



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Diseño, montaje y prueba de una placa de control para  
un equipo de calibración de tensiómetros

Autor: Joaquín Mochón Sáez

Director: Jose Daniel Muñoz Frías

Co-Director: Romano Giannetti

Madrid, Julio 2024

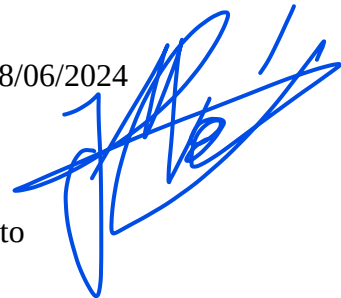
Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
Diseño, montaje y prueba de una placa de control para un equipo de calibración de  
tensiómetros

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico 2023/2024 es de mi autoría, original e inédito y  
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido  
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Joaquín Mochón

Fecha: 28/06/2024



Autorizada la entrega del proyecto

LOS DIRECTORES DEL PROYECTO

Fdo.: Romano Giannetti

Fecha: 19 / 7 / 24



Fdo.: José Daniel Muñoz Frías

Fecha: 19 / 7 / 24





**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Diseño, montaje y prueba de una placa de control para  
un equipo de calibración de tensiómetros

Autor: Joaquín Mochón Sáez

Director: Jose Daniel Muñoz Frías

Co-Director: Romano Giannetti

Madrid, Julio 2024

# **DISEÑO, MONTAJE Y PRUEBA DE UNA PLACA DE CONTROL PARA UN EQUIPO DE CALIBRACIÓN DE TENSÍOMETROS**

**Autor: Mochón Sáez, Joaquín**

Director: Muñoz Frías, José Daniel; Giannetti, Romano.

Entidad Colaboradora: ICAI– Universidad Pontificia Comillas

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

Diseño, construcción y pruebas de un circuito de control para un equipo calibrador de tensiómetros. Este equipo, situado en el Laboratorio de Fluidos de la Universidad Pontificia Comillas, es utilizado para verificar el correcto funcionamiento y realizar la calibración de tensiómetros.

El proyecto se centrará en conseguir la puesta en funcionamiento del equipo calibrador. Para esto se deberá controlar la apertura de una válvula proporcional en función de la intensidad que circula por esta en cada instante, en comparación con la deseada el usuario.

### **1. Introducción**

La medición precisa de la tensión arterial es esencial para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades cardiovasculares (1). El avance tecnológico en el sector de la medicina ha logrado desarrollar aparatos que consiguen medir esta tensión de manera precisa y consistente, los tensiómetros. La calibración y verificación del correcto funcionamiento de estos aparatos es fundamental para poder realizar estos diagnósticos y tratamientos con fiabilidad (2).

El Centro Español de Metrología es el mayor órgano nacional en calibración de instrumentos de medida (3). En este proyecto se dotará a este centro de un equipo calibrador de tensiómetros, para que pueda ser utilizado con fines de investigación y de calibración de equipos médicos.

Este proyecto se enfoca en el diseño, construcción y prueba de la placa controladora de este equipo calibrador de tensiómetros: contribuyendo así a la mejora de las prácticas de calibración y a la mejora de la atención médica.

## 2. Descripción del modelo/sistema/herramienta

El equipo calibrador busca, mediante un sistema formado por tuberías de plástico, asemejar el paso de aceite hidráulico por estos tubos a la circulación de la sangre por el sistema arterial humano. Además, hará uso de una válvula proporcional para controlar el flujo de aceite que entra a este sistema, de un motor que inyecta y mueve el aceite por el sistema, y de un depósito para guardar este aceite. El equipo calibrador cuenta con un manómetro en la zona que emula el sistema arterial. Para la calibración de un tensiómetro se debe comparar la tensión arterial medida por el equipo con la medida por el tensiómetro a calibrar. Este circuito se puede ver en la siguiente ilustración.

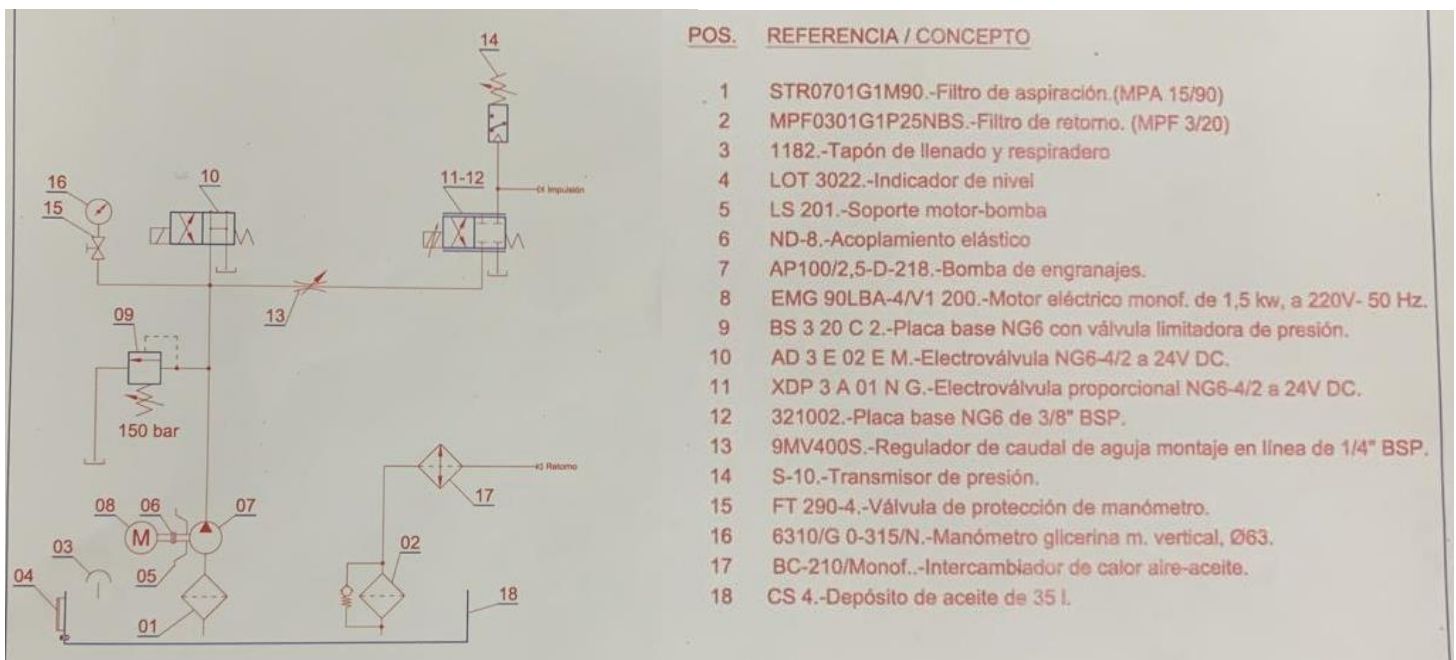


Ilustración 1: Plano del circuito hidráulico del equipo y leyenda

La zona que simula el sistema arterial, donde se medirá la presión, no se encuentra representada. Esta zona se sitúa a la derecha del esquema, entre los dos puntos sin conectar.

El proyecto realizado buscará controlar la apertura de la válvula proporcional, mediante el uso de una placa electrónica conectada a un microcontrolador dsPIC33FJ32MC202. El

microcontrolador realizará un control de la intensidad que circula por la válvula, la cual es proporcional a la apertura de esta.

### Programación en C

Se programará el microcontrolador dsPIC33FJ32MC202 para realizar los controles necesarios. Se realizarán dos controles: control de intensidad y control de presión. En este proyecto se analizará el control por intensidad, quedando el diseño del control por presión para un trabajo futuro.

El control de intensidad recibirá desde el circuito la intensidad que circula por la válvula en cada instante, comparándola con la referencia decidida por el usuario. Además, enviará una señal PWM al circuito para activar el funcionamiento de este y alimentar la válvula. En función de la diferencia entre la intensidad de referencia y la real, el microcontrolador cambiará la señal PWM mencionada.

### Circuito microelectrónico:

El circuito utilizado consta de dos partes: control de intensidad y control de presión. De la misma manera que para la programación, se analizará el control de intensidad.

El circuito recibe una señal PWM desde el microcontrolador. En función de esta señal PWM, se enviará más o menos intensidad a la válvula proporcional. Además, el circuito estará conectado al microcontrolador para que este mida la intensidad en la válvula en cada instante de tiempo y la presión que mide el equipo calibrador.

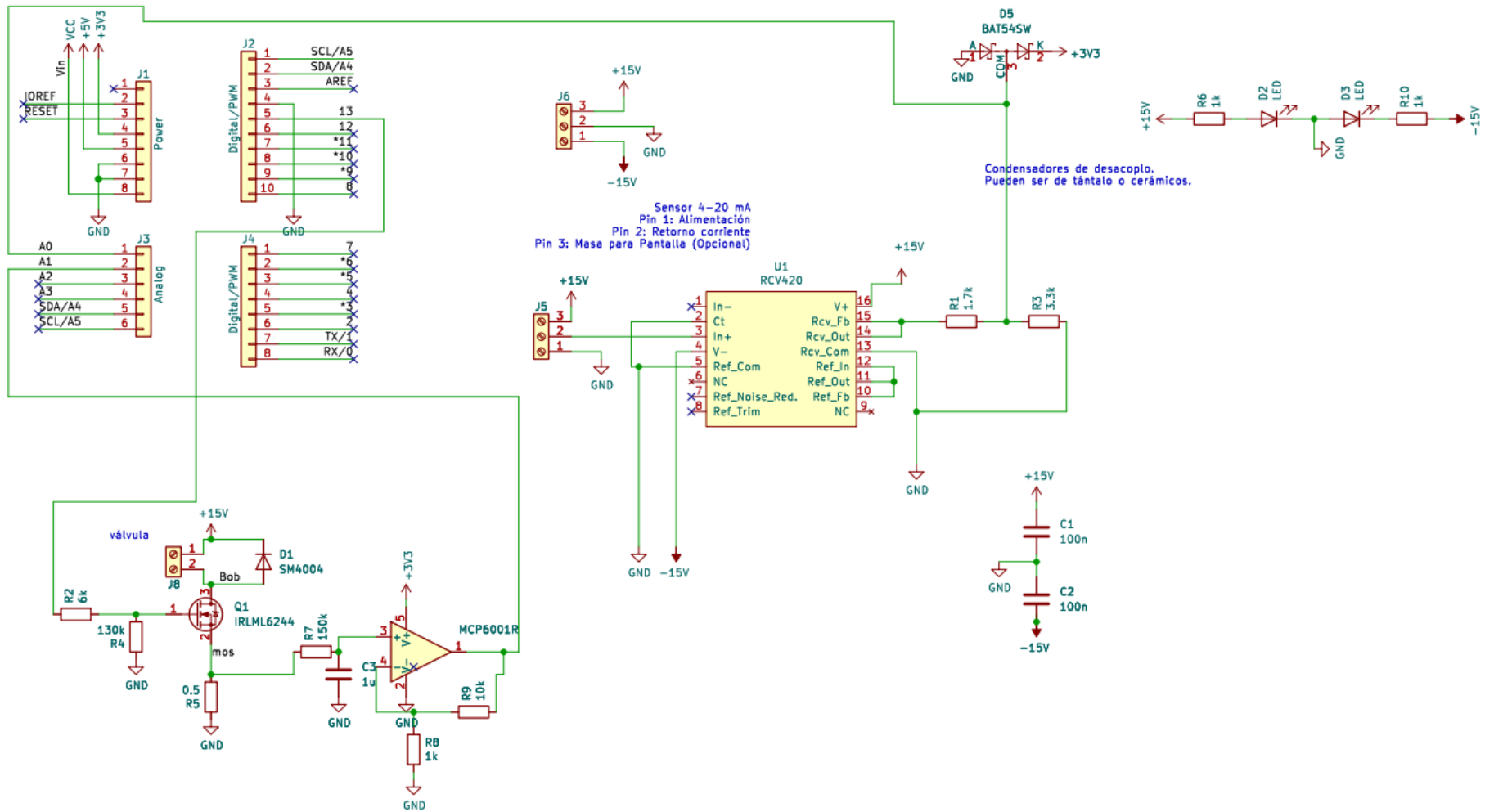


Ilustración 2: Circuito electrónico

### **3. Resultados**

El proyecto se divide en tres fases diferentes: dos fases previas y el proyecto final. En las primeras etapas se busca conocer el funcionamiento del equipo calibrador, diseñar el circuito a utilizar y estudiar el funcionamiento de este circuito. En concreto se busca conocer el tiempo que tarda la válvula proporcional en alcanzar 1A de corriente. Tras la simulación en LTspice y análisis de los resultados, se concreta este tiempo en 20ms.

La tercera etapa consiste en la construcción y prueba del circuito final, el desarrollo del código para el control de intensidad y de presión; y la prueba del control de intensidad en el equipo calibrador de tensiómetros. En esta prueba el usuario podrá decidir la frecuencia cardíaca que simula el equipo y la máxima y mínima apertura de la válvula proporcional. La válvula proporcional introduce una caída de la presión en el flujo de aceite que entra en el sistema arterial. Cuanto mayor sea la apertura menor será la caída de presión. Por tanto, esta máxima y mínima apertura están relacionadas con la máxima y mínima tensión arterial que mide el equipo: en el punto de máxima apertura la tensión será máxima y viceversa.

Se mostrarán los resultados de la prueba para frecuencias cardíacas lentas, en la Ilustración 3: Intensidad en la válvula proporcional a 40 latidos por minuto; y rápidas, en la Ilustración 4: Intensidad en la válvula proporcional a 160 latidos por minuto.



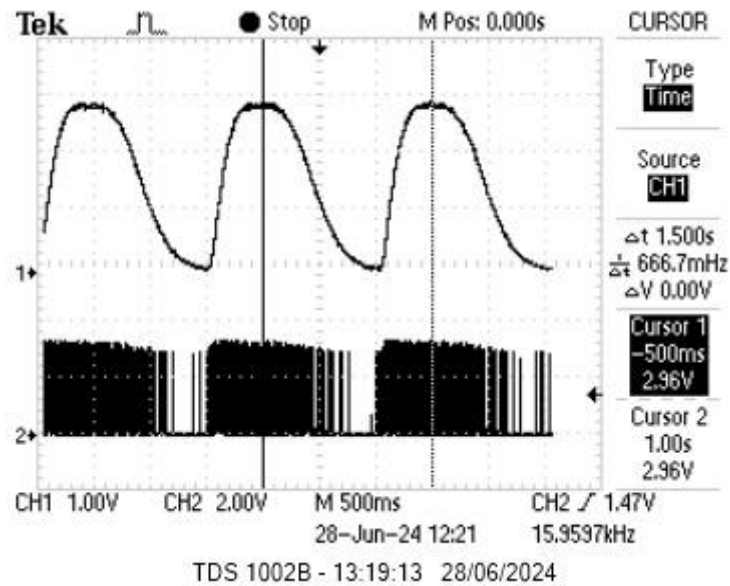


Ilustración 3: Intensidad en la válvula proporcional a 40 latidos por minuto

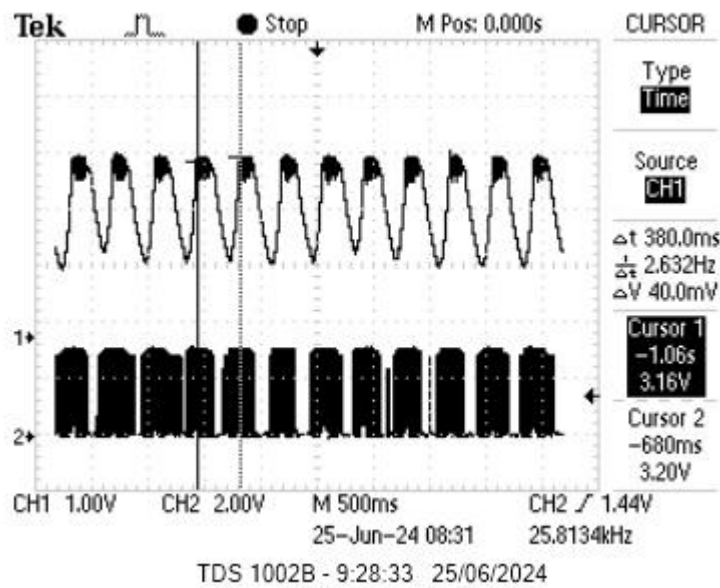


Ilustración 4: Intensidad en la válvula proporcional a 160 latidos por minuto

Con la decisión por parte del usuario de la máxima y mínima apertura de la válvula se podrán crear en el equipo calibrador situaciones de tensión baja, representado en la Ilustración 5; y de tensión alta, representado en la Ilustración 6: Situación de tensión .

Para el estudio de estas situaciones se busca conocer el porcentaje máximo y mínimo de apertura de la válvula proporcional. La máxima apertura se relacionará con la tensión

mínima y la mínima apertura, con la tensión máxima. Para calcular estos porcentajes se deberá conocer que la válvula se abre completamente cuando circula por ella 0.5A de corriente o más de esta cifra, por lo que la apertura se calculará como  $Apertura = \frac{I_{válvula}}{0.5} * 100$

La señal mostrada en las imágenes es la intensidad en la válvula a modo de tensión, convertida mediante un filtro paso bajo y un amplificador. Para conocer la intensidad real de la válvula se debe dividir los valores mostrados en el Cursor 1 y Cursor 2 de las imágenes entre 5, ya que  $I_{válvula} = \frac{Voltaje\ osciloscopio}{R_{medida} * amplificación}$ , siendo la R de medida de  $0.5\Omega$  y la amplificación de 10 V/V.

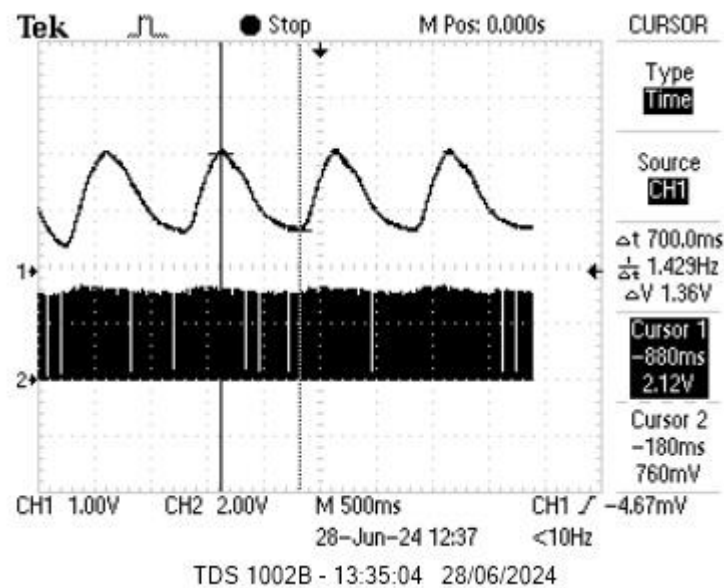
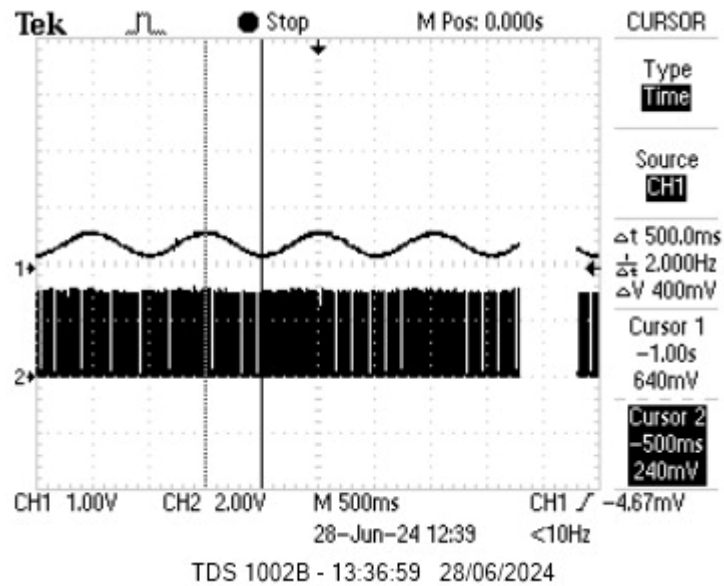


Ilustración 5: Situación de tensión alta



*Ilustración 6: Situación de tensión baja*

En la Ilustración 5: Situación de tensión , la válvula estará en abierta un 30% como mínimo y un 90% como máximo. En esta situación la tensión máxima será alta, ya que la válvula siempre está abierta por lo menos un 30%. La tensión mínima será también alta ya que en la válvula se abre casi por completo, creando una situación de tensión mínima muy baja

En la Ilustración 6: Situación de tensión , la válvula está abierta un 10% como mínimo y un 30% como máximo. En esta situación la tensión máxima será baja, ya que la válvula llega a cerrarse casi por completo: estando abierta solo a un 10% como mínimo. La tensión mínima será baja también, ya que la válvula solo se abre un 30% como máximo.

#### 4. Conclusiones

Tras la realización de este proyecto se puede concluir que la placa controladora del equipo calibrador de tensiómetros funciona correctamente. En función de los valores decididos por el usuario, el equipo podrá crear situaciones con la frecuencia cardíaca escogida, de diferentes niveles de presión: baja, normal, alta o hipertensión.

Con estas distintas situaciones, los tensiómetros podrán ser calibrados para todos los usos necesarios para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades.

#### 5. Referencias

1. **Poyatos, B. Poyatos y Alonso, F. Estrada.** ELSEVIER. [En línea] 2011. [Citado el: 19 de 07 de 2024.] <https://www.elsevier.es/es-revista-medicina-familia-semergen-40-articulo-importancia-toma-presion-arterial-proposito-S1138359311002358>.
2. **EMED.** EMED. [En línea] [Citado el: 19 de 07 de 2024.] <https://emedingenieria.com/producto/calibracion-de-tensiometros/#:~:text=La%20calibraci%C3%B3n%20de%20los%20tensi%C3%B3metros,un%20diagn%C3%B3stico%20y%20tratamiento%20incorrectos..>
3. **Wikipedia.** Wikipedia. [En línea] [Citado el: 19 de 07 de 2024.] [https://es.wikipedia.org/wiki/Centro\\_Espa%C3%B1ol\\_de\\_Metrolog%C3%ADa](https://es.wikipedia.org/wiki/Centro_Espa%C3%B1ol_de_Metrolog%C3%ADa).

# **DESIGN, CONSTRUCTION, AND TESTING OF A CONTROL CIRCUIT FOR A TENSIOMETER CALIBRATION DEVICE**

**Author: Mochón Sáez, Joaquín.**

Supervisor: Muñoz Frías, Jose Daniel; Giannetti, Romano.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## **ABSTRACT**

Design, Construction, and Testing of a Control Circuit for a Tensiometer Calibration Device. This device, located in the Fluid Laboratory at Universidad Pontificia Comillas, is used to verify the proper functioning and calibration of tensiometers. The project will focus on operationalizing the calibration equipment. This involves controlling the opening of a proportional valve based on the current intensity flowing through it at any given moment, in comparison to the desired user input.

### **1. Introduction**

Accurate blood pressure measurement is essential for diagnosing and treating cardiovascular diseases (1). Technological advances in the medical field have led to the development of devices that measure this pressure accurately and consistently. Calibration and verification of these devices are crucial to ensure reliable diagnoses and treatments.

The Spanish Metrology Center is the primary national body for the calibration of measuring instruments. This project aims to equip the center with a tensiometer calibration device, which will be used for research and the calibration of medical equipment. The project focuses on the design, construction, and testing of the control board for this calibration device, thereby contributing to improved calibration practices and enhanced medical care (2).

### **2. Description of the model/system/tool**

The calibration equipment aims, through a system of plastic pipes, to simulate the flow of blood through the human arterial system, using oil through these tubes as it's flow and pressure properties resembles blood circulation in the human body. Additionally, it will use a proportional valve to control the flow of oil entering the system, a motor to inject and move the oil through the system, and a reservoir to store the oil. The calibration equipment includes a manometer in the area that emulates the arterial system. To calibrate a sphygmomanometer, the arterial pressure measured by the equipment must be compared with the measurement from the sphygmomanometer being calibrated. This circuit can be seen in the following illustration.

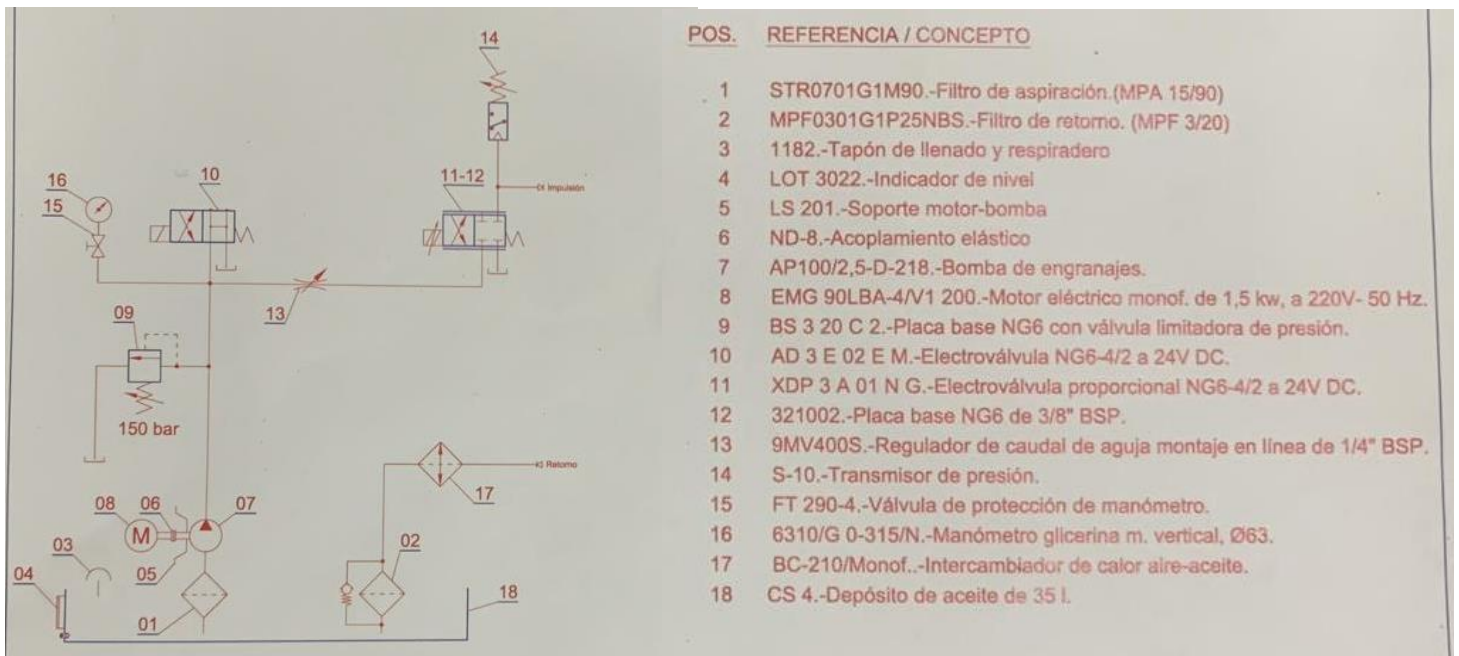


Ilustración 7: Diagram of the equipment's hydraulic circuit and legend

The area that simulates the arterial system, where the pressure will be measured, is not represented. This area is located to the right of the diagram, between the two unconnected points. The completed project will seek to control the opening of the proportional valve using an electronic board connected to a dsPIC33FJ32MC202 microcontroller. The microcontroller will control the current flowing through the valve, which is proportional to its opening.

The project will aim to control the opening of the proportional valve using an electronic board connected to a dsPIC33FJ32MC202 microprocessor. The microprocessor will manage the current flowing through the valve, which is proportional to its opening.

### C Programming:

The dsPIC33FJ32MC202 microprocessor will be programmed to perform the necessary controls. Two controls will be implemented: current control and pressure control. In this project, current control will be analyzed, with pressure control designed for future work.

The current control will receive the current flowing through the valve from the circuit at each instant, comparing it with the user-defined reference. Additionally, it will send a PWM signal to the circuit to activate its operation and power the valve. Based on the difference between the reference current and the actual current, the microprocessor will adjust the mentioned PWM signal.

### Microelectronic Circuit:

The circuit used consists of two parts: current control and pressure control. Similar to the programming aspect, current control will be analyzed.

The circuit receives a PWM signal from the microprocessor. Depending on this PWM signal, more or less current will be sent to the proportional valve. Additionally, the circuit sends the current in the valve at each moment and the pressure measured by the calibration equipment back to the microprocessor.

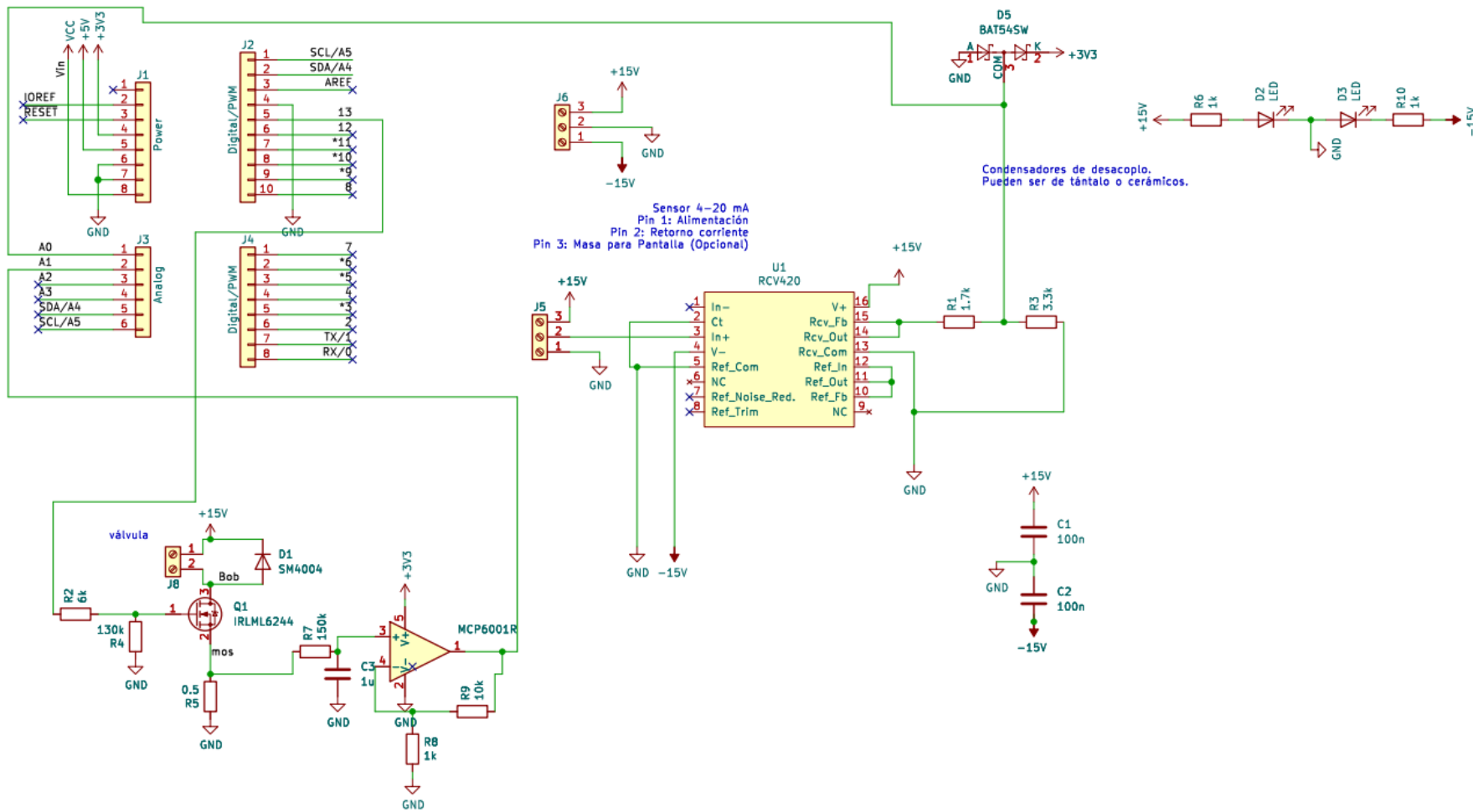


Ilustración 8: Microelectronic circuit

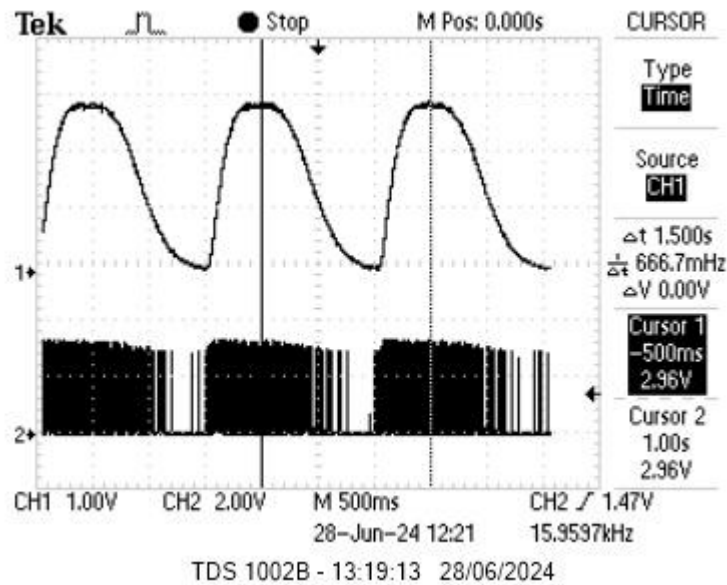


### 3. Results

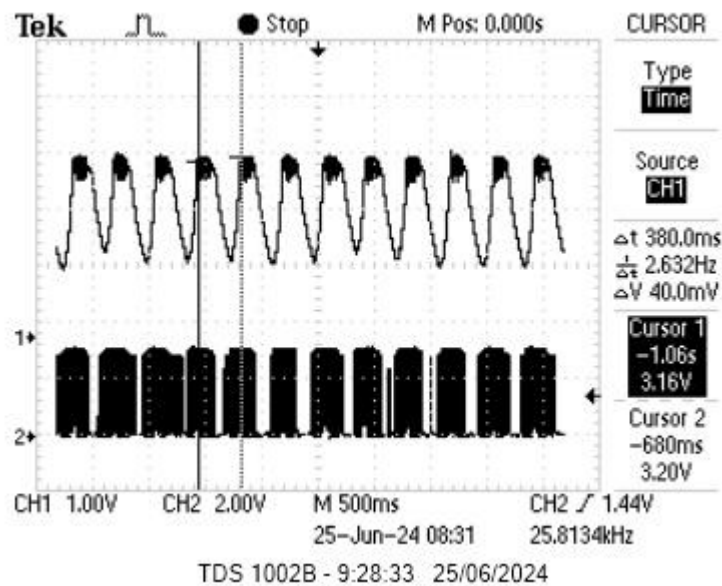
The project is divided into three different phases: two preliminary phases and the final project. In the initial stages, the goal is to understand the operation of the calibration equipment, design the circuit to be used, and study its functionality. Specifically, the aim is to determine the time it takes for the proportional valve to reach 1A of current. After simulation in LTspice and analysis of the results, this time is confirmed to be 20ms.

The third phase involves the construction and testing of the final circuit, the development of code for current and pressure control, and testing the current control on the sphygmomanometer calibration equipment. During this test, the user can decide the simulated heart rate of the equipment and the maximum and minimum opening of the proportional valve. This valve introduces a pressure drop on the oil that goes into the arterial system. If the valve's aperture is bigger, the pressure drop will decrease. In conclusion, these maximum and minimum openings are related to the maximum and minimum blood pressure measured by the equipment: at maximum opening, the pressure will be maximum and vice versa.

The results of the test will be shown for slow heart rates, as shown in Ilustración 9: Current in the proportional valve at 40 beats per minute, and fast heart rates, in Ilustración 10: Current in the proportional valve at 160 beats per minute.



*Ilustración 9: Current in the proportional valve at 40 beats per minute*

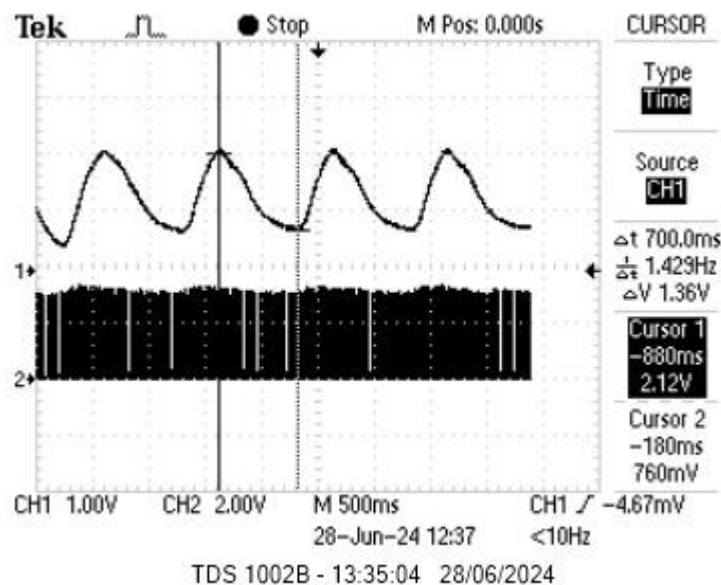


*Ilustración 10: Current in the proportional valve at 160 beats per minute*

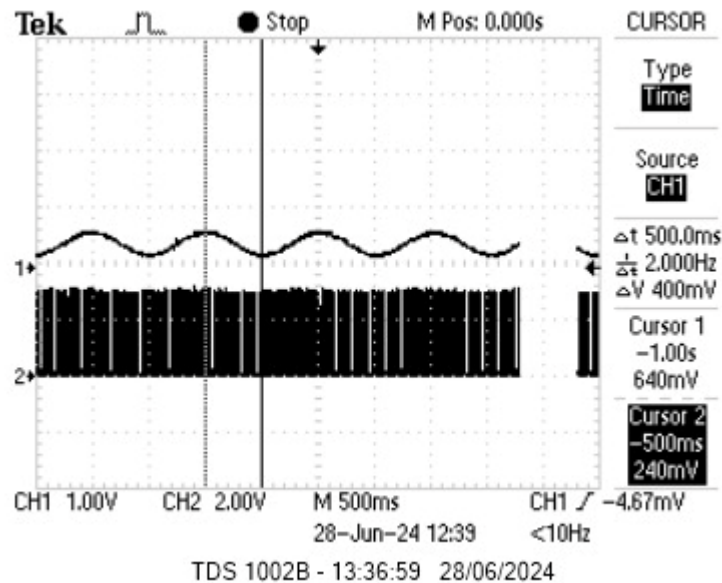
With the user's decision on the maximum and minimum opening of the valve, the calibration equipment can simulate situations of high blood pressure, shown in Ilustración 11: High blood pressure; and low blood pressure, shown in Ilustración 12: Low blood pressure.

To study these situations, the goal is to determine the maximum and minimum percentage of opening for the proportional valve. Maximum opening will be associated with minimum pressure and minimum opening with maximum pressure. To calculate these percentages, it is necessary to know that the valve opens fully when 0.5A of current or more flows through it. Therefore, the opening percentage will be calculated as  $Opening = \frac{I_{value}}{0.5A} * 100$ .

The signal shown in the images represents the current in the valve, converted to resemble pressure through a low-pass filter and an amplifier. To determine the actual current in the valve, divide the values shown in Cursor 1 and Cursor 2 of the images by 5, since  $I_{valve} = Oscilloscope\ Voltage / (R_{measured} * amplification)$ , where the measured resistance (R) is 0.5Ω and the amplification is 10 V/V.



*Ilustración 11: High blood pressure*



*Ilustración 12: Low blood pressure*

In the Ilustración 11: High blood pressure, the valve will be open at a minimum of 30% and a maximum of 90%. In this scenario, the maximum blood pressure will be high because the valve is always open at least 30%. The minimum blood pressure will also be high since the valve is nearly fully open, creating a very low minimum blood pressure situation.

In the Ilustración 12: Low blood pressure, the valve is open at a minimum of 10% and a maximum of 30%. In this scenario, the maximum blood pressure will be low because the valve nearly closes, being open only 10% at a minimum. The minimum blood pressure will also be low since the valve opens only up to 30% at most.

Upon completion of this project, it can be concluded that the controller board for the sphygmomanometer calibration equipment operates correctly. Depending on the values chosen by the user, the equipment will be able to simulate situations with the chosen heart rate at different pressure levels: low, normal, high, or hypertension.

With these different scenarios, sphygmomanometers can be calibrated for all necessary uses in the diagnosis and treatment of diseases.

#### 4. Conclusions

Upon completion of this project, it can be concluded that the controller board for the sphygmomanometer calibration equipment functions correctly. Based on the values chosen by the user, the equipment can simulate situations with the selected heart rate at different pressure levels: low, normal, high, or hypertension.

With these various scenarios, sphygmomanometers can be calibrated for all necessary applications in the diagnosis and treatment of diseases.

#### 5. References

1. **Poyatos, B. Poyatos y Alonso, F. Estrada.** ELSEVIER. [En línea] 2011. [Citado el: 19 de 07 de 2024.] <https://www.elsevier.es/es-revista-medicina-familia-semergen-40-articulo-importancia-toma-presion-arterial-proposito-S1138359311002358>.
2. **EMED.** EMED. [En línea] [Citado el: 19 de 07 de 2024.] <https://emedingenieria.com/producto/calibracion-de-tensiometros/#:~:text=La%20calibraci%C3%B3n%20de%20los%20tensi%C3%B3metros,un%20diag%C3%B3stico%20y%20tratamiento%20incorrectos..>
3. **Wikipedia.** Wikipedia. [En línea] [Citado el: 19 de 07 de 2024.] [https://es.wikipedia.org/wiki/Centro\\_Espa%C3%B1ol\\_de\\_Metrolog%C3%ADa](https://es.wikipedia.org/wiki/Centro_Espa%C3%B1ol_de_Metrolog%C3%ADa).

## Índice de la memoria

<b>Capítulo 1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>6</b>
<b>Capítulo 2. Contextualización y justificación del proyecto.....</b>	<b>8</b>
2.1 Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	8
2.1.1 Objetivo 3: Salud y Bienestar.....	8
2.1.2 Objetivo 12: Producción y Consumo Responsables.....	9
2.2 Estado de la cuestión .....	10
2.2.1 Evolución e importancia de la Electrónica en la Biomedicina .....	10
2.2.2 Tensión arterial.....	11
2.2.3 Tensiómetro.....	11
2.2.4 Equipos calibradores de tensiómetros .....	12
2.2.5 Metrología.....	13
2.3 Descripción de las tecnologías .....	14
2.3.1 Funcionamiento del Equipo Calibrador de Tensiómetros .....	14
2.3.2 Uso del equipo hasta el momento.....	15
2.3.3 Funcionamiento de la tarjeta hasta el momento .....	15
<b>Capítulo 3. Definición del Trabajo .....</b>	<b>16</b>
3.1 Justificación.....	16
3.2 Objetivos .....	17
3.3 Metodología.....	17
3.3.1 Estudio sobre el funcionamiento de la válvula.....	18
3.3.2 Diseño y montaje del circuito electrónico.....	18
3.3.3 Programación del dsPIC y sistema de control.....	19
3.3.4 Mediciones y análisis .....	19
<b>Capítulo 4. Programación en C .....</b>	<b>21</b>
4.1 Inicializaciones.....	22
4.2 Control de intensidad.....	22
4.3 Control de presión .....	25
<b>Capítulo 5. Circuito electrónico .....</b>	<b>28</b>

5.1	Tecnologías utilizadas .....	28
5.1.1	PWM y Factor de servicio .....	28
5.1.2	Diodo de libre circulación.....	29
5.1.3	Filtro paso bajo .....	30
5.1.4	Ruido electrónico.....	31
5.2	Entrada al circuito .....	31
5.3	Circuito de conmutación .....	32
5.4	Conexión a la válvula .....	33
5.5	Medida de intensidad.....	33
5.6	Medida de presión .....	35
<b>Capítulo 6. Análisis de Resultados.....</b>		<b>37</b>
6.1	Estudio previo.....	37
6.2	Simulación en LTspice .....	39
6.3	Circuito en control de intensidad.....	41
6.3.1	Primera prueba: variación de frecuencia .....	43
6.3.2	Segunda prueba: variación de valor medio y amplitud.....	48
<b>Capítulo 7. Conclusiones y Trabajos Futuros.....</b>		<b>54</b>
7.1	Conclusiones .....	54
7.2	Trabajos futuros.....	55
7.2.1	Finalización del control por presión.....	55
7.2.2	Mejora de la placa controladora.....	55
7.2.3	Proyecto de investigación en conjunto los estudiantes de ICAI con el Centro Nacional de Metrología .....	56
<b>Capítulo 8. Bibliografía.....</b>		<b>58</b>
<b>ANEXO I: Hoja de datos válvula Aron Brevini XDP3A01N1G.....</b>		<b>64</b>
<b>ANEXO II: Hoja de Datos Mosfet IRLML6244 .....</b>		<b>65</b>
<b>ANEXO III: Hoja de datos operacional MCP6001R.....</b>		<b>66</b>
<b>ANEXO IV: Hoja de datos de diodo Schottcky BAT54W.....</b>		<b>67</b>
<b>ANEXO V: Hoja de datos transmisor de presión Wika S-10.....</b>		<b>68</b>

<i>ANEXO VI: Hoja de datos circuito convertidor 4-20 mA a 0-5V .....</i>	<i>69</i>
<i>ANEXO VII: Circuito electrónico utilizado en el proyecto .....</i>	<i>70</i>
<i>ANEXO VIII: Placa final utilizada en el proyecto .....</i>	<i>71</i>



## *Índice de figuras*

Ilustración 1: Plano del circuito hidráulico del equipo y leyenda .....	5
Ilustración 2: Circuito electrónico .....	7
Ilustración 3: Intensidad en la válvula proporcional a 40 latidos por minuto .....	9
Ilustración 4: Intensidad en la válvula proporcional a 160 latidos por minuto .....	9
Ilustración 5: Situación de tensión alta.....	10
Ilustración 6: Situación de tensión baja.....	11
Ilustración 7: Diagram of the equipment's hydraulic circuit and legend.....	13
Ilustración 8: Microelectronic circuit .....	15
Ilustración 9: Current in the proportional valve at 40 beats per minute.....	17
Ilustración 10: Current in the proportional valve at 160 beats per minute .....	17
Ilustración 11: High blood pressure.....	18
Ilustración 12: Low blood pressure .....	19
Ilustración 13: ODS nº3: Salud y Bienestar .....	8
Ilustración 14: ODS nº12 Producción y Consumo Responsables .....	9
Ilustración 15: Cálculo de incertidumbre .....	13
Ilustración 16: Plano del circuito hidráulico del equipo y leyenda .....	14
Ilustración 17: PWM y Factor de servicio.....	29
Ilustración 18: Diodo de libre circulación .....	30
Ilustración 19: Filtro paso bajo.....	30
Ilustración 20: Probabilidad Gaussiana de ruido electrónico .....	31
Ilustración 21: Circuito de conmutación .....	32
Ilustración 22: Conexión a la válvula.....	33
Ilustración 23: Medida de intensidad.....	33
Ilustración 24: Medida de presión .....	35
Ilustración 25: Caudal en la válvula en función de la intensidad .....	38
Ilustración 26: Relación intensidad transmitida y presión medida por Wika S-10 .....	39

---

Ilustración 27: Circuito en LTspice .....	40
Ilustración 28: Simulación intensidad en la válvula con Factor de servicio 90% .....	41
Ilustración 29: Control de intensidad a 40 ltm .....	43
Ilustración 30: Control de intensidad a 60 ltm .....	44
Ilustración 31: Control de intensidad a 120 ltm .....	44
Ilustración 32: Control de intensidad a 160 ltm .....	45
Ilustración 33: Descarga de la bobina.....	47
Ilustración 34: Prueba con valor medio=0.3A = amplitud .....	49
Ilustración 35: Prueba con valor medio=0.15A = amplitud .....	49
Ilustración 36: Caída de voltaje en señal exponencial.....	50
Ilustración 37: Presión baja .....	51
Ilustración 38: Presión alta .....	52

## Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

La aplicación de la ingeniería industrial, y en especial de la electrónica, en la medicina es una realidad que lleva avanzando y mejorando desde hace muchos años, aumentando grandemente su importancia en los últimos. Con este proyecto: diseño, montaje y prueba de una placa de control para un equipo de calibración de tensiómetros, la universidad puede ayudar a los alumnos a comprender la importancia de estas aplicaciones, a experimentar y a interesarse en ellas.

La motivación de este proyecto surge de la voluntad de la Universidad Pontificia Comillas de donar al Centro Nacional de Metrología un aparato calibrador de tensiómetros. Este equipo supondrá una oportunidad para el aprendizaje e investigación, ya que permitirá la visualización del comportamiento de la presión arterial frente a los cambios de frecuencia e intensidad de los latidos del corazón humano.

El proyecto consistirá en el diseño, construcción y prueba de un circuito de control para un equipo de calibración de tensiómetros. Finalmente se evaluarán los resultados obtenidos. Este equipo en cuestión se encuentra en el Laboratorio de Fluidos de ICAI y consigue emular un sistema arterial. Para ello emplea tubos de dimensiones y propiedades similares a las de una arteria; y aceite hidráulico, fluido similar a la sangre para las medidas de presión buscadas.

Se controlará la presión que hay en el equipo para seguir una referencia introducida por el usuario. Esta referencia representa la presión teórica que debería tener en cada instante de tiempo en función de la frecuencia cardíaca y las presiones máxima y mínima decididas por el usuario. Para regular la entrada de flujo (y por tanto la presión) en el sistema arterial, el circuito controlará la apertura de una válvula proporcional, la cual varía el flujo en función de la intensidad que recibe.

Este trabajo consta de dos partes de igual importancia: codificación del microprocesador/microcontrolador y circuito electrónico. El papel del

~~microprocesador~~microcontrolador consiste en dirigir y ejecutar el control diseñado. Para ello, recibirá las medidas de presión e intensidad del circuito y realizará sobre ellas el control. El circuito electrónico, que se expone en la segunda parte del proyecto, se encargará de entregar las medidas mencionadas al ~~microprocesador~~microcontrolador y proporcionará la intensidad necesaria a la válvula proporcional.

## **Capítulo 2. CONTEXTUALIZACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

### ***2.1 ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE***

#### **2.1.1 OBJETIVO 3: SALUD Y BIENESTAR**

A lo largo de la historia de la medicina, uno de los grandes factores de mejora y de progreso han sido los avances tecnológicos de los aparatos y técnicas utilizadas en la investigación y tratamiento de enfermedades y afecciones. Para conseguir estos avances se necesita la combinación entre la medicina y la ingeniería, por lo que es fundamental que en las escuelas de ingeniería se enseñen conceptos y se hagan prácticas relacionadas con la medicina.

Como se ha visto en la introducción de este proyecto, el objetivo será la puesta en funcionamiento de un equipo de calibración de tensiómetros. Este equipo puede ayudar a la investigación médica y, en este caso específico ayudará a que estudiantes de ingeniería se familiaricen con el ámbito de la medicina para, como se ha explicado anteriormente, lograr estos cruciales avances tecnológicos.



*Ilustración 13: ODS n°3: Salud y Bienestar*

## **2.1.2 OBJETIVO 12: PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES**

Este proyecto también se alinea con el duodécimo ODS: Producción y Consumo Responsables.

Este objetivo quiere potencia el aprovechamiento eficaz de los recursos, para así combatir contra la escasez de estos en la que se encuentra nuestro planeta (1). Uno de los aspectos claves en este objetivo es buscar arreglar los aparatos que no funcionen en vez de tirarlos y comprar uno nuevo.

En este proyecto la primera tarea realizada fue encontrar el problema que hacía que el equipo calibrador no funcionase. Al detectar que este problema era la placa que realizaba el control de la válvula proporcional, se decidió solamente cambiar esta placa en vez de todo el equipo. De esta manera se consumen muchos menos recursos que si se hubiese cambiado todo el equipo.



*Ilustración 14: ODS nº12 Producción y Consumo Responsables*

## **2.2 ESTADO DE LA CUESTIÓN**

### **2.2.1 EVOLUCIÓN E IMPORTANCIA DE LA ELECTRÓNICA EN LA BIOMEDICINA**

La tecnología ha acompañado a la medicina desde los comienzos del ser humano. Siempre hemos buscado la manera de mejorar los resultados médicos mediante el uso de tecnologías, mejorándolas para acompañar las necesidades médicas de cada momento. Desde los instrumentos médicos de la época egipcia hasta los últimos logros de unir la medicina con la inteligencia artificial (2).

En comparación con la medicina, la electrónica es mucho más reciente. Se puede decir que esta ciencia nace en 1883, cuando Thomas Alva Edison descubre la manera de liberar electrones de un elemento utilizando energía calórica (3). Esta ciencia evolucionará rápidamente, consiguiendo grandes desarrollos como el transistor en 1947 (4).

Tras la creación del primer transistor, la electrónica comienza a buscar soluciones y mejoras para problemas médicos, siendo el primer gran invento el marcapasos en 1958 por Wilson GreatBatch (5).

En la actualidad, la electrónica ha conseguido grandes avances médicos y es utilizada en casi todos los ámbitos, por ejemplo:

1. Electrocardiógrafos. Estos aparatos son utilizados para medir la actividad eléctrica del corazón para diagnosticar arritmias y enfermedades cardíacas (6).
2. Marcapasos y desfibriladores implantables. Estos sencillos circuitos electrónicos consiguen regular el ritmo cardíaco, previniendo arritmias y ataques al corazón (7).
3. Terapia de Radiación. Esta avanzada técnica electrónica consigue enviar ondas precisas de radiación a las zonas infectadas con un tumor, dañando el ADN de estas células cancerígenas hasta eliminarlas.
4. Relojes inteligentes y otros accesorios. Estos dispositivos son capaces de monitorizar la salud del usuario, con un registro de varios datos como la actividad cardíaca, la respiración o el sueño. Este registro puede prevenir enfermedades y monitorizar síntomas (8)

### **2.2.2 TENSIÓN ARTERIAL**

Como se ha mencionado previamente, este trabajo buscará mejorar un equipo calibrador de tensiómetros. Para la mayor comprensión del trabajo y de las repercusiones de este; se explicará qué es la tensión arterial y la importancia para la salud controlar sus valores.

La tensión arterial es la fuerza que ejerce la sangre al pasar por las arterias. Esta fuerza es empleada por el corazón para llevar la sangre hacia las distintas partes del cuerpo, siendo las arterias las vías de conexión entre el corazón y el resto del cuerpo (9).

Se caracteriza con dos valores: presión sistólica y presión diastólica. La primera es la presión máxima y representa la presión en las arterias cuando el corazón late. La segunda es la presión mínima y representa la presión en las arterias cuando el corazón está en reposo entre latidos (10).

Es de gran importancia revisar la tensión arterial desde los 18 años (11), ya que la alta presión arterial (hipertensión) no controlada daña seriamente el corazón, endurece las arterias y disminuye el flujo sanguíneo (12). Además, puede provocar otros riesgos como ataques al corazón, aneurisma (ensanchamiento de una parte de una arteria por debilidad en la pared del vaso sanguíneo (13)) y problemas en el riñón (11).

Los valores de tensión arterial normales son de 120 mmHg de presión sistólica y 80 de diastólica. Presiones sistólicas de menos de 90mmHg o diastólicas de menos de 60 mmHg se consideran presiones arteriales bajas y una persona puede sentirse mareado y débil (14). Presiones sistólicas entre 120 y 129 y diastólicas de menos de 80 se consideran elevadas y con el paso del tiempo pueden dar lugar a una hipertensión (15). Cuando la presión sistólica supera los 130 mmHg y la diastólica los 80mmHg, se considera hipertensión (16); y puede dar lugar a ataques o insuficiencias cardíacas, pérdidas de vista o insuficiencia renal, entre otras consecuencias (17)

### **2.2.3 TENSÍOMETRO**

Un tensiómetro es un dispositivo médico utilizado para medir la presión arterial. Existen varios tipos de tensiómetros, pero los más comunes son los manuales (esfigmomanómetros) y los digitales.



Ambos funcionan de una manera similar, pero se diferencia en cómo se consigue el resultado. Se colocará el tensiómetro alrededor del brazo, encima del codo. El tensiómetro se inflará, cortando el flujo sanguíneo (18). En este momento se podrá tomar las medidas: cuando se escucha el latido del corazón se medirá la tensión sistólica y cuando se deja de escuchar, la diastólica (19).

La diferencia entre los dos tensiómetros está en cómo se calcula el momento en el que se mide la tensión sistólica y la diastólica. El tensiómetro digital lo hará automáticamente, mientras que el esfigmomanómetro necesitará el uso de un estetoscopio (aparato destinado a auscultar los sonidos del pecho y otras partes del cuerpo, ampliándolos con la menor deformación posible (20)) y, por tanto, de un médico (21).

## **2.2.4 EQUIPOS CALIBRADORES DE TENSIÓMETROS**

Un equipo calibrador de tensiómetros es un dispositivo utilizado para verificar la precisión de tensiómetros (22). Son equipos esenciales para garantizar lecturas fiables de los tensiómetros, crucial para el diagnóstico y tratamiento de pacientes. Los esfigmomanómetros deben de ser calibrados al menos una vez al año, o cada seis meses si son esfigmomanómetros anaerobios (23)

El proceso de calibración se compone de los siguientes pasos: (24)

1. **Conexión del Tensiómetro al Calibrador:** El tensiómetro a calibrar se conecta al equipo mediante un tubo que permita comparar las lecturas del tensiómetro con las del equipo
2. **Comparación:** Se realiza la medición con el tensiómetro y se compara con los resultados obtenidos por el equipo.

3. **Estimación de la incertidumbre:** se calculará la incertidumbre que tiene la medición del tensiómetro calibrado. Se calculará utilizando la fórmula que detalla la siguiente imagen (25)

$$E = (\bar{A}_i + \ddot{a}A_i) - (A_r + \ddot{a}A_r + \delta A_{r1}) \quad (1)$$

Donde:

$A_r$	Lectura del equipo patrón.
$\bar{A}_i$	Valor medio de las lecturas del equipo a Calibrar.
$\ddot{a}A_r$	Corrección en la indicación del Patrón de Trabajo debido a: - Desviaciones en la Temperatura Ambiente y Humedad Relativa. - Variaciones en la fuente de alimentación. - Variaciones a partir de calibraciones pasadas.
$\ddot{a}A_i$	Corrección de indicación por resolución del equipo a Calibrar.
$\ddot{a}A_{r1}$	Corrección de indicación por resolución del Patrón de Trabajo.
E	Error absoluto.

4. :

*Ilustración 15: Cálculo de incertidumbre*

## 2.2.5 METROLOGÍA

La Metrología es la ciencia que tiene por estudio los sistemas de pesas y medidas (26). Esta ciencia busca mejorar las incertidumbres en las medidas y es la responsable de la creación de los sistemas de medidas internacionales (27).

## 2.3 DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

### 2.3.1 FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO CALIBRADOR DE TENSIÓMETROS

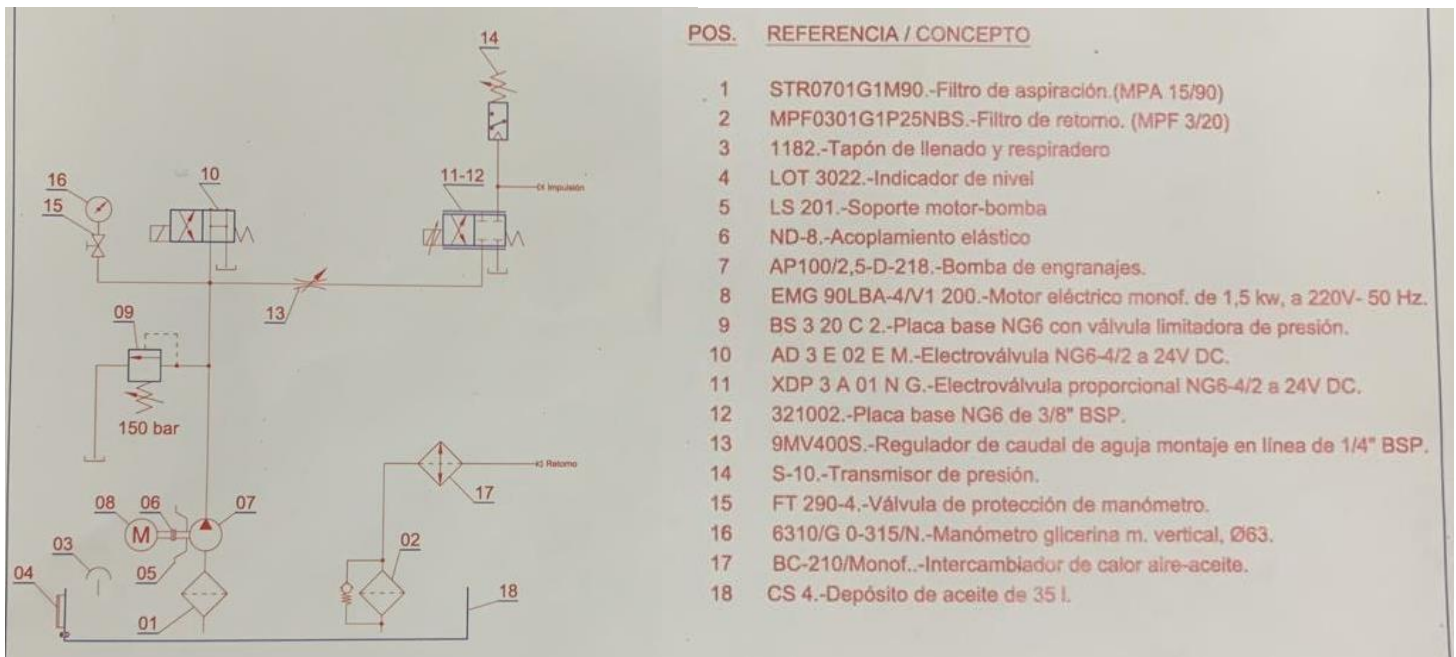


Ilustración 16: Plano del circuito hidráulico del equipo y leyenda

El funcionamiento está representado gráficamente en la Ilustración 16: Plano del circuito hidráulico del equipo y leyenda, y las referencias a los elementos utilizados se harán siguiendo los números de la leyenda es esta imagen. El aceite hidráulico está contenido en un depósito nº18 y es impulsado hacia el sistema por la bomba de engranajes nº9, mediante el motor nº8. El manómetro nº16, comprueba que la presión a la salida de la bomba es la correcta. El flujo de aceite es dependiente de la apertura válvula proporcional nº11. Esta es una válvula Aron Brevini XDP3A01N1G, cuya hoja de datos se puede ver en el ANEXO I: Hoja de datos válvula Aron Brevini XDP3A01N1G. Esta válvula utiliza un control por intensidad, realizado por el ordenador conectado a la placa base nº12. Esta conexión y control de intensidad de la válvula es sobre el cual se va a centrar este proyecto.

La válvula mencionada, nº11, regula el paso del aceite hacia la simulación del sistema arterial, donde los tubos por donde fluye el aceite son de diámetro y características similares a una arteria humana. En esta zona está colocado un transmisor de presión (que no aparece en el plano), que mide la presión arterial.

La presión medida por este manómetro depende de la apertura de la válvula proporcional nº11. La válvula proporcional introduce una caída de presión en el flujo que entra en el sistema arterial. Cuanto mayor sea la apertura de esta válvula, menor será la caída de tensión provocada y, por tanto, mayor la presión medida y viceversa.

### **2.3.2 USO DEL EQUIPO HASTA EL MOMENTO**

El equipo ha sido utilizado en el laboratorio de fluidos durante muchos años para la calibración de tensiómetros y para simular la presión arterial según una señal de entrada, la cual el usuario podía decidir su amplitud y su frecuencia. Sin embargo, por paso de los años y el envejecimiento de la tecnología, el equipo ha empeorado su rendimiento hasta quedar inutilizable.

### **2.3.3 FUNCIONAMIENTO DE LA TARJETA HASTA EL MOMENTO**

La tarjeta amplificadora SE3AN21RS1603, recoge una señal de entrada del ordenador, la amplifica y modifica, para poder enviarla a la válvula y controlar el movimiento de esta. Esta tarjeta hace uso de elementos físicos (transistores, condensadores, bobinas y resistencias) para realizar la amplificación y modificación necesaria. Este método es muy complejo e ineficiente: las innovaciones tecnológicas en los ~~microprocesadores~~ microcontroladores y programación permiten que este proceso se pueda realizar de una forma más eficiente y económica.

## **Capítulo 3. DEFINICIÓN DEL TRABAJO**

### **3.1 JUSTIFICACIÓN**

El equipo utilizado en este proyecto comenzó su funcionamiento hace 10 años (comparada en 2014) en el laboratorio de Fluidos de ICAI. El equipo se llama Centralita Hidráulica, fabricada por la empresa Aron y costó 3600€.

La válvula sobre la que se realizará este proyecto solía ser controlada por una tarjeta elaborada por la empresa Aron en el momento de la compra del equipo. Sin embargo, en el año 2024 esta tarjeta deja de funcionar, dejando el equipo inutilizado.

Se intentó reemplazar la tarjeta averiada por una igual, pero se encontraba descatalogada y sin existencias. Se decidió desde la universidad presentar un proyecto de Trabajo de Fin de Grado para realizar una tarjeta nueva. La nueva tarjeta diseñada conseguirá una gran mejora en eficiencia, velocidad y coste; convirtiéndose de esta manera en un producto único en el mercado actual.

Este proyecto permitirá a promociones futuras de la universidad aprender sobre la adaptación y combinación de la ingeniería con el sector médico; permitiendo de esta manera un aprendizaje diferente y de gran interés.

Una vez realizado el diseño y comprobación de resultados de este proyecto, este podría ser de gran utilidad para otros centros que quieran hacer uso de un equipo de calibración de tensiómetros, u otros equipos que requieran un control de presión e intensidad para su funcionamiento.

### **3.2 OBJETIVOS**

Con la realización de este Trabajo de Fin de Grado se buscarán completar los siguientes objetivos:

1. Poner en funcionamiento el equipo calibrador de tensiómetros. El primero y principal de los objetivos a realizar será conseguir poner en funcionamiento de nuevo el equipo calibrador; ya que, como se ha explicado anteriormente, este no ha funcionado en los últimos años.
2. Dotar al Centro Español de Metrología de un equipo calibrador de tensiómetros funcional. Este equipo se va a donar al Centro Español de Metrología: máximo organismo de la metrología en España (28). El equipo puede ayudar al CEM a mejorar sus instrumentos de medida relacionados con la medicina.
3. Dar a conocer la importancia de la ingeniería en la medicina. Como se ha explicado anteriormente, la ingeniería y sus avances tecnológicos cumplen un papel fundamental en el desarrollo de la medicina. Los ingenieros del CEM podrán utilizar este equipo para realizar experimentos y mediciones, consiguiendo avances que podrían ser importantes. Además, los alumnos de ICAI podrán realizar visitas a este centro y utilizar este equipo calibrador para prácticas de laboratorio e investigación. De esta manera se promoverá y se les hará ver la importancia de la ingeniería para el desarrollo de la medicina.

### **3.3 METODOLOGÍA**

En este apartado de la Memoria, se explicarán la metodología y organización del proyecto, explicando las diferentes tareas a realizar ordenados cronológicamente según el momento en el que se realizaron.

### **3.3.1 ESTUDIO SOBRE EL FUNCIONAMIENTO DE LA VÁLVULA**

Antes de poder comenzar a diseñar el circuito electrónico y el programa a utilizar, se debe conocer el funcionamiento de la válvula en función de la corriente y el voltaje introducidos. También se debe estudiar la relación entre la intensidad introducida a la válvula y el flujo que circula por ella.

Para conocer estos datos, se realizará una búsqueda en las hojas de características de la válvula en cuestión y se realizará una prueba para conocer el caudal en función de la intensidad de entrada a la válvula en cuestión. En esta prueba se conectará una fuente de intensidad a la válvula a controlar y se irá midiendo el caudal que fluye por el circuito en función de la intensidad que envía la fuente.

### **3.3.2 DISEÑO Y MONTAJE DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO**

El objetivo de este circuito es realizar un control de la presión en el equipo calibrador y de la intensidad en la válvula a controlar utilizando el ~~microprocesador~~microcontrolador.

Como se explicará en detalle en el Circuito electrónico, el circuito buscará enviar al ~~microprocesador~~microcontrolador la presión que mide el equipo calibrador y la intensidad que circula por la válvula a controlar, ambas en forma de voltaje, para que el ~~microprocesador~~microcontrolador realice el control. El circuito recibirá del ~~microprocesador~~microcontrolador una señal PWM, con un factor de servicio variable.

El circuito se realizará en varias etapas, añadiendo al circuito inicial cambios y mejoras. Inicialmente se realizará únicamente un control de intensidad; y, al comprobar que este funciona correctamente, se añadirá el control de presión final.

En el circuito final se unirán estos dos controles mencionados. La función del control de intensidad será comprobar que la intensidad que circula por la válvula es siempre menor de 0,88A (intensidad máxima que puede circular por la válvula, como se puede comprobar en ANEXO I: Hoja de datos válvula Aron Brevini XDP3A01N1G. El

control de presión será el que modifique la señal enviada por el microcontrolador al circuito para conseguir la presión y frecuencia deseadas por el usuario

### **3.3.3 PROGRAMACIÓN DEL DSPIC Y SISTEMA DE CONTROL**

Para realizar el sistema de control se utilizará un microcontrolador dsPIC33FJ32MC202 (29). Este microcontrolador recibirá del circuito electrónico la presión medida por el equipo calibrador y la intensidad que circula por la válvula, ambos en forma de voltaje. Con estas dos señales de entrada realizará un control de la presión y comprobará que la intensidad en la válvula sea menor a 1A. En caso de que sea mayor o igual, el sistema se apagará.

Como se explicará con detalle en el Capítulo 4. Programación en C, el microcontrolador creará internamente una señal de presión o de intensidad senoidal de referencia (en la cual el usuario podrá decidir su frecuencia, valor medio y amplitud), y buscará que la presión en el equipo siga esta referencia. Para variar la presión en el equipo, variará el factor de servicio de la señal PWM que envía al circuito electrónico.

Al igual que el circuito electrónico primero se realizó únicamente un control de intensidad en la válvula, y al comprobar su correcto funcionamiento, se añadió el control de presión mencionado.

### **3.3.4 MEDICIONES Y ANÁLISIS**

Por último, se realizarán las mediciones y los análisis de los resultados, comparando estos con los resultados esperados para así comprobar el correcto funcionamiento del proyecto.

Se obtendrán tres resultados diferentes: resultado en LTspice de respuesta del circuito ante la entrada de un PWM de Factor de servicio constante. Resultado del circuito en control



de intensidad, previo al uso de la válvula, cambiando esta por una bobina y una resistencia. Por último, se obtendrá el resultado final de la señal de presión en el equipo de calibración.

## Capítulo 4. PROGRAMACIÓN EN C

Como se ha explicado anteriormente, el código desarrollado y utilizado en el microcontrolador dsPIC33FJ32MC202 será uno de los puntos fundamentales de este proyecto. El objetivo de este código será realizar un control de la intensidad que circula en la válvula proporcional y compararla con una intensidad de referencia, la cual podrá ser modificada por el usuario.

El programa usará tres señales relevantes para el proceso: la señal PWM que emite el microcontrolador, la intensidad real que circula por la válvula, y la intensidad de referencia. El usuario definirá las características de la intensidad de referencia que quiere y las otras dos señales variarán, buscando que la intensidad que circula por la válvula sea igual a la intensidad de referencia.

El código realizado consta de cuatro partes fundamentales: Inicializaciones, conversor A/D, PWM, y los controles necesarios. Durante la realización del proyecto se utilizaron dos códigos diferentes: el primero solo realiza un control de la intensidad de la válvula proporcional y el segundo controla la intensidad de esta válvula y la presión en el equipo.

Para buscar la máxima semejanza entre la apertura y cierre de la válvula con la de los ventrículos del corazón humano, se decidió que la señal de presión o de intensidad de referencia fuese senoidal. De esta manera, la válvula se abrirá y cerrará periódicamente (como realiza el corazón humano) en función del control utilizado.

## **4.1 INICIALIZACIONES**

En esta primera parte del código, se crean las variables utilizadas a lo largo del programa y se inicializa el microcontrolador (pines, entradas/salidas, timers, archivos).

Se utilizan dos timers: uno para realizar y controlar el PWM, y el otro para realizar la medida y el control de la presión y la intensidad cada cierto tiempo, ya que si se realizaba este control constantemente el PWM no tendría suficiente tiempo para ajustar su factor de servicio antes de que se volviese a comparar la intensidad con la referencia.

El Timer 1 (utilizado para el PWM) funcionará a una frecuencia de 8MHz, un periodo completo de PWM termina tras 30 interrupciones de este timer, por lo que el PWM funcionará a una frecuencia de 26,7KHz. Este timer tendrá la prioridad de interrupción alta, ya que este PWM debe funcionar constantemente.

El Timer 2 funcionará a una frecuencia de 5KHz. Cada vez que se interrumpe este timer, se medirá la presión e intensidad del circuito y se comparará la presión real con la referencia. Además, cada 100 interrupciones de este timer se cambiará el valor de la referencia, por lo que se realizarán 100 controles de presión antes de cambiar al siguiente valor de referencia. De esta manera el circuito tendrá tiempo suficiente para estabilizarse antes de cambiar de referencia. El cálculo del tiempo que necesita el circuito para estabilizarse dado un Factor de servicio se realizará en el Capítulo 6.2.

## **4.2 CONTROL DE INTENSIDAD**

Este código busca igualar la intensidad que circula por la válvula a una referencia senoidal de frecuencia, valor medio y amplitud decidida por el usuario. Para ello el usuario introducirá el valor medio y la amplitud en Amperios, y frecuencia que quiere en latidos por minuto. Esta frecuencia se dividirá entre sesenta para que el código trabaje con la frecuencia en Hercios

La señal PWM funcionará constantemente con una frecuencia de 26.7 KHz y factor de servicio variable decidido en el control de intensidad.

El Timer 2 realizará una interrupción cada 0.2 milisegundos. En cada una de estas interrupciones se medirá la intensidad que circula por la válvula utilizando el convertidor A/D y se permitirá la comparación con la referencia mediante la variable “fin”. Cuando esta variable está activa el programa comparará la intensidad que circula por la válvula con la intensidad de referencia. Si la intensidad de la válvula es menor que la referencia aumentará el Factor de servicio y si es mayor lo reducirá. Esta comparación se dividirá en tres situaciones:

1. Intensidad mucho mayor o menor que la referencia. Si la diferencia entre la intensidad de la válvula y la referencia es mayor o igual a 0.2 A, el Factor de servicio del PWM aumentará o disminuirá un 5%. De esta manera si la intensidad y la referencia son muy diferentes, el control lo corregirá rápidamente
2. Intensidad ligeramente mayor o menor que la referencia. Si la intensidad de la válvula y la referencia distan entre 0.1 y 0.01 A, el Factor de servicio cambiará en un 1%. De esta manera, cuando la intensidad y la referencia son cercanas, el control tendrá la precisión necesaria para igualarlas.
3. Intensidad muy cercana a la referencia. Si la intensidad y la referencia se distinguen en 0.01 A se considerarán iguales y el control no realizará cambios en el PWM. Si no se permitiese este pequeño error, el control nunca llegaría a igualar la intensidad a la referencia, por lo que estaría constantemente oscilando.

Por último, cada 100 interrupciones del timer 2 (y por tanto, cada 100 controles) la referencia cambiará su valor. La referencia está diseñada como una senoidal en tiempo discreto cuya frecuencia, valor medio y amplitud podrá ser decidida por el usuario. Se realizará el muestreo de esta senoidal cada 100 interrupciones del T2, por lo que el tiempo de muestreo es de 0.02s.

El código utilizado para realizar el control y crear la referencia es el siguiente.

```

while (1) {

    //Control de intensidad respecto a referencia cada vez que mido
    la intensidad
    if (fin == 1) {
        fin = 0;
        if (intensidad < referencia) {
            if ((intensidad + 0.2) < referencia) {
                dc = dc +5 ;
            } else if ((intensidad + 0.01) < referencia) {
                dc++;
            }
        } else if (intensidad > referencia) {

            if ((intensidad - 0.2) > referencia) {
                dc = dc -5 ;
            } else if ((intensidad - 0.01) > referencia) {
                dc--;
            }
        }

        if (dc <=0) {
            dc = 0;
        }

        setDcPWM(1<<12, dc*100);
    }
}
return 0;

}

void __attribute__((interrupt, no_auto_psv)) _T2Interrupt(void) {
    IFS0bits.T2IF = 0; //Ponemos a 0 el aviso de fin de cuenta cuando
    atendemos la interrupciÃ³n

    //miro la intensidad y aviso para que haga el control
    fin = 1;

    intensidad = ((double) leerADCPolling(1))*3.3 *1.2 / (1023 * 5);

    //cambio la seÑal de referencia cada 10 controles de intensidad
    cont3++;

    if (cont3 >= 100) {
        cont3 = 0;
        n++;
        //sin( 2 pi f n ts) el timer funciona a 2KHz, y cambio el seno
        cada 100 interrupciones del timer por lo que Ts es 0.02s
        seno = 0.35 * sin(2 * 3.1416 * freq * n * 0.02);
        referencia = 0.35 + seno;
        //
    }
}

```

### **4.3 CONTROL DE PRESIÓN**

La segunda parte del proyecto será realizar un control de la presión que mide el equipo calibrador y controlar la intensidad de la válvula.

Se realizará de una manera similar al control de la intensidad anterior. En este caso, con cada interrupción del timer 2 se medirá tanto la intensidad que circula por la válvula como la presión que mide el manómetro y transmisor Wika S-10. El microcontrolador recibirá ambas señales de forma analógica, las convertirá a digital y cambiará las unidades; resultando la intensidad medida en amperios y la presión en mmHg.

Como se puede ver en el ANEXO I: Hoja de datos válvula Aron Brevini XDP3A01N1G, la intensidad máxima de la válvula utilizada es de 0.88A. Si la intensidad medida supera esta cifra, el Factor de servicio del PWM enviado por el microcontrolador será 0 y el circuito se parará. Si es menor a 0.88A realizará el control de presión.

El control de presión se realizará de una manera similar a el control de intensidad del Capítulo 4.2 Control de intensidad. En este control la decisión entre aumentar o disminuir el Factor de servicio del PWM en función de la señal de referencia y la presión real funcionará de manera inversa que en el control de intensidad. Si la presión real es mayor que la de referencia se debe aumentar el Factor de servicio, y si es menor, aumentarlo. De esta manera si se quiere disminuir la presión en el equipo se cerrará más la válvula, y si se quiere aumentar, se abrirá. Esto sucede porque la relación entre la apertura de la válvula y la presión en el equipo es una relación directa, como se explica en el Capítulo 2.3.1. Funcionamiento del Equipo Calibrador de Tensiómetros.

Además, se cambiarán los valores de diferencia de presione entre la medida y la referencia que marcan los rangos de funcionamiento. En este caso si la diferencia de presión entre la referencia y la medida es mayor de 5 mmHg se aumentará o disminuirá en 5% el Factor de servicio. Si la diferencia pertenece al intervalo (5, 0.5), se aumentará o disminuirá

en 1% el Factor de servicio. Si la diferencia es menor a 0.5 mmHg, no se realizará ningún cambio.

El código utilizado para realizar este control y crear la referencia será el siguiente:

```

    pmed = (sistolica + diastolica )/2; //presiones en mmHg
    amplitud = sistolica - pmed;

    freq = lat / 60; //frecuencia en Hz

    while (1) {
        if(intensidad<0.88){
            //Control de presión respecto a referencia cada vez que mido la
            intensidad
            if (fin == 1 && pmed>0) {
                fin = 0;
                if (presion < referencia) {
                    if ((presion + 5) <= referencia) {
                        dc = dc + 5 ;
                    } else if ((presion + 0.5) < referencia) {
                        dc++;
                    }
                } else if (presion > referencia) {

                    if ((presion - 5) >= referencia) {
                        dc = dc - 5;
                    } else if ((presion - 0.5) > referencia) {
                        dc--;
                    }
                }

                if (dc <= 0) {
                    dc = 0;
                }
            }
        } else{
            dc=0;
        }
    }

    setDcPWM(1<<15, dc*100);
    return 0;
}

void __attribute__((interrupt, no_auto_psv)) _T2Interrupt(void) {
    IFS0bits.T2IF = 0; //Ponemos a 0 el aviso de fin de cuenta cuando
    atendemos la interrupciÃ³n

    //miro la presión e intensidad y aviso para que haga el control
    fin = 1;

```

```
intensidad = ((double) leerADCPolling(1))*3.3 *1.2 / (1023 * 5);

//leo presion y paso a mmHg
presion=750.1*((double) leerADCPolling(0))/ (1023);

//cambio la señal de referencia cada 100 controles de intensidad
cont3++;

if (cont3 >= 100) {
    cont3 = 0;
    n++;
    //sin( 2 pi f n ts) ts=20ms
    seno = amplitud * sin(2 * 3.1416 * freq * n * 0.02);
    referencia = seno + pmed;
}
}
```



## **Capítulo 5. CIRCUITO ELECTRÓNICO**

El circuito electrónico es el otro punto fundamental del proyecto. Su objetivo es introducir a la válvula una intensidad variable, controlada por el microcontrolador; y devolver al microcontrolador la medida de la intensidad que está circulando por la válvula y la medida de la presión que mide el manómetro, ambas como medidas de voltaje. El circuito completo se adjuntará en el ANEXO VII: Circuito electrónico utilizado en el proyecto, y la placa resultante en el ANEXO VIII: Placa final utilizada en el proyecto.

Este circuito se diseñó inicialmente con el software LTspice, y una vez se comprobó su funcionamiento físicamente se diseñó una placa Arduino utilizando el software KiCad.

A continuación, se analizará en detalle el circuito diseñado y utilizado para este proyecto.

### **5.1 TECNOLOGÍAS UTILIZADAS**

#### **5.1.1 PWM Y FACTOR DE SERVICIO**

El PWM (Pulse-Width Modulation) es una técnica de modulación de ancho de pulso utilizada para controlar la cantidad de energía que se entrega a un dispositivo eléctrico. Consiste en variar el Factor de servicio (Relación entre tiempo en que el circuito o señal se encuentra en estado activo entre el periodo total (30)) de una señal periódica (generalmente de forma cuadrada), manteniendo constante su frecuencia y amplitud (31).

Es una técnica muy utilizada en la electrónica por su eficiencia energética, ya que permite ajusta la cantidad de energía entregada de manera precisa y minimizando las pérdidas. Permite alta precisión y flexibilidad.

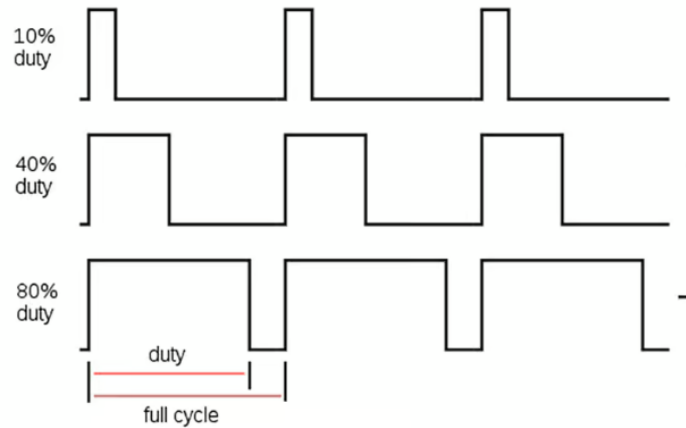


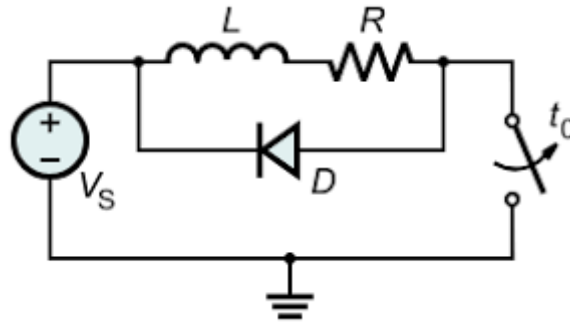
Ilustración 17: PWM y Factor de servicio

## 5.1.2 DIODO DE LIBRE CIRCULACIÓN

Este componente electrónico es un diodo, conectado en paralelo con una inductancia para eliminar los picos de voltaje que se dan en esta inductancia cuando la corriente se ve reducida rápidamente. (32)

Cuando sucede esta reducción o interrupción repentina, la corriente invertirá su sentido, por lo que podrá circular por el diodo en cuestión mientras sigue circulando por la inductancia hasta extinguirse. En caso de no poner este diodo, la tensión aumenta tanto que el transistor comienza a conducir. La potencia que disipa el transistor ( $\text{Potencia} = \text{Voltaje} * \text{Intensidad}$ ) es demasiado grande, quemándose.

La causa más común de estos cambios repentinos de corriente son los circuitos de conmutación ya que, en función del estado en el que se encuentre este circuito, la corriente tomará un valor u otro. En este proyecto se hará uso de un circuito de conmutación y de una inductancia, por lo que se necesitará el diodo de libre circulación.

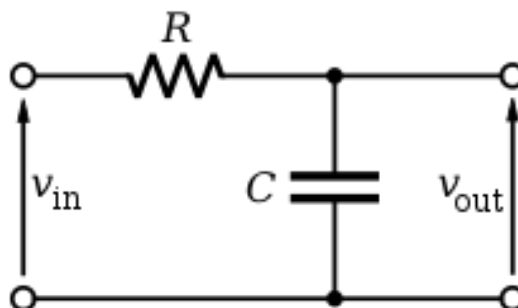


*Ilustración 18: Diodo de libre circulación*

### 5.1.3 FILTRO PASO BAJO

Un filtro paso bajo es un circuito electrónico, o parte de uno; diseñado para permitir el paso de frecuencias inferiores a una frecuencia de corte específica, mientras atenúa las frecuencias superiores. El más simple está formado por una resistencia y un condensador, cuyos valores son calculados para conseguir la frecuencia de corte buscada.

En este proyecto se utilizará el filtro para conseguir frecuencias lo más cercanas a 0Hz, ya que se utilizará el filtro para obtener el valor medio de la señal a medir. Para ello se diseñará el filtro con una frecuencia de corte de 1 HZ (33)

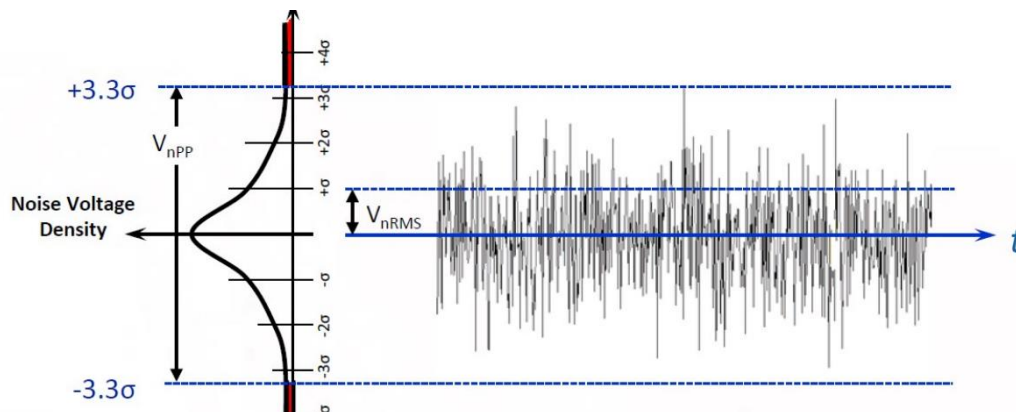


*Ilustración 19: Filtro paso bajo*

### 5.1.4 RUIDO ELECTRÓNICO

El ruido electrónico es una señal no deseada de alta frecuencia que se añade a la señal principal de un sistema electrónico. Todos los sistemas electrónicos tendrán varias fuentes de ruido, tanto internas (parte del circuito examinado), como externas (introducido por fuentes externas) (34).

Este ruido es perjudicial para los sistemas electrónicos y debe ser eliminado para mejorar la precisión y fiabilidad del sistema: El ruido puede provocar interferencias en las lecturas de las señales que devuelve un sistema electrónico (35). En específico, los sistemas electrónicos relacionados con el ámbito de la medicina deben eliminar estas interferencias lo máximo posible, ya que pueden provocar fallos en las lecturas y por tanto en los diagnósticos (36).

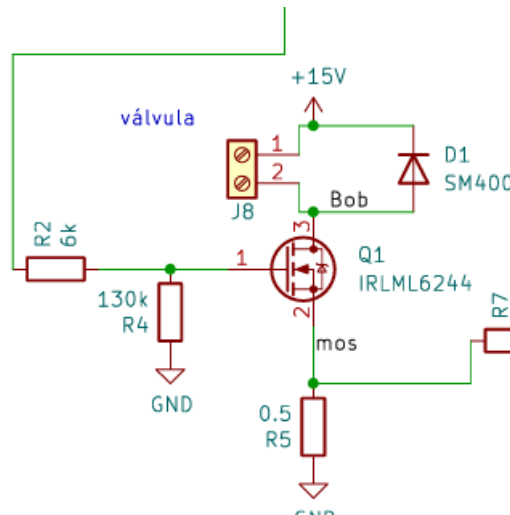


*Ilustración 20: Probabilidad Gaussiana de ruido electrónico*

## 5.2 ENTRADA AL CIRCUITO

La entrada al circuito será una señal PWM producida por el microcontrolador. Esta señal teóricamente tiene un valor máximo de 3.3V y mínimo de 0V. Experimentalmente se comprobó que el valor máximo real es de 3.2V y el mínimo de -0.2V. Este PWM funcionará a una frecuencia de 16KHz (un ciclo completo sucede cada 62,5  $\mu$ s). Además, el porcentaje del periodo en el que se encuentra en estado ON (3.2V) y en estado OFF (0V) modulará en función del control de presión. Esta modulación está explicada en el Capítulo 4. Programación en C.

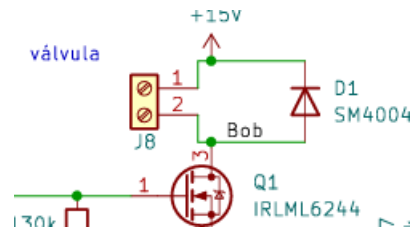
### 5.3 CIRCUITO DE CONMUTACIÓN



*Ilustración 21: Circuito de conmutación*

Como se puede ver en la Ilustración 21: Circuito de , la señal PWM mencionada se conectará en el canal Gate de un transistor Mosfet Q1 IRLML6244 mediante una resistencia de 1K $\Omega$ . Las hojas de datos de este transistor Mosfet se encuentran en el ANEXO II: Hoja de Datos Mosfet IRLML6244 . Este transistor mencionado se encontrará en estado de saturación cuando la entrada sea de 3.2V y apagado cuando sea de 1V. Cuando este se encuentra en modo de saturación, los canales Drain y Source del MOSFET permitirán la circulación de corriente entre ellos, circulando la misma corriente por ambos.

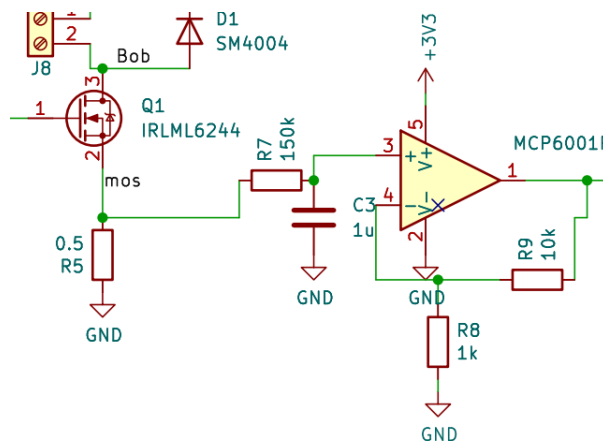
## 5.4 CONEXIÓN A LA VÁLVULA



*Ilustración 22: Conexión a la válvula*

La válvula se conectará entre el canal D del Mosfet Q1 y una fuente de alimentación de 14V, como se puede comprobar en la Ilustración 22: Conexión a la válvula. De esta manera la válvula recibirá una señal de intensidad cuya forma y valores se podrán cambiar en función del Factor de servicio del PWM de entrada al circuito.

## 5.5 MEDIDA DE INTENSIDAD



*Ilustración 23: Medida de intensidad*

Una de las salidas del circuito electrónico será la intensidad que circula por la válvula en todo momento, como se puede comprobar en la Ilustración 23: Medida de intensidad. Se comprobará que esta intensidad no supere 0,88A; máximo que puede soportar la válvula, conectada a J8. En caso de que la intensidad llegase a este valor, el programa dejaría de enviar pulsos PWM, apagándose así el circuito, como se explica en el Programación en C.

Esta intensidad se enviará a un puerto analógico del microcontrolador (Canal analógico 1) en forma de voltaje. Para realizar el cambio de intensidad a voltaje, se utilizará una resistencia de medida R5 de  $0,5\Omega$  situada entre el canal Source del MOSFET Q1 y Ground.

Dado que esta intensidad es de gran importancia para el funcionamiento del circuito, se debe evitar que los ruidos provenientes del circuito de conmutación influyan en el valor de esta medición. Para la eliminación de ruidos se utilizará un filtro paso bajo de primer orden y frecuencia de corte 1Hz. Este filtro estará compuesto por la resistencia R7 de  $150K\Omega$  y el condensador C3 de  $1\mu F$ . Dado que la frecuencia de corte en un filtro paso bajo de primer orden se calcula como  $f_c = \frac{1}{2 * \pi * R * C}$  (36). Con los valores definidos,  $f_c=1Hz$

Con este filtro paso bajo se busca obtener el valor medio de la intensidad a medir, eliminando tanto los ruidos electrónicos provenientes del circuito de conmutación (ya que el valor medio del ruido electrónico es 0) y buscando una salida sin escalones provocados por la variación de la intensidad en cada conmutación.

Por último, un amplificador no inversor de ganancia 10 basado en el MCP6001R (cuya hoja de datos se encuentra en ANEXO III: Hoja de datos operacional MCP6001R. De esta manera, el voltaje que llegue al microcontrolador será 10 veces más grande que el que se encuentre en el canal Source del Mosfet Q1.

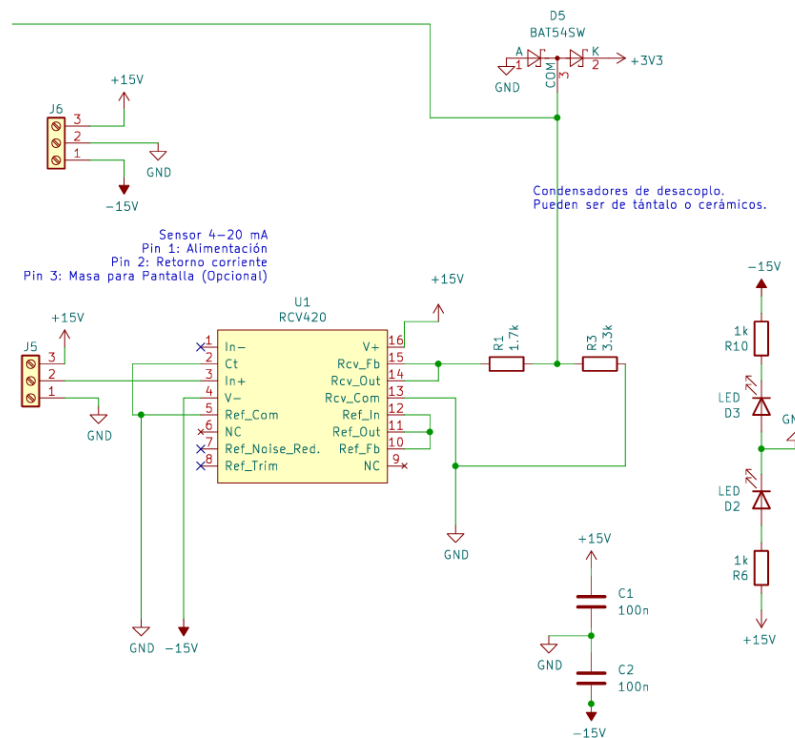
El operacional MCP6001R también sirve como medida de protección hacia el microcontrolador. El operacional estará alimentado a +3.3V y 0V. De esta manera si el voltaje que llega por el pin + es mayor de 3.3V o menor de 0V, el operacional saturará, manteniendo su salida en 3.3 o 0V respectivamente (28). Los valores máximos y mínimos

de voltaje que puede soportar la entrada analógica del microcontrolador son 3.3 y 0V respectivamente. Con esta protección se asegura que la entrada analógica al microcontrolador nunca se saldrá de este rango.

De esta manera el voltaje que llega al microcontrolador será

$$V_{micro} = I_{válvula} * R5 * \text{Amplificación en el operacional} = I_{válvula} * 5$$

## 5.6 MEDIDA DE PRESIÓN



*Ilustración 24: Medida de presión*

El objetivo de este circuito es convertir la presión que mide el manómetro y transmisor de presión Wika S-10 en una señal analógica entre 0 y 3.3V que llegue al microcontrolador; para que este pueda realizar un control de esta presión, como se



explica en el Capítulo 4.3 Control de presión. Esta señal se enviará al Canal analógico 0 del microcontrolador.

Como se puede ver en el en ANEXO V: Hoja de datos transmisor de presión Wika S-10, el manómetro y transmisor de presión tiene un rango de 0 a 1 bar de presión y convierte esta presión a intensidad de forma proporcional entre 4 y 20 mA, como se explicará más detalladamente en el Capítulo 6.1 Estudio previo.

Como se puede ver en la Ilustración 24: Medida de presión, en la salida de este transmisor de presión se conectará un circuito convertidor de 4-20mA a 0-5 V. Este un circuito diseñado por Burr-Brown, empresa de circuitos electrónicos. La hoja de datos se encuentra en el ANEXO VI: Hoja de datos circuito convertidor 4-20 mA a 0-5V.

El circuito convertidor está diseñado para entregar una señal de 0-5V, pero el microcontrolador utilizado soporta 3.3V como máxima tensión, por lo que se realiza un divisor de tensión con las resistencias R1 y R2. Además, como protección para la entrada analógica del microcontrolador, se incluirán los diodos Schottcky BAT54W los cuales, que están conectados a 3.3V y tierra, enviarán al microcontrolador una señal de 3.3V si la señal que el circuito entrega al microcontrolador fuese mayor de 3.3V. Las hojas de datos de estos diodos se encuentran en ANEXO IV: Hoja de datos de diodo Schottcky BAT54W.

Además, a este circuito se le han añadido los leds D2 y D3, los cuales se encienden para indicar el correcto funcionamiento del circuito.

## **Capítulo 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

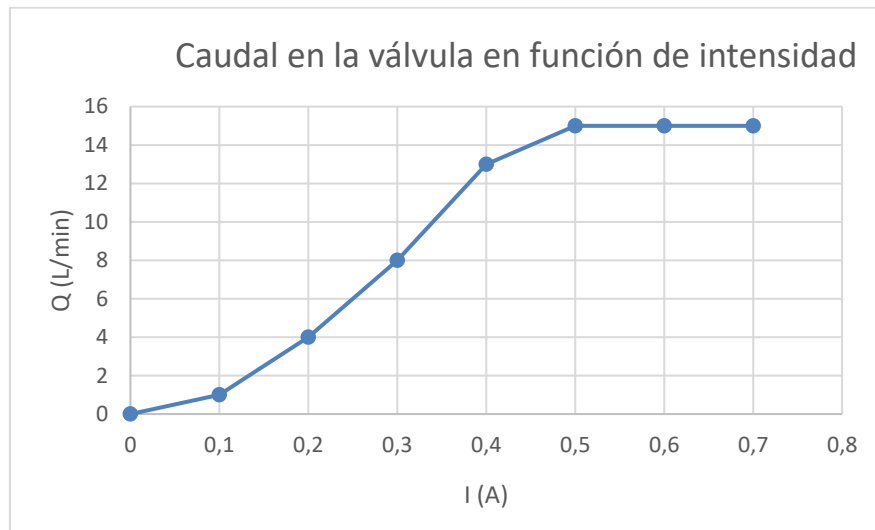
Como se ha explicado en el Capítulo 3.2: Metodología, se buscarán cuatro resultados: Estudio previo sobre el equipo calibrador de tensiómetros; resultado en LTspice ante la entrada de un PWM de Factor de servicio Constante; resultado del circuito en control de intensidad; y resultado final de la señal de presión en el equipo de calibración.

### **6.1 ESTUDIO PREVIO**

Al iniciar el proyecto, lo primero que se realizó fue el estudio del funcionamiento del equipo y por qué este había dejado de funcionar. Con este primer estudio se llegó a las siguientes conclusiones.

La primera conclusión sería que la parte del equipo a sustituir era la placa controladora de la válvula proporcional. Esta placa, de marca Aron y modelo SE3AN21RS1603; había cesado de funcionar debido a su antigüedad, por lo que se decidió realizar una nueva que fuese más eficiente y rápida.

En segundo lugar, se estudiaría el funcionamiento de la válvula a controlar, la válvula Aron Brevini XDP3A01N1G, cuyas hojas de datos se pueden encontrar en el ANEXO I: Hoja de datos válvula Aron Brevini XDP3A01N1G. Además de buscar sus hojas de datos, se decidió comprobar experimentalmente la relación entre la intensidad que circula por esta válvula y el flujo de aceite hidráulico que circula por ella, llegando al siguiente resultado:

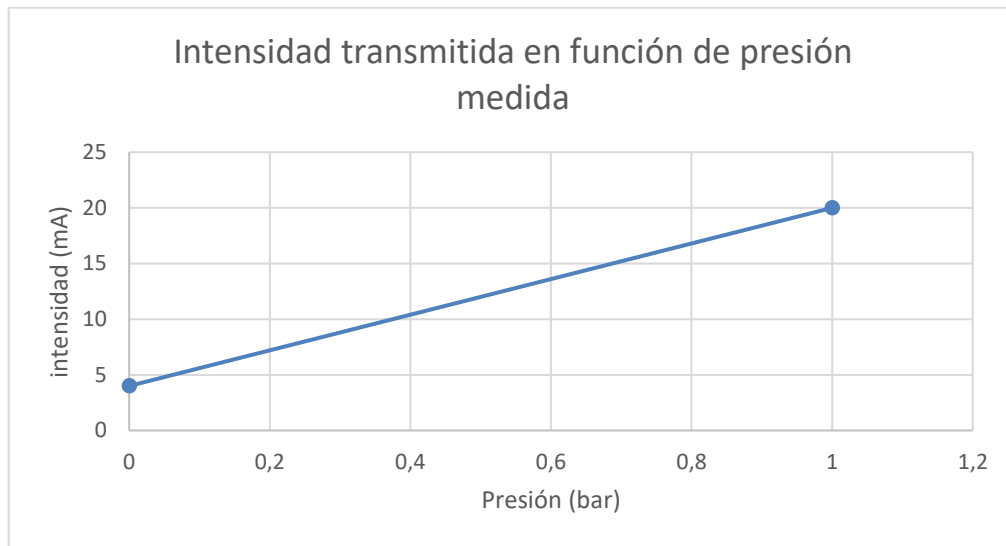


*Ilustración 25: Caudal en la válvula en función de la intensidad*

Como se puede ver en la Ilustración 25: Caudal en la válvula en función de la intensidad, entre los 0 y los 0,5 A la válvula deja pasar más flujo proporcionalmente a la cantidad de intensidad que circula por ella. Esto sucede hasta los 0,5A, momento en el que la válvula llega al caudal máximo (15 L/min) y se mantiene constante. Según las hojas de datos de la válvula proporcional podrían circular hasta 0,88A de corriente, sin embargo, se decidió parar esta prueba a los 0,7A para evitar la rotura de la válvula.

En último lugar se estudió el funcionamiento del manómetro y transmisor de presión Wika S-10 integrado en el equipo. Las hojas de datos de este componente se encuentran en ANEXO V: Hoja de datos transmisor de presión Wika S-10.

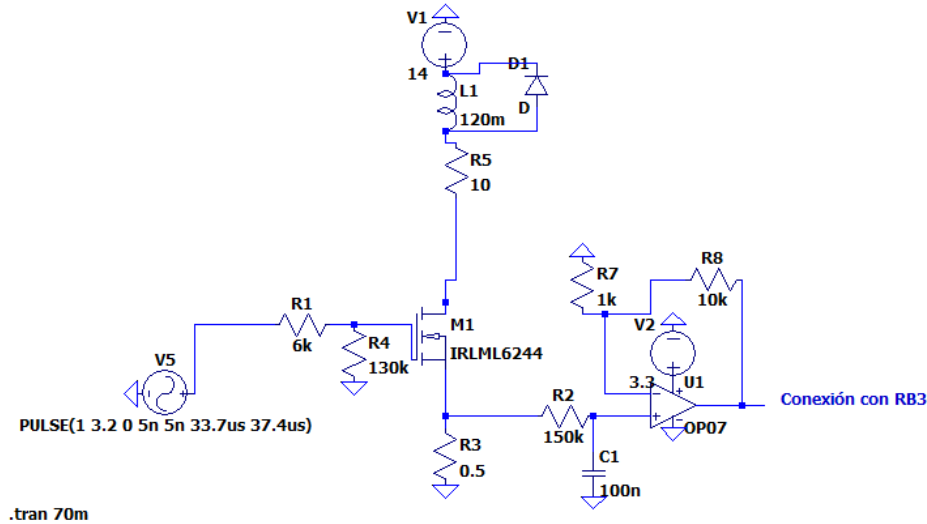
Con el estudio de este componente, se llegó a la siguiente conclusión. El manómetro y transmisor de presión tiene un rango de 0 a 1 bar de presión y convierte esta presión a intensidad de la siguiente forma: 0 bar equivale a 4mA, 1 bar a 20mA y las medidas intermedias de forma proporcional. Esta relación se puede ver más detalladamente en la Ilustración 26: Relación intensidad transmitida y presión medida por Wika S-10.



*Ilustración 26: Relación intensidad transmitida y presión medida por Wika S-10*

También se comprobó que el rango de presiones de este componente abarcase el rango necesitado para el proyecto. Como se explica en el Capítulo 2.2: Estado de la cuestión, la presión arterial que tiene el cuerpo humano en el caso de hipertensión es de 130/80 mmHg. Dado que 750,06 mmHg corresponden a un bar (38), el rango necesario de presión para este proyecto será desde los 0 bar hasta los 0,173 bar. Este rango es menor que el del manómetro y transmisor Wika S-10, por lo que se concluye que el medidor de presión es válido para el uso requerido.

## **6.2 SIMULACIÓN EN LTSPICE**



*Ilustración 27: Circuito en LTspice*

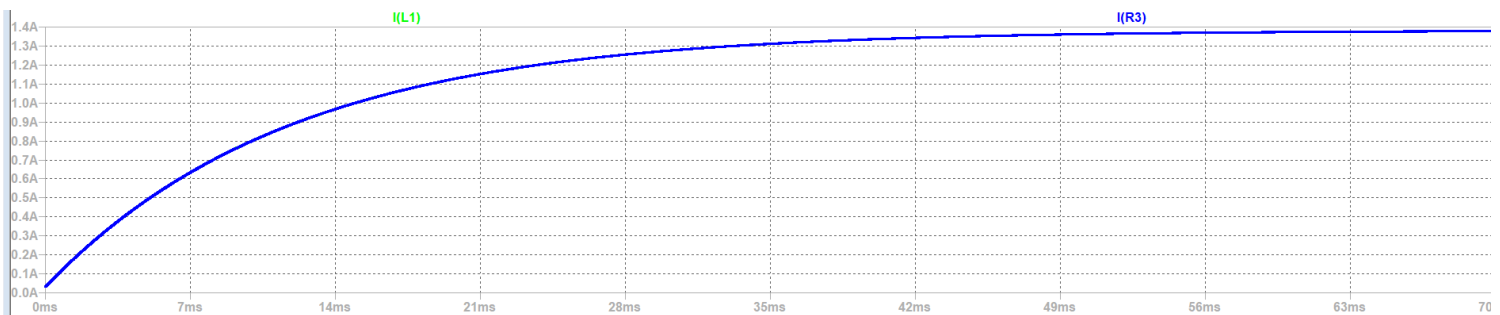
Este fue el primer resultado obtenido en el proyecto. El objetivo de esta primera simulación fue comprobar el correcto funcionamiento del circuito y el tiempo que tarda este circuito en llegar a la intensidad deseada.

Antes de comenzar el montaje del circuito físico, se comprobó su funcionamiento con LTspice. Para ello se sustituyó la señal de entrada PWM por una fuente de voltaje V5 de emisión de pulsos, como se puede ver en la Ilustración 27: Circuito en LTspice.

En esta simulación se busca el tiempo que tarda el sistema en estabilizarse. Como se puede observar en la Ilustración 28: Simulación intensidad en la válvula con Factor de servicio 90%8, el sistema tarda 50ms en el caso de máximo factor de servicio en estabilizarse. Sin embargo, en nuestro sistema se pondrá un máximo de intensidad de 1A, por lo que el sistema no llegará a este caso y se estabilizará antes.

Se puede observar que el sistema tarda aproximadamente 20ms en llegar a 1A, que será la intensidad máxima del sistema final; por lo que este será el tiempo en el que se supondrá que el sistema se ha estabilizado y se puede volver a cambiar la referencia de la señal senoidal de intensidad o presión, explicada en el Programación en C.

Este sistema es más lento de lo que habría sido óptimo ya que se necesita esperar 20ms para cambiar la referencia de la señal senoidal a la siguiente iteración. En caso de buscar que el equipo funcionase a 180 latidos por minuto, un latido (un periodo completo de la señal senoidal de referencia) sucedería cada 375ms. Como la referencia cambia cada 20ms, habría 18,75 iteraciones de la señal referencia en cada periodo. Experimentalmente se ha concluido que estas 18 iteraciones de la señal referencia por periodo son el número mínimo para que funcione correctamente, por lo que el sistema tendrá un límite superior de 160 latidos por minuto.



*Ilustración 28: Simulación intensidad en la válvula con Factor de servicio 90%*

### **6.3 CIRCUITO EN CONTROL DE INTENSIDAD**

Una vez comprobado que el circuito funcionaba teóricamente, se realizó el montaje del circuito físico para obtener los primeros resultados, tanto del circuito como del control.

Este circuito se realizó y comprobó en el Laboratorio de Proyectos de Electrónica. De esta manera se facilitaban las pruebas y el montaje; ya que no se tenía que realizar en el equipo calibrador del Laboratorio de Fluidos, donde realizar pruebas y conseguir resultados es más complicado para esta fase del proyecto. Como se puede ver ANEXO I: Hoja de datos

válvula Aron Brevini XDP3A01N1G, la válvula proporcional que se va a controlar en este proyecto está formada por una inductancia y una resistencia de  $16\Omega$ ; por lo que para comprobar el circuito y el control se sustituyó la válvula por una inductancia y una resistencia de este valor.

Una vez se verificó el correcto funcionamiento del circuito, se realizaron las pruebas en el equipo calibrador de tensiómetros, situado en el Laboratorio de Fluidos.

En esta fase del proyecto el objetivo fue controlar la apertura y cierre de la válvula proporcional mediante un control de la intensidad que circula por esta. La intensidad que circula por la válvula es proporcional al flujo que esta permite pasar y por tanto es proporcional también a la presión que mide el manómetro del equipo calibrador de tensiómetros.

Como se ha explicado en Estudio previo, se comprobó que la válvula entrega el flujo máximo a partir de los 0,5A de corriente y soporta 0.88A como máximo. Por lo tanto, en las pruebas se utilizará como intensidad máxima 0.7A, en caso de reducirse o incrementarse esta corriente el circuito funcionaría correctamente.

A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos en esta fase del proyecto. Las señales mostradas serán la medida del voltaje que envía la placa controladora al microcontrolador para la medida y control de la intensidad de la válvula proporcional, como se explica en Medida de intensidad.

Se realizarán dos pruebas diferentes. En la primera se mantendrá constante el valor medio y la amplitud de la referencia, variando el valor de la frecuencia. Para esta primera prueba se estudiarán dos resultados: la frecuencia cardíaca simulada, la forma de la señal. En la segunda prueba la frecuencia se mantendrá constante a 120 latidos por minuto, variando el valor medio y la amplitud de la onda.

Para realizar el estudio de los resultados el canal 1 del osciloscopio (CH1) medirá la intensidad mencionada, y el canal 2 (CH2) la tensión PWM que entra al circuito desde el microcontrolador.

### 6.3.1 PRIMERA PRUEBA: VARIACIÓN DE FRECUENCIA

Para realizar estas pruebas se creará una referencia en el microcontrolador de valor medio 0.35A, amplitud 0.35A y frecuencia decidida por el usuario. En esta prueba se buscará que la válvula se abra y cierre completamente, siguiendo la frecuencia pedida. Esta prueba buscará comprobar que el circuito responde correctamente a los cambios en la frecuencia cardíaca pedida. Es importante que el equipo sea capaz de llevar correctamente la medida de la frecuencia cardíaca, ya que indica el correcto funcionamiento del sistema.

Se estudiarán dos resultados de estas señales: la frecuencia cardíaca simulada y la forma de la señal. Se analizarán 4 señales, en función de la frecuencia cardíaca buscada: 40 ltm (latidos por minuto), 60 ltm, 120 ltm y 160 ltm.

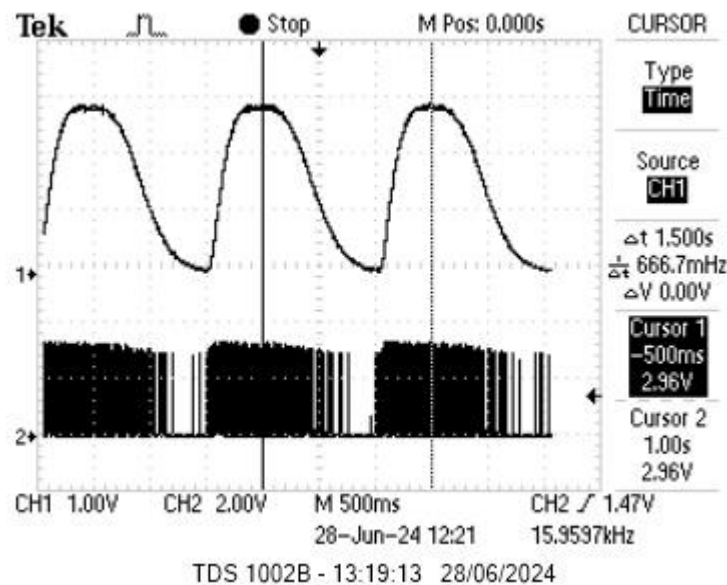
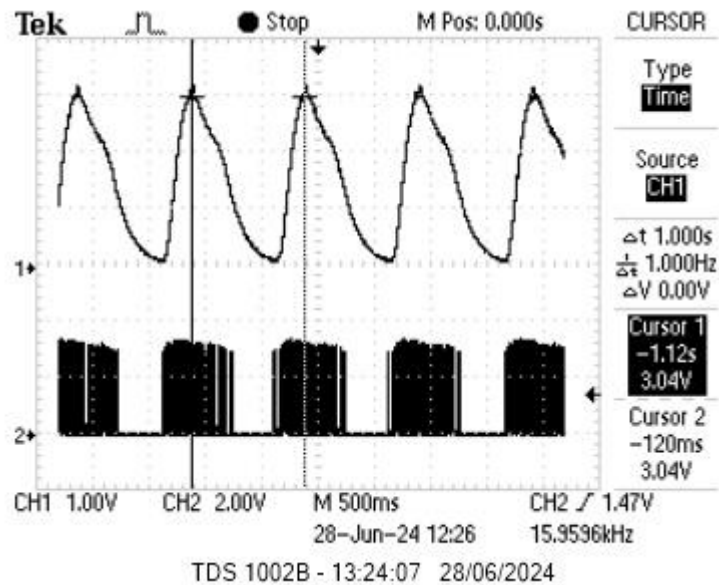
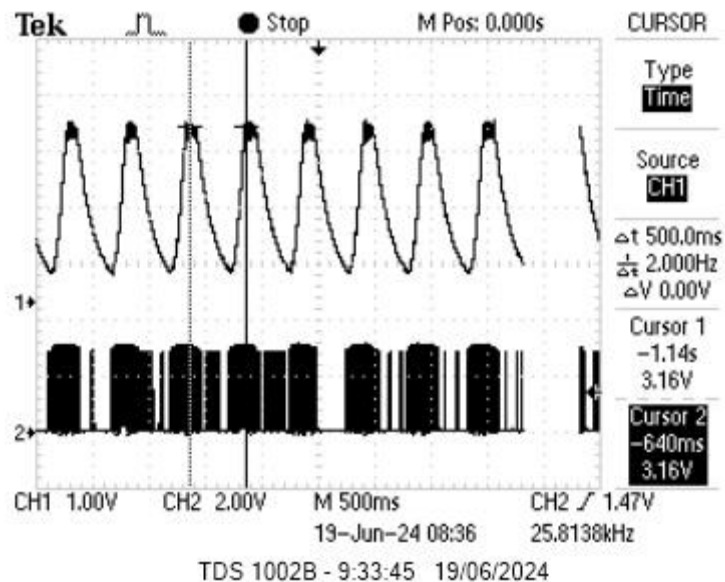


Ilustración 29: Control de intensidad a 40 ltm

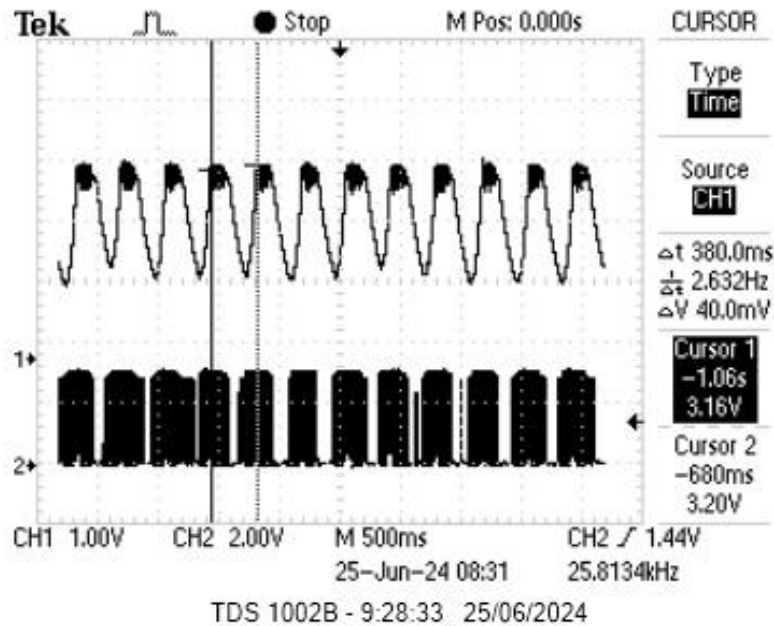




*Ilustración 30: Control de intensidad a 60 ltm*



*Ilustración 31: Control de intensidad a 120 ltm*



*Ilustración 32: Control de intensidad a 160 ltm*

### **6.3.1.1 Frecuencia de las señales resultantes**

El primer resultado a estudiar es la frecuencia de la señal de intensidad que recorre la válvula al introducir una referencia senoidal. Para calcular la frecuencia a la que se abre y cierra la válvula proporcional, se mirará la frecuencia de la onda mostrada. En las imágenes mostradas se pueden ver dos cursores (líneas verticales que cortan la onda). Estos cursores se han colocado de modo que entre el cursor 1 y el cursor 2 la señal realice un periodo entero. Se calculará la frecuencia de las señales teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$\text{frecuencia} \left[ \frac{\text{lat}}{\text{min}} \right] = \frac{1}{\text{periodo}[\text{s}]} * \frac{60\text{s}}{1 \text{ min}}$$

En la Ilustración 29: Control de intensidad a 40 ltm, la señal medida tarda 1.5s en realizar un periodo completo, por lo que su frecuencia es de 40 latidos por minuto. Esta frecuencia podría no estar medida con exactitud, por errores humanos en la medición. En los dos siguientes casos (60ltm y 120 ltm), representados en la Ilustración 30: Control de intensidad a 60 ltm, la Ilustración 31: Control de intensidad a 120 ltm, la frecuencia se calcula

de la misma manera que en los 40ltm. Los periodos son respectivamente 1s y 0.5s, por lo que las frecuencias serán las esperadas: 60 y 120 ltm

El último caso, representado en la Ilustración 32: Control de intensidad a 160 ltm, el periodo de la señal es de 0.38s. Al calcular la frecuencia de la señal en este caso se comprueba que la frecuencia es similar a la esperada: su frecuencia es de 157 ltm. Esta señal debería ser de 160ltm, la diferencia entre la frecuencia teórica y la resultante se produce por un pequeño fallo en la medida.

### **6.3.1.2 Forma de las señales resultantes**

El segundo resultado a estudiar es la forma de la señal medida. Como se ha explicado en el Capítulo 4. Programación en C, se utilizará una referencia de intensidad senoidal. Como se explicará más adelante, el circuito no conseguirá seguir exactamente esta forma, ya que la descarga la deberá hacer con señales senoidales. De esta manera la onda resultante en este caso debería tener de intensidad en la válvula debería tener una forma similar a senoidal. Todas las ondas anteriores se pueden asemejar a una forma senoidal, con ciertas diferencias:

1. Saturación del operacional MCP6001. Como se explica en el Capítulo 5.4. Medida de intensidad, este operacional protege el microcontrolador de tensiones mayores a 3.3V. Si la tensión que se va a enviar al microcontrolador es mayor a 3.3V, el operacional saturará y enviará 3.3V. Además, como se puede comprobar en la Ilustración 30: Control de intensidad a 60 ltm, Ilustración 31: Control de intensidad a 120 ltm, el operacional realmente satura entre los 3.16 y 3.2V.

Como se explica en el Capítulo 5.4. Medida de intensidad, el voltaje que llega al microcontrolador es 5 veces la intensidad que circula por la válvula. De esta manera; cuando el operacional satura, por la válvula circulan 6.4A. Como se ha explicado en el capítulo 6.1 Estudio previo, la válvula envía el mismo flujo a partir de 0.5A, por lo que esta saturación no afecta negativamente al funcionamiento del sistema.

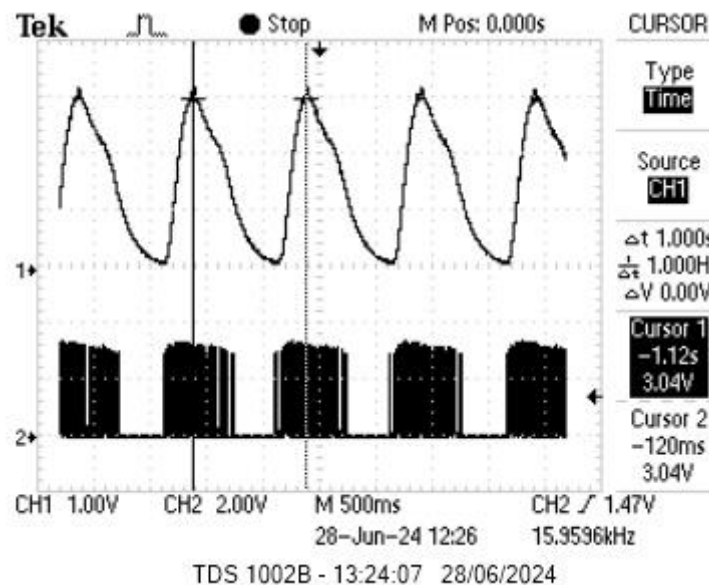
2. La descarga de la onda medida es un conjunto de ondas exponenciales, una seguida de la otra. Esto sucede por la descarga de la bobina utilizada. Dado que

solo se utiliza una tensión positiva de 15 V y no se utiliza también una tensión negativa de -15V para controlar la descarga; cuando el MOSFET está cerrado y por tanto el circuito se descarga, la caída de tensión seguirá una forma exponencial como sucede en los circuitos RL (39).

Para verificar que esta descarga sucede de forma exponencial, se comprobará que la constante de tiempo  $\tau$ , calculada como la multiplicación de  $R \cdot L$  en el filtro paso bajo, es el tiempo en el que la bobina se descarga un 63% de su voltaje máximo (40).

Para ello, el primer paso será calcular la constante de tiempo. Como se puede ver en ANEXO I: Hoja de datos válvula Aron Brevini XDP3A01N1G, la bobina tiene un valor de 1,67uH y la resistencia es de 150K $\Omega$ . Por lo tanto, la constante de tiempo será:  $\tau = 1.67 \cdot 10^{-6} \cdot 150 \cdot 10^{-3} = 0.25s = 250ms$ .

Como se puede ver en la Ilustración 33: Descarga de, en 250ms (medio cuadrado de la cuadrícula), el circuito pasa desde el punto máximo (3.04V) y se descarga hasta aproximadamente 1V, siendo la descarga de 2.04V.  $descarga = \frac{2.04V}{3.04V} \cdot 100 = 67\%$ , valor similar al 63% teórico. Por lo tanto, queda comprobado que la descarga se realiza de forma exponencial.



*Ilustración 33: Descarga de la bobina*

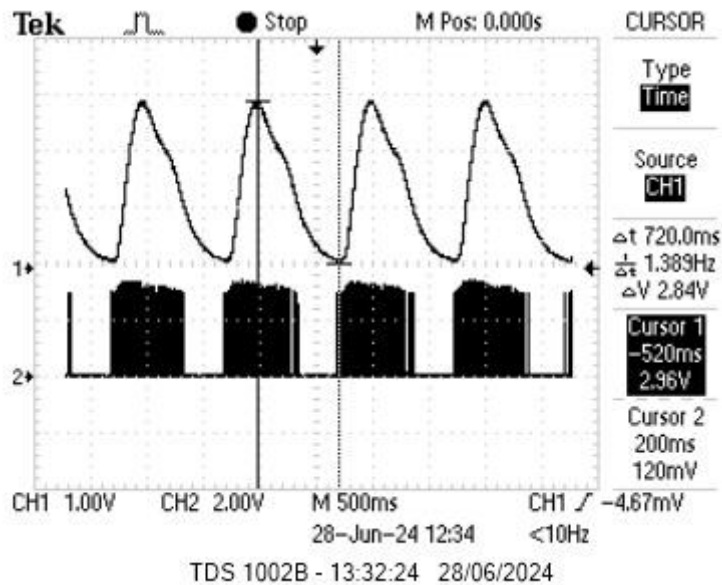
### **6.3.2 SEGUNDA PRUEBA: VARIACIÓN DE VALOR MEDIO Y AMPLITUD**

Para realizar esta prueba se mantendrá constante la frecuencia a 120 latidos por minuto, y se estudiará como afecta en la señal resultante la variación del valor medio y amplitud de la señal de referencia.

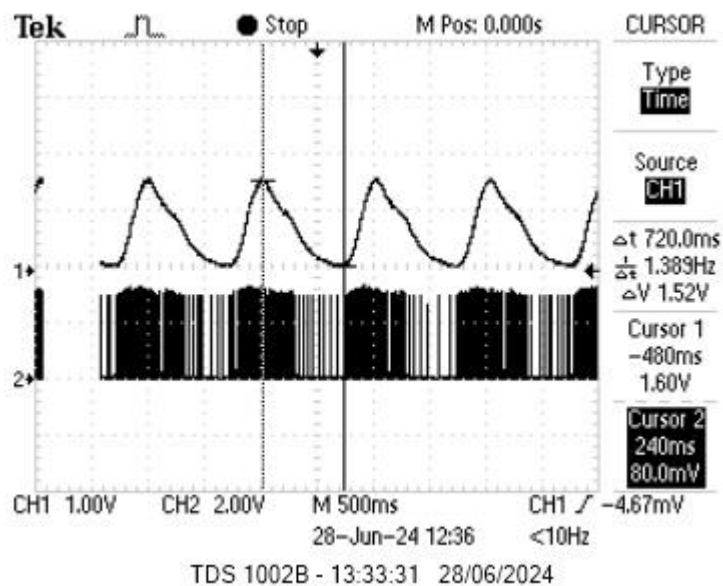
Estas pruebas serán de vital importancia cuando se quiera utilizar el equipo para la calibración de tensiómetros. La intensidad máxima y mínima que circulan por la válvula representan la apertura máxima y mínima de esta. Como se explica en el Capítulo 2.3.1. Funcionamiento del Equipo Calibrador de Tensiómetros, la relación entre la apertura de la válvula y la presión es directa (la presión aumenta al abrir más la válvula). Por esto se puede asumir que la presión máxima se calculará en el momento de máxima apertura y la presión mínima en el momento de mínima apertura. Es decir, si se quisiese calibrar un tensiómetro, la presión sistólica y diastólica que mide el sistema, explicadas en el Capítulo 2.2.2. Tensión arterial, se podrán controlar cambiando el valor medio y la amplitud de la señal referencia.

Para esta prueba se analizarán cuatro resultados: los dos primeros buscarán comprobar que la señal responde correctamente ante situaciones en las que el valor medio y amplitud son iguales. Los dos siguientes casos buscarán simular casos reales de tensión alta y tensión baja.

En el primer caso, representado en la Ilustración 34: Prueba con valor medio=0.3A = amplitud, ambos tendrán un valor de 0.3A, por lo que la válvula se abrirá y cerrará completamente. En el segundo, representado en la Ilustración 35: Prueba con valor medio=0.15A = amplitud, ambos valdrán 0.15A. En esta prueba, la válvula se cerrará completamente, sin llegarse a abrir del todo.



*Ilustración 34: Prueba con valor medio=0.3A = amplitud*

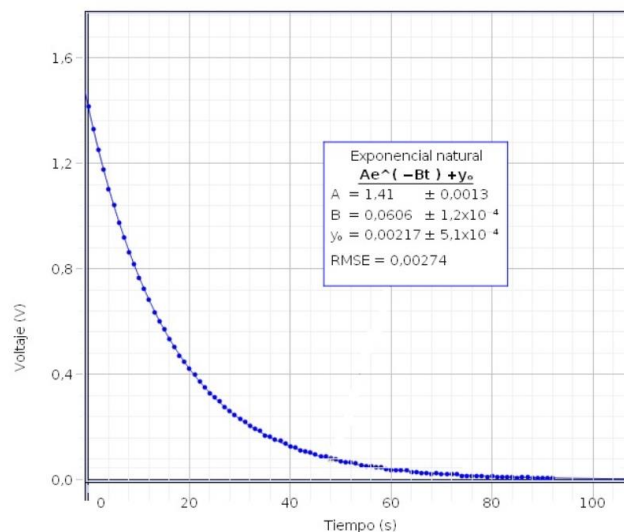


*Ilustración 35: Prueba con valor medio=0.15A = amplitud*

El primer resultado a analizar será el valor máximo de ambas señales. Este valor máximo se podrá ver en el Cursor 1. En la Ilustración 34: Prueba con valor medio=0.3A = amplitud, el valor máximo es de 2.96V. En la Ilustración 35: Prueba con valor medio=0.15A = amplitud, el valor máximo es de 1.6V. Como se explica en el Capítulo 5.4. Medida de

intensidad, el voltaje que llega al microcontrolador es 5 veces la intensidad que circula por la válvula. Por lo tanto, la intensidad máxima en el primer caso es de  $0.592A \approx 0.6A$ . En el segundo caso la intensidad máxima es de  $0.32A \approx 0.3A$ .

El segundo resultado será el valor mínimo, el cual se podrá ver en el Cursor 2. En ambos casos, el valor mínimo al que llega la señal referencia es de  $0A$ , por lo que el valor mínimo de la señal medida debe ser  $0V$ . Sin embargo, en la Ilustración 34: Prueba con valor medio= $0.3A$  = amplitud, el valor mínimo es de  $0.12V$  y en la Ilustración 35: Prueba con valor medio= $0.15A$  = amplitud , de  $0.08V$ . Es decir, en el primer caso la intensidad mínima en la válvula es de  $0.02A$  y en el segundo de  $0.01A$ . Estos valores no son exactamente  $0A$ , pero experimentalmente se ha comprobado que no causan ninguna diferencia en el funcionamiento, ya que la válvula no tiene la precisión suficiente para distinguir intensidades tan pequeñas.



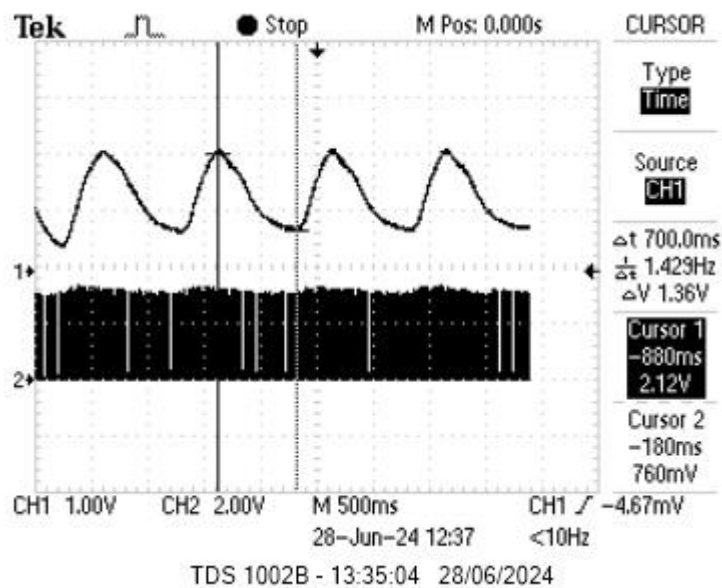
*Ilustración 36: Caída de voltaje en señal exponencial*

Como se explica en el Capítulo 6.3.1.2 Forma de las señales resultantes, la reducción de la intensidad en la válvula se realiza mediante la descarga de la bobina perteneciente a la válvula y tiene forma exponencial. Como se puede ver en la Ilustración 36: Caída de voltaje en señal exponencial, la señal exponencial reduce mucho la tensión en los primeros instantes,



disminuyéndose esta reducción al acercarse el voltaje a 0. Dado que el sistema sigue una frecuencia constante, no tiene tiempo de reducir hasta 0A la intensidad de la válvula.

Los dos siguientes casos buscarán simular situaciones reales. La primera situación representada en la Ilustración 37: Presión, buscará un caso de tensión alta. En este caso el valor medio de intensidad en la válvula será de 0.3A y la amplitud de 0.15A. La intensidad máxima será de 0.45A, por lo que, en este momento, la válvula se abrirá hasta el 90% de la apertura total. La intensidad mínima será de 0.15A, por lo que en este momento la válvula se abrirá hasta el 30% de la apertura total. La válvula estará muy abierta en el caso de apertura máxima, por lo que la presión sistólica será muy alta. Además, la válvula estará lejos de cerrarse por completo, por lo que la presión diastólica será alta también

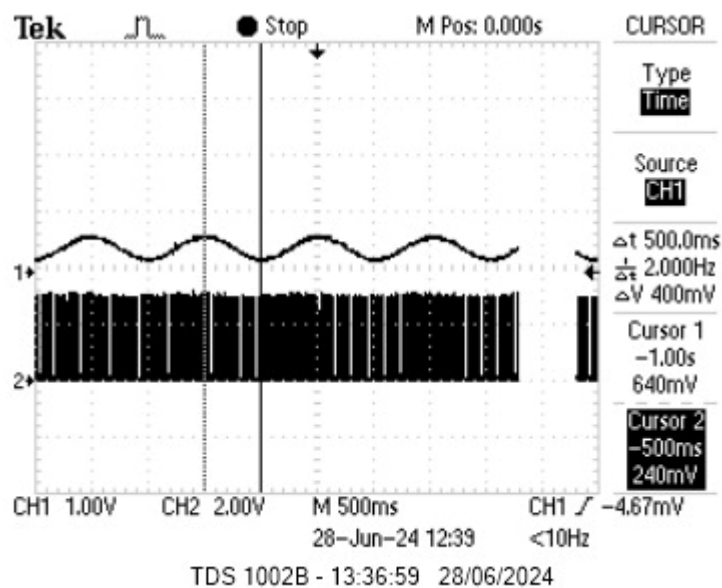


*Ilustración 37: Presión alta*

Como hemos comprobado anteriormente, se puede ver que los valores máximos y mínimos de la señal son los correctos. El valor máximo (Cursor 1) es de 2.12V, por lo que la intensidad será de  $0.42A \approx 0.45A$ . El valor mínimo (Cursor 2) es de 0.76V, por lo que la intensidad será de 0.15A.



El segundo caso por estudiar, representado en la Ilustración 38: Presión , será el de presión baja. En este caso el valor medio de intensidad será 0.1A y amplitud de 0.05A. La intensidad máxima será 0.15A, por lo que la válvula se abrirá un 30% en este caso. La intensidad mínima será de 0.05A, por lo que la válvula se abrirá un 10% en este momento. La apertura de la válvula será muy pequeña en todo momento por lo que las presiones máxima y mínima (sistólica y diastólica) serán bajas.



*Ilustración 38: Presión baja*

Para comprobar el correcto funcionamiento del sistema, se analizarán los valores máximos y mínimos de la señal resultante. El valor máximo (Cursor 1) es de 0.64V, por lo que la intensidad máxima será de  $0.13A \approx 0.15A$ . El valor mínimo (Cursor 2) es de 0.24V, por lo que la intensidad será de 0.05A.

Tras esta segunda prueba, se puede concluir que el sistema reacciona correctamente a los cambios de valor medio y amplitud en la señal referencia. También se comprueba que el sistema es válido para representar situaciones reales de presión arterial, y por tanto válido para la calibración de tensiómetros.



## **Capítulo 7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS**

### **7.1 CONCLUSIONES**

Tras el diseño de la solución, obtención de resultados y análisis de los mismos, este proyecto logra cumplir los tres objetivos propuestos.

En primer lugar, el equipo calibrador de tensiómetros funciona al incorporarle la placa diseñada en este Trabajo de Fin de Grado. Esto se afirma tras la evaluación de resultados expuesta en el Capítulo 6.3. Circuito en control de intensidad: Para la calibración de un tensiómetro el usuario debe decidir primeramente la frecuencia a la que funcionará el sistema. En segundo lugar, se elegirá el valor medio y la intensidad de la señal referencia. Estos valores se elegirán en función de la presión arterial que se quiera conseguir: valores altos para tensiones altas y viceversa. Por último, se comparará la presión medida por el manómetro situado en el equipo calibrador con la presión que mida el tensiómetro a calibrar. De esta manera se alcanza la meta de poner en funcionamiento el equipo calibrador de tensiómetros.

Por otra parte, se pretendía proporcionar al CEM de un sistema de calibración de tensiómetros funcional, que supliera la necesidad actual de un equipo de tales características para usos de investigación y enseñanza. Este equipo ya es funcional y se podría enviar a este centro. Sin embargo, se ha decidido esperar a realizar el Control por presión para enviarlo finalmente.

Finalmente, y como consecuencia directa de la entrada en funcionamiento del sistema, se ha contribuido al tercer objetivo planteado: visibilizar la importancia de la ingeniería en el ámbito médico. Gracias a este equipo, el Centro Español de Metrología contará con un equipo calibrador de tensiómetros para utilizarlo para la investigación y desarrollo de tecnologías. Además, los alumnos de la universidad podrán visitar este centro para realizar pruebas con este equipo; concienciándose de las facilidades que introduce la tecnología en la medicina.

## **7.2 TRABAJOS FUTUROS**

Con la finalización de este Trabajo de Fin de Grado, se abren posibilidades para realizar otros trabajos en el futuro, tanto de mejora de este equipo como de investigación.

### **7.2.1 FINALIZACIÓN DEL CONTROL POR PRESIÓN**

El control por presión se ha diseñado y construido en este proyecto, sin embargo, por problemas en un componente no se ha podido realizar las pruebas necesarias para comprobar su funcionamiento.

Este trabajo futuro se realizará por el alumno los días 22 y 23 de Julio de 2024 y constarán del cambio del componente defectuoso y la prueba en el equipo calibrador.

### **7.2.2 MEJORA DE LA PLACA CONTROLADORA**

Como se ha comprobado en los análisis de los resultados, la placa controladora de la válvula proporcional funciona para un rango de 0 – 180 latidos por minuto. Este rango de frecuencias cardíacas es a las que late el corazón humano en condiciones normales (desde menos de 60 hasta 100 latidos por minuto (41) ), cuando se está realizando ejercicio (42) o en un corazón que padece de taquicardia supraventricular. Si una persona padece de esta enfermedad, tendrá una frecuencia cardíaca regular pero muy elevada (150 – 180 latidos por minuto) (43)

Sin embargo, el rango máximo de frecuencias cardíacas puede llegar hasta los 300 latidos por minuto en caso de padecer fibrilación ventricular. Esta enfermedad latidos rápidos y desordenados, con los cuales el organismo no recibe la suficiente cantidad de oxígeno, pudiendo provocar desmayos (44).

Un proyecto futuro podría mejorar el tiempo que tarda el circuito en llegar a régimen permanente dado un Factor de servicio. Como se explica en el Capítulo 6.1 Simulación en

LTspice37, el circuito tarda 50ms en llegar a régimen permanente: tiempo demasiado elevado como para poder emplear señales de más de 180 latidos por minuto. Para esto se deberá introducir una tensión negativa para mejorar la descarga del circuito, sin embargo, es posible que la electroválvula no la soporte y se rompa.

En caso de realizar este proyecto mencionado, se debería incluir la mejora del control de presión utilizado. Como se puede comprobar en el Análisis de Resultados, el control utilizado consigue obtener la señal buscada con las frecuencias decididas. Sin embargo, en caso de aumentar las frecuencias cardíacas a las que funcionará el sistema, es posible que este control no fuese capaz de seguir la referencia, por lo que se tendría que diseñar otro control, como un control PID.

### **7.2.3 PROYECTO DE INVESTIGACIÓN EN CONJUNTO LOS ESTUDIANTES DE ICAI CON EL CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA**

Para potenciar la concienciación sobre la estrecha relación entre ingeniería y medicina se propone la realización de actividades de investigación que unan a la Universidad Pontificia Comillas con el Centro Español de Metrología. En estas investigaciones los estudiantes de ICAI podrían aprender de la experiencia de los trabajadores del CEM.

Además, con la unión de ambos centros se podrán realizar grandes investigaciones para aprender mejor el funcionamiento del corazón humano, de la presión arterial y la importancia de esta para la salud. También se podrá investigar sobre la importancia de las mediciones correctas en el ámbito médico, la incertidumbre permitida y buscar métodos para minimizar esta incertidumbre

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) **United Nations.** United Nations. [En línea] 2023. [Último acceso: 20 de 04 de 2024.] <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>.
- (2) **Terol, Moncho.** Movistar. [En línea] 2022. [Último acceso: 15 de 05 de 2024.] <https://www.movistar.es/blog/salud/evolucion-de-la-medicina-de-socrates-a-la-telemedicina/>.
- (3) **Concepto.** Concepto. [En línea] [Último acceso: 15 de 05 de 2024.] <https://concepto.de/electronica/>.
- (4) **Muñoz, Alejandro.** La Nacion. [En línea] 2022. [Último acceso: 15 de 05 de 2024.] <https://www.lanacion.com.ar/tecnologia/el-transistor-clave-para-las-computadoras-y-las-telecomunicaciones-cumple-75-anos-hoy-hay-miles-de-nid18112022/#:~:text=Aquel%20primer%20transistor%20de%201947,fiabile%20y%20f%C3%A1cil%20de%20fabricar.&text=La%20creac>.
- (5) **Sierra Ariza, Juan Sebastian.** Medium. [En línea] 2018. [Último acceso: 15 de 05 de 2024.] <https://medium.com/@2420151038/electr%C3%B3nica-y-medicina-una-historia-de-progreso-ed08b6573a2f>.
- (6) **Mayo Clinic.** Mayo Clinic. [En línea] [Último acceso: 15 de 05 de 2024.] <https://www.mayoclinic.org/tests-procedures/ekg/about/pac-20384983>.
- (7) **American Heart Association.** American Heart Association. [En línea] 2022. [Último acceso: 15 de 05 de 2024.] <https://heart.org/en/health-topics/arrhythmia/prevention--treatment-of-arrhythmia/pacemaker>.
- (8) **tenovi.** tenovi. [En línea] [Último acceso: 15 de 05 de 2024.] <https://tenovi.com/smart-watch-chronic-care/#:~:text=First%2C%20they%20can%20help%20prevent,health%20data%20with%20healthcare%20providers..>

- (9) **Cleveland Clinic.** Cleveland Clinic. [En línea] 2022. [Último acceso: 15 de 05 de 2024.] <https://my.clevelandclinic.org/health/diagnostics/17649-blood-pressure..>
- (10) **American Heart Association.** American Heart Association. [En línea] 2024. [Último acceso: 15 de 05 de 2024.] <https://www.heart.org/en/health-topics/high-blood-pressure/understanding-blood-pressure-readings>.
- (11) **Mayo Clinic.** Mayo Clinic. [En línea] 2024. [Último acceso: 15 de 05 de 2024.] <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/high-blood-pressure/symptoms-causes/syc-20373410>.
- (12) **World Health Organization.** World Health Organization. [En línea] 2023. [Último acceso: 15 de 05 de 2024.] <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/hypertension>.
- (13) **MedlinePlus.** MedlinePlus. [En línea] 2022. [Último acceso: 15 de 05 de 2024.] <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/001122.htm>.
- (14) **National Institute of Aging.** National Institute of Aging. [En línea] 2023. [Último acceso: 18 de 06 de 2024.] <https://www.nia.nih.gov/espanol/presion-arterial-alta/presion-arterial-alta-personas-mayores#:~:text=La%20presi%C3%B3n%20arterial%20normal%2C%20en,diast%C3%B3lica%20de%20menos%20de%2080>.
- (15) **Mayo Clinic.** Mayo Clinic. [En línea] 2024. [Último acceso: 28 de 06 de 2024.] <https://www.mayoclinic.org/es/diseases-conditions/prehypertension/symptoms-causes/syc-20376703>.
- (16) **Chen, Michael A.** MedlinePlus. [En línea] 2023. [Último acceso: 18 de 06 de 2024.] <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000468.htm>.
- (17) **American Heart Association.** goredforwomen. [En línea] 2024. [Último acceso: 18 de 06 de 2024.] <https://www.goredforwomen.org/es/health-topics/high-blood-pressure/health-threats-from-high-blood-pressure>.

- (18) —. American Heart Association. [En línea] 2023. [Último acceso: 01 de 06 de 2024.] <https://www.heart.org/en/health-topics/house-calls/how-to-measure-your-blood-pressure-at-home>.
- (19) **Medicine LibreTexts**. Medicine LibreTexts. [En línea] [Último acceso: 01 de 06 de 2024.] [https://med.libretexts.org/Bookshelves/Anatomy\\_and\\_Physiology/Anatomy\\_and\\_Physiology\\_\(Boundless\)/18%3A\\_Cardiovascular\\_System%3A\\_Blood\\_Vessels/18.6%3A\\_Control\\_of\\_Blood\\_Pressure/18.6F%3A\\_Measuring\\_Blood\\_Pressure#:~:text=The%20measurement%20of%20these%20pres](https://med.libretexts.org/Bookshelves/Anatomy_and_Physiology/Anatomy_and_Physiology_(Boundless)/18%3A_Cardiovascular_System%3A_Blood_Vessels/18.6%3A_Control_of_Blood_Pressure/18.6F%3A_Measuring_Blood_Pressure#:~:text=The%20measurement%20of%20these%20pres).
- (20) **Española, Real Academia**. RAE. [En línea] [Último acceso: 01 de 06 de 2024.] <https://dle.rae.es/estetoscopio>.
- (21) **AllHeart**. AllHeart. [En línea] 2023. [Último acceso: 01 de 06 de 2024.] <https://www.allheart.com/blog/sphygmomanometers.html>.
- (22) **Turner, Martin J**. Royal Australian College of General Practitioners. [En línea] 2017. [Último acceso: 01 de 06 de 2024.] <https://www.racgp.org.au/getattachment/5fcd5241-6455-4656-8476-a6bd1798cec7/200710turner.pdf>.
- (23) **Martin J Turner, Catherine Speechly, Noel Bignell**. National Library of Medicina. [En línea] 2007. [Último acceso: 01 de 06 de 2024.] <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17925905/#:~:text=All%20sphygmomanometers%20should%20be%20checked,in%20house%20checks%20of%20sphygmomanometers..>
- (24) **Meza Contreras, Luis G, Llamosa R, Luis Enrique y Izquierdo, Natalia**. Redalyc. [En línea] 2007. [Último acceso: 01 de 06 de 2024.] <https://www.redalyc.org/pdf/849/84903781.pdf>.
- (25) **Meza Contreras, Luís G y LLamosa R, Luís Enrique**. Universidad Tecnológica de Pereira. [En línea] 2007. [Último acceso: 18 de 07 de 2024.] <https://www.redalyc.org/pdf/849/84903781.pdf>.



- (26) **Real Academia Española.** RAE. [En línea] [Último acceso: 26 de 06 de 2024.] <https://dle.rae.es/metrolog%C3%ADa>.
- (27) **Martin-Delgado, Miguel A.** Universidad Complutense Madrid. [En línea] 2017. [Último acceso: 26 de 06 de 2024.] <https://www.ucm.es/otri/noticias-dia-metrologia-ucm>.
- (28) **Centro Nacional de Metrología.** Centro Nacional de metrologia. [En línea] [Último acceso: 26 de 06 de 2024.] <https://www.cem.es/es/cem/presentacion>.
- (29) **Microchip.** Mouser. [En línea] 2011. [Último acceso: 34 de 06 de 2024.] <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/195758/MICROCHIP/DSPIC33FJ32MC202.html>.
- (30) **Firgelli Automations.** Firgelli Automations. [En línea] 2020. [Último acceso: 05 de 06 de 2024.] <https://www.firgelliauto.com/es/blogs/news/what-is-a-duty-cycle-in-a-linear-actuator>.
- (31) **Rohini College of Engineering and Technology.** Rohini College of Engineering and Technology. [En línea] [Último acceso: 05 de 06 de 2024.] [https://rcet.org.in/uploads/academics/rohini\\_58510678608.pdf](https://rcet.org.in/uploads/academics/rohini_58510678608.pdf).
- (32) **Wikipedia.** Wikipedia. [En línea] 2024. [Último acceso: 01 de 06 de 2024.] [https://en.wikipedia.org/wiki/Flyback\\_diode](https://en.wikipedia.org/wiki/Flyback_diode).
- (33) **Kuphaldt, Tony R.** LibreTexts. [En línea] [Último acceso: 01 de 06 de 2024.] [https://espanol.libretexts.org/Vocacional/Tecnolog%C3%ADa\\_Electr%C3%B3nica/Libro%3A\\_Circuitos\\_el%C3%A9ctricos\\_II\\_-\\_Corriente\\_alterna\\_\(Kuphaldt\)/09%3A\\_Filtros/9.02%3A\\_Filtros\\_de\\_paso\\_bajo](https://espanol.libretexts.org/Vocacional/Tecnolog%C3%ADa_Electr%C3%B3nica/Libro%3A_Circuitos_el%C3%A9ctricos_II_-_Corriente_alterna_(Kuphaldt)/09%3A_Filtros/9.02%3A_Filtros_de_paso_bajo).
- (34) **Sobering, Tim J.** Kansas State University. [En línea] 1999. [Último acceso: 15 de 06 de 2024.] <https://www.k-state.edu/edl/docs/pubs/technical-resources/Technote4.pdf>.
- (35) **Pollán Santamaría, Tomás.** Universidad de Zaragoza. [En línea] [Último acceso: 15 de 06 de 2024.] <https://diec.unizar.es/~tpollan/libro/Apuntes/digT3.pdf>.

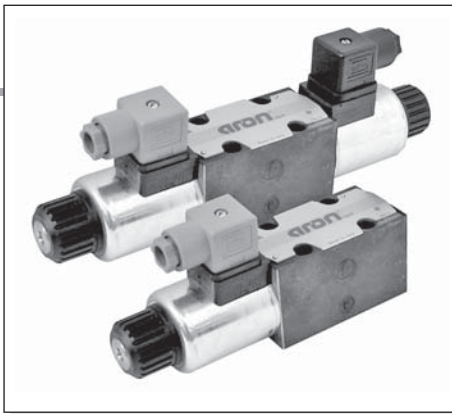
- (36) **Palash, Sahu, Acharya, Sourya y Totade, Manisha.** National Library of Medicine. [En línea] 2023. [Último acceso: 15 de 06 de 2024.] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10620620/>.
- (37) **Universidad de Córdoba.** Universidad de Córdoba. [En línea] [Último acceso: 18 de 06 de 2024.] [http://www.uco.es/grupos/giie/cirweb/teoria/tema\\_12/tema\\_12\\_02.pdf](http://www.uco.es/grupos/giie/cirweb/teoria/tema_12/tema_12_02.pdf).
- (38) **Fuji Electric.** Fuji Electric. [En línea] [Último acceso: 24 de 06 de 2024.] <https://www.fujielectric.fr/es/blog/unidades-de-presion-y-su-conversion-todo-lo-que-necesita-saber/>.
- (39) **Departamento de Física Aplicada II.** Universidad de Málaga. [En línea] [Último acceso: 28 de 06 de 2024.] [https://webpersonal.uma.es/~JMPEULA/carga\\_y\\_descarga.html](https://webpersonal.uma.es/~JMPEULA/carga_y_descarga.html).
- (40) **Universidad Politécnica de Valencia.** Universidad Politécnica de Valencia. [En línea] [Último acceso: 28 de 06 de 2024.] <https://personales.upv.es/jquiles/prffi/conductores/ayuda/hlprc.htm>.
- (41) **MedlinePlus.** MedlinePlus. [En línea] 2024. [Último acceso: 17 de 06 de 2024.] <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003081.htm#:~:text=Consideraciones&text=Normalmente%2C%20el%20coraz%C3%B3n%20late%20entre,de%2060%20latidos%20por%20minuto..>
- (42) —. MedlinePlus. [En línea] 2022. [Último acceso: 17 de 06 de 2024.] <https://medlineplus.gov/spanish/ency/patientinstructions/000763.htm#:~:text=Para%20encontrar%20su%20frecuencia%20card%C3%ADaca,de%20su%20frecuencia%20card%C3%ADaca%20m%C3%A1xima..>
- (43) **Asociación del Ritmo Cardíaco.** Asociación del Ritmo Cardíaco. [En línea] 2010. [Último acceso: 17 de 06 de 2024.] <https://secardiologia.es/arritmias/la-asociacion/comunicaciones/2066-los-cardiologos-cada-vez-mas-cerca-de-controlar-la-arritmia-mas-frecuente>.

- (44) **Mayo Clinic.** Mayo Clinic. [En línea] 2022. [Último acceso: 17 de 06 de 2024.] <https://www.mayoclinic.org/es/diseases-conditions/supraventricular-tachycardia/symptoms-causes/syc-20355243>.
- (45) **BLOOD PRESSURE MONITOR. Grotov, Yury.** 2016, Patent Application Publication.
- (46) **Khan Academy.** Khan Academy. [En línea] [Último acceso: 28 de 06 de 2024.] <https://es.khanacademy.org/science/physics/fluids/fluid-dynamics/a/what-is-bernoullis-equation>.
- (47) **Poyatos, B. Poyatos y Alonso, F. Estrada.** ELSEVIER. [En línea] 2011. [Último acceso: 19 de 07 de 2024.] <https://www.elsevier.es/es-revista-medicina-familia-semergen-40-articulo-importancia-toma-presion-arterial-proposito-S1138359311002358>.
- (48) **EMED.** EMED. [En línea] [Último acceso: 19 de 07 de 2024.] <https://emedingenieria.com/producto/calibracion-de-tensiometros/#:~:text=La%20calibraci%C3%B3n%20de%20los%20tensi%C3%B3metros,un%20diag%C3%B3stico%20y%20tratamiento%20incorrectos..>
- (49) **Wikipedia.** Wikipedia. [En línea] [Último acceso: 19 de 07 de 2024.] [https://es.wikipedia.org/wiki/Centro\\_Espa%C3%B1ol\\_de\\_Metrolog%C3%ADa](https://es.wikipedia.org/wiki/Centro_Espa%C3%B1ol_de_Metrolog%C3%ADa).

# **ANEXO I: HOJA DE DATOS VÁLVULA ARON BREVINI XDP3A01N1G**

# XDP.3.A... / XDP.3.C ...

## PROPORTIONAL DIRECTIONAL VALVES OPEN LOOP

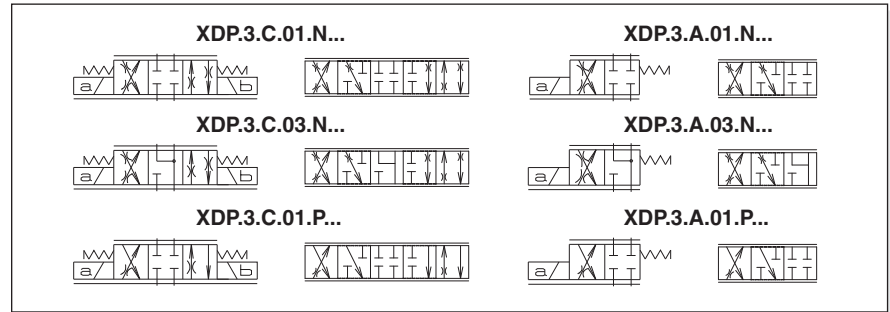


The open loop valves of series XDP... control the direction and the volume of the flow according to the feeding current to the proportional solenoid. By using a valve body equipped with increased passage channels it is possible to reach the highest capacity of its dimensions at a parity of pressure drops, (40 l/min with  $\Delta p$  of 10 bar).

Each  $\Delta p$  variation on the valve leads to the variation of the capacity which has been set, anyway the valve guarantees an high inner compensation grade and limits the adjustment capacity.

**Performances shown in this catalogue are guaranteed only using 2 or 3 way modular assembly hydrostats type AM.3.H. ...** By using the valve with the base for capacity doubling type BC.3.07 (see next page) a greater capacity can be obtained.

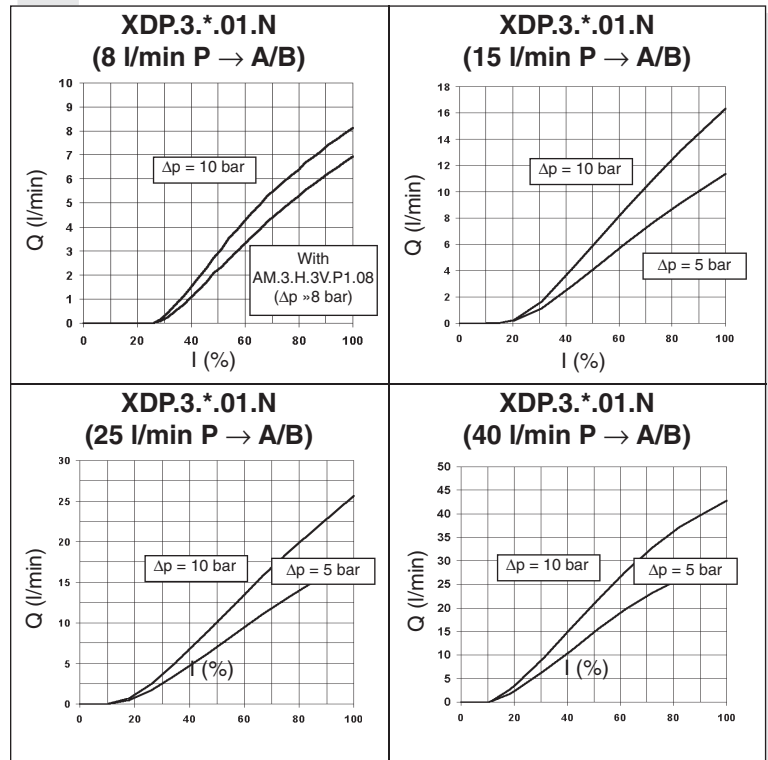
XDP.3...	
STANDARD CONNECTORS	CH. I PAGE 19
D15P PROPORTIONAL SOLENOIDS	CH. VIII PAGE 5
REM.S.RA...	CH. IX PAGE 4
REM.D.RA...	CH. IX PAGE 7
SE.3.AN21.00...	CH. IX PAGE 11
AM.3.H...	CH. VIII PAGE 16
AM.5.H...	CH. VIII PAGE 17
BC.3.07...	CH. VII PAGE 12



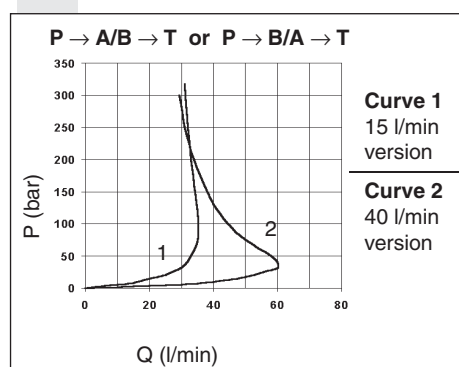
### ORDERING CODE

<b>XDP</b>	Open loop proportional directional valve
<b>3</b>	CETOP 3/NG6
<b>*</b>	<b>A</b> = Single solenoid <b>C</b> = Double solenoid
<b>**</b>	Type of spool (null position) <b>01</b> = <b>03</b> =
<b>*</b>	Flow path control (see hydraulic symbols table) <b>N</b> = symmetrical <b>P</b> = meter in (only with 01 spool)
<b>*</b>	Flow rating l/min ( $\Delta p$ 10 bar)   In order to reduced the unloading pressure for rated flow version at 40 l/min we advise to use the 3 way type AM.5.H.3V... hydrostat. <b>1</b> = 8 l/min <b>2</b> = 15 l/min <b>3</b> = 25 l/min <b>6</b> = 40 l/min
<b>*</b>	Max. current to solenoid <b>E</b> = 2.35 A <b>F</b> = 1.76 A <b>G</b> = 0.88 A
<b>**</b>	Variant (*): <b>S1</b> = No variant (without connectors) <b>SV</b> = Viton <b>P2</b> = Rotary emergency <b>R5</b> = Rotary emergency 180°
<b>2</b>	Serial No.

### INPUT SIGNAL CURVES - FLOW RATE



### POWER LIMITS TRANSMITTED



(\* All variants are considered without connectors. The connectors must be order separately. See Ch. I Page 19

**OPERATING SPECIFICATIONS**

Max. operating pressure ports P/A/B	350 bar		
Max. pressure port T - for dynamic pressure see note (*)	250 bar		
Nominal flow	8 / 15 / 25 / 40 l/min		
Duty cycle	Continuous 100% ED		
Type of protection (depending on the connector used)	IP 65		
Flow rate gain	See diagram		
Power limits curves transmitted	See diagram		
Fluid viscosity	10 ÷ 500 mm <sup>2</sup> /s		
Fluid temperature	-20°C ÷ 75°C		
Ambient temperature	-20°C ÷ 70°C		
Max. contamination level	from class 7 at 9 in accordance with NAS 1638 with filter $\beta_{10} \geq 75$		
Weight XDP.3.A... (single solenoid)	1,7 Kg		
Weight XDP.3.C... (double solenoid)	2,9 Kg		

Max. current	<b>2.35A</b>	<b>1.76 A</b>	<b>0.88 A</b>
Solenoid coil resistance 25°C (77°F)	2.25 Ohm	4.0 Ohm	16.0 Ohm
Hysteresis P / A / B / T			
with a pressure compensator AM.3.H.3V...	≤5%	<5%	<8%
Response to step $\Delta p = 5$ bar (P/A)			
0 ÷ 100%	32 ms	40 ms	85 ms
100% ÷ 0	33 ms	33 ms	33 ms
Frequency response -3db (Input signal 50% ±25% Vmax)			
	22Hz	22Hz	12Hz

(\*) Pressure dynamic allowed for 2 millions of cycles

**Operating specifications are valid for fluids with 46 mm<sup>2</sup>/s viscosity at 40°C, using the specified ARON electronic control units. Performance data carried out using the specified Aron power amplifier SE.3.AN... serie 1 - EUROCARD format - powered to 24V.**

**AMPLIFIER UNIT AND CONTROL**

**REM.S.RA.\*\* and REM.D.RA.\*\*.**

Electronic card control single and double proportional solenoid valve.

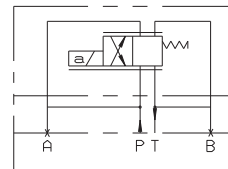
**SE.3.AN.21.00...**

Electronic card format EUROCARD for control and double proportional solenoid valve

**AM.3.H.2V.P1 / AM.3.H.3V.P1 and AM.5.H.3V.P1 (\*)**

Hydrostats 2 or 3 way  
(\*) for rated flow XDP3 version at 40 l/min only

**CONFIGURATION FOR DOUBLE FLOW RATE**

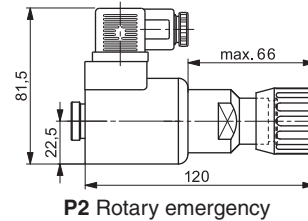
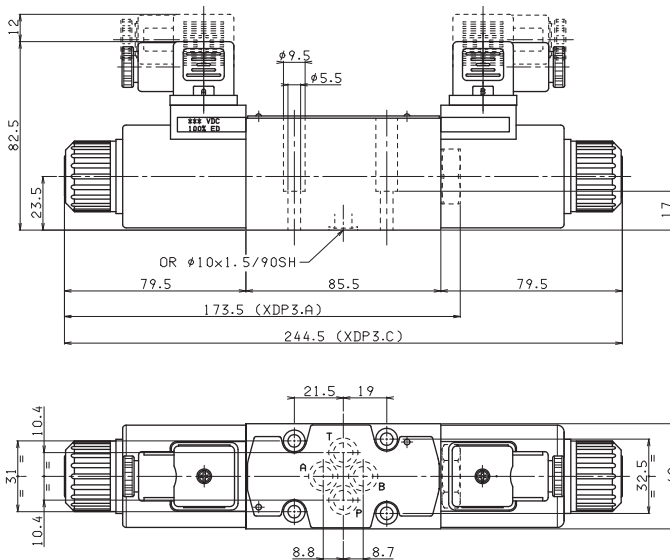


XDP.3.A...

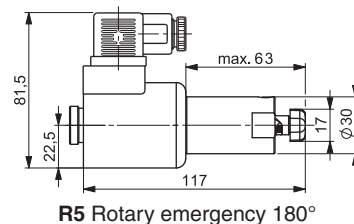
BC.3.07

Standard subplate

**OVERALL DIMENSIONS**



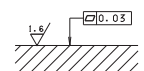
P2 Rotary emergency



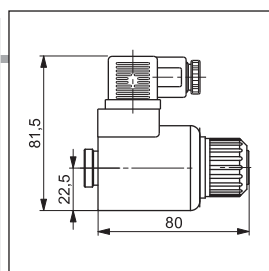
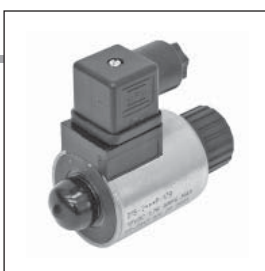
R5 Rotary emergency 180°

Fixing screws UNI 5931 M5x25  
(min. 8.8 material screws are recommended)  
Tightening torque 4 ÷ 5 Nm / 0.4 ÷ 0.5 Kgm

Support plane specifications



**"D15P" PROPORTIONAL SOLENOIDS**



Type of protection (in relation to connector used)	IP 66
Duty cycle	100% ED
Insulation class wire	H
Weight (coil)	0,354 Kg
Weight (solenoid)	0,608 Kg

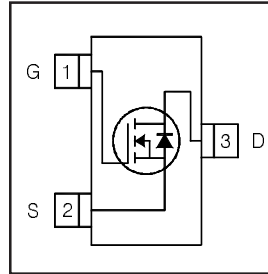
ETD15P - 01/2002/e

## **ANEXO II: HOJA DE DATOS MOSFET IRLML6244**

# IRLML6244TRPbF

HEXFET® Power MOSFET

$V_{DS}$	<b>20</b>	<b>V</b>
$V_{GS\ Max}$	<b>±12</b>	<b>V</b>
$R_{DS(on)\ max}$ (@ $V_{GS} = 4.5V$ )	<b>21.0</b>	<b>mΩ</b>
$R_{DS(on)\ max}$ (@ $V_{GS} = 2.5V$ )	<b>27.0</b>	<b>mΩ</b>



## Application(s)

- Load/ System Switch

## Features and Benefits

### Features

Low $R_{DS(on)}$ ( < 21mΩ )
Industry-standard SOT-23 Package
RoHS compliant containing no lead, no bromide and no halogen

results in  
⇒

### Benefits

Lower conduction losses
Multi-vendor compatibility
Environmentally friendly

## Absolute Maximum Ratings

Symbol	Parameter	Max.	Units
$V_{DS}$	Drain-Source Voltage	20	V
$I_D @ T_A = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	6.3	A
$I_D @ T_A = 70^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	5.1	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current	32	
$P_D @ T_A = 25^\circ C$	Maximum Power Dissipation	1.3	W
$P_D @ T_A = 70^\circ C$	Maximum Power Dissipation	0.80	
	Linear Derating Factor	0.01	W/°C
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	± 12	V
$T_J, T_{STG}$	Junction and Storage Temperature Range	-55 to + 150	°C

## Thermal Resistance

Symbol	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient ③	—	100	°C/W
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient (t<10s) ④	—	99	

### ORDERING INFORMATION:

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

Notes ① through ④ are on page 10

www.irf.com

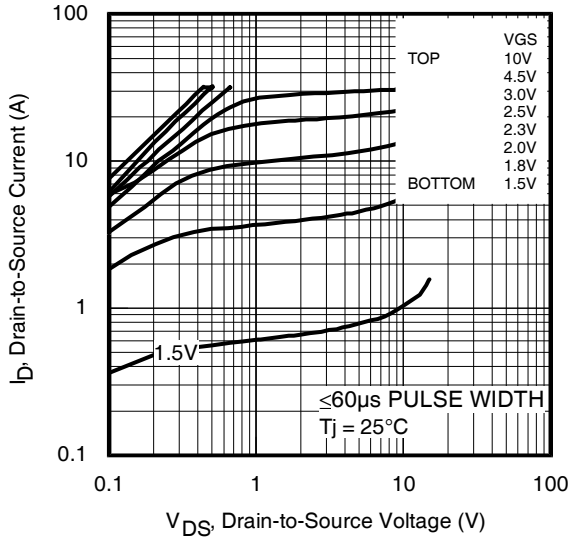


## Electric Characteristics @ T<sub>J</sub> = 25°C (unless otherwise specified)

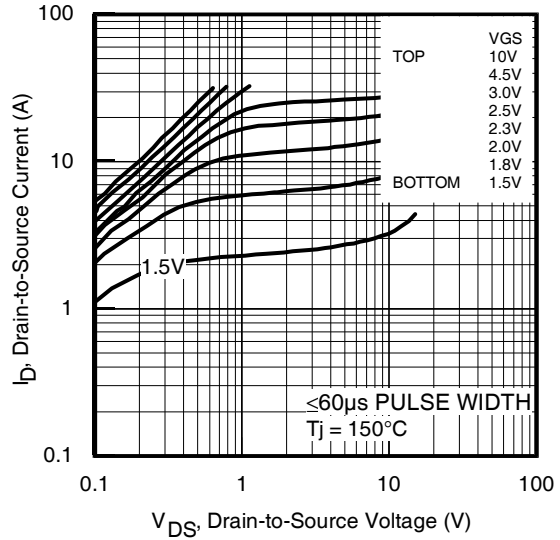
Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
V <sub>(BR)DSS</sub>	Drain-to-Source Breakdown Voltage	20	—	—	V	V <sub>GS</sub> = 0V, I <sub>D</sub> = 250μA
ΔV <sub>(BR)DSS</sub> /ΔT <sub>J</sub>	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	7.8	—	mV/°C	Reference to 25°C, I <sub>D</sub> = 1mA
R <sub>DS(on)</sub>	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	16.0	21.0	mΩ	V <sub>GS</sub> = 4.5V, I <sub>D</sub> = 6.3A ②
		—	22.0	27.0		V <sub>GS</sub> = 2.5V, I <sub>D</sub> = 5.1A ②
V <sub>GS(th)</sub>	Gate Threshold Voltage	0.5	0.9	1.1	V	V <sub>DS</sub> = V <sub>GS</sub> , I <sub>D</sub> = 10μA
I <sub>DSS</sub>	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	1.0	μA	V <sub>DS</sub> = 16V, V <sub>GS</sub> = 0V
		—	—	150		V <sub>DS</sub> = 16V, V <sub>GS</sub> = 0V, T <sub>J</sub> = 125°C
I <sub>GSS</sub>	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	V <sub>GS</sub> = 12V
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		V <sub>GS</sub> = -12V
R <sub>G</sub>	Internal Gate Resistance	—	1.7	—	Ω	
g <sub>fs</sub>	Forward Transconductance	17	—	—	S	V <sub>DS</sub> = 10V, I <sub>D</sub> = 6.3A
Q <sub>G</sub>	Total Gate Charge	—	8.9	—	nC	I <sub>D</sub> = 6.3A
Q <sub>gs</sub>	Gate-to-Source Charge	—	0.68	—		V <sub>DS</sub> = 10V
Q <sub>gd</sub>	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	4.4	—		V <sub>GS</sub> = 4.5V ②
t <sub>d(on)</sub>	Turn-On Delay Time	—	4.9	—	ns	V <sub>DD</sub> = 10V ②
t <sub>r</sub>	Rise Time	—	7.5	—		I <sub>D</sub> = 1.0A
t <sub>d(off)</sub>	Turn-Off Delay Time	—	19	—		R <sub>G</sub> = 6.8Ω
t <sub>f</sub>	Fall Time	—	12	—		V <sub>GS</sub> = 4.5V
C <sub>iss</sub>	Input Capacitance	—	700	—	pF	V <sub>GS</sub> = 0V
C <sub>oss</sub>	Output Capacitance	—	140	—		V <sub>DS</sub> = 16V
C <sub>rss</sub>	Reverse Transfer Capacitance	—	98	—		f = 1.0MHz

## Source - Drain Ratings and Characteristics

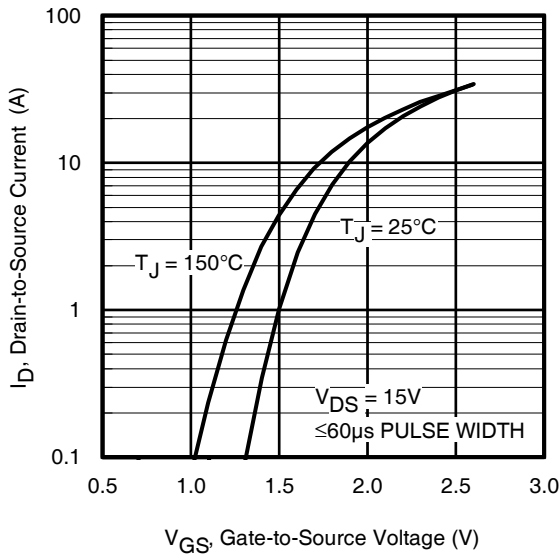
Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I <sub>S</sub>	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	1.3	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I <sub>SM</sub>	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	32		
V <sub>SD</sub>	Diode Forward Voltage	—	—	1.2	V	T <sub>J</sub> = 25°C, I <sub>S</sub> = 6.3A, V <sub>GS</sub> = 0V ②
t <sub>rr</sub>	Reverse Recovery Time	—	12	18	ns	T <sub>J</sub> = 25°C, V <sub>R</sub> = 15V, I <sub>F</sub> = 1.3A
Q <sub>rr</sub>	Reverse Recovery Charge	—	5.1	7.7	nC	di/dt = 100A/μs ②



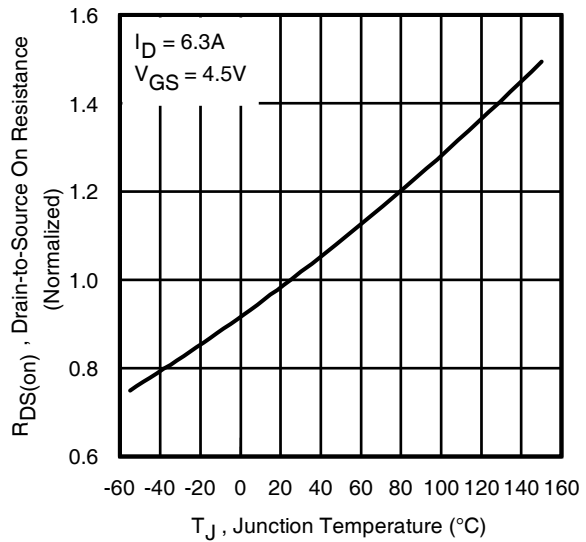
**Fig 1.** Typical Output Characteristics



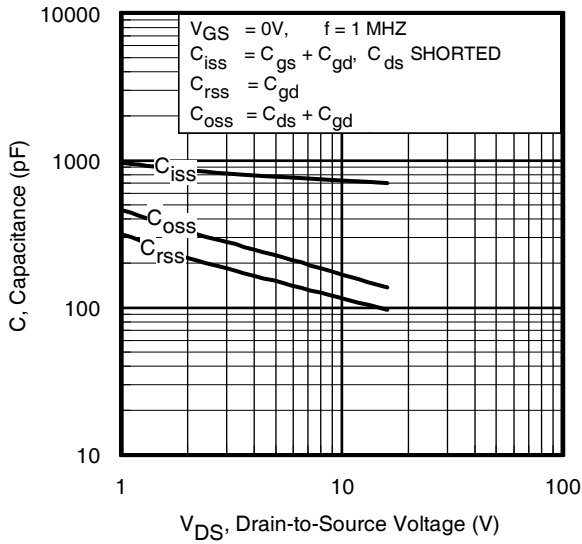
**Fig 2.** Typical Output Characteristics



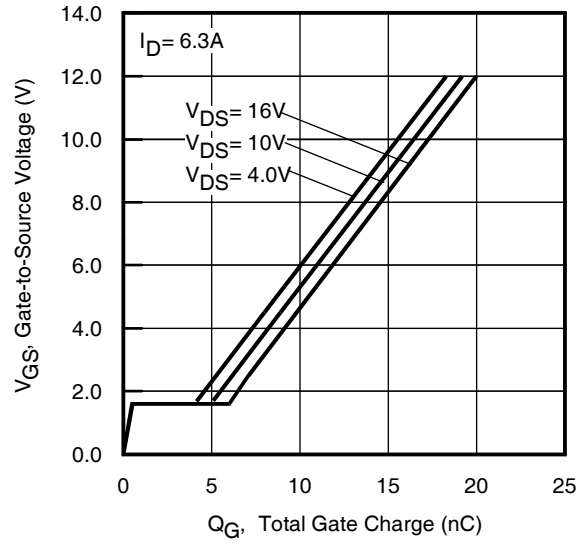
**Fig 3.** Typical Transfer Characteristics



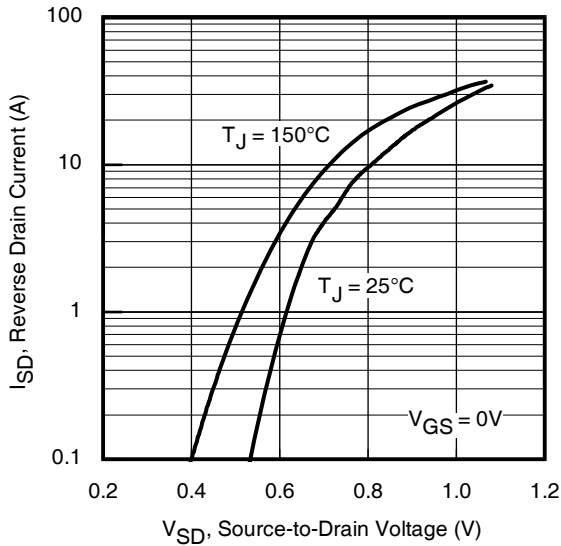
**Fig 4.** Normalized On-Resistance vs. Temperature



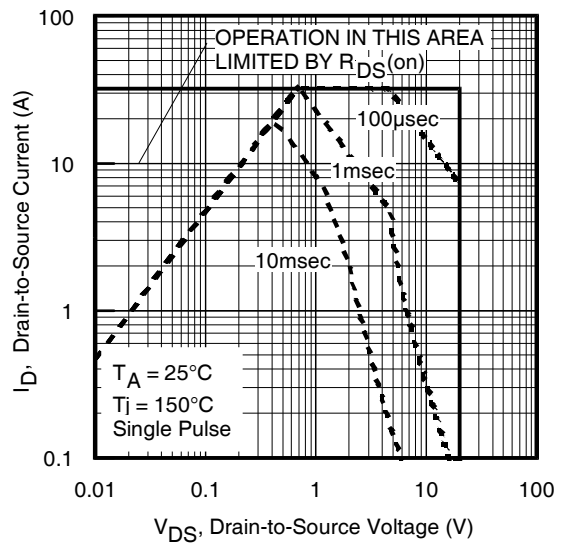
**Fig 5.** Typical Capacitance vs. Drain-to-Source Voltage



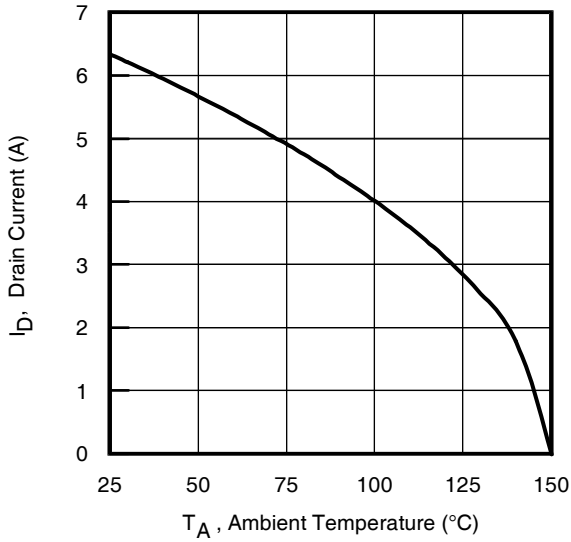
**Fig 6.** Typical Gate Charge vs. Gate-to-Source Voltage



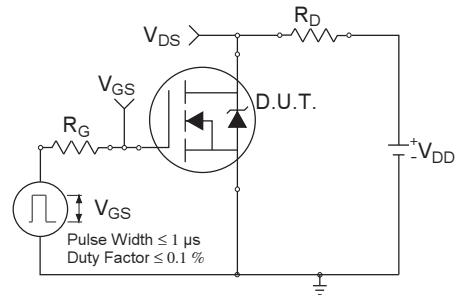
**Fig 7.** Typical Source-Drain Diode Forward Voltage



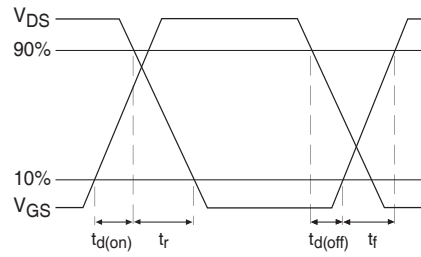
**Fig 8.** Maximum Safe Operating Area



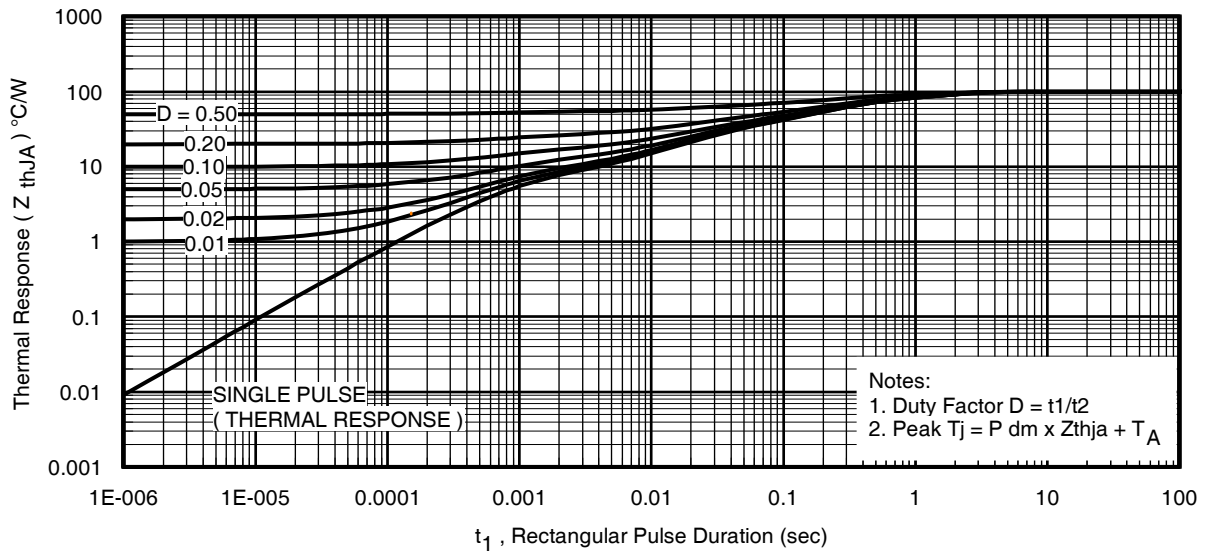
**Fig 9.** Maximum Drain Current vs. Ambient Temperature



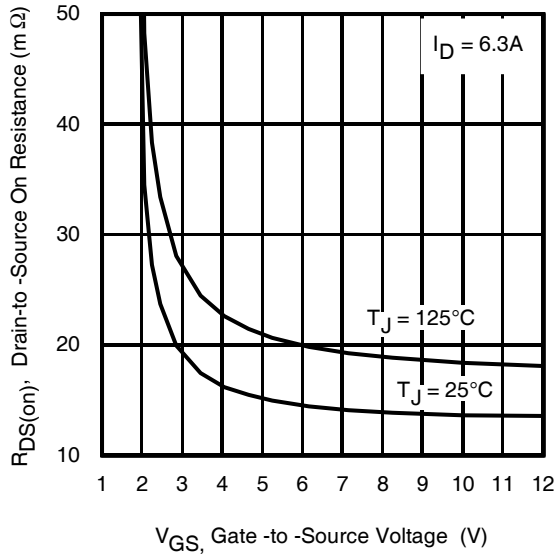
**Fig 10a.** Switching Time Test Circuit



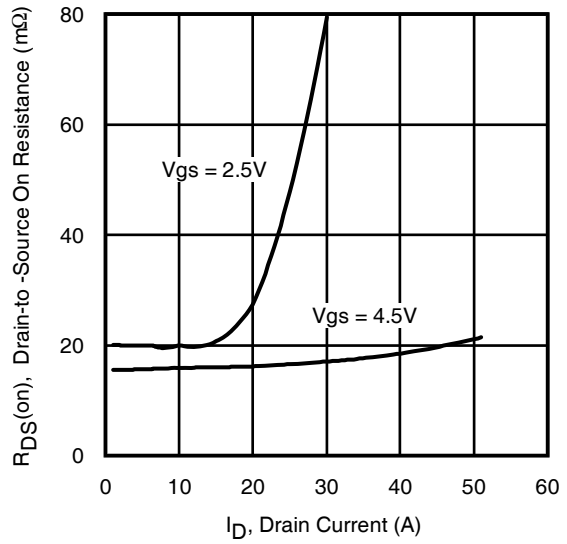
**Fig 10b.** Switching Time Waveforms



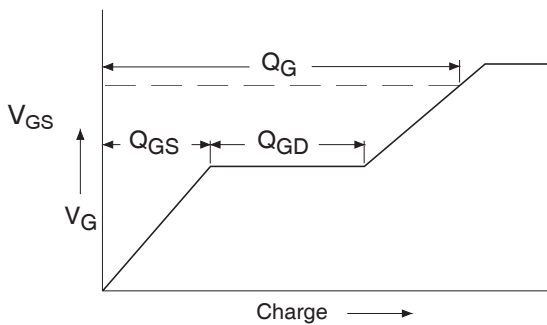
**Fig 11.** Typical Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Ambient



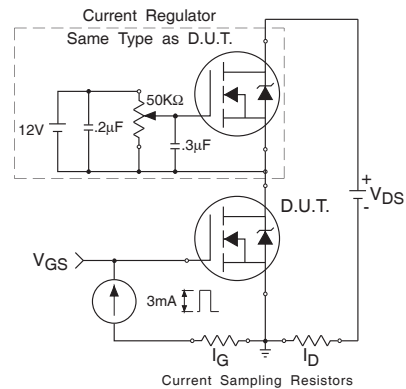
**Fig 12.** Typical On-Resistance vs. Gate Voltage



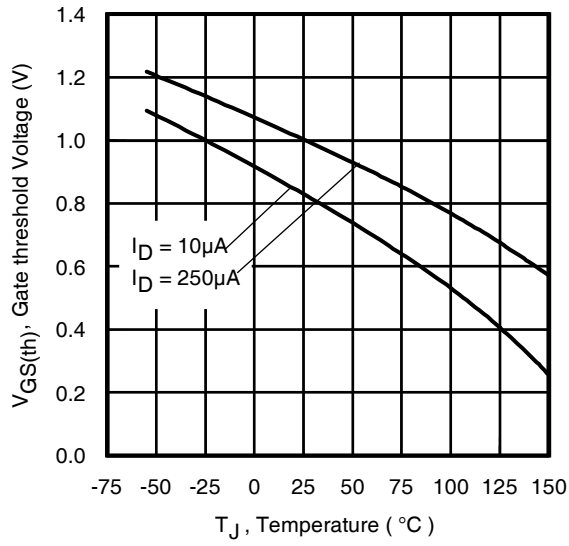
**Fig 13.** Typical On-Resistance vs. Drain Current



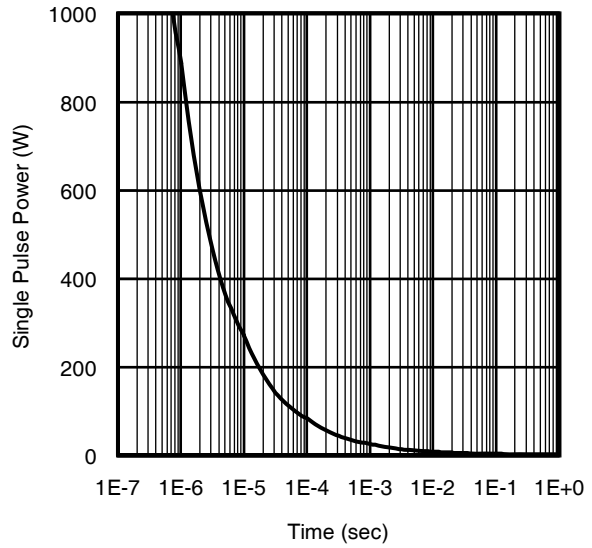
**Fig 14a.** Basic Gate Charge Waveform



**Fig 14b.** Gate Charge Test Circuit



**Fig 15.** Typical Threshold Voltage vs. Junction Temperature



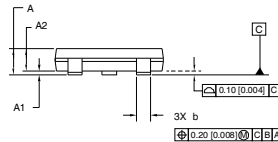
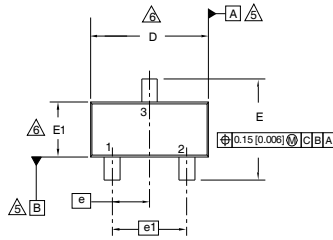
**Fig 16.** Typical Power vs. Time

# IRLML6244TRPbF

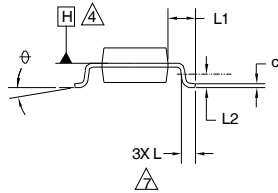
International  
**IR** Rectifier

## Micro3 (SOT-23) Package Outline

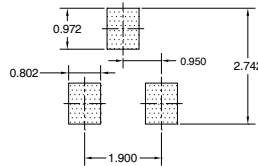
Dimensions are shown in millimeters (inches)



NOTES:



### Recommended Footprint

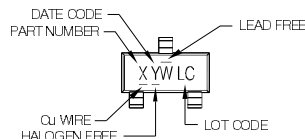


DIMENSIONS				
SYMBOL	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.89	1.12	0.035	0.044
A1	0.01	0.10	0.0004	0.004
A2	0.88	1.02	0.035	0.040
b	0.30	0.50	0.012	0.020
c	0.08	0.20	0.003	0.008
D	2.80	3.04	0.110	0.120
E	2.10	2.64	0.083	0.104
E1	1.20	1.40	0.047	0.055
e	0.95	BSC	0.037	BSC
e1	1.90	BSC	0.075	BSC
L	0.40	0.60	0.016	0.024
L1	0.54	REF	0.021	REF
L2	0.25	BSC	0.010	BSC
⌀	0	8	0	8

1. DIMENSIONING & TOLERANCING PER ANSI Y14.5M-1994
2. DIMENSIONS ARE SHOWN IN MILLIMETERS (INCHES).
3. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.
4. DATUM PLANE H IS LOCATED AT THE MOLD PARTING LINE.
5. DATUMS A AND B TO BE DETERMINED AT DATUM PLANE H.
6. DIMENSIONS D AND E1 ARE MEASURED AT DATUM PLANE H. DIMENSIONS DOES NOT INCLUDE MOLD PROTRUSIONS OR INTERLEAD FLASH. MOLD PROTRUSIONS OR INTERLEAD FLASH SHALL NOT EXCEED 0.25MM (0.010 INCH) PER SIDE.
7. DIMENSION L IS THE LEAD LENGTH FOR SOLDERING TO A SUBSTRATE.
8. OUTLINE CONFORMS TO JEDEC OUTLINE TO-236 AB.

## Micro3 (SOT-23/TO-236AB) Part Marking Information

Notes: This part marking information applies to devices produced after 02/26/2001



X = PART NUMBER CODE REFERENCE:

- |               |               |
|---------------|---------------|
| A = IRLML2402 | S = IRLML6244 |
| B = IRLML2803 | T = IRLML6246 |
| C = IRLML6302 | U = IRLML6344 |
| D = IRLML5103 | V = IRLML6346 |
| E = IRLML6402 | W = IFFML6244 |
| F = IRLML6401 | X = IRLML2244 |
| G = IRLML2502 | Y = IRLML2246 |
| H = IRLML8203 | Z = IFFML9244 |
| J = IRLML0030 |               |
| K = IRLML2030 |               |
| L = IRLML0100 |               |
| M = IRLML0060 |               |
| N = IRLML0040 |               |
| P = IRLML2060 |               |
| R = IRLML9301 |               |
|               | R = IRLML9303 |

Note: A line above the work week (as shown here) indicates Lead-Free.

### DATE CODE MARKING INSTRUCTIONS

WW = (1-26) IF PRECEDED BY LAST DIGIT OF CALENDAR YEAR

YEAR	Y	WORK WEEK	W	
2011	2001	1	01	A
2012	2002	2	02	B
2013	2003	3	03	C
2014	2004	4	04	D
2015	2005	5		
2016	2006	6		
2017	2007	7		
2018	2008	8		
2019	2009	9		
2020	2010	0	24	X
			25	Y
			26	Z

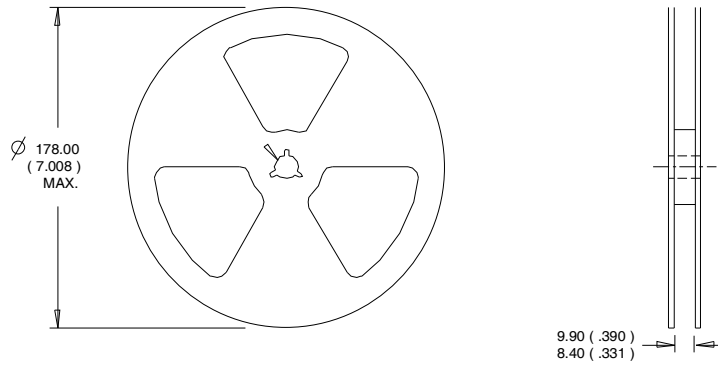
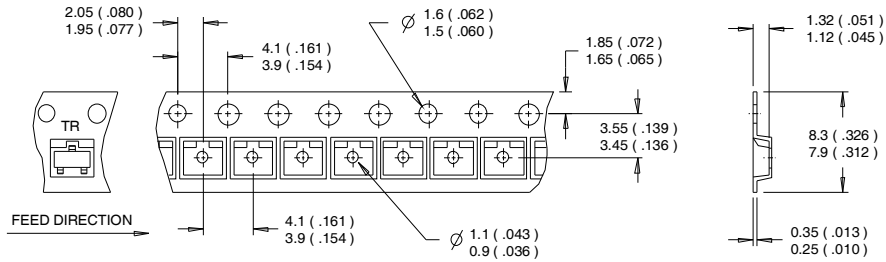
WW = (27-52) IF PRECEDED BY A LETTER

YEAR	Y	WORK WEEK	W	
2011	2001	A	27	A
2012	2002	B	28	B
2013	2003	C	29	C
2014	2004	D	30	D
2015	2005	E		
2016	2006	F		
2017	2007	G		
2018	2008	H		
2019	2009	J		
2020	2010	K	50	X
			51	Y
			52	Z

Note: For the most current drawing please refer to IR website at: <http://www.irf.com/package/>

## Micro3™ (SOT-23) Tape & Reel Information

Dimensions are shown in millimeters (inches)



- NOTES:
1. CONTROLLING DIMENSION : MILLIMETER.
  2. OUTLINE CONFORMS TO EIA-481 & EIA-541.

Note: For the most current drawing please refer to IR website at: <http://www.irf.com/package/>



# IRLML6244TRPbF

International  
**IR** Rectifier

Orderable part number	Package Type	Standard Pack		Note
		Form	Quantity	
IRLML6244TRPbF	Micro3 (SOT-23)	Tape and Reel	3000	

## Qualification information<sup>†</sup>

Qualification level	Consumer <sup>††</sup> (per JEDEC JESD47F <sup>†††</sup> guidelines)		
Moisture Sensitivity Level	Micro3 (SOT-23)	MSL1 (per IPC/JEDEC J-STD-020D <sup>†††</sup> )	
RoHS compliant	Yes		

- † Qualification standards can be found at International Rectifier's web site  
<http://www.irf.com/product-info/reliability>
- †† Higher qualification ratings may be available should the user have such requirements.  
Please contact your International Rectifier sales representative for further information:  
<http://www.irf.com/whoto-call/salesrep/>
- ††† Applicable version of JEDEC standard at the time of product release.

### Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature.
- ② Pulse width  $\leq 400\mu\text{s}$ ; duty cycle  $\leq 2\%$ .
- ③ Surface mounted on 1 in square Cu board.
- ④ Refer to [application note #AN-994](#).

Data and specifications subject to change without notice.

International  
**IR** Rectifier

**IR WORLD HEADQUARTERS:** 101 N. Sepulveda Blvd., El Segundo, California 90245, USA Tel: (310) 252-7105  
TAC Fax: (310) 252-7903

Visit us at [www.irf.com](http://www.irf.com) for sales contact information.03/12

## **IMPORTANT NOTICE**

The information given in this document shall in no event be regarded as a guarantee of conditions or characteristics ("Beschaffheitsgarantie").

With respect to any examples, hints or any typical values stated herein and/or any information regarding the application of the product, Infineon Technologies hereby disclaims any and all warranties and liabilities of any kind, including without limitation warranties of non-infringement of intellectual property rights of any third party.

In addition, any information given in this document is subject to customer's compliance with its obligations stated in this document and any applicable legal requirements, norms and standards concerning customer's products and any use of the product of Infineon Technologies in customer's applications.

The data contained in this document is exclusively intended for technically trained staff. It is the responsibility of customer's technical departments to evaluate the suitability of the product for the intended application and the completeness of the product information given in this document with respect to such application.

For further information on the product, technology, delivery terms and conditions and prices please contact your nearest Infineon Technologies office ([www.infineon.com](http://www.infineon.com)).

## **WARNINGS**

Due to technical requirements products may contain dangerous substances. For information on the types in question please contact your nearest Infineon Technologies office.

Except as otherwise explicitly approved by Infineon Technologies in a written document signed by authorized representatives of Infineon Technologies, Infineon Technologies' products may not be used in any applications where a failure of the product or any consequences of the use thereof can reasonably be expected to result in personal injury.

# Mouser Electronics

Authorized Distributor

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

[Infineon:](#)

[IRLML6244TRPBF](#)

# **ANEXO III: HOJA DE DATOS OPERACIONAL**

## **MCP6001R**



# BAT54SW

Schottky barrier diode

1 April 2023

Product data sheet

## 1. General description

Planar Schottky barrier diode with an integrated guard ring for stress protection, encapsulated in a very small SOT323 (SC-70) Surface-Mounted Device (SMD) plastic package.

## 2. Features and benefits

- Low forward voltage
- Low capacitance

## 3. Applications

- Ultra high-speed switching
- Line termination
- Voltage clamping
- Reverse polarity protection

## 4. Quick reference data

Table 1. Quick reference data

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
<b>Per diode</b>						
$V_R$	reverse voltage	$T_j = 25\text{ °C}$	-	-	30	V
$V_F$	forward voltage	$I_F = 100\text{ mA}$ ; pulsed; $t_p \leq 300\text{ }\mu\text{s}$ ; $\delta \leq 0.02$ ; $T_{\text{amb}} = 25\text{ °C}$	-	-	800	mV
$I_R$	reverse current	$V_R = 25\text{ V}$ ; $t_p \leq 300\text{ }\mu\text{s}$ ; $\delta \leq 0.02$ ; pulsed; $T_{\text{amb}} = 25\text{ °C}$	-	-	2	$\mu\text{A}$

## 5. Pinning information

Table 2. Pinning information

Pin	Symbol	Description	Simplified outline	Graphic symbol
1	A1	anode (diode 1)	 SC-70 (SOT323)	 006aaa437
2	K2	cathode (diode 2)		
3	K1, A2	cathode (diode 1) and anode (diode 2)		

## 6. Ordering information

Table 3. Ordering information

Type number	Package		
	Name	Description	Version
<a href="#">BAT54SW</a>	SC-70	plastic, surface-mounted package; 3 leads; 1.3 mm pitch; 2 mm x 1.25 mm x 0.95 mm body	<a href="#">SOT323</a>

## 7. Marking

Table 4. Marking codes

Type number	Marking code[1]
BAT54SW	44%

[1] % = placeholder for manufacturing site code

## 8. Limiting values

Table 5. Limiting values

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134).

Symbol	Parameter	Conditions		Min	Max	Unit
<b>Per diode</b>						
$V_R$	reverse voltage	$T_j = 25\text{ °C}$		-	30	V
$I_F$	forward current			-	200	mA
$I_{FRM}$	repetitive peak forward current	$t_p \leq 1\text{ s}; \delta \leq 0.5$		-	300	mA
$I_{FSM}$	non-repetitive peak forward current	$t_p < 10\text{ ms}; T_{j(\text{init})} = 25\text{ °C}$	[1]	-	600	mA
<b>Per device; one diode loaded</b>						
$P_{\text{tot}}$	total power dissipation	$T_{\text{amb}} \leq 25\text{ °C}$	[2]	-	200	mW
$T_j$	junction temperature			-	150	°C
$T_{\text{amb}}$	ambient temperature			-55	150	°C
$T_{\text{stg}}$	storage temperature			-65	150	°C

[1]  $T_j = 25\text{ °C}$  before surge.

[2] Device mounted on an FR4 Printed-Circuit Board (PCB), single-sided copper, tin-plated and standard footprint.

## 9. Thermal characteristics

Table 6. Thermal characteristics

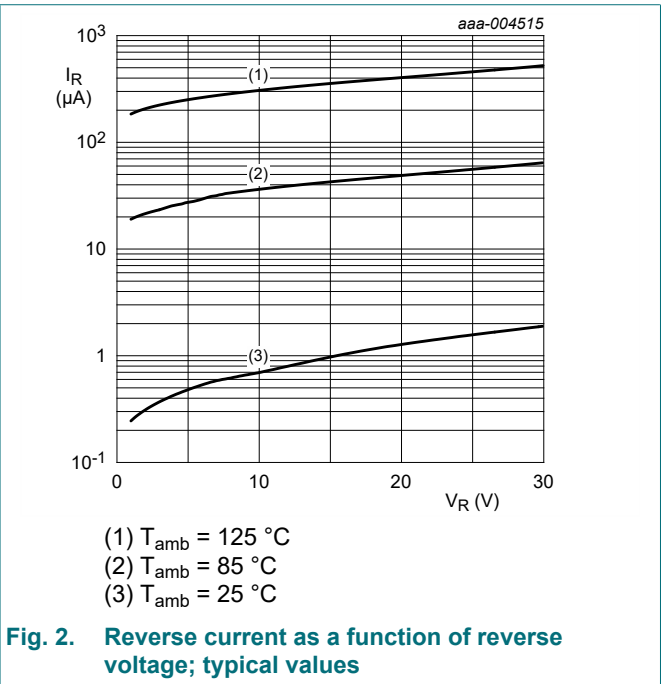
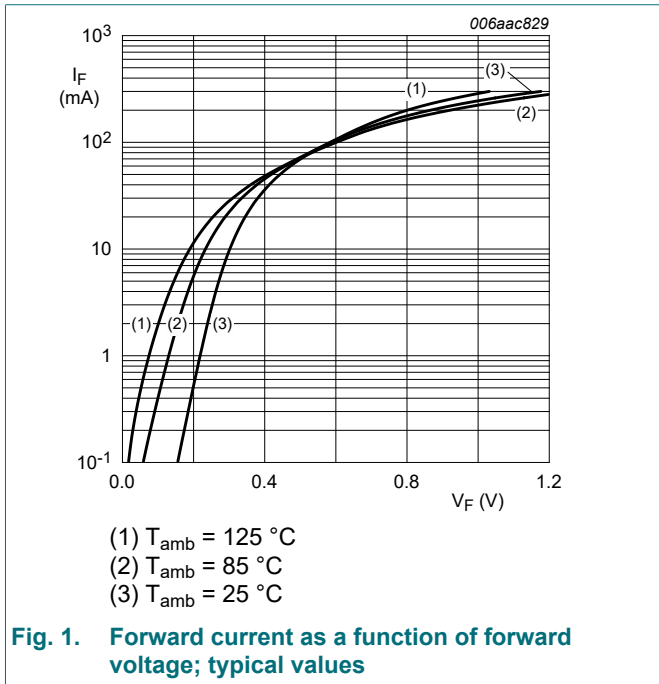
Symbol	Parameter	Conditions		Min	Typ	Max	Unit
<b>Per device; one diode loaded</b>							
$R_{\text{th}(j-a)}$	thermal resistance from junction to ambient	in free air	[1]	-	-	625	K/W

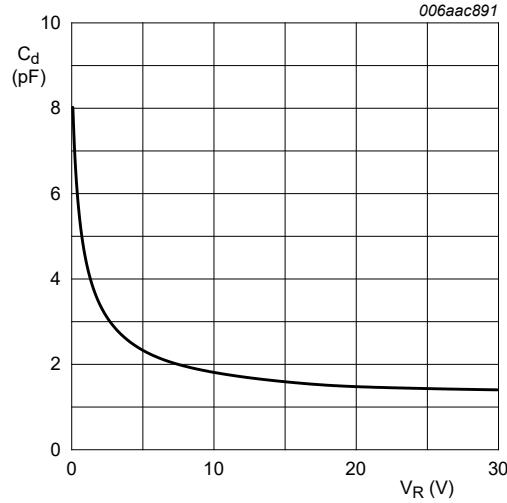
[1] Device mounted on an FR4 PCB, single-sided copper, tin-plated and standard footprint.

## 10. Characteristics

Table 7. Characteristics

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
<b>Per diode</b>						
$V_F$	forward voltage	$I_F = 0.1 \text{ mA}$ ; pulsed; $t_p \leq 300 \mu\text{s}$ ; $\delta \leq 0.02$ ; $T_{\text{amb}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	-	-	240	mV
		$I_F = 1 \text{ mA}$ ; pulsed; $t_p \leq 300 \mu\text{s}$ ; $\delta \leq 0.02$ ; $T_{\text{amb}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	-	-	320	mV
		$I_F = 10 \text{ mA}$ ; pulsed; $t_p \leq 300 \mu\text{s}$ ; $\delta \leq 0.02$ ; $T_{\text{amb}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	-	-	400	mV
		$I_F = 30 \text{ mA}$ ; pulsed; $t_p \leq 300 \mu\text{s}$ ; $\delta \leq 0.02$ ; $T_{\text{amb}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	-	-	500	mV
		$I_F = 100 \text{ mA}$ ; pulsed; $t_p \leq 300 \mu\text{s}$ ; $\delta \leq 0.02$ ; $T_{\text{amb}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	-	-	800	mV
$I_R$	reverse current	$V_R = 25 \text{ V}$ ; $t_p \leq 300 \mu\text{s}$ ; $\delta \leq 0.02$ ; pulsed; $T_{\text{amb}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	-	-	2	$\mu\text{A}$
$C_d$	diode capacitance	$V_R = 1 \text{ V}$ ; $f = 1 \text{ MHz}$ ; $T_{\text{amb}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	-	-	10	pF
$t_{rr}$	reverse recovery time	$I_F = 10 \text{ mA}$ ; $I_R = 10 \text{ mA}$ ; $I_{R(\text{meas})} = 1 \text{ mA}$ ; $R_L = 100 \Omega$ ; $T_{\text{amb}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	-	-	5	ns





T<sub>amb</sub> = 25 °C; f = 1 MHz

Fig. 3. Diode capacitance as a function of reverse voltage; typical values

### 11. Test information

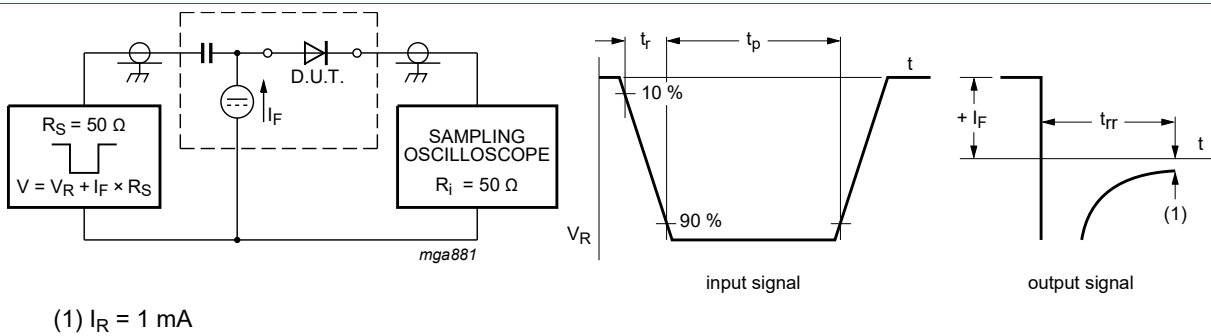


Fig. 4. Reverse recovery time test circuit and waveforms

### 12. Package outline

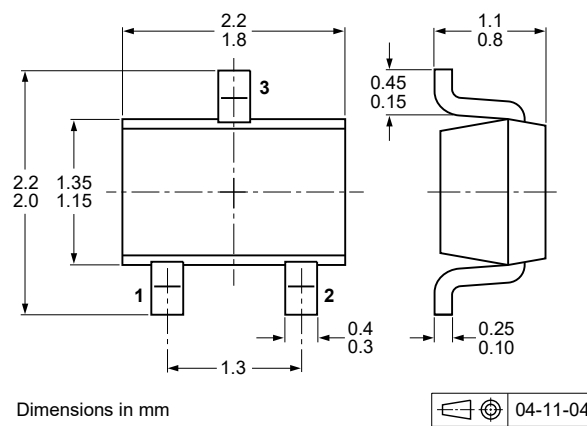


Fig. 5. Package outline SC-70 (SOT323)



### 13. Soldering

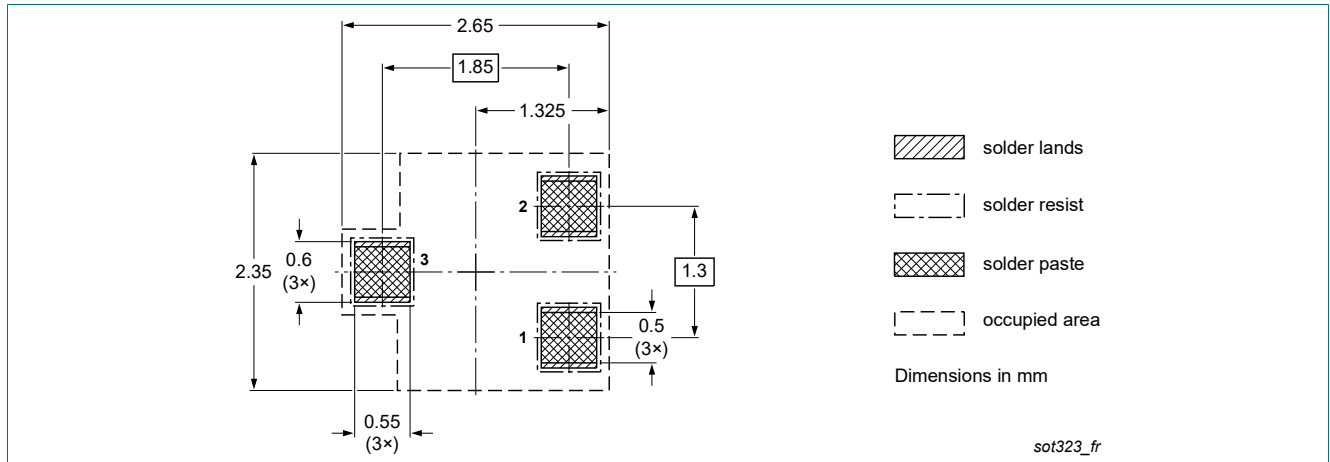


Fig. 6. Reflow soldering footprint for SC-70 (SOT323)

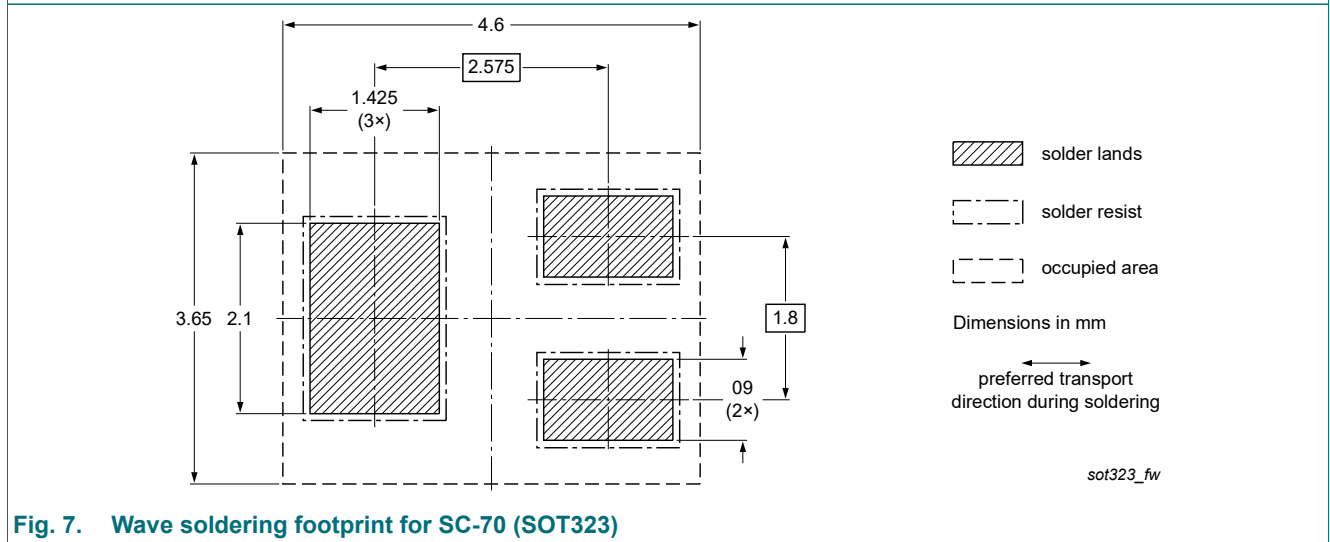


Fig. 7. Wave soldering footprint for SC-70 (SOT323)

## 14. Revision history

**Table 8. Revision history**

Data sheet ID	Release date	Data sheet status	Change notice	Supersedes
BAT54SW v.4	20230401	Product data sheet	-	BAT54W_SER v.3
Modifications:	<ul style="list-style-type: none"><li>• Product changed to non-automotive qualification. Please refer to <a href="http://nexperia.com">nexperia.com</a> for automotive (-Q) product alternative(s).</li><li>• Family data sheet splitted to single type data sheets.</li><li>• Packing information removed.</li></ul>			
BAT54W_SER v.3	20121120	Product data sheet	-	BAT54W v.2
BAT54W v.2	9960319	Product specification	-	BAT54W v.1

## 15. Legal information

### Data sheet status

Document status [1][2]	Product status [3]	Definition
Objective [short] data sheet	Development	This document contains data from the objective specification for product development.
Preliminary [short] data sheet	Qualification	This document contains data from the preliminary specification.
Product [short] data sheet	Production	This document contains the product specification.

- [1] Please consult the most recently issued document before initiating or completing a design.
- [2] The term 'short data sheet' is explained in section "Definitions".
- [3] The product status of device(s) described in this document may have changed since this document was published and may differ in case of multiple devices. The latest product status information is available on the internet at <https://www.nexperia.com>.

### Definitions

**Draft** — The document is a draft version only. The content is still under internal review and subject to formal approval, which may result in modifications or additions. Nexperia does not give any representations or warranties as to the accuracy or completeness of information included herein and shall have no liability for the consequences of use of such information.

**Short data sheet** — A short data sheet is an extract from a full data sheet with the same product type number(s) and title. A short data sheet is intended for quick reference only and should not be relied upon to contain detailed and full information. For detailed and full information see the relevant full data sheet, which is available on request via the local Nexperia sales office. In case of any inconsistency or conflict with the short data sheet, the full data sheet shall prevail.

**Product specification** — The information and data provided in a Product data sheet shall define the specification of the product as agreed between Nexperia and its customer, unless Nexperia and customer have explicitly agreed otherwise in writing. In no event however, shall an agreement be valid in which the Nexperia product is deemed to offer functions and qualities beyond those described in the Product data sheet.

### Disclaimers

**Limited warranty and liability** — Information in this document is believed to be accurate and reliable. However, Nexperia does not give any representations or warranties, expressed or implied, as to the accuracy or completeness of such information and shall have no liability for the consequences of use of such information. Nexperia takes no responsibility for the content in this document if provided by an information source outside of Nexperia.

In no event shall Nexperia be liable for any indirect, incidental, punitive, special or consequential damages (including - without limitation - lost profits, lost savings, business interruption, costs related to the removal or replacement of any products or rework charges) whether or not such damages are based on tort (including negligence), warranty, breach of contract or any other legal theory.

Notwithstanding any damages that customer might incur for any reason whatsoever, Nexperia's aggregate and cumulative liability towards customer for the products described herein shall be limited in accordance with the Terms and conditions of commercial sale of Nexperia.

**Right to make changes** — Nexperia reserves the right to make changes to information published in this document, including without limitation specifications and product descriptions, at any time and without notice. This document supersedes and replaces all information supplied prior to the publication hereof.

**Suitability for use** — Nexperia products are not designed, authorized or warranted to be suitable for use in life support, life-critical or safety-critical systems or equipment, nor in applications where failure or malfunction of an Nexperia product can reasonably be expected to result in personal

injury, death or severe property or environmental damage. Nexperia and its suppliers accept no liability for inclusion and/or use of Nexperia products in such equipment or applications and therefore such inclusion and/or use is at the customer's own risk.

**Quick reference data** — The Quick reference data is an extract of the product data given in the Limiting values and Characteristics sections of this document, and as such is not complete, exhaustive or legally binding.

**Applications** — Applications that are described herein for any of these products are for illustrative purposes only. Nexperia makes no representation or warranty that such applications will be suitable for the specified use without further testing or modification.

Customers are responsible for the design and operation of their applications and products using Nexperia products, and Nexperia accepts no liability for any assistance with applications or customer product design. It is customer's sole responsibility to determine whether the Nexperia product is suitable and fit for the customer's applications and products planned, as well as for the planned application and use of customer's third party customer(s). Customers should provide appropriate design and operating safeguards to minimize the risks associated with their applications and products.

Nexperia does not accept any liability related to any default, damage, costs or problem which is based on any weakness or default in the customer's applications or products, or the application or use by customer's third party customer(s). Customer is responsible for doing all necessary testing for the customer's applications and products using Nexperia products in order to avoid a default of the applications and the products or of the application or use by customer's third party customer(s). Nexperia does not accept any liability in this respect.

**Limiting values** — Stress above one or more limiting values (as defined in the Absolute Maximum Ratings System of IEC 60134) will cause permanent damage to the device. Limiting values are stress ratings only and (proper) operation of the device at these or any other conditions above those given in the Recommended operating conditions section (if present) or the Characteristics sections of this document is not warranted. Constant or repeated exposure to limiting values will permanently and irreversibly affect the quality and reliability of the device.

**Terms and conditions of commercial sale** — Nexperia products are sold subject to the general terms and conditions of commercial sale, as published at <http://www.nexperia.com/profile/terms>, unless otherwise agreed in a valid written individual agreement. In case an individual agreement is concluded only the terms and conditions of the respective agreement shall apply. Nexperia hereby expressly objects to applying the customer's general terms and conditions with regard to the purchase of Nexperia products by customer.

**No offer to sell or license** — Nothing in this document may be interpreted or construed as an offer to sell products that is open for acceptance or the grant, conveyance or implication of any license under any copyrights, patents or other industrial or intellectual property rights.

**Export control** — This document as well as the item(s) described herein may be subject to export control regulations. Export might require a prior authorization from competent authorities.

**Non-automotive qualified products** — Unless this data sheet expressly states that this specific Nexperia product is automotive qualified, the product is not suitable for automotive use. It is neither qualified nor tested in accordance with automotive testing or application requirements. Nexperia accepts no liability for inclusion and/or use of non-automotive qualified products in automotive equipment or applications.

In the event that customer uses the product for design-in and use in automotive applications to automotive specifications and standards, customer (a) shall use the product without Nexperia's warranty of the product for such automotive applications, use and specifications, and (b) whenever customer uses the product for automotive applications beyond Nexperia's specifications such use shall be solely at customer's own risk, and (c) customer fully indemnifies Nexperia for any liability, damages or failed product claims resulting from customer design and use of the product for automotive applications beyond Nexperia's standard warranty and Nexperia's product specifications.

**Translations** — A non-English (translated) version of a document is for reference only. The English version shall prevail in case of any discrepancy between the translated and English versions.

### Trademarks

Notice: All referenced brands, product names, service names and trademarks are the property of their respective owners.

## Contents

---

1. General description.....	1
2. Features and benefits.....	1
3. Applications.....	1
4. Quick reference data.....	1
5. Pinning information.....	1
6. Ordering information.....	2
7. Marking.....	2
8. Limiting values.....	2
9. Thermal characteristics.....	2
10. Characteristics.....	3
11. Test information.....	4
12. Package outline.....	4
13. Soldering.....	5
14. Revision history.....	6
15. Legal information.....	7

---

© Nexperia B.V. 2023. All rights reserved

For more information, please visit: <http://www.nexperia.com>  
For sales office addresses, please send an email to: [salesaddresses@nexperia.com](mailto:salesaddresses@nexperia.com)  
Date of release: 1 April 2023

---

# Mouser Electronics

Authorized Distributor

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

[Nexperia:](#)

[BAT54SW,115](#) [BAT54SWF](#)

# **ANEXO IV: HOJA DE DATOS DE DIODO SCHOTTCKY BAT54W**

## 1 MHz, Low-Power Op Amp

### Features

- Available in 5-Lead SC-70 and 5-Lead SOT-23 Packages
- Gain Bandwidth Product: 1 MHz (typical)
- Rail-to-Rail Input/Output
- Supply Voltage: 1.8V to 6.0V
- Supply Current:  $I_Q = 100 \mu\text{A}$  (typical)
- Phase Margin:  $90^\circ$  (typical)
- Temperature Range:
  - Industrial:  $-40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$
  - Extended:  $-40^\circ\text{C}$  to  $+125^\circ\text{C}$
- Available in Single, Dual and Quad Packages

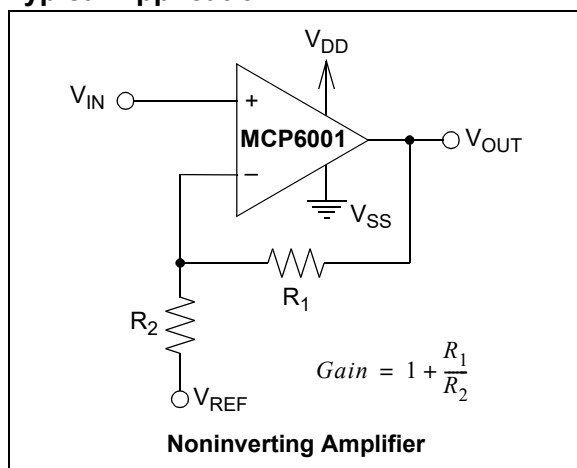
### Applications

- Automotive
- Portable Equipment
- Photodiode Amplifier
- Analog Filters
- Notebooks and PDAs
- Battery-Powered Systems

### Design Aids

- SPICE Macro Models
- FilterLab<sup>®</sup> Software
- Mindi<sup>™</sup> Circuit Designer and Analog Simulator
- Microchip Advanced Part Selector (MAPS)
- Analog Demonstration and Evaluation Boards
- Application Notes

### Typical Application

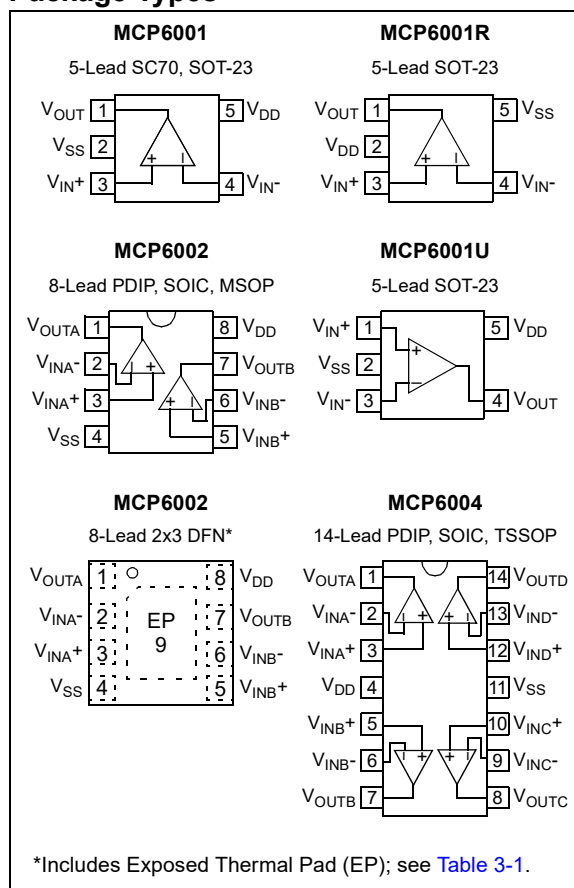


### Description

The Microchip Technology Inc. MCP6001/2/4 family of operational amplifiers (op amps) is specifically designed for general purpose applications. This family has a 1 MHz Gain Bandwidth Product (GBWP) and  $90^\circ$  phase margin (typical). It also maintains a  $45^\circ$  phase margin (typical) with a 500 pF capacitive load. This family operates from a single-supply voltage as low as 1.8V, while drawing 100  $\mu\text{A}$  (typical) quiescent current. Additionally, the MCP6001/2/4 supports rail-to-rail input and output swing, with a Common-mode input voltage range of  $V_{DD} + 300 \text{ mV}$  to  $V_{SS} - 300 \text{ mV}$ . This family of op amps is designed with Microchip's advanced CMOS process.

The MCP6001/2/4 family is available in the industrial and extended temperature ranges, with a power supply range of 1.8V to 6.0V.

### Package Types



# MCP6001/1R/1U/2/4

---

---

NOTES:



# MCP6001/1R/1U/2/4

## 1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

### Absolute Maximum Ratings†

$V_{DD} - V_{SS}$ .....	7.0V
Current at Analog Input Pins ( $V_{IN+}$ , $V_{IN-}$ ).....	$\pm 2$ mA
Analog Inputs ( $V_{IN+}$ , $V_{IN-}$ )†† .....	$V_{SS} - 1.0V$ to $V_{DD} + 1.0V$
All Other Inputs and Outputs .....	$V_{SS} - 0.3V$ to $V_{DD} + 0.3V$
Difference Input Voltage .....	$ V_{DD} - V_{SS} $
Output Short-Circuit Current .....	Continuous
Current at Output and Supply Pins .....	$\pm 30$ mA
Storage Temperature .....	$-65^{\circ}C$ to $+150^{\circ}C$
Maximum Junction Temperature ( $T_J$ ).....	$+150^{\circ}C$
ESD Protection On All Pins (HBM; MM) .....	$\geq 4$ kV; 200V

† **Notice:** Stresses above those listed under “Absolute Maximum Ratings” may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operational listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

†† See [Section 4.1.2 “Input Voltage and Current Limits”](#).

## DC ELECTRICAL SPECIFICATIONS

**Electrical Characteristics:** Unless otherwise indicated,  $T_A = +25^{\circ}C$ ,  $V_{DD} = +1.8V$  to  $+5.5V$ ,  $V_{SS} = GND$ ,  $V_{CM} = V_{DD}/2$ ,  $V_L = V_{DD}/2$ ,  $R_L = 10$  k $\Omega$  to  $V_L$  and  $V_{OUT} \approx V_{DD}/2$  (refer to [Figure 1-1](#)).

Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
<b>Input Offset</b>						
Input Offset Voltage	$V_{OS}$	-4.5	—	+4.5	mV	$V_{CM} = V_{SS}$ ( <b>Note 1</b> )
Input Offset Drift with Temperature	$\Delta V_{OS}/\Delta T_A$	—	$\pm 2.0$	—	$\mu V/^{\circ}C$	$T_A = -40^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$ , $V_{CM} = V_{SS}$
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	—	86	—	dB	$V_{CM} = V_{SS}$
<b>Input Bias Current and Impedance</b>						
Input Bias Current:	$I_B$	—	$\pm 1.0$	—	pA	
Industrial Temperature	$I_B$	—	19	—	pA	$T_A = +85^{\circ}C$
Extended Temperature	$I_B$	—	1100	—	pA	$T_A = +125^{\circ}C$
Input Offset Current	$I_{OS}$	—	$\pm 1.0$	—	pA	
Common-Mode Input Impedance	$Z_{CM}$	—	$10^{13}  6$	—	$\Omega  pF$	
Differential Input Impedance	$Z_{DIFF}$	—	$10^{13}  3$	—	$\Omega  pF$	
<b>Common-Mode</b>						
Common-Mode Input Range	$V_{CMR}$	$V_{SS} - 0.3$	—	$V_{DD} + 0.3$	V	
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	60	76	—	dB	$V_{CM} = -0.3V$ to $5.3V$ , $V_{DD} = 5V$
<b>Open-Loop Gain</b>						
DC Open-Loop Gain (Large Signal)	$A_{OL}$	88	112	—	dB	$V_{OUT} = 0.3V$ to $V_{DD} - 0.3V$ , $V_{CM} = V_{SS}$
<b>Output</b>						
Maximum Output Voltage Swing	$V_{OL}, V_{OH}$	$V_{SS} + 25$	—	$V_{DD} - 25$	mV	$V_{DD} = 5.5V$ , 0.5V input overdrive
Output Short-Circuit Current	$I_{SC}$	—	$\pm 6$	—	mA	$V_{DD} = 1.8V$
		—	$\pm 23$	—	mA	$V_{DD} = 5.5V$
<b>Power Supply</b>						
Supply Voltage	$V_{DD}$	1.8	—	6.0	V	<b>Note 2</b>
Quiescent Current per Amplifier	$I_Q$	50	100	170	$\mu A$	$I_O = 0$ , $V_{DD} = 5.5V$ , $V_{CM} = 5V$

**Note 1:** MCP6001/1R/1U/2/4 parts with date codes prior to December 2004 (week code 49) were tested to  $\pm 7$  mV minimum/maximum limits.

**2:** All parts with date codes November 2007 and later have been screened to ensure operation at  $V_{DD} = 6.0V$ . However, the other minimum and maximum specifications are measured at 1.8V and 5.5V.

# MCP6001/1R/1U/2/4

## AC ELECTRICAL SPECIFICATIONS

**Electrical Characteristics:** Unless otherwise indicated,  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_{DD} = +1.8$  to  $5.5\text{V}$ ,  $V_{SS} = \text{GND}$ ,  $V_{CM} = V_{DD}/2$ ,  $V_L = V_{DD}/2$ ,  $V_{OUT} \approx V_{DD}/2$ ,  $R_L = 10\text{ k}\Omega$  to  $V_L$  and  $C_L = 60\text{ pF}$  (refer to [Figure 1-1](#)).

Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
<b>AC Response</b>						
Gain Bandwidth Product	GBWP	—	1.0	—	MHz	
Phase Margin	PM	—	90	—	°	$G = +1\text{ V/V}$
Slew Rate	SR	—	0.6	—	$\text{V}/\mu\text{s}$	
<b>Noise</b>						
Input Noise Voltage	$E_{ni}$	—	6.1	—	$\mu\text{Vp-p}$	$f = 0.1\text{ Hz to }10\text{ Hz}$
Input Noise Voltage Density	$e_{ni}$	—	28	—	$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$	$f = 1\text{ kHz}$
Input Noise Current Density	$i_{ni}$	—	0.6	—	$\text{fA}/\sqrt{\text{Hz}}$	$f = 1\text{ kHz}$

## TEMPERATURE SPECIFICATIONS

**Electrical Characteristics:** Unless otherwise indicated,  $V_{DD} = +1.8\text{V}$  to  $+5.5\text{V}$  and  $V_{SS} = \text{GND}$ .

Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
<b>Temperature Ranges</b>						
Industrial Temperature Range	$T_A$	-40	—	+85	°C	
Extended Temperature Range	$T_A$	-40	—	+125	°C	
Operating Temperature Range	$T_A$	-40	—	+125	°C	<a href="#">Note 1</a>
Storage Temperature Range	$T_A$	-65	—	+150	°C	
<b>Thermal Package Resistances</b>						
Thermal Resistance, 5-Lead SC70	$\theta_{JA}$	—	331	—	°C/W	
Thermal Resistance, 5-Lead SOT-23	$\theta_{JA}$	—	256	—	°C/W	
Thermal Resistance, 8-Lead PDIP	$\theta_{JA}$	—	85	—	°C/W	
Thermal Resistance, 8-Lead SOIC (150 mil)	$\theta_{JA}$	—	163	—	°C/W	
Thermal Resistance, 8-Lead MSOP	$\theta_{JA}$	—	206	—	°C/W	
Thermal Resistance, 8-Lead DFN (2x3)	$\theta_{JA}$	—	68	—	°C/W	
Thermal Resistance, 14-Lead PDIP	$\theta_{JA}$	—	70	—	°C/W	
Thermal Resistance, 14-Lead SOIC	$\theta_{JA}$	—	120	—	°C/W	
Thermal Resistance, 14-Lead TSSOP	$\theta_{JA}$	—	100	—	°C/W	

**Note 1:** The industrial temperature devices operate over this extended temperature range, but with reduced performance. In any case, the internal Junction Temperature ( $T_J$ ) must not exceed the Absolute Maximum specification of  $+150^\circ\text{C}$ .

## 1.1 Test Circuits

The circuit used for most DC and AC tests is shown in [Figure 1-1](#). This circuit can independently set  $V_{CM}$  and  $V_{OUT}$ ; see [Equation 1-1](#). Note that  $V_{CM}$  is not the circuit's Common-mode voltage ( $(V_P + V_M)/2$ ) and that  $V_{OST}$  includes  $V_{OS}$  plus the effects (on the input offset error,  $V_{OST}$ ) of temperature, CMRR, PSRR and  $A_{OL}$ .

### EQUATION 1-1:

$$G_{DM} = R_F/R_G$$

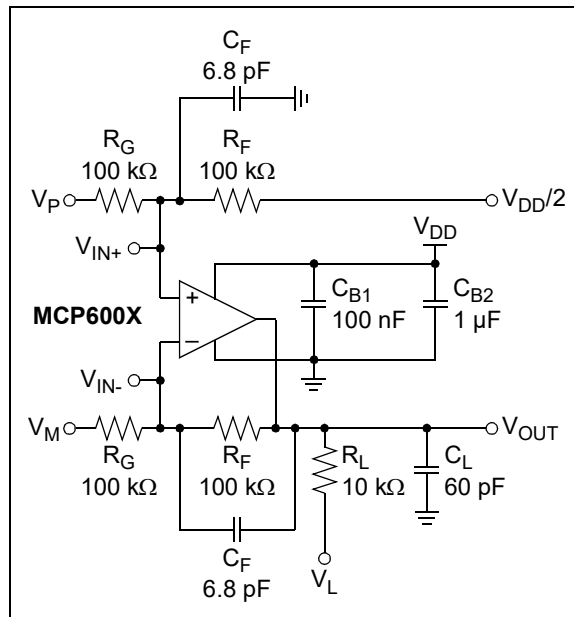
$$V_{CM} = (V_P + V_{DD}/2)/2$$

$$V_{OST} = V_{IN-} - V_{IN+}$$

$$V_{OUT} = (V_{DD}/2) + (V_P - V_M) + V_{OST}(1 + G_{DM})$$

Where:

$G_{DM}$	= Differential-Mode Gain	(V/V)
$V_{CM}$	= Op Amp's Common-Mode Input Voltage	(V)
$V_{OST}$	= Op Amp's Total Input Offset Voltage	(mV)



**FIGURE 1-1:** AC and DC Test Circuit for Most Specifications.

# MCP6001/1R/1U/2/4

---

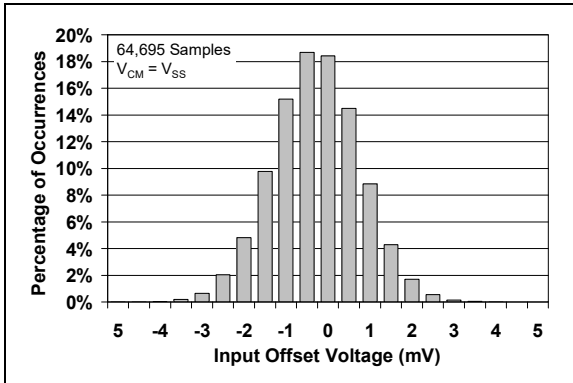
---

NOTES:

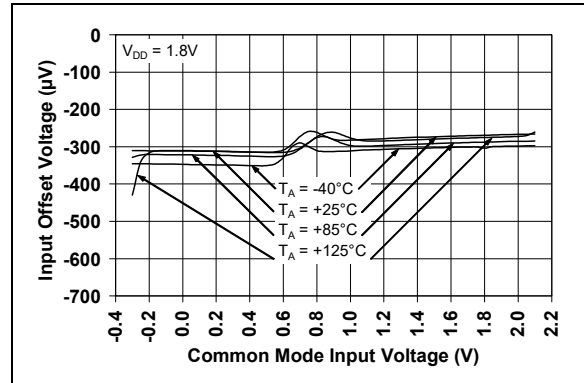
## 2.0 TYPICAL PERFORMANCE CURVES

**Note:** The graphs and tables provided following this note are a statistical summary based on a limited number of samples and are provided for informational purposes only. The performance characteristics listed herein are not tested or guaranteed. In some graphs or tables, the data presented may be outside the specified operating range (e.g., outside specified power supply range) and therefore outside the warranted range.

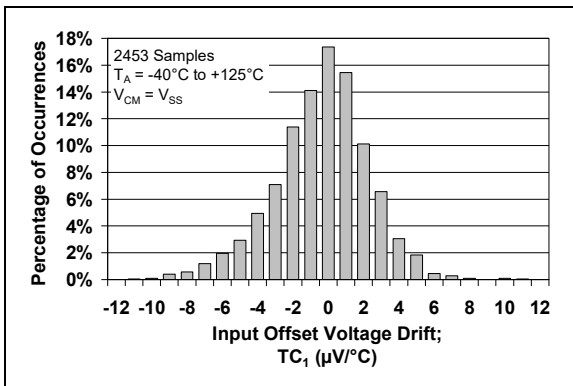
**Note:** Unless otherwise indicated,  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_{DD} = +1.8\text{V}$  to  $+5.5\text{V}$ ,  $V_{SS} = \text{GND}$ ,  $V_{CM} = V_{DD}/2$ ,  $V_{OUT} \approx V_{DD}/2$ ,  $V_L = V_{DD}/2$ ,  $R_L = 10\text{ k}\Omega$  to  $V_L$  and  $C_L = 60\text{ pF}$ .



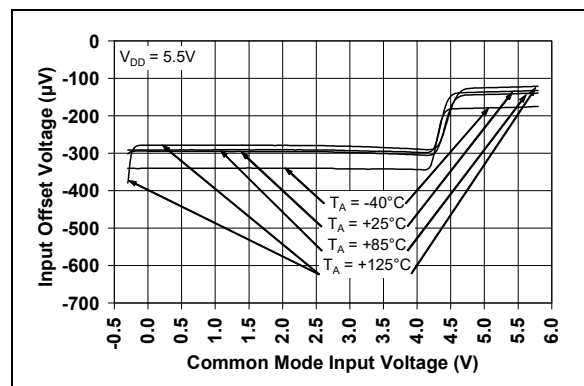
**FIGURE 2-1:** Input Offset Voltage.



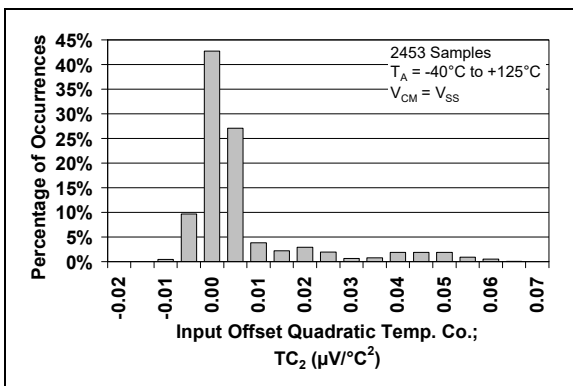
**FIGURE 2-4:** Input Offset Voltage vs. Common-Mode Input Voltage at  $V_{DD} = 1.8\text{V}$ .



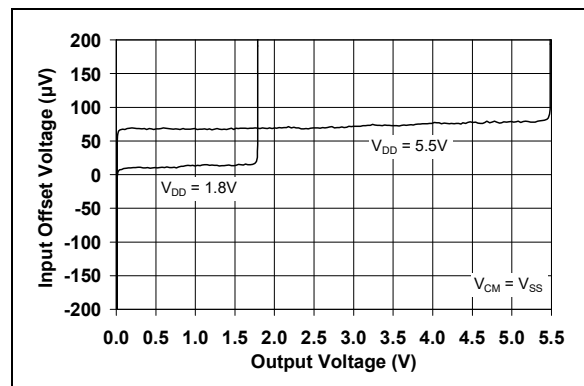
**FIGURE 2-2:** Input Offset Voltage Drift.



**FIGURE 2-5:** Input Offset Voltage vs. Common-Mode Input Voltage at  $V_{DD} = 5.5\text{V}$ .



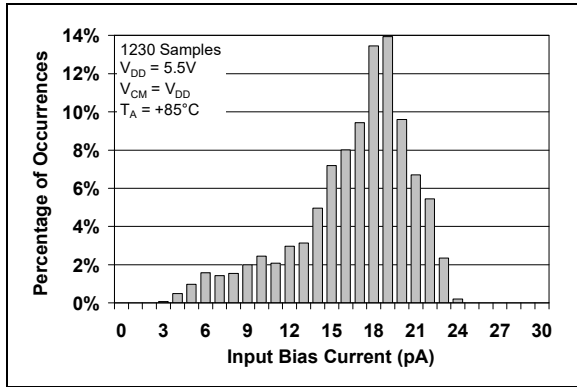
**FIGURE 2-3:** Input Offset Quadratic Temp. Co.



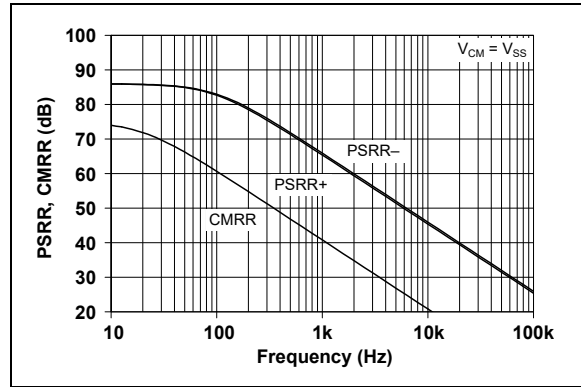
**FIGURE 2-6:** Input Offset Voltage vs. Output Voltage.

# MCP6001/1R/1U/2/4

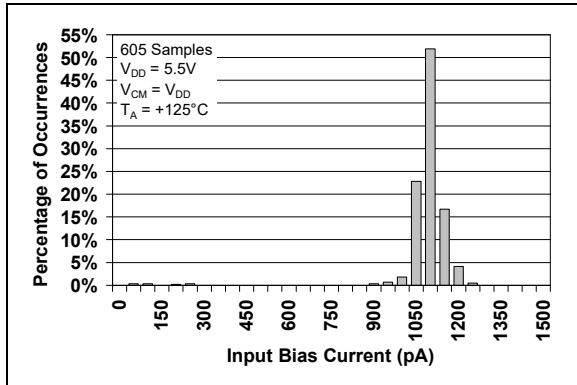
**Note:** Unless otherwise indicated,  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_{DD} = +1.8\text{V}$  to  $+5.5\text{V}$ ,  $V_{SS} = \text{GND}$ ,  $V_{CM} = V_{DD}/2$ ,  $V_{OUT} \approx V_{DD}/2$ ,  $V_L = V_{DD}/2$ ,  $R_L = 10\text{ k}\Omega$  to  $V_L$  and  $C_L = 60\text{ pF}$ .



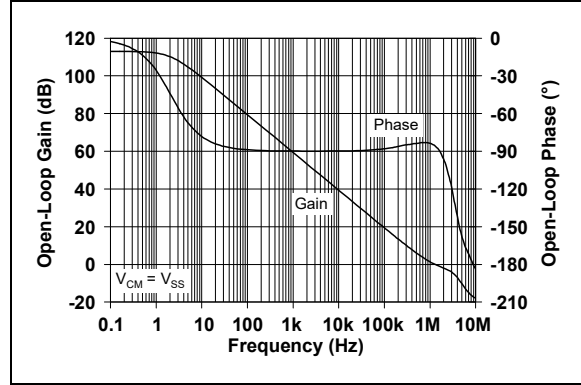
**FIGURE 2-7:** Input Bias Current at  $+85^\circ\text{C}$ .



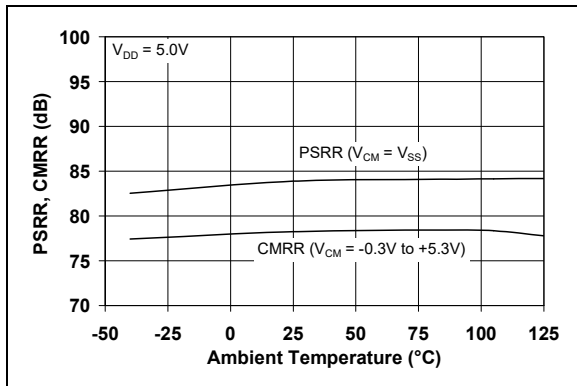
**FIGURE 2-10:** PSRR, CMRR vs. Frequency.



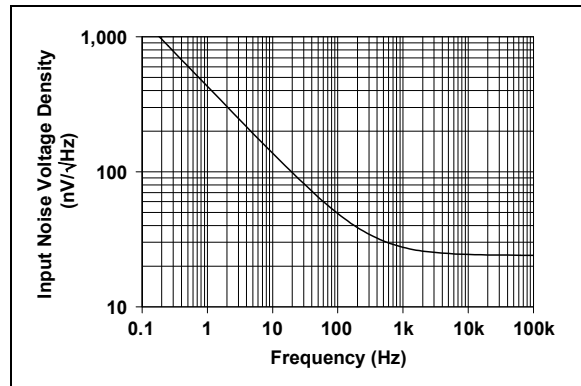
**FIGURE 2-8:** Input Bias Current at  $+125^\circ\text{C}$ .



**FIGURE 2-11:** Open-Loop Gain, Phase vs. Frequency.



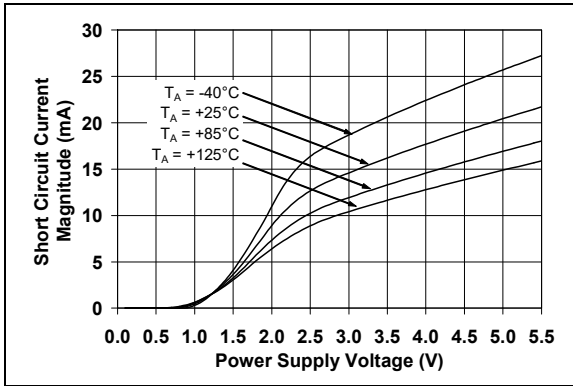
**FIGURE 2-9:** CMRR, PSRR vs. Ambient Temperature.



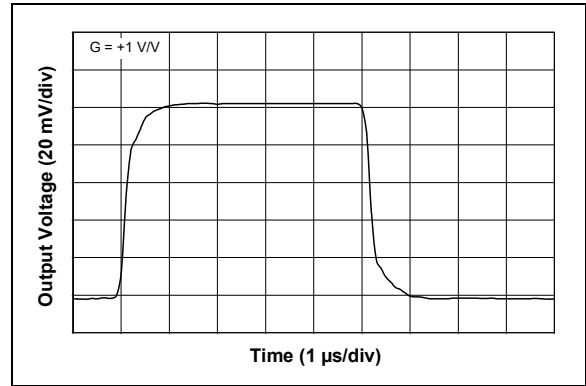
**FIGURE 2-12:** Input Noise Voltage Density vs. Frequency.

# MCP6001/1R/1U/2/4

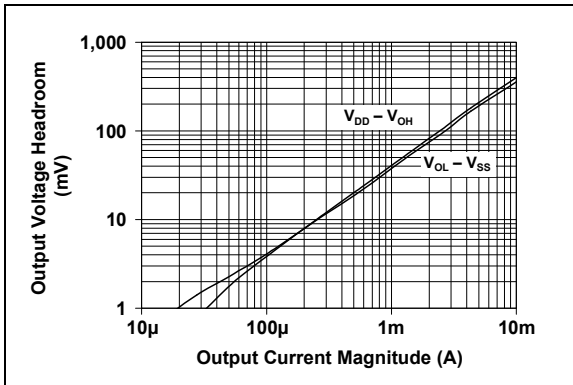
**Note:** Unless otherwise indicated,  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_{DD} = +1.8\text{V}$  to  $+5.5\text{V}$ ,  $V_{SS} = \text{GND}$ ,  $V_{CM} = V_{DD}/2$ ,  $V_{OUT} \approx V_{DD}/2$ ,  $V_L = V_{DD}/2$ ,  $R_L = 10\text{ k}\Omega$  to  $V_L$  and  $C_L = 60\text{ pF}$ .



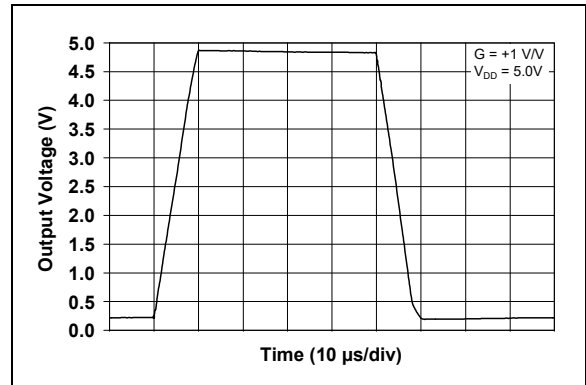
**FIGURE 2-13:** Output Short-Circuit Current vs. Power Supply Voltage.



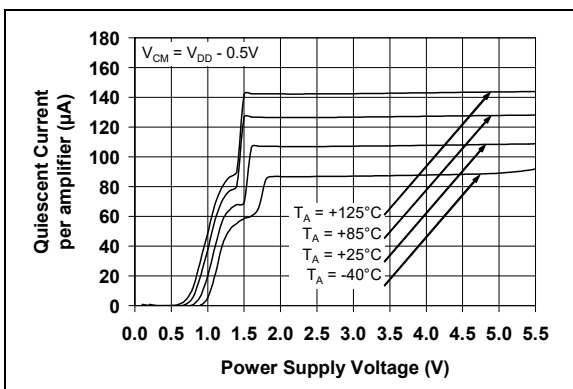
**FIGURE 2-16:** Small-Signal, Noninverting Pulse Response.



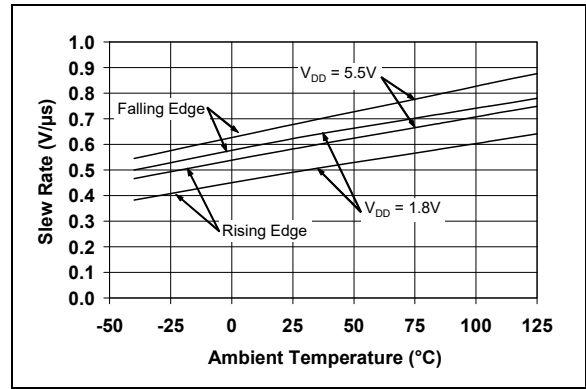
**FIGURE 2-14:** Output Voltage Headroom vs. Output Current Magnitude.



**FIGURE 2-17:** Large-Signal, Noninverting Pulse Response.



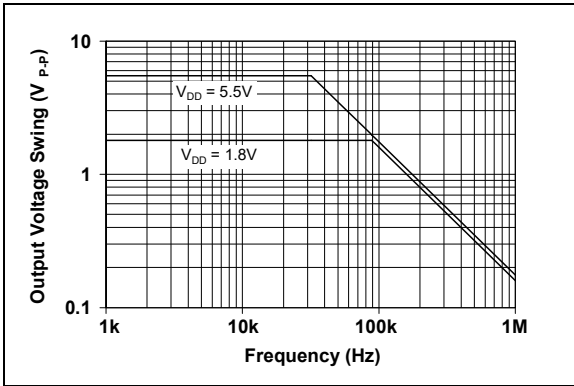
**FIGURE 2-15:** Quiescent Current vs. Power Supply Voltage.



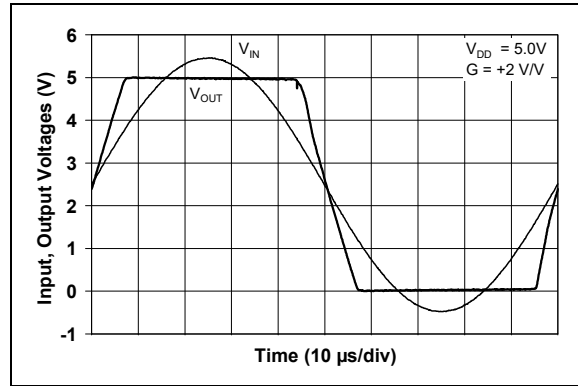
**FIGURE 2-18:** Slew Rate vs. Ambient Temperature.

# MCP6001/1R/1U/2/4

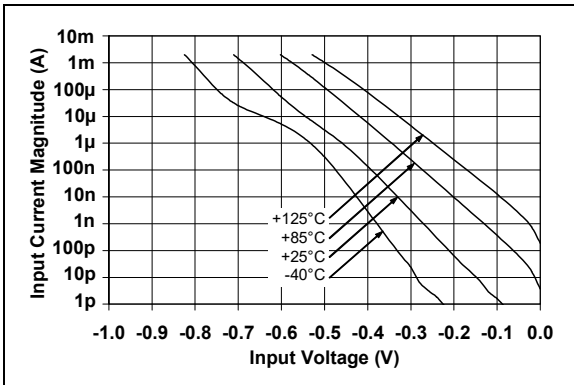
**Note:** Unless otherwise indicated,  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_{DD} = +1.8\text{V}$  to  $+5.5\text{V}$ ,  $V_{SS} = \text{GND}$ ,  $V_{CM} = V_{DD}/2$ ,  $V_{OUT} \approx V_{DD}/2$ ,  $V_L = V_{DD}/2$ ,  $R_L = 10\text{ k}\Omega$  to  $V_L$  and  $C_L = 60\text{ pF}$ .



**FIGURE 2-19:** Output Voltage Swing vs. Frequency.



**FIGURE 2-21:** The MCP6001/2/4 Show No Phase Reversal.



**FIGURE 2-20:** Measured Input Current vs. Input Voltage (below  $V_{SS}$ ).



# MCP6001/1R/1U/2/4

## 3.0 PIN DESCRIPTIONS

Descriptions of the pins are listed in [Table 3-1](#).

**TABLE 3-1: PIN FUNCTION TABLE**

MCP6001	MCP6001R	MCP6001U	MCP6002		MCP6004	Symbol	Description
5-Lead SC70, SOT-23	5-Lead SOT-23	5-Lead SOT-23	8-Lead MSOP, PDIP, SOIC	8-Lead 2x3 DFN	8-Lead PDIP, SOIC, TSSOP		
1	1	4	1	1	1	$V_{OUT}, V_{OUTA}$	Analog Output (Op Amp A)
4	4	3	2	2	2	$V_{IN}^-, V_{INA}^-$	Inverting Input (Op Amp A)
3	3	1	3	3	3	$V_{IN}^+, V_{INA}^+$	Noninverting Input (Op Amp A)
5	2	5	8	8	4	$V_{DD}$	Positive Power Supply
—	—	—	5	5	5	$V_{INB}^+$	Noninverting Input (Op Amp B)
—	—	—	6	6	6	$V_{INB}^-$	Inverting Input (Op Amp B)
—	—	—	7	7	7	$V_{OUTB}$	Analog Output (Op Amp B)
—	—	—	—	—	8	$V_{OUTC}$	Analog Output (Op Amp C)
—	—	—	—	—	9	$V_{INC}^-$	Inverting Input (Op Amp C)
—	—	—	—	—	10	$V_{INC}^+$	Noninverting Input (Op Amp C)
2	5	2	4	4	11	$V_{SS}$	Negative Power Supply
—	—	—	—	—	12	$V_{IND}^+$	Noninverting Input (Op Amp D)
—	—	—	—	—	13	$V_{IND}^-$	Inverting Input (Op Amp D)
—	—	—	—	—	14	$V_{OUTD}$	Analog Output (Op Amp D)
—	—	—	—	9	—	EP	Exposed Thermal Pad (EP); must be connected to $V_{SS}$ .

### 3.1 Analog Outputs

The output pins are low-impedance voltage sources.

### 3.2 Analog Inputs

The noninverting and inverting inputs are high-impedance CMOS inputs with low bias currents.

### 3.3 Power Supply Pins

The positive power supply ( $V_{DD}$ ) is 1.8V to 6.0V higher than the negative power supply ( $V_{SS}$ ). For normal operation, the other pins are at voltages between  $V_{SS}$  and  $V_{DD}$ .

Typically, these parts are used in a single (positive) supply configuration. In this case,  $V_{SS}$  is connected to ground and  $V_{DD}$  is connected to the supply.  $V_{DD}$  will need bypass capacitors.

### 3.4 Exposed Thermal Pad (EP)

There is an internal electrical connection between the Exposed Thermal Pad (EP) and the  $V_{SS}$  pin; they must be connected to the same potential on the Printed Circuit Board (PCB).

# MCP6001/1R/1U/2/4

---

---

NOTES:

## 4.0 APPLICATION INFORMATION

The MCP6001/2/4 family of op amps is manufactured using Microchip's state-of-the-art CMOS process and is specifically designed for low-cost, low-power and general purpose applications. The low supply voltage, low quiescent current and wide bandwidth makes the MCP6001/2/4 ideal for battery-powered applications. These devices have high phase margin, which makes them stable for larger capacitive load applications.

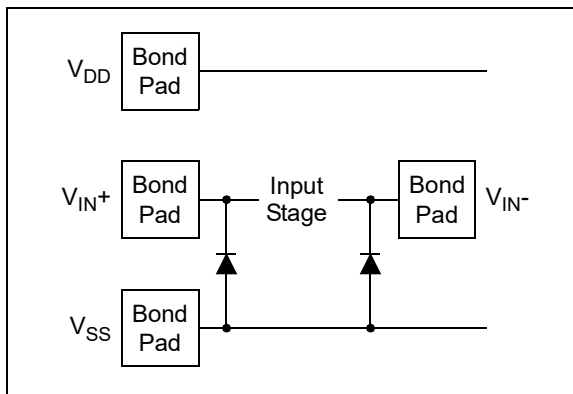
### 4.1 Rail-to-Rail Inputs

#### 4.1.1 PHASE REVERSAL

The MCP6001/1R/1U/2/4 op amp is designed to prevent phase reversal when the input pins exceed the supply voltages. Figure 2-21 shows the input voltage exceeding the supply voltage without any phase reversal.

#### 4.1.2 INPUT VOLTAGE AND CURRENT LIMITS

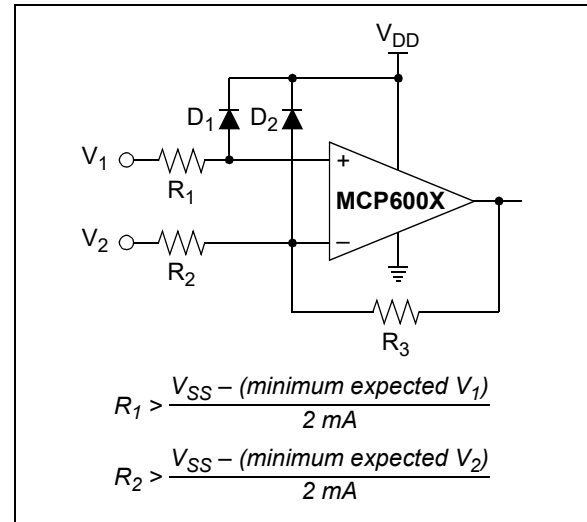
The ESD protection on the inputs can be depicted as shown in Figure 4-1. This structure was chosen to protect the input transistors and to minimize Input Bias ( $I_B$ ) current. The input ESD diodes clamp the inputs when they try to go more than one diode drop below  $V_{SS}$ . They also clamp any voltages that go too far above  $V_{DD}$ ; their breakdown voltage is high enough to allow normal operation and low enough to bypass quick ESD events within the specified limits.



**FIGURE 4-1:** Simplified Analog Input ESD Structures.

In order to prevent damage and/or improper operation of these op amps, the circuit they are in must limit the currents and voltages at the  $V_{IN+}$  and  $V_{IN-}$  pins (see [Absolute Maximum Ratings†](#) at the beginning of [Section 1.0 “Electrical Characteristics”](#)). Figure 4-2 shows the recommended approach to protecting these inputs. The internal ESD diodes prevent the input pins ( $V_{IN+}$  and  $V_{IN-}$ ) from going too far below ground, and the resistors,  $R_1$  and  $R_2$ , limit the possible current drawn out of the input pins. Diodes,  $D_1$  and  $D_2$ , prevent the input pins ( $V_{IN+}$  and  $V_{IN-}$ ) from going too far above

$V_{DD}$ , and dump any currents onto  $V_{DD}$ . When implemented as shown, resistors,  $R_1$  and  $R_2$ , also limit the current through  $D_1$  and  $D_2$ .



**FIGURE 4-2:** Protecting the Analog Inputs.

It is also possible to connect the diodes to the left of resistors,  $R_1$  and  $R_2$ . In this case, current through the diodes,  $D_1$  and  $D_2$ , needs to be limited by some other mechanism. The resistors then serve as inrush current limiters; the DC current into the input pins ( $V_{IN+}$  and  $V_{IN-}$ ) should be very small.

A significant amount of current can flow out of the inputs when the Common-Mode Voltage ( $V_{CM}$ ) is below ground ( $V_{SS}$ ); see Figure 2-20. Applications that are high-impedance may need to limit the usable voltage range.

#### 4.1.3 NORMAL OPERATION

The input stage of the MCP6001/1R/1U/2/4 op amps use two differential CMOS input stages in parallel. One operates at low Common-mode input voltage ( $V_{CM}$ ), while the other operates at high  $V_{CM}$ . With this topology, the device operates with  $V_{CM}$  up to 0.3V above  $V_{DD}$  and 0.3V below  $V_{SS}$ .

The transition between the two input stages occurs when  $V_{CM} = V_{DD} - 1.1V$ . For the best distortion and gain linearity, with noninverting gains, avoid this region of operation.

## 4.2 Rail-to-Rail Output

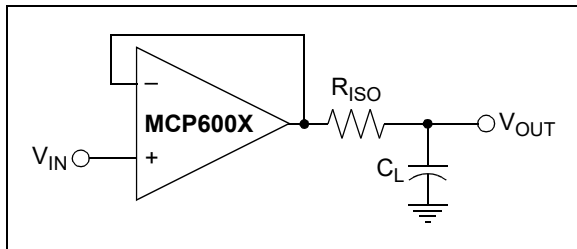
The output voltage range of the MCP6001/2/4 op amps is  $V_{DD} - 25$  mV (minimum), and  $V_{SS} + 25$  mV (maximum) when  $R_L = 10$  k $\Omega$  is connected to  $V_{DD}/2$  and  $V_{DD} = 5.5V$ . Refer to Figure 2-14 for more information.

# MCP6001/1R/1U/2/4

## 4.3 Capacitive Loads

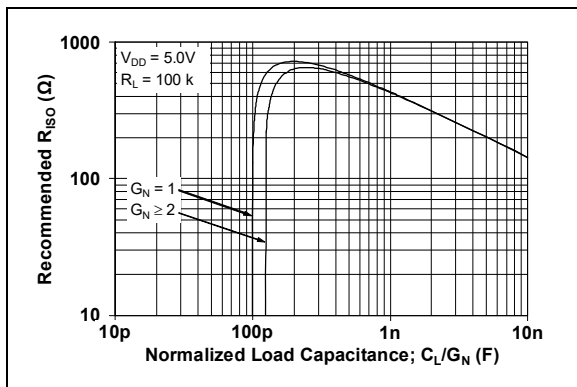
Driving large capacitive loads can cause stability problems for voltage feedback op amps. As the load capacitance increases, the feedback loop's phase margin decreases and the closed-loop bandwidth is reduced. This produces gain peaking in the frequency response, with overshoot and ringing in the step response. While a unity gain buffer ( $G = +1$ ) is the most sensitive to capacitive loads, all gains show the same general behavior.

When driving large capacitive loads with these op amps (e.g.,  $>100$  pF when  $G = +1$ ), a small series resistor at the output ( $R_{ISO}$  in Figure 4-3) improves the feedback loop's phase margin (stability) by making the output load resistive at higher frequencies. The bandwidth will be generally lower than the bandwidth with no capacitance load.



**FIGURE 4-3:** Output Resistor,  $R_{ISO}$ , Stabilizes Large Capacitive Loads.

Figure 4-4 gives recommended  $R_{ISO}$  values for different capacitive loads and gains. The x-axis is the normalized load capacitance ( $C_L/G_N$ ), where  $G_N$  is the circuit's noise gain. For noninverting gains,  $G_N$  and the signal gain are equal. For inverting gains,  $G_N$  is  $1+|\text{Signal Gain}|$  (e.g.,  $-1$  V/V gives  $G_N = +2$  V/V).



**FIGURE 4-4:** Recommended  $R_{ISO}$  Values for Capacitive Loads.

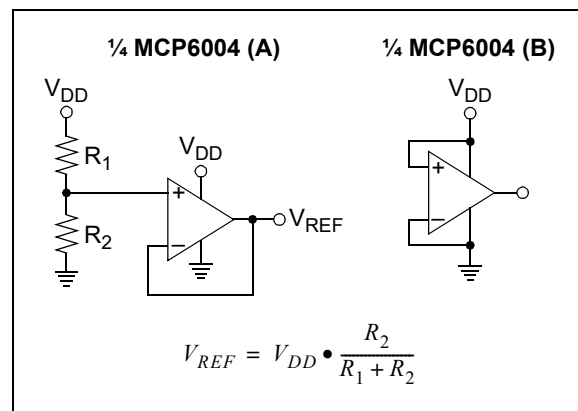
After selecting  $R_{ISO}$  for your circuit, double-check the resulting frequency response peaking and step response overshoot. Modify  $R_{ISO}$ 's value until the response is reasonable. Bench evaluation and simulations with the MCP6001/1R/1U/2/4 SPICE macro model are very helpful.

## 4.4 Supply Bypass

With this family of operational amplifiers, the power supply pin ( $V_{DD}$  for single supply) should have a local bypass capacitor (i.e.,  $0.01$   $\mu\text{F}$  to  $0.1$   $\mu\text{F}$ ) within 2 mm for good high-frequency performance. It also needs a bulk capacitor (i.e.,  $1$   $\mu\text{F}$  or larger) within 100 mm to provide large, slow currents. This bulk capacitor can be shared with nearby analog parts.

## 4.5 Unused Op Amps

An unused op amp in a quad package (MCP6004) should be configured as shown in Figure 4-5. These circuits prevent the output from toggling and causing crosstalk. Circuit A sets the op amp at its minimum noise gain. The resistor divider produces any desired reference voltage within the output voltage range of the op amp; the op amp buffers that reference voltage. Circuit B uses the minimum number of components and operates as a comparator, but it may draw more current.

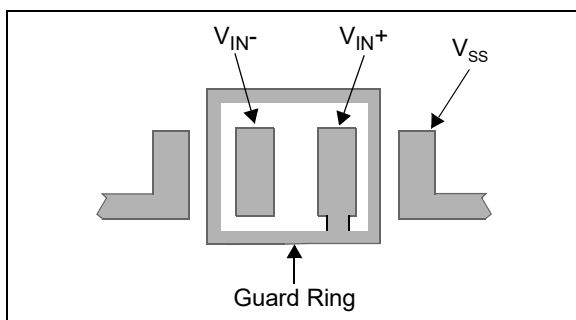


**FIGURE 4-5:** Unused Op Amps.

## 4.6 PCB Surface Leakage

In applications where low input bias current is critical, Printed Circuit Board (PCB) surface leakage effects need to be considered. Surface leakage is caused by humidity, dust or other contamination on the board. Under low humidity conditions, a typical resistance between nearby traces is  $10^{12}\Omega$ . A 5V difference would cause 5 pA of current to flow, which is greater than the MCP6001/1R/1U/2/4 family's bias current at +25°C (typically 1 pA).

The easiest way to reduce surface leakage is to use a guard ring around sensitive pins (or traces). The guard ring is biased at the same voltage as the sensitive pin. An example of this type of layout is shown in Figure 4-6.



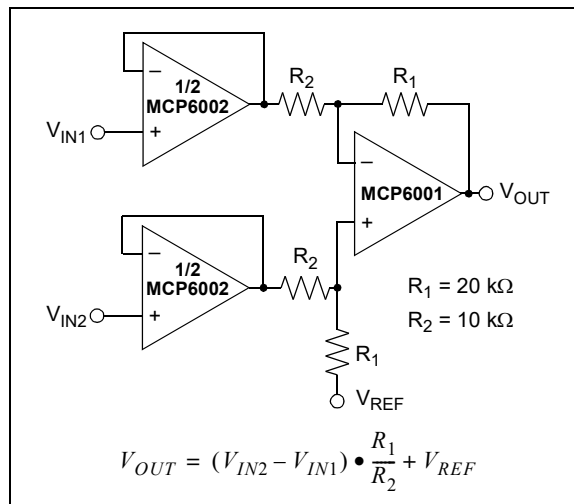
**FIGURE 4-6:** Example Guard Ring Layout for Inverting Gain.

1. Noninverting Gain and Unity Gain Buffer:
  - a. Connect the noninverting pin ( $V_{IN+}$ ) to the input with a wire that does not touch the PCB surface.
  - b. Connect the guard ring to the inverting input pin ( $V_{IN-}$ ). This biases the guard ring to the Common-mode input voltage.
2. Inverting Gain and Transimpedance Gain Amplifiers (convert current to voltage, such as photo detectors):
  - a. Connect the guard ring to the noninverting input pin ( $V_{IN+}$ ). This biases the guard ring to the same reference voltage as the op amp (e.g.,  $V_{DD}/2$  or ground).
  - b. Connect the inverting pin ( $V_{IN-}$ ) to the input with a wire that does not touch the PCB surface.

## 4.7 Application Circuits

### 4.7.1 UNITY GAIN BUFFER

The rail-to-rail input and output capability of the MCP6001/2/4 op amp is ideal for unity gain buffer applications. The low quiescent current and wide bandwidth makes the device suitable for a buffer configuration in an instrumentation amplifier circuit, as shown in Figure 4-7.



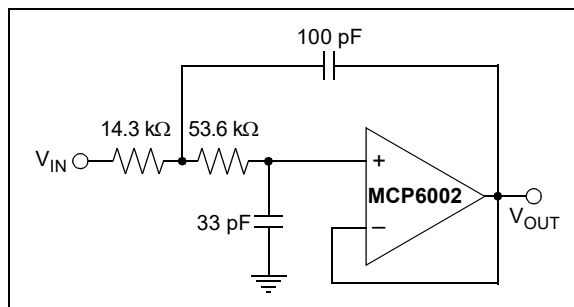
**FIGURE 4-7:** Instrumentation Amplifier with Unity Gain Buffer Inputs.

### 4.7.2 ACTIVE LOW-PASS FILTER

The MCP6001/2/4 op amp's low input bias current makes it possible for the designer to use larger resistors and smaller capacitors for active low-pass filter applications. However, as the resistance increases, the noise generated also increases. Parasitic capacitances and the large value resistors could also modify the frequency response. These trade-offs need to be considered when selecting circuit elements.

Usually, the op amp bandwidth is 100x the filter cutoff frequency (or higher) for good performance. It is possible to have the op amp bandwidth 10x higher than the cutoff frequency, thus having a design that is more sensitive to component tolerances.

Figure 4-8 shows a second-order Butterworth filter with 100 kHz cutoff frequency and a gain of +1 V/V; the op amp bandwidth is only 10x higher than the cutoff frequency. The component values were selected using Microchip's FilterLab<sup>®</sup> software.



**FIGURE 4-8:** Active Second-Order Low-Pass Filter.

# MCP6001/1R/1U/2/4

## 4.7.3 PEAK DETECTOR

The MCP6001/2/4 op amp has a high input impedance, rail-to-rail input/output and low input bias current, which makes this device suitable for peak detector applications. Figure 4-9 shows a peak detector circuit with clear and sample switches. The peak detection cycle uses a clock (CLK), as shown in Figure 4-9.

At the rising edge of the CLK, the sample switch closes to begin sampling. The peak voltage stored on  $C_1$  is sampled to  $C_2$  for a sample time defined by  $t_{SAMP}$ . At the end of the sample time (falling edge of sample signal), the clear signal goes high and closes the clear switch. When the clear switch closes,  $C_1$  discharges through  $R_1$  for a time defined by  $t_{CLEAR}$ . At the end of the clear time (falling edge of the clear signal), Op Amp A begins to store the peak value of  $V_{IN}$  on  $C_1$  for a time defined by  $t_{DETECT}$ .

In order to define  $t_{SAMP}$  and  $t_{CLEAR}$ , it is necessary to determine the capacitor charging and discharging period. The capacitor charging time is limited by the amplifier source current, while the discharging time ( $\tau$ ) is defined using  $R_1$  ( $\tau = R_1 C_1$ ).  $t_{DETECT}$  is the time that the input signal is sampled on  $C_1$  and is dependent on the input voltage change frequency.

The op amp output current limit, and the size of the storage capacitors (both  $C_1$  and  $C_2$ ), could create slewing limitations as the Input Voltage ( $V_{IN}$ ) increases. Current through a capacitor is dependent on the size of the capacitor and the rate of voltage change. From this relationship, the rate of voltage change or the slew rate

can be determined. For example, with an op amp short-circuit current of  $I_{SC} = 25 \text{ mA}$  and a load capacitor of  $C_1 = 0.1 \mu\text{F}$ , then:

### EQUATION 4-1:

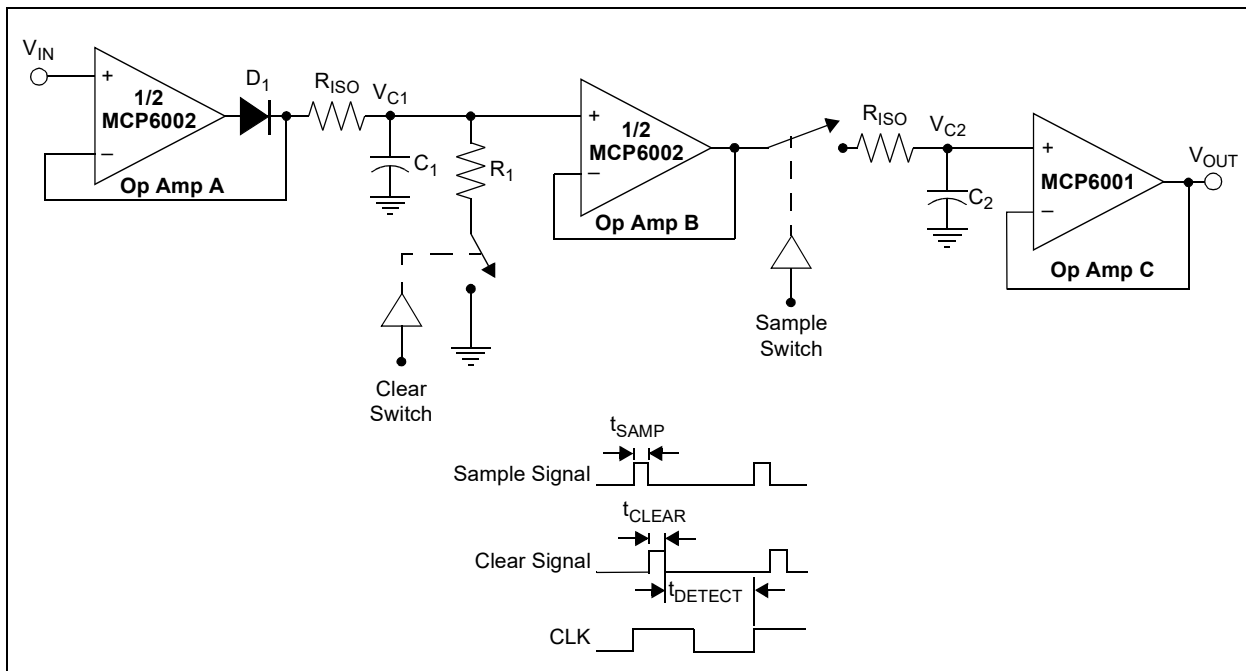
$$I_{SC} = C_1 \frac{dV_{C1}}{dt}$$

$$\frac{dV_{C1}}{dt} = \frac{I_{SC}}{C_1}$$

$$= \frac{25 \text{ mA}}{0.1 \mu\text{F}}$$

$$\frac{dV_{C1}}{dt} = 250 \text{ mV}/\mu\text{s}$$

This voltage rate of change is less than the MCP6001/2/4 slew rate of  $0.6 \text{ V}/\mu\text{s}$ . When the input voltage swings below the voltage across  $C_1$ ,  $D_1$  becomes reverse-biased. This opens the feedback loop and rails the amplifier. When the input voltage increases, the amplifier recovers at its slew rate. Based on the rate of voltage change shown in the above equation, it takes an extended period of time to charge a  $0.1 \mu\text{F}$  capacitor. The capacitors need to be selected so that the circuit is not limited by the amplifier slew rate. Therefore, the capacitors should be less than  $40 \mu\text{F}$  and a stabilizing resistor ( $R_{ISO}$ ) needs to be properly selected. (Refer to Section 4.3 "Capacitive Loads".)



**FIGURE 4-9:** Peak Detector with Clear and Sample CMOS Analog Switches.

## 5.0 DESIGN AIDS

Microchip provides the basic design tools needed for the MCP6001/1R/1U/2/4 family of op amps.

### 5.1 SPICE Macro Model

The latest SPICE macro model for the MCP6001/1R/1U/2/4 op amps is available on the Microchip website at [www.microchip.com](http://www.microchip.com). The model was written and tested in official OrCAD™ (Cadence®) owned PSpice®. For the other simulators, it may require translation.

The model covers a wide aspect of the op amp's electrical specifications. Not only does the model cover voltage, current and resistance of the op amp, but it also covers the temperature and noise effects on the behavior of the op amp. The model has not been verified outside of the specification range listed in the op amp data sheet. The model behaviors under these conditions can not be ensured that it will match the actual op amp performance.

Moreover, the model is intended to be an initial design tool. Bench testing is a very important part of any design and cannot be replaced with simulations. Also, simulation results using this macro model need to be validated by comparing them to the data sheet specifications and characteristic curves.

### 5.2 FilterLab® Software

Microchip's FilterLab® software is an innovative software tool that simplifies analog active filter (using op amps) design. Available at no cost from the Microchip website at [www.microchip.com/filterlab](http://www.microchip.com/filterlab), the FilterLab design tool provides full schematic diagrams of the filter circuit with component values. It also outputs the filter circuit in SPICE format, which can be used with the macro model to simulate actual filter performance.

### 5.3 Mindi™ Circuit Designer and Analog Simulator

Microchip's Mindi™ Circuit Designer and Analog Simulator aids in the design of various circuits useful for active filter, amplifier and power management applications. It is a free online circuit designer and simulator available from the Microchip website at [www.microchip.com/mindi](http://www.microchip.com/mindi). This interactive circuit designer and analog simulator enables designers to quickly generate circuit diagrams and simulate circuits. Circuits developed using the Mindi Circuit Designer and Analog Simulator can be downloaded to a personal computer or workstation.

### 5.4 Microchip Advanced Part Selector (MAPS)

MAPS is a software tool that helps semiconductor professionals efficiently identify Microchip devices that fit a particular design requirement. Available at no cost from the Microchip website at [www.microchip.com/maps](http://www.microchip.com/maps), the MAPS is an overall selection tool for Microchip's product portfolio that includes Analog, Memory, MCUs and DSCs. Using this tool you can define a filter to sort features for a parametric search of devices and export side-by-side technical comparison reports. Helpful links are also provided for Data Sheets, Purchase and Sampling of Microchip parts.

### 5.5 Analog Demonstration and Evaluation Boards

Microchip offers a broad spectrum of Analog Demonstration and Evaluation Boards that are designed to help you achieve faster time to market. For a complete listing of these boards and their corresponding user's guides and technical information, visit the Microchip website at [www.microchip.com/analogtools](http://www.microchip.com/analogtools).

Some boards that are especially useful are:

- MCP6XXX Amplifier Evaluation Board 1
- MCP6XXX Amplifier Evaluation Board 2
- MCP6XXX Amplifier Evaluation Board 3
- MCP6XXX Amplifier Evaluation Board 4
- Active Filter Demo Board Kit
- 5/6-Pin SOT-23 Evaluation Board, P/N VSUPEV2
- 8-Pin SOIC/MSOP/TSSOP/DIP Evaluation Board, P/N SOIC8EV
- 14-Pin SOIC/TSSOP/DIP Evaluation Board, P/N SOIC14EV

# MCP6001/1R/1U/2/4

---

## 5.6 Application Notes

The following Microchip Analog Design Note and Application Notes are available on the Microchip website at [www.microchip.com/appnotes](http://www.microchip.com/appnotes) and are recommended as supplemental reference resources.

- **ADN003:** “*Select the Right Operational Amplifier for your Filtering Circuits*” (DS21821)
- **AN722:** “*Operational Amplifier Topologies and DC Specifications*” (DS00722)
- **AN723:** “*Operational Amplifier AC Specifications and Applications*” (DS00723)
- **AN884:** “*Driving Capacitive Loads With Op Amps*” (DS00884)

- **AN990:** “*Analog Sensor Conditioning Circuits – An Overview*” (DS00990)
- **AN1177:** “*Op Amp Precision Design: DC Errors*” (DS01177)
- **AN1228:** “*Op Amp Precision Design: Random Noise*” (DS01228)
- **AN1297:** “*Microchip’s Op Amp SPICE Macro Models*” (DS01297)

These application notes and others are listed in the design guide:

- “*Signal Chain Design Guide*” (DS21825)

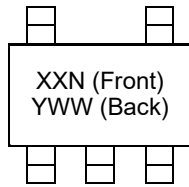


# MCP6001/1R/1U/2/4

## 6.0 PACKAGING INFORMATION

### 6.1 Package Marking Information

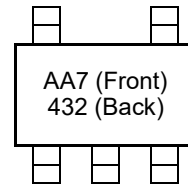
#### 5-Lead SC-70 (MCP6001)



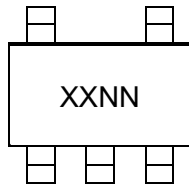
Device	I-Temp Code	E-Temp Code
MCP6001	AAN	CDN

Note: Applies to 5-Lead SC-70.

Example: (I-Temp)



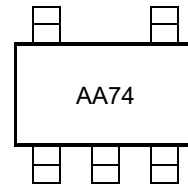
OR



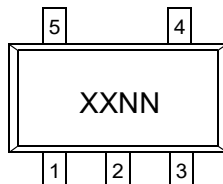
Device	I-Temp Code	E-Temp Code
MCP6001	AANN	CDNN

Note: Applies to 5-Lead SC-70.

OR



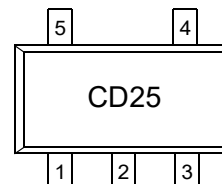
#### 5-Lead SOT-23 (MCP6001/1R/1U)



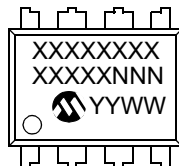
Device	I-Temp Code	E-Temp Code
MCP6001	AANN	CDNN
MCP6001R	ADNN	CENN
MCP6001U	AFNN	CFNN

Note: Applies to 5-Lead SOT-23.

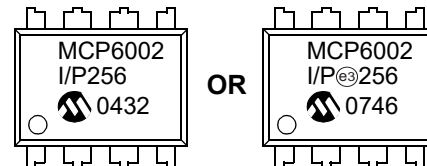
Example: (E-Temp)



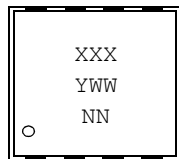
#### 8-Lead PDIP (300 mil)



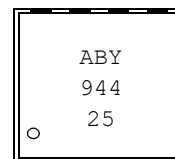
Example:



#### 8-Lead DFN (2 x 3)



Example:



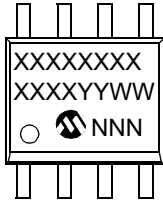
<b>Legend:</b>	XX...X	Customer-specific information
	Y	Year code (last digit of calendar year)
	YY	Year code (last 2 digits of calendar year)
	WW	Week code (week of January 1 is week '01')
	NNN	Alphanumeric traceability code
	(e3)	Pb-free JEDEC designator for Matte Tin (Sn)
	*	This package is Pb-free. The Pb-free JEDEC designator (e3) can be found on the outer packaging for this package.

**Note:** In the event the full Microchip part number cannot be marked on one line, it will be carried over to the next line, thus limiting the number of available characters for customer-specific information.

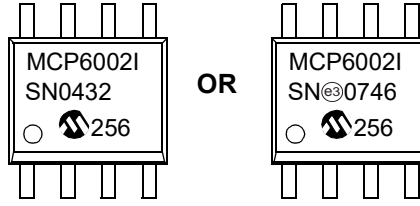
# MCP6001/1R/1U/2/4

## Package Marking Information (Continued)

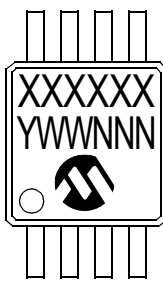
8-Lead SOIC (150 mil)



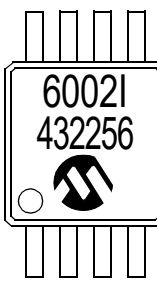
Example:



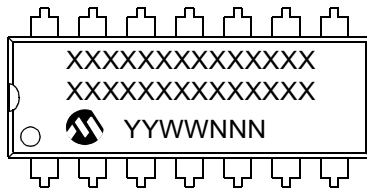
8-Lead MSOP



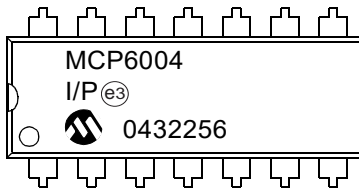
Example:



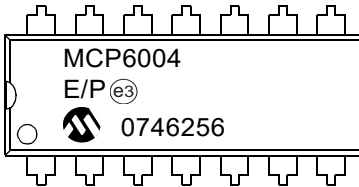
14-Lead PDIP (300 mil) (MCP6004)



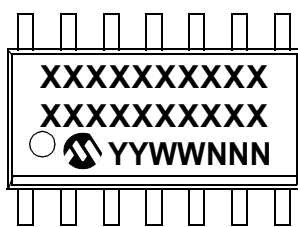
Example:



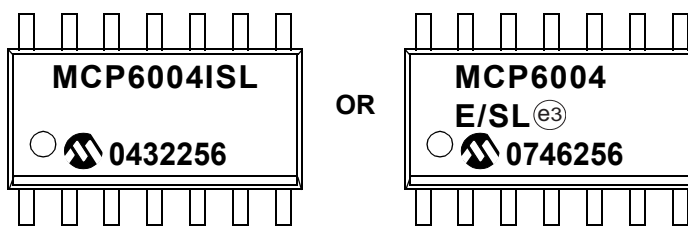
OR



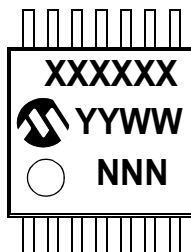
14-Lead SOIC (150 mil) (MCP6004)



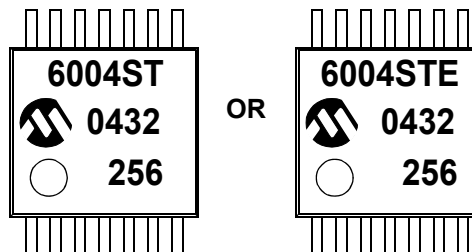
Example:



14-Lead TSSOP (MCP6004)



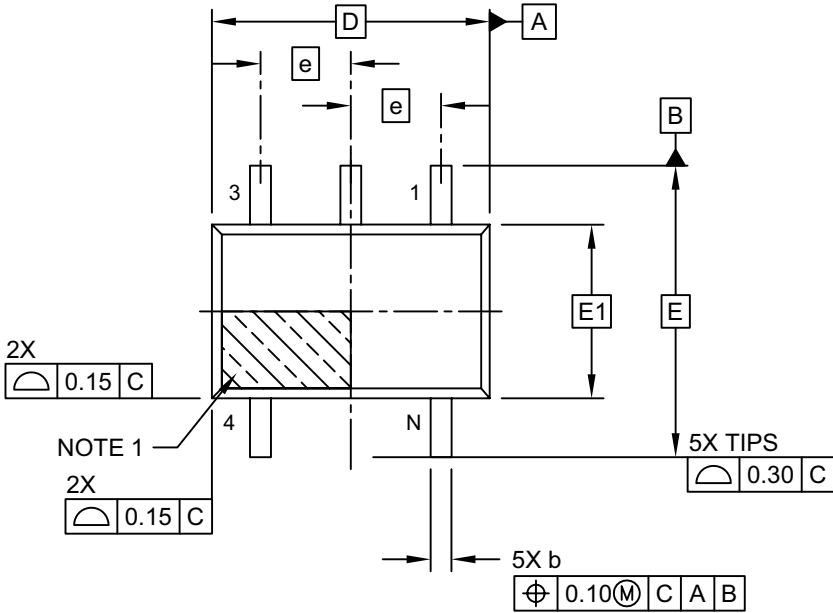
Example:



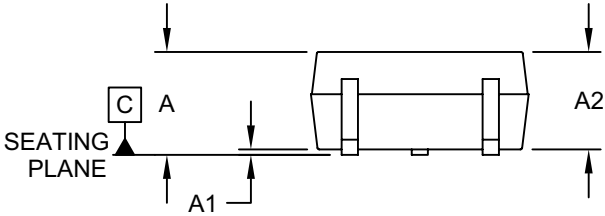
# MCP6001/1R/1U/2/4

## 5-Lead Plastic Small Outline Transistor (LT) [SC70]

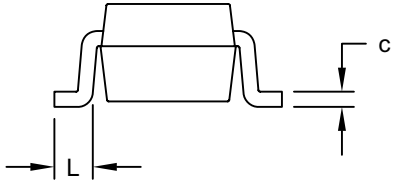
**Note:** For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>



TOP VIEW



SIDE VIEW

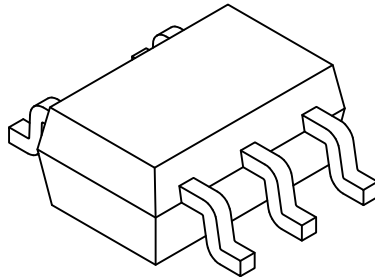


END VIEW

# MCP6001/1R/1U/2/4

## 5-Lead Plastic Small Outline Transistor (LT) [SC70]

**Note:** For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>



Dimension Limits	Units	MILLIMETERS		
		MIN	NOM	MAX
Number of Pins	N	5		
Pitch	e	0.65 BSC		
Overall Height	A	0.80	-	1.10
Standoff	A1	0.00	-	0.10
Molded Package Thickness	A2	0.80	-	1.00
Overall Length	D	2.00 BSC		
Overall Width	E	2.10 BSC		
Molded Package Width	E1	1.25 BSC		
Terminal Width	b	0.15	-	0.40
Terminal Length	L	0.10	0.20	0.46
Lead Thickness	c	0.08	-	0.26

### Notes:

1. Pin 1 visual index feature may vary, but must be located within the hatched area.
2. Dimensions D and E1 do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15mm per side.
3. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M

BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

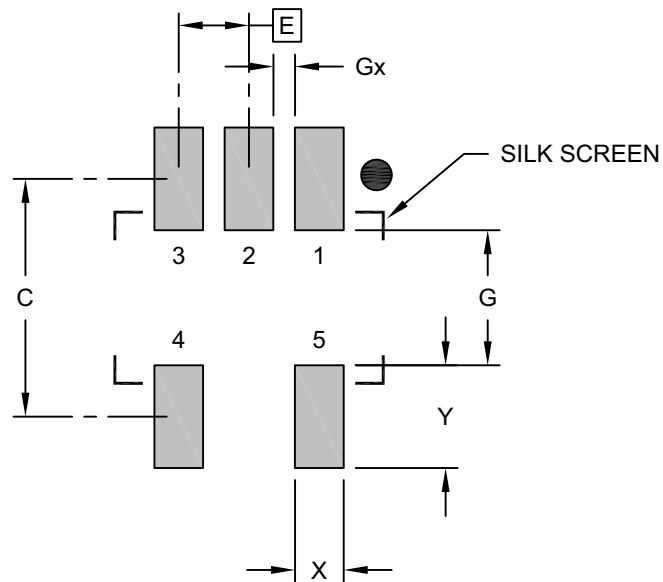
REF: Reference Dimension, usually without tolerance, for information purposes only.

Microchip Technology Drawing C04-061-LT Rev E Sheet 2 of 2

# MCP6001/1R/1U/2/4

## 5-Lead Plastic Small Outline Transistor (LT) [SC70]

**Note:** For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>



RECOMMENDED LAND PATTERN

Dimension Limits	Units	MILLIMETERS		
		MIN	NOM	MAX
Contact Pitch	E	0.65 BSC		
Contact Pad Spacing	C		2.20	
Contact Pad Width	X			0.45
Contact Pad Length	Y			0.95
Distance Between Pads	G	1.25		
Distance Between Pads	Gx	0.20		

**Notes:**

1. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M

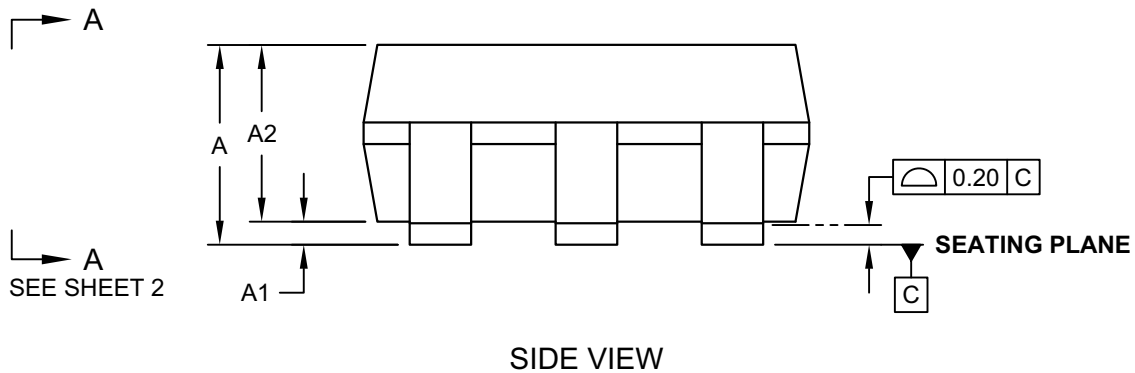
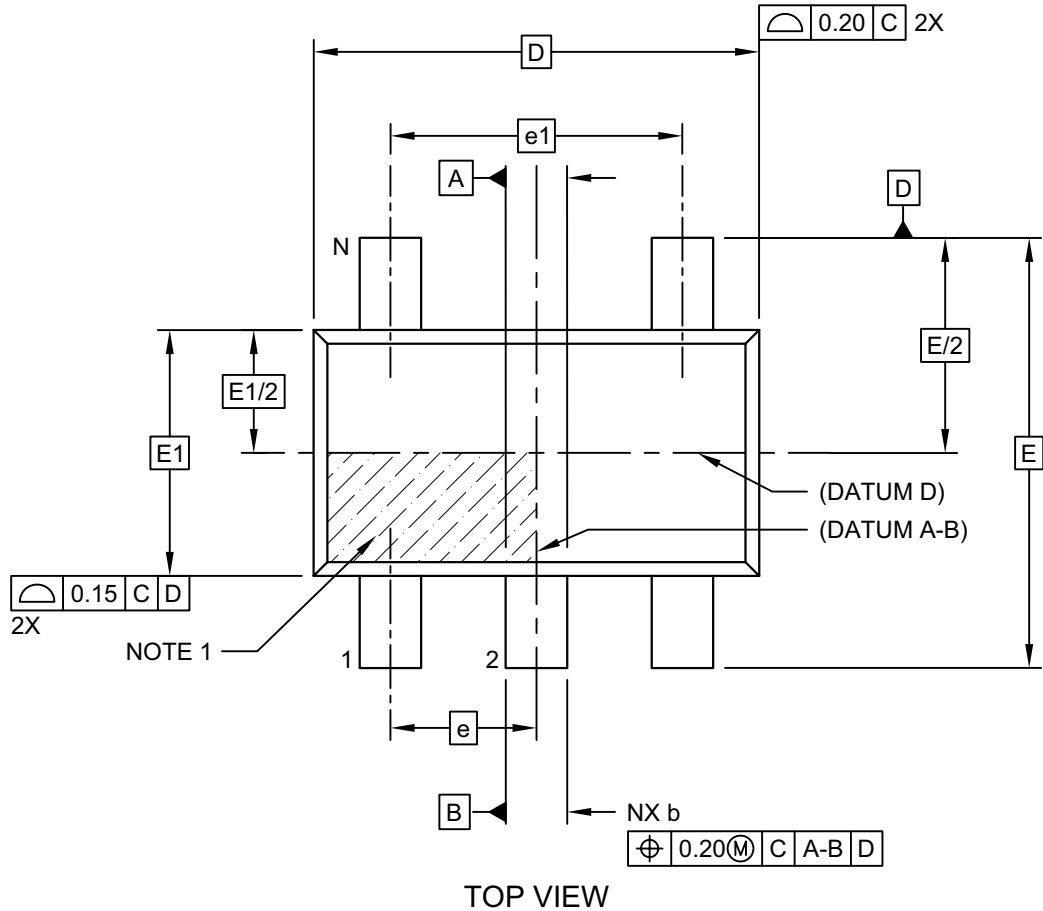
BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

Microchip Technology Drawing No. C04-2061-LT Rev E

# MCP6001/1R/1U/2/4

## 5-Lead Plastic Small Outline Transistor (OT) [SOT23]

**Note:** For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>

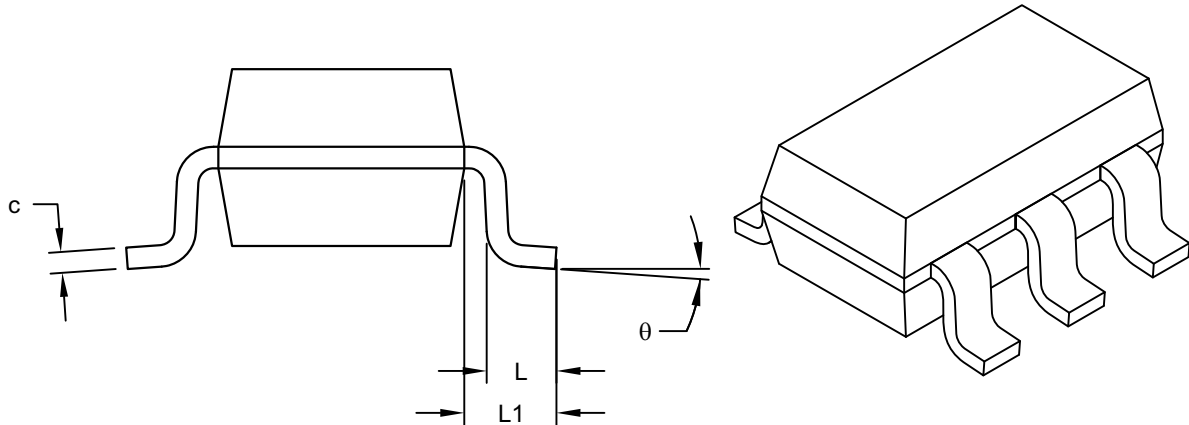


Microchip Technology Drawing C04-091-OT Rev F Sheet 1 of 2

# MCP6001/1R/1U/2/4

## 5-Lead Plastic Small Outline Transistor (OT) [SOT23]

**Note:** For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>



VIEW A-A  
SHEET 1

Dimension Limits	Units	MILLIMETERS		
		MIN	NOM	MAX
Number of Pins	N	5		
Pitch	e	0.95 BSC		
Outside lead pitch	e1	1.90 BSC		
Overall Height	A	0.90	-	1.45
Molded Package Thickness	A2	0.89	-	1.30
Standoff	A1	-	-	0.15
Overall Width	E	2.80 BSC		
Molded Package Width	E1	1.60 BSC		
Overall Length	D	2.90 BSC		
Foot Length	L	0.30	-	0.60
Footprint	L1	0.60 REF		
Foot Angle	$\phi$	0°	-	10°
Lead Thickness	c	0.08	-	0.26
Lead Width	b	0.20	-	0.51

**Notes:**

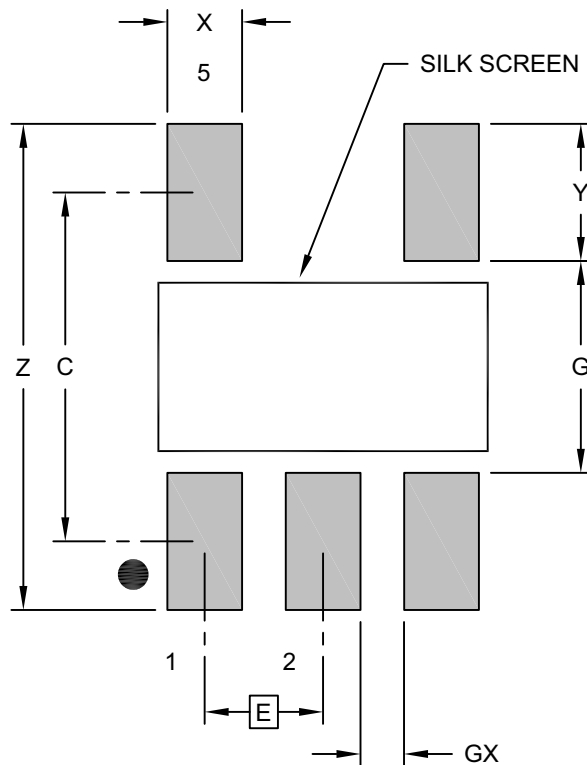
- Dimensions D and E1 do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.25mm per side.
- Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M  
BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.  
REF: Reference Dimension, usually without tolerance, for information purposes only.

Microchip Technology Drawing C04-091-OT Rev F Sheet 2 of 2

# MCP6001/1R/1U/2/4

## 5-Lead Plastic Small Outline Transistor (OT) [SOT23]

**Note:** For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>



RECOMMENDED LAND PATTERN

Dimension Limits	Units	MILLIMETERS		
		MIN	NOM	MAX
Contact Pitch	E	0.95 BSC		
Contact Pad Spacing	C		2.80	
Contact Pad Width (X5)	X			0.60
Contact Pad Length (X5)	Y			1.10
Distance Between Pads	G	1.70		
Distance Between Pads	GX	0.35		
Overall Width	Z			3.90

**Notes:**

1. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M

BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

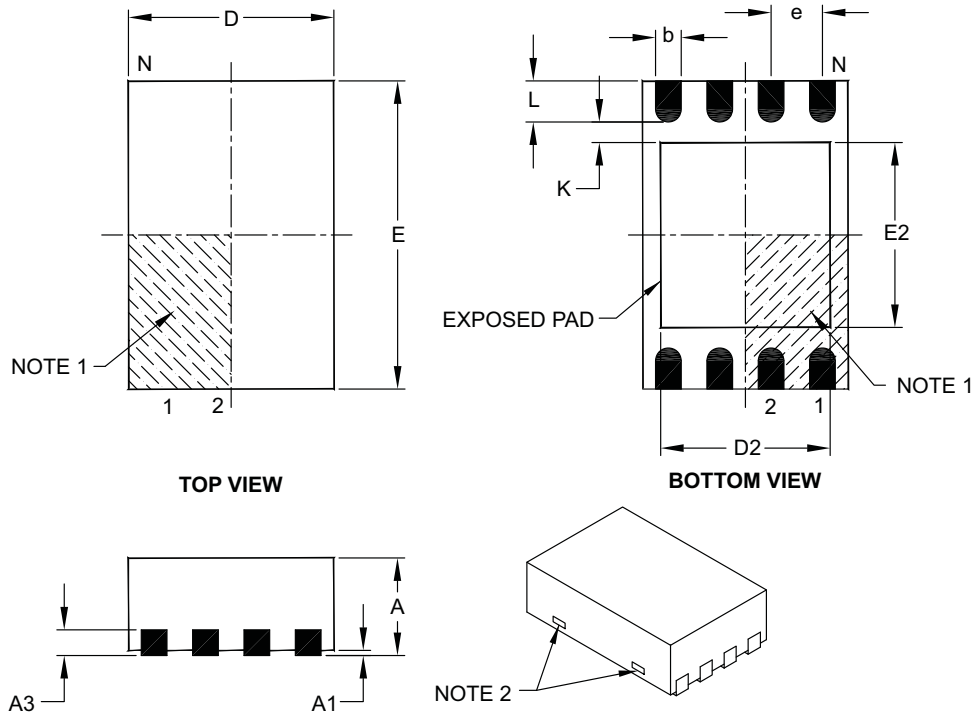
Microchip Technology Drawing No. C04-2091-OT Rev F



# MCP6001/1R/1U/2/4

## 8-Lead Plastic Dual Flat, No Lead Package (MC) – 2x3x0.9 mm Body [DFN]

**Note:** For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>



Dimension Limits	Units	MILLIMETERS		
		MIN	NOM	MAX
Number of Pins	N	8		
Pitch	e	0.50 BSC		
Overall Height	A	0.80	0.90	1.00
Standoff	A1	0.00	0.02	0.05
Contact Thickness	A3	0.20 REF		
Overall Length	D	2.00 BSC		
Overall Width	E	3.00 BSC		
Exposed Pad Length	D2	1.30	–	1.55
Exposed Pad Width	E2	1.50	–	1.75
Contact Width	b	0.20	0.25	0.30
Contact Length	L	0.30	0.40	0.50
Contact-to-Exposed Pad	K	0.20	–	–

### Notes:

- Pin 1 visual index feature may vary, but must be located within the hatched area.
- Package may have one or more exposed tie bars at ends.
- Package is saw singulated.
- Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.

BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

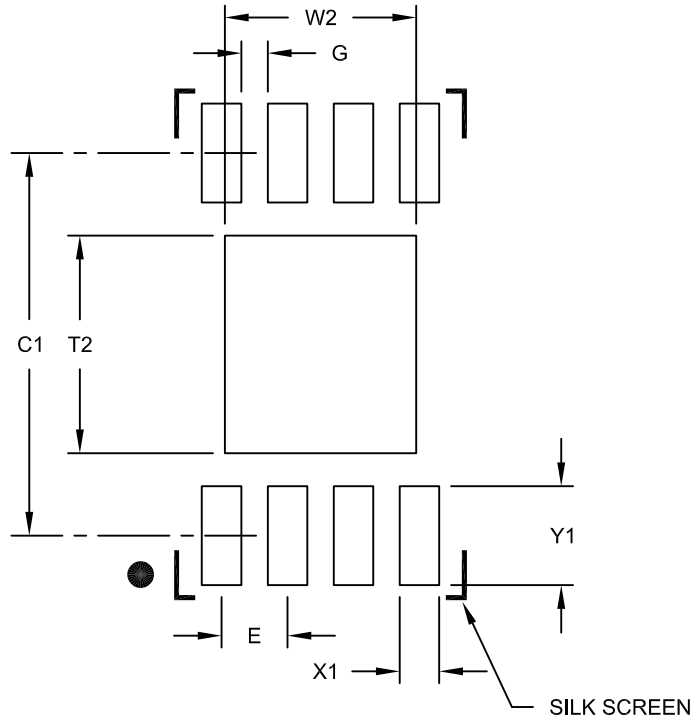
REF: Reference Dimension, usually without tolerance, for information purposes only.

Microchip Technology Drawing C04-123C

# MCP6001/1R/1U/2/4

8-Lead Plastic Dual Flat, No Lead Package (MC) - 2x3x0.9mm Body [DFN]

**Note:** For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>



RECOMMENDED LAND PATTERN

Dimension Limits	Units	MILLIMETERS		
		MIN	NOM	MAX
Contact Pitch	E	0.50 BSC		
Optional Center Pad Width	W2			1.45
Optional Center Pad Length	T2			1.75
Contact Pad Spacing	C1		2.90	
Contact Pad Width (X8)	X1			0.30
Contact Pad Length (X8)	Y1			0.75
Distance Between Pads	G	0.20		

Notes:

1. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M

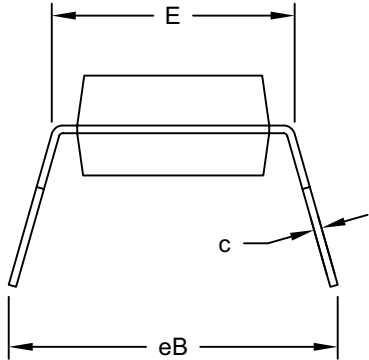
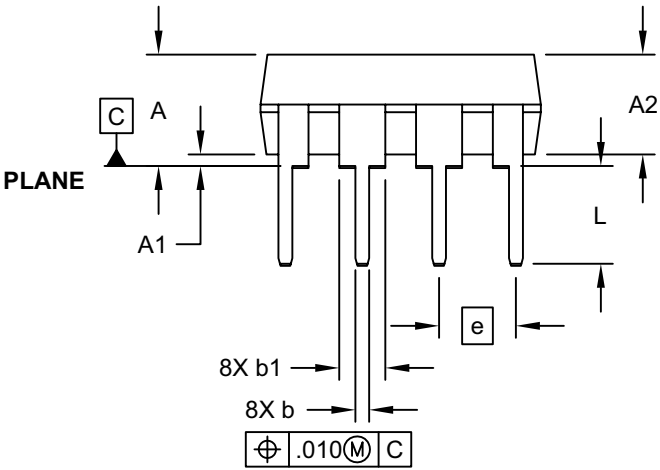
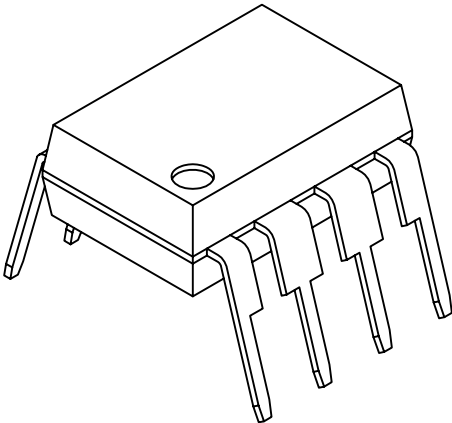
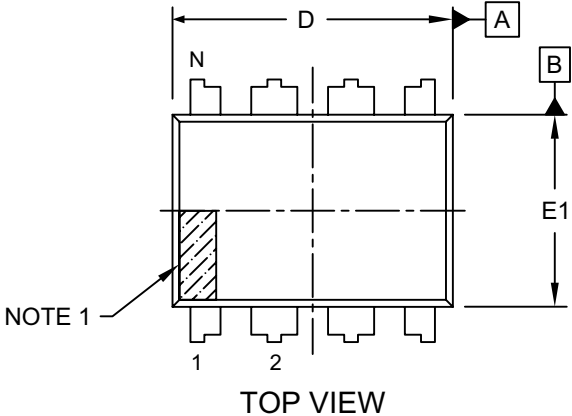
BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

Microchip Technology Drawing No. C04-2123B

# MCP6001/1R/1U/2/4

## 8-Lead Plastic Dual In-Line (P) - 300 mil Body [PDIP]

**Note:** For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>

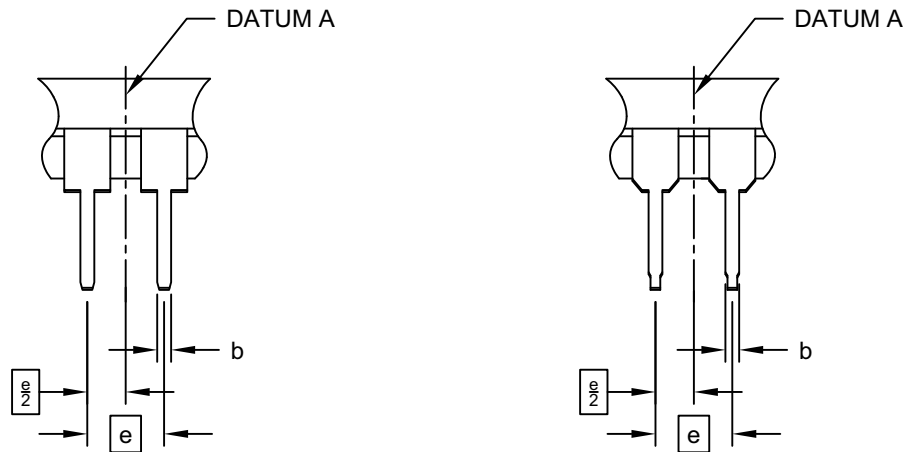


# MCP6001/1R/1U/2/4

## 8-Lead Plastic Dual In-Line (P) - 300 mil Body [PDIP]

**Note:** For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>

### ALTERNATE LEAD DESIGN (NOTE 5)



Dimension Limits	Units	INCHES		
		MIN	NOM	MAX
Number of Pins	N	8		
Pitch	e	.100 BSC		
Top to Seating Plane	A	-	-	.210
Molded Package Thickness	A2	.115	.130	.195
Base to Seating Plane	A1	.015	-	-
Shoulder to Shoulder Width	E	.290	.310	.325
Molded Package Width	E1	.240	.250	.280
Overall Length	D	.348	.365	.400
Tip to Seating Plane	L	.115	.130	.150
Lead Thickness	c	.008	.010	.015
Upper Lead Width	b1	.040	.060	.070
Lower Lead Width	b	.014	.018	.022
Overall Row Spacing §	eB	-	-	.430

**Notes:**

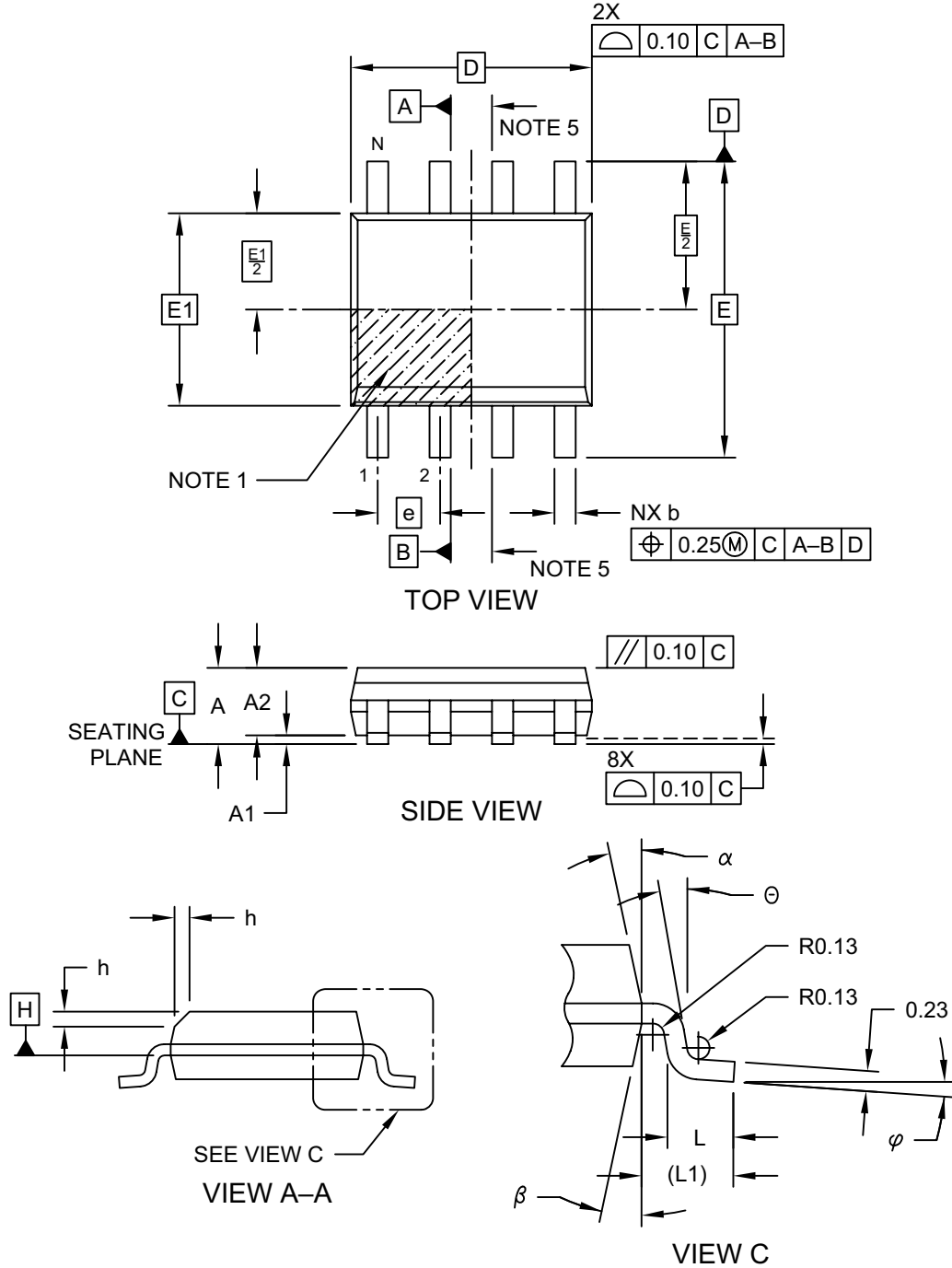
1. Pin 1 visual index feature may vary, but must be located within the hatched area.
2. § Significant Characteristic
3. Dimensions D and E1 do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed .010" per side.
4. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M  
BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.
5. Lead design above seating plane may vary, based on assembly vendor.

Microchip Technology Drawing No. C04-018-P Rev E Sheet 2 of 2

# MCP6001/1R/1U/2/4

## 8-Lead Plastic Small Outline (SN) - Narrow, 3.90 mm (.150 In.) Body [SOIC]

**Note:** For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>

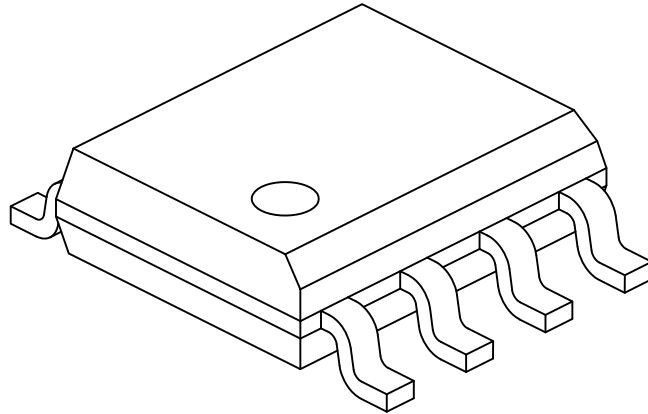


Microchip Technology Drawing No. C04-057-SN Rev E Sheet 1 of 2

# MCP6001/1R/1U/2/4

## 8-Lead Plastic Small Outline (SN) - Narrow, 3.90 mm (.150 In.) Body [SOIC]

**Note:** For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>



Dimension Limits	Units	MILLIMETERS		
		MIN	NOM	MAX
Number of Pins	N	8		
Pitch	e	1.27 BSC		
Overall Height	A	-	-	1.75
Molded Package Thickness	A2	1.25	-	-
Standoff §	A1	0.10	-	0.25
Overall Width	E	6.00 BSC		
Molded Package Width	E1	3.90 BSC		
Overall Length	D	4.90 BSC		
Chamfer (Optional)	h	0.25	-	0.50
Foot Length	L	0.40	-	1.27
Footprint	L1	1.04 REF		
Foot Angle	$\phi$	0°	-	8°
Lead Thickness	c	0.17	-	0.25
Lead Width	b	0.31	-	0.51
Mold Draft Angle Top	$\alpha$	5°	-	15°
Mold Draft Angle Bottom	$\beta$	5°	-	15°

**Notes:**

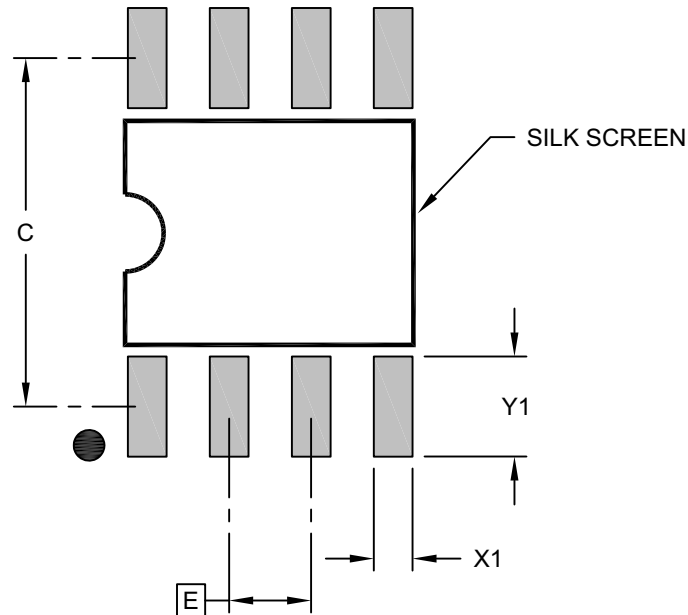
1. Pin 1 visual index feature may vary, but must be located within the hatched area.
2. § Significant Characteristic
3. Dimensions D and E1 do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15mm per side.
4. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M  
BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.  
REF: Reference Dimension, usually without tolerance, for information purposes only.
5. Datums A & B to be determined at Datum H.

Microchip Technology Drawing No. C04-057-SN Rev E Sheet 2 of 2

# MCP6001/1R/1U/2/4

## 8-Lead Plastic Small Outline (SN) - Narrow, 3.90 mm Body [SOIC]

**Note:** For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>



RECOMMENDED LAND PATTERN

Dimension Limits	Units	MILLIMETERS		
		MIN	NOM	MAX
Contact Pitch	E	1.27 BSC		
Contact Pad Spacing	C		5.40	
Contact Pad Width (X8)	X1			0.60
Contact Pad Length (X8)	Y1			1.55

**Notes:**

1. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M

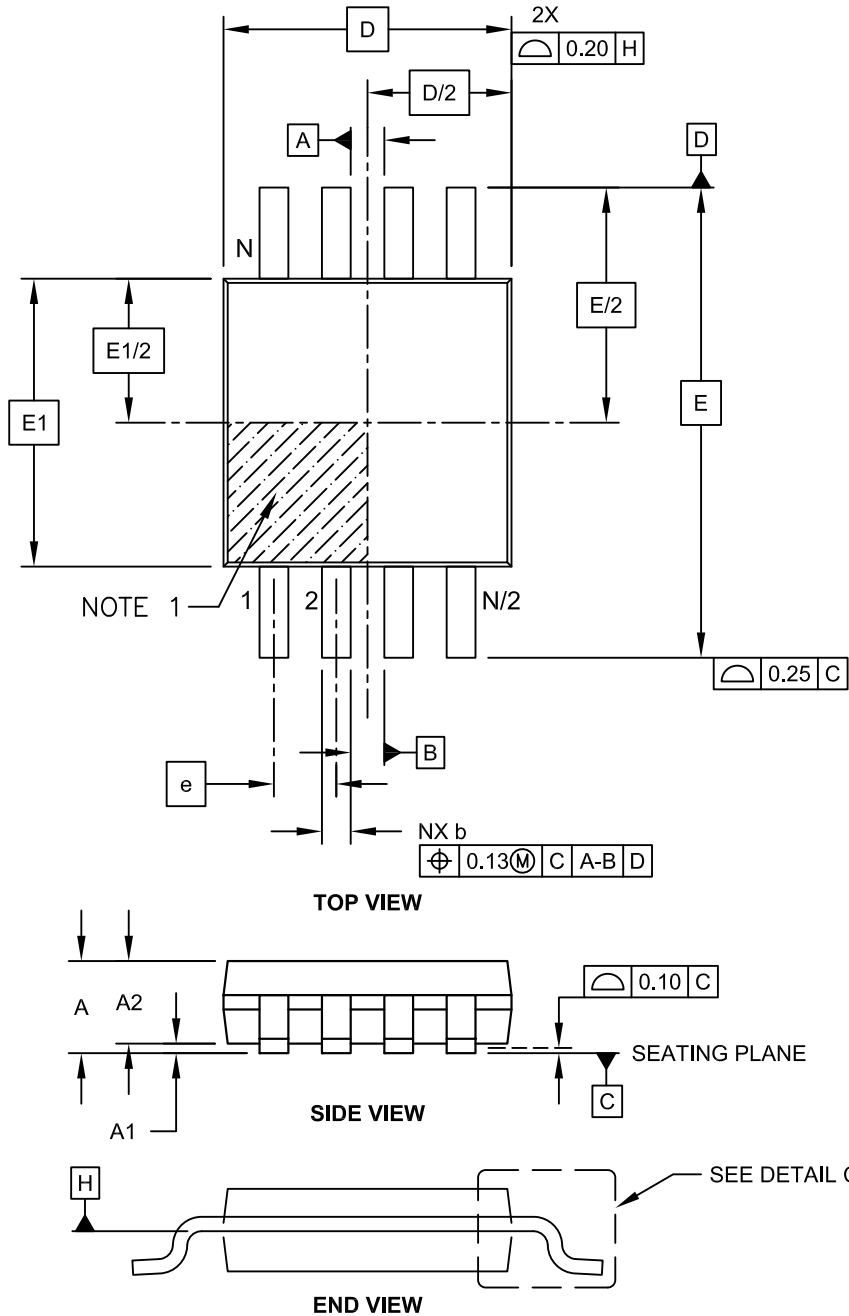
BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

Microchip Technology Drawing C04-2057-SN Rev E

# MCP6001/1R/1U/2/4

## 8-Lead Plastic Micro Small Outline Package (MS) [MSOP]

**Note:** For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>



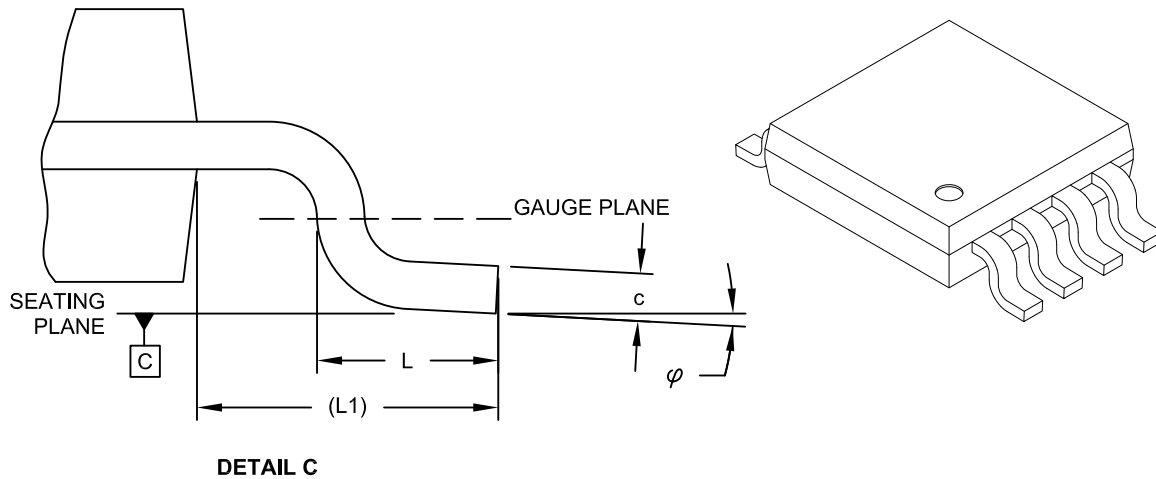
Microchip Technology Drawing C04-111C Sheet 1 of 2



# MCP6001/1R/1U/2/4

## 8-Lead Plastic Micro Small Outline Package (MS) [MSOP]

**Note:** For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>



Dimension Limits	Units	MILLIMETERS		
		MIN	NOM	MAX
Number of Pins	N		8	
Pitch	e	0.65 BSC		
Overall Height	A	-	-	1.10
Molded Package Thickness	A2	0.75	0.85	0.95
Standoff	A1	0.00	-	0.15
Overall Width	E	4.90 BSC		
Molded Package Width	E1	3.00 BSC		
Overall Length	D	3.00 BSC		
Foot Length	L	0.40	0.60	0.80
Footprint	L1	0.95 REF		
Foot Angle	φ	0°	-	8°
Lead Thickness	c	0.08	-	0.23
Lead Width	b	0.22	-	0.40

**Notes:**

- Pin 1 visual index feature may vary, but must be located within the hatched area.
- Dimensions D and E1 do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15mm per side.
- Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.

BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

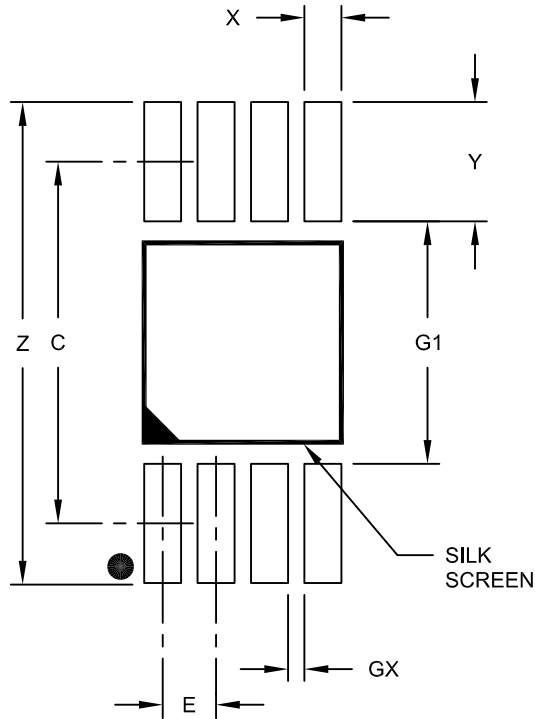
REF: Reference Dimension, usually without tolerance, for information purposes only.

Microchip Technology Drawing C04-111C Sheet 2 of 2

# MCP6001/1R/1U/2/4

## 8-Lead Plastic Micro Small Outline Package (MS) [MSOP]

**Note:** For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>



RECOMMENDED LAND PATTERN

Dimension Limits	Units	MILLIMETERS		
		MIN	NOM	MAX
Contact Pitch	E	0.65 BSC		
Contact Pad Spacing	C		4.40	
Overall Width	Z			5.85
Contact Pad Width (X8)	X1			0.45
Contact Pad Length (X8)	Y1			1.45
Distance Between Pads	G1	2.95		
Distance Between Pads	GX	0.20		

Notes:

1. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M

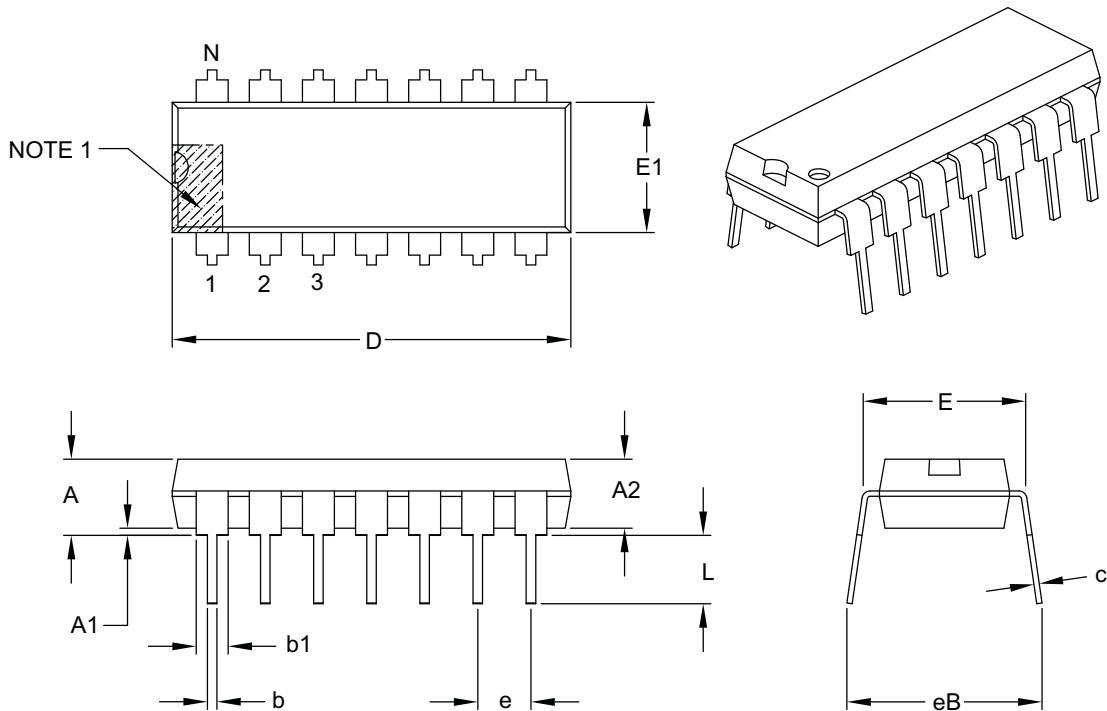
BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

Microchip Technology Drawing No. C04-2111A

# MCP6001/1R/1U/2/4

## 14-Lead Plastic Dual In-Line (P) – 300 mil Body [PDIP]

**Note:** For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>



Dimension Limits	Units	INCHES		
		MIN	NOM	MAX
Number of Pins	N	14		
Pitch	e	.100 BSC		
Top to Seating Plane	A	–	–	.210
Molded Package Thickness	A2	.115	.130	.195
Base to Seating Plane	A1	.015	–	–
Shoulder to Shoulder Width	E	.290	.310	.325
Molded Package Width	E1	.240	.250	.280
Overall Length	D	.735	.750	.775
Tip to Seating Plane	L	.115	.130	.150
Lead Thickness	c	.008	.010	.015
Upper Lead Width	b1	.045	.060	.070
Lower Lead Width	b	.014	.018	.022
Overall Row Spacing §	eB	–	–	.430

**Notes:**

- Pin 1 visual index feature may vary, but must be located with the hatched area.
- § Significant Characteristic.
- Dimensions D and E1 do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed .010" per side.
- Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.

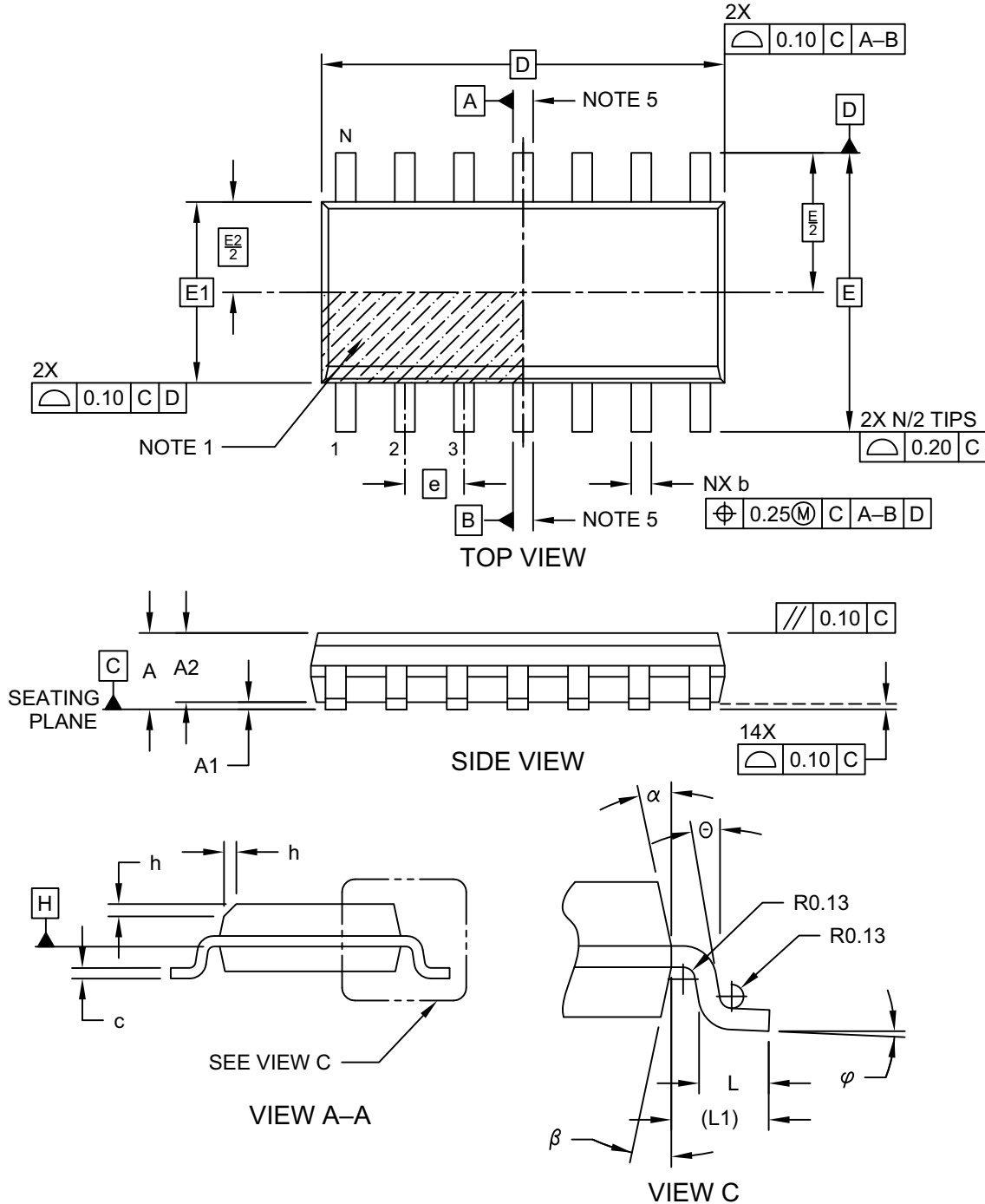
BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

Microchip Technology Drawing C04-005B

# MCP6001/1R/1U/2/4

## 14-Lead Plastic Small Outline (SL) - Narrow, 3.90 mm Body [SOIC]

**Note:** For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>

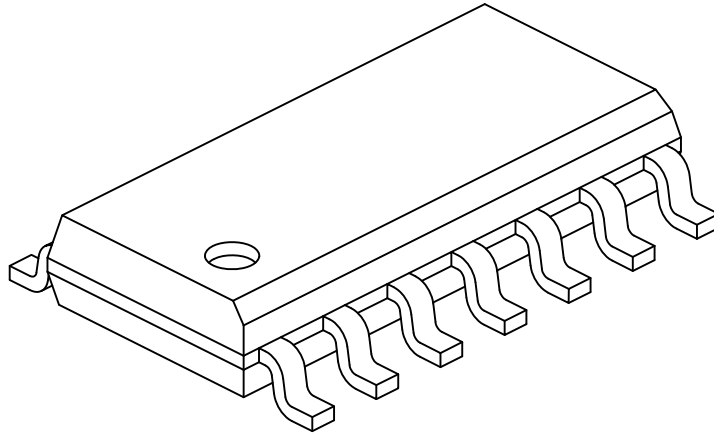


Microchip Technology Drawing No. C04-065-SL Rev D Sheet 1 of 2

# MCP6001/1R/1U/2/4

## 14-Lead Plastic Small Outline (SL) - Narrow, 3.90 mm Body [SOIC]

**Note:** For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>



		Units	MILLIMETERS		
Dimension Limits			MIN	NOM	MAX
Number of Pins	N		14		
Pitch	e		1.27 BSC		
Overall Height	A	-	-	-	1.75
Molded Package Thickness	A2	1.25	-	-	-
Standoff §	A1	0.10	-	-	0.25
Overall Width	E		6.00 BSC		
Molded Package Width	E1		3.90 BSC		
Overall Length	D		8.65 BSC		
Chamfer (Optional)	h	0.25	-	-	0.50
Foot Length	L	0.40	-	-	1.27
Footprint	L1		1.04 REF		
Lead Angle	θ	0°	-	-	-
Foot Angle	φ	0°	-	-	8°
Lead Thickness	c	0.10	-	-	0.25
Lead Width	b	0.31	-	-	0.51
Mold Draft Angle Top	α	5°	-	-	15°
Mold Draft Angle Bottom	β	5°	-	-	15°

### Notes:

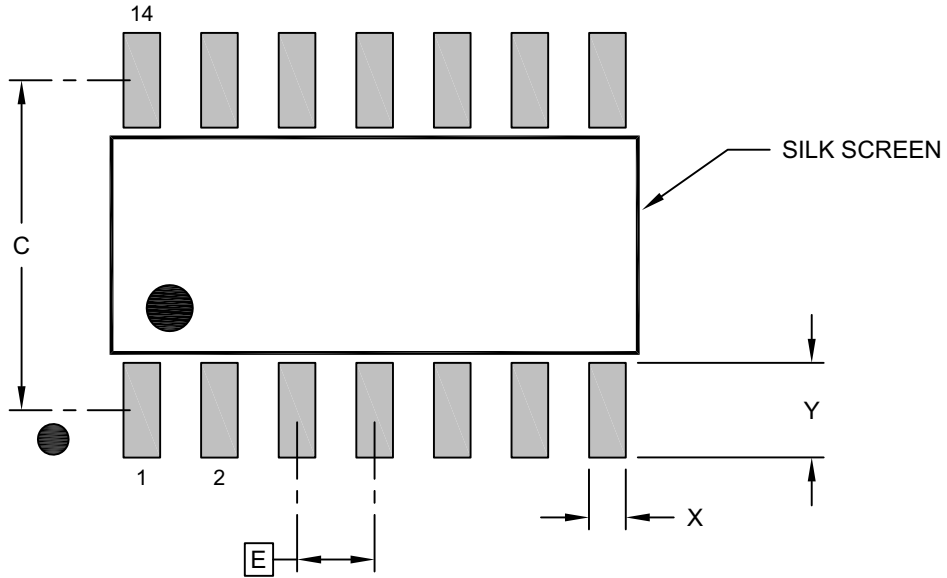
- Pin 1 visual index feature may vary, but must be located within the hatched area.
- § Significant Characteristic
- Dimension D does not include mold flash, protrusions or gate burrs, which shall not exceed 0.15 mm per end. Dimension E1 does not include interlead flash or protrusion, which shall not exceed 0.25 mm per side.
- Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M  
BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.  
REF: Reference Dimension, usually without tolerance, for information purposes only.
- Datums A & B to be determined at Datum H.

Microchip Technology Drawing No. C04-065-SL Rev D Sheet 2 of 2

# MCP6001/1R/1U/2/4

## 14-Lead Plastic Small Outline (SL) - Narrow, 3.90 mm Body [SOIC]

**Note:** For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>



### RECOMMENDED LAND PATTERN

Dimension Limits	Units	MILLIMETERS		
		MIN	NOM	MAX
Contact Pitch	E		1.27 BSC	
Contact Pad Spacing	C		5.40	
Contact Pad Width (X14)	X			0.60
Contact Pad Length (X14)	Y			1.55

**Notes:**

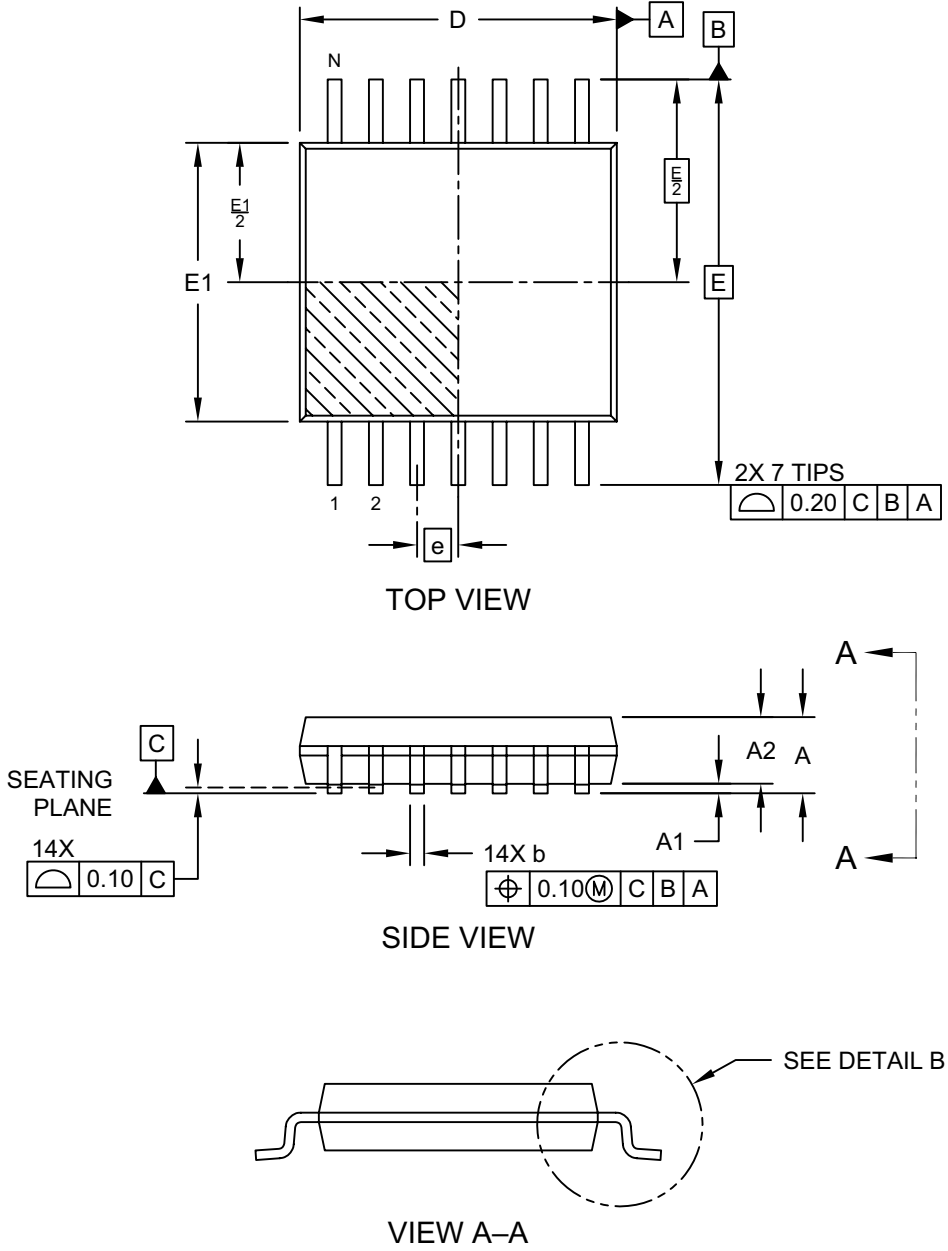
1. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M  
BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

Microchip Technology Drawing No. C04-2065-SL Rev D

# MCP6001/1R/1U/2/4

## 14Lead Thin Shrink Small Outline Package [ST] 4.4 mm Body [TSSOP]

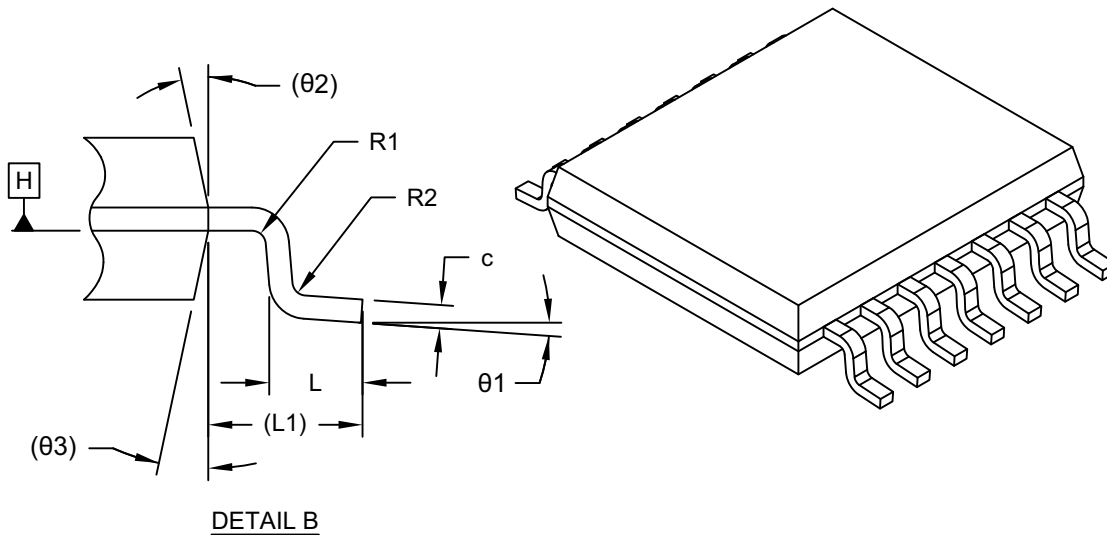
**Note:** For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>



# MCP6001/1R/1U/2/4

## 14Lead Thin Shrink Small Outline Package [ST] 4.4 mm Body [TSSOP]

**Note:** For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>



Dimension Limits	Units	MILLIMETERS		
		MIN	NOM	MAX
Number of Terminals	N	14		
Pitch	e	0.65 BSC		
Overall Height	A	–	–	1.20
Standoff	A1	0.05	–	0.15
Molded Package Thickness	A2	0.80	1.00	1.05
Overall Length	D	4.90	5.00	5.10
Overall Width	E	6.40 BSC		
Molded Package Width	E1	4.30	4.40	4.50
Terminal Width	b	0.19	–	0.30
Terminal Thickness	c	0.09	–	0.20
Terminal Length	L	0.45	0.60	0.75
Footprint	L1	1.00 REF		
Lead Bend Radius	R1	0.09	–	–
Lead Bend Radius	R2	0.09	–	–
Foot Angle	θ1	0°	–	8°
Mold Draft Angle	θ2	–	12° REF	–
Mold Draft Angle	θ3	–	12° REF	–

**Notes:**

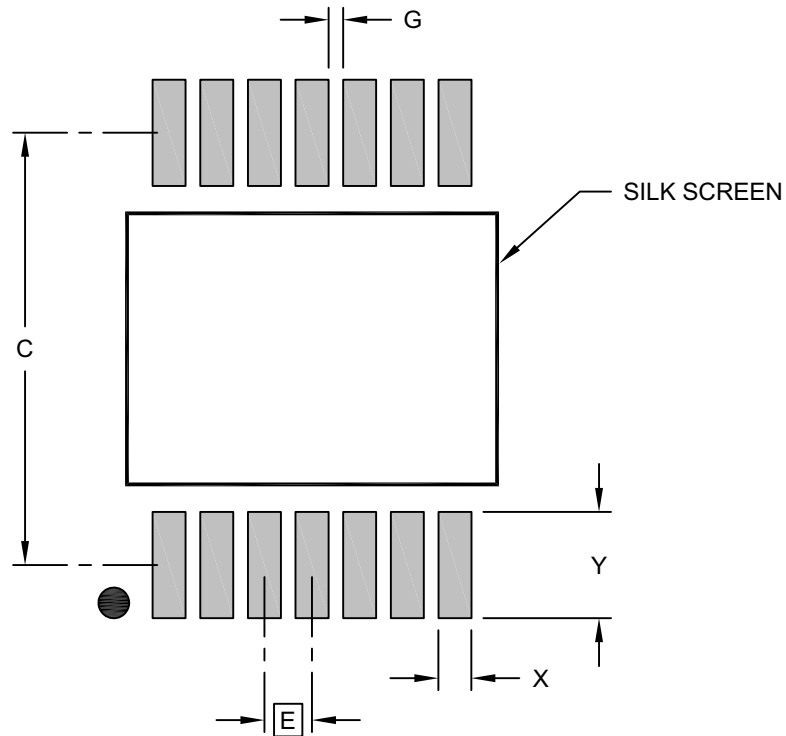
- Pin 1 visual index feature may vary, but must be located within the hatched area.
- Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M  
 BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.  
 REF: Reference Dimension, usually without tolerance, for information purposes only.



# MCP6001/1R/1U/2/4

## 14Lead Thin Shrink Small Outline Package [ST] 4.4 mm Body [TSSOP]

**Note:** For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>



### RECOMMENDED LAND PATTERN

Dimension Limits	Units	MILLIMETERS		
		MIN	NOM	MAX
Contact Pitch	E	0.65 BSC		
Contact Pad Spacing	C		5.90	
Contact Pad Width (Xnn)	X			0.45
Contact Pad Length (Xnn)	Y			1.45
Contact Pad to Contact Pad (Xnn)	G	0.20		

**Notes:**

1. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M  
BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

Microchip Technology Drawing C04-2087 Rev D

# MCP6001/1R/1U/2/4

---

---

NOTES:

## APPENDIX A: REVISION HISTORY

### Revision L (March 2020)

The following is the list of modifications:

1. Updated package drawings for the 5-Lead SC-70 and 14-Lead TSSOP packages in [Section 6.0 “Packaging Information”](#).

### Revision K (November 2019)

The following is the list of modifications:

1. Updated [Section 6.0 “Packaging Information”](#).

### Revision J (November 2009)

The following is the list of modifications:

1. Added new 2x3 DFN 8-Lead package on page 1.
2. Updated the [Temperature Specifications](#) table with 2x3 DFN thermal resistance information.
3. Updated [Section 1.1 “Test Circuits”](#).
4. Updated [Figure 2-15](#).
5. Added the 2x3 DFN column to [Table 3-1](#).
6. Added new [Section 3.4 “Exposed Thermal Pad \(EP\)”](#).
7. Updated [Section 5.1 “SPICE Macro Model”](#).
8. Updated [Section 5.5 “Analog Demonstration and Evaluation Boards”](#).
9. Updated [Section 5.6 “Application Notes”](#).
10. Updated [Section 6.1 “Package Marking Information”](#) with the new 2x3 DFN package marking information.
11. Updated the package drawings.
12. Updated the [Product Identification System](#) section with new 2x3 DFN package information.

### Revision H (May 2008)

The following is the list of modifications:

1. [Section 5.0 “Design Aids”](#): Name change for Mindi™ Simulation Tool.
2. **Package Types**: Correct device labeling error.
3. [Section 1.0 “Electrical Characteristics”](#), **DC Electrical Specifications**: Changed “Maximum Output Voltage Swing” condition from 0.9V Input Overdrive to 0.5V Input Overdrive.
4. [Section 1.0 “Electrical Characteristics”](#), **AC Electrical Specifications**: Changed Phase Margin condition from  $G = +1$  to  $G = +1$  V/V.
5. [Section 5.0 “Design Aids”](#): Name change for Mindi Simulation Tool.

### Revision G (November 2007)

The following is the list of modifications:

1. Updated notes to [Section 1.0 “Electrical Characteristics”](#).
2. Increased Absolute Maximum Voltage range at input pins.
3. Increased maximum operating supply voltage ( $V_{DD}$ ).
4. Added test circuits.
5. Added [Figure 2-3](#) and [Figure 2-20](#).
6. Added [Section 4.1.1 “Phase Reversal”](#), [Section 4.1.2 “Input Voltage and Current Limits”](#), [Section 4.1.3 “Normal Operation”](#) and [Section 4.5 “Unused Op Amps”](#).
7. Updated [Section 5.0 “Design Aids”](#),
8. Updated [Section 6.0 “Packaging Information”](#).
9. Updated Package Outline Drawings.

### Revision F (March 2005)

The following is the list of modifications:

1. Updated [Section 6.0 “Packaging Information”](#) to include old and new packaging examples.

### Revision E (December 2004)

The following is the list of modifications:

1.  $V_{OS}$  specification reduced to  $\pm 4.5$  mV from  $\pm 7.0$  mV for parts starting with date code YYWW = 0449
2. Corrected package markings in [Section 6.0 “Packaging Information”](#).
3. Added Appendix A: Revision History.

### Revision D (May 2003)

- Undocumented changes.

### Revision C (December 2002)

- Undocumented changes.

### Revision B (October 2002)

- Undocumented changes.

### Revision A (June 2002)

- Original data sheet release.

NOTES:

# MCP6001/1R/1U/2/4

## PRODUCT IDENTIFICATION SYSTEM

To order or obtain information, e.g., on pricing or delivery, refer to the factory or the listed sales office.

<u>PART NO.</u>	<u>X</u>	<u>/XX</u>	
Device	Temperature Range	Package	
<b>Examples:</b>			
			a) MCP6001T-I/LT: Tape and Reel, Industrial Temperature, 5-Lead SC-70 Package.
			b) MCP6001T-I/OT: Tape and Reel, Industrial Temperature, 5-Lead SOT-23 Package.
			c) MCP6001RT-I/OT: Tape and Reel, Industrial Temperature, 5-Lead SOT-23 Package.
			d) MCP6001UT-E/OT: Tape and Reel, Extended Temperature, 5-Lead SOT-23 Package.
			a) MCP6002-I/MS: Industrial Temperature, 8-Lead MSOP Package.
			b) MCP6002-I/P: Industrial Temperature, 8-Lead PDIP Package.
			c) MCP6002-E/P: Extended Temperature, 8-Lead PDIP Package.
			d) MCP6002-E/MC: Extended Temperature, 8-Lead DFN Package.
			e) MCP6002-I/SN: Industrial Temperature, 8-Lead SOIC Package.
			f) MCP6002T-I/MS: Tape and Reel, Industrial Temperature, 8-Lead MSOP Package.
			g) MCP6002T-E/MC: Tape and Reel, Extended Temperature, 8-Lead DFN Package.
			a) MCP6004-I/P: Industrial Temperature, 14-Lead PDIP Package.
			b) MCP6004-I/SL: Industrial Temperature, 14-Lead SOIC Package.
			c) MCP6004-E/SL: Extended Temperature, 14-Lead SOIC Package.
			d) MCP6004-I/ST: Industrial Temperature, 14-Lead TSSOP Package.
			e) MCP6004T-I/SL: Tape and Reel, Industrial Temperature, 14-Lead SOIC Package.
			f) MCP6004T-I/ST: Tape and Reel, Industrial Temperature, 14-Lead TSSOP Package.
Device:	MCP6001T:	Single Op Amp (Tape and Reel) (SC-70, SOT-23)	
	MCP6001RT:	Single Op Amp (Tape and Reel) (SOT-23)	
	MCP6001UT:	Single Op Amp (Tape and Reel) (SOT-23)	
	MCP6002:	Dual Op Amp	
	MCP6002T:	Dual Op Amp (Tape and Reel) (SOIC, MSOP)	
	MCP6004:	Quad Op Amp	
	MCP6004T:	Quad Op Amp (Tape and Reel) (SOIC, MSOP)	
Temperature Range:	I	= -40°C to +85°C	
	E	= -40°C to +125°C	
Package:	LT	= Plastic Small Outline Transistor (SC-70), 5-Lead (MCP6001 only)	
	OT	= Plastic Small Outline Transistor (SOT-23), 5-Lead (MCP6001, MCP6001R, MCP6001U)	
	MS	= Plastic MSOP, 8-Lead	
	MC	= Plastic Dual Flat, 2x3x0.9 mm (DFN), 8-Lead	
	P	= Plastic DIP, 300 mil Body (PDIP), 8-Lead, 14-Lead	
	SN	= Plastic SOIC (3.90 mm body), 8-Lead	
	SL	= Plastic SOIC (3.90 mm body), 14-Lead	
	ST	= Plastic TSSOP (4.4 mm body), 14-Lead	

# MCP6001/1R/1U/2/4

---

---

NOTES:

---

**Note the following details of the code protection feature on Microchip devices:**

- Microchip products meet the specification contained in their particular Microchip Data Sheet.
- Microchip believes that its family of products is one of the most secure families of its kind on the market today, when used in the intended manner and under normal conditions.
- There are dishonest and possibly illegal methods used to breach the code protection feature. All of these methods, to our knowledge, require using the Microchip products in a manner outside the operating specifications contained in Microchip's Data Sheets. Most likely, the person doing so is engaged in theft of intellectual property.
- Microchip is willing to work with the customer who is concerned about the integrity of their code.
- Neither Microchip nor any other semiconductor manufacturer can guarantee the security of their code. Code protection does not mean that we are guaranteeing the product as “unbreakable.”

Code protection is constantly evolving. We at Microchip are committed to continuously improving the code protection features of our products. Attempts to break Microchip's code protection feature may be a violation of the Digital Millennium Copyright Act. If such acts allow unauthorized access to your software or other copyrighted work, you may have a right to sue for relief under that Act.

---

Information contained in this publication regarding device applications and the like is provided only for your convenience and may be superseded by updates. It is your responsibility to ensure that your application meets with your specifications. MICROCHIP MAKES NO REPRESENTATIONS OR WARRANTIES OF ANY KIND WHETHER EXPRESS OR IMPLIED, WRITTEN OR ORAL, STATUTORY OR OTHERWISE, RELATED TO THE INFORMATION, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ITS CONDITION, QUALITY, PERFORMANCE, MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR PURPOSE. Microchip disclaims all liability arising from this information and its use. Use of Microchip devices in life support and/or safety applications is entirely at the buyer's risk, and the buyer agrees to defend, indemnify and hold harmless Microchip from any and all damages, claims, suits, or expenses resulting from such use. No licenses are conveyed, implicitly or otherwise, under any Microchip intellectual property rights unless otherwise stated.

### Trademarks

The Microchip name and logo, the Microchip logo, Adaptec, AnyRate, AVR, AVR logo, AVR Freaks, BesTime, BitCloud, chipKIT, chipKIT logo, CryptoMemory, CryptoRF, dsPIC, FlashFlex, flexPWR, HELDO, IGLOO, JukeBlox, KeeLoq, Klear, LANCheck, LinkMD, maXStylus, maXTouch, MediaLB, megaAVR, Microsemi, Microsemi logo, MOST, MOST logo, MPLAB, OptoLyzer, PackeTime, PIC, picoPower, PICSTART, PIC32 logo, PolarFire, Prochip Designer, QTouch, SAM-BA, SenGenuity, SpyNIC, SST, SST Logo, SuperFlash, Symmetricom, SyncServer, Tachyon, TempTracker, TimeSource, tinyAVR, UNI/O, Vectron, and XMEGA are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

APT, ClockWorks, The Embedded Control Solutions Company, EtherSynch, FlashTec, Hyper Speed Control, HyperLight Load, IntellIMOS, Libero, motorBench, mTouch, Powermite 3, Precision Edge, ProASIC, ProASIC Plus, ProASIC Plus logo, Quiet-Wire, SmartFusion, SyncWorld, Temux, TimeCesium, TimeHub, TimePictra, TimeProvider, Vite, WinPath, and ZL are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

Adjacent Key Suppression, AKS, Analog-for-the-Digital Age, Any Capacitor, AnyIn, AnyOut, BlueSky, BodyCom, CodeGuard, CryptoAuthentication, CryptoAutomotive, CryptoCompanion, CryptoController, dsPICDEM, dsPICDEM.net, Dynamic Average Matching, DAM, ECAN, EtherGREEN, In-Circuit Serial Programming, ICSP, INICnet, Inter-Chip Connectivity, JitterBlocker, KlearNet, KlearNet logo, memBrain, Mindi, MiWi, MPASM, MPF, MPLAB Certified logo, MPLIB, MPLINK, MultiTRAK, NetDetach, Omniscient Code Generation, PICDEM, PICDEM.net, PICkit, PICtail, PowerSmart, PureSilicon, QMatrix, REAL ICE, Ripple Blocker, SAM-ICE, Serial Quad I/O, SMART-I.S., SQI, SuperSwitcher, SuperSwitcher II, Total Endurance, TSHARC, USBCheck, VariSense, ViewSpan, WiperLock, Wireless DNA, and ZENA are trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

SQTP is a service mark of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

The Adaptec logo, Frequency on Demand, Silicon Storage Technology, and Symmcom are registered trademarks of Microchip Technology Inc. in other countries.

GestIC is a registered trademark of Microchip Technology Germany II GmbH & Co. KG, a subsidiary of Microchip Technology Inc., in other countries.

All other trademarks mentioned herein are property of their respective companies.

© 2002-2020, Microchip Technology Incorporated, All Rights Reserved.

ISBN: 978-1-5224-5717-6

For information regarding Microchip's Quality Management Systems, please visit [www.microchip.com/quality](http://www.microchip.com/quality).



# MICROCHIP

## Worldwide Sales and Service

### AMERICAS

**Corporate Office**  
2355 West Chandler Blvd.  
Chandler, AZ 85224-6199  
Tel: 480-792-7200  
Fax: 480-792-7277  
Technical Support:  
<http://www.microchip.com/support>  
Web Address:  
[www.microchip.com](http://www.microchip.com)

#### Atlanta

Duluth, GA  
Tel: 678-957-9614  
Fax: 678-957-1455

#### Austin, TX

Tel: 512-257-3370

#### Boston

Westborough, MA  
Tel: 774-760-0087  
Fax: 774-760-0088

#### Chicago

Itasca, IL  
Tel: 630-285-0071  
Fax: 630-285-0075

#### Dallas

Addison, TX  
Tel: 972-818-7423  
Fax: 972-818-2924

#### Detroit

Novi, MI  
Tel: 248-848-4000

#### Houston, TX

Tel: 281-894-5983

#### Indianapolis

Noblesville, IN  
Tel: 317-773-8323  
Fax: 317-773-5453  
Tel: 317-536-2380

#### Los Angeles

Mission Viejo, CA  
Tel: 949-462-9523  
Fax: 949-462-9608  
Tel: 951-273-7800

#### Raleigh, NC

Tel: 919-844-7510

#### New York, NY

Tel: 631-435-6000

#### San Jose, CA

Tel: 408-735-9110  
Tel: 408-436-4270

#### Canada - Toronto

Tel: 905-695-1980  
Fax: 905-695-2078

### ASIA/PACIFIC

**Australia - Sydney**  
Tel: 61-2-9868-6733

**China - Beijing**  
Tel: 86-10-8569-7000

**China - Chengdu**  
Tel: 86-28-8665-5511

**China - Chongqing**  
Tel: 86-23-8980-9588

**China - Dongguan**  
Tel: 86-769-8702-9880

**China - Guangzhou**  
Tel: 86-20-8755-8029

**China - Hangzhou**  
Tel: 86-571-8792-8115

**China - Hong Kong SAR**  
Tel: 852-2943-5100

**China - Nanjing**  
Tel: 86-25-8473-2460

**China - Qingdao**  
Tel: 86-532-8502-7355

**China - Shanghai**  
Tel: 86-21-3326-8000

**China - Shenyang**  
Tel: 86-24-2334-2829

**China - Shenzhen**  
Tel: 86-755-8864-2200

**China - Suzhou**  
Tel: 86-186-6233-1526

**China - Wuhan**  
Tel: 86-27-5980-5300

**China - Xian**  
Tel: 86-29-8833-7252

**China - Xiamen**  
Tel: 86-592-2388138

**China - Zhuhai**  
Tel: 86-756-3210040

### ASIA/PACIFIC

**India - Bangalore**  
Tel: 91-80-3090-4444

**India - New Delhi**  
Tel: 91-11-4160-8631

**India - Pune**  
Tel: 91-20-4121-0141

**Japan - Osaka**  
Tel: 81-6-6152-7160

**Japan - Tokyo**  
Tel: 81-3-6880-3770

**Korea - Daegu**  
Tel: 82-53-744-4301

**Korea - Seoul**  
Tel: 82-2-554-7200

**Malaysia - Kuala Lumpur**  
Tel: 60-3-7651-7906

**Malaysia - Penang**  
Tel: 60-4-227-8870

**Philippines - Manila**  
Tel: 63-2-634-9065

**Singapore**  
Tel: 65-6334-8870

**Taiwan - Hsin Chu**  
Tel: 886-3-577-8366

**Taiwan - Kaohsiung**  
Tel: 886-7-213-7830

**Taiwan - Taipei**  
Tel: 886-2-2508-8600

**Thailand - Bangkok**  
Tel: 66-2-694-1351

**Vietnam - Ho Chi Minh**  
Tel: 84-28-5448-2100

### EUROPE

**Austria - Wels**  
Tel: 43-7242-2244-39  
Fax: 43-7242-2244-393

**Denmark - Copenhagen**  
Tel: 45-4450-2828  
Fax: 45-4485-2829

**Finland - Espoo**  
Tel: 358-9-4520-820

**France - Paris**  
Tel: 33-1-69-53-63-20  
Fax: 33-1-69-30-90-79

**Germany - Garching**  
Tel: 49-8931-9700

**Germany - Haan**  
Tel: 49-2129-3766400

**Germany - Heilbronn**  
Tel: 49-7131-72400

**Germany - Karlsruhe**  
Tel: 49-721-625370

**Germany - Munich**  
Tel: 49-89-627-144-0  
Fax: 49-89-627-144-44

**Germany - Rosenheim**  
Tel: 49-8031-354-560

**Israel - Ra'anana**  
Tel: 972-9-744-7705

**Italy - Milan**  
Tel: 39-0331-742611  
Fax: 39-0331-466781

**Italy - Padova**  
Tel: 39-049-7625286

**Netherlands - Drunen**  
Tel: 31-416-690399  
Fax: 31-416-690340

**Norway - Trondheim**  
Tel: 47-7288-4388

**Poland - Warsaw**  
Tel: 48-22-3325737

**Romania - Bucharest**  
Tel: 40-21-407-87-50

**Spain - Madrid**  
Tel: 34-91-708-08-90  
Fax: 34-91-708-08-91

**Sweden - Gothenberg**  
Tel: 46-31-704-60-40

**Sweden - Stockholm**  
Tel: 46-8-5090-4654

**UK - Wokingham**  
Tel: 44-118-921-5800  
Fax: 44-118-921-5820



# Mouser Electronics

Authorized Distributor

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

[Microchip:](#)

[MCP6004-E/P](#) [MCP6004-I/P](#) [MCP6004-I/ST](#) [MCP6004-I/SL](#) [MCP6002T-E/SN](#) [MCP6004T-E/SL](#) [MCP6002T-E/MS](#)  
[MCP6004T-E/ST](#) [MCP6002-E/P](#) [MCP6002T-I/SN](#) [MCP6001T-I/LT](#) [MCP6004T-I/ST](#) [MCP6001T-I/OT](#) [MCP6004T-](#)  
[I/SL](#) [MCP6002T-I/MS](#) [MCP6002-I/P](#) [MCP6002-E/SN](#) [MCP6002-E/MS](#) [MCP6001RT-I/OT](#) [MCP6001UT-I/OT](#)  
[MCP6001T-E/OT](#) [MCP6001T-E/LT](#) [MCP6001RT-E/OT](#) [MCP6001UT-E/OT](#) [MCP6002-I/MS](#) [MCP6002-I/SN](#)  
[MCP6004-E/ST](#) [MCP6004-E/SL](#) [MCP6002-E/MC](#) [MCP6002T-E/MC](#)

# **ANEXO V: HOJA DE DATOS TRANSMISOR DE PRESIÓN WIKA S-10**

# Industrial Pressure Transmitter Model S-10, S-11

Datasheet S-10

## Applications

- Hydraulics and pneumatics
- Test equipment
- Pump and compressor control
- Liquid level measurement

## Special Features

- Standard ranges available from stock
- 4-20 mA 2-wire output signal, others available
- Highly resistant to pressure spikes and vibration
- Stainless steel case and wetted parts
- Can be assembled to diaphragm seals for special applications

## Description

WIKA S-10 and S-11 pressure transmitters are precision engineered to fit most industrial pressure measurement applications. The compact, rugged design make these instruments suitable for applications including hydraulics and pneumatics, vacuum, test equipment, liquid level measurement, press control, compressor control, pump protection and numerous other processing and control operations. A wide range of electrical connection and process connection options are available to meet almost any requirement.

### Rugged construction

The S-10 features an all-welded stainless steel measuring cell for improved media compatibility. There are no internal soft sealing materials that may react with the media or deteriorate over time. The compact case is also made of stainless steel and is available with environmental protection ratings up to NEMA 6P / IP 68.



Left: S-10 with NPT process connection  
Center: S-11 with flush diaphragm process connection  
Right: S-11 with flush diaphragm process connection and integral cooling element

The S-11 transmitters feature a flush diaphragm process connection. They are specifically designed for the measurement of viscous fluids or media containing solids that may clog a NPT process connection. Flush diaphragm pressure transmitters are available in pressure range from 50INWC to 8000PSI. For high temperature media an integral cooling element is available on the S-11. This option increases the maximum media temperature to 300°F.

Each instrument undergoes extensive quality control testing and calibration to achieve an accuracy of  $\leq 0.25\%$  full scale. The printed circuit boards use state-of-the-art surface mount technology and are potted in silicone gel for protection against mechanical shock, vibration, and moisture. Each is individually temperature compensated to assure accuracy and long-term stability even when exposed to severe ambient temperature variations.

# Specifications

# Model S-10 / S-11

<b>Pressure range</b>	50INWC	5PSI	10PSI	25PSI	30PSI	60PSI	100PSI	160PSI	200PSI
<b>Maximum pressure*</b>	30PSI	72PSI	72PSI	72PSI	72PSI	240PSI	240PSI	500PSI	500PSI
<b>Burst pressure**</b>	30PSI	87PSI	87PSI	87PSI	87PSI	290PSI	290PSI	600PSI	600PSI
<b>Pressure range</b>	300PSI	500PSI	1000PSI	2000PSI	3000PSI	5000PSI	8000PSI	10000PSI <sup>1</sup>	15000PSI <sup>1</sup>
<b>Maximum pressure*</b>	500PSI	1160PSI	2900PSI	4640PSI	7250PSI	11,600PSI	17,400PSI	21,750PSI	21,750PSI
<b>Burst pressure**</b>	600PSI	5800PSI	11,600PSI	14,500PSI	17,400PSI	24,650PSI	34,800PSI	43,500PSI	43,500PSI

{vacuum, gauge pressure, compound ranges, and absolute pressure references are available}

<sup>1)</sup> Ranges only available with Model S-10

<sup>2)</sup> For Model S-11 the burst pressure is limited to 21,000PSI unless the pressure seal is accomplished by using the sealing ring underneath the hex.

\*Pressure applied up to the maximum rating will cause no permanent change in specifications but may lead to zero and span shifts

\*\*Exceeding the burst pressure may result in destruction of the transmitter and possible loss of media

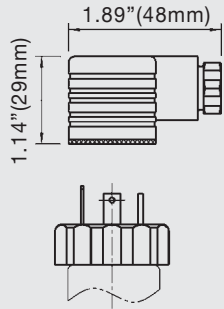
<b>Materials</b>														
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Wetted parts <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Model S-10</li> <li>➢ Model S-11</li> </ul> </li> <li>■ Case</li> </ul>		(other materials see WIKA diaphragm seal program) Stainless steel Stainless steel {Hastelloy C4} O-ring: NBR <sup>3)</sup> {Viton or EPDM}												
Internal transmission fluid <sup>4)</sup>		Stainless steel Synthetic oil {Halocarbon oil for oxygen applications} <sup>5)</sup> {Listed by FDA for food applications}												
		<sup>3)</sup> O-ring made of Viton or EPDM for Model S-11 with integral cooling element.												
		<sup>4)</sup> Not available with Model S-10 in pressure ranges >300 PSI.												
		<sup>5)</sup> Media temperature for oxygen version: -22 ... 140 °F / -30 ... +60 °C. Oxygen version is not available in vacuum and absolute pressure ranges or with S-11 > 500 PSI												
Power supply $U_B$ <sup>6)</sup>	$U_B$ in DC V	$10 < U_B \leq 30$ (14 ... 30 with signal output 0 ... 10 V)												
Signal output and maximum load $R_A$	$R_A$ in Ohm	4 ... 20 mA, 2-wire $R_A \leq (U_B - 10 V) / 0.02 A$ 0 ... 20 mA, 3-wire $R_A \leq (U_B - 3 V) / 0.02 A$ {0 ... 5 V, 3-wire} $R_A > 5,000$ {0 ... 10 V, 3-wire} $R_A > 10,000$ {other signal outputs available}												
Adjustability zero/span	%	± 10 using potentiometers inside the instrument												
Response time (10 ... 90 %)	ms	≤ 1 (≤ 10 ms at media temperatures below -22°F (-30°C) for ranges < 300 PSI or with flush diaphragm process connection)												
Isolation voltage	DC V	500												
		<sup>6)</sup> NEC Class 02 power supply (low voltage and low current max. 100 VA even under fault conditions)												
Accuracy <sup>7)</sup>	% of span	≤ 0.25 {0.125} <sup>8)</sup> (BFSL)												
	% of span	≤ 0.5 {0.25} <sup>8)</sup> (limit point calibration)												
		<sup>7)</sup> Including linearity, hysteresis and repeatability. Limit point calibration performed in vertical mounting position with pressure connection facing down.												
		<sup>8)</sup> Improved accuracy is available for pressure ranges ≥ 100 INWC												
Repeatability	% of span	≤ 0.05												
1-year stability	% of span	≤ 0.2 (at reference conditions)												
Permissible temperature of														
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Medium <sup>9)</sup></li> <li>■ Ambient <sup>9)</sup></li> <li>■ Storage <sup>9)</sup></li> </ul>		<table border="0"> <tr> <td>-22 ... +212 °F {-40 ... +257 °F}</td> <td>-30 ... +100 °C {-40 ... +125 °C}</td> </tr> <tr> <td>S-11 with cooling element: -4 ... +302 °F</td> <td>S-11 with cooling element: -20 ... +150 °C</td> </tr> <tr> <td>-4 ... +176 °F</td> <td>-20 ... +80 °C</td> </tr> <tr> <td>S-11 with cooling element: -4 ... +176 °F</td> <td>S-11 with cooling element: -20 ... +80 °C</td> </tr> <tr> <td>-40 ... +212 °F</td> <td>-40 ... +100 °C</td> </tr> <tr> <td>S-11 with cooling element: -4 ... +212°F</td> <td>S-11 with cooling element: -20 ... +100 °C</td> </tr> </table>	-22 ... +212 °F {-40 ... +257 °F}	-30 ... +100 °C {-40 ... +125 °C}	S-11 with cooling element: -4 ... +302 °F	S-11 with cooling element: -20 ... +150 °C	-4 ... +176 °F	-20 ... +80 °C	S-11 with cooling element: -4 ... +176 °F	S-11 with cooling element: -20 ... +80 °C	-40 ... +212 °F	-40 ... +100 °C	S-11 with cooling element: -4 ... +212°F	S-11 with cooling element: -20 ... +100 °C
-22 ... +212 °F {-40 ... +257 °F}	-30 ... +100 °C {-40 ... +125 °C}													
S-11 with cooling element: -4 ... +302 °F	S-11 with cooling element: -20 ... +150 °C													
-4 ... +176 °F	-20 ... +80 °C													
S-11 with cooling element: -4 ... +176 °F	S-11 with cooling element: -20 ... +80 °C													
-40 ... +212 °F	-40 ... +100 °C													
S-11 with cooling element: -4 ... +212°F	S-11 with cooling element: -20 ... +100 °C													
		<sup>9)</sup> Also complies with EN 50178, Tab. 7, Type C, Class 4KH Operation, 1K4 Storage, 1K3 Transport												
Compensated temperature range		32 ... +176 °F   0 ... +80 °C												
Temperature coefficients (TC) within compensated temp range:														
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mean TC of zero</li> <li>■ Mean TC of range</li> </ul>	% of span	≤ 0.2 / 10 K (< 0.4 for pressure range < 100 INWC) ≤ 0.2 / 10 K												
<b>CE - conformity</b>		89/336/EWG interference emission and immunity see EN 61 326, interference emission limit class A and B, 97/23/EG Pressure equipment directive (Module H)												
Shock resistance	g	1000 according to IEC 60068-2-27 (mechanical shock)												
Vibration resistance	g	20 according to IEC 60068-2-6 (vibration under resonance)												
Wiring protection		Protected against reverse polarity, overvoltage and short circuit												
Weight	lb	Approx. 0.4												

{ } Items in curved brackets { } are optional extras for additional price.

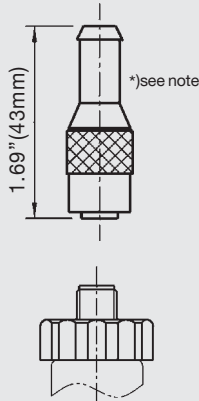
# Dimensions in inches(mm)

## Electrical connections

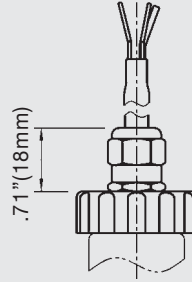
L-connector, DIN EN 175301-803, Form A (DIN 43 650) for conductor cross section up to max. 1.5 mm<sup>2</sup>, conductor outer diameter 0.3" (6-8 mm), NEMA 5 / IP 65  
Order code: A4



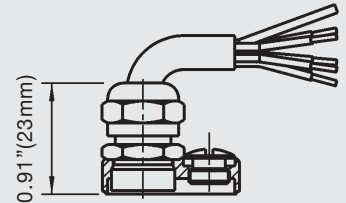
Circular connector M 12x1, 5-pin, NEMA 4 / IP 67  
Order code: M5



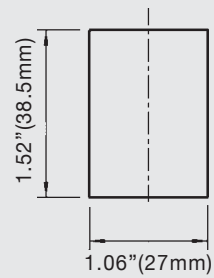
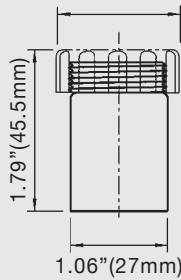
Flying leads conductor cross section up to max. 0.5 mm<sup>2</sup> / AWG 20 with end splices, conductor outer diameter 6.8 mm, NEMA 4 / IP 67  
Order code: DL



Cable with free ends, adjustable zero and span conductor cross section up to max. 0.5 mm<sup>2</sup> / AWG 20 with end splices, conductor outer diameter 6.8 mm, NEMA 6 P / IP 68  
Order code: XM

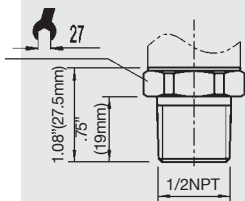


## Case

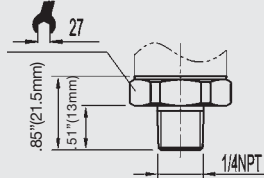


## S-10 pressure connections (others available)

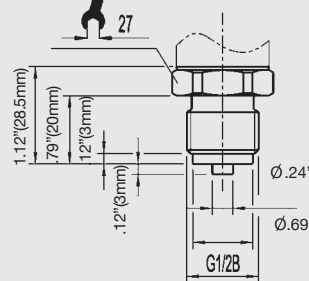
1/2 NPT male  
Order code: ND



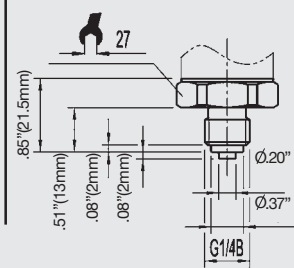
1/4 NPT male  
Order code: NB



G1/2B male  
Order code: GD

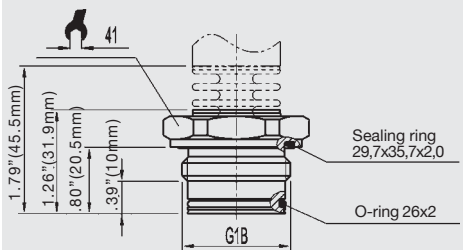


G1/4B male  
Order code: GB

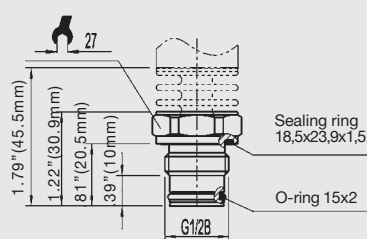


## S-11 flush diaphragm pressure connections

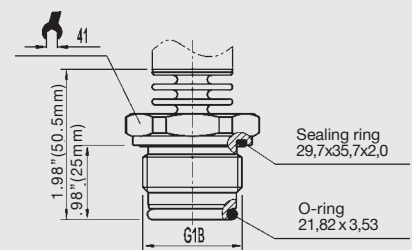
G 1B with or without cooling element 50 INWC to 30 PSI  
Order code: 85



G 1/2 B with or without cooling element 50 PSI to 8000 PSI  
Order code: 86



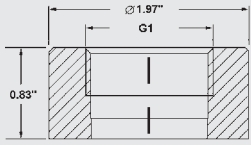
G1B according to EHEDG \*\* with cooling element, up to 302°F (150°C) 100 INWC to 250 PSI  
Order code: 84



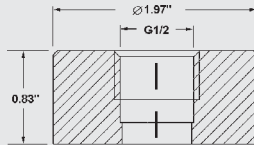
\*\* European Hygienic Equipment Design Group

\*) Mating connector not included

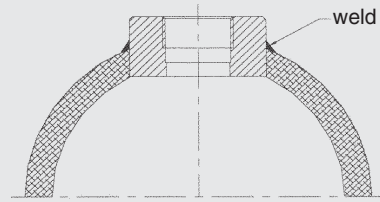
## Matching P-1 weld insert adapters for S-11 pressure transmitters



P-1 G1 weld insert adapter  
Part # 1206974  
for pressure ranges  $\leq 30$  PSI



P-1 G1/2 weld insert adapter  
Part # 1097008  
for pressure ranges  $\geq 50$  PSI

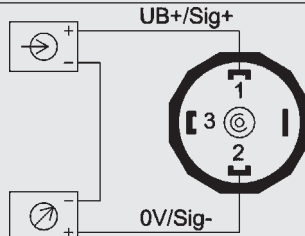


Cross section view of P-1  
adapter installed in pipe.

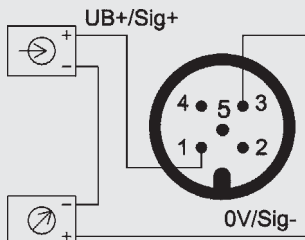
## Wiring

### 2-wire system

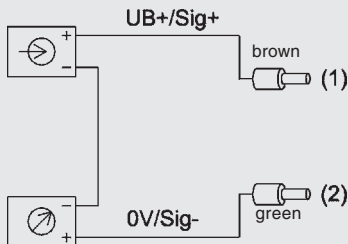
L-Connector,  
DIN EN 175301-803, Form A  
(DIN 43 650)



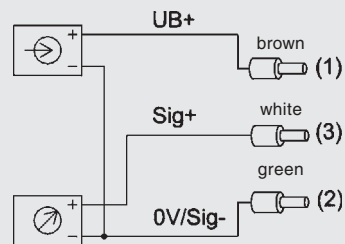
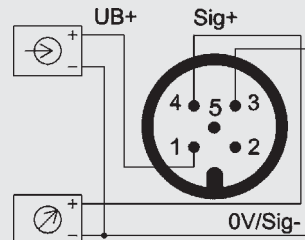
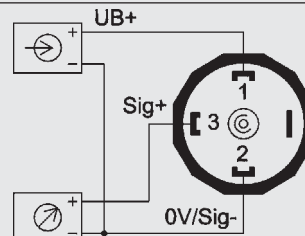
M12x1 Circular connector  
5 pin



Vented cable with free ends



### 3-wire system



### Legend:

	power supply	Sig+	output signal positive
	load (e.g. display)	UB+	power supply positive
		0V	power supply negative
		Sig-	output signal negative

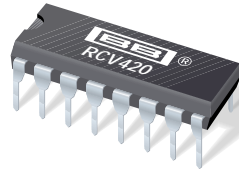
Specifications and dimensions given in this data sheet represent the state of engineering at the time of printing. Modifications may take place and materials specified may be replaced by others without prior notice.



**WIKAL Instrument Corporation**  
1000 Wiegand Boulevard  
Lawrenceville, Georgia 30043-5868  
Tel: 770-513-8200 Fax: 77-338-5118  
wika.com e-mail: info@wika.com

## **ANEXO VI: HOJA DE DATOS CIRCUITO**

### **CONVERTIDOR 4-20 mA A 0-5V**



RCV420

# Precision 4mA to 20mA CURRENT LOOP RECEIVER

## FEATURES

- COMPLETE 4-20mA TO 0-5V CONVERSION
- INTERNAL SENSE RESISTORS
- PRECISION 10V REFERENCE
- BUILT-IN LEVEL-SHIFTING
- ±40V COMMON-MODE INPUT RANGE
- 0.1% OVERALL CONVERSION ACCURACY
- HIGH NOISE IMMUNITY: 86dB CMR

## APPLICATIONS

- PROCESS CONTROL
- INDUSTRIAL CONTROL
- FACTORY AUTOMATION
- DATA ACQUISITION
- SCADA
- RTUs
- ESD
- MACHINE MONITORING

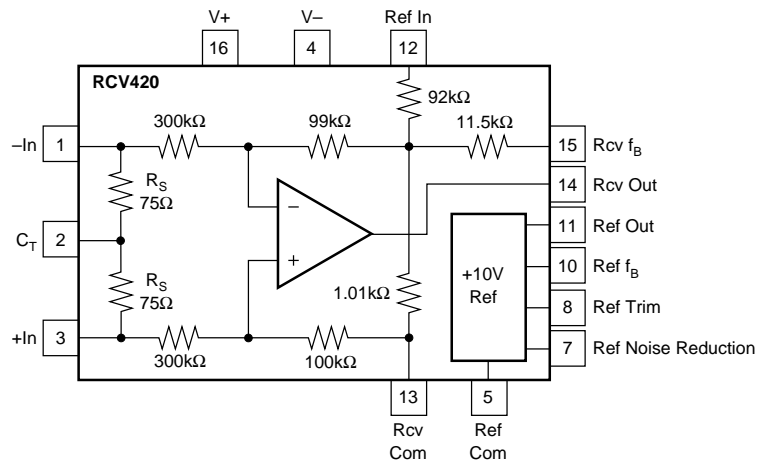
## DESCRIPTION

The RCV420 is a precision current-loop receiver designed to convert a 4–20mA input signal into a 0–5V output signal. As a monolithic circuit, it offers high reliability at low cost. The circuit consists of a premium grade operational amplifier, an on-chip precision resistor network, and a precision 10V reference. The RCV420 features 0.1% overall conversion accuracy, 86dB CMR, and ±40V common-mode input range.

The circuit introduces only a 1.5V drop at full scale, which is useful in loops containing extra instrument burdens or in intrinsically safe applications where

transmitter compliance voltage is at a premium. The 10V reference provides a precise 10V output with a typical drift of 5ppm/°C.

The RCV420 is completely self-contained and offers a highly versatile function. No adjustments are needed for gain, offset, or CMR. This provides three important advantages over discrete, board-level designs: 1) lower initial design cost, 2) lower manufacturing cost, and 3) easy, cost-effective field repair of a precision circuit.



International Airport Industrial Park • Mailing Address: PO Box 11400, Tucson, AZ 85734 • Street Address: 6730 S. Tucson Blvd., Tucson, AZ 85706 • Tel: (520) 746-1111 • Twx: 910-952-1111  
 Internet: <http://www.burr-brown.com/> • FAXLine: (800) 548-6133 (US/Canada Only) • Cable: BBRCORP • Telex: 066-6491 • FAX: (520) 889-1510 • Immediate Product Info: (800) 548-6132



# SPECIFICATIONS

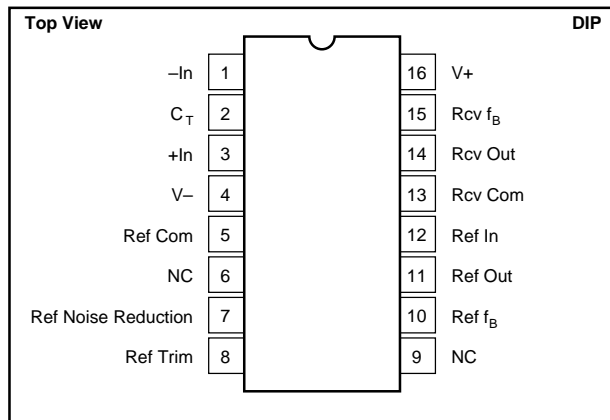
## ELECTRICAL

At T = +25°C and V<sub>S</sub> = ±15V, unless otherwise noted.

CHARACTERISTICS	RCV420KP, JP			UNITS
	MIN	TYP	MAX	
<b>GAIN</b>				
Initial		0.3125		V/mA
Error		0.05	0.15	% of span
Error—JP Grade			0.25	% of span
vs Temp		15		ppm/°C
Nonlinearity <sup>(1)</sup>		0.0002	0.002	% of span
<b>OUTPUT</b>				
Rated Voltage (I <sub>O</sub> = +10mA, -5mA)	10	12		V
Rated Current (E <sub>O</sub> = 10V)	+10, -5			mA
Impedance (Differential)		0.01		Ω
Current Limit (To Common)		+49, -13		mA
Capacitive Load (Stable Operation)		1000		pF
<b>INPUT</b>				
Sense Resistance	74.25	75	75.75	Ω
Input Impedance (Common-Mode)		200		kΩ
Common-Mode Voltage			±40	V
CMR <sup>(2)</sup>	70	80		dB
vs Temp (DC) (T <sub>A</sub> = T <sub>MIN</sub> to T <sub>MAX</sub> )		76		dB
AC 60Hz		80		dB
<b>OFFSET VOLTAGE (RTO)<sup>(3)</sup></b>				
Initial			1	mV
vs Temp		10		μV/°C
vs Supply (±11.4V to ±18V)	74	90		dB
vs Time		200		μV/mo
<b>ZERO ERROR<sup>(4)</sup></b>				
Initial		0.025	0.075	% of span
Initial—JP Grade			0.15	% of span
vs Temp		10		ppm of span/°C
<b>OUTPUT NOISE VOLTAGE</b>				
f <sub>B</sub> = 0.1Hz to 10Hz		50		μVp-p
f <sub>O</sub> = 10kHz		800		nV/√Hz
<b>DYNAMIC RESPONSE</b>				
Gain Bandwidth		150		kHz
Full Power Bandwidth		30		kHz
Slew Rate		1.5		V/μs
Settling Time (0.01%)		10		μs
<b>VOLTAGE REFERENCE</b>				
Initial	9.99		10.01	V
Trim Range <sup>(5)</sup>		±4		%
vs Temp		5		ppm/°C
vs Supply (±11.4V to ±18V)		0.0002		%/V
vs Output Current (I <sub>O</sub> = 0 to +10mA)		0.0002		%/mA
vs Time		15		ppm/kHz
Noise (0.1Hz to 10Hz)		5		μVp-p
Output Current	+10, -2			mA
<b>POWER SUPPLY</b>				
Rated		±15		V
Voltage Range <sup>(6)</sup>	-5, +11.4		±18	V
Quiescent Current (V <sub>O</sub> = 0V)		3	4	mA
<b>TEMPERATURE RANGE</b>				
Specification	0		+70	°C
Operation	-25		+85	°C
Storage	-40		+85	°C
Thermal Resistance, θ <sub>JA</sub>		80		°C/W

NOTES: (1) Nonlinearity is the max peak deviation from best fit straight line. (2) With 0 source impedance on Rcv Com pin. (3) Referred to output with all inputs grounded including Ref In. (4) With 4mA input signal and Voltage Reference connected (includes V<sub>OS</sub>, Gain Error, and Voltage Reference Errors). (5) External trim slightly affects drift. (6) I<sub>O</sub> Ref = 5mA, I<sub>O</sub> Rcv = 2mA.

## PIN CONFIGURATION



## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS<sup>(1)</sup>

Supply	±22V
Input Current, Continuous	40mA
Input Current Momentary, 0.1s	250mA, 1% Duty Cycle
Common-Mode Input Voltage, Continuous	±40V
Lead Temperature (soldering, 10s)	+300°C
Output Short Circuit to Common (Rcv and Ref)	Continuous

NOTE: (1) Stresses above these ratings may cause permanent damage.

## PACKAGE INFORMATION

PRODUCT	PACKAGE	PACKAGE DRAWING NUMBER <sup>(1)</sup>
RCV420KP	16-Pin Plastic DIP	180
RCV420JP	16-Pin Plastic DIP	180

NOTE: (1) For detailed drawing and dimension table, please see end of data sheet, or Appendix C of Burr-Brown IC Data Book.

## ORDERING INFORMATION

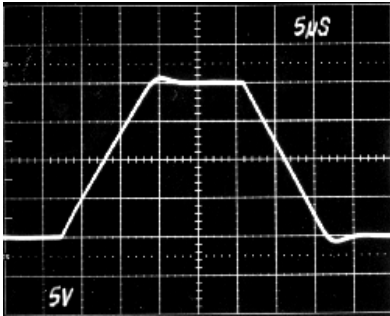
PRODUCT	PERFORMANCE GRADE	PACKAGE
RCV420KP	0°C to +70°C	16-Pin Plastic DIP
RCV420JP	0°C to +70°C	16-Pin Plastic DIP

The information provided herein is believed to be reliable; however, BURR-BROWN assumes no responsibility for inaccuracies or omissions. BURR-BROWN assumes no responsibility for the use of this information, and all use of such information shall be entirely at the user's own risk. Prices and specifications are subject to change without notice. No patent rights or licenses to any of the circuits described herein are implied or granted to any third party. BURR-BROWN does not authorize or warrant any BURR-BROWN product for use in life support devices and/or systems.

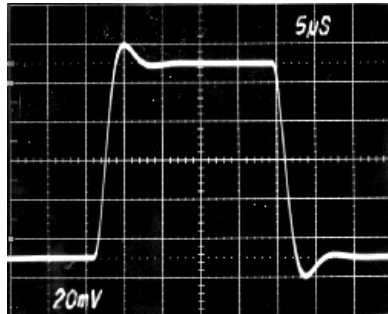
# TYPICAL PERFORMANCE CURVES

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$ , unless otherwise noted.

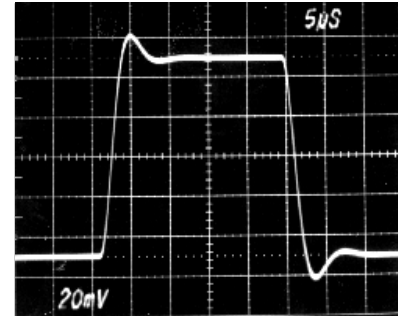
STEP RESPONSE  
NO LOAD



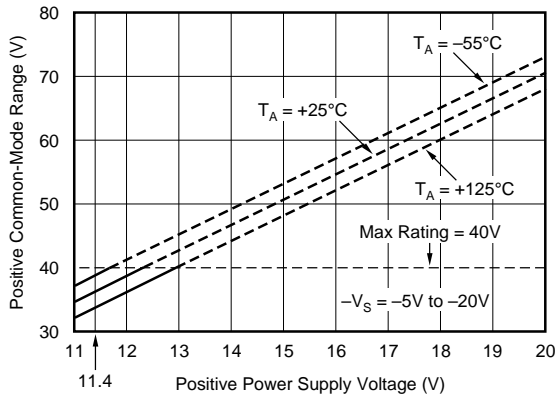
SMALL SIGNAL RESPONSE  
NO LOAD



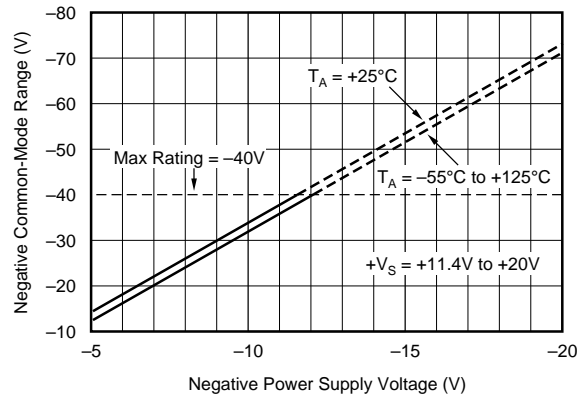
SMALL SIGNAL RESPONSE  
 $R_L = \infty$ ,  $C_L = 1000\text{pF}$



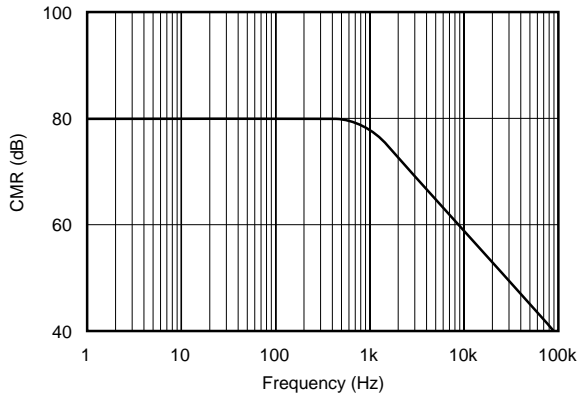
POSITIVE COMMON-MODE VOLTAGE RANGE  
vs POSITIVE POWER SUPPLY VOLTAGE



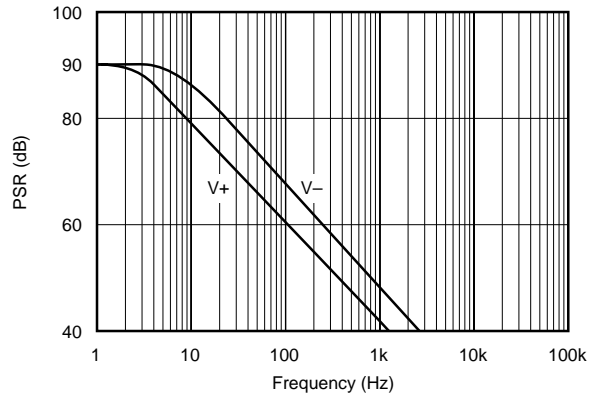
NEGATIVE COMMON-MODE VOLTAGE RANGE  
vs NEGATIVE POWER SUPPLY VOLTAGE



COMMON-MODE REJECTION  
vs FREQUENCY



POWER-SUPPLY REJECTION  
vs FREQUENCY



## THEORY OF OPERATION

Refer to the figure on the first page. For 0 to 5V output with 4–20mA input, the required transimpedance of the circuit is:

$$V_{OUT}/I_{IN} = 5V/16mA = 0.3125V/mA.$$

To achieve the desired output (0V for 4mA and 5V for 20mA), the output of the amplifier must be offset by an amount:

$$V_{OS} = -(4mA)(0.3125V/mA) = -1.25V.$$

The input current signal is connected to either +In or –In, depending on the polarity of the signal, and returned to ground through the center tap,  $C_T$ . The balanced input—two matched  $75\Omega$  sense resistors,  $R_S$ —provides maximum rejection of common-mode voltage signals on  $C_T$  and true differential current-to-voltage conversion. The sense resistors convert the input current signal into a proportional voltage, which is amplified by the differential amplifier. The voltage gain of the amplifier is:

$$A_D = 5V/(16mA)(75\Omega) = 4.1667V/V.$$

The tee network in the feedback path of the amplifier provides a summing junction used to generate the required –1.25V offset voltage. The input resistor network provides high-input impedance and attenuates common-mode input voltages to levels suitable for the operational amplifier’s common-mode signal capabilities.

## BASIC POWER SUPPLY AND SIGNAL CONNECTIONS

Figure 1 shows the proper connections for power supply and signal. Both supplies should be decoupled with  $1\mu F$  tantalum capacitors as close to the amplifier as possible. To avoid gain and CMR errors introduced by the external circuit, connect grounds as indicated, being sure to minimize ground resistance. The input signal should be connected to either +In or –In, depending on its polarity, and returned through the center tap,  $C_T$ . The output of the voltage reference, Ref Out, should be connected to Ref In for the

necessary level shifting. If the Ref In pin is not used for level shifting, then it must be grounded to maintain high CMR.

## GAIN AND OFFSET ADJUSTMENT

Figure 2 shows the circuit for adjusting the RCV420 gain. Increasing the gain of the RCV420 is accomplished by inserting a small resistor in the feedback path of the amplifier. Increasing the gain using this technique results in CMR degradation, and therefore, gain adjustments should be kept as small as possible. For example, a 1% increase in gain is typically realized with a  $125\Omega$  resistor, which degrades CMR by about 6dB.

A decrease in gain can be achieved by placing matched resistors in parallel with the sense resistors, also shown in Figure 2. The adjusted gain is given by the following expression

$$V_{OUT}/I_{IN} = 0.3125 \times R_X/(R_X + R_S).$$

A 1% decrease in gain can be achieved with a  $7.5k\Omega$  resistor. It is important to match the parallel resistance on each sense resistor to maintain high CMR. The TCR mismatch between the two external resistors will effect gain error drift and CMR drift.

There are two methods for nulling the RCV420 output offset voltage. The first method applies to applications using the internal 10V reference for level shifting. For these applica-

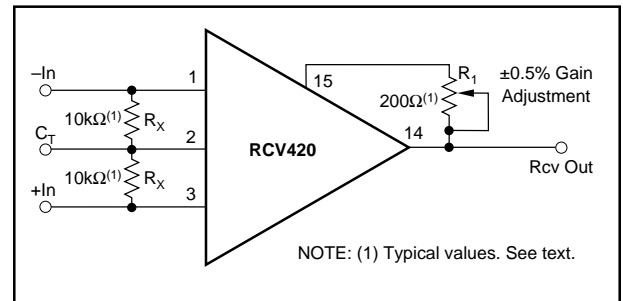


FIGURE 2. Optional Gain Adjustment.

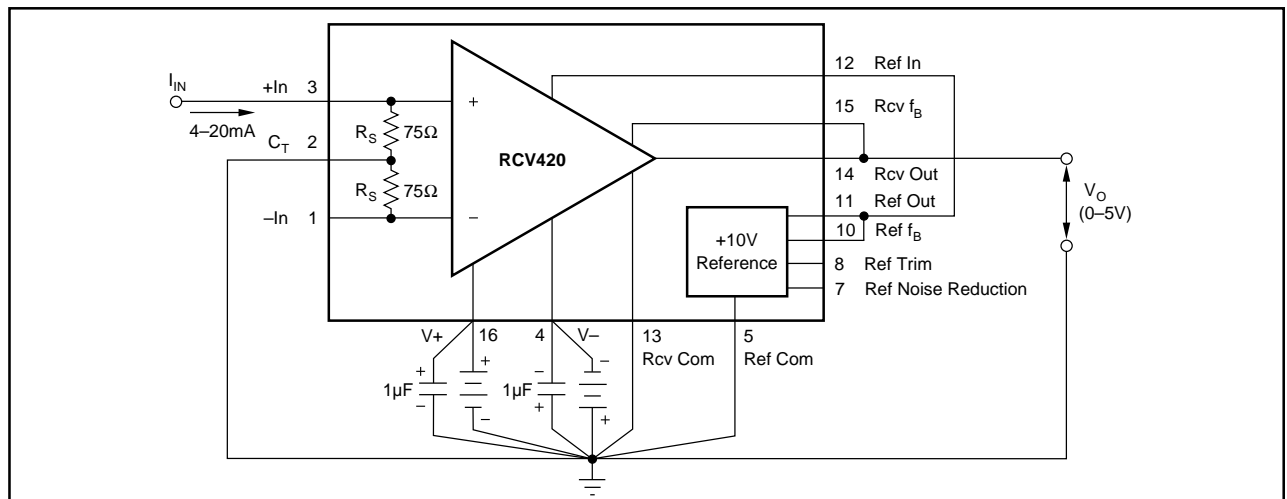


FIGURE 1. Basic Power Supply and Signal Connections.

tions, the voltage reference output trim procedure can be used to null offset errors at the output of the RCV420. The voltage reference trim circuit is discussed under “Voltage Reference.”

When the voltage reference is not used for level shifting or when large offset adjustments are required, the circuit in Figure 3 can be used for offset adjustment. A low impedance on the Rcv Com pin is required to maintain high CMR.

### ZERO ADJUSTMENT

Level shifting the RCV420 output voltage can be achieved using either the Ref In pin or the Rcv Com pin. The disadvantage of using the Ref In pin is that there is an 8:1 voltage attenuation from this pin to the output of the RCV420. Thus, use the Rcv Com pin for large offsets, because the voltage on this pin is seen directly at the output. Figure 4 shows the circuit used to level-shift the output of the RCV420

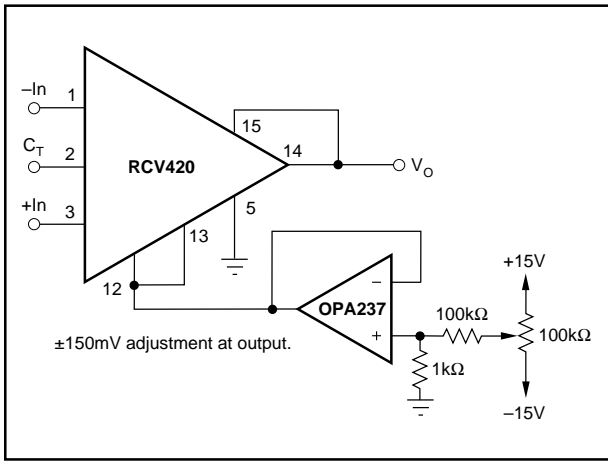


FIGURE 3. Optional Output Offset Nulling Using External Amplifier.

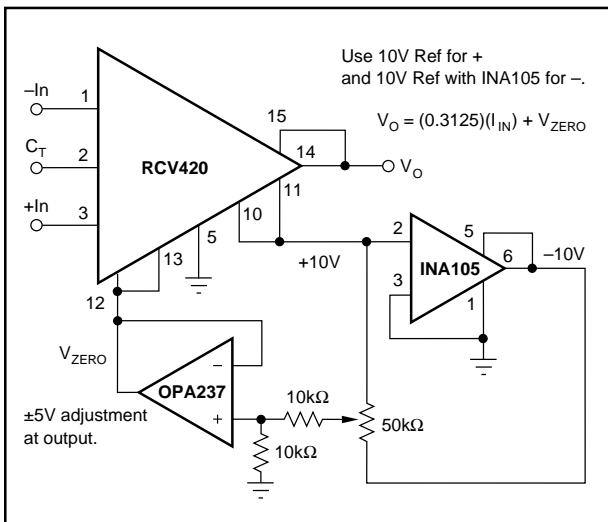


FIGURE 4. Optional Zero Adjust Circuit.

using the Rcv Com pin. It is important to use a low-output impedance amplifier to maintain high CMR. With this method of zero adjustment, the Ref In pin must be connected to the Rcv Com pin.

### MAINTAINING COMMON-MODE REJECTION

Two factors are important in maintaining high CMR: (1) resistor matching and tracking (the internal resistor network does this) and (2) source impedance. CMR depends on the accurate matching of several resistor ratios. The high accuracies needed to maintain the specified CMR and CMR temperature coefficient are difficult and expensive to reliably achieve with discrete components. Any resistance imbalance introduced by external circuitry directly affects CMR. These imbalances can occur by: mismatching sense resistors when gain is decreased, adding resistance in the feedback path when gain is increased, and adding series resistance on the Rcv Com pin.

The two sense resistors are laser-trimmed to typically match within 0.01%; therefore, when adding parallel resistance to decrease gain, take care to match the parallel resistance on each sense resistor. To maintain high CMR when increasing the gain of the RCV420, keep the series resistance added to the feedback network as small as possible. Whether the Rcv Com pin is grounded or connected to a voltage reference for level shifting, keep the series resistance on this pin as low as possible. For example, a resistance of 20Ω on this pin degrades CMR from 86dB to approximately 80dB. For applications requiring better than 86dB CMR, the circuit shown in Figure 5 can be used to adjust CMR.

### PROTECTING THE SENSE RESISTOR

The 75Ω sense resistors are designed for a maximum continuous current of 40mA, but can withstand as much as 250mA for up to 0.1s (see absolute maximum ratings). There are several ways to protect the sense resistor from

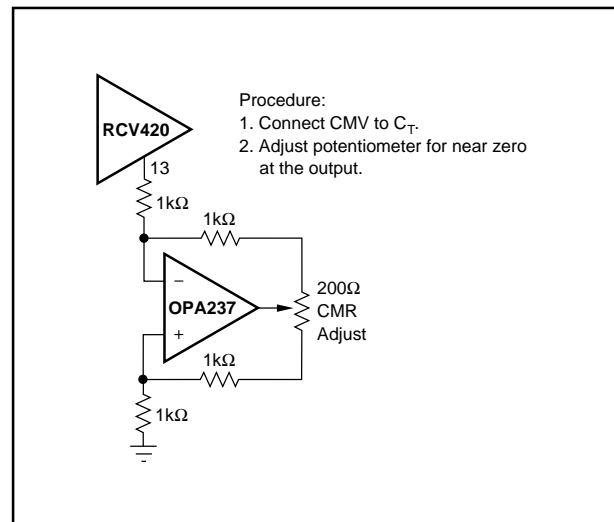


FIGURE 5. Optional Circuit for Externally Trimming CMR.

overcurrent conditions exceeding these specifications. Refer to Figure 6. The simplest and least expensive method is a resistor as shown in Figure 6a. The value of the resistor is determined from the expression

$$R_X = V_{CC}/40\text{mA} - 75\Omega$$

and the full scale voltage drop is

$$V_{RX} = 20\text{mA} \times R_X.$$

For a system operating off of a 32V supply  $R_X = 725\Omega$  and  $V_{RX} = 14.5\text{V}$ . In applications that cannot tolerate such a large voltage drop, use circuits 6b or 6c. In circuit 6b a power JFET and source resistor are used as a current limit. The  $200\Omega$  potentiometer,  $R_X$ , is adjusted to provide a current limit of approximately 30mA. This circuit introduces a 1–4V drop at full scale. If only a very small series voltage drop at full scale can be tolerated, then a 0.032A series 217 fast-acting fuse should be used, as shown in Figure 6c.

For automatic fold-back protection, use the circuit shown in Figure 15.

### VOLTAGE REFERENCE

The RCV420 contains a precision 10V reference. Figure 8 shows the circuit for output voltage adjustment. Trimming the output will change the voltage drift by approximately  $0.007\text{ppm}/^\circ\text{C}$  per mV of trimmed voltage. Any mismatch in TCR between the two sides of the potentiometer will also affect drift, but the effect is divided by approximately 5. The trim range of the voltage reference using this method is typically  $\pm 400\text{mV}$ . The voltage reference trim can be used to trim offset errors at the output of the RCV420. There is an 8:1 voltage attenuation from Ref In to Rcv Out, and thus the trim range at the output of the receiver is typically  $\pm 50\text{mV}$ .

The high-frequency noise (to 1MHz) of the voltage reference is typically  $1\text{mVp-p}$ . When the voltage reference is used for level shifting, its noise contribution at the output of the receiver is typically  $125\mu\text{Vp-p}$  due to the 8:1 attenuation from Ref In to Rcv Out. The reference noise can be reduced by connecting an external capacitor between the Noise Reduction pin and ground. For example,  $0.1\mu\text{F}$  capacitor reduces the high-frequency noise to about  $200\mu\text{Vp-p}$  at the output of the reference and about  $25\mu\text{Vp-p}$  at the output of the receiver.

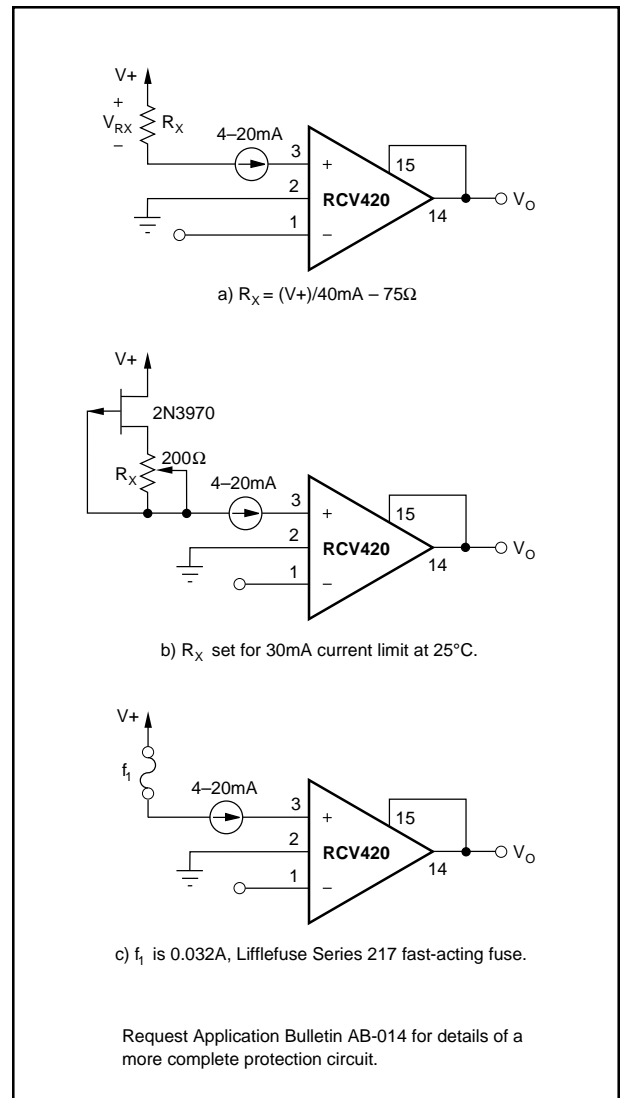


FIGURE 6. Protecting the Sense Resistors.

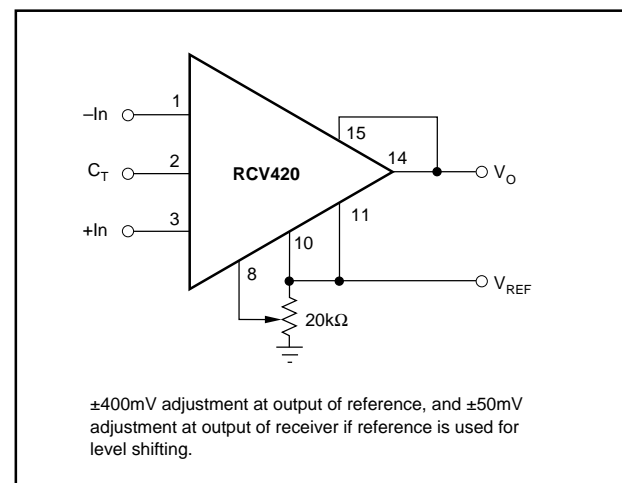


FIGURE 7. Optional Voltage Reference External Trim Circuit.

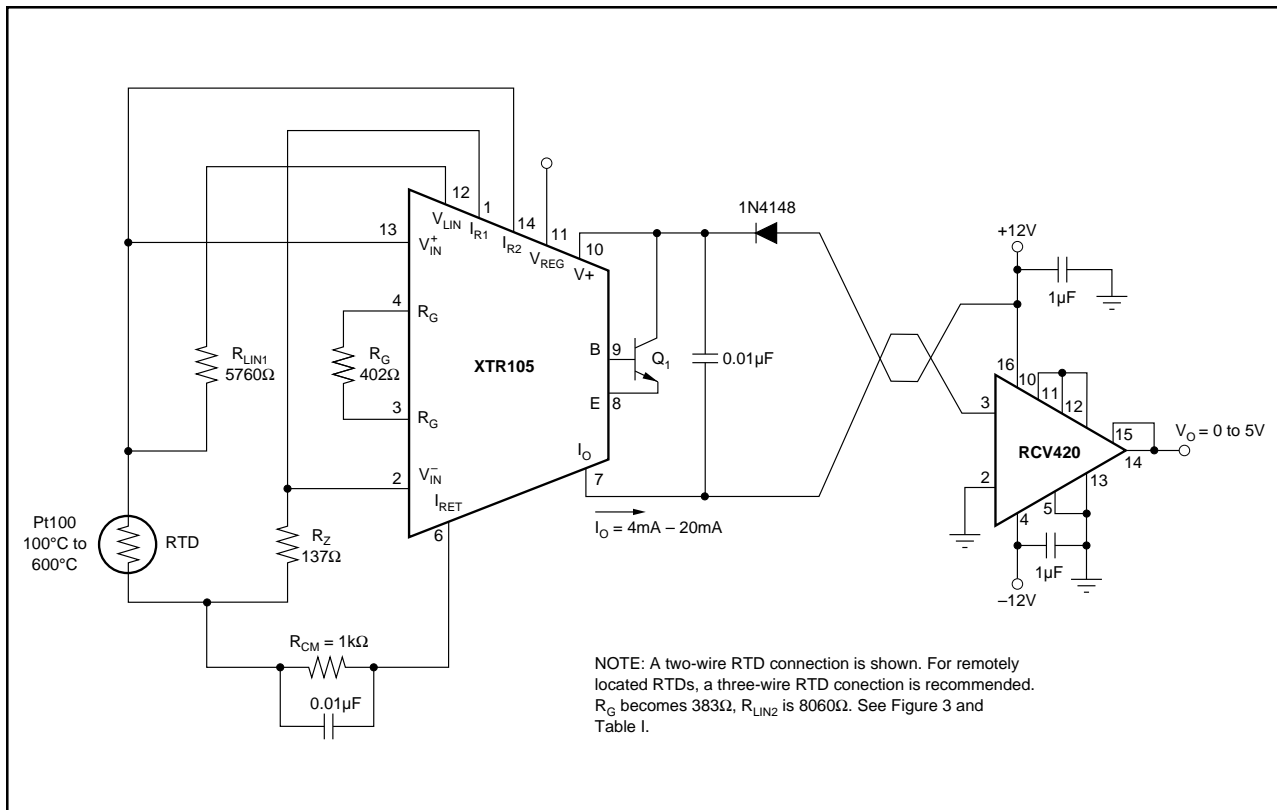


FIGURE 8. RCV420 Used in Conjunction with XTR101 to Form a Complete Solution for 4-20mA Loop.

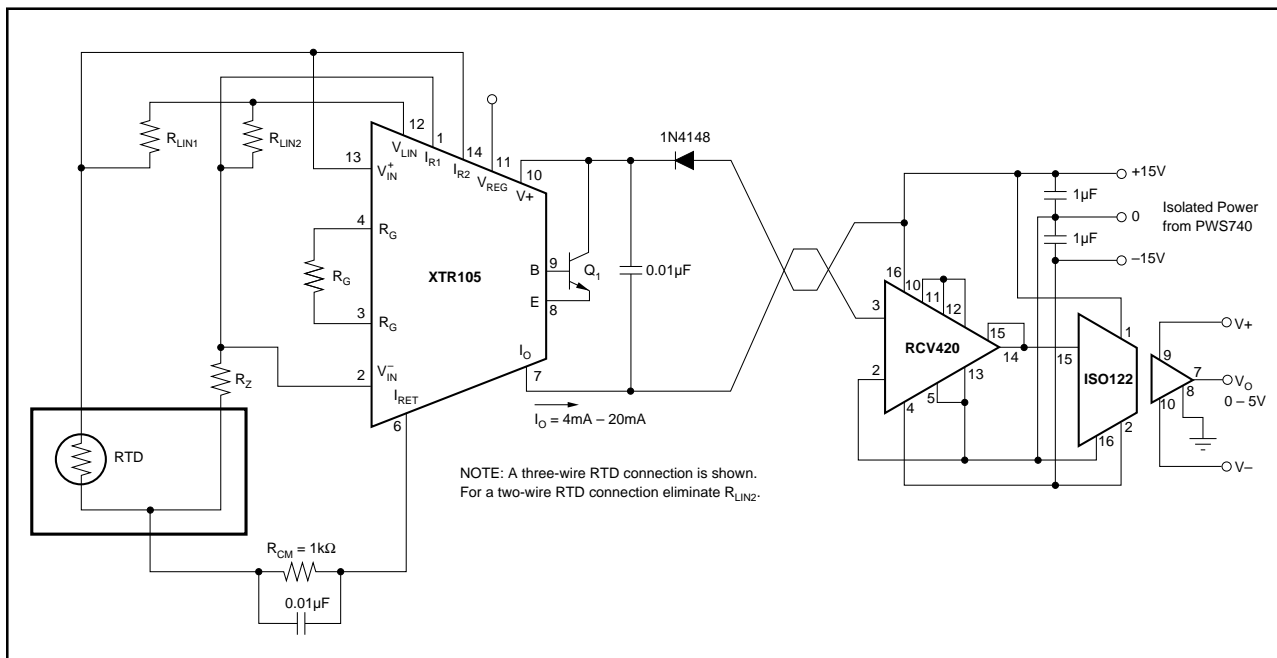
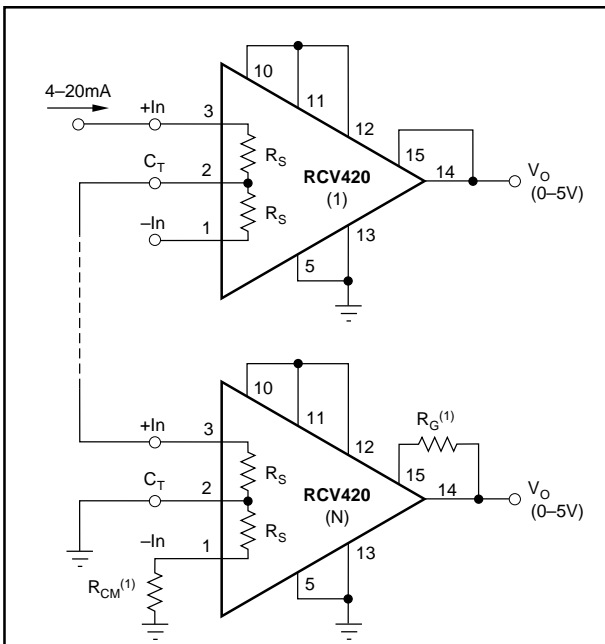


FIGURE 9. Isolated 4-20mA Instrument Loop (RTD shown).



NOTE: (1)  $R_{CM}$  and  $R_G$  are used to provide a first order correction of CMR and Gain Error, respectively. Table 1 gives typical resistor values for  $R_{CM}$  and  $R_G$  when as many as three RCV420s are stacked. Table II gives typical CMR and Gain Error with no correction. Further improvement in CMR and Gain Error can be achieved using a 500k $\Omega$  potentiometer for  $R_{CM}$  and a 100 $\Omega$  potentiometer for  $R_G$ .

RCV420	$R_{CM}$ (k $\Omega$ )	$R_G$ ( $\Omega$ )
1	$\infty$	0
2	200	7
3	67	23

TABLE 1. Typical Values for  $R_{CM}$  and  $R_G$ .

RCV420	CMR (dB)	GAIN ERROR %
1	94	0.025
2	68	0.075
3	62	0.200

TABLE II. Typical CMR and Gain Error Without Correction.

FIGURE 10. Series 4-20mA Receivers.

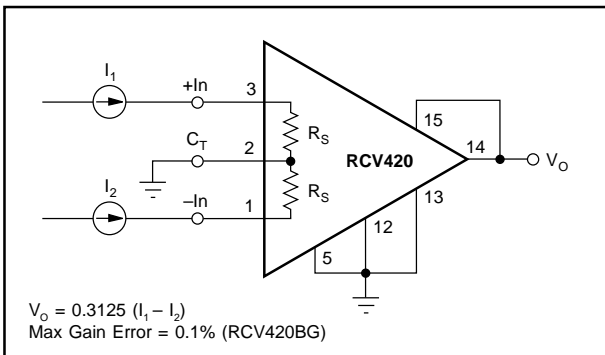


FIGURE 11. Differential Current-to-Voltage Converter.

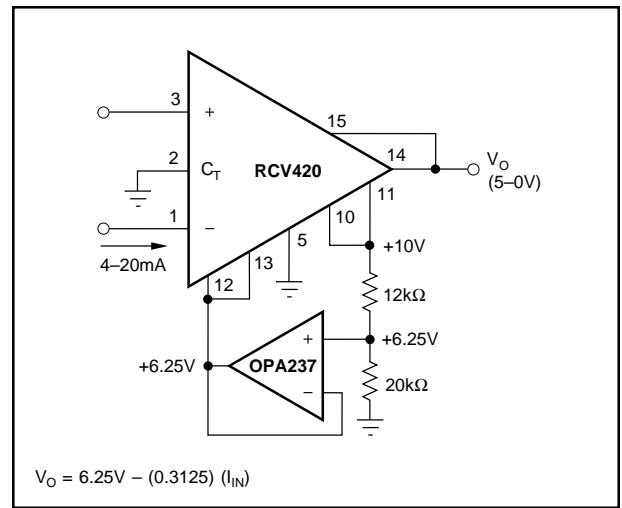


FIGURE 12. 4-20mA to 5-0V Conversion.

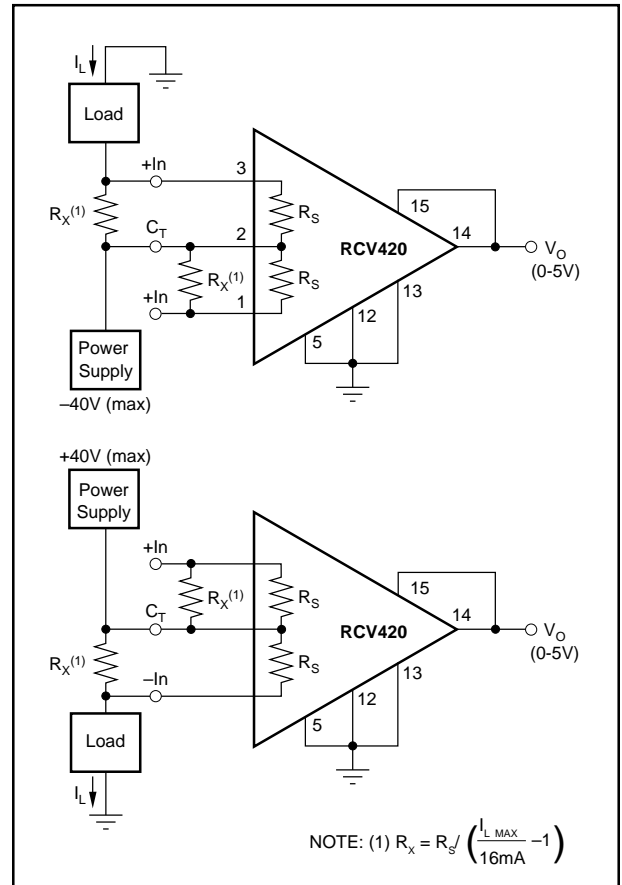


FIGURE 13. Power Supply Current Monitor Circuit.



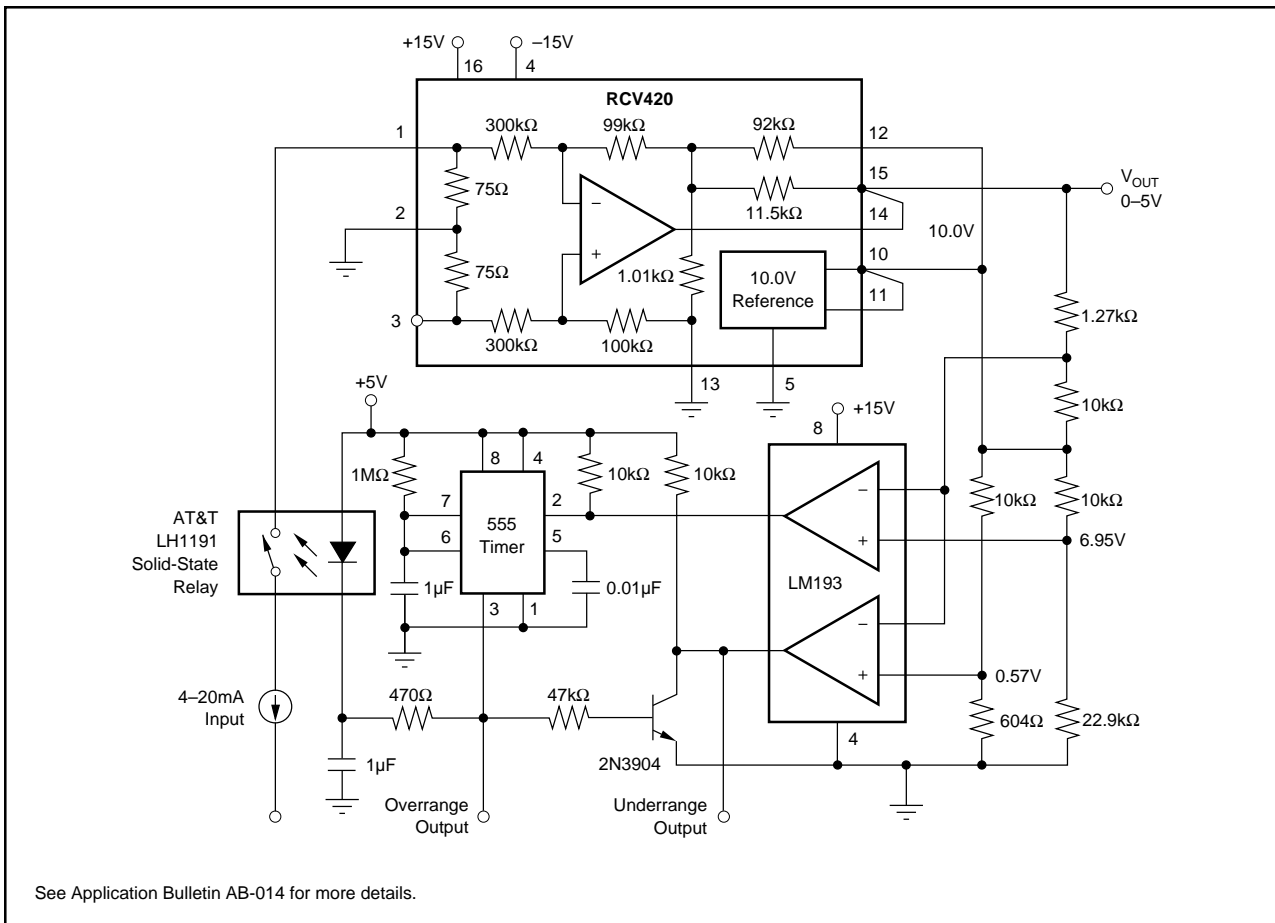


FIGURE 14. 4-20mA Current Loop Receiver with Input Overload Protection.

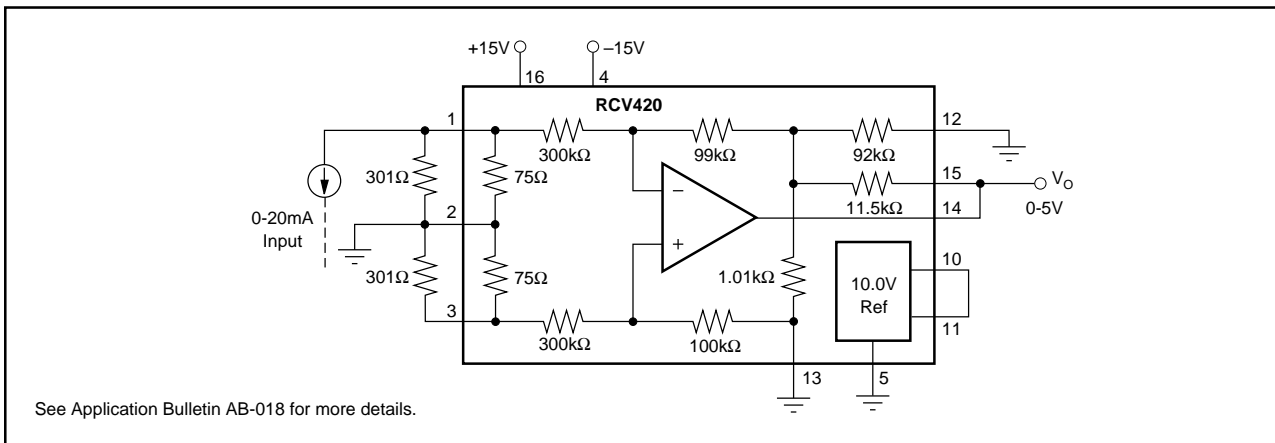


FIGURE 15. 0-20mA/0-5V Receiver Using RCV420.

**PACKAGING INFORMATION**

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead finish/ Ball material (6)	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Device Marking (4/5)	Samples
RCV420JP	ACTIVE	PDIP	N	16	25	RoHS & Green	Call TI	N / A for Pkg Type	0 to 70	RCV420JP	<a href="#">Samples</a>
RCV420JPG4	ACTIVE	PDIP	N	16	25	RoHS & Green	Call TI	N / A for Pkg Type	0 to 70	RCV420JP	<a href="#">Samples</a>
RCV420KP	ACTIVE	PDIP	N	16	25	RoHS & Green	Call TI	N / A for Pkg Type	0 to 70	RCV420KP	<a href="#">Samples</a>
RCV420KPG4	ACTIVE	PDIP	N	16	25	RoHS & Green	Call TI	N / A for Pkg Type	0 to 70	RCV420KP	<a href="#">Samples</a>

(1) The marketing status values are defined as follows:

**ACTIVE:** Product device recommended for new designs.

**LIFEBUY:** TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

**NRND:** Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

**PREVIEW:** Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

**OBSELETE:** TI has discontinued the production of the device.

(2) **RoHS:** TI defines "RoHS" to mean semiconductor products that are compliant with the current EU RoHS requirements for all 10 RoHS substances, including the requirement that RoHS substance do not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, "RoHS" products are suitable for use in specified lead-free processes. TI may reference these types of products as "Pb-Free".

**RoHS Exempt:** TI defines "RoHS Exempt" to mean products that contain lead but are compliant with EU RoHS pursuant to a specific EU RoHS exemption.

**Green:** TI defines "Green" to mean the content of Chlorine (Cl) and Bromine (Br) based flame retardants meet JS709B low halogen requirements of <=1000ppm threshold. Antimony trioxide based flame retardants must also meet the <=1000ppm threshold requirement.

(3) MSL, Peak Temp. - The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

(4) There may be additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category on the device.

(5) Multiple Device Markings will be inside parentheses. Only one Device Marking contained in parentheses and separated by a "-" will appear on a device. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire Device Marking for that device.

(6) Lead finish/Ball material - Orderable Devices may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead finish/Ball material values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

**Important Information and Disclaimer:**The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and

continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

## IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

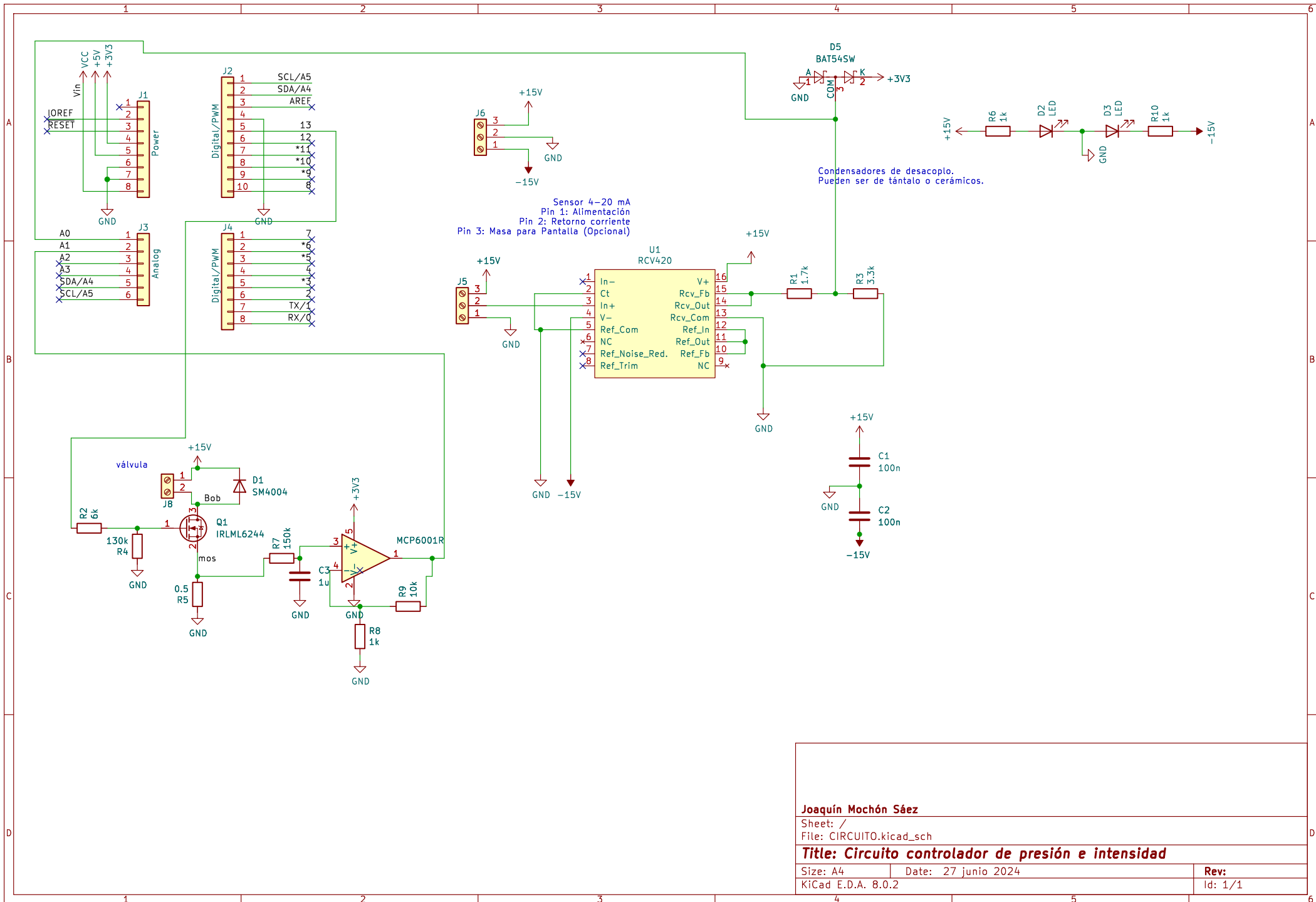
These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](http://ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2021, Texas Instruments Incorporated

# **ANEXO VII: CIRCUITO ELECTRÓNICO UTILIZADO EN EL PROYECTO**



Joaquín Mochón Sáez

Sheet: /  
File: CIRCUITO.kicad\_sch

**Title: Circuito controlador de presión e intensidad**

Size: A4 Date: 27 junio 2024

KiCad E.D.A. 8.0.2

Rev:

Id: 1/1

# **ANEXO VIII: PLACA FINAL UTILIZADA EN EL PROYECTO**

