

Universidad de Costa Rica

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Eléctrica

IE-0624 Laboratorio de Microcontroladores

II ciclo 2022

Laboratorio 4

STM32: GPIO, ADC, comunicaciones, Iot

Luis Javier Herrera B93840

Juan Ignacio Montealegre Salazar B95001

Profesor: Marco Villalta Fallas

Martes 1 de noviembre del 2022

Índice

Índice de figuras	III
Índice de tablas	IV
1. Resumen	1
2. Nota teórica	1
2.1. Microcontrolador STM32F427	1
2.2. Placa STM32F429 Discovery kit	2
2.2.1. Giroscopio	4
2.2.2. Pantalla LCD	4
2.3. Diseño del circuito	4
2.4. Lista de componentes	5
3. Desarrollo y Análisis de Resultados	6
3.1. Desarrollo del circuito	6
3.2. Desarrollo del programa	7
3.3. Repositorio de Git	7
3.4. Funcionalidad del circuito y del programa	8
4. Conclusiones y Recomendaciones	12
5. Referencias	13
6. Anexos	14

Índice de figuras

1.	Distribución de pines del STM32 [1].	2
2.	Tarjeta de desarrollo STM32F429 Discovery Kit [2].	3
3.	Layout de tarjeta de desarrollo STM32F429 Discovery Kit [2].	3
4.	Esquemático de circuito final. Elaboración propia.	4
5.	Esquemático de divisor de tensión simulado para obtener 5 V a la salida. Elaboración propia.	5
6.	Circuito completo. Elaboración propia.	6
7.	Multímetro utilizado. Elaboración propia.	6
8.	Diagrama de flujo para el funcionamiento del programa creado. Elaboración propia.	7
9.	Placa estática con batería de 9 V conectada (1). Elaboración propia.	8
10.	Placa estática con batería de 9 V conectada (2). Elaboración propia.	9
11.	Placa estática con batería de 9 V desconectada. Elaboración propia.	9
12.	Placa en movimiento con batería de 9 V conectada. Elaboración propia.	10
13.	Placa con envío de datos habilitado. Elaboración propia.	10
14.	Resultados obtenidos en ThingsBoard de diseño implementado con lecturas de movimiento y batería alta.	11
15.	Resultados obtenidos en ThingsBoard de diseño implementado con lecturas de movimiento y batería baja.	11

Índice de tablas

1. Lista de componentes utilizados 5

1. Resumen

En esta práctica de laboratorio se desarrolla un sismógrafo digital capaz de registrar las oscilaciones en el edificio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica. Para ello, se utiliza la placa de desarrollo STM32F429 Discovery kit que cuenta con luces LEDs, botones, una pantalla LCD, un giroscopio y gran cantidad de pines GPIO, los cuales permiten tanto entradas como salidas analógicas. La placa se utiliza en conjunto con la librería libopencm3, la cual facilita el uso de los periféricos de la placa. La placa estará siempre conectada a una computadora a la cual enviará los datos medidos por el giroscopio por medio de comunicación USART/USB, la cual se habilita al presionar un botón de la placa y una LED de esta misma comenzará a parpadear para indicar que se envían los datos. Los datos que recibe la computadora serán accedidos por medio de un programa desarrollado en Python para luego, utilizando el protocolo de comunicación MQTT, enviar estos datos a un dashboard desarrollado para aplicaciones de internet de las cosas (IoT) denominado Thingsboard. Además, la placa también realiza la lectura analógica de un circuito divisor de tensión alimentado por una batería de 9 V con el fin de monitorear su estado e indicar por medio de una luz LED si esta se desciende por debajo de los 7 V. Todos los datos sensados se despliegan en la pantalla LCD de la placa.

Palabras clave: Comunicación, giroscopio, IoT, libopencm3, microcontrolador, sismógrafo, STM32F427, Thingsboard

2. Nota teórica

En esta sección se describe el microcontrolador utilizado en esta ocasión, así como cada periférico utilizado (registros e instrucciones/funciones), componente electrónico complementario y el diseño del circuito final. El proceso de pruebas realizadas para llegar al circuito final se abarca en la sección "Desarrollo y Análisis de Resultados".

Características electricas -2.5lot/

2.1. Microcontrolador STM32F427

El MCU STM32F427 cuenta con un núcleo Arm Cortex M4 CPU de 32 bits con un acelerador en tiempo real que le permite tener un tiempo de espera para ejecución de 0 de la memoria Flash. Este opera a una frecuencia de 180 MHz y tiene una memoria Flash de 2 MB organizada en dos bancos que le permite leer mientras escribe los datos [1]. Tiene una memoria SRAM de hasta 254+4 KB y un controlador de memoria externa flexible con memoria de datos de hasta 32 bits. Necesita una alimentación dentro del rango de 1.7 V - 3.6 V y además posee un modo de funcionamiento de bajo consumo de energía. En la Figura 1 se puede apreciar la distribución de pines para este MCU [1].

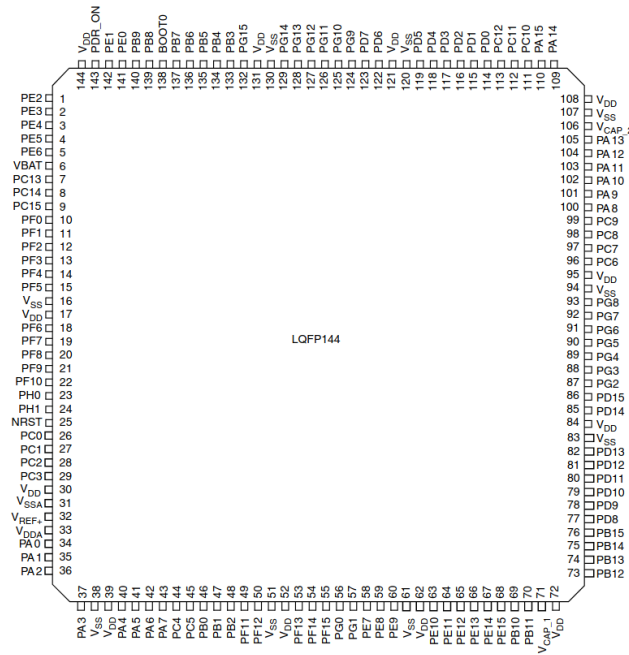


Figura 1: Distribución de pines del STM32 [1].

2.2. Placa STM32F429 Discovery kit

La placa de desarrollo STM32F429 Discovery Kit utiliza el MCU STM32 para así brindar al usuario un dispositivo orientado al desarrollo de aplicaciones y con variedad de periféricos. La lista de periféricos que vienen incorporados a esta tarjeta de desarrollo es la siguiente:

- MCU STM32
- ST-LINK/V2 integrado con interruptor de modo de selección para usar el kit como un ST- LINK/V2 (con conector SWD para programación y depuración).
- Alimentación de la placa que puede ser a través de de un bus USB o alimentación externa de 3 V o 5 V.
- L3GD20 sensor de movimiento.
- Pantalla LCD TFT 2.4", 262K colores RGB, 240 x 320 puntos.
- SDRAM de 64 Mbits.
- Seis LEDs.
- Dos botones.
- USB OTG con conector micro-AB.
- Encabezado de extensión para E/S LQFP144 para una conexión rápida a la placa de creación de prototipos.

2.2.1. Giroscopio

El L3GD20 es un sensor de velocidad angular de tres ejes que cuenta con un bajo consumo de energía. Incluye un elemento de detección y una interfaz IC capaz de proporcionar la tasa angular medida al mundo externo a través de la interfaz serial I2C/SPI [2]. El L3GD20 tiene escalas completas que se selecciona dinámicamente por el usuario con ± 250 dps/500 y dps/ ± 2000 dps [2]. El MCU STM32 se encarga de controlar el sensor mencionado anteriormente a través de la interfaz SPI.

2.2.2. Pantalla LCD

La TFT LCD es una pantalla de 2.41" de 262 K colores. Cuenta con una definición QVGA (240 x 320 puntos) y es manejada de forma directa por el STM32F429ZIT6 utilizando el protocolo RGB. Hace uso del controlador LCD ILI9341 y tiene un voltaje de operación de de 2.8 ± 0.3 V [2].

2.3. Diseño del circuito

El esquemático del circuito implementado se muestra en la Figura 4. Es importante mencionar que este esquemático es representativo, ya que no se encontró un modelo exacto de la placa que se utiliza, pero los pines que se utilizan sí son los mismos que los que se muestran en la imagen.

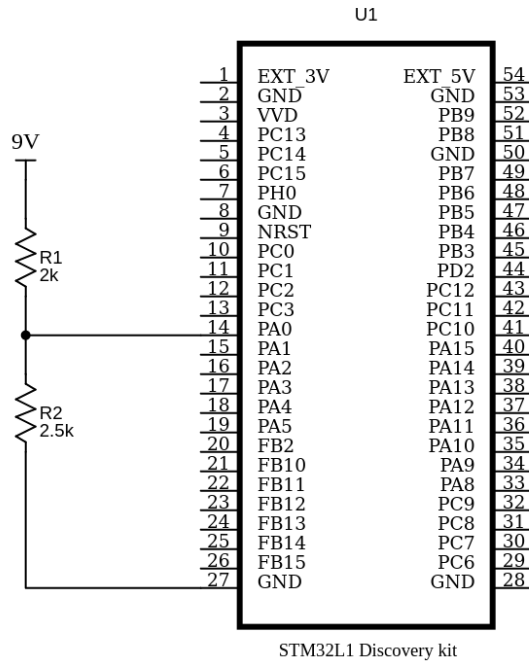


Figura 4: Esquemático de circuito final. Elaboración propia.

Con el fin de obtener 5 V para poder ser leídos por la tarjeta, se realizó un circuito divisor de tensión para que a partir de solamente unos cuantos resistores y una batería de 9 V, se obtuvieran los 5 V funcionales. Los valores de resistencia se diseñaron según la siguiente ecuación:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{in} \quad (1)$$

Siendo $V_{out} = 5\text{ V}$ y $V_{in} = 9\text{ V}$. Los valores escogidos a disposición del equipo de trabajo para tener que invertir la menor cantidad de dinero en el diseño fueron de $2.5\text{ k}\Omega$ para R_2 y $2\text{ k}\Omega$ para R_1 . En la implementación real se utilizan 5 resistencias de $100\text{ }\Omega$ y una de $2\text{ k}\Omega$ en serie para obtener una resistencia equivalente de $2.5\text{ k}\Omega$. Al realizar una simulación de comportamiento simple en el software TinaTi se obtuvieron los resultados mostrados en la Figura 5.

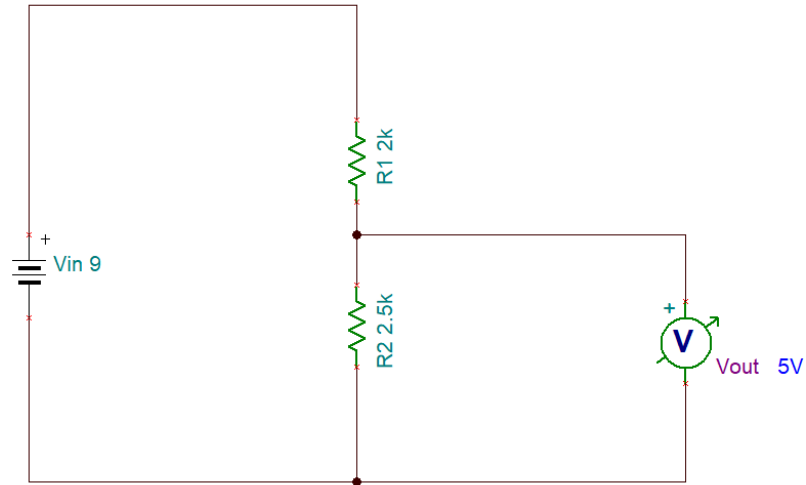


Figura 5: Esquemático de divisor de tensión simulado para obtener 5 V a la salida. Elaboración propia.

2.4. Lista de componentes

La lista de componentes utilizada se puede apreciar en la Tabla 1.

Componete	Tipo	Precio	Cantidad
Microcontrolador	STM32F429 Discovery Kit	\$94.99	1
Resistor	2K Ω	\$ 0.16	1
Resistor	2.5K Ω	\$0.16	1
Batería	9 V	\$ 2	1
Total	-	\$97.31	4

Tabla 1: Lista de componentes utilizados

3. Desarrollo y Análisis de Resultados

En esta sección se comenta de forma detallada el desarrollo del proyecto. Primero se explica el desarrollo del circuito como tal, y luego el diseño del programa a partir del programa deseado.

3.1. Desarrollo del circuito

La parte electrónica utilizada para este laboratorio es bastante sencilla. Solamente, se utilizó de una batería de 9 V junto con un circuito de divisor de tensión para poder proporcionarle al microcontrolador un valor de lectura correcto cercano a los 5 V. En la Figura 7 se puede observar el circuito armado junto a la placa.

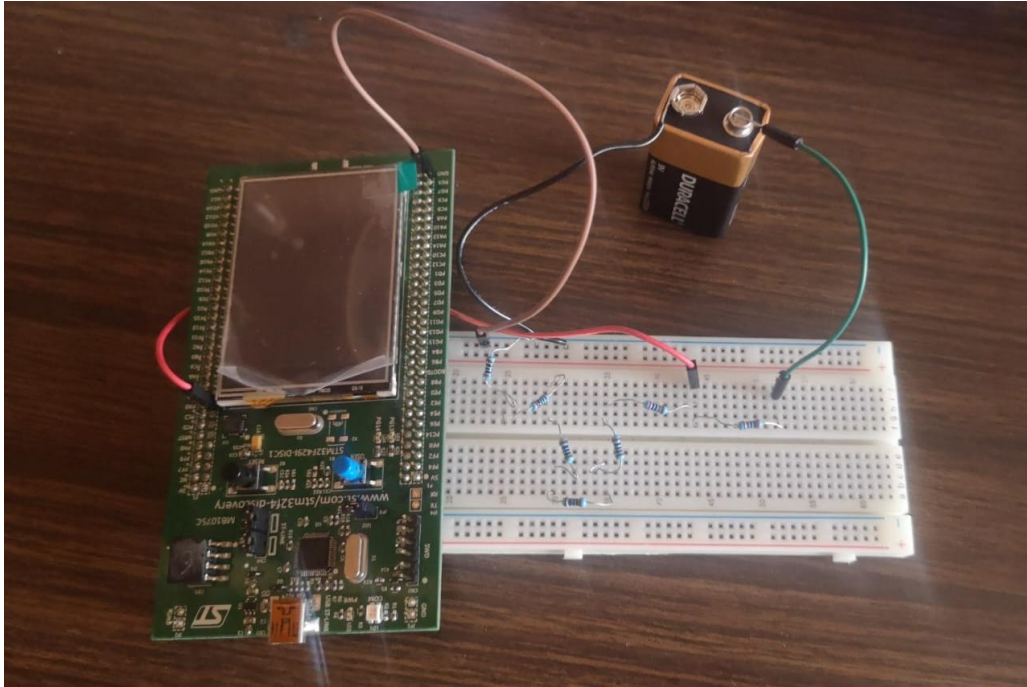


Figura 6: Circuito completo. Elaboración propia.

Para verificar el funcionamiento correcto del divisor de tensión, se midió la tensión en el punto de interés y también de la batería utilizando el multímetro de la siguiente figura, el cual muestra que los resultados de la división son muy cercanos a los teóricos. La razón por la que no son exactos corresponden a variaciones leves en los valores de las resistencias.



Figura 7: Multímetro utilizado. Elaboración propia.

3.2. Desarrollo del programa

El programa elaborado para el desarrollo de este laboratorio se realizó siguiendo los ejemplos base para el microcontrolador STM32F429 Discovery Kit de la librería *libopencm3*. El funcionamiento básico del programa se puede evidenciar en la Figura 8.

Primeramente, se tiene que se dan las lecturas del nivel de batería así como las lecturas en los ejes del giroscopio para poder mostrar estos datos en la pantalla LCD. En el caso de que el nivel de batería se encuentre por debajo de los 7 V (límite indicado en el enunciado del laboratorio), se va a encender un LED de forma intermitente de emergencia ubicado en la placa como forma de alerta así como también una notificación de batería baja a la plataforma para el control de Iot llamada **Thingsboard**. Además, se añade el funcionamiento de habilitación de transmisión de datos USART/USB con el uso de uno de los switches disponibles en la placa, específicamente el **botón azul**. Al presionar el botón, otro LED de la placa va a empezar a parpadear y se van a empezar a enviar los datos con las lecturas en los ejes del giroscopio y nivel batería. Si vuelve a presionar el botón, el envío de datos se detendrá y la luz respectiva se apagará. Posteriormente, estos datos se van a poder visualizar en el dashboard de **Thingsboard**. Para ello, se crea un programa en **Python** que deberá ser ejecutado al mismo tiempo en que opera el programa de la placa. Una vez terminado este proceso se vuelve a tomar la nueva lectura y se repite lo descrito anteriormente en un ciclo.

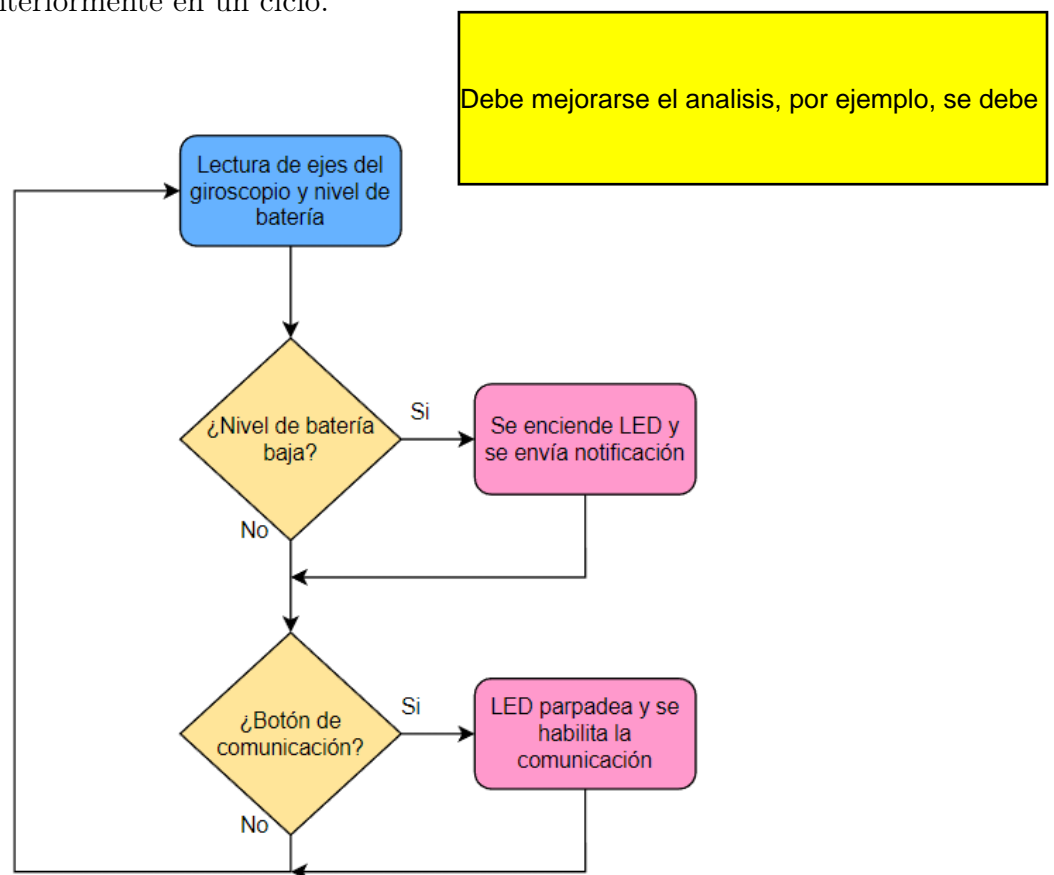


Figura 8: Diagrama de flujo para el funcionamiento del programa creado. Elaboración propia.

3.3. Repositorio de Git

Este proyecto se trabajó en un repositorio de Git para poder tener un control de las diversas versiones de todos los archivos que componen el proyecto. Se utilizó la plataforma de GitHub y el

repositorio se encuentran en este link. Este laboratorio se encuentra en el directorio “Laboratorio 4”.

3.4. Funcionalidad del circuito y del programa

A continuación se presentan varias imágenes donde se comprueba el funcionamiento apropiado del circuito. En la figura 9 se puede observar en la pantalla de la placa que la lectura de los ejes es de 0, lo cual tiene sentido porque la placa está en reposo. Además, la tensión registrada es de 7.8 V aproximadamente, lo cual muestra que sí se pueden tener lecturas variadas de tensión. También es importante mencionar que ambas luces LEDs implementadas están apagadas.

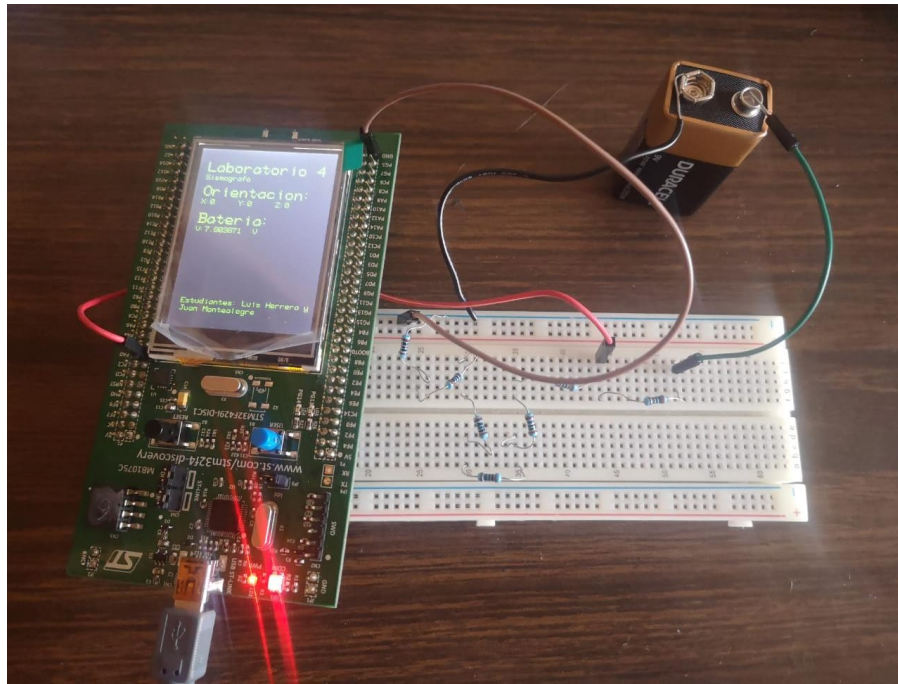


Figura 9: Placa estática con batería de 9 V conectada (1). Elaboración propia.

Seguidamente, se conecta otra batería con un voltaje mayor. En este caso, la pantalla muestra una tensión de 8.36 V. Esto se muestra en la figura 10.

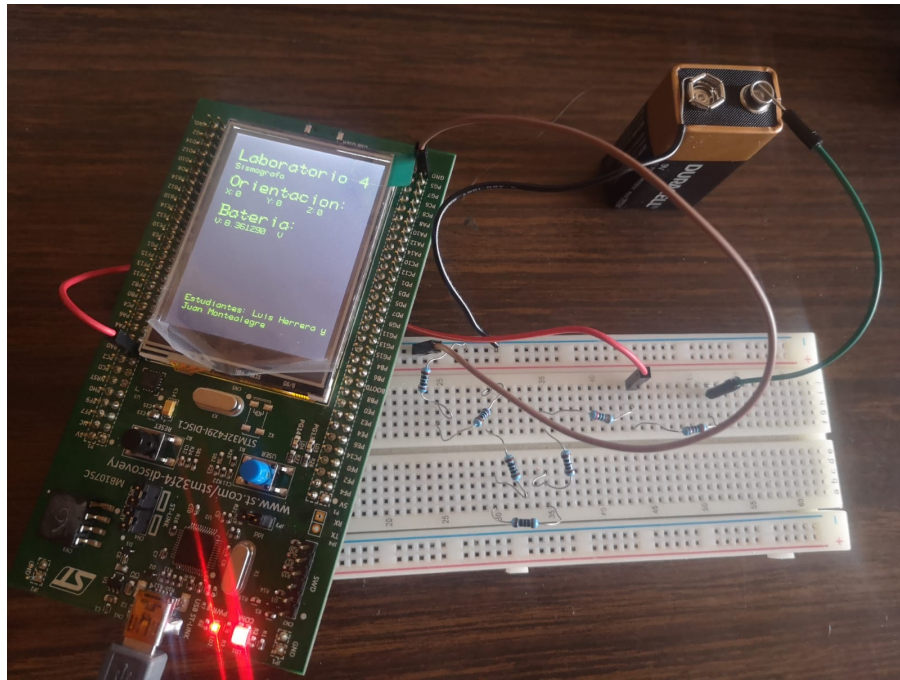


Figura 10: Placa estática con batería de 9 V conectada (2). Elaboración propia.

Se desconecta ahora la batería del circuito. AL hacerlo, se puede observar que la lectura de la tensión cambia a 0.28 V aproximadamente, que es cercano a 0 V. Además, es posible observar que se enciende una LED roja parpadeante, la cual indica que la tensión medida es menor a 7 V. Esto se muestra en la figura 11.

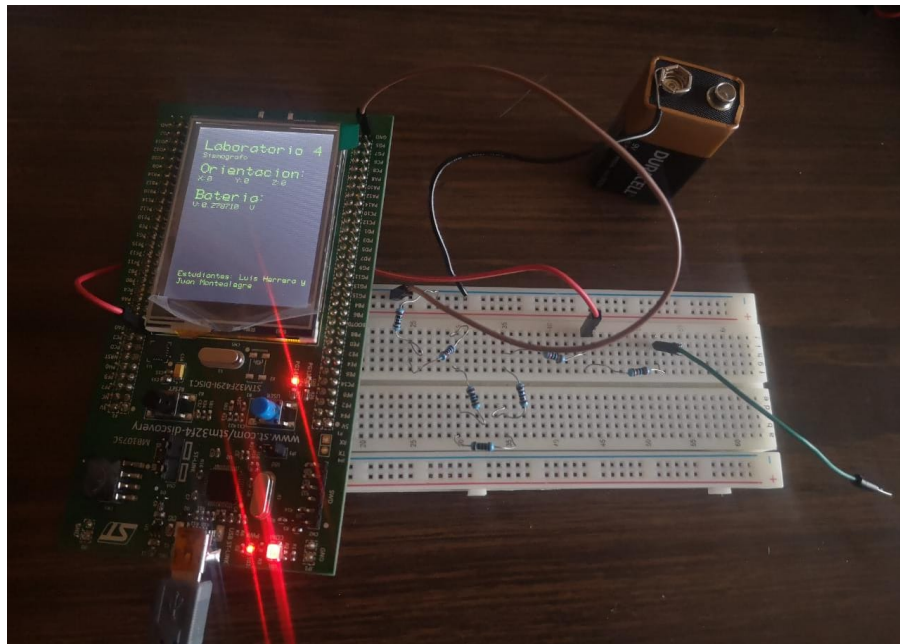


Figura 11: Placa estática con batería de 9 V desconectada. Elaboración propia.

En la figura 12, se muestran los datos que se muestran en la pantalla de la placa cuando esta se mueve y se encuentra conectada a una batería de 9 V.



Figura 12: Placa en movimiento con batería de 9 V conectada. Elaboración propia.

En la figura 13, se puede apreciar que la LED verde que indica que el envío de datos está habilitado está encendida. Esto sucede luego de presionar el botón azul.



Figura 13: Placa con envío de datos habilitado. Elaboración propia.

Una vez que se habilita el envío de datos y se corre el programa desarrollado en Python que recibe estos datos y los envía al dashboard de Thingsboard por medio de MQTT, se procede a visualizar los datos en los widgets implementados. Esto se observa en las figuras 14 y 15.

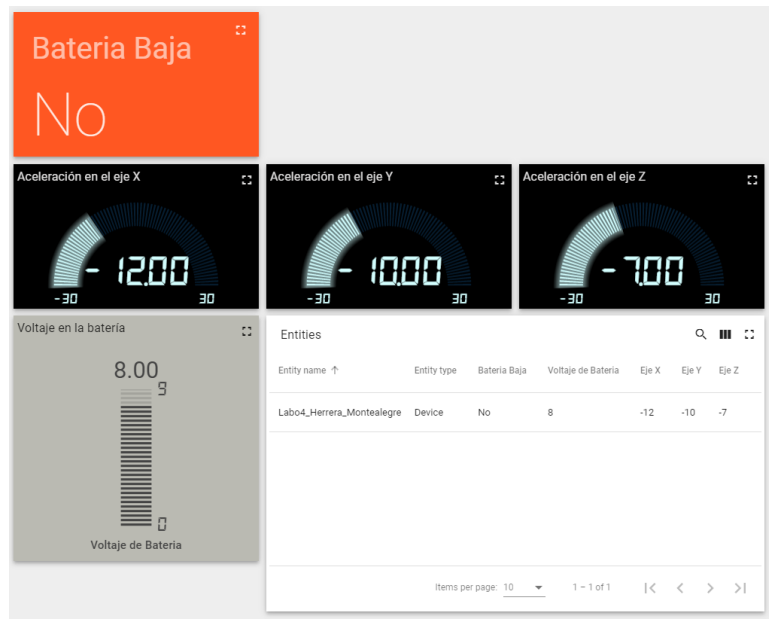


Figura 14: Resultados obtenidos en ThingsBoard de diseño implementado con lecturas de movimiento y batería alta.

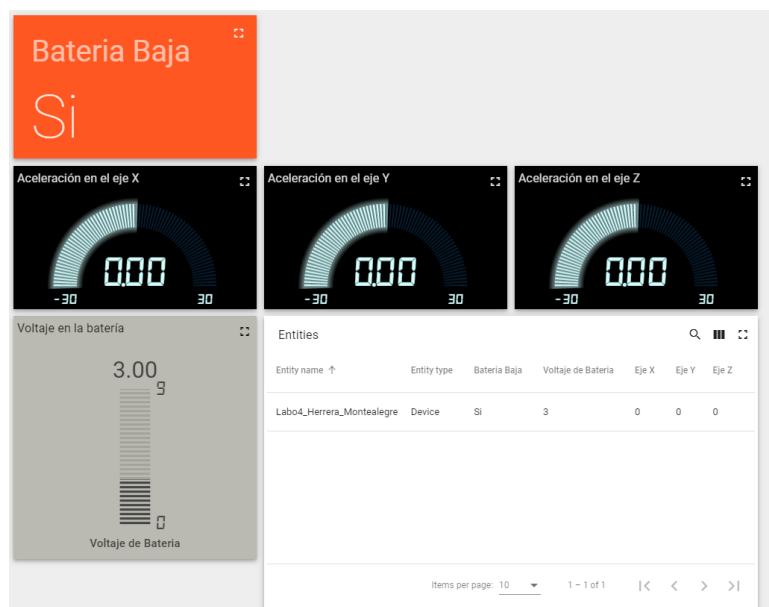


Figura 15: Resultados obtenidos en ThingsBoard de diseño implementado con lecturas de movimiento y batería baja.

4. Conclusiones y Recomendaciones

En la elaboración del proyecto se llegaron a conocer las características de la placa STM32F429 Discovery Kit así como su funcionamiento básico. Además, para facilitar el manejo de los dispositivos periféricos de la placa como el acelerómetro, pantalla LCD, LEDs, switches y puertos GPIO se tuvo que familiarizar con la librería *libopencm3* y aprender sobre sus diferentes funcionalidades y la labor que cada uno de ellas ejecutaba en el programa. Con ayuda de esta se logró completar con en su totalidad los requerimientos que se pedían para el laboratorio. También, se trabajó con la parte electrónica creando un circuito simple de división de tensión que fuera capaz de proporcionar 5 V constantes para poder ser leídos en uno de los puertos del MCU. Por otro lado, se implementó con éxito en el diseño la funcionalidad por medio de IoT utilizando la plataforma *Thingsboard* donde se recibieron los datos del nivel de batería y aceleración en los ejes x , y y z del acelerómetro desplegando estos cada uno de ellos en una interfaz gráfica en tiempo real.

Como forma de recomendación se sugiere el estudio a fondo y de manera correcta de la librería *libopencm3* ya que al haber poca documentación sobre la misma puede resultar un poco confuso el aprendizaje. Es importante en la implementación de cualquier librería consultar toda la documentación posible. En trabajos futuros se buscaría mejorar la lectura de los datos analógicos, en este caso de la batería, ya que la forma implementada, a pesar de proveer datos satisfactorios, no es la óptima porque las lecturas no se encuentran en el rango esperado, el cual es de 0 a 4095 por tener 12 bits en los convertidores analógicos a digital. Además, se buscaría mejorar el envío de datos por MQTT, ya que los datos que se envían no son los mismo que muestran las lecturas en tiempo real. Dejando todo esto a un lado, se lograron cumplir con los requerimientos de la práctica de laboratorio de forma exitosa.

5. Referencias

- [1] STMicroelectronics. 32b arm® cortex®-m4 mcu+fpv, 225dmips, up to 2mb flash/256+4kb ram, usb otg hs/fs, ethernet, 17 tims, 3 adcs, 20 com. interfaces, camera lcd-tft. Datasheet DocID024030 Rev 10, STM, jan 2018.
- [2] STMicroelectronics. Discovery kit for stm32f429/439 lines. Datasheet DocID025175 Rev 1, STM, sep 2013.

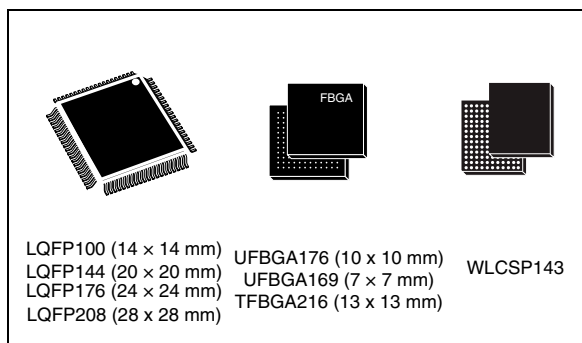
6. Anexos

32b Arm® Cortex®-M4 MCU+FPU, 225DMIPS, up to 2MB Flash/256+4KB RAM, USB OTG HS/FS, Ethernet, 17 TIMs, 3 ADCs, 20 com. interfaces, camera & LCD-TFT

Datasheet - production data

Features

- Core: Arm® 32-bit Cortex®-M4 CPU with FPU, Adaptive real-time accelerator (ART Accelerator™) allowing 0-wait state execution from Flash memory, frequency up to 180 MHz, MPU, 225 DMIPS/1.25 DMIPS/MHz (Dhrystone 2.1), and DSP instructions
- Memories
 - Up to 2 MB of Flash memory organized into two banks allowing read-while-write
 - Up to 256+4 KB of SRAM including 64-KB of CCM (core coupled memory) data RAM
 - Flexible external memory controller with up to 32-bit data bus: SRAM, PSRAM, SDRAM/LPSDR SDRAM, Compact Flash/NOR/NAND memories
- LCD parallel interface, 8080/6800 modes
- LCD-TFT controller with fully programmable resolution (total width up to 4096 pixels, total height up to 2048 lines and pixel clock up to 83 MHz)
- Chrom-ART Accelerator™ for enhanced graphic content creation (DMA2D)
- Clock, reset and supply management
 - 1.7 V to 3.6 V application supply and I/Os
 - POR, PDR, PVD and BOR
 - 4-to-26 MHz crystal oscillator
 - Internal 16 MHz factory-trimmed RC (1% accuracy)
 - 32 kHz oscillator for RTC with calibration
 - Internal 32 kHz RC with calibration
- Low power
 - Sleep, Stop and Standby modes
 - V_{BAT} supply for RTC, 20×32 bit backup registers + optional 4 KB backup SRAM
- 3×12-bit, 2.4 MSPS ADC: up to 24 channels and 7.2 MSPS in triple interleaved mode
- 2×12-bit D/A converters
- General-purpose DMA: 16-stream DMA controller with FIFOs and burst support
- Up to 17 timers: up to twelve 16-bit and two 32-bit timers up to 180 MHz, each with up to 4 IC/OC/PWM or pulse counter and quadrature (incremental) encoder input



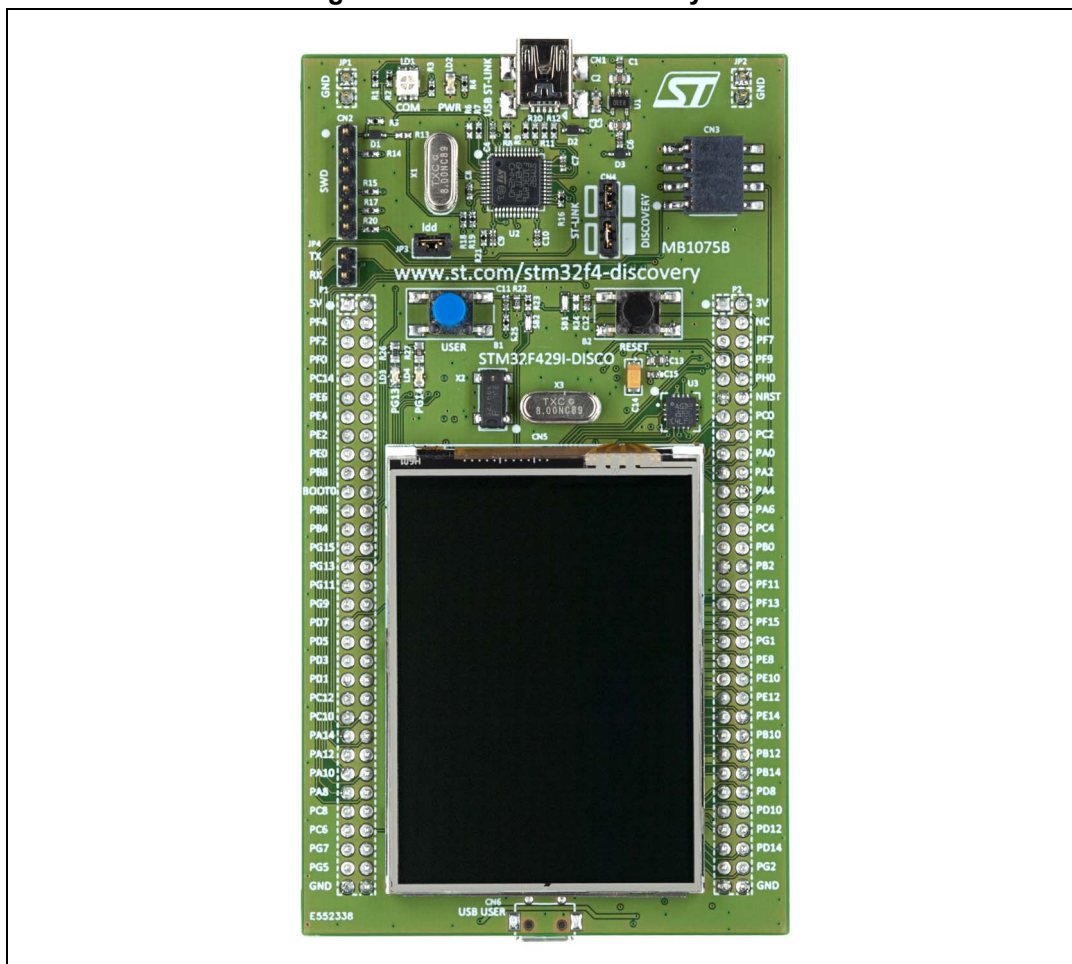
- Debug mode
 - SWD & JTAG interfaces
 - Cortex-M4 Trace Macrocell™
- Up to 168 I/O ports with interrupt capability
 - Up to 164 fast I/Os up to 90 MHz
 - Up to 166 5 V-tolerant I/Os
- Up to 21 communication interfaces
 - Up to 3 × I²C interfaces (SMBus/PMBus)
 - Up to 4 USARTs/4 UARTs (11.25 Mbit/s, ISO7816 interface, LIN, IrDA, modem control)
 - Up to 6 SPIs (45 Mbits/s), 2 with muxed full-duplex I²S for audio class accuracy via internal audio PLL or external clock
 - 1 × SAI (serial audio interface)
 - 2 × CAN (2.0B Active) and SDIO interface
- Advanced connectivity
 - USB 2.0 full-speed device/host/OTG controller with on-chip PHY
 - USB 2.0 high-speed/full-speed device/host/OTG controller with dedicated DMA, on-chip full-speed PHY and ULPI
 - 10/100 Ethernet MAC with dedicated DMA: supports IEEE 1588v2 hardware, MII/RMII
- 8- to 14-bit parallel camera interface up to 54 Mbytes/s
- True random number generator
- CRC calculation unit
- RTC: subsecond accuracy, hardware calendar
- 96-bit unique ID

Discovery kit for STM32F429/439 lines

Introduction

The STM32F429 Discovery kit (32F429IDISCOVERY) helps you to discover the high performance of the STM32F4 series and to develop your applications. It is based on an STM32F429ZIT6 and includes an ST-LINK/V2 embedded debug tool interface, 2.4" TFT LCD, SDRAM 64 Mbits, Gyroscope ST MEMS, LEDs, pushbuttons and a USB OTG micro-B connector.

Figure 1. STM32F429 Discovery board



3 Features

The STM32F429 Discovery board offers the following features:

- STM32F429ZIT6 microcontroller featuring 2 MB of Flash memory, 256 KB of RAM in an LQFP144 package
- On-board ST-LINK/V2 with selection mode switch to use the kit as a standalone ST-LINK/V2 (with SWD connector for programming and debugging)
- Board power supply: through the USB bus or from an external 3 V or 5 V supply voltage
- L3GD20, ST MEMS motion sensor, 3-axis digital output gyroscope
- TFT LCD (Thin-film-transistor liquid-crystal display) 2.4", 262K colors RGB, 240 x 320 dots
- SDRAM 64 Mbits (1 Mbit x 16-bit x 4-bank) including an AUTO REFRESH MODE, and a power-saving
- Six LEDs:
 - LD1 (red/green) for USB communication
 - LD2 (red) for 3.3 V power-on
 - Two user LEDs:
LD3 (green), LD4 (red)
 - Two USB OTG LEDs:
LD5 (green) VBUS and LD6 (red) OC (over-current)
- Two pushbuttons (user and reset)
- USB OTG with micro-AB connector
- Extension header for LQFP144 I/Os for a quick connection to the prototyping board and an easy probing

4 Hardware layout

The STM32F429 Discovery board has been designed around the STM32F429ZIT6 microcontroller in a 144-pin LQFP package.

Figure 1 illustrates the connections between the STM32F429ZIT6 and its peripherals (ST-LINK/V2, pushbutton, LED, USB OTG, Gyroscope ST MEMS, Accelerometer + Magnetometer ST MEMS, and connectors).

Figure 2 and *Figure 3* help you to locate these features on the STM32F429 Discovery board.

Figure 1. Hardware block diagram

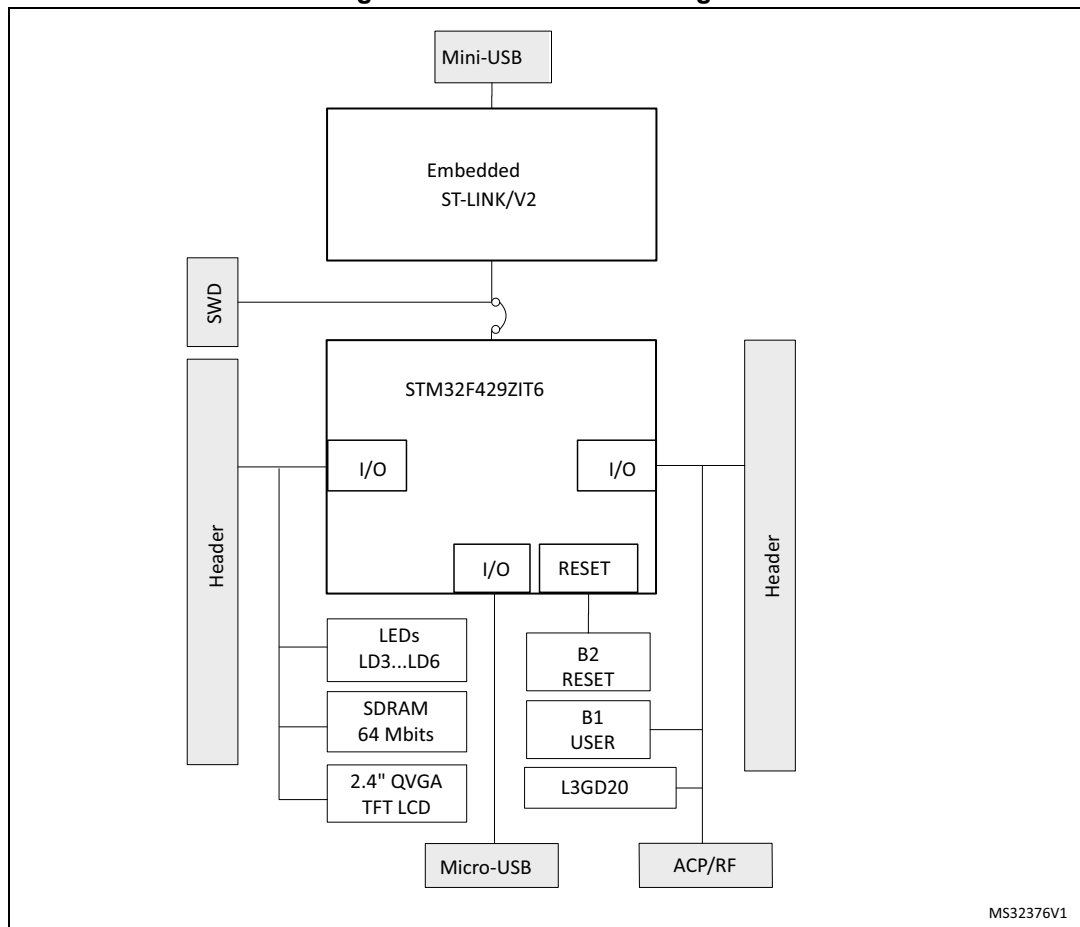
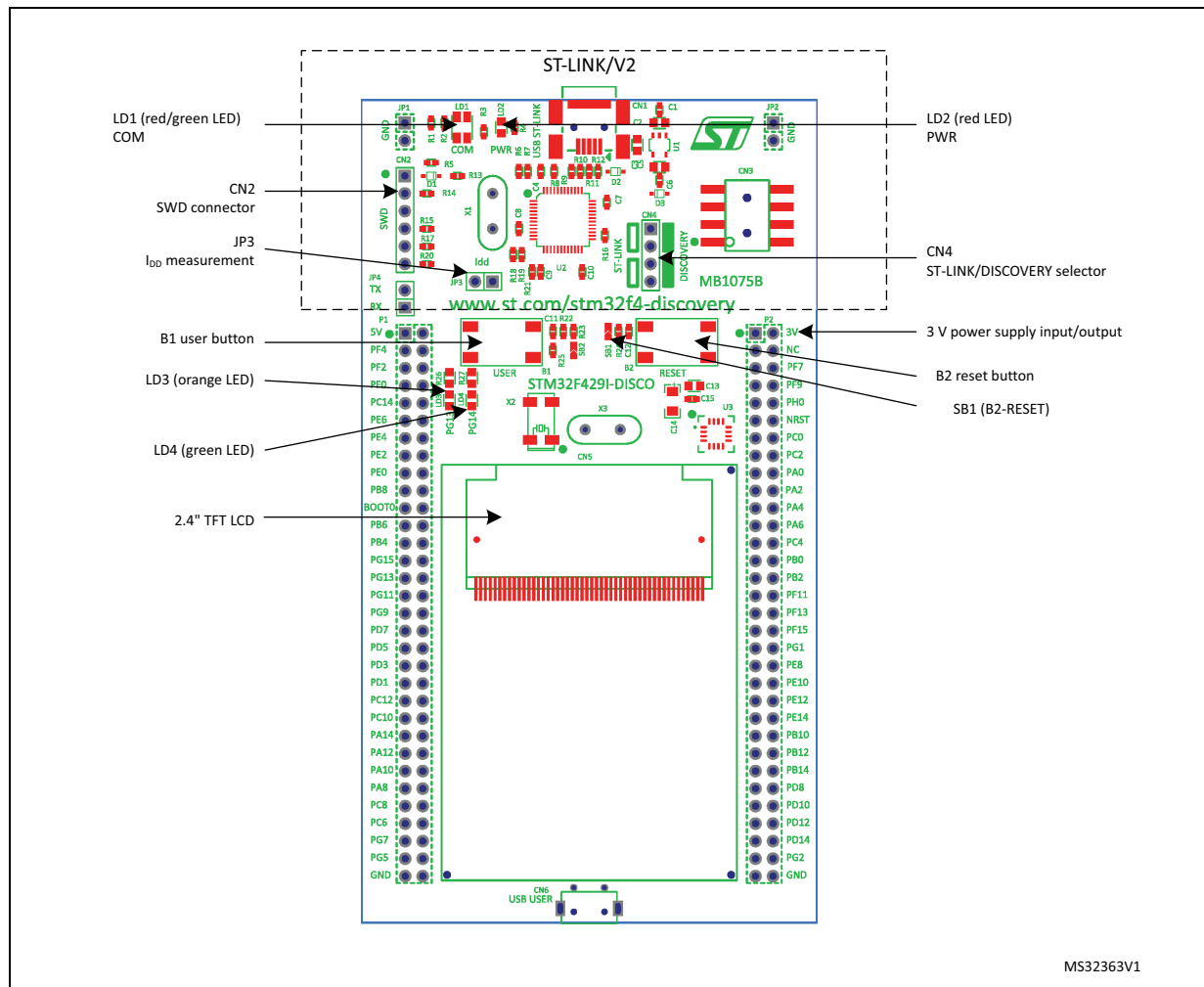
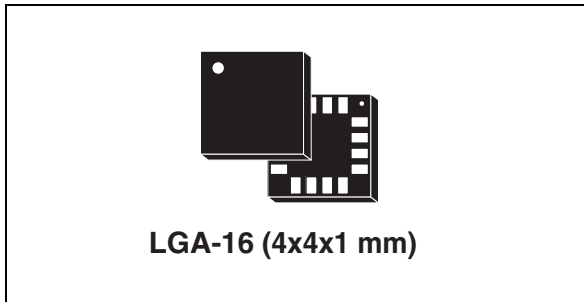


Figure 2. Top layout



MEMS motion sensor: three-axis digital output gyroscope

Datasheet - production data



Features

- Three selectable full scales (250/500/2000 dps)
- I²C/SPI digital output interface
- 16 bit-rate value data output
- 8-bit temperature data output
- Two digital output lines (interrupt and data ready)
- Integrated low- and high-pass filters with user-selectable bandwidth
- Wide supply voltage: 2.4 V to 3.6 V
- Low voltage-compatible IOs (1.8 V)
- Embedded power-down and sleep mode
- Embedded temperature sensor
- Embedded FIFO
- High shock survivability
- Extended operating temperature range (-40 °C to +85 °C)
- ECOPACK[®] RoHS and “Green” compliant

Applications

- Gaming and virtual reality input devices
- Motion control with MMI (man-machine interface)
- GPS navigation systems
- Appliances and robotics

Description

The L3GD20 is a low-power three-axis angular rate sensor.

It includes a sensing element and an IC interface capable of providing the measured angular rate to the external world through a digital interface (I²C/SPI).

The sensing element is manufactured using a dedicated micro-machining process developed by STMicroelectronics to produce inertial sensors and actuators on silicon wafers.

The IC interface is manufactured using a CMOS process that allows a high level of integration to design a dedicated circuit which is trimmed to better match the sensing element characteristics. The L3GD20 has a full scale of $\pm 250/\pm 500/\pm 2000$ dps and is capable of measuring rates with a user-selectable bandwidth.

The L3GD20 is available in a plastic land grid array (LGA) package and can operate within a temperature range of -40 °C to +85 °C.

Table 1. Device summary

Order code	Temperature range (°C)	Package	Packing
L3GD20	-40 to +85	LGA-16 (4x4x1 mm)	Tray
L3GD20TR	-40 to +85	LGA-16 (4x4x1 mm)	Tape and reel

1. Introduction

ILI9341 is a 262,144-color single-chip SOC driver for a-TFT liquid crystal display with resolution of 240RGBx320 dots, comprising a 720-channel source driver, a 320-channel gate driver, 172,800 bytes GRAM for graphic display data of 240RGBx320 dots, and power supply circuit.

ILI9341 supports parallel 8-/9-/16-/18-bit data bus MCU interface, 6-/16-/18-bit data bus RGB interface and 3-/4-line serial peripheral interface (SPI). The moving picture area can be specified in internal GRAM by window address function. The specified window area can be updated selectively, so that moving picture can be displayed simultaneously independent of still picture area.

ILI9341 can operate with 1.65V ~ 3.3V I/O interface voltage and an incorporated voltage follower circuit to generate voltage levels for driving an LCD. ILI9341 supports full color, 8-color display mode and sleep mode for precise power control by software and these features make the ILI9341 an ideal LCD driver for medium or small size portable products such as digital cellular phones, smart phone, MP3 and PMP where long battery life is a major concern.

2. Features

- ◆ Display resolution: [240xRGB](H) x 320(V)
- ◆ Output:
 - 720 source outputs
 - 320 gate outputs
 - Common electrode output (VCOM)
- ◆ a-TFT LCD driver with on-chip full display RAM: 172,800 bytes
- ◆ System Interface
 - 8-bits, 9-bits, 16-bits, 18-bits interface with 8080- I /8080- II series MCU
 - 6-bits, 16-bits, 18-bits RGB interface with graphic controller
 - 3-line / 4-line serial interface
- ◆ Display mode:
 - Full color mode (Idle mode OFF): 262K-color (selectable color depth mode by software)
 - Reduce color mode (Idle mode ON): 8-color
- ◆ Power saving mode:
 - Sleep mode
- ◆ On chip functions:
 - VCOM generator and adjustment
 - Timing generator
 - Oscillator
 - DC/DC converter
 - Line/frame inversion
 - 1 preset Gamma curve with separate RGB Gamma correction
- ◆ Content Adaptive Brightness Control
- ◆ MTP (3 times):
 - 8-bits for ID1, ID2, ID3
 - 7-bits for VCOM adjustment

- ◆ Low -power consumption architecture
 - Low operating power supplies:
 - $VDDI = 1.65V \sim 3.3V$ (logic)
 - $VCI = 2.5V \sim 3.3V$ (analog)
- ◆ LCD Voltage drive:
 - Source/VCOM power supply voltage
 - $DDVDH - GND = 4.5V \sim 5.8V$
 - $VCL - GND = -1.5V \sim -2.5V$
 - Gate driver output voltage
 - $VGH - GND = 10.0V \sim 18.0V$
 - $VGL - GND = -5.0V \sim -10.0V$
 - $VGH - VGL \leq 28V$
 - VCOM driver output voltage
 - $VCOMH = 3.0V \sim (DDVDH - 0.2)V$
 - $VCOML = (VCL+0.2)V \sim 0V$
 - $VCOMH - VCOML \leq 6.0V$
- ◆ Operate temperature range: $-40^{\circ}C$ to $85^{\circ}C$
- ◆ a-Si TFT LCD storage capacitor : Cst on Common structure only