

## GY-86

GY-86是MPU6050（3轴陀螺仪和3轴加速度计），HMC5883L（3轴磁力传感器）和MS5611-01BA01（气压计）三个模块集合而成的十轴姿态传感器。

## HMC5883L

### 原理

HMC5883L的工作原理基于霍尔效应和磁场测量。具体原理如下：

#### 1. 霍尔效应：

- 当电流通过一个导体或半导体并置于磁场中时，磁场会导致载流子（如电子）受到洛伦兹力的作用，出现横向电压，这种现象被称为霍尔效应。
- HMC5883L利用这种效应来感知周围的磁场强度和方向。

#### 2. 磁场传感器阵列：

- 该传感器内部有三个方向的霍尔传感器，分别测量X、Y、Z三个方向的磁场分量。
- 通过对这三个方向的测量，可以计算出空间中磁场的强度和方向。

#### 3. 数字输出：

- 测量到的模拟信号经过内部的模数转换（ADC）处理，转化为数字信号。
- 通过I<sup>2</sup>C接口将数据传输给微控制器或其他外部设备，方便进行进一步处理。

#### 4. 配置与补偿：

- HMC5883L允许用户配置增益、数据速率和偏置设置，以适应不同的环境条件。
- 可以通过校准和补偿技术来修正因环境因素（如温度变化）引起的误差。

总结来说，HMC5883L通过霍尔效应感知磁场，并将测量结果以数字信号的形式输出，结合配置参数和补偿技术，可以实现高精度的磁场测量。（from GPT4o）

### 配置寄存器A

采样平均数：

对一组数据进行多次测量或采样后，将所有测得的值相加，然后除以样本数量，以获取一个代表性数值的过程。

高采样次数通常能更有效地降低噪声，提高测量精度，但会增加处理时间和延迟。低采样次数则响应更快，但可能会受到噪声影响，导致结果不稳定。

根据实际情况来选择

(缺省代表默认值)

数据输出速率位：

传感器每秒钟可以更新并输出的数据次数。在 HMC5883L 磁力计中，数据输出速率决定了磁场测量的频率，影响测量的实时性和响应速度。

常见的选择是 10 Hz 到 15 Hz，这样可以在保证响应速度的同时，保持合理的功耗。如果应用需要更快速的更新，30 Hz 也可以考虑；如果对精度要求更高且不需要快速更新，0.75 Hz 到 3 Hz 可能更合适

测量配置位：

正常测量配置：

- 这是默认配置，传感器在没有任何偏置的情况下进行测量。
- 输出信号直接反映环境中的磁场强度，适用于大多数应用。
- （负载电阻的正极引脚和负极引脚保持浮动和高阻抗。）

如果负载电阻的正极引脚和负极引脚保持浮动和高阻抗，可能会导致以下几种情况：

1. **不稳定的电压**：由于引脚处于高阻抗状态，可能会导致电压不稳定，进而影响电路的正常工作。
2. **噪声干扰**：高阻抗状态容易受到外部电磁干扰，导致电路信号噪声增大。
3. **寄生电容效应**：浮动引脚可能引入寄生电容，影响信号的传输质量。
4. **无效信号**：如果电路设计依赖于负载电阻的反馈，浮动状态可能导致控制信号无效，影响系统性能。
5. **故障检测困难**：在高阻抗状态下，电路故障可能难以被检测，因为没有明确的电流或电压信号可供监测。

为了避免这些问题，建议在电路设计中使用适当的下拉或上拉电阻，以确保引脚在未连接状态下保持稳定的逻辑电平。

正偏压配置：

- 通过在传感器的输出上添加一个正偏置来增强信号。
- 适合在强磁场环境下使用，能够提高测量的线性范围，避免输出信号饱和。
- 可以帮助解决由于磁场较强而导致的测量误差。

负偏压配置：

- 在传感器输出上添加负偏置。
- 适合在弱磁场环境或低磁场测量中使用，确保输出信号不会低于某个阈值。
- 同样有助于提升测量精度，避免输出信号过低而导致的误判。

(正偏置：在信号处理中对输出信号施加一个正的电压偏移，负偏置同理)

## 配置寄存器B

增益配置位：

对所有通道增益配置是共同的。

(三个主要通道，分别对应于三个轴：

**X轴**：测量沿水平方向的磁场强度。

**Y轴**：测量沿垂直方向的磁场强度。

**Z轴**：测量垂直于XY平面的磁场强度。)

增益是指传感器对输入磁场信号的放大程度。它影响到输出的灵敏度和测量范围。

在实际应用中调整，一般来说，输出接近满量程，可能需要降低增益；如果数据噪声较大，可以考虑提高增益。(根据推荐的传感器磁场范围选择)

(数据噪声是指在测量或信号处理中，所获取数据中不希望存在的随机波动或干扰。这些噪声会影响测量的准确性和可靠性。对于HMC5883L这样的磁力计，噪声可能来源于以下几个方面：

1. **环境干扰**：周围的电磁干扰、机械振动等可能引入额外的信号。
2. **传感器本身的噪声**：传感器的内部噪声和信号处理过程中的误差。
3. **温度变化**：温度变化可能导致传感器性能波动，从而引入噪声。
4. **电源干扰**：不稳定的电源供电也可能引起数据的波动。

降低噪声的方法包括选择合适的增益、使用滤波器、增加平均采样次数等。确保测量数据的准确性和稳定性至关重要。你了解如何处理这些噪声吗？)

(1G=10-4T)

## 模式寄存器

模式选择位：

### 1.连续测量模式:

在连续测量模式下，装置不断进行测量，并将数据更新至数据寄存器。RDY升高，此时新数据放在所有三个寄存器。在上电或写入模式或配置寄存器后，第一次测量可以在三个数据输出寄存器经过一个 $2/f_{DO}$ 后设置，随后的测量可用一个频率 $f_{DO}$ 进行， $f_{DO}$ 为数据输出的频率。

2.单一测量模式（默认）:当选择单测量模式时，装置进行单一测量，RDY设为高位并回到闲置模式。模式寄存器返回闲置模式位值。测量的数据留在输出寄存器中并且RDY仍然在高位，直到数据输出寄存器读取或完成另一次测量。

### 3.闲置模式:

在此模式下，装置可以通过I2 C总线访问，但主要电源能耗是禁用的，如ADC，放大器，传感器偏置电流，但

不仅限于这些。在空闲模式下所有寄存器保留数值。在闲置测量模式下I2 C总线可被网络内其他装置启用。

连续测量模式

连续测量模式，在客户所选择的速率下进行连续的测量，并所测量的更新数据输出寄存器。如果有必要，数据可以从数据输出寄存器重新读取，但是，如果主机并不能确保在下次测量完成之前可以访问数据寄存器，数据寄存器上的旧的数据会被新的测量数据取代。为了保存测量之间的电流，该装置被放置在一个类似闲置模式的状态，但模式寄存器没有改变成空闲模式。即MD[n]位不变。配置寄存器A的设置连续测量模式时会影响数据输出速率(比特DO[n])，测量配置(bits MS[n])，和增益(bits GN[n])。所有寄存器在连续测量模式中保留数值。在连续测量模式下I<sup>2</sup>C总线可被网络内的其他装置启用。

单次测量模式

这是预设的供电模式。在单测量模式，该装置进行单次测量并将测量数据更新至输出数据寄存器中。在完成测量和输出数据寄存器的更新以后，通过设置MD[n] bits，该装置被置于闲置模式，模式寄存器变更为闲置模式。配置寄存器的设置在单一测量模式时影响测量配置(bits MS[n])。。在单测量模式中所有寄存器保留数值。在单测量模式下I<sup>2</sup>C总线可被网络内其他装置启用。

闲置模式

在此模式下，装置可以通过I<sup>2</sup>C总线访问，但主要电源能耗是禁用的，如ADC，放大器，传感器偏置电流，但不仅限于这些。在空闲模式下所有寄存器保留数值。在闲置测量模式下I<sup>2</sup>C总线可被网络内其他装置启用。

MD1	MD0	模式
0	0	连续测量模式。在连续测量模式下，装置不断进行测量，并将数据更新至数据寄存器。RDY升高，此时新数据放置在所有三个寄存器。在上电或写入模式或配置寄存器后，第一次测量可以在三个数据输出寄存器经过一个2/f <sub>DO</sub> 后设置，随后的测量可用一个频率f <sub>DO</sub> 进行，f <sub>DO</sub> 为数据输出的频率。
0	1	单一测量模式（默认）。当选择单测量模式时，装置进行单一测量，RDY设为高位并回到闲置模式。模式寄存器返回闲置模式位值。测量的数据留在输出寄存器中并且RDY仍然在高位，直到数据输出寄存器读取或完成另一次测量。
1	0	闲置模式。装置被放置在闲置模式。
1	1	闲置模式。装置被放置在闲置模式。

表12：操作模式

(其RDY (Ready) 引脚用于指示传感器的状态。当RDY引脚为高电平时，表示传感器已准备好进行数据读取。通过监测这个引脚，可以确保在读取数据之前传感器处于有效状态，从而提高数据的可靠性和准确性。)

MPU6050

(参考寄存器映像手册)

原理

MPU6050通过以下方式感测加速度和角速度：

- 1. **加速度计**：利用微机械系统（MEMS）技术，内置的加速度计由一组微小的质点和电容器构成。当传感器受到加速（例如运动或重力）时，这些质点会相对于电容器发生位移，产生电信号。通过测量这些电信号，可以得出物体在三个轴向（X、Y、Z）的加速度。

2. **陀螺仪**：同样使用MEMS技术，陀螺仪通过旋转质点的运动来感测角速度。传感器内部有一个微小的振动结构，当设备旋转时，这个结构的振动模式会改变。通过检测这种变化，可以计算出设备在三个轴向的角速度。

通过将加速度计和陀螺仪的数据结合，MPU6050可以实时计算出设备的姿态和运动状态，从而实现精准的运动跟踪和姿态控制。

(MEMS (微机电系统) 是一种集成了机械和电子元件的微型技术，通常用于传感器、执行器和其他智能设备中。MEMS技术利用半导体工艺制造微小的机械结构，能够在微米级别实现机械运动和传感功能。

MEMS的主要组成部分：

1. **传感器**：用于检测物理量（如加速度、压力、温度、湿度等），将这些量转化为电信号。例如，MEMS加速度计和陀螺仪。
2. **执行器**：通过电信号驱动机械运动，常见于微型阀门、微型马达等。
3. **微型结构**：这些结构通常由硅、聚合物等材料制成，形状和功能多样，能够实现特定的机械运动或传感。

)

## 寄存器 1 - 辅助 I2C 电源选择

AUX\_VDDIO

类型：读/写

该寄存器指定辅助 I2C 电源电压电平。

对于 MPU-6050：AUX\_VDDIO 将辅助 I2C 总线的高逻辑电平配置为 VLOGIC 或 VDD。  
(对于 MPU-6000：AUX\_VDDIO 应写入 0。)

第 6 至 0 位为保留位。

参数：

aux\_vddio MPU-6050：设置为 1 时，辅助 I2C 总线高逻辑电平为 VDD。

清零为 0 时，辅助 I2C 总线高逻辑电平为

VLOGIC

MPU-6000：为 AUX\_VDDIO 写 0。

在 MPU-6050 中，AUX\_VDDIO 允许用户配置辅助 I2C 总线的高逻辑电平，这个配置可以选择 VLOGIC 或 VDD。

- **VLOGIC**：这通常指的是与主 I2C 总线相同的逻辑电压，可能是由 MCU 提供的电源电压（例如 1.8V、3.3V）。选择 VLOGIC 允许辅助 I2C 总线与主 I2C 总线在同一电平工作，这在多种电压的设备间进行通信时非常有用。
- **VDD**：指的是设备的供电电压，通常是更高的电压（例如 5V）。如果配置为 VDD，辅助 I2C 总线会在更高的逻辑电平下工作，这适用于需要较高电压的外部设备。

## 寄存器 25 - 采样率除法器

SMPRT\_DIV

类型 读/写

该寄存器指定用于生成 MPU-60X0 采样率的陀螺仪输出速率除法器。

传感器寄存器输出、FIFO 输出、DMP 采样、运动检测、零运动检测和自由落体检测均基于采样率（一定时间内对信号进行采样的频率）。

采样率由陀螺仪输出速率除以 SMPLRT\_DIV 得出：

采样率 = 陀螺仪输出率 / (1 + SMPLRT\_DIV)

其中，当禁用 DLPF(低通滤波器) (DLPF\_CFG = 0 或 7) 时，陀螺仪输出率 = 8kHz；当启用 DLPF (DLPF\_CFG = 0 或 7) 时，陀螺仪输出率 = 1kHz

启用 DLPF 时为 1kHz（参见寄存器 26）。

注：加速度计输出速率为 1kHz。这意味着采样率大于 1kHz、

同一加速度计样本可能会多次输出到 FIFO、DMP 和传感器寄存器。

SMPLRT\_DIV 8 位无符号值。采样率由陀螺仪输出速率除以该值确定。

陀螺仪输出速率除以该值。

(

- **动态应用**：SMPLRT\_DIV 设置为 0（采样率为 1kHz）。
- **一般运动监测**：SMPLRT\_DIV 设置为 4（采样率为 200Hz）。
- **静态或低频应用**：SMPLRT\_DIV 设置为 9（采样率为 100Hz）。

根据具体应用场景调整即可！

)



在 MPU6050 中，FIFO（先进先出）缓冲区是用来存储传感器数据的关键组件。具体来说，MPU6050 的 FIFO 工作原理如下：

#### 1. 数据存储：

- MPU6050 可以同时输出加速度计和陀螺仪的数据。数据通过 FIFO 缓冲区存储，这样可以避免频繁访问传感器，减轻主控器的负担。
- FIFO 可以存储最多 1024 字节的数据，相当于多个传感器样本。

#### 2. 配置：

- 通过配置寄存器，可以选择将哪些数据（如加速度、角速度、温度等）存入 FIFO。
- 你可以设置 FIFO 的触发条件，比如达到一定数据量后开始处理数据。

#### 3. 数据读取：

- 主控器可以从 FIFO 中读取数据，通常以块的方式读取以提高效率。读取后，FIFO 中的数据会自动出队。
- 当 FIFO 中的数据达到预设阈值时，可以通过中断或轮询的方式告知主控器处理新数据。

#### 4. 优势：

- **减少通信延迟**：通过 FIFO，主控器不必每次都直接访问 MPU6050，可以在需要时批量读取数据，减少延迟。
- **提高数据处理效率**：在高频采样的场景下，FIFO 可以存储数据，确保数据不会丢失。
- **降低 CPU 负担**：在数据量大或处理频繁的应用中，使用 FIFO 可以降低对主控器的压力。

#### 5. FIFO 溢出：

- 如果 FIFO 满了，新数据将覆盖最旧的数据，因此需要定期清空 FIFO，以确保重要数据不被丢失。

通过利用 FIFO，MPU6050 能够更高效地与主控器进行数据交互，特别是在实时应用（如运动跟踪或姿态控制）中，提供了更好的性能。



DMP (Digital Motion Processor) 是MPU6050中用于处理传感器数据的一个重要功能。DMP能够自动执行复杂的运动计算，提供更高效和准确的运动感知。具体来说，DMP采样包括以下几个方面：

#### 1. 数据融合：

- DMP能够将来自加速度计和陀螺仪的数据进行融合，计算出更准确的姿态信息（如倾斜角和旋转角度）。
- 通过使用传感器融合算法，DMP可以减少噪声和误差，提高数据的稳定性。

#### 2. 高频采样：

- DMP能够以高频率（如200 Hz或更高）处理数据，而主控器可以在较低频率下读取结果，从而降低CPU负担。
- 这意味着可以在短时间内捕捉快速变化的运动状态，适用于动态场景。

#### 3. 自动化处理：

- DMP可以执行复杂的数学运算，计算出四元数或欧拉角等输出，而主控器不需要参与这些计算，节省了处理时间和资源。

## 寄存器 26 - 配置

该寄存器配置外部帧同步（FSYNC）引脚采样和数字低通滤波器（DLPF）。

数字低通滤波器（Digital Low-Pass Filter）是一种信号处理工具，用于允许低频信号通过，同时抑制高频信号。它在各种应用中非常重要，例如音频处理、图像处理和数据平滑等。

### 1. 原理

低通滤波器的基本原理是根据频率选择性地减弱信号。通过设定一个截止频率（cut-off frequency），滤波器能够保留低于该频率的信号成分，而衰减高于该频率的成分。

通过配置 EXT\_SYNC\_SET，可对连接到 FSYNC 引脚的外部信号进行采样。

FSYNC 引脚的信号变化会被锁存，以便捕捉短频闪。锁存的 FSYNC 信号将按照寄存器 25 中定义的采样率进行采样。采样后锁存器将复位到当前 FSYNC 信号状态。

采样值将代替传感器数据寄存器中的最小有效位进行报告。

传感器数据寄存器中的最小有效位，由 EXT\_SYNC\_SET 的值决定，如下表所示。

EXT\_SYNC\_SET FSYNC 位位置

EXT_SYNC_SET	FSYNC Bit Location
0	Input disabled
1	TEMP_OUT_L[0]
2	GYRO_XOUT_L[0]
3	GYRO_YOUT_L[0]
4	GYRO_ZOUT_L[0]
5	ACCEL_XOUT_L[0]
6	ACCEL_YOUT_L[0]
7	ACCEL_ZOUT_L[0]

DLPF 由 DLPF\_CFG 配置。根据 DLPF\_CFG 的值对加速度计和陀螺仪进行滤波。如下表所示，



The DLPF is configured by *DLPF\_CFG*. The accelerometer and gyroscope are filtered according to the value of *DLPF\_CFG* as shown in the table below.

DLPF_CFG	Accelerometer (F <sub>s</sub> = 1 kHz)		Gyroscope		
	Bandwidth (Hz)	Delay (ms)	Bandwidth (Hz)	Delay (ms)	Fs (kHz)
0	260	0	256	0.98	8
1	184	2.0	188	1.9	1
2	94	3.0	98	2.8	1
3	44	4.9	42	4.8	1
4	21	8.5	20	8.3	1
5	10	13.8	10	13.4	1
6	5	19.0	5	18.6	1
7	RESERVED		RESERVED		8

Bit 7 and bit 6 are reserved.

(本次挑战点只配置DLPF用于减少加速度计和陀螺仪数据中的高频噪声，让数据更平滑)

DLPF设置选项：

- **不使用滤波器**：原始数据，无滤波。
- **5Hz**：适用于缓慢移动或静态场景，提供强滤波。
- **10Hz**：适合一般运动，平衡响应速度和噪声。
- **20Hz**：适用于快速动态情况，减少延迟。
- **42Hz**：提供更快的响应，但噪声较多。

)

## 寄存器 27 - 陀螺仪配置

GYRO\_CONFIG

类型：读/写

该寄存器用于触发陀螺仪自检和配置陀螺仪的满刻度范围。

陀螺仪自检允许用户测试陀螺仪的机械和电气部分。

每个陀螺仪轴的自检可通过控制 XG\_ST、YG\_ST 和 ZG\_ST 激活,每个轴的自检可独立执行或同时进行。(自测使能位)

激活自检后，板载电子元件将驱动相应的传感器。该驱动将使传感器的证明质点移动一段距离，该距离相当于预定义的科里奥力。

校准质量位移会导致传感器输出发生变化，并反映在输出信号中。  
反映在输出信号中。输出信号用于观察自检响应。

自检响应的定义如下：

自检响应 = 启用自检的传感器输出 - 未启用自检的传感器输出

每个陀螺仪轴的自检限制在 MPU-6000/MPU 的电气特性表中提供。

当自检响应值

自检响应值在产品规格的最小/最大限制范围内时，部件通过自检。

当自检响应值超过文件中规定的最小/最大值时，则认为部件自检失败。

FS\_SEL 根据下表选择陀螺仪输出的满刻度范围。（量程越大，范围越广，量程越小，分辨率越高）



FS_SEL	Full Scale Range
0	$\pm 250\text{ }^{\circ}/\text{s}$
1	$\pm 500\text{ }^{\circ}/\text{s}$
2	$\pm 1000\text{ }^{\circ}/\text{s}$
3	$\pm 2000\text{ }^{\circ}/\text{s}$

第 2 至 0 位为保留位。

参数：

XG\_ST 设置该位可使 X 轴陀螺仪执行自检。

YG\_ST 设置该位可使 Y 轴陀螺仪执行自检。

ZG\_ST 设置该位可使 Z 轴陀螺仪执行自检。

FS\_SEL 2 位无符号值。选择陀螺仪的满刻度范围。

(科里奥利力是一个虚拟力，出现在旋转参考系中，主要影响在旋转表面上运动的物体。它的存在是由于地球自转或其他旋转运动导致的。科里奥利力的大小与物体的速度和旋转速度有关，方向垂直于物体的运动方向和旋转轴。

在北半球，科里奥利力使物体向右偏转，而在南半球则向左偏转。这一力在气象学和航天学中尤为重要，影响气流和海洋洋流的运动。)

## 寄存器 28 - 加速计配置

ACCEL\_CONFIG

类型：读/写

该寄存器用于触发加速度计自检和配置加速度计满刻度范围。

该寄存器还可配置数字高通滤波器 (DHPF) 。

数字高通滤波器 (Digital High-Pass Filter, DHPF) 用于允许高频信号通过，同时抑制低频信号。这种滤波器在音频处理、图像处理和信号分析中具有重要应用。

### 1. 原理

高通滤波器的基本原理是通过设置截止频率，阻挡低于该频率的信号成分，而让高于该频率的信号成分通过。

加速度计自测试允许用户测试加速度计的机械和电气部分。

加速度计的机械和电气部分。可通过控制 XA\_ST、YA\_ST 和 ZA\_ST 激活每个加速度计轴的自检、每个轴的自检可单独进行，也可同时进行。

激活自检后，板载电子元件将驱动相应的传感器。这种驱动模拟外力。被驱动的传感器反过来将产生相应的输出信号。输出信号用于观察自检响应。

自检响应的定义如下：

自检响应 = 启用自检的传感器输出 - 未启用自检的传感器输出

MPU-6000/MPU 的电气特性表中提供了每个加速度计轴的自检限制。MPU-6000/MPU-6050 产品规格文件的电气特性表中提供。当自检响应值在产品规格的最小/最大限制范围内时，部件通过自检。当测试响应超过文件中规定的最小值/最大值时，则认为该部件 自检失败。

AFS\_SEL 根据下表选择加速度计输出的满刻度范围。

AFS_SEL	Full Scale Range
0	$\pm 2g$
1	$\pm 4g$
2	$\pm 8g$
3	$\pm 16g$

ACCEL\_HPF 配置通向运动检测器的路径中可用的 DHPF（自由落体、运动阈值和零运动）、高通滤波器输出不可用于数据寄存器。  
(请参见 MPU-6000/MPU-6050 产品规格文件第 8 节中的图)

- 高通滤波器有三种模式：
- 复位：滤波器输出在一个采样周期内归零。这将有效禁用高通滤波器。滤波器。可切换该模式以快速设置滤波器。
  - 开：高通滤波器将通过高于截止频率的信号。
  - 保持：触发时，滤波器保持当前采样。滤波器输出将是 输入采样与保持采样之间的差值。

ACCEL_HPF	Filter Mode	Cut-off Frequency
0	Reset	None
1	On	5Hz

2	On	2.5Hz
3	On	1.25Hz
4	On	0.63Hz
7	Hold	None

MPU6050中的数字高通滤波器（DHPF）主要用于去除传感器信号中的低频噪声和漂移，尤其是由于静止状态下的重力影响。通过过滤低频成分，DHPF可以提高陀螺仪和加速度计数据的精度，使其更适合于动态测量和运动检测。

信号的漂移指的是信号在长时间内出现的非预期变化或偏移，通常表现为基线的逐渐上升或下降。这种现象常见于传感器数据中，例如温度、压力或加速度测量。漂移可能由环境变化、传感器老化或温度影响等因素引起，导致测量结果不准确。

- 参数：
- XA\_ST 设置为 1 时，X 轴加速度计执行自检。
  - YA\_ST 设置为 1 时，Y 轴加速度计执行自检。
  - ZA\_ST 设置为 1 时，Z 轴加速度计执行自检。
  - ACCEL\_FS\_SEL 2 位无符号值。选择加速度计的满刻度范围。
  - ACCEL\_HPF 3 位无符号值。选择数字高通滤波器配置。

## 寄存器 55 - INT 引脚/旁路启用配置

INT\_PIN\_CFG  
类型：读/写

Register (Hex)	Register (Decimal)	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
37	55	INT_LEVEL	INT_OPEN	LATCH_INT_EN	INT_RD_CLEAR	FSYNC_INT_LEVEL	FSYNC_INT_EN	I2C_BYPASS_EN	CLKOUT_EN

该寄存器用于配置 INT 引脚上中断信号的行为。

该寄存器还用于启用 FSYNC 引脚作为主机应用处理器的中断，以及在 I2C 主控器的旁路模式。该位还可启用时钟输出。

FSYNC\_INT\_EN 将 FSYNC 引脚用作主机应用处理器的中断。

转换到 FSYNC\_INT\_LEVEL 中指定的有效电平将触发中断。

该中断的状态可从 I2C 主状态寄存器（寄存器 54）中的 PASS\_THROUGH 位读取。

（寄存器 54）中的 P\_THROUGH 位读取。

#### **Parameters:**

<b>INT_LEVEL</b>	When this bit is equal to 0, the logic level for the INT pin is active high. When this bit is equal to 1, the logic level for the INT pin is active low.
<b>INT_OPEN</b>	When this bit is equal to 0, the INT pin is configured as push-pull. When this bit is equal to 1, the INT pin is configured as open drain.
<b>LATCH_INT_EN</b>	When this bit is equal to 0, the INT pin emits a 50us long pulse. When this bit is equal to 1, the INT pin is held high until the interrupt is cleared.
<b>INT_RD_CLEAR</b>	When this bit is equal to 0, interrupt status bits are cleared only by reading INT_STATUS (Register 58) When this bit is equal to 1, interrupt status bits are cleared on any read operation.
<b>FSYNC_INT_LEVEL</b>	When this bit is equal to 0, the logic level for the FSYNC pin (when used as an interrupt to the host processor) is active high. When this bit is equal to 1, the logic level for the FSYNC pin (when used as an interrupt to the host processor) is active low.
<b>FSYNC_INT_EN</b>	When equal to 0, this bit disables the FSYNC pin from causing an interrupt to the host processor. When equal to 1, this bit enables the FSYNC pin to be used as an interrupt to the host processor.
<b>I2C_BYPASS_EN</b>	When this bit is equal to 1 and I2C_MST_EN (Register 106 bit[5]) is equal to 0, the host application processor will be able to directly access the auxiliary I <sup>2</sup> C bus of the MPU-60X0. When this bit is equal to 0, the host application processor will not be able to directly access the auxiliary I <sup>2</sup> C bus of the MPU-60X0 regardless of the state of I2C_MST_EN (Register 106 bit[5]).
<b>CLKOUT_EN</b>	When this bit is equal to 1, a reference clock output is provided at the CLKOUT pin. When this bit is equal to 0, the clock output is disabled. For further information regarding CLKOUT, please refer to the MPU-60X0 Product Specification document.

I2C\_BYPASS\_EN:当该位等于 1 且 I2C\_MST\_EN（寄存器 106 位[5]）等于 0 时，主机应用处理器可直接访问辅助 I2C 总线。I2C 总线。

当该位等于 0 时，主机应用处理器将无法直接访问 MPU-60X0 的辅助 I2C 总线。

当该位等于 0 时，无论 I2C\_MST\_EN 的状态如何，主机应用处理器都不能直接访问 MPU-60X0 的辅助 I2C 总线。



MPU6050的旁路模式 (Bypass Mode) 是一种工作模式，主要用于简化与其他I2C设备的通信。在这种模式下，MPU6050的I2C主从功能会被配置为旁路模式，允许外部I2C设备直接与主控制器进行通信，而不经MPU6050。这种模式的特点和用途包括：

**1. 简化通信：**

- 当有多个I2C设备需要连接到同一个主控制器时，旁路模式允许其他I2C设备直接与主控制器通信，减少了通过MPU6050的复杂性。

**2. 提高带宽：**

- 通过绕过MPU6050进行数据传输，减少了不必要的数据传输延迟，从而提高了整体系统的通信效率。



辅助I2C总线 (Auxiliary I2C Bus) 是MPU6050中的一个特性，用于与其他I2C设备进行通信。它提供了一条额外的I2C接口，主要用于与传感器或其他外部设备进行连接。以下是辅助I2C总线的一些关键点：

**1. 功能：**

- 辅助I2C总线允许MPU6050与其他I2C兼容的传感器或设备进行通信，而无需通过主控制器。这使得多传感器系统的设计变得更简单和高效。

**2. 旁路模式：**

- 在使用辅助I2C总线时，MPU6050可以配置为旁路模式，使得数据直接通过辅助总线传输。这意味着外部I2C设备可以直接与主控制器通信，而不需要通过MPU6050进行数据转发。

**3. 多设备连接：**

- 辅助I2C总线可以连接多个设备，主控制器只需处理一个主I2C总线，而将其他设备连接到辅助总线上，从而减少了主I2C总线的负担。

有关旁路模式的更多信息，请参阅《MPU-6000/MPU-6050 产品手册》第 7.11 和 7.13 节。  
6000/MPU-6050 产品规格文件第 7.11 和 7.13 节。

## 寄存器 106 - 用户控制

USER\_CTRL

类型: 读/写

该寄存器允许用户启用或禁用 FIFO 缓冲器、I2C 主模式和主 I2C 接口。还可使用该寄存器复位 FIFO 缓冲器、I2C 主模式、传感器信号路径和传感器寄存器。

还可使用该寄存器重置 FIFO 缓冲器、I2C 主模式、传感器信号路径和传感器寄存器。

当 I2C\_MST\_EN 设置为 1 时，启用 I2C 主模式。

在该模式下，MPU-60X0 作为 I2C 主设备连接辅助 I2C 总线上的外部传感器从设备。将该位清零为 0 时，辅助 I2C 总线线路 (AUX\_DA 和 AUX\_CL) 逻辑上由主 I2C 总线 (SDA 和 SCL) 驱动。(SDA 和 SCL) 驱动。这是启用旁路模式的前提条件。有关旁路模式的更多信息

旁路模式的更多信息，请参阅寄存器 55。

MPU-6000：当 I2C\_IF\_DIS 设置为 “0” 时，主 SPI 接口将取代禁用的主 I2C 接口被启用。  
当 I2C\_IF\_DIS 设置为 1 时，将启用主 SPI 接口，以取代禁用的主 I2C 接口。

MPU-6050: 始终将 I2C\_IF\_DIS 写为 0。

当复位位 (FIFO\_RESET、I2C\_MST\_RESET 和 SIG\_COND\_RESET) 设置为 1 时, 这些复位位将触发复位。

复位位将触发复位, 然后清零。

第 7 位和第 3 位为保留位。

参数:

FIFO\_EN 设置为 1 时, 该位启用 FIFO 操作。

当该位清零为 0 时, FIFO 缓冲器被禁用。FIFO 缓冲器

在禁用状态下, 无法对其进行写入或读取。

除非 MPU-60X0 电源循环, 否则 FIFO 缓冲器的状态不会改变。

I2C\_MST\_EN

I2C\_MST\_EN 设置为 1 时, 该位启用 I2C 主模式。

I2C 主模式。

将该位清零为 0 时, 辅助 I2C 总线线路 (AUX\_DA 和 AUX\_CL) 在逻辑上被清零。

AUX\_CL) 逻辑上由主 I2C 总线 (SDA 和 SCL) 驱动。

i2c\_if\_dis mpu-6000: 当设置为 1 时, 该位将禁用主 I2C 接口并启用 SPI 接口。

该位设置为 1 时, 将禁用主 I2C 接口并启用 SPI 接口。

MPU-6050: 始终将该位写为 0。

FIFO\_RESET 该位设置为 1 时重置 FIFO 缓冲器, 同时 FIFO\_EN 等于 0。

位在触发复位后自动清零。

I2C\_MST\_RESET 该位在 I2C\_MST\_EN 等于 0 时设置为 1 时复位 I2C 主站。

触发复位后, 该位自动清零。SIG\_COND\_RESET 设置为 1 时, 该位将重置所有传感器 (陀螺仪、加速度计和温度传感器) 的信号路径、

加速度计和温度传感器) 的信号路径。该操作还将清除

传感器寄存器。触发复位后, 该位将自动清零。

触发。

仅复位信号路径 (而非传感器寄存器) 时, 请使用寄存器 104 SIGNAL\_PATH\_RESET。

使用寄存器 104 SIGNAL\_PATH\_RESET。

## 寄存器 107 - 电源管理

PWR\_MGMT\_1

类型: 读/写

该寄存器允许用户配置电源模式和时钟源。它还提供了一个用于复位整个设备的位, 以及禁用温度传感器的位。

将 SLEEP 设为 1, MPU-60X0 可进入低功耗睡眠模式。当 CYCLE 设置为 1 时, MPU-60X0 将进入循环模式。在循环模式下, 设备在睡眠模式和唤醒模式之间循环, 以 LP\_WAKE 所确定的速率从活动传感器采集单个数据样本。

唤醒频率由 LP\_WAKE\_CTRL 寄存器 (寄存器 108) 决定。要配置唤醒频率, 请使用电源管理 2 寄存器 (寄存器 108) 中的 LP\_WAKE\_CTRL。可选择内部 8MHz 振荡器、基于陀螺仪的时钟或外部时钟源作为 MPU-60X0 时钟源。当选择内部 8MHz 振荡器或外部时钟源作为时钟源时, MPU-60X0 将自动关闭。

MPU-60X0 可在禁用陀螺仪的低功耗模式下运行

上电时, MPU-60X0 时钟源默认为内部振荡器。

不过，强烈建议将设备配置为使用其中一个陀螺仪（或外部时钟源）作为时钟基准，以提高稳定性。可根据下表选择时钟源。

CLKSEL	Clock Source
0	Internal 8MHz oscillator
1	PLL with X axis gyroscope reference
2	PLL with Y axis gyroscope reference
3	PLL with Z axis gyroscope reference
4	PLL with external 32.768kHz reference
5	PLL with external 19.2MHz reference
6	Reserved
7	Stops the clock and keeps the timing generator in reset

第 4 位保留。

## 寄存器 108 - 电源管理 2

PWR\_MGMT\_2

类型：读/写

该寄存器允许用户配置仅加速度计低功耗模式下的唤醒频率。

该寄存器还允许用户将加速度计和陀螺仪的单个轴 陀螺仪进入待机模式。

通过将电源管理 1 寄存器（寄存器 107）中的 PWRSEL 设置为 1，MPU-9150 可进入仅加速计低功耗模式。在此模式下，设备将关闭除主 I2C 接口、主 I2C 接口、主 I2C 接口和主 I2C 接口之外的所有设备的电源。仅在固定时间间隔内唤醒加速度计进行单次测量。

唤醒频率可通过 LP\_WAKE\_CTRL 进行配置，如下图所示。

LP_WAKE_CTRL	Wake-up Frequency
0	1.25 Hz
1	2.5 Hz
2	5 Hz
3	10 Hz

有关 MPU-9150 电源模式的更多信息，请参阅寄存器 107。  
用户可以通过该寄存器将加速度计和陀螺仪的各个轴设置为待机模式。

如果设备使用陀螺仪轴作为时钟源，而该轴被置于待机模式，则时钟源将自动关闭,时钟源将自动更改为内部 8MHz 振荡器。

参数：

LP\_WAKE\_CTRL 2 位无符号值。

指定仅加速度计低功耗模式下的唤醒频率。

模式。

STBY\_XA 设置为 1 时，该位将使 X 轴加速度计进入待机模式。

STBY\_YA 设置为 1 时，该位使 Y 轴加速度计进入待机模式。

STBY\_ZA 设置为 1 时，该位将 Z 轴加速度计置于待机模式。

STBY\_XG 设置为 1 时，该位将使 X 轴陀螺仪进入待机模式。



STBY\_YG 设置为 1 时，该位将 Y 轴陀螺仪置于待机模式。  
STBY\_ZG 设置为 1 时，该位将 Z 轴陀螺仪置于待机模式。

## MS5611

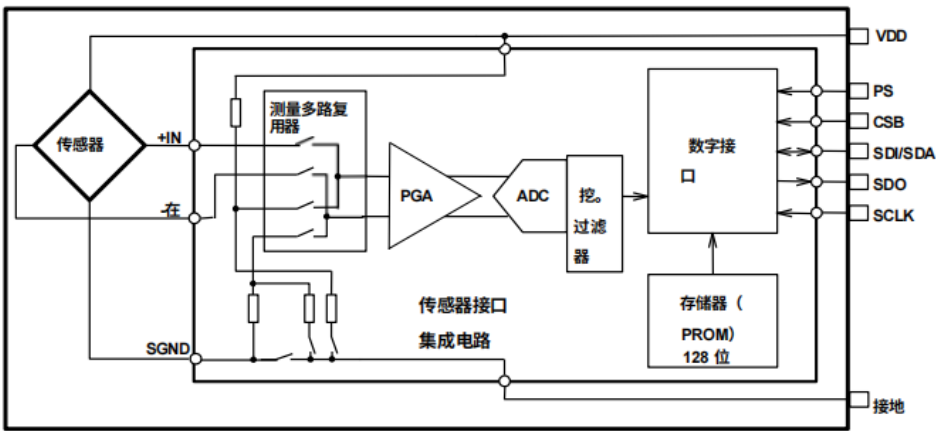
### 原理

MS5611-01BA01 是一种高精度气压传感器，广泛用于气压和高度测量。它的工作原理主要基于压阻效应和温度补偿技术。以下是它的基本原理和特性：

- 1. **压阻效应**：传感器内部使用了一种压阻元件，能够在施加压力时产生电阻变化。这种变化与施加的压力成正比，使得可以通过测量电阻变化来确定气压。
- 2. **温度补偿**：由于温度变化会影响传感器的读数，MS5611 内置有温度传感器，可以实时监测环境温度并进行补偿，以提高测量精度。
- 3. **数字输出**：MS5611 使用 I2C 或 SPI 通信协议，将处理后的气压和温度数据以数字形式输出，便于与微控制器等设备进行数据交换。
- 4. **高度计算**：根据气压变化，可以通过气压公式计算出高度，常用于无人机、气象仪器和航天器等应用。

## MS5611-01BA01 变量计模块，带 LCP 帽

### 功能框图



### 总论

MS5611-01BA 由一个压阻传感器和一个传感器接口 IC 组成。MS5611-01BA 的主要功能是将压阻压力传感器的未补偿模拟输出电压转换为 24 位数字值，并为传感器的温度提供 24 位数字值。

### 出厂校准

每个模块都在出厂前分别在两种温度和两种压力下进行了校准。因此，每个模块的 128 位 PROM 中都计算并存储了补偿工艺变化和温度变化所需的 6 个系数。微控制器软件必须读取这些位（分为 6 个系数），并在将 D1 和 D2 转换为压力和温度补偿值的程序中使用。



(PROM (可编程只读存储器) 是一种可通过特定方法编程的存储器, 它在制造时空, 用户可以将数据写入其中。编程后, 数据将永久保存, 无法更改。PROM主要用于存储固件和其他不需要频繁更新的数据。)

I<sup>2</sup>C 模式

外部微控制器通过输入 SCLK (串行 CLock) 和 SDA (串行 DAta) 对数据进行时钟输入。传感器通过同一引脚 SDA 响应, 该引脚是 I<sup>2</sup>C 总线接口的双向引脚。因此, 这种接口类型只使用 2 条信号线, 不需要芯片选择, 有利于减少电路板空间。在 I<sup>2</sup>C 模式下, 引脚 CSB (芯片选择) 的补码代表 I<sup>2</sup>C 地址的 LSB。可以在 I<sup>2</sup>C 总线上使用具有两个不同地址的两个传感器。引脚 CSB 应连接至 VDD 或 GND (切勿未连接! )。

指令

MS5611-01BA 只有五条基本命令:

- 1. 重置
- 2. 读取 PROM (128 位校准字)
- 3. D1 转换
- 4. D2 转换
- 5. 读取 ADC 结果 (24 位压力/温度)

I<sup>2</sup>C 接口

指令

每个 I<sup>2</sup>C 通信信息以启动条件开始, 以停止条件结束。MS5611-01BA 的地址为 111011Cx, 其中 C 为引脚 CSB 的互补值。由于集成电路内部没有微控制器, 因此 I<sup>2</sup>C 和 SPI 的命令非常相似。

重置序列

复位可随时发送。如果上电复位不成功, 可能是由于 SDA 在确认状态下被模块阻塞。使 MS5611-01BA 正常工作的唯一方法是发送数个 SCLK, 然后发送复位序列或重复上电复位。

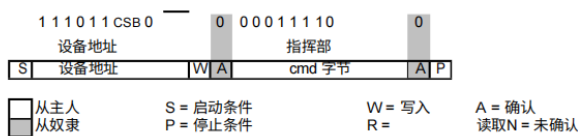


图 10: I<sup>2</sup>C 复位命令

转换序列

向 MS5611-01BA 发送命令即可开始转换。命令发送到系统后，系统会一直处于忙碌状态，直到转换完成。转换完成后，可通过发送 "读取" 命令访问数据，当 MS5611-01BA 发出确认信号时，可发送 24 个 SCLK 周期以接收所有结果位。系统每隔 8 位等待一个确认信号。

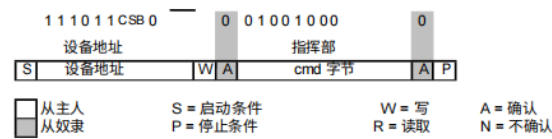


图 13: I<sup>2</sup>C 命令启动压力转换 (OSR=4096, typ=D1)

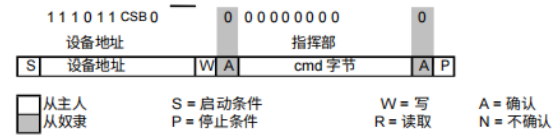


图 14: I<sup>2</sup>C ADC 读取序列

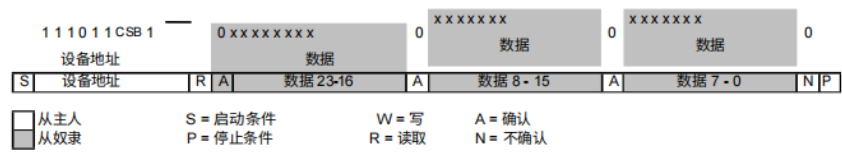


图 15: 来自 MS5611-01BA 的 I<sup>2</sup>C 答案