

EIE

Escuela de
Ingeniería Eléctrica

Universidad de Costa Rica

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Eléctrica



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

IE-0624

Laboratorio de Microcontroladores

Proyecto Final:
Sistema de riego automatizado con
ESP8266MOD conectado a IoT

Fernando Jiménez Ureña B74020

Kristel Herrera Rodríguez C13769

II ciclo
Diciembre 2023

1. Introducción y Resumen

Este proyecto busca diseñar e implementar un sistema de riego automatizado para plantas de interior, utilizando un microcontrolador ESP8266MOD y tecnologías de IoT. El objetivo es crear una solución que mejore el cuidado de las plantas y optimice el uso del agua a través de la automatización y el monitoreo inteligente.

La necesidad de un cuidado constante y adecuado de las plantas de interior es un desafío común para muchos, especialmente en entornos urbanos donde el tiempo y la atención de los individuos pueden ser limitados. La solución propuesta busca abordar esta problemática mediante un sistema que ajusta automáticamente la frecuencia y cantidad de riego basándose en la humedad del suelo detectada por sensores. Este enfoque garantiza que las plantas reciban la cantidad exacta de agua necesaria para su salud y crecimiento óptimos, evitando tanto el riego excesivo como el insuficiente.

El sistema empleará un microcontrolador ESP8266MOD como núcleo de control, integrando sensores de humedad del suelo para monitorear constantemente las condiciones de las plantas. Además, se implementará la tecnología IoT para permitir la interacción remota entre el usuario y el sistema. Esto incluye la posibilidad de recibir notificaciones sobre el estado de las plantas y realizar ajustes en el programa de riego a través de una interfaz de usuario intuitiva.

Este proyecto no solo busca simplificar el cuidado de las plantas de interior, sino también promover prácticas de riego más sostenibles y eficientes. Al ajustar el riego a las necesidades específicas de cada planta, se espera reducir el desperdicio de agua, contribuyendo así a un enfoque más ecológico y consciente del cuidado de las plantas. La integración de la tecnología de IoT brinda un valor añadido, permitiendo a los usuarios interactuar con el sistema de manera más dinámica y personalizada, lo cual es particularmente valioso en la era actual de hogares inteligentes y tecnología conectada. El proyecto se encuentra en el siguiente repositorio: Proyecto en GitHub y los videos demostrativos se encuentran en Video demostrativo en Google Drive.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Diseñar e implementar una maceta automatizada para el cuidado de plantas de interior que utilice sensores de humedad en la tierra y tecnología de riego automatizado mediante el uso de un microcontrolador ESP8266MOD.

2.2. Objetivos Específicos

- Proporcionar un entorno óptimo para el crecimiento de las plantas simplificando el cuidado para los usuarios.
- Diseñar un Sistema de Riego Automatizado que ajuste la cantidad de agua suministrada a la planta según los niveles medidos de humedad en la tierra.
- Integrar Tecnología de Control mediante el ESP8266MOD para que gestione la toma de decisiones.
- Optimizar el sistema para garantizar un uso eficiente del agua evitando el desperdicio y adaptándose a las necesidades reales de la planta.
- Implementar Internet de las cosas (IoT) para habilitar la comunicación entre la maceta y el usuario permitiendo el envío de notificaciones sobre el estado de la planta y avisos de riego a través de dispositivos conectados.

3. Alcances

El alcance de este proyecto es desarrollar un sistema de riego automatizado para plantas de interior, que no solo simplifique el proceso de cuidado de las plantas, sino que también optimice el uso de recursos hídricos. El sistema se centrará en el uso de un microcontrolador ESP8266MOD para controlar un conjunto de sensores de humedad del suelo y activadores de riego, proporcionando una respuesta automática y ajustable a las necesidades específicas de diferentes tipos de plantas.

Este sistema incluirá las siguientes características:

- **Monitoreo Continuo:** Utilización de sensores de humedad para monitorear constantemente las condiciones del suelo, asegurando que las plantas reciban la cantidad adecuada de agua.
- **Automatización del Riego:** Implementación de un sistema automatizado de riego que se activa en función de los datos recogidos por los sensores, garantizando un riego eficiente y oportuno.
- **Programación Personalizable:** Capacidad para que los usuarios programen y ajusten los parámetros de riego según las necesidades específicas de sus plantas, lo que permite una mayor flexibilidad y adaptabilidad.
- **Integración de IoT:** Uso de tecnologías de Internet de las cosas para permitir el control y monitoreo remoto del sistema, incluyendo notificaciones en tiempo real sobre el estado del riego y la humedad del suelo.
- **Eficiencia de Recursos:** Diseño del sistema para maximizar la eficiencia en el uso del agua, reduciendo el desperdicio y contribuyendo a prácticas de cuidado de plantas más sostenibles.
- **Expansibilidad:** Posibilidad de ampliar y adaptar el sistema para manejar múltiples plantas o diferentes tipos de vegetación, haciendo que sea escalable y versátil.

El objetivo es crear un sistema que no solo beneficie a los usuarios simplificando el cuidado de las plantas, sino que también promueva un uso más consciente y eficiente del agua, alineándose con las tendencias actuales hacia la sostenibilidad y la tecnología inteligente en el hogar.

4. Justificación

La justificación para el desarrollo de un sistema de riego automatizado para plantas de interior radica en varios factores clave que abordan tanto las necesidades individuales de los usuarios como consideraciones ambientales más amplias. Este proyecto es esencial por las siguientes razones:

- **Necesidad de Simplificar el Cuidado de las Plantas:** En la vida urbana moderna, donde el tiempo es un recurso valioso, un sistema que automatiza el cuidado de las plantas puede ser de gran ayuda. Facilita a los usuarios mantener sus plantas saludables sin la necesidad de un monitoreo constante o la preocupación por el riego excesivo o insuficiente.
- **Promoción de la Sostenibilidad Ambiental:** La optimización del uso del agua en el riego de plantas es un paso importante hacia la sostenibilidad. Al ajustar precisamente la cantidad de agua suministrada a las necesidades reales de la planta, se reduce el desperdicio de agua, un recurso cada vez más valioso y limitado.
- **Integración de Tecnologías Avanzadas:** El uso de microcontroladores Arduino y tecnología IoT representa una integración significativa de la tecnología en la vida cotidiana. Esto no solo mejora la experiencia del usuario, sino que también abre el camino para futuras innovaciones en el hogar inteligente y la automatización.
- **Educación y Conciencia:** Implementar un sistema de riego automatizado puede ser una herramienta educativa, ayudando a los usuarios a entender mejor las necesidades de sus plantas. Además, promueve la conciencia sobre prácticas de cuidado de plantas más eficientes y ambientalmente responsables.
- **Contribución a la Investigación y Desarrollo:** Este proyecto también contribuye al campo de la automatización y control de sistemas, proporcionando insights valiosos y potenciales avances en el diseño y la implementación de soluciones automatizadas para el cuidado de plantas y otros sistemas domésticos.

En resumen, la implementación de este sistema de riego automatizado ofrece múltiples beneficios que van desde la comodidad personal hasta la eficiencia en el uso de recursos, al tiempo que se alinea con tendencias globales hacia la sostenibilidad y la integración de tecnología avanzada en la vida cotidiana.

5. Marco Teórico

5.1. Microcontroladores y Arduino: Enfoque en ESP8266MOD

El ESP8266MOD es un componente clave en el mundo de los microcontroladores debido a su capacidad para conectar dispositivos a redes WiFi a bajo costo. Este chip, conocido por su facilidad de uso, ha revolucionado el campo de los objetos conectados, acercando la tecnología del Internet de las Cosas (IoT) a la población general [1]. Su CPU Tensilica L106 de 32 bits, junto con un rango de voltaje de operación de 3V a 3.6V y una temperatura de operación entre -40°C y 125°C , lo hacen versátil para diversas aplicaciones.

En términos de conectividad, el ESP8266MOD soporta IPv4 y los protocolos TCP/UDP/HTTP/FTP. Aunque no soportaba HTTPS originalmente, actualizaciones recientes han permitido su implementación a través de software en cliente y servidor TLS1.2. Además, cuenta con 17 puertos GPIO, de los cuales 9 o 10 son utilizables, incluyendo uno especial conectado al RTC (Real Time Clock), lo que permite una amplia gama de posibilidades en la conexión con otros dispositivos y sensores [1].

La eficiencia energética es otra característica destacable del ESP8266MOD. Dependiendo de su modo de operación, el consumo de energía puede variar desde los $0.5\ \mu\text{A}$ en estado apagado hasta los 170 mA en transmisión máxima. Sus modos incluyen el modo activo para pleno rendimiento, el modo dormido para mantener la sincronización con bajo consumo, y el modo en sueño profundo para minimizar aún más el consumo de energía. Estas capacidades lo hacen ideal para aplicaciones en dispositivos portátiles, wearables, y otros dispositivos IoT donde la gestión eficiente de la energía es crucial [1].

5.2. Sensores de Humedad del Suelo

Los sensores de humedad para suelo son fundamentales en el proyecto, y el modelo seleccionado incluye una sonda de dos electrodos y un módulo convertidor, comúnmente conocido como HW-080 y HW-103 o YL-69. Estos sensores son económicos y ampliamente utilizados para medir la humedad del suelo [2]. El módulo convertidor permite la salida de dos tipos de señales: una digital, que ofrece una indicación binaria de humedad o sequedad, y una analógica, que proporciona un valor de voltaje proporcional a la humedad detectada, entre 0 y 5V [2].

La conexión del sensor con la placa Arduino es simple. El convertidor tiene dos lados: uno con cuatro pines para conectar a la placa Arduino y otro con dos pines para los electrodos. Se conecta el pin VCC a la alimentación de 5V de la placa Arduino, y el pin GND a tierra. En el modo de salida analógica, se utiliza la salida A0, conectándola a una de las entradas analógicas de la placa Arduino [2].

En modo analógico, la placa Arduino detecta el nivel de voltaje entregado por el sensor, lo cual se convierte en un número entre 0 y 1023, representando la cantidad de humedad detectada. Un valor cercano a 1023 indica suelo seco, mientras que un valor cercano a 0 indica alta humedad [2]. Por otro lado, al usar la salida digital (D0), se ajusta el umbral de decisión de humedad mediante un potenciómetro incorporado [2].

Es importante considerar la variabilidad en la distribución de la humedad del suelo y las diferentes necesidades de las plantas al utilizar estos sensores. Se recomienda usarlos como una referencia para calibrar la cantidad de agua necesaria y decidir cuándo activar un sistema de riego. Este sensor es ideal para mantener un nivel adecuado de humedad en las plantas, previniendo la sequedad por olvido de riego [2]. Una consideración técnica importante es el riesgo de óxido en los electrodos debido a la corriente eléctrica constante durante la medición. Para aumentar la vida útil del sensor, se sugiere alimentar el sensor solo durante las mediciones, utilizando un relevador para controlar la alimentación [2].

5.3. Automatización y Control de Sistemas

La automatización en diversos campos, incluido el agrícola, se basa en principios fundamentales que aseguran su eficacia y sostenibilidad. Según RIM [3], existen siete conceptos clave para la implementación exitosa de sistemas automatizados:

1. Controlar el proceso más que los equipos.
2. Formar un plan estratégico personalizado según los requisitos específicos del negocio.
3. Realizar un desarrollo por etapas, integrando cada paso en la cadena de producción de forma independiente.
4. Usar estándares confiables en la cadena de producción para facilitar la interacción entre operadores y máquinas.
5. Integrar consultas interdisciplinarias en la ingeniería del sistema automatizado.
6. Medir los datos de forma inteligente para analizar problemas y tomar decisiones efectivas.
7. Aprovechar la experiencia de especialistas con conocimientos y procesos maduros.

En el contexto de la agricultura, la FAO [4] destaca la importancia de adaptar la automatización para que contribuya a sistemas agroalimentarios sostenibles y resilientes. Las tecnologías de automatización digital pueden mitigar efectos negativos como la pérdida de biodiversidad, compactación y erosión del suelo, y la degradación del agua. Se promueve la adopción de prácticas como la agricultura de conservación con rotación de cultivos y el uso de maquinaria más ligera para reducir la compactación del suelo [4]. Además, se enfatiza el uso de tecnologías de automatización que sean respetuosas con el medio ambiente, como los pequeños robots de enjambre, y se alienta a los gobiernos a difundir información sobre tecnologías disponibles para la sostenibilidad ambiental [4]. La comunicación efectiva y la concienciación sobre los beneficios de la automatización, como la agricultura de precisión, son cruciales para su adopción exitosa [4].

5.4. Internet de las Cosas (IoT)

El Internet de las Cosas (IoT) es una red compuesta por dispositivos físicos, vehículos, electrodomésticos y otros objetos integrados con sensores, software y conectividad de red. Estos

dispositivos, también conocidos como “objetos inteligentes”, pueden variar desde simples dispositivos de hogar inteligente hasta complejos sistemas industriales. IoT permite que estos dispositivos inteligentes se comuniquen entre sí y con otros dispositivos con acceso a Internet, creando una extensa red de dispositivos interconectados que pueden intercambiar datos y realizar diversas tareas de forma autónoma [5].

Las aplicaciones de IoT son vastas y variadas, impactando en una amplia gama de industrias como la manufactura, el transporte, la atención médica y la agricultura. En un contexto empresarial, los dispositivos IoT se utilizan para monitorizar una amplia gama de parámetros, lo que permite a las empresas optimizar sus operaciones y mejorar sus resultados. La importancia de IoT radica en su capacidad para mejorar la eficiencia y productividad, facilitar la toma de decisiones basada en datos, generar ahorro de costes y mejorar la experiencia del cliente [5].

Diversas tecnologías se unen para hacer posible el IoT, incluyendo sensores y actuadores, tecnologías de conectividad, computación en la nube, análisis de big data y tecnologías de seguridad y privacidad. Estas tecnologías permiten que las máquinas y los dispositivos interactúen con el mundo físico y se resuelvan problemas sin intervención humana. Con la evolución continua de IoT, se espera un crecimiento significativo en el número de dispositivos conectados, lo que transformará aún más nuestra forma de vivir y trabajar [5].

5.5. Mini Bomba de Agua Sumergible

5.5.1. Descripción

La mini bomba de agua sumergible seleccionada para el proyecto es un componente crucial debido a su eficiencia y fiabilidad. Esta bomba cuenta con un motor de 6V a 0.25Amp de alta resistencia y un cuerpo termoplástico resistente. Es totalmente sumergible y está refrigerada por agua, aunque no se daña si opera en seco. La bomba es ideal para una variedad de aplicaciones, incluyendo la creación de fuentes o cascadas, y es especialmente útil en el contexto del riego automatizado de plantas.

5.5.2. Características Técnicas

- **Calidad:** Alta calidad.
- **Voltaje DC:** 2.5 - 6V.
- **Elevación Máxima:** 40 - 110cm.
- **Caudal:** 80 - 120L/H.
- **Diámetros de Salida de Agua:** Exterior de 7.5mm, interior de 4.7mm.
- **Dimensiones:** Diámetro aproximado de 24mm, longitud de 45mm, altura de 33mm.
- **Material:** Plástico de ingeniería.
- **Tipo de Motor:** Motor magnético sin escobillas (brushless) de corriente continua.

- **Vida Útil:** 500 horas de funcionamiento continuo.

Estas especificaciones indican que la bomba es capaz de mover un volumen significativo de agua de manera eficiente y fiable, lo que la hace ideal para su uso en sistemas de riego automatizados [6].

6. Desarrollo del Sistema de Riego Automatizado

6.1. Componentes del Sistema

El diseño del sistema de riego se fundamenta en la selección estratégica de componentes que trabajan en conjunto para una automatización eficiente:

- **NodeMCU ESP8266 board:** El cerebro del sistema, proporciona la conectividad WiFi y ejecuta el código de control del riego.
- **Sensor de humedad del suelo:** Detecta el nivel de humedad actual del suelo y envía la información al NodeMCU para la toma de decisiones.
- **Módulo de relé:** Actúa como un interruptor para controlar la mini bomba de agua de forma segura.
- **Mini bomba de agua y tubería:** Responsable del movimiento del agua desde el tanque hasta las plantas.
- **Batería de 9V y clip:** Provee energía autónoma al sistema, permitiendo su operación independiente.
- **Cables jumper:** Utilizados para el montaje provisional y la prueba de circuitos antes de su finalización.

6.2. Montaje y Conexión Detallada

El montaje del sistema se realizó con precisión para asegurar la integridad y funcionalidad del circuito:

1. Se soldó el cable negativo de la batería directamente al cable negativo de la mini bomba de agua para establecer una conexión a tierra común.
2. El cable positivo de la batería se conectó al terminal común (COM) del módulo de relé, proporcionando la fuente de energía principal para la bomba.
3. El cable positivo de la mini bomba de agua se conectó al terminal normalmente abierto (NO) del módulo de relé, lo que permite que el relé controle el flujo de energía a la bomba.
4. Se suministró la alimentación de 3V y tierra desde el NodeMCU al módulo de relé para energizar su circuito interno.
5. Finalmente, se conectó el pin D3 del NodeMCU al pin de señal (S) del módulo de relé, permitiendo al microcontrolador enviar señales digitales para activar o desactivar la bomba.

6.3. Operación del Relé y Seguridad en el Diseño

El módulo de relé actúa como un interruptor digital controlado por el NodeMCU. Al recibir una señal digital de activación, el relé cierra el circuito entre COM y NO, permitiendo que la

corriente fluya desde la batería a la bomba de agua. Esta operación es fundamental para el sistema de riego, ya que permite la activación segura de la bomba sin exponer el NodeMCU a altas corrientes que podrían dañarlo.

La configuración de la conexión del relé asegura que la bomba solo se active cuando sea necesario, basándose en los niveles de humedad del suelo detectados. Además, la soldadura directa del negativo de la batería y de la bomba establece una conexión a tierra confiable, minimizando el riesgo de fallas en la conexión y posibles cortocircuitos.

6.4. Configuración del Dashboard de Blynk y Operación del Sistema

Con el fin de proporcionar una interfaz de usuario intuitiva y eficaz, se diseñó un dashboard en la plataforma Blynk que refleja el estado operativo del sistema de riego. Como se muestra en la Figura 1, el dashboard incluye widgets cuidadosamente seleccionados para mostrar el nivel de humedad del suelo, el estado operativo de la bomba de agua, y el nivel del agua en el tanque. Estos widgets se eligieron por su capacidad de proporcionar información clara y accionable al usuario, permitiendo un control efectivo del proceso de riego.



Figura 1: Dashboard en la aplicación Blynk que muestra el estado en tiempo real del sistema de riego automatizado.

El sistema se actualiza cada 5 segundos, lo que asegura una respuesta inmediata a los cambios en la humedad del suelo y en el nivel del agua, resultando en un riego preciso y adecuado para las necesidades de las plantas.

6.4.1. Operación y Monitoreo del Sistema

El sistema de riego automatizado se basa en los datos de humedad del suelo proporcionados por el sensor y en el nivel del agua calculado para el tanque. A través de Blynk, se ofrece al usuario una experiencia completa de monitoreo y control, con la capacidad de ajustar parámetros y recibir alertas en tiempo real, asegurando así un riego eficiente y una gestión efectiva del agua.

6.5. Consideraciones sobre la Implementación del Sensor Ultrasónico

Para el proyecto de riego automatizado, se contempló la implementación de un sensor ultrasónico HC-SR04 con el objetivo de monitorear el nivel de agua del depósito y evitar el funcionamiento en seco de la bomba, promoviendo así una gestión eficiente del agua.

Sin embargo, al conectar el sensor ultrasónico al NodeMCU ESP8266, que se creía capaz de manejar pines a 5V, el sensor no funcionó según lo previsto. Este contratiempo técnico, potencialmente vinculado a incompatibilidades más complejas que la diferencia de voltaje, llevó a reconsiderar su integración.

Frente a la dificultad técnica y la falta de resultados al intentar la integración del sensor ultrasónico, se tomó la decisión de no invertir más tiempo en soluciones que podrían restar atención a componentes clave del proyecto. En consecuencia, se decidió priorizar el uso del sensor de humedad del suelo, que ya había demostrado ser eficaz y fiable, asegurando así el buen funcionamiento y la eficiencia del sistema de riego automatizado sin complicaciones adicionales.

6.5.1. Código y Conexiones Previstas para el Sensor Ultrasónico

De haberse implementado el sensor ultrasónico HC-SR04, el esquema de conexiones y el código habrían sido los siguientes:

Conexiones:

- **VCC** del HC-SR04 a una salida de 5V del NodeMCU ESP8266.
- **GND** del HC-SR04 a tierra (GND) en el NodeMCU.
- **TRIG** del HC-SR04 a un pin GPIO del NodeMCU, por ejemplo, D4.
- **ECHO** del HC-SR04 directamente a otro pin GPIO del NodeMCU, por ejemplo, D5.

Código Previsto: El código propuesto para integrar el sensor ultrasónico al sistema habría sido el siguiente:

```
#define TRIG_PIN D4
#define ECHO_PIN D5

void setup() {
  pinMode(TRIG_PIN, OUTPUT);
  pinMode(ECHO_PIN, INPUT);
}

void loop() {
  digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);

  long duration = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH);
  long distance = duration * 58.3; // Velocidad del sonido en cm/us

  Serial.print("Nivel de agua: ");
  Serial.print(distance);
  Serial.println(" cm");
  delay(1000);
}
```

Este código habría permitido realizar mediciones precisas del nivel de agua, facilitando la monitorización remota y automatizada del sistema de riego. Las lecturas se mostrarían en el Monitor Serial de Arduino IDE y en la plataforma de IoT para poder notificar al usuario sobre el nivel del agua.

6.6. Exclusión del Módulo LCD

6.6.1. Desafíos en la Implementación del Módulo LCD

Para la interfaz de usuario del sistema de riego, se consideró la implementación de una pantalla LCD. Sin embargo, se enfrentaron dos desafíos significativos:

1. **Ausencia del Módulo I2C:** El módulo I2C no estaba disponible, lo cual es esencial para simplificar la conexión entre la pantalla LCD y el NodeMCU ESP8266. El módulo I2C reduce significativamente la cantidad de pines de entrada/salida necesarios para la pantalla, facilitando así la gestión de las conexiones.
2. **Limitaciones de Conexión Directa:** Aunque técnicamente es posible conectar la pantalla LCD directamente al NodeMCU sin un módulo I2C, se necesitan pines adicionales para facilitar esta conexión. La pantalla LCD por defecto viene con agujeros

para soldar estos pines, pero no se contaba con los pines adecuados, lo que hacía las conexiones directas complicadas y poco prácticas.

6.6.2. Código Planificado para el Módulo LCD con I2C

En caso de haber implementado la pantalla LCD con el módulo I2C, el siguiente código se habría utilizado para mostrar la información relevante del sistema de riego:

```
// Inicializar la pantalla LCD
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

void setup() {
  // Iniciar comunicaciones
  Serial.begin(9600);
  lcd.init(); // Iniciar la pantalla LCD
  lcd.backlight(); // Encender el fondo de la pantalla LCD

  // Mensaje de carga en la pantalla LCD
  lcd.setCursor(1, 0);
  lcd.print("System Loading");
  for (int a = 0; a <= 15; a++) {
    lcd.setCursor(a, 1);
    lcd.print(".");
    delay(500);
  }
  lcd.clear(); // Limpiar la pantalla LCD para el próximo mensaje
}

void soilMoistureSensor() {
  int value = analogRead(sensor); // Leer el sensor de humedad
  value = map(value, 0, 1024, 0, 100); // Mapear el valor de 0 a 100
  value = (value - 100) * -1; // Convertir a porcentaje

  Blynk.virtualWrite(V0, value); // Enviar el valor a Blynk

  // Mostrar la humedad en la pantalla LCD
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Humedad: ");
  lcd.print(value);
  lcd.print("%  "); // Espacios extra para limpiar caracteres previos

  // Controlar la bomba de agua basado en la humedad del suelo
  if (value < SOIL_MOISTURE_THRESHOLD) {
    digitalWrite(waterPump, HIGH); // Encender la bomba si el suelo está seco
    lcd.setCursor(0, 1);
  }
}
```

```
    lcd.print("Motor ON          "); // Espacios extra para limpiar caracteres
  } else {
    digitalWrite(waterPump, LOW); // Apagar la bomba si el suelo está húmedo
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Motor OFF          "); // Espacios extra para limpiar caracteres
  }
}
```

Este código hubiera permitido mostrar en la pantalla LCD el estado del sistema y la medición de humedad del suelo, proporcionando una interfaz de usuario amigable y accesible.

6.7. Blynk

Blynk es una plataforma destacada en el ámbito del Internet de las Cosas (IoT), ampliamente utilizada por su versatilidad y facilidad de uso, diseñada especialmente para controlar hardware de manera remota y recolectar datos de sensores a través de Internet. Su interfaz intuitiva basada en arrastrar y soltar permite a usuarios de todos los niveles desarrollar aplicaciones para IoT de manera eficiente y sencilla.

Para este proyecto fue de gran utilidad debido a que a la compatibilidad directa de Blynk con el microcontrolador ESP8266, facilitando significativamente la integración de este microcontrolador con la plataforma. Las librerías de Blynk están diseñadas para trabajar sin problemas con el ESP8266, eliminando obstáculos comunes relacionados con la compatibilidad y configuración de hardware.

Solución Implementada para Control de Activación de la Bomba

6.8. Solución a la Limitación de Hardware

Dada la limitación en la implementación de hardware adicional para el control del sistema de riego, se optó por una solución basada en software, aprovechando la capacidad de programación del microcontrolador NodeMCU ESP8266. Esta aproximación permitió superar las restricciones de hardware, manteniendo la eficiencia y efectividad del sistema.

6.9. Cálculo del Flujo de la Bomba y Monitoreo del Nivel del Tanque

6.9.1. Cálculo del Flujo de la Bomba

La bomba de agua utilizada en el sistema tiene un caudal promedio de 100L/h. Basándonos en este dato, el flujo de la bomba se calcula de la siguiente manera:

- **Flujo de la Bomba:** El caudal promedio de 100L/h equivale a aproximadamente 0.0278 litros por segundo.
- **Extracción por Segundo:** Por cada segundo que la bomba está activa, 0.0278 litros de agua son extraídos del tanque.

Este cálculo permite estimar con precisión la cantidad de agua utilizada durante cada ciclo de activación de la bomba.

6.9.2. Registro de Tiempo de Activación y Cálculo del Nivel del Tanque

Para monitorear eficientemente el nivel del agua en el tanque, el sistema registra cuánto tiempo permanece encendida la bomba en cada ciclo de riego. Utilizando el flujo calculado, se puede estimar el volumen de agua extraído del tanque, lo que permite calcular los cambios en el nivel del agua.

6.9.3. Implementación en el Código del Sistema

En el código del sistema, se implementó la siguiente lógica:

- El volumen total del tanque se establece en 1 litro.
- Cada vez que la bomba se activa, se reduce el nivel del tanque en proporción al tiempo que la bomba permanece encendida y al flujo calculado.
- El sistema actualiza el nivel del tanque cada 5 segundos y lo muestra como un porcentaje del volumen total en el dashboard de Blynk.
- Se implementa una función de seguridad para detener la bomba cuando el nivel del agua cae por debajo del 20 %, previniendo el funcionamiento en seco.

6.9.4. Prevención del Funcionamiento en Seco y Ventajas de la Metodología Implementada

El sistema de riego automatizado incorpora un mecanismo de seguridad crucial que detiene automáticamente la bomba cuando el nivel estimado del agua en el tanque cae por debajo del 20 %. Esta funcionalidad es esencial para prevenir el funcionamiento en seco de la bomba, protegiendo así el equipo y asegurando una gestión eficiente del agua. La metodología basada en cálculos, sin la necesidad de hardware adicional para la medición del nivel del agua, ofrece múltiples ventajas: permite una gestión eficiente del agua, resulta en una solución de bajo costo y fácil implementación, y asegura la longevidad y el correcto funcionamiento de la bomba de agua. Estas características son ideales para sistemas de riego de pequeña y mediana escala. La integración de esta metodología con la funcionalidad proporcionada por la plataforma Blynk ha resultado en un sistema más inteligente y eficiente, demostrando cómo la innovación en software puede superar las limitaciones de hardware y contribuir a un sistema de riego más sostenible y adaptable.

6.10. Integración del Sistema de Notificaciones por WhatsApp

Una característica innovadora de nuestro sistema de riego automatizado es la capacidad de enviar notificaciones a través de WhatsApp. Se implementó un script de Python que se ejecuta en paralelo al sistema principal para monitorear los mensajes seriales del NodeMCU ESP8266 y enviar alertas a un dispositivo móvil cuando se detectan condiciones críticas, como bajo nivel de agua o humedad insuficiente.

6.10.1. Descripción del Código de Notificaciones

El código utiliza la biblioteca PyWhatKit, una herramienta que permite automatizar el envío de mensajes de WhatsApp, y se ejecuta en un dispositivo con acceso a un puerto serial y conexión a internet. La funcionalidad clave del código es la siguiente:

- **Conexión Serial:** Establece comunicación con el NodeMCU a través de un puerto serial, leyendo los datos transmitidos por el microcontrolador.
- **Envío de Mensajes:** Cuando se detectan condiciones específicas, como .^{E1} tanque está casi vacío.^o "Motor activado debido a baja humedad del suelo", el script envía un mensaje de alerta al número de teléfono configurado.
- **Control de Alertas:** Se implementan variables de control para asegurar que cada alerta solo se envíe una vez y evitar la repetición de mensajes.

6.10.2. Recomendaciones de Seguridad

Es importante destacar que cualquier implementación que involucre la comunicación de datos sensibles debe ser manejada con precaución. Se recomienda no compartir públicamente los números de teléfono y asegurarse de que el script se ejecute en un entorno seguro para proteger la privacidad del usuario.

7. Conclusiones y Recomendaciones

7.1. Conclusiones

El desarrollo del sistema de riego automatizado ha demostrado ser exitoso, alcanzando todos los objetivos propuestos. La integración del NodeMCU ESP8266 con la plataforma Blynk ha proporcionado un control remoto eficiente y una monitorización en tiempo real del estado del suelo y del tanque de agua. El sistema ha optimizado el uso del agua y ha minimizado la necesidad de intervención humana, lo cual es un paso adelante en la implementación de tecnologías IoT en la agricultura sostenible. El enfoque de utilizar cálculos basados en el flujo de la bomba para estimar el nivel del agua ha demostrado ser una solución efectiva frente a la ausencia de un sensor de nivel de agua dedicado.

7.2. Recomendaciones

Para mejorar aún más el sistema de riego automatizado y ampliar su aplicabilidad, se recomienda:

- Incorporar sensores de nivel de agua y sensores meteorológicos para adaptar el riego a las condiciones cambiantes del entorno y a las necesidades específicas de las plantas.
- Evaluar el uso de energías renovables, como la energía solar, para alimentar el sistema, lo que aumentaría la sostenibilidad y reduciría los costos operativos.
- Considerar el desarrollo de una aplicación móvil dedicada que ofrezca funcionalidades más avanzadas y personalizables para el usuario final.

Referencias

- [1] “Esp8266 todo lo que necesitas saber del módulo wifi para arduino,” *Programarfacil.com*, accedido el: 22/11/2023. [Online]. Available: <https://programarfacil.com/podcast/esp8266-wifi-coste-arduino/>
- [2] “Cómo utilizar un sensor de humedad de suelo con arduino,” *AutomatizacionParaTodos.com*, 2020, accedido el: 22/11/2023. [Online]. Available: <https://www.automatizacionparatodos.com/sensor-de-humedad-de-suelo-con-arduino/>
- [3] Q. Baker, “7 principios básicos en automatización,” *RIM*, 2020, accedido el: 22/11/2023. [Online]. Available: <https://rim.com.mx/portal/noticias-detalle/4820/%20%20%207%20principios%20basicos%20en%20automatizacion/automotriz>
- [4] “Políticas para conseguir que la automatización agrícola contribuya a sistemas agroalimentarios sostenibles y resilientes,” *FAO*, 2022, accedido el: 22/11/2023. [Online]. Available: <https://www.fao.org/3/cb9479es/online/sofa-2022/agrifood-systems-transformation-automation.html>
- [5] IBM. (2023) Internet de las cosas (iot). Accedido el: 22/11/2023. [Online]. Available: <https://www.ibm.com/es-es/topics/internet-of-things>
- [6] “Mini bomba de agua sumergible dc 3-6v,” <https://www.microjpm.com/products/mini-bomba-de-agua-sumergible-dc-3-6v/>, 2023, accedido: 2023-03-17.

8. Apéndices



1 Channel 5V Optical Isolated Relay Module

This is a LOW Level 5V 1-channel relay interface board, needs a 15-20mA driver current. It can be used to control various appliances and equipment with large current. It is equipped with high-current relays that work under AC250V 10A or DC30V 10A. It has a standard interface that can be controlled directly by microcontroller. This module is optically isolated from high voltage side for safety requirement and also prevent ground loop when interface to microcontroller.



SKU: [MDU1091](#)

Brief Data:

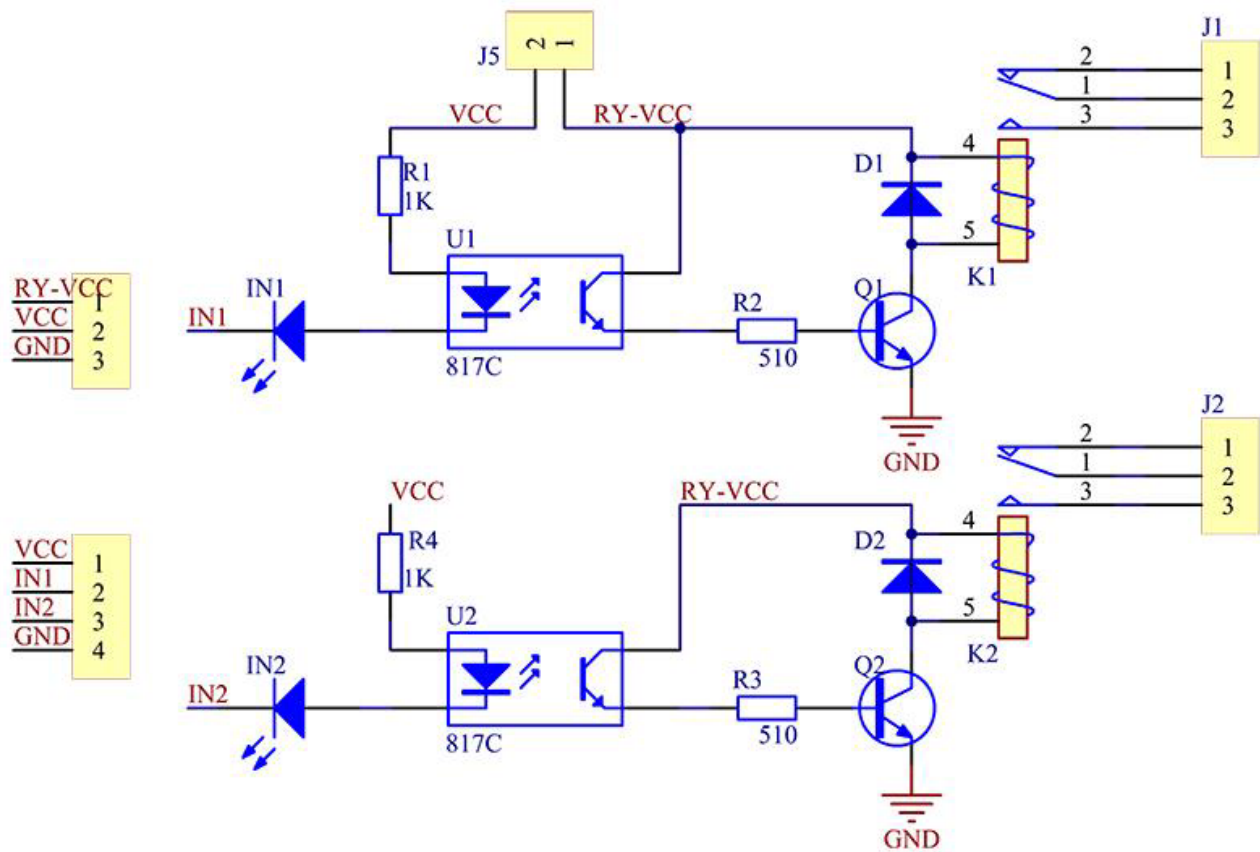
- Operating Voltage: 5Vdc.
- Relay Maximum output: DC 30V/10A, AC 250V/10A.
- 1 Channel Relay Module with Opto-coupler. LOW Level Trigger expansion board, which is compatible with Arduino control board.
- Standard interface that can be controlled directly by microcontroller (8051, AVR, *PIC, DSP, ARM, ARM, MSP430, TTL logic).
- Relay of high quality low noise relays SPDT. A common terminal, a normally open, one normally closed terminal.
- Opto-Coupler isolation, for high voltage safety and prevent ground loop with microcontroller.

Schematic:

VCC and RY-VCC are also the power supply of the relay module. When you need to drive a large power load, you can take the jumper cap off and connect an extra power to RY-VCC to supply the relay; connect VCC to 5V of the MCU board to supply input signals.

NOTES: If you want complete optical isolation, connect "Vcc" to Arduino +5 volts but do NOT connect Arduino Ground. Remove the Vcc to JD-Vcc jumper. Connect a separate +5 supply to "JD-Vcc" and board Gnd. This will supply power to the transistor drivers and relay coils.

If relay isolation is enough for your application, connect Arduino +5 and Gnd, and leave Vcc to JD-Vcc jumper in place.

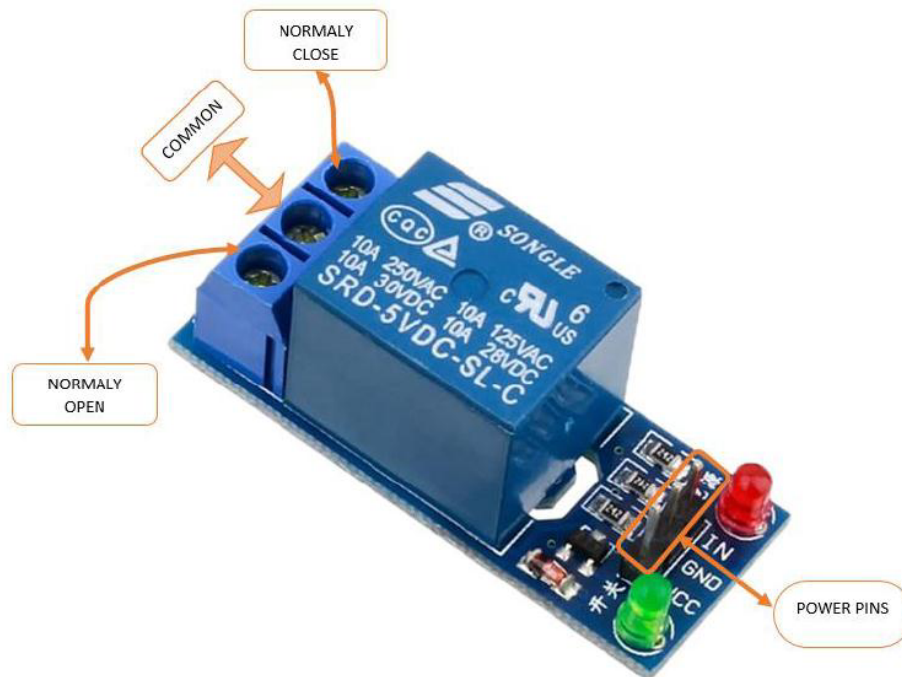


It is sometimes possible to use this relay boards with 3.3V signals, if the JD-VCC (Relay Power) is provided from a +5V supply and the VCC to JD-VCC jumper is removed. That 5V relay supply could be totally isolated from the 3.3V device, or have a common ground if opto-isolation is not needed. If used with isolated 3.3V signals, VCC (To the input of the opto-isolator, next to the IN pins) should be connected to the 3.3V device's +3.3V supply.

NOTE: Some Raspberry-Pi users have found that some relays are reliable and others do not actuate sometimes. It may be necessary to change the value of R1 from 1000 ohms to something like 220 ohms, or supply +5V to the VCC connection.

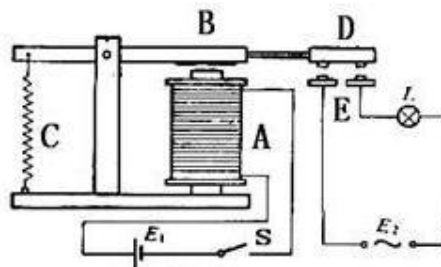
NOTE: The digital inputs from Arduino are Active LOW: The relay actuates and LED lights when the input pin is LOW, and turns off on HIGH.

Module Layout:



Operating Principle:

See the picture below: A is an electromagnet, B armature, C spring, D moving contact, and E fixed contacts. There are two fixed contacts, a normally closed one and a normally open one. When the coil is not energized, the normally open contact is the one that is off, while the normally closed one is the other that is on.



Supply voltage to the coil and some currents will pass through the coil thus generating the electromagnetic effect. So the armature overcomes the tension of the spring and is attracted to the core, thus closing the moving contact of the armature and the normally open (NO) contact or you may say releasing the former and the normally closed (NC) contact. After the coil is de-energized, the electromagnetic force disappears and the armature moves back to the original position, releasing the moving contact and normally closed contact. The closing and releasing of the contacts results in power on and off of the circuit.

Input:

VCC : Connected to positive supply voltage (supply power according to relay voltage)

GND : Connected to supply ground.

IN1: Signal triggering terminal 1 of relay module

Output:

Each module of the relay has one NC (normally close), one NO (normally open) and one COM (Common) terminal. So there are 2 NC, 2 NO and 2 COM of the channel relay in total. NC stands for the normal close port contact and the state without power. NO stands for the normal open port contact and the state with power. COM means the common port. You can choose NC port or NO port according to whether power or not.

Testing Setup:

When a low level is supplied to signal terminal of the 2-channel relay, the LED at the output terminal will light up. Otherwise, it will turn off. If a periodic high and low level is supplied to the signal terminal, you can see the LED will cycle between on and off.

For Arduino:

Step 1:

Connect the signal terminal IN1、IN2 of 2-channel relay to digital pin 4 & 5 of the Arduino Uno or ATmega2560 board, and connect an LED at the output terminal.

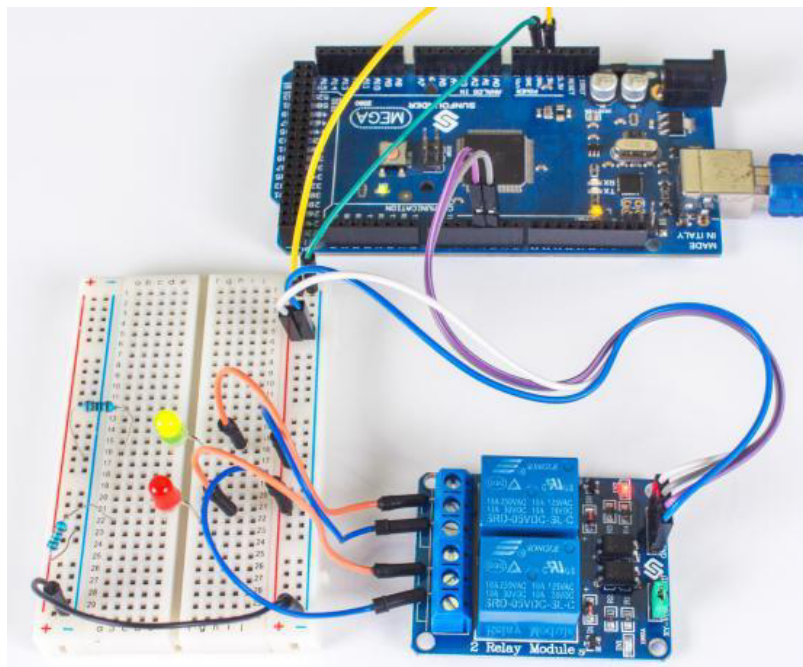
IN1> 4

IN2> 5

Step 2:

Upload the sketch "text_code" to the Arduino Uno or ATmega2560 board. Then you can see the LED cycle between on and off.

The actual figure is shown below:



For raspberry Pi:

Step1:

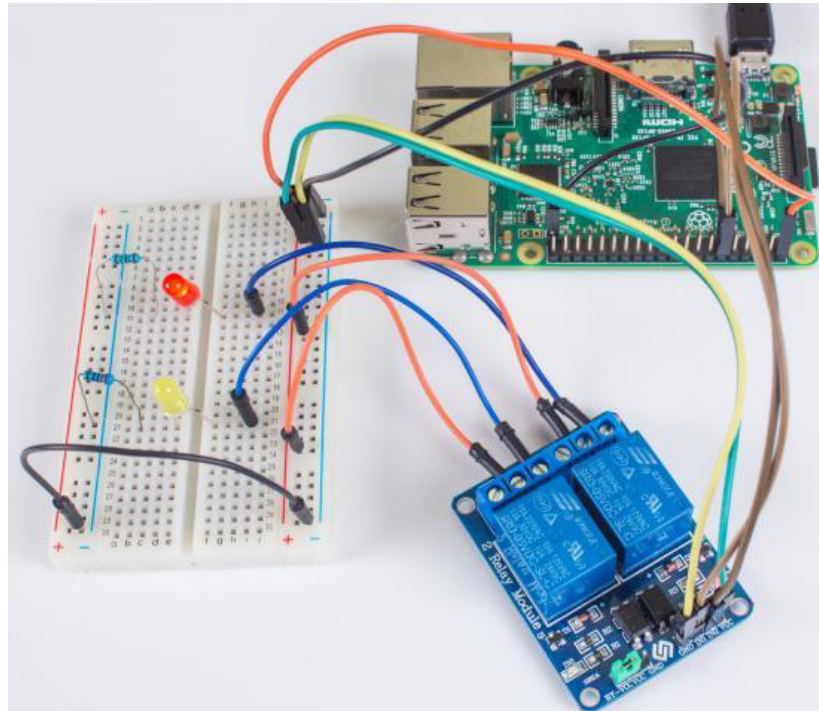
Connect the signal terminal IN2、IN1 of 2-channel relay to port 17、18 of the Raspberry Pi, and connect an LED at the output terminal.

IN2 > 17

IN1 > 18

Step 2:

Run the “test_code”. Then you can see the LED cycle between on and off.



Sketch for Arduino:

```
/*
*****
Name: _2_channel_relay
Description: control the 2 channel relay module to ON or OFF
Website: www.handsontec.com
Email: techsupport@handsontec.com
*****
*/

//the relays connect to
int IN1 = 4;
int IN2 = 5;

#define ON 0
#define OFF 1

void setup()
{
    relay_init(); //initialize the relay
}

void loop() {
    relay_SetStatus(ON, OFF); //turn on RELAY_1
    delay(2000); //delay 2s
    relay_SetStatus(OFF, ON); //turn on RELAY_2
}
```

```

    delay(2000); //delay 2s
}
void relay_init(void) //initialize the relay
{
    //set all the relays OUTPUT
    pinMode(IN1, OUTPUT);
    pinMode(IN2, OUTPUT);
    relay_SetStatus(OFF, OFF); //turn off all the relay
}
//set the status of relays
void relay_SetStatus( unsigned char status_1, unsigned char status_2)
{
    digitalWrite(IN1, status_1);
    digitalWrite(IN2, status_2);
}

```

Code for Raspberry Pi:

```

#!/usr/bin/env python
'''
*****
* Filename       : 2_channel relay.py
* Description    : a sample script for 2-Channel High trigger Relay
* E-mail        : techsupport@handsontec.com
* Website       : www.handsontec.com
* Detail        : New file
*****
'''
import RPi.GPIO as GPIO
from time import sleep

Relay_channel = [17, 18]

def setup():
    GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
    GPIO.setup(Relay_channel, GPIO.OUT, initial=GPIO.LOW)
    print "|=====|"
    print "|          2-Channel High trigger Relay Sample          |"
    print "|-----|"
    print "|          Turn 2 channels on off in orders          |"
    print "|          17 ==> IN2          |"
    print "|          18 ==> IN1          |"
    print "|=====|"

def main():
    while True:
        for i in range(0, len(Relay_channel)):
            print '...Relay channel %d on' % i+1
            GPIO.output(Relay_channel[i], GPIO.HIGH)
            sleep(0.5)
            print '...Relay channel %d off' % i+1
            GPIO.output(Relay_channel[i], GPIO.LOW)
            sleep(0.5)

def destroy():
    GPIO.output(Relay_channel, GPIO.LOW)
    GPIO.cleanup()

if __name__ == '__main__':
    setup()

```

```
try:  
    main()  
except KeyboardInterrupt:  
    destroy()
```

Related Information:

- [2-Channel Solid State Relay \(SSR\) Module 2A-240VAC](#)
- [30A High Power Optical Isolated Relay Module](#)
- [4-Channel 5V Optical Isolated Relay Module](#)
- [8 Channel 5V Optical Isolated Relay Module](#)
- [Photosensitive Light Activate Relay Module](#)



Handsontec.com

We have the parts for your ideas

HandsOn Technology provides a multimedia and interactive platform for everyone interested in electronics. From beginner to diehard, from student to lecturer. Information, education, inspiration and entertainment. Analog and digital, practical and theoretical; software and hardware.



HandsOn Technology support Open Source Hardware (OSHW) Development Platform.

Learn : Design : Share

www.handsontec.com

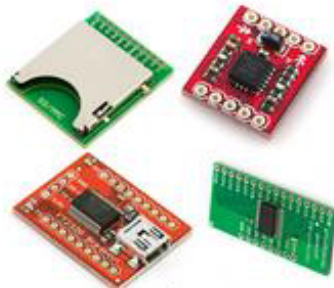


The Face behind our product quality...

In a world of constant change and continuous technological development, a new or replacement product is never far away – and they all need to be tested.

Many vendors simply import and sell without checks and this cannot be the ultimate interests of anyone, particularly the customer. Every part sold on Handsontec is fully tested. So when buying from Handsontec products range, you can be confident you're getting outstanding quality and value.

We keep adding the new parts so that you can get rolling on your next project.



www.handsontec.com

[Breakout Boards & Modules](#)



[Connectors](#)



www.handsontec.com

[Electro-Mechanical Parts](#)



[Engineering Material](#)



www.handsontec.com

[Mechanical Hardware](#)



[Electronics Components](#)



www.handsontec.com

[Power Supply](#)



[Arduino Board & Shield](#)

Tools & Accessory



www.handsontec.com

[Tools & Accessory](#)



LMx93-N, LM2903-N Low-Power, Low-Offset Voltage, Dual Comparators

1 Features

- Wide Supply
 - Voltage Range: 2.0 V to 36 V
 - Single or Dual Supplies: ± 1.0 V to ± 18 V
- Very Low Supply Current Drain (0.4 mA) — Independent of Supply Voltage
- Low Input Biasing Current: 25 nA
- Low Input Offset Current: ± 5 nA
- Maximum Offset voltage: ± 3 mV
- Input Common-Mode Voltage Range Includes Ground
- Differential Input Voltage Range Equal to the Power Supply Voltage
- Low Output Saturation Voltage: 250 mV at 4 mA
- Output Voltage Compatible with TTL, DTL, ECL, MOS and CMOS logic systems
- Available in the 8-Bump (12 mil) DSBGA Package
- See AN-1112 ([SNVA009](#)) for DSBGA Considerations
- Advantages
 - High Precision Comparators
 - Reduced V_{OS} Drift Over Temperature
 - Eliminates Need for Dual Supplies
 - Allows Sensing Near Ground
 - Compatible with All Forms of Logic
 - Power Drain Suitable for Battery Operation

2 Applications

- Battery Powered Applications
- Industrial Applications

3 Description

The LM193-N series consists of two independent precision voltage comparators with an offset voltage specification as low as 2.0 mV max for two comparators which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage. These comparators also have a unique characteristic in that the input common-mode voltage range includes ground, even though operated from a single power supply voltage.

Application areas include limit comparators, simple analog to digital converters; pulse, squarewave and time delay generators; wide range VCO; MOS clock timers; multivibrators and high voltage digital logic gates. The LM193-N series was designed to directly interface with TTL and CMOS. When operated from both plus and minus power supplies, the LM19-N series will directly interface with MOS logic where their low power drain is a distinct advantage over standard comparators.

The LM393 and LM2903 parts are available in TI's innovative thin DSBGA package with 8 (12 mil) large bumps.

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM193-N	TO-99 (8)	9.08 mm x 9.08 mm
LM293-N		
LM393-N	SOIC (8)	4.90 mm x 3.91 mm
	DSBGA (8)	1.54 mm x 1.54 mm
LM2903-N	SOIC (8)	4.90 mm x 3.91 mm
	DSBGA (8)	1.54 mm x 1.54 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

Simplified Schematic

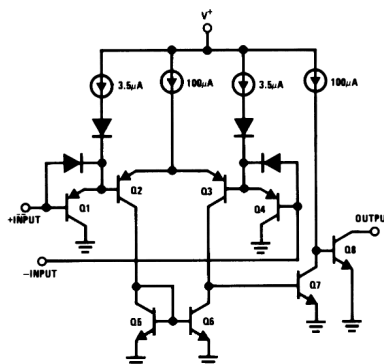


Table of Contents

1 Features	1	7.1 Overview	10
2 Applications	1	7.2 Functional Block Diagram	10
3 Description	1	7.3 Feature Description	10
4 Revision History	2	7.4 Device Functional Modes	10
5 Pin Configuration and Functions	3	8 Application and Implementation	11
6 Specifications	4	8.1 Application Information	11
6.1 Absolute Maximum Ratings	4	8.2 Typical Applications	11
6.2 ESD Ratings	4	9 Power Supply Recommendations	18
6.3 Recommended Operating Conditions	4	10 Layout	18
6.4 Thermal Information	5	10.1 Layout Guidelines	18
6.5 Electrical Characteristics: LM193A $V^+ = 5\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	5	10.2 Layout Example	18
6.6 Electrical Characteristics: LM193A ($V^+ = 5\text{ V}$)	5	11 Device and Documentation Support	19
6.7 Electrical Characteristics: LMx93 and LM2903 $V^+ = 5\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	6	11.1 Related Links	19
6.8 Electrical Characteristics: LMx93 and LM2903 ($V^+ = 5\text{ V}$) ⁽¹⁾	7	11.2 Receiving Notification of Documentation Updates	19
6.9 Typical Characteristics: LMx93 and LM193A	8	11.3 Trademarks	19
6.10 Typical Characteristics: LM2903	9	11.4 Electrostatic Discharge Caution	19
7 Detailed Description	10	11.5 Glossary	19
		12 Mechanical, Packaging, and Orderable Information	19

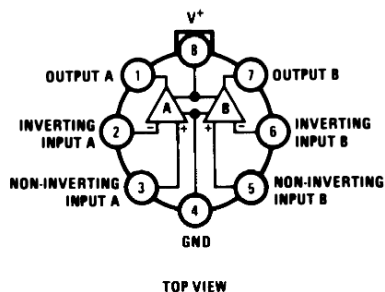
4 Revision History

NOTE: Page numbers for previous revisions may differ from page numbers in the current version.

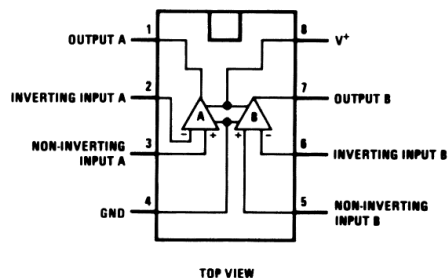
Changes from Revision F (December 2014) to Revision G	Page
• Added DSBGA packages inadvertently omitted from Device Info table during format conversion	1
Changes from Revision E (March 2013) to Revision F	Page
• Added <i>Pin Configuration and Functions</i> section, <i>ESD Ratings</i> table, <i>Feature Description</i> section, <i>Device Functional Modes</i> , <i>Application and Implementation</i> section, <i>Power Supply Recommendations</i> section, <i>Layout</i> section, <i>Device and Documentation Support</i> section, and <i>Mechanical, Packaging, and Orderable Information</i> section	1
Changes from Revision D (March 2013) to Revision E	Page
• Changed layout of National Data Sheet to TI format	1

5 Pin Configuration and Functions

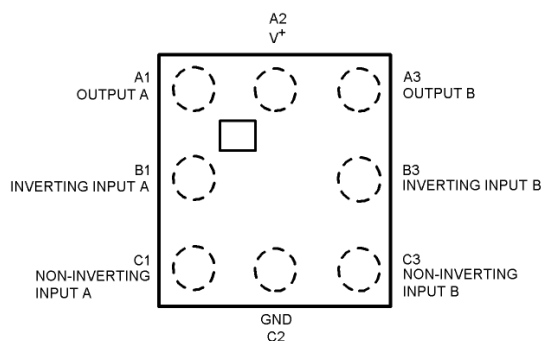
**LMC Package
8-Pin TO-99
Top View**



**P and D Package
8-Pin CDIP, PDIP, SOIC
Top View**



**YZR Package
8-Pin DSBGA
Top View**



Pin Functions

PIN			I/O	DESCRIPTION
NAME	NO.			
	PDIP/SOIC/ TO-99	DSBGA		
OUTA	1	A1	O	Output, Channel A
-INA	2	B1	I	Inverting Input, Channel A
+INA	3	C1	I	Noninverting Input, Channel A
GND	4	C2	P	Ground
+INB	5	C3	I	Noninverting Input, Channel B
-INB	6	B3	I	Inverting Input, Channel B
OUTB	7	A3	O	Output, Channel B
V+	8	A2	P	Positive power supply

6 Specifications

6.1 Absolute Maximum Ratings

 over operating free-air temperature range (unless otherwise noted) ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

			MIN	MAX	UNIT
Differential Input Voltage ⁽⁴⁾				36	V
Input Voltage			-0.3	36	V
Input Current (V _{IN} <-0.3 V) ⁽⁵⁾				50	mA
Power Dissipation ⁽⁶⁾	PDIP			780	mW
	TO-99			660	mW
	SOIC			510	mW
	DSBGA			568	mW
Output Short-Circuit to Ground ⁽⁷⁾				Continu ous	
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)				260	°C
Soldering Information	PDIP Package Soldering (10 seconds)			260	°C
	SOIC Package	Vapor Phase (60 seconds)		215	°C
		Infrared (15 seconds)		220	°C
Storage temperature, T _{stg}			-65	150	°C

- (1) *Absolute Maximum Ratings* indicate limits beyond which damage may occur. *Recommended Operating Conditions* indicate conditions for which the device is intended to be functional, but specific performance is not guaranteed. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics.
- (2) Refer to RETS193AX for LM193AH military specifications and to RETS193X for LM193H military specifications.
- (3) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the TI Sales Office/Distributors for availability and specifications.
- (4) Positive excursions of input voltage may exceed the power supply level. As long as the other voltage remains within the common-mode range, the comparator will provide a proper output state. The low input voltage state must not be less than -0.3V (or 0.3V below the magnitude of the negative power supply, if used).
- (5) This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the comparators to go to the V^+ voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than -0.3V.
- (6) For operating at high temperatures, the LM393 and LM2903 must be derated based on a 125°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 170°C/W which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM193/LM193A/LM293 must be derated based on a 150°C maximum junction temperature. The low bias dissipation and the "ON-OFF" characteristic of the outputs keeps the chip dissipation very small ($P_D \leq 100$ mW), provided the output transistors are allowed to saturate.
- (7) Short circuits from the output to V^+ can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 20 mA independent of the magnitude of V^+ .

6.2 ESD Ratings

			VALUE	UNIT
$V_{(ESD)}$	Electrostatic discharge	Human-body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 ⁽¹⁾	±1300	V

- (1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

6.3 Recommended Operating Conditions

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

	MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply Voltage (V^+) - Single Supply	2.0		36	V
Supply Voltage (V^+) - Dual Supply	±1.0		±18	V
Operating Input Voltage on (V_{IN} pin)	0	(V^+) -1.5V		V
Operating junction temperature, T_J : LM193/LM193A	-55		125	°C
Operating junction temperature, T_J : LM2903	-40		85	°C
Operating junction temperature, T_J : LM293	-25		85	°C
Operating junction temperature, T_J : LM393	0		70	°C

6.4 Thermal Information

THERMAL METRIC ⁽¹⁾	UNIT
R _{θJA} Junction-to-ambient thermal resistance	170 °C/W

(1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the *IC Package Thermal Metrics* application report, [SPRA953](#).

6.5 Electrical Characteristics: LM193A V⁺ = 5 V, T_A = 25°C

Unless otherwise stated.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM193A			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	See ⁽¹⁾ .		1.0	2.0	mV
Input Bias Current	I _{IN} (+) or I _{IN} (-) with Output in Linear Range, V _{CM} = 0 V ⁽²⁾		25	100	nA
Input Offset Current	I _{IN} (+) - I _{IN} (-) V _{CM} = 0 V		3.0	25	nA
Input Common Mode Voltage Range	V ⁺ = 30 V ⁽³⁾	0		V ⁺ - 1.5	V
Supply Current	R _L = ∞ V ⁺ = 5 V		0.4	1	mA
	V ⁺ = 36 V		1	2.5	mA
Voltage Gain	R _L ≥ 15 kΩ, V ⁺ = 15 V V _O = 1 V to 11 V	50	200		V/mV
Large Signal Response Time	V _{IN} = TTL Logic Swing, V _{REF} = 1.4 V V _{RL} = 5V, R _L = 5.1 kΩ		300		ns
Response Time	V _{RL} = 5V, R _L = 5.1 kΩ ⁽⁴⁾		1.3		μs
Output Sink Current	V _{IN} (-) = 1V, V _{IN} (+) = 0, V _O ≈ 1.5 V	6.0	16		mA
Saturation Voltage	V _{IN} (-) = 1V, V _{IN} (+) = 0, I _{SINK} ≤ 4 mA		250	400	mV
Output Leakage Current	V _{IN} (-) = 0, V _{IN} (+) = 1V, V _O = 5 V		0.1		nA

- (1) At output switch point, V_O ≈ 1.4V, R_S = 0 Ω with V⁺ from 5V to 30V; and over the full input common-mode range (0V to V⁺ - 1.5V), at 25°C.
- (2) The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the reference or input lines.
- (3) The input common-mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The upper end of the common-mode voltage range is V⁺ - 1.5 V at 25°C, but either or both inputs can go to 36 V without damage, independent of the magnitude of V⁺.
- (4) The response time specified is for a 100 mV input step with 5 mV overdrive. For larger overdrive signals 300 ns can be obtained, see [LMx93 and LM193A Typical Characteristics](#).

6.6 Electrical Characteristics: LM193A (V⁺ = 5 V)⁽¹⁾

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM193A			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	See ⁽²⁾			4.0	mV
Input Offset Current	I _{IN} (+) - I _{IN} (-), V _{CM} = 0 V			100	nA
Input Bias Current	I _{IN} (+) or I _{IN} (-) with Output in Linear Range, V _{CM} = 0 V ⁽³⁾			300	nA
Input Common Mode Voltage Range	V ⁺ = 30 V ⁽⁴⁾	0		V ⁺ - 2.0	V
Saturation Voltage	V _{IN} (-) = 1V, V _{IN} (+) = 0, I _{SINK} ≤ 4 mA			700	mV
Output Leakage Current	V _{IN} (-) = 0, V _{IN} (+) = 1V, V _O = 30 V			1.0	μA
Differential Input Voltage	Keep All V _{IN} 's ≥ 0 V (or V ⁻ , if Used), ⁽⁵⁾			36	V

- (1) These specifications are limited to -55°C ≤ T_A ≤ +125°C, for the LM193/LM193A. With the LM293 all temperature specifications are limited to -25°C ≤ T_A ≤ +85°C and the LM393 temperature specifications are limited to 0°C ≤ T_A ≤ +70°C. The LM2903 is limited to -40°C ≤ T_A ≤ +85°C.
- (2) At output switch point, V_O ≈ 1.4V, R_S = 0 Ω with V⁺ from 5V to 30V; and over the full input common-mode range (0V to V⁺ - 1.5V), at 25°C.
- (3) The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the reference or input lines.
- (4) The input common-mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The upper end of the common-mode voltage range is V⁺ - 1.5 V at 25°C, but either or both inputs can go to 36 V without damage, independent of the magnitude of V⁺.
- (5) Positive excursions of input voltage may exceed the power supply level. As long as the other voltage remains within the common-mode range, the comparator will provide a proper output state. The low input voltage state must not be less than -0.3V (or 0.3V below the magnitude of the negative power supply, if used).

6.7 Electrical Characteristics: LMx93 and LM2903 $V^+ = 5\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

Unless otherwise stated.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM193-N			LM293-N, LM393-N			LM2903-N			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	See ⁽¹⁾		1.0	5.0		1.0	5.0		2.0	7.0	mV
Input Bias Current	$I_{IN}(+)$ or $I_{IN}(-)$ with Output In Linear Range, $V_{CM} = 0\text{ V}$ ⁽²⁾		25	100		25	250		25	250	nA
Input Offset Current	$I_{IN}(+) - I_{IN}(-)$ $V_{CM} = 0\text{ V}$		3.0	25		5.0	50		5.0	50	nA
Input Common Mode Voltage Range	$V^+ = 30\text{ V}$ ⁽³⁾	0		$V^+ - 1.5$	0		$V^+ - 1.5$	0		$V^+ - 1.5$	V
Supply Current	$R_L = \infty$ $V^+ = 5\text{ V}$		0.4	1		0.4	1		0.4	1.0	mA
	$V^+ = 36\text{ V}$		1	2.5		1	2.5		1	2.5	mA
Voltage Gain	$R_L \geq 15\text{ k}\Omega$, $V^+ = 15\text{ V}$ $V_O = 1\text{ V}$ to 11 V	50	200		50	200		25	100		V/mV
Large Signal Response Time	$V_{IN} = \text{TTL Logic Swing}$, $V_{REF} = 1.4\text{ V}$ $V_{RL} = 5\text{ V}$, $R_L = 5.1\text{ k}\Omega$		300			300			300		ns
Response Time	$V_{RL} = 5\text{ V}$, $R_L = 5.1\text{ k}\Omega$ ⁽⁴⁾		1.3			1.3			1.5		μs
Output Sink Current	$V_{IN}(-) = 1\text{ V}$, $V_{IN}(+) = 0$, $V_O \leq 1.5\text{ V}$	6.0	16		6.0	16		6.0	16		mA
Saturation Voltage	$V_{IN}(-) = 1\text{ V}$, $V_{IN}(+) = 0$, $I_{SINK} \leq 4\text{ mA}$		250	400		250	400		250	400	mV
Output Leakage Current	$V_{IN}(-) = 0$, $V_{IN}(+) = 1\text{ V}$, $V_O = 5\text{ V}$		0.1			0.1			0.1		nA

- (1) At output switch point, $V_O = 1.4\text{ V}$, $R_S = 0\text{ }\Omega$ with V^+ from 5 V to 30 V ; and over the full input common-mode range (0 V to $V^+ - 1.5\text{ V}$), at 25°C .
- (2) The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the reference or input lines.
- (3) The input common-mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V . The upper end of the common-mode voltage range is $V^+ - 1.5\text{ V}$ at 25°C , but either or both inputs can go to 36 V without damage, independent of the magnitude of V^+ .
- (4) The response time specified is for a 100 mV input step with 5 mV overdrive. For larger overdrive signals 300 ns can be obtained, see [LMx93 and LM193A Typical Characteristics](#).

6.8 Electrical Characteristics: LMx93 and LM2903 ($V^+ = 5\text{ V}$)⁽¹⁾

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM193-N			LM293-N, LM393-N			LM290-N			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	See ⁽²⁾			9			9		9	15	mV
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$, $V_{CM} = 0\text{ V}$			100			150		50	200	nA
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$ with Output in Linear Range, $V_{CM} = 0\text{ V}$ ⁽³⁾			300			400		200	500	nA
Input Common Mode Voltage Range	$V^+ = 30\text{ V}$ ⁽⁴⁾	0		$V^+ - 2.0$	0		$V^+ - 2.0$	0		$V^+ - 2.0$	V
Saturation Voltage	$V_{IN(-)} = 1\text{ V}$, $V_{IN(+)} = 0$, $I_{SINK} \leq 4\text{ mA}$			700			700		400	700	mV
Output Leakage Current	$V_{IN(-)} = 0$, $V_{IN(+)} = 1\text{ V}$, $V_O = 30\text{ V}$			1.0			1.0			1.0	μA
Differential Input Voltage	Keep All V_{IN} 's $\geq 0\text{ V}$ (or V^- , if Used), ⁽⁵⁾			36			36			36	V

- (1) These specifications are limited to $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$, for the LM193/LM193A. With the LM293 all temperature specifications are limited to $-25^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ and the LM393 temperature specifications are limited to $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$. The LM2903 is limited to $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$.
- (2) At output switch point, $V_O = 1.4\text{ V}$, $R_S = 0\ \Omega$ with V^+ from 5V to 30V; and over the full input common-mode range (0V to $V^+ - 1.5\text{ V}$), at 25°C .
- (3) The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the reference or input lines.
- (4) The input common-mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The upper end of the common-mode voltage range is $V^+ - 1.5\text{ V}$ at 25°C , but either or both inputs can go to 36 V without damage, independent of the magnitude of V^+ .
- (5) Positive excursions of input voltage may exceed the power supply level. As long as the other voltage remains within the common-mode range, the comparator will provide a proper output state. The low input voltage state must not be less than -0.3 V (or 0.3V below the magnitude of the negative power supply, if used).

6.9 Typical Characteristics: LMx93 and LM193A

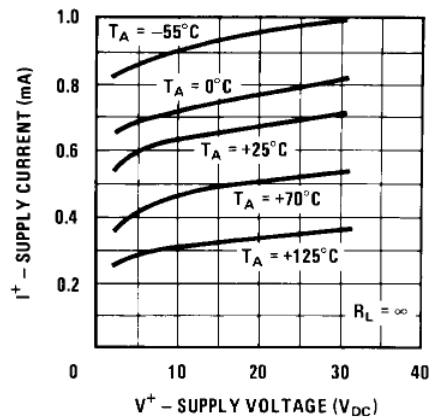


Figure 1. Supply Current

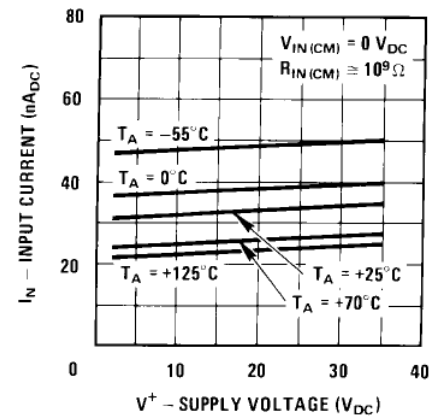


Figure 2. Input Current

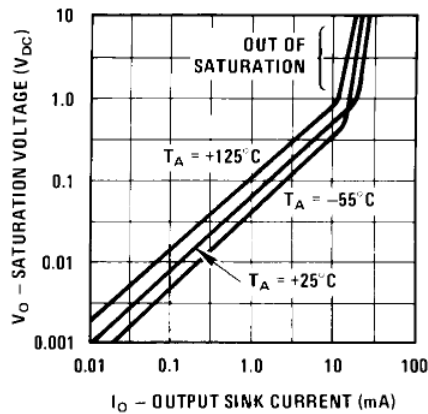


Figure 3. Output Saturation Voltage

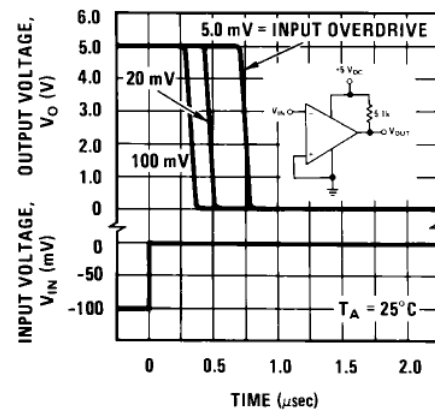


Figure 4. Response Time for Various Input Overdrives—Negative Transition

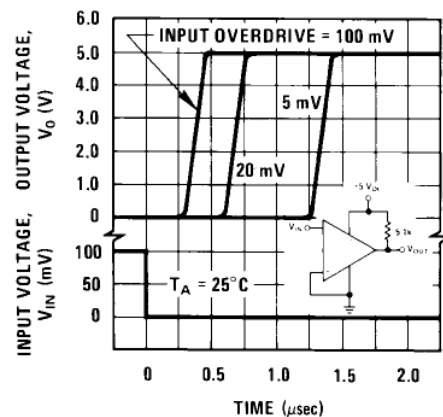
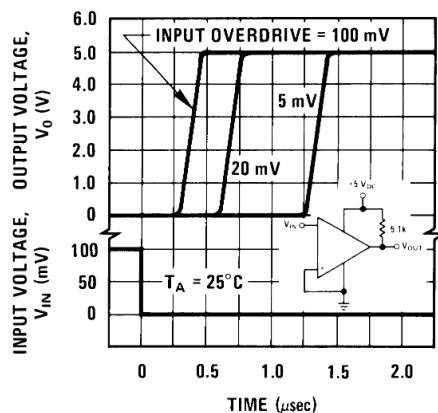
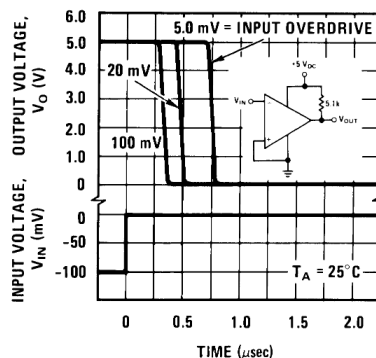
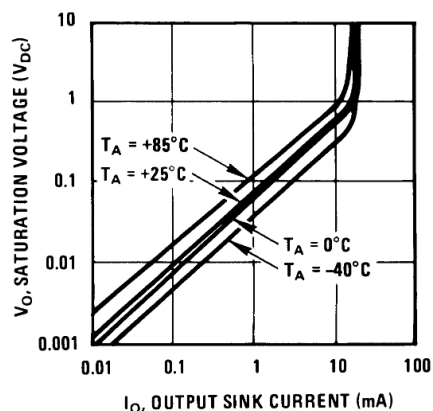
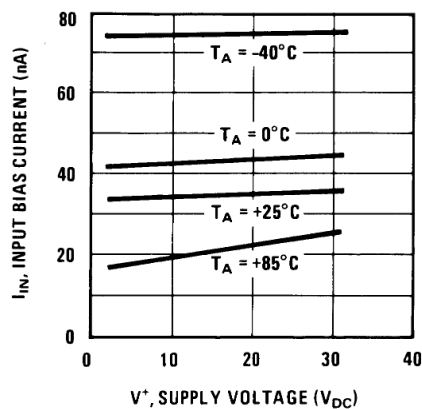
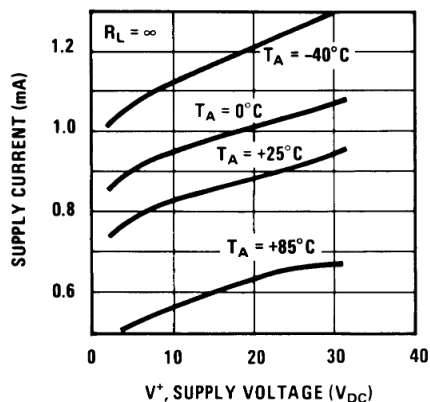


Figure 5. Response Time for Various Input Overdrives—Positive Transition

6.10 Typical Characteristics: LM2903



7 Detailed Description

7.1 Overview

The LM139 provides two independently functioning, high-precision, low V_{OS} drift, low input bias current comparators in a single package. The low power consumption of 0.4 mA at 5 V and the 2.0 V supply operation makes the LM139 suitable for battery powered applications.

7.2 Functional Block Diagram

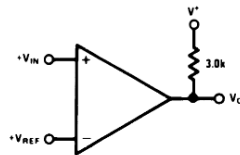


Figure 11. Basic Comparator

7.3 Feature Description

The input bias current of 25 nA enables the LM193 to use even very high impedance nodes as inputs. The differential voltage input range equals the supply voltage range.

The LM193 can be operated with a single supply, where $V+$ can be from 2.0 V to 36 V, or in a dual supply voltage configuration, where GND pin is used as a $V-$ supply. The supply current draws only 0.4 mA for both comparators.

The output of each comparator in the LM193 is the open collector of a grounded-emitter NPN output transistor which can typically draw up to 16 mA.

7.4 Device Functional Modes

A basic comparator circuit is used for converting analog signals to a digital output. The output is HIGH when the voltage on the non-inverting (+IN) input is greater than the inverting (-IN) input. The output is LOW when the voltage on the non-inverting (+IN) input is less than the inverting (-IN) input. The inverting input (-IN) is also commonly referred to as the "reference" or "VREF" input. All pins of any unused comparators should be tied to the negative supply.

8 Application and Implementation

NOTE

Information in the following applications sections is not part of the TI component specification, and TI does not warrant its accuracy or completeness. TI's customers are responsible for determining suitability of components for their purposes. Customers should validate and test their design implementation to confirm system functionality.

8.1 Application Information

The LM193 series are high gain, wide bandwidth devices which, like most comparators, can easily oscillate if the output lead is inadvertently allowed to capacitively couple to the inputs via stray capacitance. This shows up only during the output voltage transition intervals as the comparator change states. Power supply bypassing is not required to solve this problem. Standard PC board layout is helpful as it reduces stray input-output coupling. Reducing the input resistors to $< 10\text{ k}\Omega$ reduces the feedback signal levels and finally, adding even a small amount (1.0 to 10 mV) of positive feedback (hysteresis) causes such a rapid transition that oscillations due to stray feedback are not possible. Simply socketing the IC and attaching resistors to the pins will cause input-output oscillations during the small transition intervals unless hysteresis is used. If the input signal is a pulse waveform, with relatively fast rise and fall times, hysteresis is not required.

All input pins of any unused comparators should be tied to the negative supply.

The bias network of the LM193 series establishes a drain current which is independent of the magnitude of the power supply voltage over the range of from 2.0 V_{DC} to 30 V_{DC} .

The differential input voltage may be larger than V^+ without damaging the device [Typical Applications](#). Protection should be provided to prevent the input voltages from going negative more than $-0.3\text{ V}_{\text{DC}}$ (at 25°C). An input clamp diode can be used as shown in [Typical Applications](#).

The output of the LM193 series is the uncommitted collector of a grounded-emitter NPN output transistor. Many collectors can be tied together to provide an output OR'ing function. An output pullup resistor can be connected to any available power supply voltage within the permitted supply voltage range and there is no restriction on this voltage due to the magnitude of the voltage which is applied to the V^+ terminal of the LM193 package. The output can also be used as a simple SPST switch to ground (when a pullup resistor is not used). The amount of current which the output device can sink is limited by the drive available (which is independent of V^+) and the β of this device. When the maximum current limit is reached (approximately 16 mA), the output transistor will come out of saturation and the output voltage will rise very rapidly. The output saturation voltage is limited by the approximately $60\text{ }\Omega\text{ }r_{\text{SAT}}$ of the output transistor. The low offset voltage of the output transistor (1.0 mV) allows the output to clamp essentially to ground level for small load currents.

8.2 Typical Applications

8.2.1 Basic Comparator

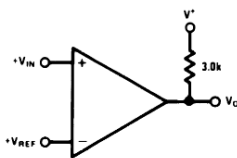


Figure 12. Basic Comparator

8.2.1.1 Design Requirements

The basic usage of a comparator is to indicate when a specific analog signal has exceeded some predefined threshold. In this application, the negative input (IN-) is tied to a reference voltage, and the positive input (IN+) is connected to the input signal. The output is pulled up with a resistor to the logic supply voltage, V^+ with a pullup resistor.

For an example application, the supply voltage is 5V. The input signal varies between 1 V and 3 V, and we want to know when the input exceeds $2.5\text{ V}\pm 1\%$. The supply current draw should not exceed 1 mA.

Typical Applications (continued)

8.2.1.2 Detailed Design Procedure

First, we determine the biasing for the 2.5-V reference. With the 5-V supply voltage, we would use a voltage divider consisting of one resistor from the supply to IN⁻ and an second resistor from IN⁻. The 25 nA of input current bias should be < 1% of the bias current for V_{ref}. With a 100-kΩ resistor from IN⁻ to V⁺ and an additional 100-kΩ resistor from IN⁻ to ground, there would be 25 μA of current through the two resistors. The 3-kΩ pullup shown will need $5\text{ V}/3\text{ k}\Omega \rightarrow 1.67\text{ mA}$, which exceeds our current budget.

With the 400-μA supply current and 25 μA of V_{REF} bias current, there is 575 μA remaining for output pullup resistor; with 5-V supply, we need a pullup larger than 8.7 kΩ. A 10-kΩ pullup is a value that is commonly available and can be used here.

8.2.1.3 Application Curve

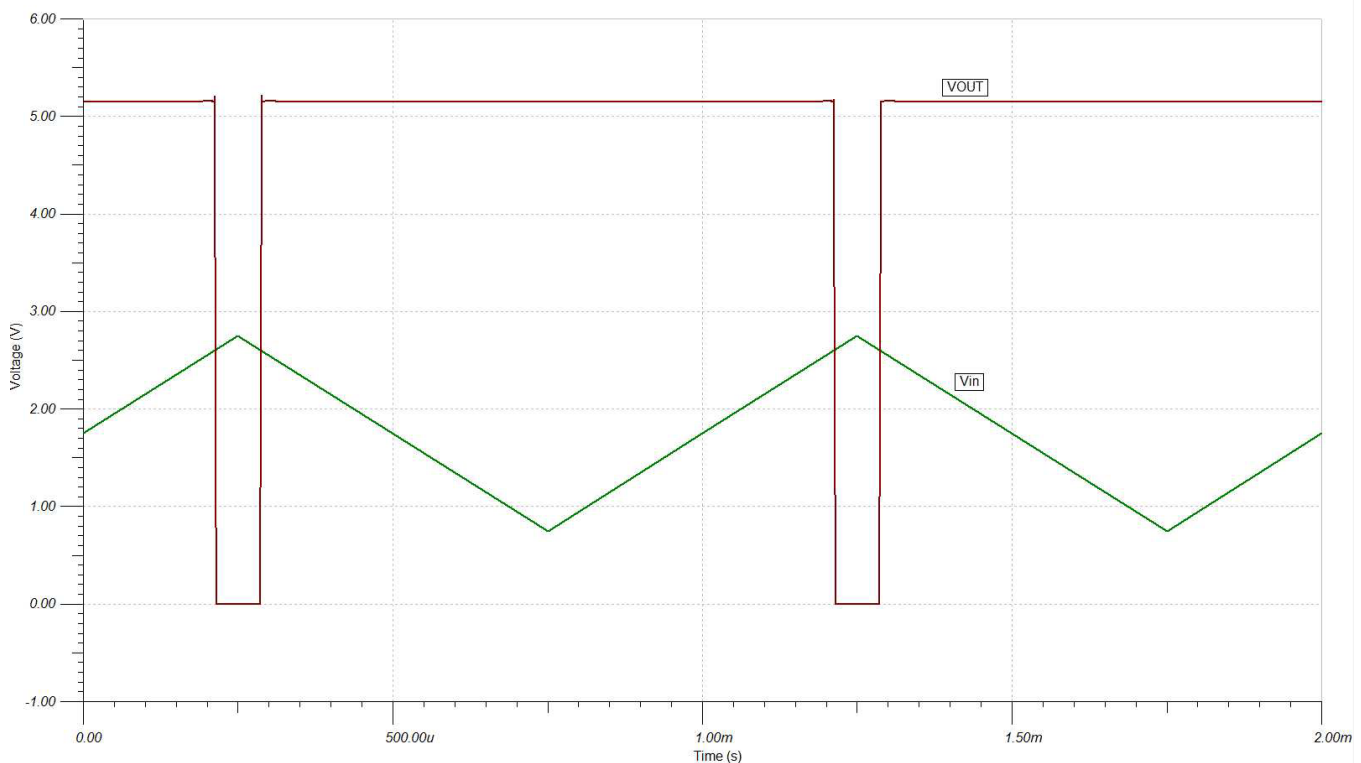
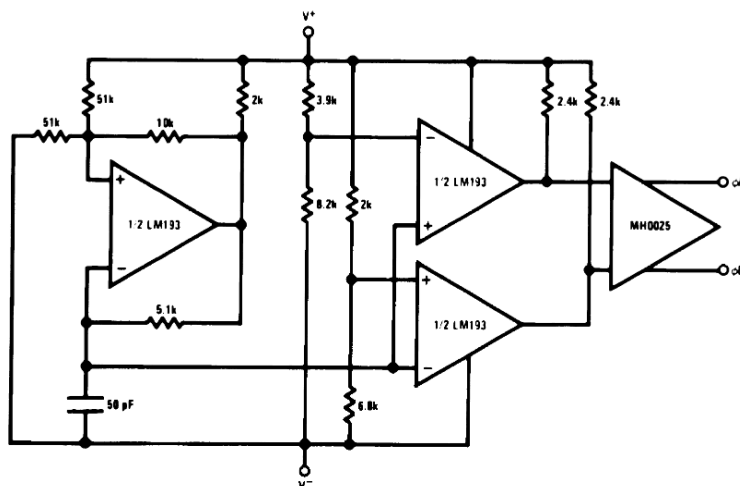


Figure 13. Basic Comparator Response

Typical Applications (continued)

8.2.2 System Examples

8.2.2.1 Split-Supply Application



($V+ = -15 V_{DC}$ and $V- = -15 V_{DC}$)

Figure 14. MOS Clock Driver

8.2.2.2 $V+ = 5.0 V_{DC}$ Application Circuits

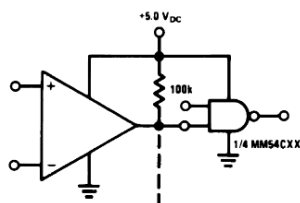


Figure 15. Driving CMOS

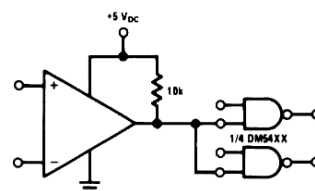


Figure 16. Driving TTL

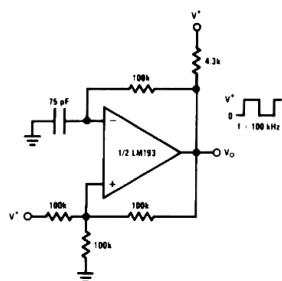
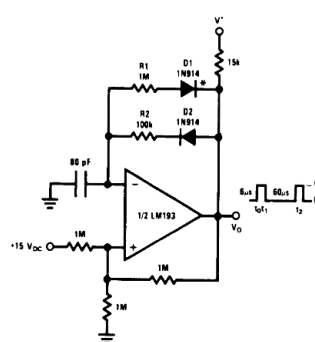


Figure 17. Squarewave Oscillator



* For large ratios of $R1/R2$,
D1 can be omitted.

Figure 18. Pulse Generator

Typical Applications (continued)

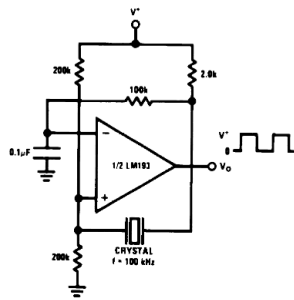
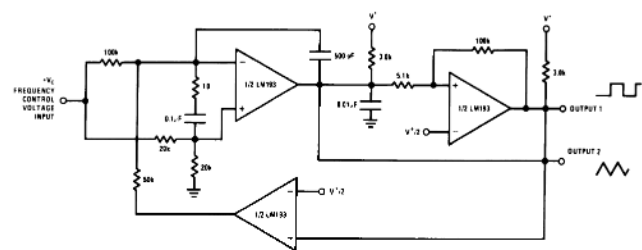


Figure 19. Crystal Controlled Oscillator



$$V^* = +30 V_{DC}$$

$$+250 mV_{DC} \leq V_C \leq +50 V_{DC}$$

$$700Hz \leq f_o \leq 100kHz$$

Figure 20. Two-Decade High Frequency VCO

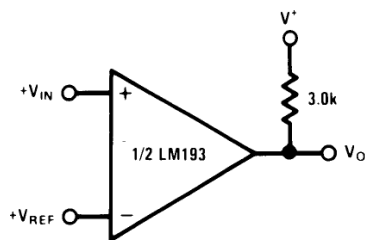


Figure 21. Basic Comparator

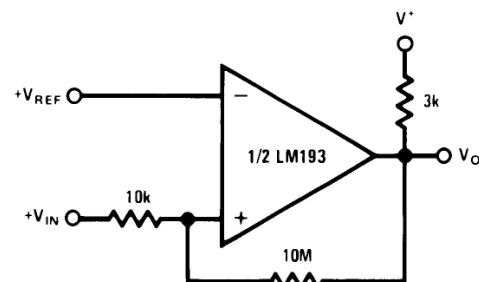


Figure 22. Non-Inverting Comparator With Hysteresis

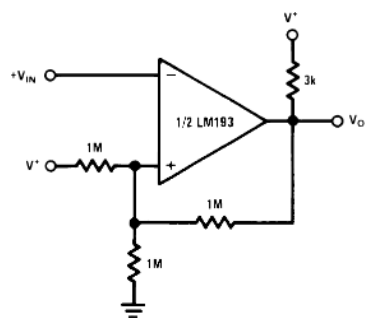
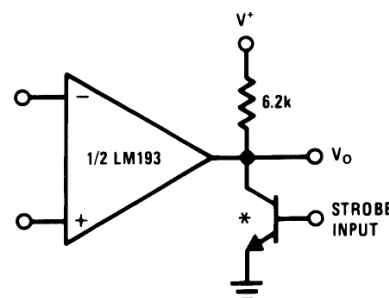


Figure 23. Inverting Comparator With Hysteresis



* OR LOGIC GATE
WITHOUT PULL-UP RESISTOR

Figure 24. Output Strobing

Typical Applications (continued)

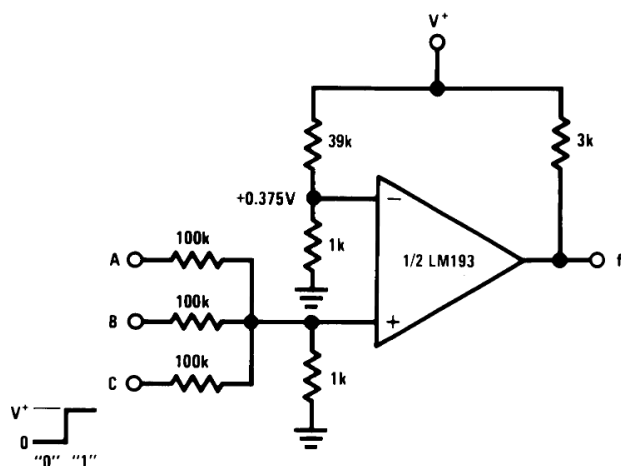


Figure 25. And Gate

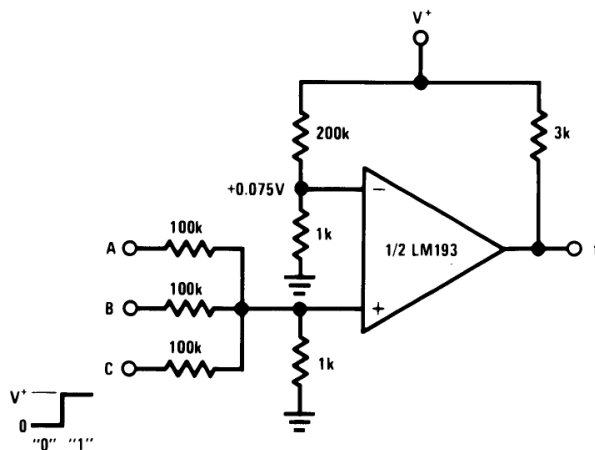


Figure 26. Or Gate

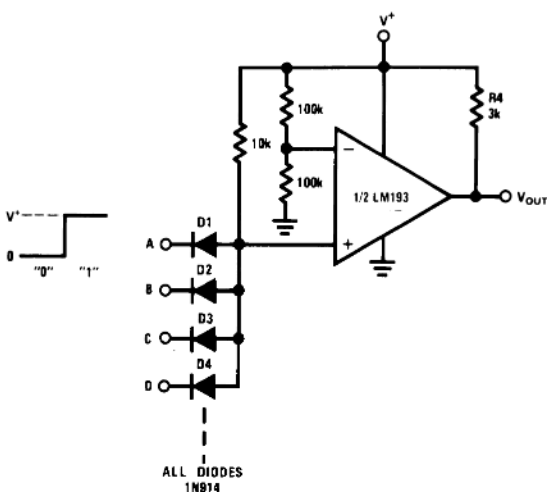


Figure 27. Large Fan-In and Gate

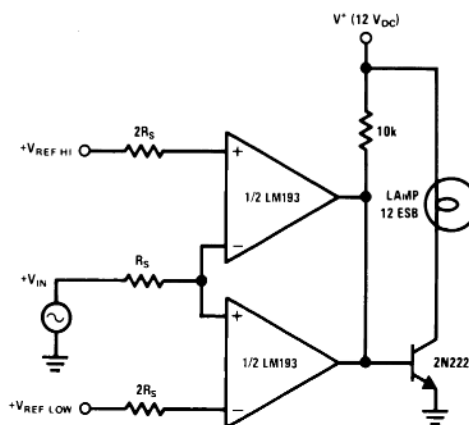


Figure 28. Limit Comparator

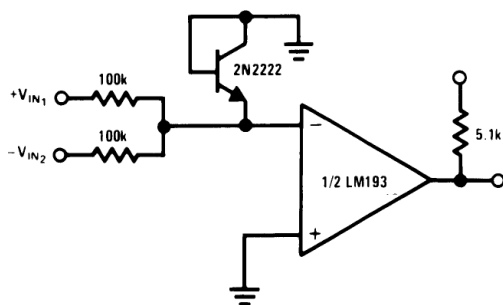


Figure 29. Comparing Input Voltages of Opposite Polarity

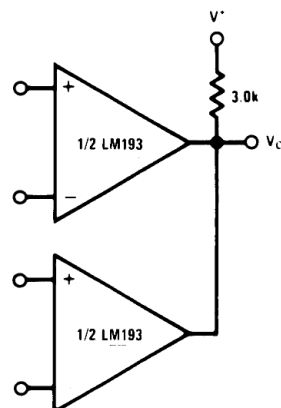
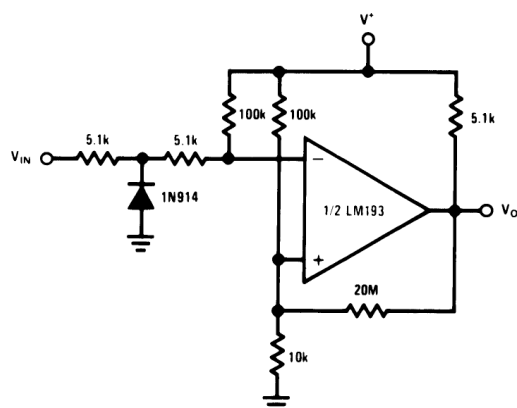
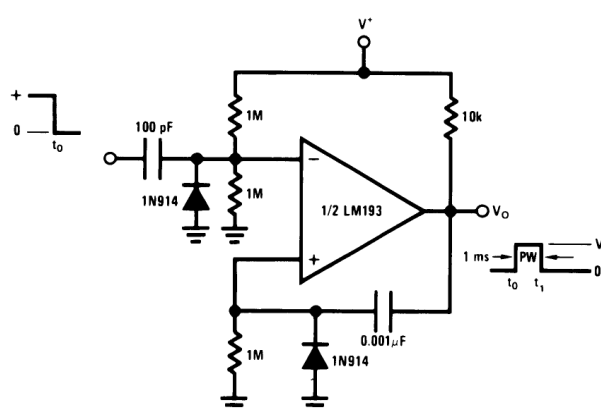
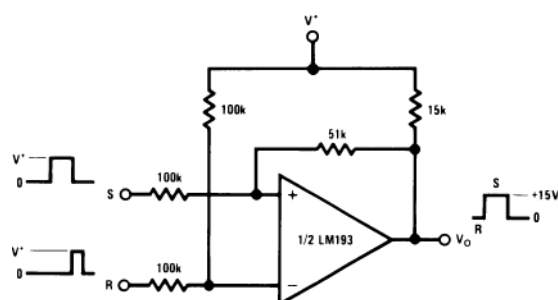
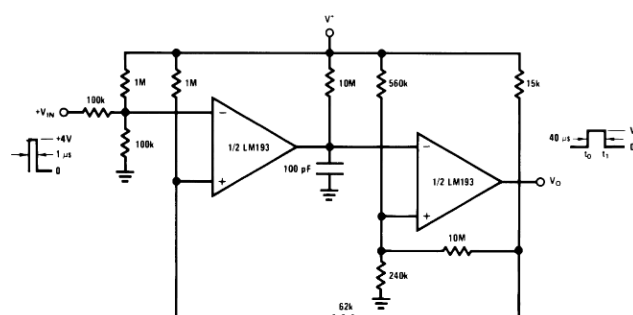
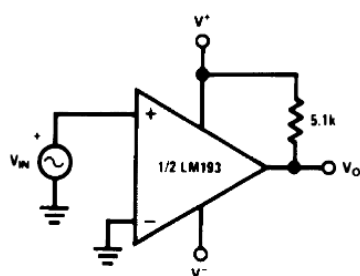
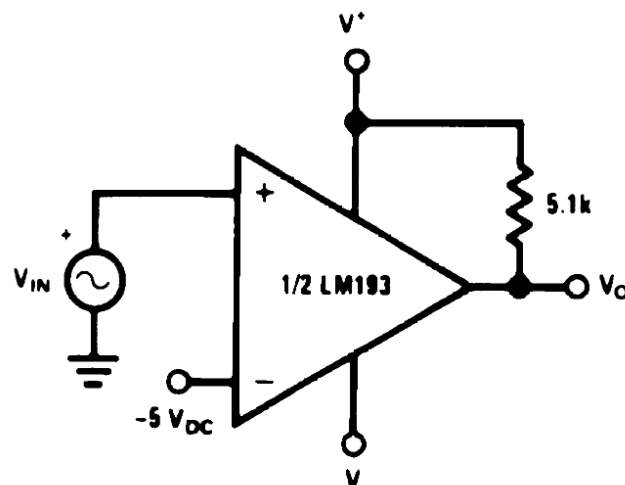


Figure 30. Oring the Outputs

Typical Applications (continued)

Figure 31. Zero Crossing Detector (Single Power Supply)

Figure 32. One-Shot Multivibrator

Figure 33. Bi-Stable Multivibrator

Figure 34. One-Shot Multivibrator With Input Lock Out

Figure 35. Zero Crossing Detector

Figure 36. Comparator With a Negative Reference

Typical Applications (continued)

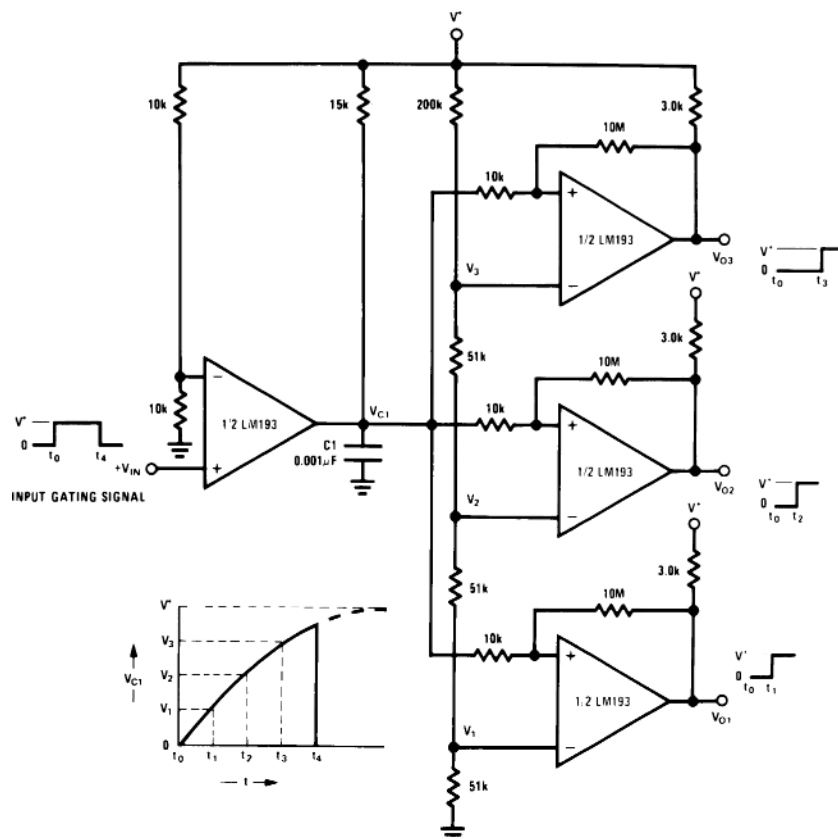


Figure 37. Time Delay Generator

9 Power Supply Recommendations

Even in low frequency applications, the LM193-N can have internal transients which are extremely quick. For this reason, bypassing the power supply with 1.0 μF to ground will provide improved performance; the supply bypass capacitor should be placed as close as possible to the supply pin and have a solid connection to ground. The bypass capacitor should have a low ESR and also a SRF greater than 50MHz.

10 Layout

10.1 Layout Guidelines

Try to minimize parasitic impedances on the inputs to avoid oscillation. Any positive feedback used as hysteresis should place the feedback components as close as possible to the input pins. Care should be taken to ensure that the output pins do not couple to the inputs. This can occur through capacitive coupling if the traces are too close and lead to oscillations on the output. The optimum placement for the bypass capacitor is closest to the V+ and ground pins. Take care to minimize the loop area formed by the bypass capacitor connection between V+ and ground. The ground pin should be connected to the PCB ground plane at the pin of the device. The feedback components should be placed as close to the device as possible minimizing strays.

10.2 Layout Example

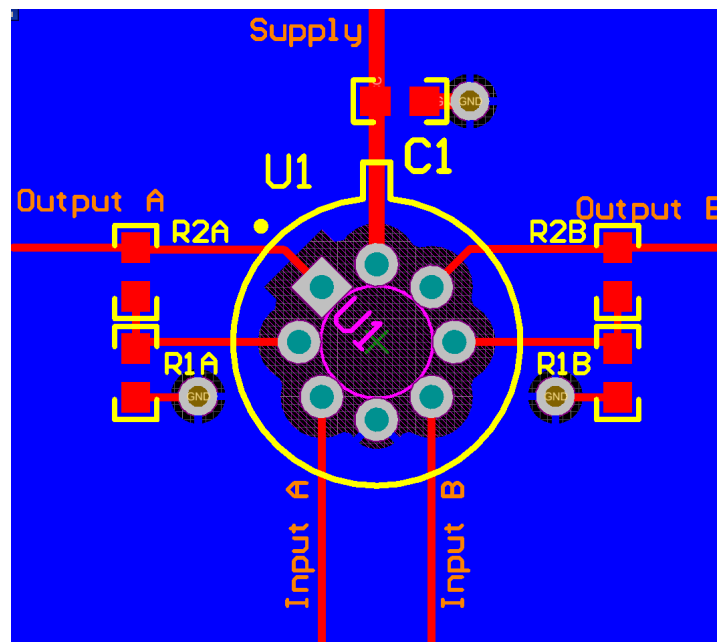


Figure 38. Layout Example

11 Device and Documentation Support

11.1 Related Links

The table below lists quick access links. Categories include technical documents, support and community resources, tools and software, and quick access to order now.

Table 1. Related Links

PARTS	PRODUCT FOLDER	ORDER NOW	TECHNICAL DOCUMENTS	TOOLS & SOFTWARE	SUPPORT & COMMUNITY
LM193-N	Click here	Click here	Click here	Click here	Click here
LM2903-N	Click here	Click here	Click here	Click here	Click here
LM293-N	Click here	Click here	Click here	Click here	Click here
LM393-N	Click here	Click here	Click here	Click here	Click here

11.2 Receiving Notification of Documentation Updates

To receive notification of documentation updates, navigate to the device product folder on ti.com. In the upper right corner, click on *Alert me* to register and receive a weekly digest of any product information that has changed. For change details, review the revision history included in any revised document.

11.3 Trademarks

All trademarks are the property of their respective owners.

11.4 Electrostatic Discharge Caution



These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

11.5 Glossary

[SLYZ022](#) — *TI Glossary*.

This glossary lists and explains terms, acronyms, and definitions.

12 Mechanical, Packaging, and Orderable Information

The following pages include mechanical, packaging, and orderable information. This information is the most current data available for the designated devices. This data is subject to change without notice and revision of this document. For browser-based versions of this data sheet, refer to the left-hand navigation.

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
LM193AH	ACTIVE	TO-99	LMC	8	500	Non-RoHS & Green	Call TI	Level-1-NA-UNLIM	-55 to 125	(LM193AH, LM193AH)	Samples
LM193AH/NOPB	ACTIVE	TO-99	LMC	8	500	RoHS & Green	Call TI	Level-1-NA-UNLIM	-55 to 125	(LM193AH, LM193AH)	Samples
LM193H	ACTIVE	TO-99	LMC	8	500	Non-RoHS & Green	Call TI	Level-1-NA-UNLIM	-55 to 125	(LM193H, LM193H)	Samples
LM193H/NOPB	ACTIVE	TO-99	LMC	8	500	RoHS & Green	Call TI	Level-1-NA-UNLIM	-55 to 125	(LM193H, LM193H)	Samples
LM2903TTL/NOPB	ACTIVE	DSBGA	YZR	8	250	RoHS & Green	SNAGCU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 85	C 03	Samples
LM2903ITLX/NOPB	ACTIVE	DSBGA	YZR	8	3000	RoHS & Green	SNAGCU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 85	C 03	Samples
LM2903M	LIFEBUY	SOIC	D	8	95	Non-RoHS & Green	Call TI	Level-1-235C-UNLIM	-40 to 85	LM 2903M	
LM2903M/NOPB	ACTIVE	SOIC	D	8	95	RoHS & Green	SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 85	LM 2903M	Samples
LM2903MX/NOPB	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	RoHS & Green	SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 85	LM 2903M	Samples
LM2903N/NOPB	ACTIVE	PDIP	P	8	40	RoHS & Green	NIPDAU	Level-1-NA-UNLIM	-40 to 85	LM 2903N	Samples
LM293H	ACTIVE	TO-99	LMC	8	500	Non-RoHS & Green	Call TI	Level-1-NA-UNLIM	-25 to 85	(LM293H, LM293H)	Samples
LM293H/NOPB	ACTIVE	TO-99	LMC	8	500	RoHS & Green	Call TI	Level-1-NA-UNLIM	-25 to 85	(LM293H, LM293H)	Samples
LM393M	LIFEBUY	SOIC	D	8	95	Non-RoHS & Green	Call TI	Level-1-235C-UNLIM	0 to 70	LM 393M	
LM393M/NOPB	ACTIVE	SOIC	D	8	95	RoHS & Green	SN	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	LM 393M	Samples
LM393MX	LIFEBUY	SOIC	D	8	2500	Non-RoHS & Green	Call TI	Level-1-235C-UNLIM	0 to 70	LM 393M	
LM393MX/NOPB	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	RoHS & Green	SN	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	LM 393M	Samples
LM393N/NOPB	ACTIVE	PDIP	P	8	40	RoHS & Green	NIPDAU	Level-1-NA-UNLIM	0 to 70	LM 393N	Samples

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
LM393TL/NOPB	ACTIVE	DSBGA	YZR	8	250	RoHS & Green	SNAGCU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	C 02	Samples
LM393TLX/NOPB	ACTIVE	DSBGA	YZR	8	3000	RoHS & Green	SNAGCU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	C 02	Samples

(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.

OBSOLETE: 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 to 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.

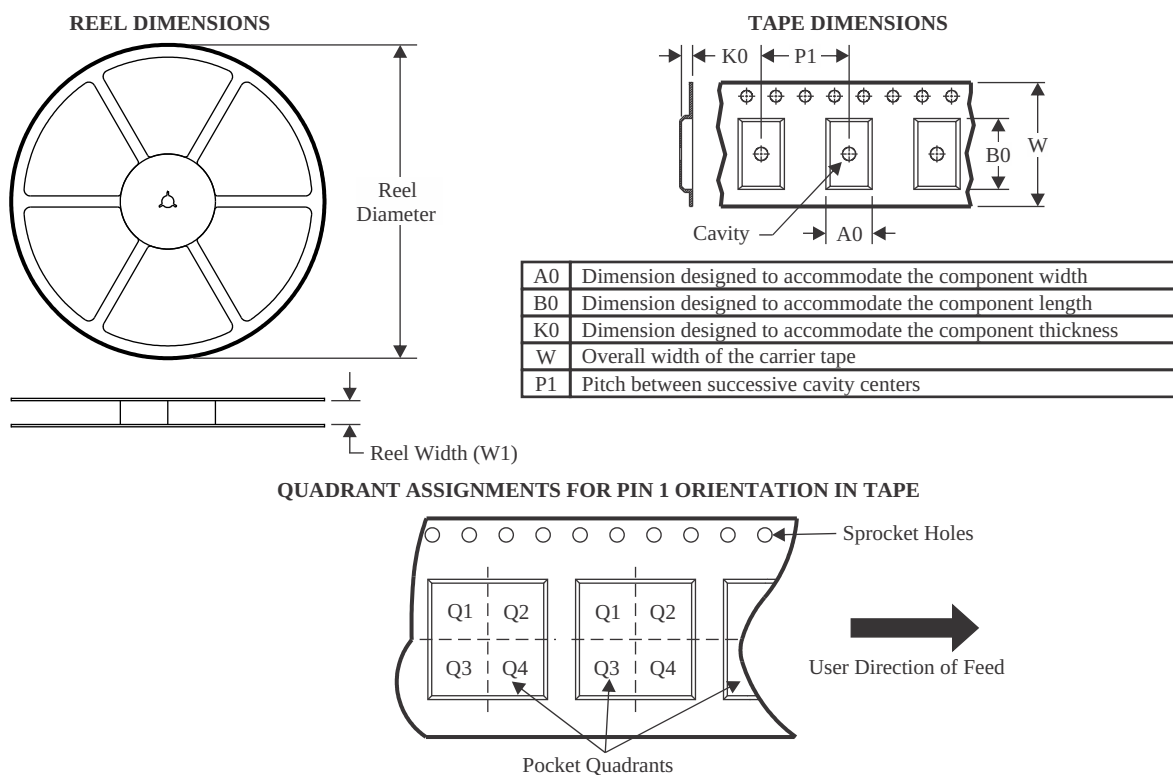
OTHER QUALIFIED VERSIONS OF LM2903-N, LM293-N :

- Automotive : [LM2903-Q1](#)
- Enhanced Product : [LM293-EP](#)

NOTE: Qualified Version Definitions:

- Automotive - Q100 devices qualified for high-reliability automotive applications targeting zero defects
- Enhanced Product - Supports Defense, Aerospace and Medical Applications

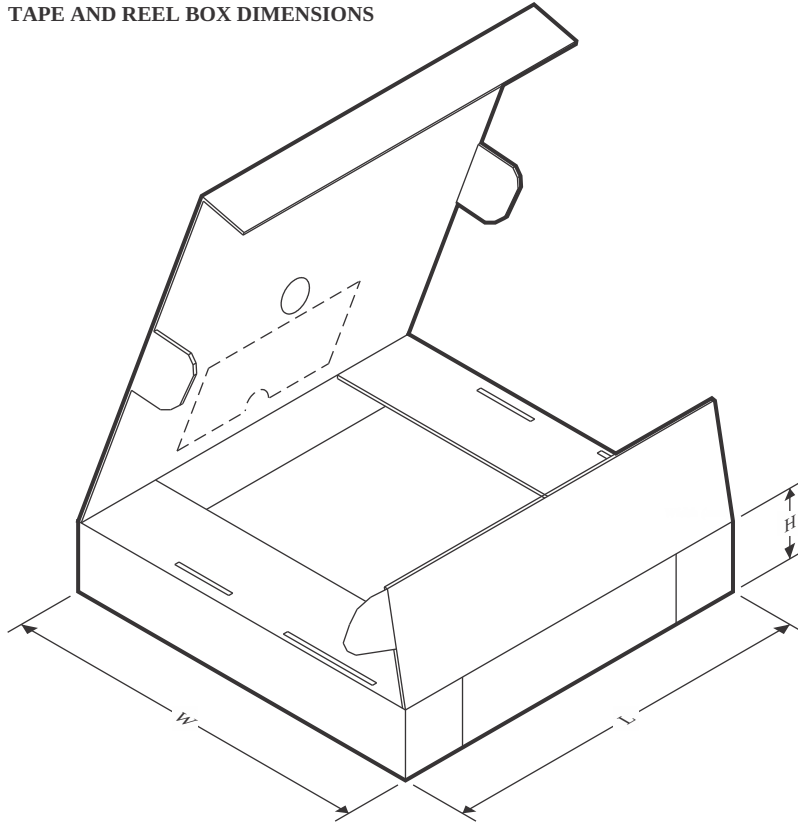
TAPE AND REEL INFORMATION



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
LM2903ITL/NOPB	DSBGA	YZR	8	250	178.0	8.4	1.7	1.7	0.76	4.0	8.0	Q1
LM2903ITLX/NOPB	DSBGA	YZR	8	3000	178.0	8.4	1.7	1.7	0.76	4.0	8.0	Q1
LM2903MX/NOPB	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.5	5.4	2.0	8.0	12.0	Q1
LM393MX	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.5	5.4	2.0	8.0	12.0	Q1
LM393MX/NOPB	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.5	5.4	2.0	8.0	12.0	Q1
LM393TL/NOPB	DSBGA	YZR	8	250	178.0	8.4	1.7	1.7	0.76	4.0	8.0	Q1
LM393TLX/NOPB	DSBGA	YZR	8	3000	178.0	8.4	1.7	1.7	0.76	4.0	8.0	Q1

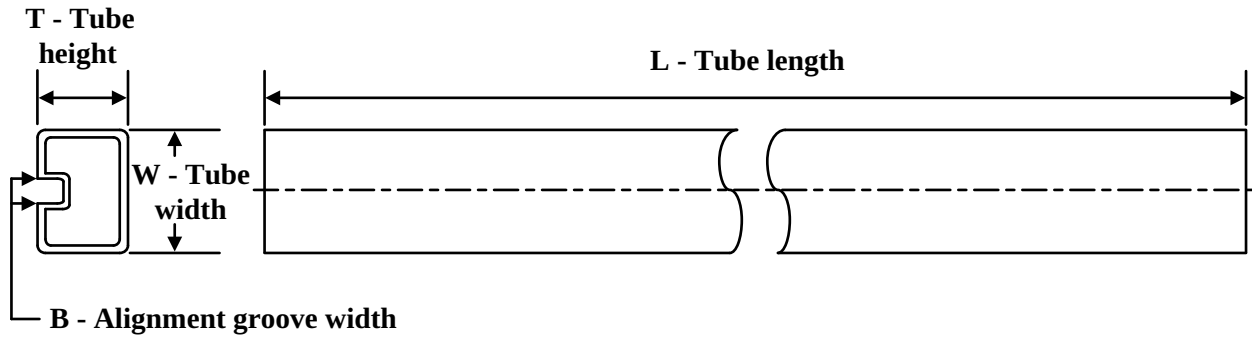
TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



*All dimensions are nominal

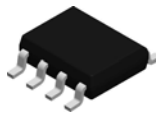
Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
LM2903ITL/NOPB	DSBGA	YZR	8	250	208.0	191.0	35.0
LM2903ITLX/NOPB	DSBGA	YZR	8	3000	208.0	191.0	35.0
LM2903MX/NOPB	SOIC	D	8	2500	367.0	367.0	35.0
LM393MX	SOIC	D	8	2500	367.0	367.0	35.0
LM393MX/NOPB	SOIC	D	8	2500	367.0	367.0	35.0
LM393TL/NOPB	DSBGA	YZR	8	250	208.0	191.0	35.0
LM393TLX/NOPB	DSBGA	YZR	8	3000	208.0	191.0	35.0

TUBE



*All dimensions are nominal

Device	Package Name	Package Type	Pins	SPQ	L (mm)	W (mm)	T (μm)	B (mm)
LM2903M	D	SOIC	8	95	495	8	4064	3.05
LM2903M	D	SOIC	8	95	495	8	4064	3.05
LM2903M/NOPB	D	SOIC	8	95	495	8	4064	3.05
LM2903N/NOPB	P	PDIP	8	40	502	14	11938	4.32
LM393M	D	SOIC	8	95	495	8	4064	3.05
LM393M	D	SOIC	8	95	495	8	4064	3.05
LM393M/NOPB	D	SOIC	8	95	495	8	4064	3.05
LM393N/NOPB	P	PDIP	8	40	502	14	11938	4.32

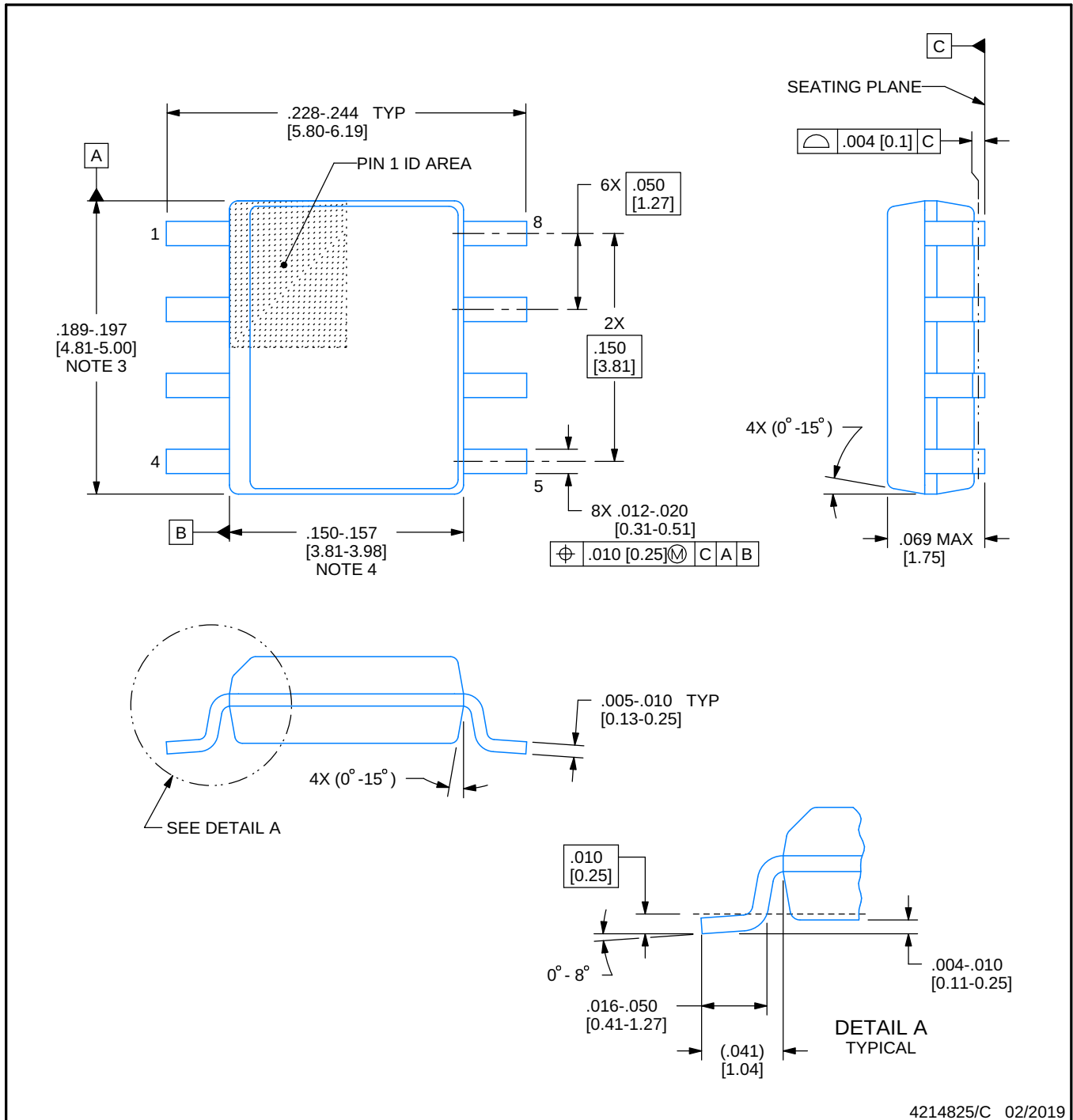


D0008A

PACKAGE OUTLINE

SOIC - 1.75 mm max height

SMALL OUTLINE INTEGRATED CIRCUIT



4214825/C 02/2019

NOTES:

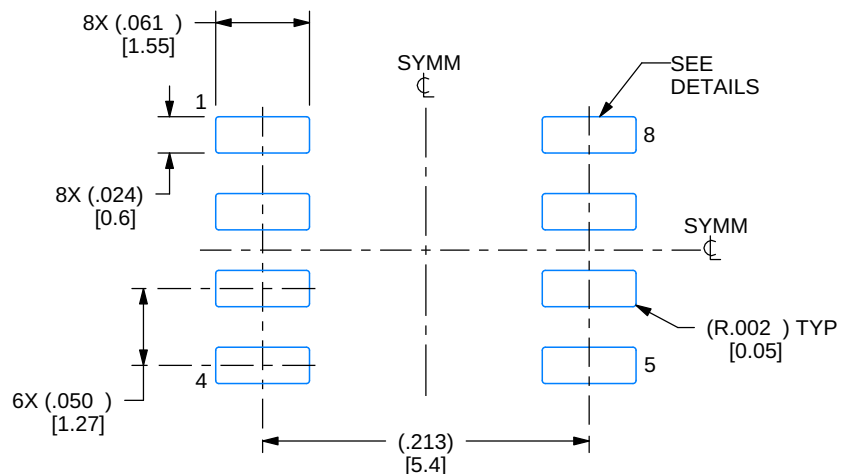
1. Linear dimensions are in inches [millimeters]. Dimensions in parenthesis are for reference only. Controlling dimensions are in inches. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. This dimension does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed .006 [0.15] per side.
4. This dimension does not include interlead flash.
5. Reference JEDEC registration MS-012, variation AA.

EXAMPLE BOARD LAYOUT

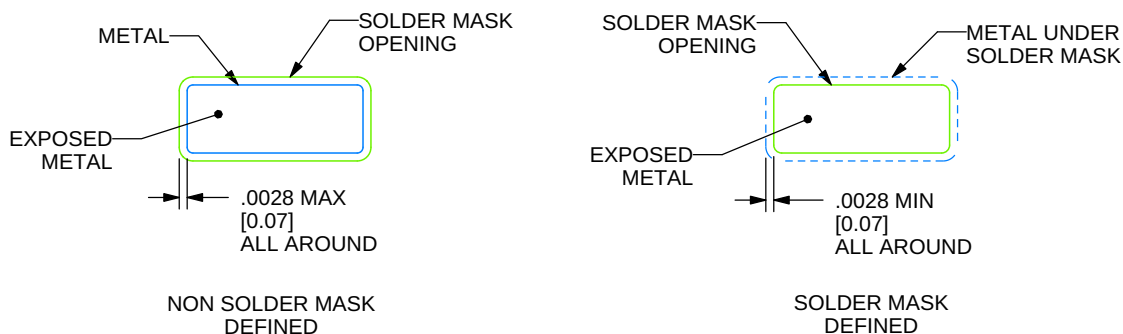
D0008A

SOIC - 1.75 mm max height

SMALL OUTLINE INTEGRATED CIRCUIT



LAND PATTERN EXAMPLE
EXPOSED METAL SHOWN
SCALE:8X



SOLDER MASK DETAILS

4214825/C 02/2019

NOTES: (continued)

6. Publication IPC-7351 may have alternate designs.

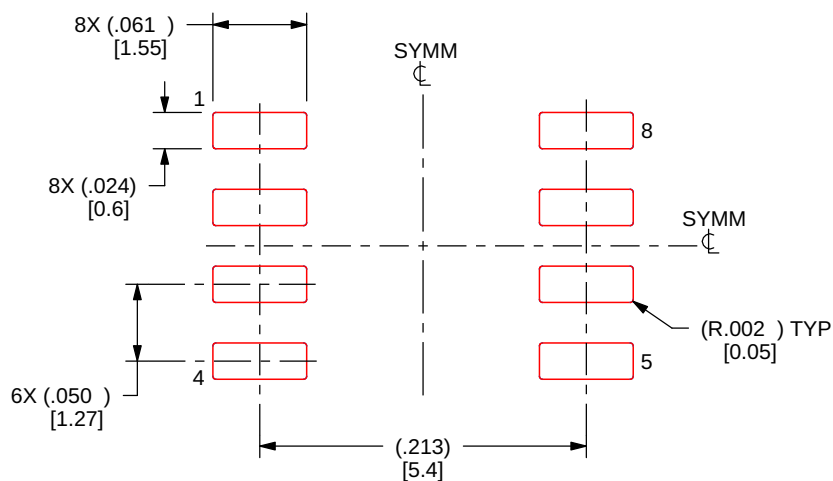
7. Solder mask tolerances between and around signal pads can vary based on board fabrication site.

EXAMPLE STENCIL DESIGN

D0008A

SOIC - 1.75 mm max height

SMALL OUTLINE INTEGRATED CIRCUIT



SOLDER PASTE EXAMPLE
BASED ON .005 INCH [0.125 MM] THICK STENCIL
SCALE:8X

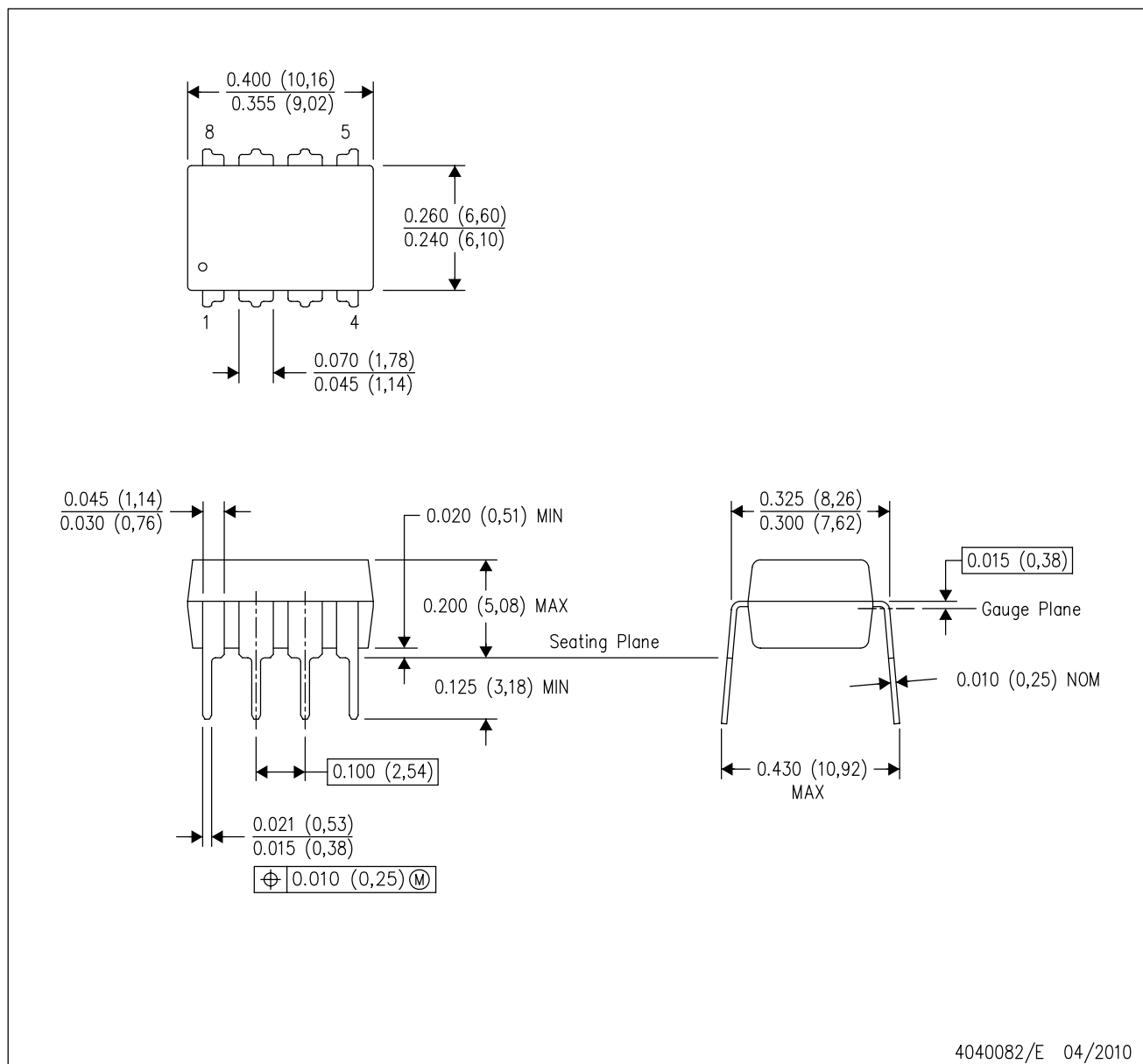
4214825/C 02/2019

NOTES: (continued)

8. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.
9. Board assembly site may have different recommendations for stencil design.

P (R-PDIP-T8)

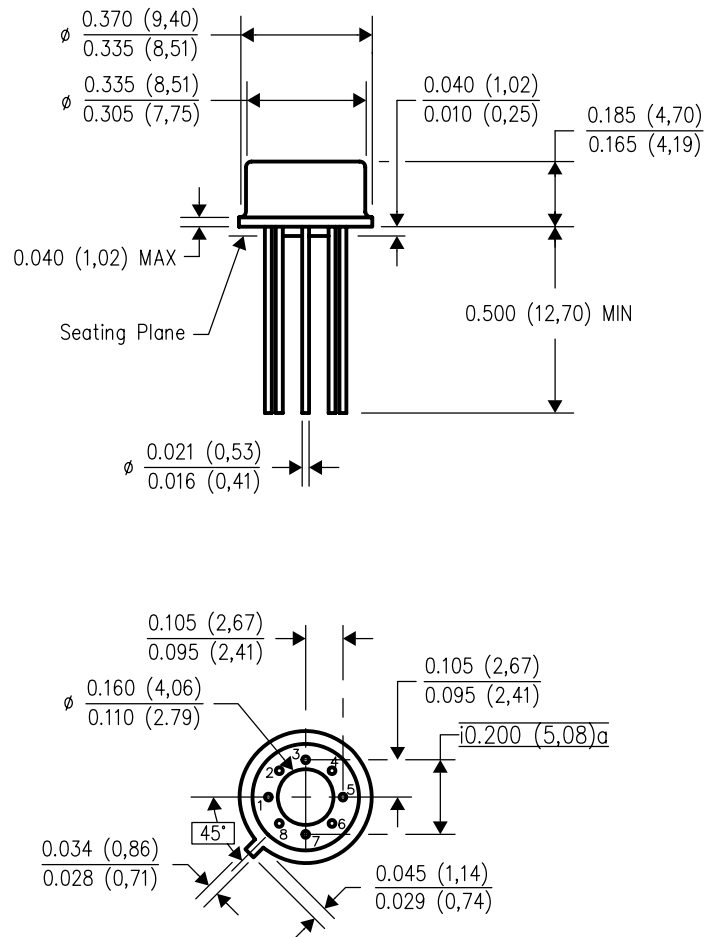
PLASTIC DUAL-IN-LINE PACKAGE



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Falls within JEDEC MS-001 variation BA.

LMC (O-MBCY-W8)

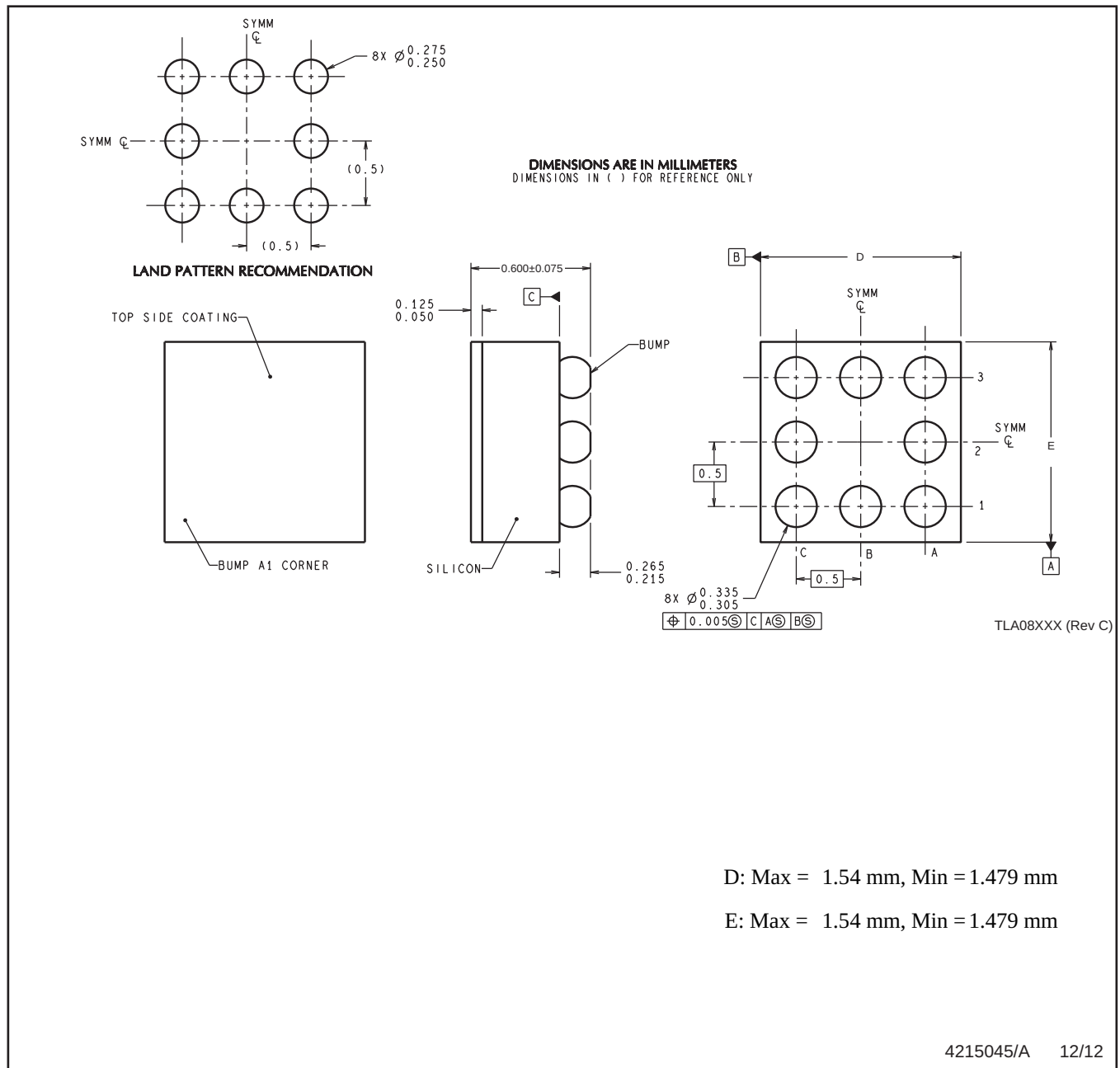
METAL CYLINDRICAL PACKAGE



4202483/B 09/07

- NOTES:
- All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - This drawing is subject to change without notice.
 - Leads in true position within 0.010 (0,25) R @ MMC at seating plane.
 - Pin numbers shown for reference only. Numbers may not be marked on package.
 - Falls within JEDEC MO-002/T0-99.

YZR0008



NOTES: A. All linear dimensions are in millimeters. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M-1994.
B. This drawing is subject to change without notice.

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](#) 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 © 2023, Texas Instruments Incorporated