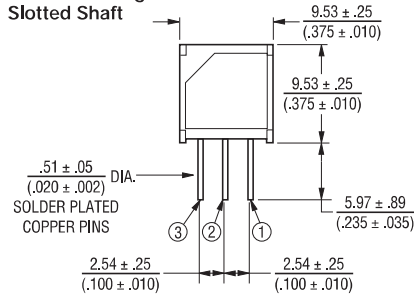
BOURNS®

Product Dimensions

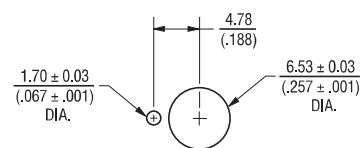
COMMON DIMENSIONS

3310-001

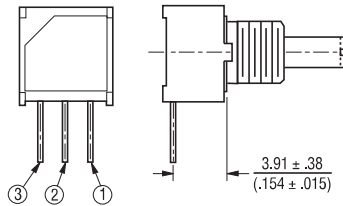
Plastic Bushing
Slotted Shaft



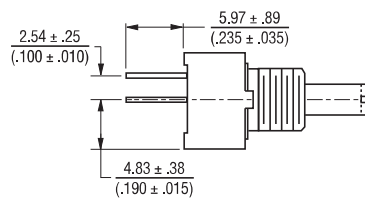
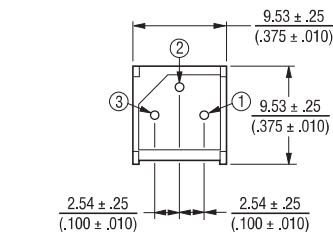
MOUNTING HOLE PATTERN



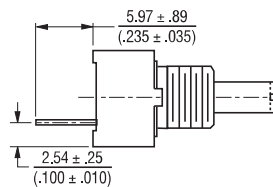
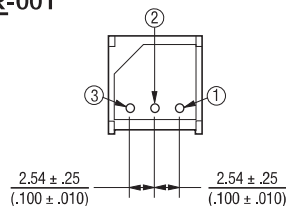
3310C-001



3310P-001

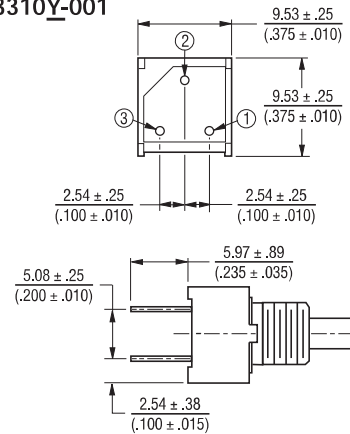


3310R-001



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

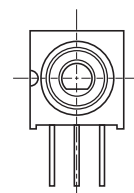
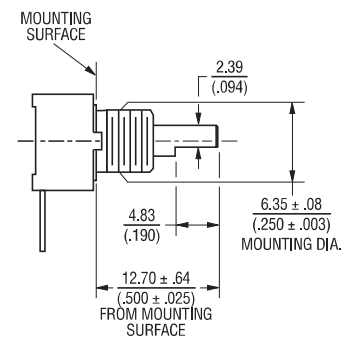
3310Y-001



COMMON DIMENSIONS

3310C-101

Plastic Flatted Shaft



The shaft flat position as shown above is at 50 % of the mechanical travel.

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

3310 - 9 mm Square Sealed Panel Control

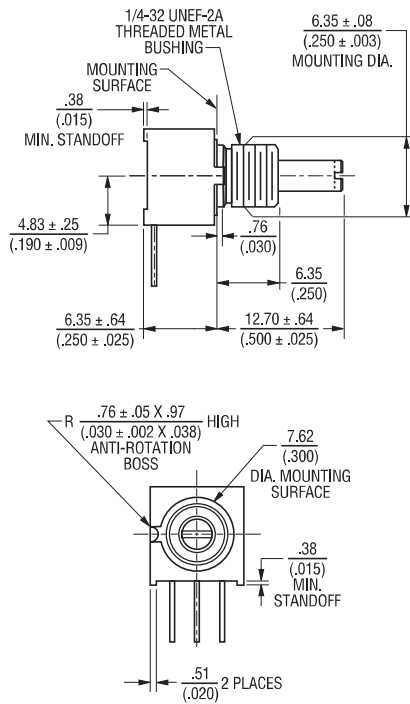
BOURNS®

Product Dimensions

COMMON DIMENSIONS

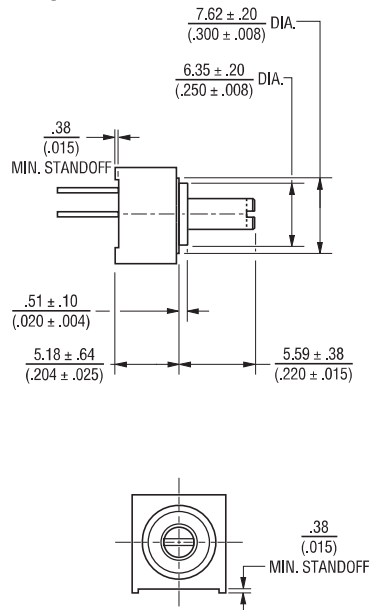
3310-002

Metal Bushing

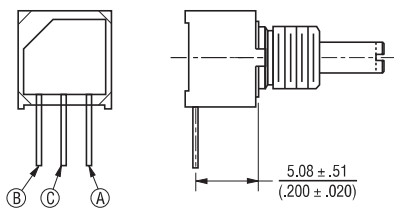


3310P-025*

Bushingless



3310C-002



NOTE: * Only recommended shaft length for bushingless version

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

3310 - 9 mm Square Sealed Panel Control

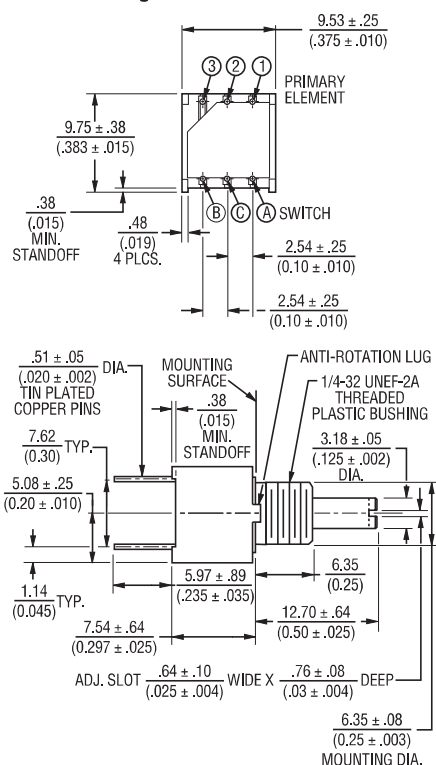
BOURNS®

Product Dimensions

COMMON DIMENSIONS

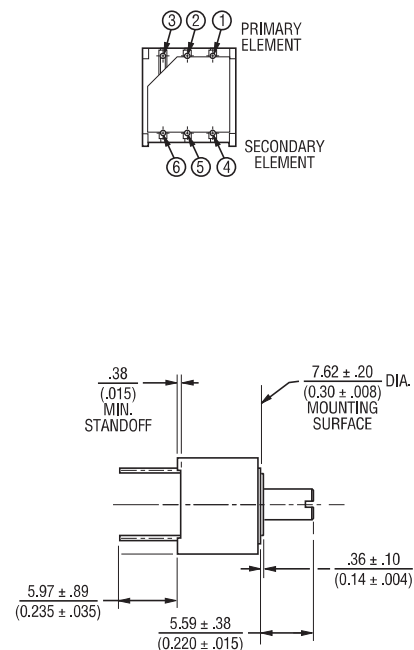
3310H-003

Pot/Switch Dual Cup
Plastic Bushing

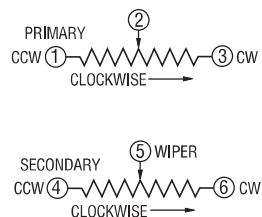


3310H-025*

Pot/Pot Dual Cup
Bushingsless



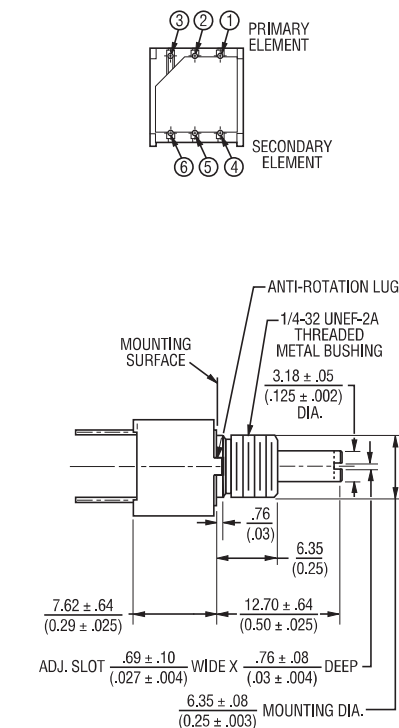
Pot/Pot Dual Cup



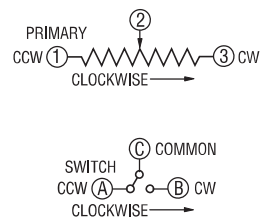
DIMENSIONS: $\frac{\text{MM}}{(\text{INCHES})}$

3310H-002

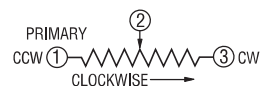
Pot/Pot Dual Cup
Metal Bushing



Pot/Switch Dual Cup



Pot Single Cup



NOTE: * Only recommended shaft length for bushingsless version

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

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>

PLANOS

CIRCUITO DE POTENCIA

CIRCUITO DE CONTROL

U14
3310C-001-103L

PINES ANALOGICOS

LCD
1-1814655-1

PINES DIGITALES 8-13

M20-9990846

CIRCUITO DE DISPARO

PINES DIGITALES 0-7

M20-9990846

CIRCUITO CONVERTIDOR

CIRCUITO CRUCE POR CERO

POWER

PROYECTO:

RECTIFICADOR TOTALMENTE CONTROLADO DE 4 CUADRANTES GOBERNADO POR ARDUINO



DEPARTAMENTO DE:
Ingeniería Electrónica
y Automática
Universidad de Jaén

REALIZADO:
Francisco Miguel García Olivas

Fecha:
21/06/2023

Firma:
FMGO

REVISADO:
EPSJ

Fecha:

Firma:

TÍTULO/SUBTÍTULO:

Plano 1. Esquemático

Tipo de documento:

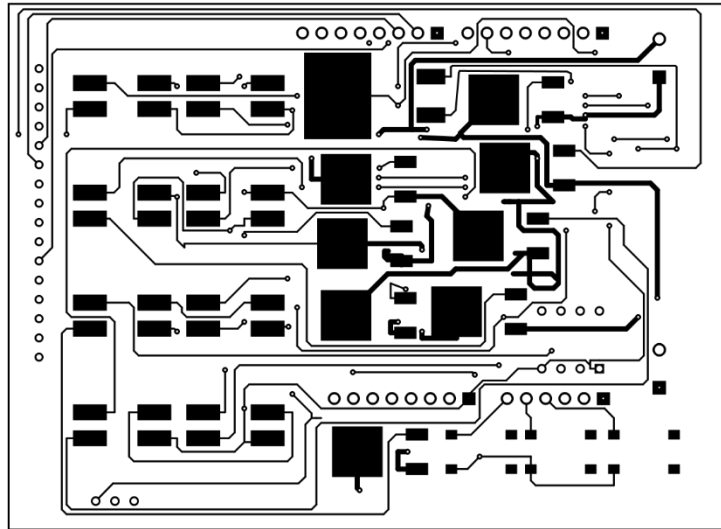
Esquemático

Escala:

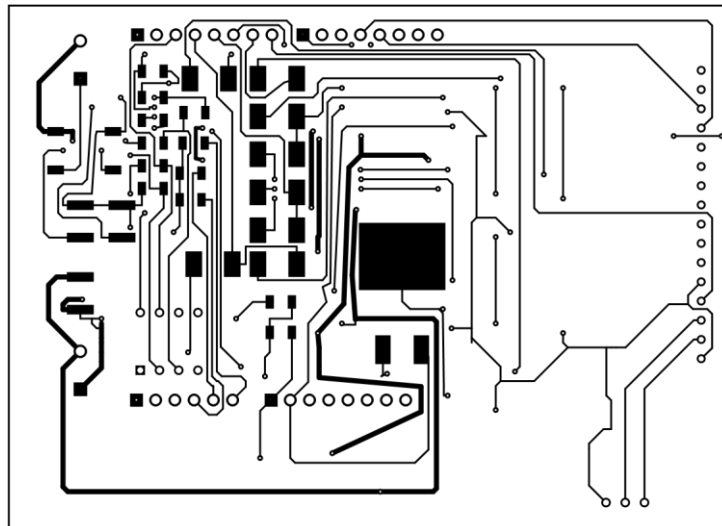
Nº Identif.

1

CONDUCTORES SUPERIOR E INFERIOR

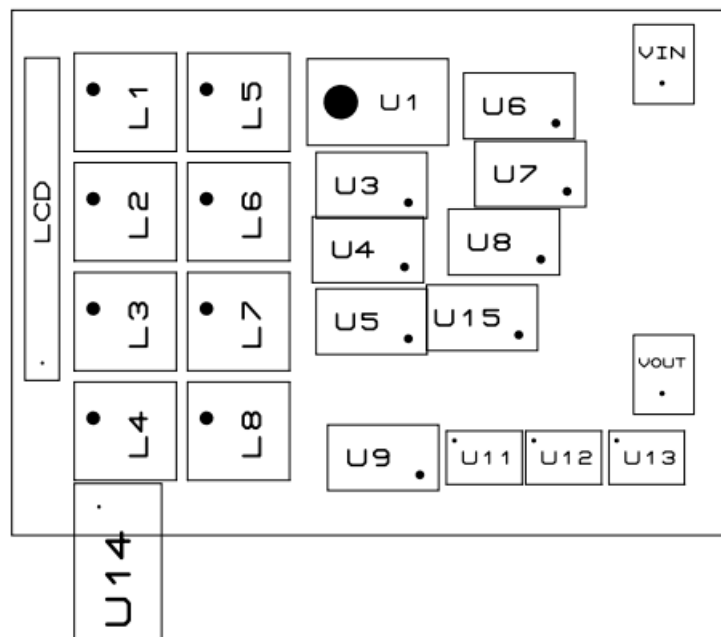


TOP

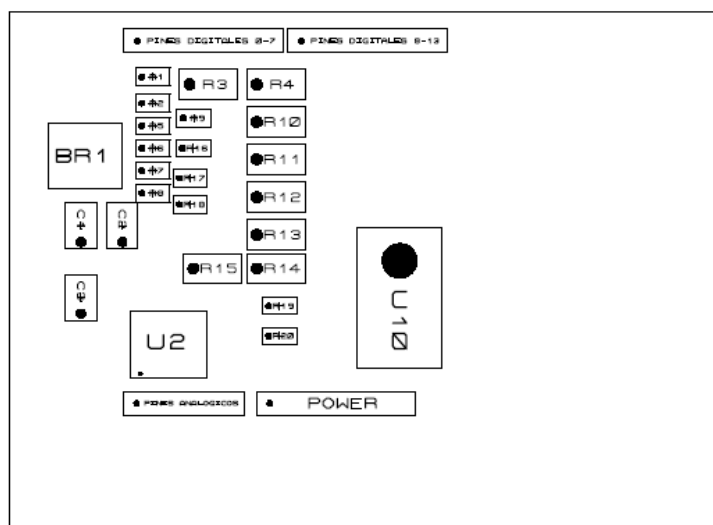


BOTTOM

ASSEMBLY SUPERIOR E INFERIOR

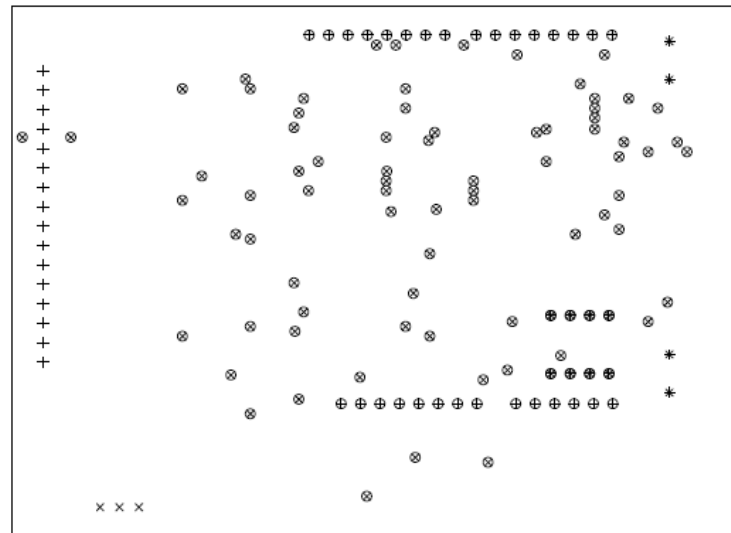


TOP



BOTTOM

AGUJEROS



SYM	SIZE	PLATED	QTY
+	Ø 7mm	YES	16
X	Ø 75mm	YES	3
*	1.2mm	YES	4
⊕	1.15mm	YES	38
⊗	15mm	YES	75
⊙	38mm	YES	8

PRESUPUESTO

1. DISPOSICIONES LEGALES

Para determinar los costos, se han considerado los precios de los componentes utilizados en este proyecto, los cuales han sido verificados y actualizados hasta el 21 de junio de 2023. Es importante tener en cuenta que el autor no asume ninguna responsabilidad por posibles variaciones en los precios en fechas posteriores a la mencionada.

El cálculo de los costes económicos se ha realizado de manera detallada, incluyendo el costo de cada componente individual utilizado en el diseño del rectificador controlado de cuatro cuadrantes. Además, se han considerado los costos indirectos, como herramientas de trabajo, materiales de construcción, gastos de envío y cualquier otro costo adicional relacionado con la implementación del proyecto.

Es importante destacar que los costes pueden variar dependiendo de la ubicación geográfica, los proveedores utilizados y las condiciones del mercado. Por lo tanto, es recomendable verificar y actualizar los precios antes de realizar cualquier adquisición de componentes.

En resumen, este capítulo proporcionará una visión completa de los costos económicos asociados a este proyecto, brindando transparencia y una base sólida para la evaluación financiera del mismo.

Los distribuidores de los que se han obtenido los diferentes componentes son:

- Arduino
- RS Components

2. PRESUPUESTO MATERIAL

En el presente capítulo se detallarán los diferentes precios de cada componente usado en el diseño, además e la placa de circuito impreso y Arduino.

Código	Componente	Nº ref. fabricante	Cantidad	Precio unitario	Total
1.01	Arduino UNO REV3	7630049200050	1	24,00 €	24,00 €
1.02	Pantalla LCD 2x16	MIKROE-55	1	10,83 €	10,83 €
1.03	Regulador de tensión LM317	LM317D2TG	2	0,71 €	1,42 €
1.04	Puente rectificador MB6S	MB6S-E3/45	1	0,43 €	0,43 €
1.05	Potenciometro	3310C-001-103L	1	2,44 €	2,44 €
1.06	Tiristor TS1220	TS1220-600B-TR	8	1,54 €	12,29 €
1.07	Operacional LM311	LM311P	1	0,51 €	0,51 €
1.08	Inductor acoplado SRF1260	SRF1260A100M	8	1,13 €	9,07 €
1.09	Condensador 100µF	C1210C107M8PACTU	3	0,56 €	1,68 €
1.10	Resistencia de 10mΩ	WSL2512R0100FEA	8	0,14 €	1,14 €
1.11	Resistencia 1kΩ	802-9618	3	0,01 €	0,02 €
1.12	Resistencia 10kΩ	713-1467	3	0,00 €	0,01 €
1.13	Resistencia 15kΩ	802-9712	2	0,00 €	0,01 €
1.14	Resistencia 4,7kΩ	CRG1206F4K7	2	0,01 €	0,02 €
1.15	Resistencia 6,8kΩ	802-9674	1	0,00 €	0,00 €
1.16	Resistencia 3kΩ	802-9655	1	0,01 €	0,01 €
1.17	Regleta de pines macho 8 vías	M20-9990846	3	0,27 €	0,81 €
1.18	Regleta de pines macho 6 vías	M20-9990645	1	0,27 €	0,27 €
1.19	Regleta de pines hembra 16 vías	1-1814655-1	1	1,08 €	1,08 €
1.20	Bloque de terminal PCB Macho	494-8906	2	0,64 €	1,28 €
1.21	Interruptor táctil tipo Botón	B3S1000	3	0,81 €	2,42 €
1.22	Impresión PCB		1	12,33 €	12,33 €
TOTAL					82,03 €

Tabla 3. Presupuesto material

3. PRESUPUESTO DE PERSONAL

A continuación, se detallan los precios/hora del personal necesario para llevar a cabo el montaje y diseño del presente proyecto.

Código	Resumen	Cantidad	Precio/hora	Total
2.01	Diseño hardware	20	20,00 €	400,00 €
2.02	Diseño software	15	20,00 €	300,00 €
2.03	Montaje	4	15,00 €	60,00 €
2.04	Pruebas y simulaciones	40	20,00 €	800,00 €
2.05	Elaboración del proyecto	100	15,00 €	1.500,00 €
			TOTAL	3.060,00 €

Tabla 4. Presupuesto de personal

4. RESUMEN DE PRESUPUESTO

Presupuesto material	82,03 €
Presupuesto de personal	3.060,00 €
Presupuesto de ejecución material	3.142,03 €
Gastos generales (15%)	471,31 €
Beneficio industrial (6%)	188,52 €
Total parcial	3.801,86 €
IVA (21%)	798,39 €
Presupuesto de ejecución por contrata	4.600,22 €

Asciende el presupuesto a la cantidad de **CUATRO MIL SEISCIENTOS euros con VEINTICINCO céntimos.**

En el caso que algún fabricante de PCB quisiera fabricar una tirada de 1000 unidades de los rectificadores controlados de cuatro cuadrantes que se han desarrollado en el presente proyecto, la unidad saldría a un coste de **CUATRO euros con SESENTA céntimos.**