

## IE-0624 Laboratorio de Microcontroladores

Jorge Adán Mora Soto, B95222    Jafet David Gutiérrez Guevara, B73558  
[jorgeadan.mora@ucr.ac.cr](mailto:jorgeadan.mora@ucr.ac.cr)    [jafet.gutierrez@ucr.ac.cr](mailto:jafet.gutierrez@ucr.ac.cr)

2 de noviembre de 2022

---

### Laboratorio 4 STM32: GPIO, ADC, comunicaciones, Iot

---

#### Resumen

En esta práctica de laboratorio se desarrolló un sistema que emula un sismógrafo digital para registrar y estudiar las oscilaciones en el edificio de la escuela de ingeniería eléctrica. El sismógrafo actual tiene alimentación por baterías (cargadas por paneles solares) y poco ancho de banda para el envío de datos. Por lo tanto el sismógrafo a desarrollar utiliza una placa STM32F429 Discovery kit y la biblioteca libopencm3, lee los ejes *x*, *y*, *z* del giroscopio incluido en el STM32F429 Discovery kit y despliega tales valores en una pantalla LCD; Además incluye un switch que habilita y deshabilita comunicaciones por USART-USB; a su vez, cuando la batería está baja cerca de su límite inferior, un led parpadea alertando el estado de la batería. Por último este sismógrafo se conecta a través de MQTT a una plataforma de IoT thingsboard en internet para desplegar sus lecturas de manera amigable para el usuario. El proyecto plantea un prototipo; únicamente se utilizan los componentes integrados en el STM32F429 Discovery kit físico. No se realiza simulaciones. El proyecto se concluyó con éxito.

Link del Proyecto:  <https://github.com/Jams1001/IE0624/tree/main/L4>

ID del último commit de interés: [e96a6fcf3fcc333e339f4346ee823d04a5a9c9e](#)

#### Instrucciones de simulación:

El directorio **spi-gyro** que se entrega bajo el path `L4/src/spi-gyro/` debe copiarse al directorio de ejemplos de la librería `libopencm3`. Es indicación de este laboratorio trabajar con esta librería disponible en [libopencm3 / libopencm3-examples](#). Una vez instalada esa librería y copiada la carpeta **spi-gyro** dentro del directorio de ejemplos de la misma, se debe realizar el «*flasheo*». Por ejemplo, **spi-gyro** se debe copiar al siguiente path:

```
/home/jams/local/src/libopencm3-examples/examples/stm32/f4/stm32f429i-discovery/
```

Una vez dentro del nuevo directorio:

```
/home/jams/local/src/libopencm3-examples/examples/stm32/f4/stm32f429i-discovery/spi-gyro/
```

Ejecutar la sintaxis en este orden:

```
make
```

```
make flash
```

Una vez «flasheado» el firmware, ya se puede ejecutar el `gyro_publisher.py` adjunto en el entregable.

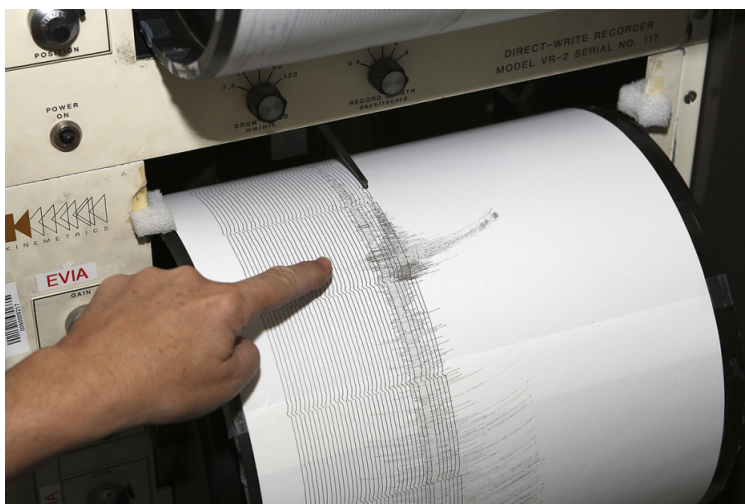


Figura 1: Incubadora automática.

## 1. Nota Teórica

### 1.1. Información general del MCU

STM32 es una familia de circuitos integrado de microcontroladores desarrollada por STMicroelectronics. Los chips STM32 están agrupados en series relacionadas que están basadas todas en el mismo núcleo de procesador ARM de 32-Bits.

A continuación un resumen de los procesadores y las series mencionadas:

STM32 series	ARM CPU Core
L5, U5	Cortex-M33F
F7, H7	Cortex M7F
F7, F4, G4, L4, L4+, WB	Cortex M4F
WL	Cortex-M4
F1, F2, L1	Cortex-M3
G0, L0	Cortex-M0+
F0	Cortex-M0

Tabla 1: STM32 series [1]

En este laboratorio se utilizará la serie F4; es la primera basada en el Cortex M4F. Además es el primer MCU de toda la familia STM32 en tener DSP e instrucciones de punto flotante.

- Procesador Core: ARM 32 bits Cortex-M4 con FPU (RISC) [2].
- Operación:  $180\text{MHz}$  [2].
- Memoria:  $2\text{MB}$  flash,  $256\text{KB}$  SRAM [2].
- Controlador LCD-TFT para la pantalla LCD [2].

- Posibilidad de operar a baja potencia (1.8 a 3.6 voltios) [2].
- Posee convertidores Analógico-Digital 3x12bit [2].
- Posee 2x12bit convertidores Digital-Analógico [2].
- Posee 17 Timers: 12 timers de 16 bits, 2 de 32bits de hasta 180MHz, cada timer con 4IC/O-C/PWM [2].
- Funciones para depuración: SWD y JTAG [2].
- 168 I/O para realizar interrupciones [2].
- Posee 21 interfaces de comunicaciones (entre estas I2C, USART, SPI, SAN, CAN) [2]..
- Posee conectividad avanzada USB 2.0 [2].
- Posee interfaz de cámara [2].
- Unidad para generar números aleatorios True NRG (Random Number Generator) [2].
- Posee una unidad para poder hacer CRC [2].
- Posee controladores DMA [2].

Posee las siguientes características eléctricas:

Symbol	Ratings	Min	Max	Unit
$V_{DD}-V_{SS}$	External main supply voltage (including $V_{DDA}$ , $V_{DD}$ and $V_{BAT}$ ) <sup>(1)</sup>	- 0.3	4.0	V
$V_{IN}$	Input voltage on FT pins <sup>(2)</sup>	$V_{SS} - 0.3$	$V_{DD}+4.0$	
	Input voltage on TTa pins	$V_{SS} - 0.3$	4.0	
	Input voltage on any other pin	$V_{SS} - 0.3$	4.0	
	Input voltage on BOOT0 pin	$V_{SS}$	9.0	
$ \Delta V_{DDx} $	Variations between different $V_{DD}$ power pins	-	50	mV
$ V_{SSx}-V_{SS} $	Variations between all the different ground pins including $V_{REF-}$ .	-	50	
$V_{ESD(HBM)}$	Electrostatic discharge voltage (human body model)	see <a href="#">Section 6.3.15: Absolute maximum ratings (electrical sensitivity)</a>		

Figura 2: Características de voltaje [3].

Symbol	Ratings	Max.	Unit
$\Sigma I_{VDD}$	Total current into sum of all $V_{DD\_x}$ power lines (source) <sup>(1)</sup>	270	mA
$\Sigma I_{VSS}$	Total current out of sum of all $V_{SS\_x}$ ground lines (sink) <sup>(1)</sup>	− 270	
$I_{VDD}$	Maximum current into each $V_{DD\_x}$ power line (source) <sup>(1)</sup>	100	
$I_{VSS}$	Maximum current out of each $V_{SS\_x}$ ground line (sink) <sup>(1)</sup>	− 100	
$I_{IO}$	Output current sunk by any I/O and control pin	25	
	Output current sourced by any I/Os and control pin	− 25	
$\Sigma I_{IO}$	Total output current sunk by sum of all I/O and control pins <sup>(2)</sup>	120	
	Total output current sourced by sum of all I/Os and control pins <sup>(2)</sup>	− 120	
$I_{INJ(PIN)}^{(3)}$	Injected current on FT pins <sup>(4)</sup>	− 5/+0	
	Injected current on NRST and BOOT0 pins <sup>(4)</sup>		
	Injected current on TTa pins <sup>(5)</sup>	±5	
$\Sigma I_{INJ(PIN)}^{(5)}$	Total injected current (sum of all I/O and control pins) <sup>(6)</sup>	±25	

Figura 3: Características de corriente [3].

En la figura 4 se muestra el diagrama de pines y en la figura 5 la arquitectura del *STM32 F4*. En este caso el STM32F429 incluye Cortex M4F - LQFP144

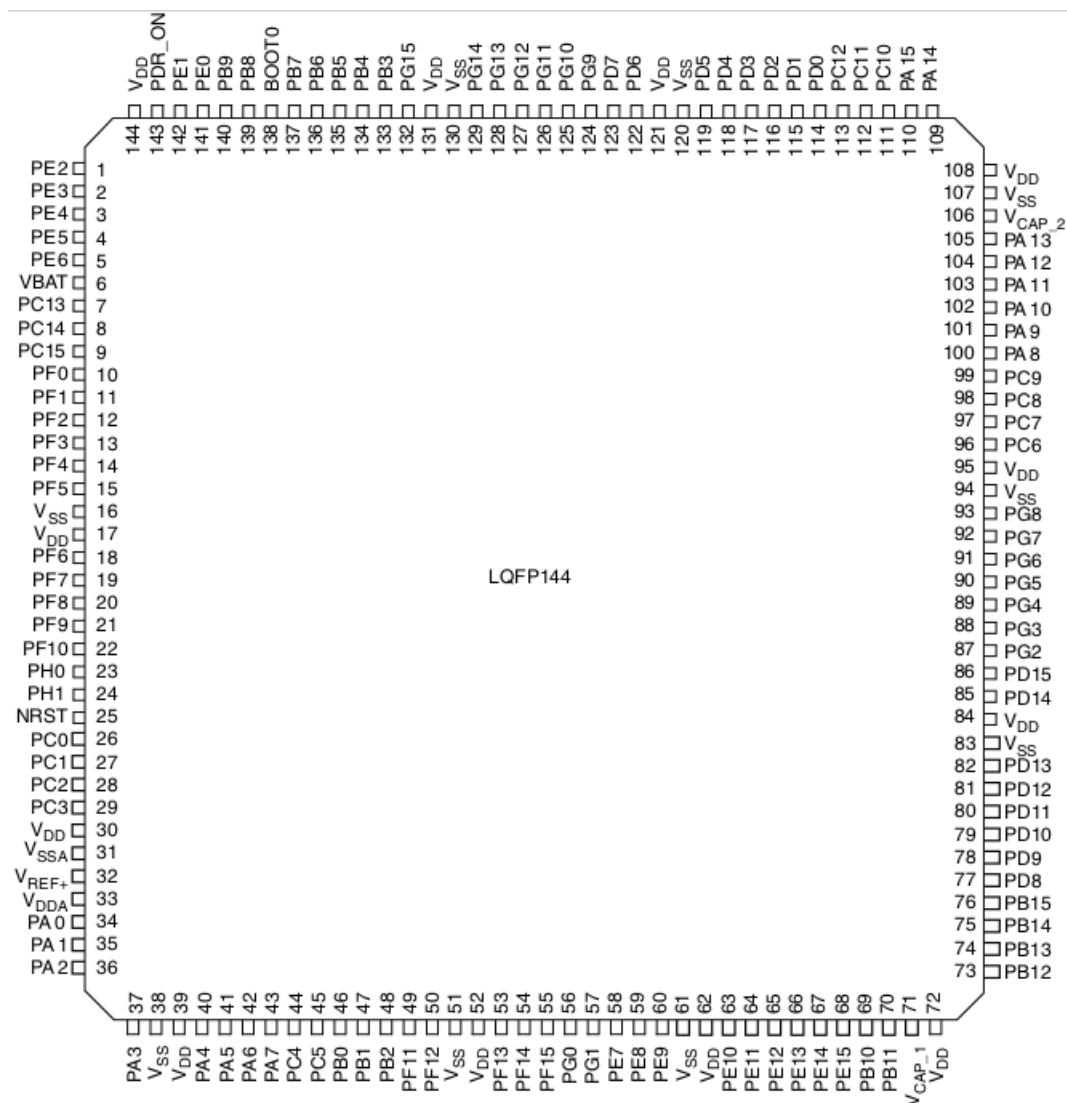


Figura 4: Diagrama de pines [3].

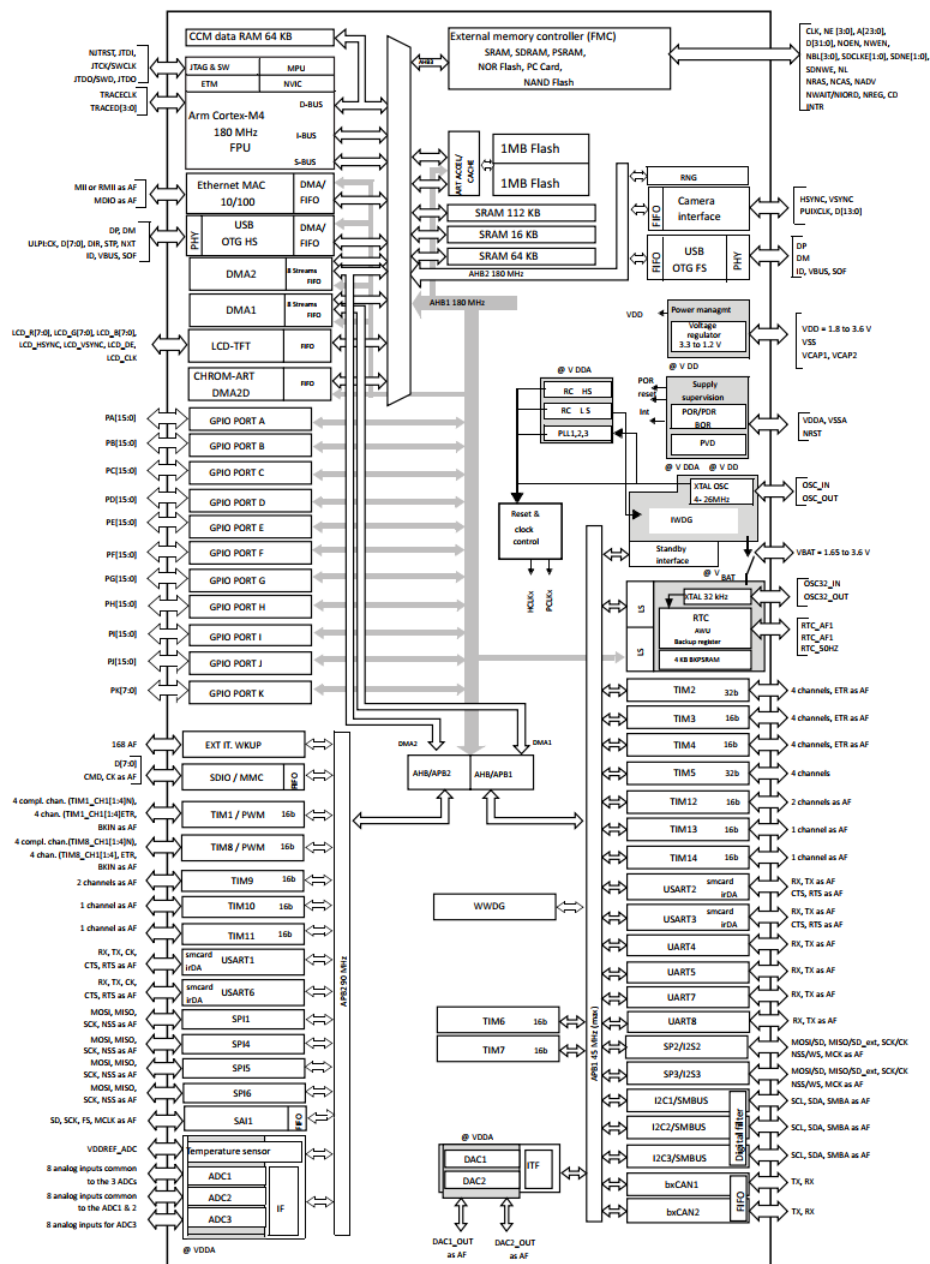


Figura 5: Diagrama de bloques [3].

## 1.2. Sobre el STM32F429 Discovery kit

Es una placa de desarrollo que incluye el microcontrolador en cuestión entre otras herramientas complementarias. Cuenta con 6 leds, un giroscopio, dos botones; uno de *reset* y uno de *user*, un puerto USB micro-AB, una pantalla LCD, entre otras características muy útiles e interesantes [4].

### 1.2.1. Giroscopio

El sensor de movimiento se trata del L3GD20 ST MEMS. Con 3 ejes de precisión. El L3GD20 es un sensor de velocidad angular de tres ejes ultra-compacto y de bajo consumo. posee elemento de detección y una interfaz IC con la capacidad de brindar una tasa angular a través de la interfaz serial

I2C/SPI. Posee escalas completas dinámicamente elegibles por el usuario de  $\pm 250dps/500dps/2000dps$  [4].

### 1.2.2. Pantalla LCD

Se trata de una pantalla LCD TFT (Thin-film-transistor liquid-crystal display) 2.4", 262K colores RGB, 240 x 320 puntos de resolución. Es impulsada directamente por el mcu usando el protocolo RGB. Usa el controlador ILI9341 LCD y opera con un voltaje de  $2.8 \pm 0.3V$ . El MCU mcu controla esta pantalla a través de la interfaz `spi`.

## 1.3. Registros de interés

Tanto el microcontrolador, como el giroscopio, como el módulo de la pantalla, tienen registros independientes. Del microcontrolador se ingresaron específicamente los periféricos. Entre los utilizados más importantes, los cuales se utilizaron para habilitar lecturas de otros registros, leer variables del giroscopio, ajustar variables físicas, entre otros:

- CTRL\_REG1
- CTRL\_REG4
- GYR\_OUT\_X\_L
- GYR\_OUT\_X\_H
- GYR\_OUT\_Y\_L
- GYR\_OUT\_Y\_H
- GYR\_OUT\_Z\_L
- GYR\_OUT\_Z\_H

Registros de interés del giroscopio:

Bus	Boundary address	Peripheral
	0x4008 0000- 0x4FFF FFFF	Reserved
AHB1	0x4004 0000 - 0x4007 FFFF	USB OTG HS
	0x4002 BC00- 0x4003 FFFF	Reserved
	0x4002 B000 - 0x4002 BBFF	DMA2D
	0x4002 9400 - 0x4002 AFFF	Reserved
	0x4002 9000 - 0x4002 93FF	ETHERNET MAC
	0x4002 8C00 - 0x4002 8FFF	
	0x4002 8800 - 0x4002 8BFF	
	0x4002 8400 - 0x4002 87FF	
	0x4002 8000 - 0x4002 83FF	
	0x4002 6800 - 0x4002 7FFF	Reserved
	0x4002 6400 - 0x4002 67FF	DMA2
	0x4002 6000 - 0x4002 63FF	DMA1
	0x4002 5000 - 0x4002 5FFF	Reserved
	0x4002 4000 - 0x4002 4FFF	BKPSRAM
	0x4002 3C00 - 0x4002 3FFF	Flash interface register
	0x4002 3800 - 0x4002 3BFF	RCC
	0x4002 3400 - 0x4002 37FF	Reserved
	0x4002 3000 - 0x4002 33FF	CRC
	0x4002 2C00 - 0x4002 2FFF	Reserved
	0x4002 2800 - 0x4002 2BFF	GPIOK
	0x4002 2400 - 0x4002 27FF	GPIOJ
	0x4002 2000 - 0x4002 23FF	GPIOI
	0x4002 1C00 - 0x4002 1FFF	GPIOH
	0x4002 1800 - 0x4002 1BFF	GPIOG
	0x4002 1400 - 0x4002 17FF	GPIOF
	0x4002 1000 - 0x4002 13FF	GPIOE
	0x4002 0C00 - 0x4002 0FFF	GPIOD
	0x4002 0800 - 0x4002 0BFF	GPIOC
	0x4002 0400 - 0x4002 07FF	GPIOB
	0x4002 0000 - 0x4002 03FF	GPIOA

Figura 6: Mapeo de registros el giroscopio utilizado [3].

Por parte del microcontrolador:



Bus	Boundary address	Peripheral
	0x4008 0000- 0x4FFF FFFF	Reserved
AHB1	0x4004 0000 - 0x4007 FFFF	USB OTG HS
	0x4002 BC00- 0x4003 FFFF	Reserved
	0x4002 B000 - 0x4002 BBFF	DMA2D
	0x4002 9400 - 0x4002 AFFF	Reserved
	0x4002 9000 - 0x4002 93FF	ETHERNET MAC
	0x4002 8C00 - 0x4002 8FFF	
	0x4002 8800 - 0x4002 8BFF	
	0x4002 8400 - 0x4002 87FF	
	0x4002 8000 - 0x4002 83FF	
	0x4002 6800 - 0x4002 7FFF	Reserved
	0x4002 6400 - 0x4002 67FF	DMA2
	0x4002 6000 - 0x4002 63FF	DMA1
	0x4002 5000 - 0x4002 5FFF	Reserved
	0x4002 4000 - 0x4002 4FFF	BKPSRAM
	0x4002 3C00 - 0x4002 3FFF	Flash interface register
	0x4002 3800 - 0x4002 3BFF	RCC
	0x4002 3400 - 0x4002 37FF	Reserved
	0x4002 3000 - 0x4002 33FF	CRC
	0x4002 2C00 - 0x4002 2FFF	Reserved
	0x4002 2800 - 0x4002 2BFF	GPIOK
	0x4002 2400 - 0x4002 27FF	GPIOJ
	0x4002 2000 - 0x4002 23FF	GPIOI
	0x4002 1C00 - 0x4002 1FFF	GPIOH
	0x4002 1800 - 0x4002 1BFF	GPIOG
	0x4002 1400 - 0x4002 17FF	GPIOF
	0x4002 1000 - 0x4002 13FF	GPIOE
	0x4002 0C00 - 0x4002 0FFF	GPIOD
	0x4002 0800 - 0x4002 0BFF	GPIOC
	0x4002 0400 - 0x4002 07FF	GPIOB
	0x4002 0000 - 0x4002 03FF	GPIOA

Figura 7: Mapeo de registros del giroscopio utilizado [4]

## 1.4. Diseño

Nuevamente se aprovechan las capacidades del STM32F429 Discovery Kit y su gran integración para no tener que adaptar electrónica al proyecto. La pantalla LCD, el led, y el switch, ya están integrados en la tarjeta de desarrollo, por esto no es necesario diseñar estos componentes eléctricamente para **un prototipo**. Estos componentes ya están ajustados y funcionando en sus puntos de operación en coordinación el MCU, y realizar un diseño adicional sería para un modelo funcional y no un prototipo. Lo único que se debe adaptar es medir un valor de tensión analógico del que en teoría se debería alimentar la comunicación USB.

De modo que se debe diseñar con una batería de 9V. Como el voltaje de máximo del I/O utilizado es de 5V se diseña un divisor de tensión de modo que la tensión que se leerá en el pin cuando la batería tenga 9V será:

$$V_{out} = \frac{5 \cdot 100\Omega}{4 \cdot 100\Omega + 5 \cdot 100\Omega} \times 9V = 5V$$

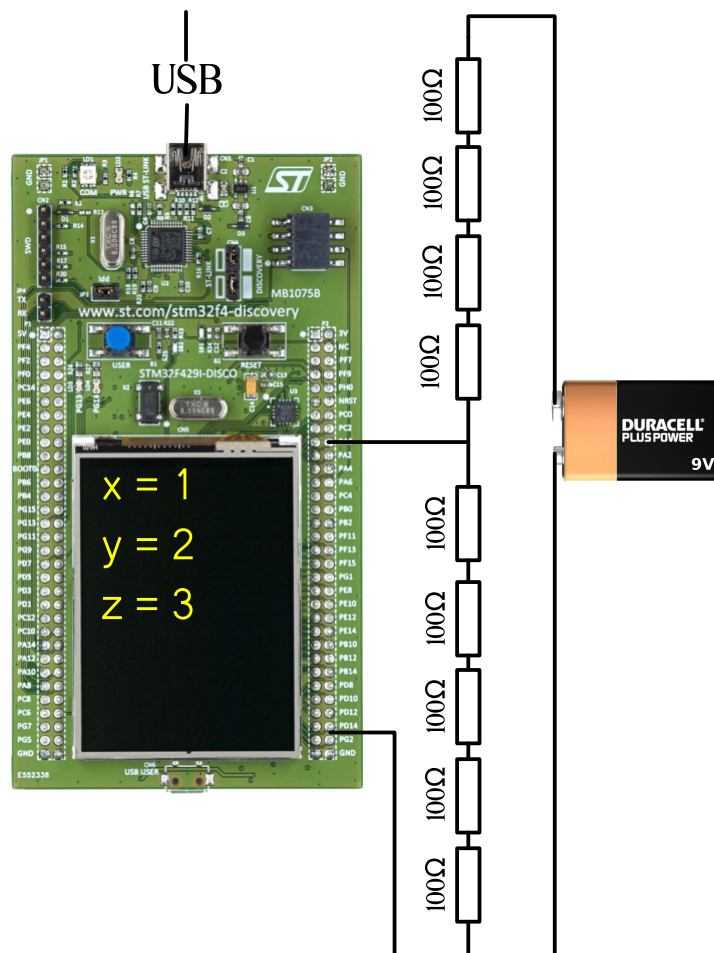


Figura 8: Esquemático final (Autoría propia).

## 1.5. Componentes complementarios

El proyecto se trata de un prototipo por lo que en su mayoría se utilizaron los componentes integrados en el STM32F429 Discovery kit. Es decir, el switch, la pantalla, y el led del proyecto son solamente ejemplos de cómo podría funcionar el sismógrafo completamente. Adicional a esto se conectó una batería externa para simular el comportamiento que tendría en el circuito y por lo mismo fue necesario utilizar resistores.

Componente	Cantidad	Precio (USD)
Resistores 100Ω	10	1.6
Batería 9V	1	2
STM32F429 Discovery kit	1	98.6
<b>Total</b>		<b>102.2</b>

Tabla 2: Lista de cantidad y precios de los componentes (Autoría propia).

## 1.6. Conceptos

### 1.6.1. IoT

Por sus siglas del inglés «*Internet of Things*», el Internet de las cosas, si de alguna forma se puede englobar en una definición, consiste en la interconexión de objetos por medio de una red, generalmente inalámbrica, donde exista una interacción entre los mismos sin la necesaria intervención del factor humano.

Podría tratarse de sensores, calzado, vestuario, o hasta un lápiz! Esta idea involucra comunicación entre dos máquinas o M2M (machine to machine) y por ende, machine learning. Al utilizar un microcontrolador que se conecte a internet y que cuando exista un estímulo de movimiento, como por ejemplo un sismo, envíe sus aceleraciones reales en forma de datos a internet para ser visualizadas por otro dispositivo en cualquier otra parte del mundo, se hace uso de IoT.

## 2. Desarrollo / Análisis de Resultados

### 2.1. Análisis de SW

#### 2.1.1. Firmware

Para el desarrollo del firmware de este laboratorio, primeramente fue necesario configurar los pines del protocolo SPI que conectan microcontrolador STM32F429 con el giroscopio L3GD20 que trae integrado el Discovery kit. Para realizar esta configuración se tomaron como referencia las conexiones descritas en la figura 9.

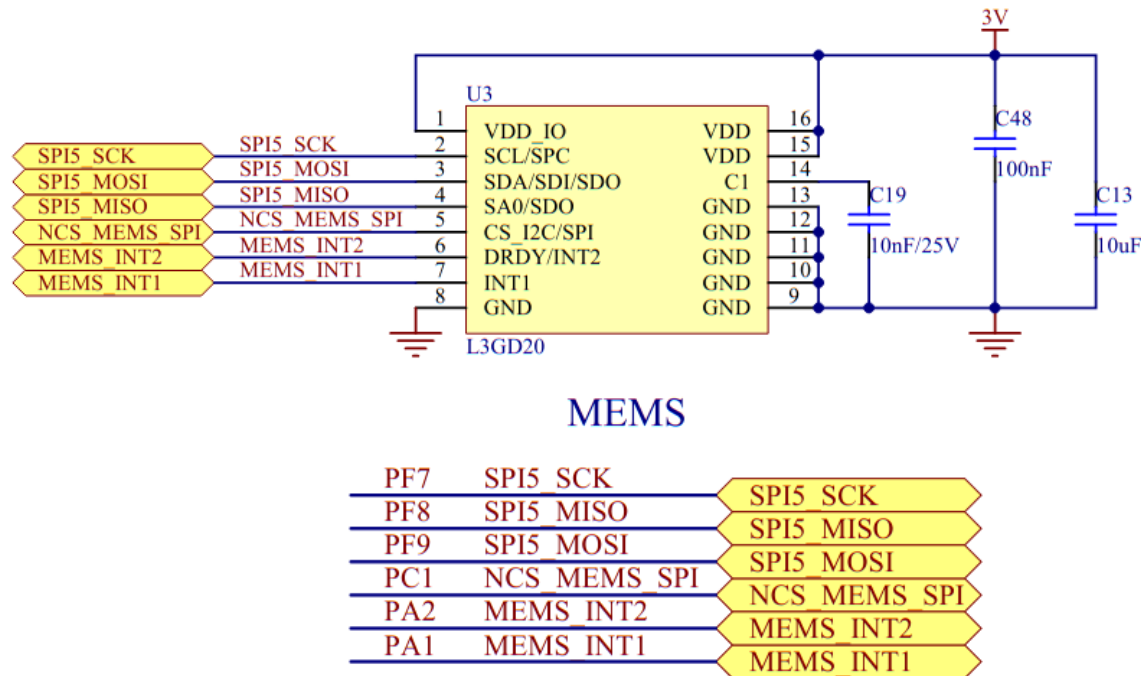


Figura 9: Conexión de pines entre el STM32F429 y el L3GD20

En la figura anterior, se puede observar que los pines de SPI del giroscopio corresponden al SPI5 del microcontrolador. Añadido a esto, se muestra que la entrada CS del giroscopio está conectado al pin PC1, la entrada SCL está unida al pin PF7, y las señales de MOSI y MISO están conectadas a los pines PF8 y PF9, respectivamente. Dicho esto, para configurar la comunicación por SPI entre el microcontrolador y el giroscopio, se tuvieron que habilitar los pines de los puertos PC y PF, además del SPI5. Para ello se utilizó la función `rcc_periph_clock_enable()`. Por otro lado, el pin PC1 (CS) debe ser controlado por el microcontrolador, que en ese caso es el master, así que se habilito dicho pin como una salida utilizando la siguiente instrucción:

```
{gpio_mode_setup(GPIOC, GPIO_MODE_OUTPUT, GPIO_PUPD_NONE, GPIO1);
```

Por el contrario, los pines PF7 (SCK), PF8 (MISO) y PF9 (MOSI) son utilizados tanto por el giroscopio como el microcontrolador. Así que se habilitan en modo `alternate function` (AF) de la siguiente forma:

```
gpio_mode_setup(GPIOF, GPIO_MODE_AF, GPIO_PUPD_NONE, GPIO7 | GPIO8 | GPIO9);
```

Una vez hecho esto, solo se necesita escribir a los registros `CTRL_REG1` y `CTRL_REG4` para habilitar la lectura de los registros que capturan las variaciones de cada eje del giroscopio. Para configurar dichos registros se utilizó la función `gpio_clear()` para poner en estado bajo el pin PC1 (CS) y se especificó la dirección del registro a escribir con la función `spi_send()`. La respuesta se lee con `spi_read()`, para después escribir los datos deseados de estos registros con otro `spi_send()`, seguido de un `spi_read()` para leer la respuesta. Este proceso termina al poner el pin PC1 (CS) en alto con `gpio_set()`.

Para leer los registros del giroscopio, primeramente se pone en bajo el pin PC1 (CS) a través de `gpio_clear()`. Luego se manda la dirección del registro que se quiere leer con `spi_send()` y se recibe la respuesta con `spi_read()`. Después, se manda un 0 con `spi_send()` y se vuelve a recibir la respuesta con `spi_read()`. Dicha respuesta corresponde al valor de 8 bits del registro leído. Finalmente, el pin PC1 (CS) se vuelve a poner en estado alto con la función `gpio_set()`. A modo de ejemplo, a continuación se presenta la parte de código que realiza la lectura del registro bajo del giroscopio para el eje x (`GYR_OUT_X_L`):

```
gpio_clear(GPIOC, GPIO1);
spi_send(SPI5, GYR_OUT_X_L | GYR_RNW);
spi_read(SPI5);
spi_send(SPI5, 0);
gyr_x=spi_read(SPI5);
gpio_set(GPIOC, GPIO1);
```

Posteriormente, se multiplica el valor crudo de los ejes del giroscopio por la sensibilidad para un valor de 500 *dps*. Y por último, los valores leídos de cada 0eje se mandan por el puerto USB, mediante la USART1 del microcontrolador, a través de la función `print_decimal()`.

Para habilitar e inhabilitar el envío de los datos, se modificó la función `print_decimal()` de tal manera que el botón de USER (PA0) dispara una permutación en el estado de la comunicación. Es decir, si la comunicación se encuentra habilitada y se presiona dicho botón por al menos un segundos, entonces el envío de datos se verá interrumpido. En el caso contrario, si el envío de datos estuviera inhabilitado y se presionase el botón, la comunicación se restablecería.

Finalmente, para medir la tensión proporcionada por la batería se creo un método llamado `adc_update()`, el cual emplea la función `read_adc_naive()` para hacer una lectura del pin PA1:

```
void adc_update(void){
    battery = read_adc_naive(1)*9/4095;
}
```

Como se puede observar en la porción de código anterior, la lectura devuelta por `read_adc_naive` se multiplica por 9 y se divide entre 4095 para obtener el valor de tensión asociado. La función `adc_update` se llama en cada ciclo de ejecución para dar un valor actualizado de la batería. Además, si dicho valor es igual o menor a 7 se enciende el LED PG14 y se l

### 2.1.2. gyro\_publisher.py

Este es el script encargado de recibir la comunicación serial por el MCU, decodificarla y post-procesarla para poder visualizarla en la terminal del ordenador. Adicionalmente este script toma ese array de datos que está en constante actualización cuando estén habilitadas las comunicaciones por

USART/USB y lo envía a la plataforma de IoT en internet: ThingsBoard.

Consiste de 2 secciones principales. Una de conexión serial con el microcontrolador a través de comunicación USB y otro para establecer la conexión con ThingsBoard. Existen dos funciones para establecer si existe o no conexión, y otra para comunicar si se ha realizado la desconexión con éxito o no. La conexión con la plataforma de IoT se hace utilizando el protocolo de comunicación mqtt; protocolo standard de IoT. Los datos se deben enviar a la plataforma en formato json. En las siguientes figuras se muestra el funcionamiento del software en la plataforma ThingsBoard.

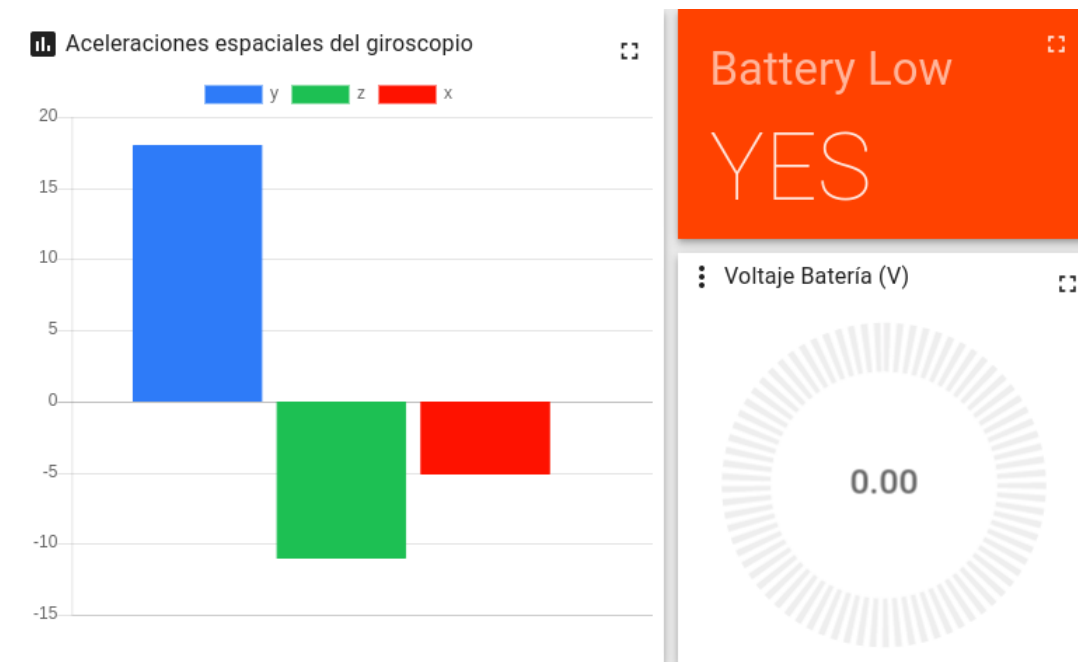


Figura 10: Dashboard ejemplo 1.



Figura 11: Dashboard ejemplo 2.

## 2.2. Análisis de HW

A continuación se analiza el esquemático y sus componentes medidores para verificar su funcionamiento.

Nuevamente, el funcionamiento del led, el switch y de la pantalla LCD dependen del diseño de firmware, por lo que este funcionamiento no es tomando en cuenta en el análisis de hardware. Por otro lado la parte eléctrica funcionada debe funcionar de la siguiente manera. Cuando la batería esté a 7V, al pin entrarán 3.11V, lo cual implica una baja tensión cerca del límite mínimo de operación del MCU. En este momento el prototipo se encontrará en estado de batería baja, el led parpadeará y se enviará la notificación de batería baja a la plataforma de ThingsBoard.

Los datos del giroscopio, el led que se enciende para activar o desactivar la comunicación USART, el led de alarma para batería baja, el botón que funciona como switch, y la pantalla LCD funcionaron correctamente y no se muestran deficiencias aparentes el laboratorio. **A continuación se presenta un link para acceder y ver un video de su correcto funcionamiento:**

<https://drive.google.com/drive/folders/1glouqMz8EUR65V3vfdJNV06Wn67qTOWy?usp=sharing>

## 3. Conclusiones y Recomendaciones

- Con este laboratorio los practicantes demostraron que el stm32 utilizado es un microcontrolador que ofrece altas prestaciones para aplicaciones exigentes. Resulta ser entonces una herramienta que podría ser extremadamente útil para aplicaciones reales de sistemas embebidos. Tiene la capacidad suficiente para aplicaciones “reales” y no solo académicas.
- Su consumo de energía para funcionar es sumamente bajo. Para aplicaciones donde el consumo de energía es importante, este procesador es muy útil. Esto concluyeron los practicantes gracias a la aplicación que se le dio a la batería de alimentación.
- El laboratorio se concluyó con éxito. Cuando se trata de aplicaciones de IoT este microprocesador resulta una excelente opción. Se comprobó su funcionalidad al utilizar la plataforma ThingsBoard y el mcu utilizado demostró su funcionalidad con independencia del factor humano a estímulos externos como sismos.

## Bibliografía

- [1] S. life.argumented. “STM32 32-bit Arm Cortex MCUs”. Visitado en Octubre 30. (2019), dirección: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus.html#overview>.
- [2] M. M. V. Fallas, *STM32F429 / LibOpenCM3*, IE-0624 Laboratorio de Microcontroladores, ago. de 2022.
- [3] STMicroelectronics, “STM32F427xx STM32F429xx”, STMicroelectronics, USA, Datasheet DocID024030 rev10, ene. de 2018.
- [4] STMicroelectronics, “Discovery kit for STM32F429/439 lines”, STMicroelectronics, USA, Datasheet DocID024030 rev1, ene. de 2018.

## 4. Apéndices

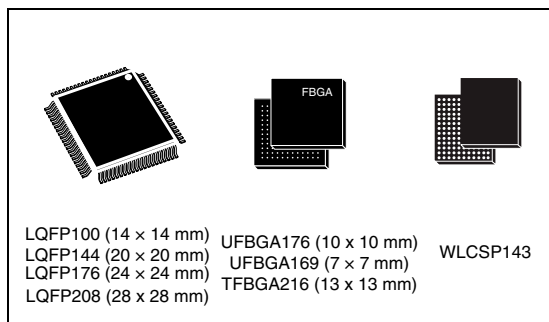


32b Arm® Cortex®-M4 MCU+FPU, 225DMIPS, up to 2MB Flash/256+4KB RAM, USB OTG HS/FS, Ethernet, 17 TIMs, 3 ADCs, 20 com. interfaces, camera & LCD-TFT

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/LPDDR 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<sub>BAT</sub> 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 × I<sup>2</sup>C 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 I<sup>2</sup>S 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

These features make the STM32F427xx and STM32F429xx microcontrollers suitable for a wide range of applications:

- Motor drive and application control
- Medical equipment
- Industrial applications: PLC, inverters, circuit breakers
- Printers, and scanners
- Alarm systems, video intercom, and HVAC
- Home audio appliances

*Figure 4* shows the general block diagram of the device family.

arm



Table 2. STM32F427xx and STM32F429xx features and peripheral counts

Peripherals		STM32F427 Vx		STM32F429Vx			STM32F427 Zx		STM32F429Zx			STM32F427 Ax		STM32F429 Ax		STM32F427 lx			STM32F429lx			STM32F429Bx			STM32F429Nx		
Flash memory in Kbytes		1024	2048	512	1024	2048	1024	2048	512	1024	2048	1024	2048	1024	2048	1024	2048	512	1024	2048	512	1024	2048	512	1024	2048	
SRAM in Kbytes	System	256(112+16+64+64)																									
	Backup	4																									
FMC memory controller		Yes <sup>(1)</sup>																									
Ethernet		Yes																									
Timers	General-purpose	10																									
	Advanced-control	2																									
	Basic	2																									
Random number generator		Yes																									
Communication interfaces	SPI / I <sup>2</sup> S	4/2 (full duplex) <sup>(2)</sup>					6/2 (full duplex) <sup>(2)</sup>																				
	I <sup>2</sup> C	3																									
	USART/UART	4/4																									
	USB OTG FS	Yes																									
	USB OTG HS	Yes																									
	CAN	2																									
	SAI	1																									
	SDIO	Yes																									
Camera interface		Yes																									
LCD-TFT (STM32F429xx only)		No	Yes			No	Yes			No	Yes			No	Yes			Yes									
Chrom-ART Accelerator™		Yes																									
GPIOs		82					114					130					140					168					
12-bit ADC		3																									
Number of channels		16					24																				

**Table 2. STM32F427xx and STM32F429xx features and peripheral counts (continued)**

Peripherals	STM32F427 Vx	STM32F429Vx	STM32F427 Zx	STM32F429Zx	STM32F427 Ax	STM32F429 Ax	STM32F427 Ix	STM32F429Ix	STM32F429Bx	STM32F429Nx
12-bit DAC	Yes									
Number of channels	2									
Maximum CPU frequency	180 MHz									
Operating voltage	1.8 to 3.6 V <sup>(3)</sup>									
Operating temperatures	Ambient temperatures: –40 to +85 °C / –40 to +105 °C									
	Junction temperature: –40 to + 125 °C									
Packages	LQFP100		WLCSP143 LQFP144		UFBGA169		UFBGA176 LQFP176		LQFP208	TFBGA216

1. For the LQFP100 package, only FMC Bank1 or Bank2 are available. Bank1 can only support a multiplexed NOR/PSRAM memory using the NE1 Chip Select. Bank2 can only support a 16- or 8-bit NAND Flash memory using the NCE2 Chip Select. The interrupt line cannot be used since Port G is not available in this package. For UFBGA169 package, only SDRAM, NAND and multiplexed static memories are supported.
2. The SPI2 and SPI3 interfaces give the flexibility to work in an exclusive way in either the SPI mode or the I2S audio mode.
3.  $V_{DD}/V_{DDA}$  minimum value of 1.7 V is obtained when the device operates in reduced temperature range, and with the use of an external power supply supervisor (refer to [Section 3.17.2: Internal reset OFF](#)).

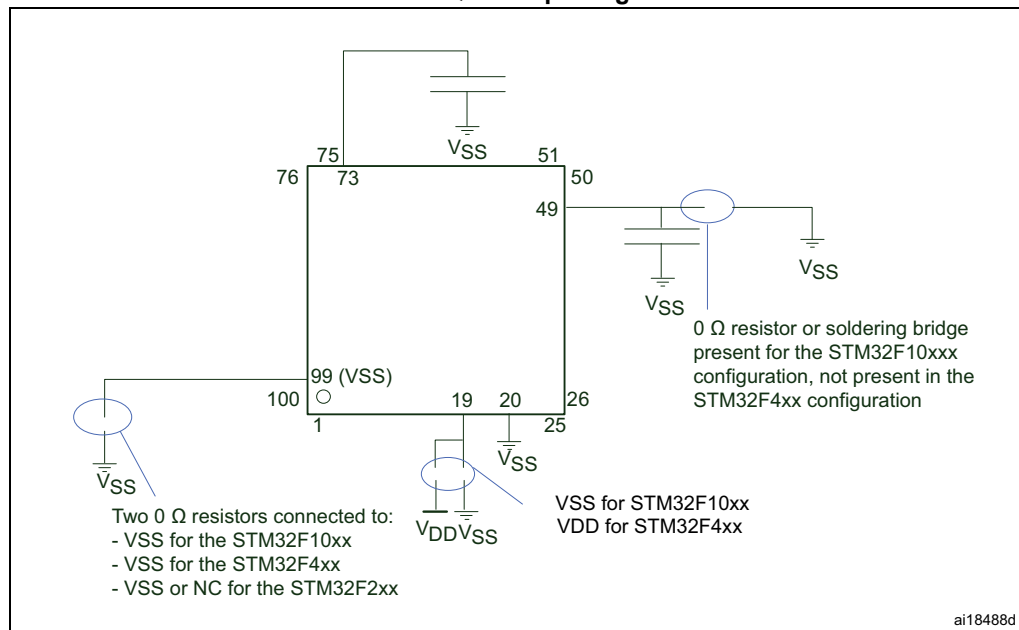
## 2.1 Full compatibility throughout the family

The STM32F427xx and STM32F429xx devices are part of the STM32F4 family. They are fully pin-to-pin, software and feature compatible with the STM32F2xx devices, allowing the user to try different memory densities, peripherals, and performances (FPU, higher frequency) for a greater degree of freedom during the development cycle.

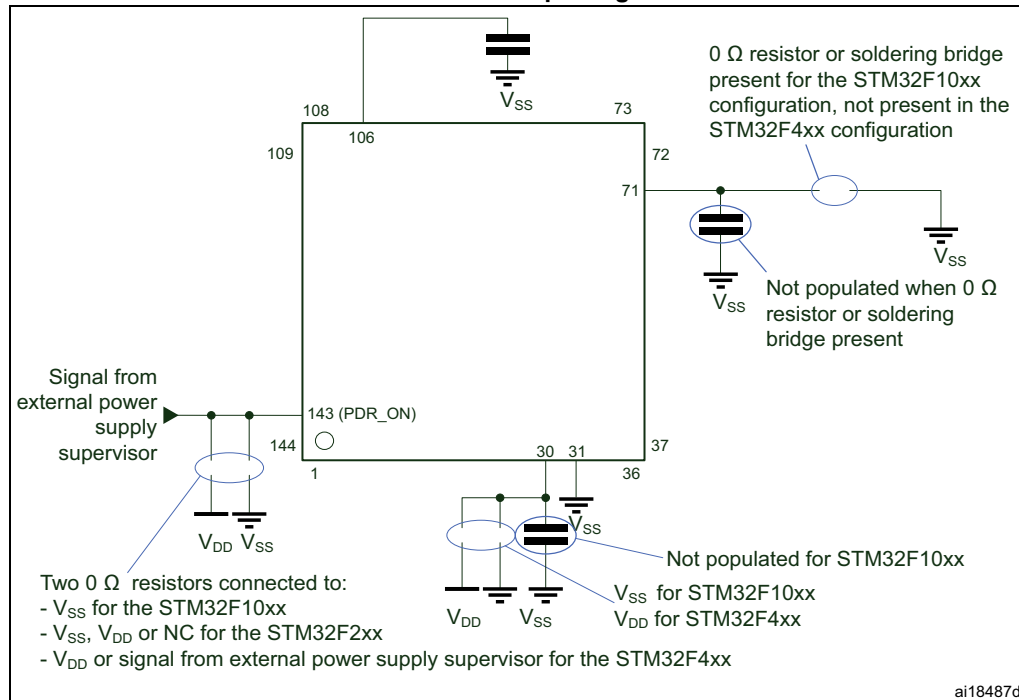
The STM32F427xx and STM32F429xx devices maintain a close compatibility with the whole STM32F10xx family. All functional pins are pin-to-pin compatible. The STM32F427xx and STM32F429xx, however, are not drop-in replacements for the STM32F10xx devices: the two families do not have the same power scheme, and so their power pins are different. Nonetheless, transition from the STM32F10xx to the STM32F42x family remains simple as only a few pins are impacted.

[Figure 1](#), [Figure 2](#), and [Figure 3](#), give compatible board designs between the STM32F4xx, STM32F2xx, and STM32F10xx families.

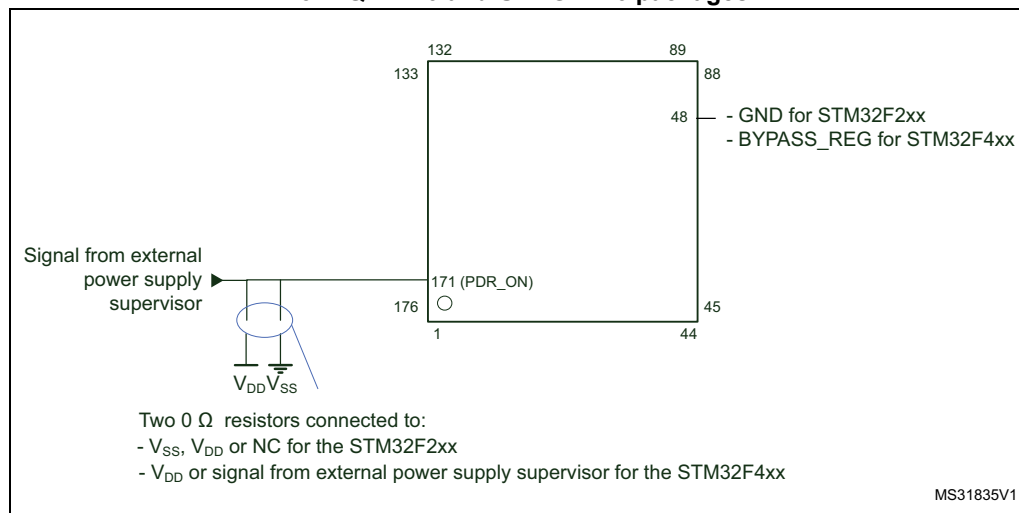
**Figure 1. Compatible board design STM32F10xx/STM32F2xx/STM32F4xx for LQFP100 package**



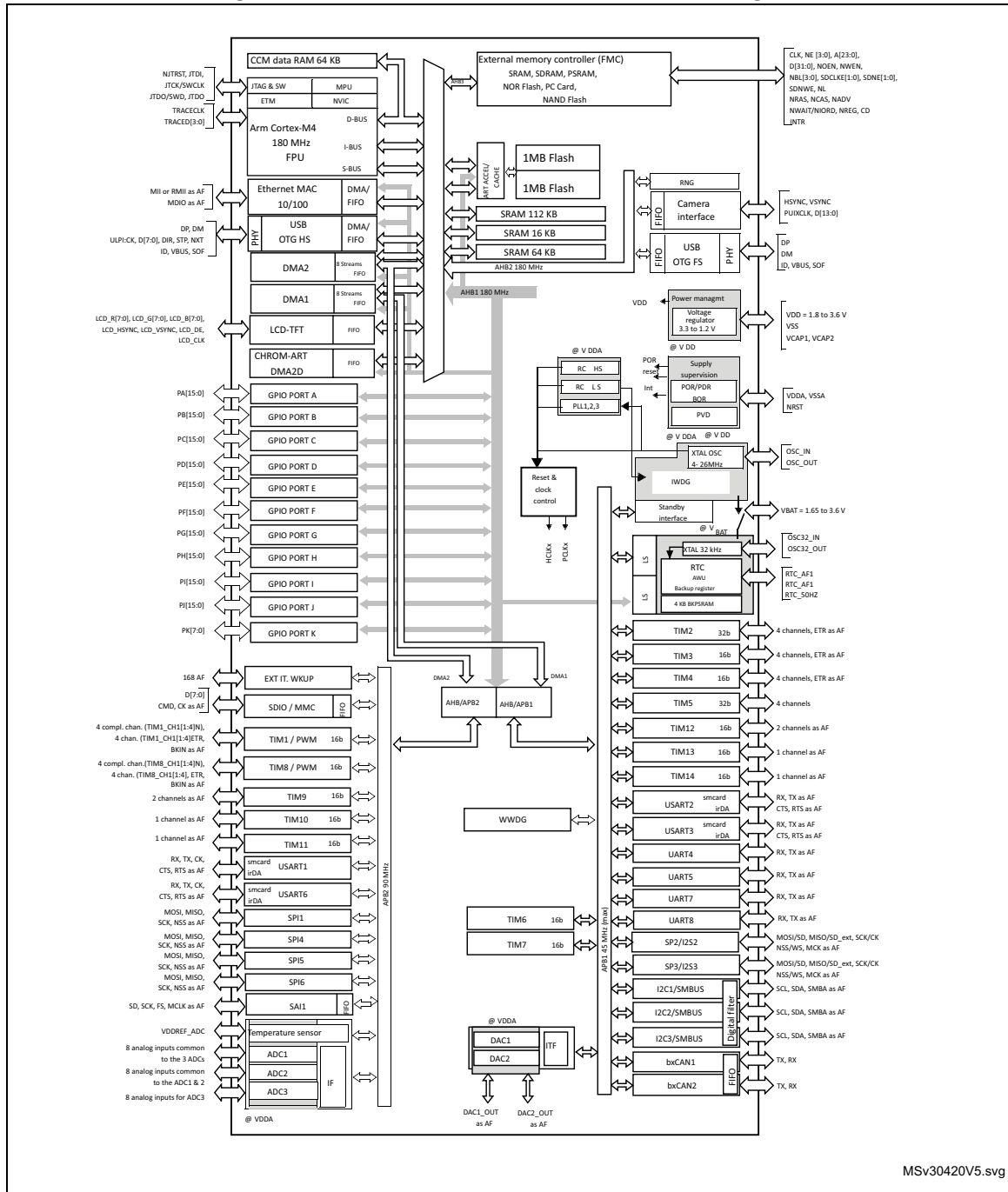
**Figure 2. Compatible board design between STM32F10xx/STM32F2xx/STM32F4xx for LQFP144 package**



**Figure 3. Compatible board design between STM32F2xx and STM32F4xx for LQFP176 and UFBGA176 packages**



**Figure 4. STM32F427xx and STM32F429xx block diagram**



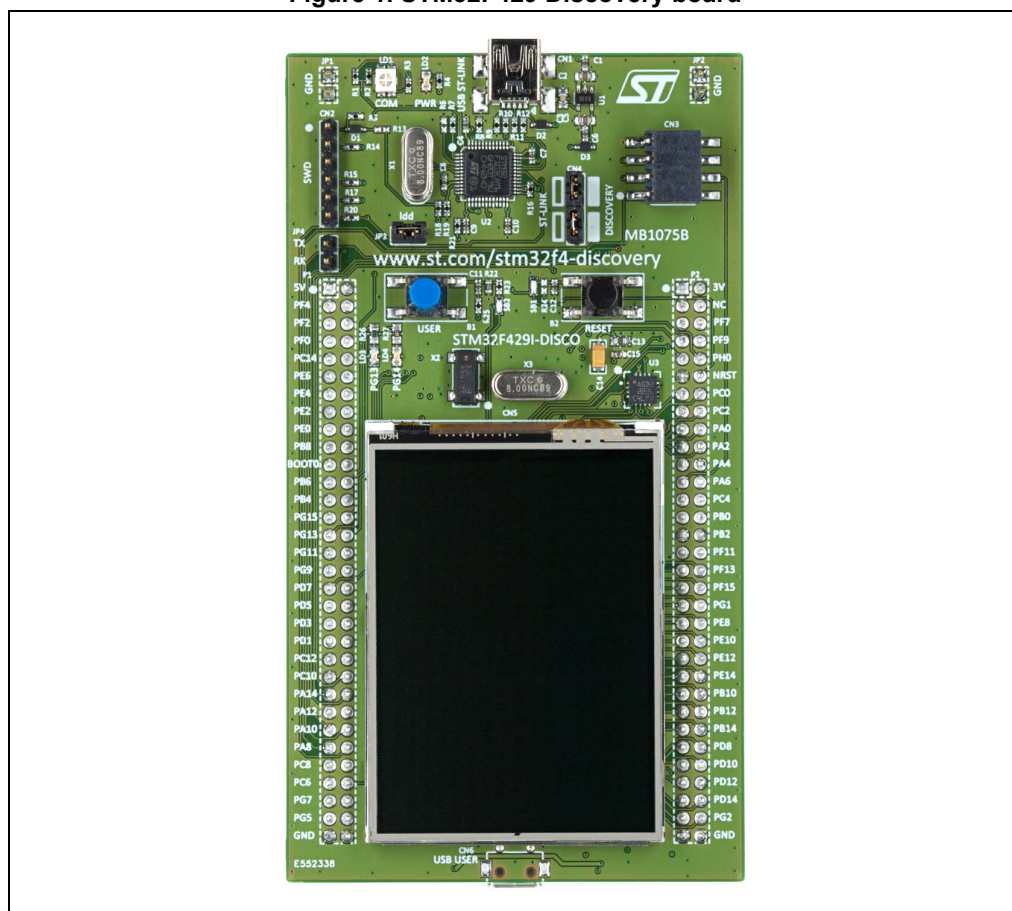
1. The timers connected to APB2 are clocked from TIMxCLK up to 180 MHz, while the timers connected to APB1 are clocked from TIMxCLK either up to 90 MHz or 180 MHz depending on TIMPRE bit configuration in the RCC\_DCKCFGR register.
2. The LCD-TFT is available only on STM32F429xx devices.

### 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





# 1 Conventions

[Table 1](#) provides the definition of some conventions used in the present document.

**Table 1. ON/OFF conventions**

Convention	Definition
Jumper JPx ON	Jumper fitted
Jumper JPx OFF	Jumper not fitted
Solder bridge SBx ON	SBx connections closed by solder
Solder bridge SBx OFF	SBx connections left open

## 2 Quick start

The STM32F429 Discovery is a low-cost and easy-to-use development kit to quickly evaluate and start a development with an STM32F4 series microcontroller.

Before installing and using the product, please accept the Evaluation Product License Agreement from [www.st.com/stm32f4-discovery](http://www.st.com/stm32f4-discovery).

For more information on the STM32F429 Discovery board and for demonstration software, visit [www.st.com/stm32f4-discovery](http://www.st.com/stm32f4-discovery).

### 2.1 Getting started

Follow the sequence below to configure the STM32F429 Discovery board and launch the DISCOVER application:

1. Ensure that the jumpers JP3 and CN4 are set to "on" (Discovery mode).
2. Connect the STM32F429 Discovery board to a PC using a USB cable type A/mini-B through the USB ST-LINK connector CN1, to power the board. The LEDs LD2 (PWR) and LD1 (COM).
3. The following applications are available on the screen:
  - Clock/Calendar and Game
  - Video Player and Image Browser (play videos and view images from the USB mass storage connected to CN6)
  - Performance monitor (watch the CPU load and run a graphical benchmark)
  - System Info
4. The demo software, as well as other software examples that allow you to discover the STM32 F4 series features, are available on [www.st.com/stm32f4-discovery](http://www.st.com/stm32f4-discovery).
5. Develop your own applications starting from the examples.

### 2.2 System requirements

- Windows PC (XP, Vista, 7)
- USB type A to mini-B cable

### 2.3 Development toolchain supporting the STM32F429 Discovery kit

- Altium: TASKING™ VX-Toolset
- Atollic: TrueSTUDIO
- IAR: EWARM
- Keil™: MDK-ARM

### 2.4 Order code

To order the STM32F429 Discovery kit, use the STM32F429I-DISCO order code.

### 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**

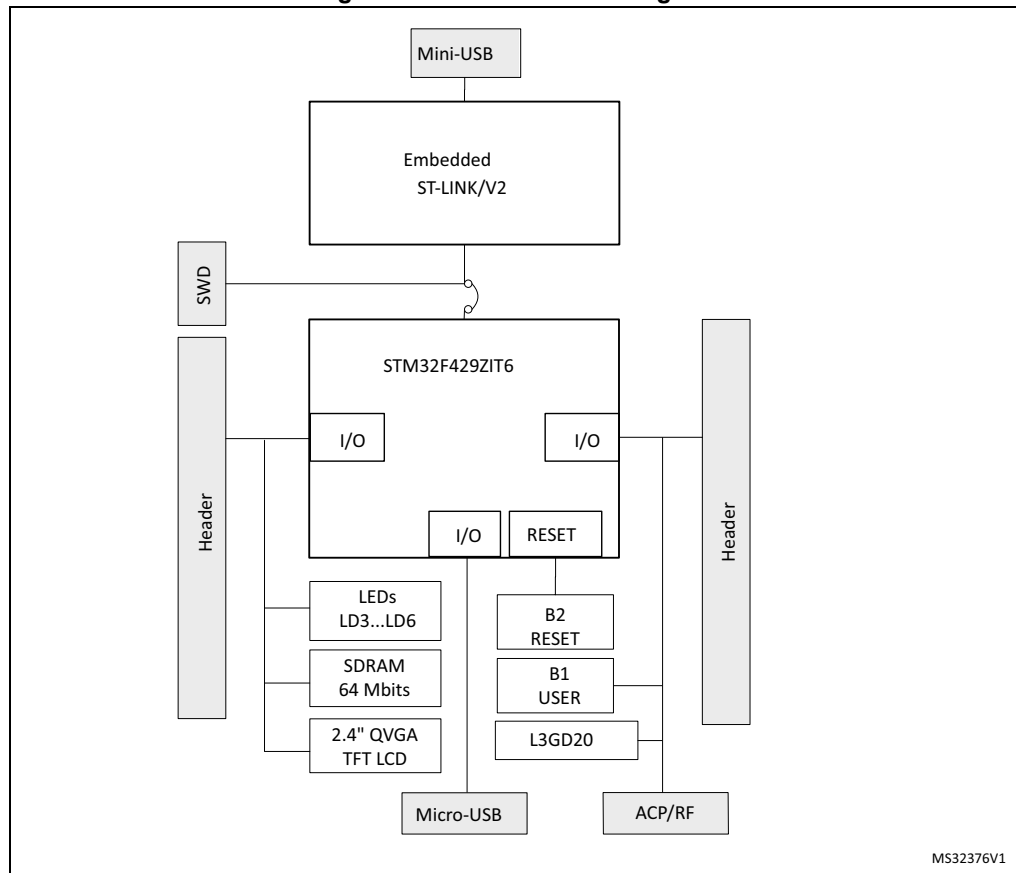


Figure 2. Top layout

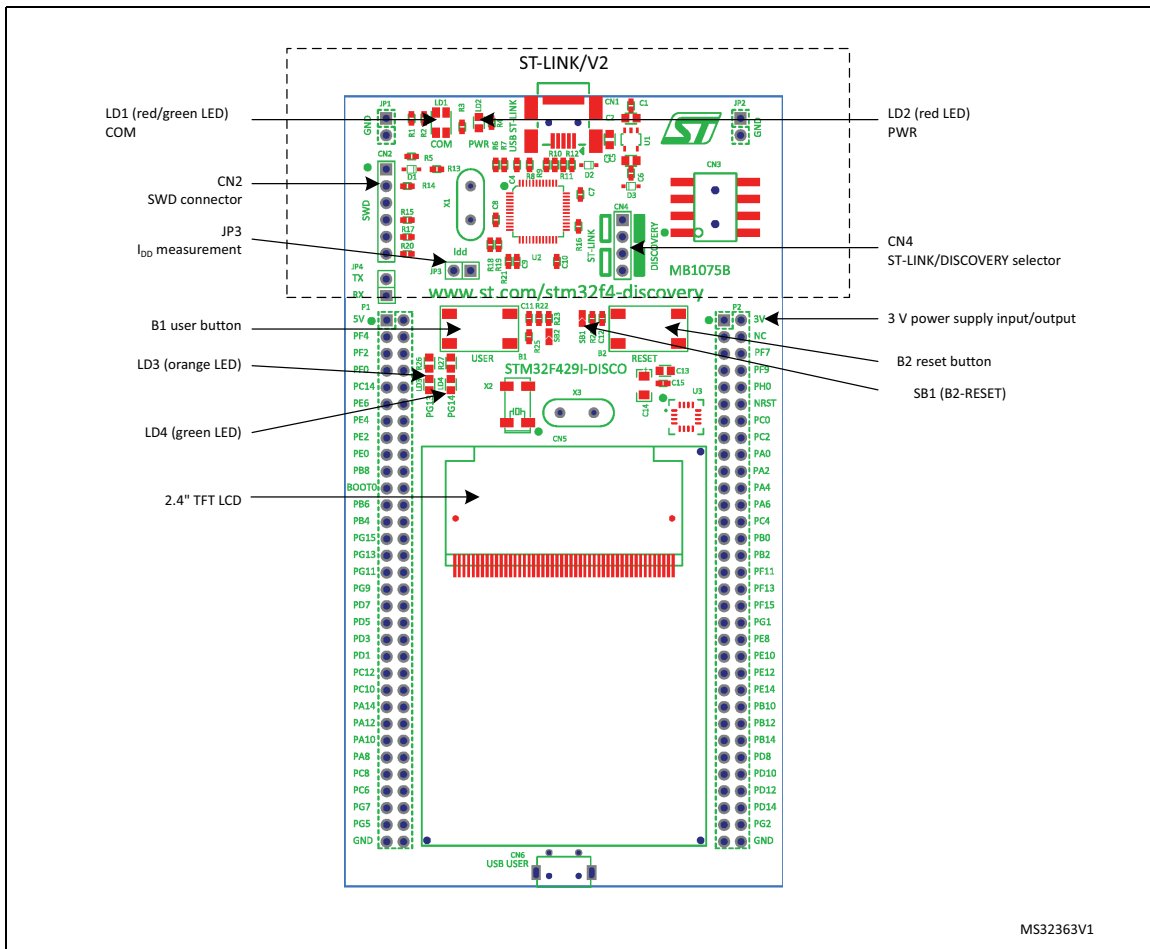
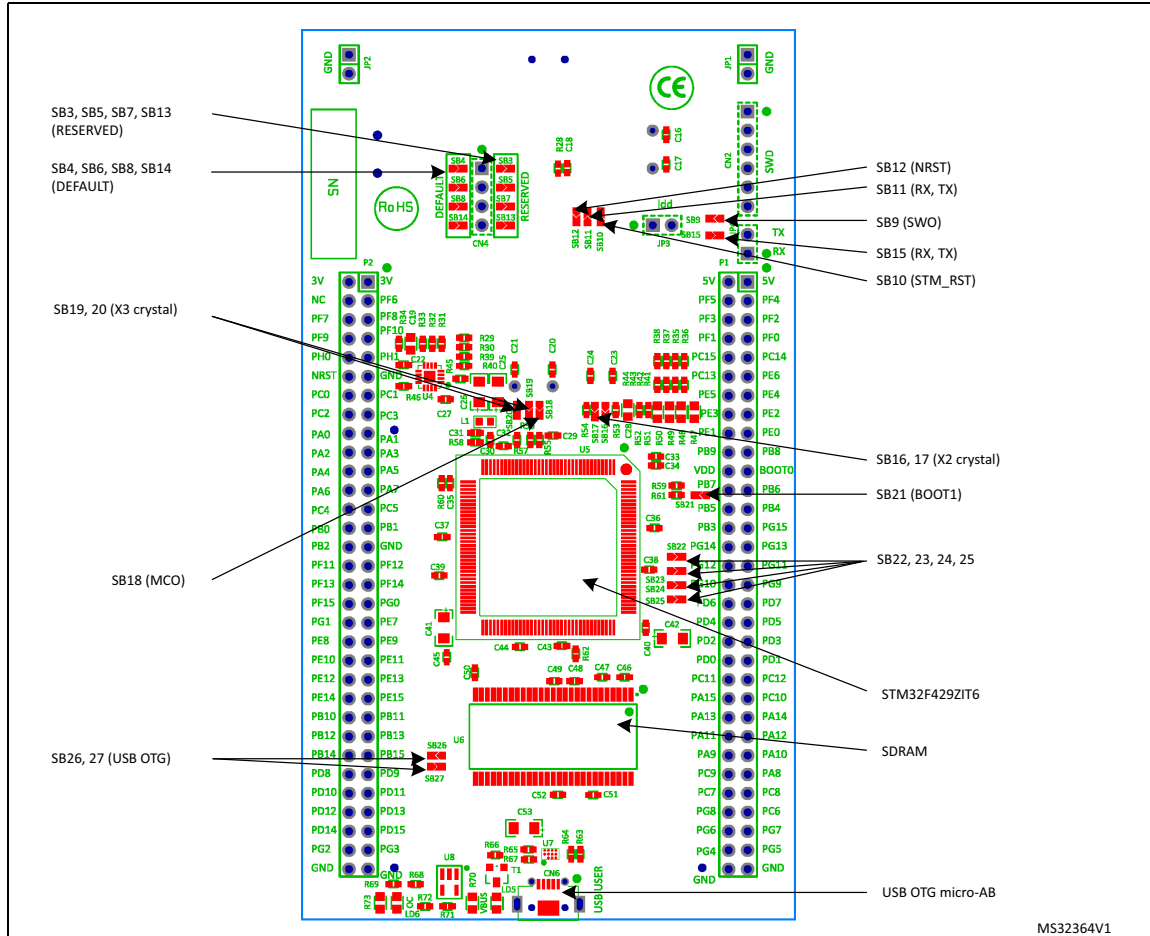
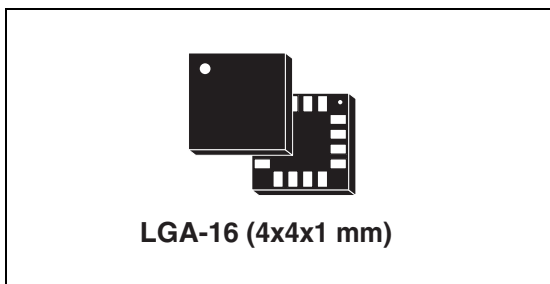


Figure 3. Bottom layout



## MEMS motion sensor: three-axis digital output gyroscope

Datasheet - production data



### Features

- Three selectable full scales (250/500/2000 dps)
- I<sup>2</sup>C/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<sup>®</sup> 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 (I<sup>2</sup>C/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

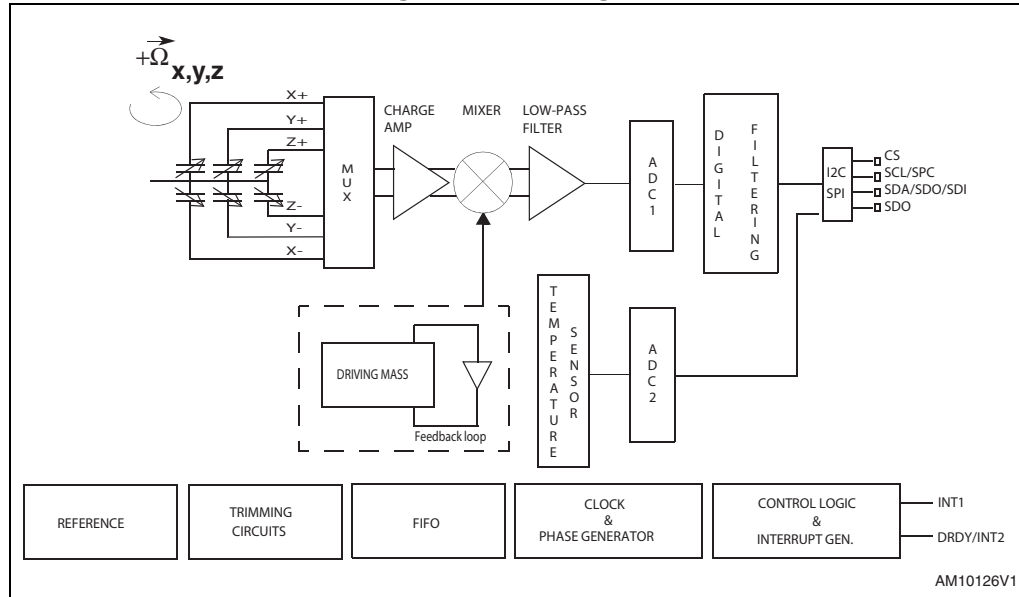
## List of figures

Figure 1.	Block diagram	5
Figure 2.	Pin connection	5
Figure 3.	SPI slave timing diagram	9
Figure 4.	I2C slave timing diagram	10
Figure 5.	L3GD20 electrical connections and external component values	13
Figure 6.	Block diagram	14
Figure 7.	Bypass mode	15
Figure 8.	FIFO mode	16
Figure 9.	Stream mode	17
Figure 10.	Bypass-to-stream mode	18
Figure 11.	Trigger stream mode	18
Figure 12.	Read and write protocol	23
Figure 13.	SPI read protocol	24
Figure 14.	Multiple byte SPI read protocol (2-byte example)	24
Figure 15.	SPI write protocol	25
Figure 16.	Multiple byte SPI write protocol (2-byte example)	25
Figure 17.	SPI read protocol in 3-wire mode	26
Figure 18.	INT1_Sel and Out_Sel configuration block diagram	33
Figure 19.	Wait disabled	39
Figure 20.	Wait enabled	39
Figure 21.	LGA-16: mechanical data and package dimensions	40



# 1 Block diagram and pin description

Figure 1. Block diagram



**Note:** The vibration of the structure is maintained by drive circuitry in a feedback loop. The sensing signal is filtered and appears as a digital signal at the output.

## 1.1 Pin description

Figure 2. Pin connection

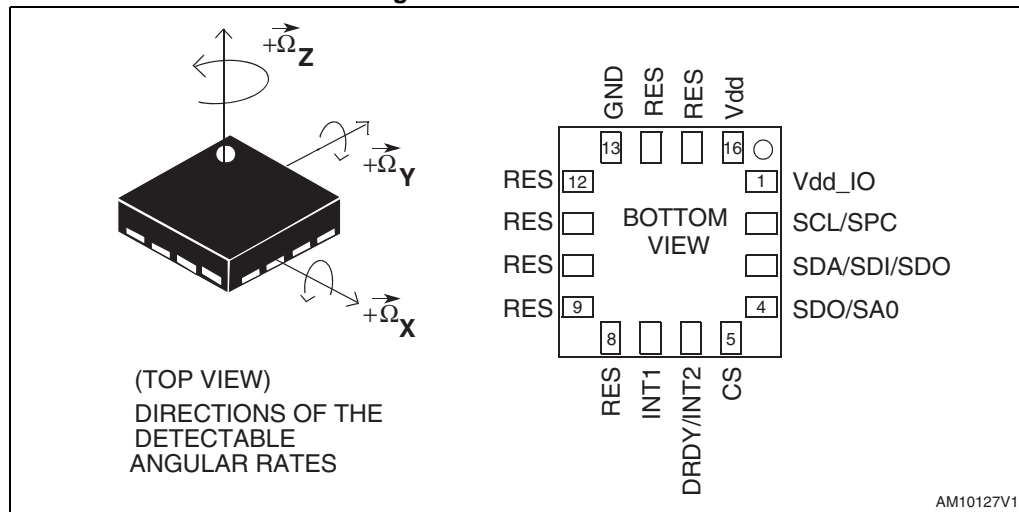


Table 2. Pin description

Table 3.

Pin#	Name	Function
1	Vdd_IO <sup>(1)</sup>	Power supply for I/O pins
2	SCL SPC	I <sup>2</sup> C serial clock (SCL) SPI serial port clock (SPC)
3	SDA SDI SDO	I <sup>2</sup> C serial data (SDA) SPI serial data input (SDI) 3-wire interface serial data output (SDO)
4	SDO SA0	SPI serial data output (SDO) I <sup>2</sup> C less significant bit of the device address (SA0)
5	CS	I <sup>2</sup> C/SPI mode selection (1: SPI idle mode / I <sup>2</sup> C communication enabled; 0: SPI communication mode / I <sup>2</sup> C disabled)
6	DRDY/INT2	Data ready/FIFO interrupt (Watermark/Overrun/Empty)
7	INT1	Programmable interrupt
8	Reserved	Connect to GND
9	Reserved	Connect to GND
10	Reserved	Connect to GND
11	Reserved	Connect to GND
12	Reserved	Connect to GND
13	GND	0 V supply
14	Reserved	Connect to GND with ceramic capacitor <sup>(2)</sup>
15	Reserved	Connect to Vdd
16	Vdd <sup>(3)</sup>	Power supply

1. 100 nF filter capacitor recommended.

2. 1 nF min value must be guaranteed under 11 V bias condition.

3. 100 nF plus 10  $\mu$ F capacitors recommended.

## 2 Mechanical and electrical specifications

### 2.1 Mechanical characteristics

@ Vdd = 3.0 V, T = 25 °C unless otherwise noted.

**Table 4. Mechanical characteristics<sup>(1)</sup>**

Symbol	Parameter	Test condition	Min.	Typ. <sup>(2)</sup>	Max.	Unit
FS	Measurement range	User-selectable		±250		dps
				±500		
				±2000		
So	Sensitivity	FS = 250 dps		8.75		mdps/digit
		FS = 500 dps		17.50		
		FS = 2000 dps		70		
SoDr	Sensitivity change vs. temperature	From -40 °C to +85 °C		±2		%
DVoff	Digital zero-rate level	FS = 250 dps		±10		dps
		FS = 500 dps		±15		
		FS = 2000 dps		±75		
OffDr	Zero-rate level change vs. temperature	FS = 250 dps		±0.03		dps/°C
		FS = 2000 dps		±0.04		dps/°C
NL	Non linearity	Best fit straight line		0.2		% FS
Rn	Rate noise density			0.03		μps/(√Hz)
ODR	Digital output data rate			95/190/ 380/760		Hz
Top	Operating temperature range		-40		+85	°C

1. The product is factory calibrated at 3.0 V. The operational power supply range is specified in [Table 5](#).

2. Typical specifications are not guaranteed.

## 2.2 Electrical characteristics

@ Vdd =3.0 V, T=25 °C unless otherwise noted.

**Table 5. Electrical characteristics <sup>(1)</sup>**

Symbol	Parameter	Test condition	Min.	Typ. <sup>(2)</sup>	Max.	Unit
Vdd	Supply voltage		2.4	3.0	3.6	V
Vdd_IO	I/O pins supply voltage <sup>(3)</sup>		1.71		Vdd+0.1	V
Idd	Supply current			6.1		mA
IddSL	Supply current in sleep mode <sup>(4)</sup>	Selectable by digital interface		2		mA
IddPdn	Supply current in power-down mode	Selectable by digital interface		5		μA
VIH	Digital high level input voltage		0.8*Vdd_IO			V
VIL	Digital low level input voltage				0.2*Vdd_IO	V
Top	Operating temperature range		-40		+85	°C

1. The product is factory calibrated at 3.0 V.
2. Typical specifications are not guaranteed.
3. It is possible to remove Vdd maintaining Vdd\_IO without blocking the communication busses; in this condition the measurement chain is powered off.
4. Sleep mode introduces a faster turn-on time relative to power-down mode.

## 2.3 Temperature sensor characteristics

@ Vdd =3.0 V, T=25 °C unless otherwise noted.

**Table 6. Electrical characteristics <sup>(1)</sup>**

Symbol	Parameter	Test condition	Min.	Typ. <sup>(2)</sup>	Max.	Unit
TSDr	Temperature sensor output change vs. temperature	-		-1		°C/digit
TODR	Temperature refresh rate			1		Hz
Top	Operating temperature range		-40		+85	°C

1. The product is factory calibrated at 3.0 V.
2. Typical specifications are not guaranteed.

## **a-Si TFT LCD Single Chip Driver 240RGBx320 Resolution and 262K color Specification**

Version: V1.11  
Document No.: ILI9341\_DS\_V1.11.pdf

**ILI TECHNOLOGY CORP.**

8F, No. 38, Taiyuan St., Jhubei City,  
Hsinchu Country 302 Taiwan R.O.C.  
Tel.886-3-5600099; Fax.886-3-5670585  
<http://www.ilitek.com>

14.2. Gamma Curves .....	224
14.2.1. Gamma Curve 1 (GC0), applies the function $y=x^{2.2}$ .....	224
14.3. Gamma Curves .....	225
14.3.1. Grayscale Voltage Generation.....	225
14.3.2. Positive Gamma Correction.....	226
14.3.3. Negative Gamma Correction .....	227
15. Reset .....	228
15.1. Registers .....	228
15.2. Output Pins, I/O Pins.....	229
15.3. Input Pins .....	229
15.4. Reset Timing .....	230
16. Configuration of Power Supply Circuit .....	231
17. NV Memory Programming Flow .....	234
18. Electrical Characteristics .....	235
18.1 Absolute Maximum Ratings .....	235
18.2 DC Characteristics .....	236
18.2.1 General DC Characteristics.....	236
18.3 AC Characteristics .....	238
18.3.1 Display Parallel 18/16/9/8-bit Interface Timing Characteristics (8080- I system) .....	238
18.3.2 Display Parallel 18/16/9/8-bit Interface Timing Characteristics(8080- II system) .....	240
18.3.3 Display Serial Interface Timing Characteristics (3-line SPI system) .....	242
18.3.4 Display Serial Interface Timing Characteristics (4-line SPI system) .....	243
18.3.5 Parallel 18/16/6-bit RGB Interface Timing Characteristics .....	244
19 Revision History .....	245

## 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.

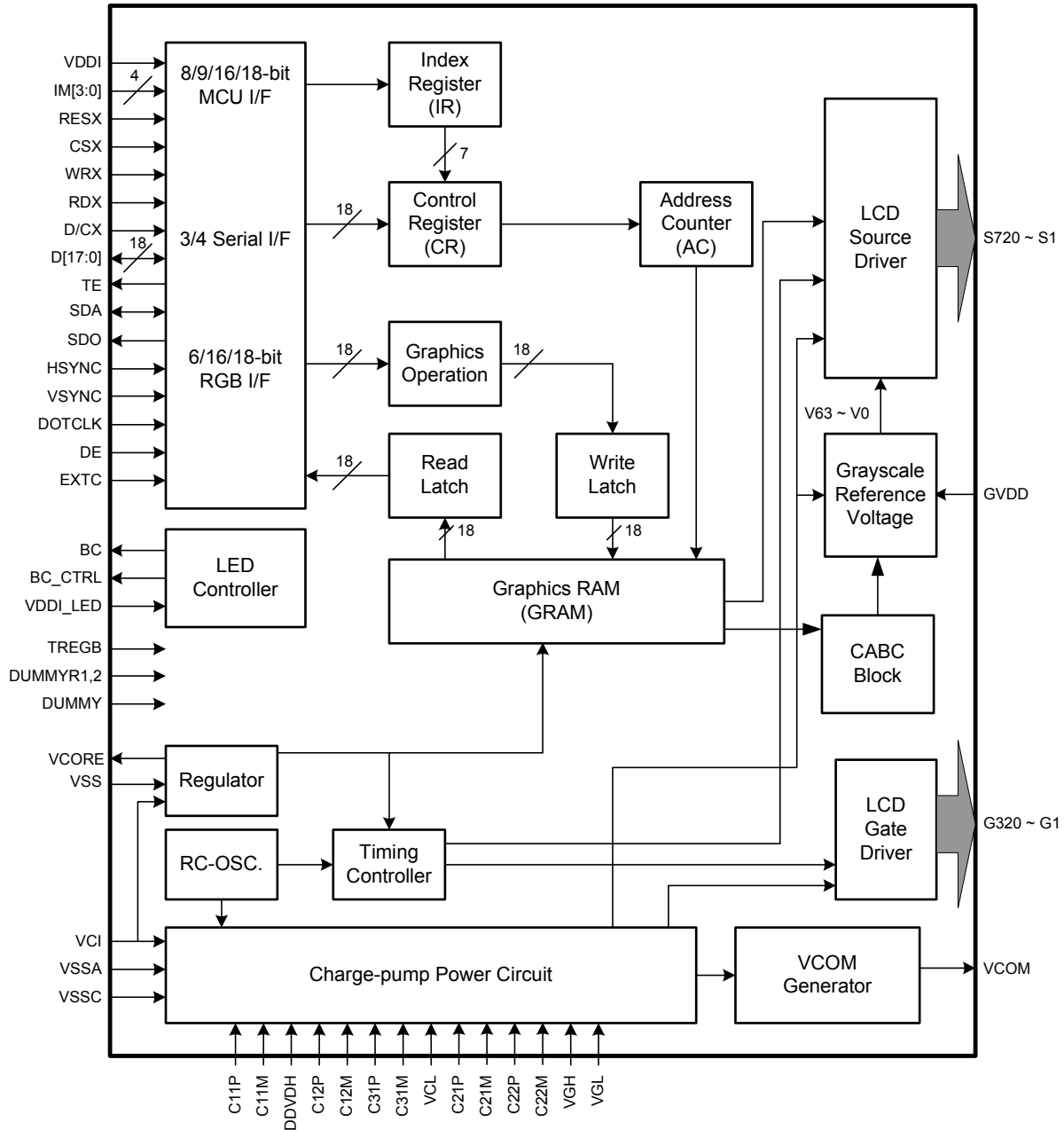
## 2. Features

- ◆ 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



### 3. Block Diagram



## 4. Pin Descriptions

Power Supply Pins			
Pin Name	I/O	Type	Descriptions
VDDI	I	P	Low voltage power supply for interface logic circuits (1.65 ~ 3.3 V)
VDDI_LED	I		Power supply for LED driver interface. (1.65 ~ 3.3 V) If LED driver is not used, fix this pin at VDDI.
VCI	I	Analog Power	High voltage power supply for analog circuit blocks (2.5 ~ 3.3 V)
Vcore	O	Digital Power	Regulated Low voltage level for interface circuits Connect a capacitor for stabilization. Don't apply any external power to this pad
VSS3	I	I/O Ground	System ground level for I/O circuits.
VSS	I	Digital Ground	System ground level for logic blocks
VSSA	I	Analog Ground	System ground level for analog circuit blocks Connect to VSS on the FPC to prevent noise.
VSSC	I	Analog Ground	System ground level for analog circuit blocks Connect to VSS on the FPC to prevent noise

Interface Logic Signals									
Pin Name	I/O	Type	Descriptions						
IM[3:0]	I	(VDDI/VSS)	- Select the MCU interface mode						
			IM3	IM2	IM1	IM0	MCU-Interface Mode	DB Pin in use	
								Register/Content	GRAM
			0	0	0	0	80 MCU 8-bit bus interface I	D[7:0]	D[7:0]
			0	0	0	1	80 MCU 16-bit bus interface I	D[7:0]	D[15:0]
			0	0	1	0	80 MCU 9-bit bus interface I	D[7:0]	D[8:0]
			0	0	1	1	80 MCU 18-bit bus interface I	D[7:0]	D[17:0]
			0	1	0	1	3-wire 9-bit data serial interface I	SDA: In/OUT	
			0	1	1	0	4-wire 8-bit data serial interface I	SDA: In/OUT	
			1	0	0	0	80 MCU 16-bit bus interface II	D[8:1]	D[17:10], D[8:1]
			1	0	0	1	80 MCU 8-bit bus interface II	D[17:10]	D[17:10]
			1	0	1	0	80 MCU 18-bit bus interface II	D[8:1]	D[17:0]
			1	0	1	1	80 MCU 9-bit bus interface II	D[17:10]	D[17:9]
			1	1	0	1	3-wire 9-bit data serial interface II	SDI: In SDO: Out	
			1	1	1	0	4-wire 8-bit data serial interface II	SDI: In SDO: Out	
			MPU Parallel interface bus and serial interface select						
If use RGB Interface must select serial interface.									
* : Fix this pin at VDDI or VSS.									