

FCM8201 应用手册

三相正弦波直流无刷电机控制器

简介

FCM8201 是一 120° 转子磁极位置侦测的三相正弦波/方波驱动的直流无刷电机(BLDC Motor)控制器。只需非常精简的几颗周边组件,就可单独(stand-alone)的控制直流无刷电机运转。也可配合微控制器(Microcontroller)执行复杂的电机控制应用。适合应用于风扇、抽水/油泵、工具机具等不同产品类型的电机控制。具有以下特点:

- 空间矢量调制(Space Vector Modulation)的正弦波 PWM 输出; 具有超静音的电机驱动特性。
- 同时支持正弦波与方波电机驱动方案; 可适用于多样的产品应用。
- 内置工作时钟发生器; 不必使用晶体或陶瓷振荡器,让产品的成本更具竞争力。
- 内置误差放大器(Error Amplifier); 可支持定扭力控制的产品应用。
- 支持串行埠接口(Serial Port Interface); 可搭配微控制器(Microcontroller)执行更高阶控制应用。
- 可编程控制的电流引导相位(Current Leading Phase)校正; 可让正弦波驱动的效率更高。
- 可编程控制的死区时间(Dead Time)调整; 可降低 Power MOSFETs 的交换损耗。
- 提供完整的驱动电路保护方案; 包含过电压、过电流、过温度、霍尔信号错误等多重保护,提高系统的可靠度。

系统工作时钟与 PWM 频率

FCM8201 内置了时钟发生器(Clock Generator),不需外加石英晶体(Crystal)和电容器(Capacitors),只需一颗电阻器(R_CLK)选择工作频率,就可自我产生系统工作时钟(System Clock)和脉波宽度调变的工作频率(PWM Frequency)。

FCM8201 的系统工作时钟可工作在 960 KHz ~ 1920 KHz 的频率范围内。PWM 的频率则是系统工作时钟的 1/64,当系统工作时钟设定在 960 KHz 时,PWM 频率就等于 $960\text{ KHz} \div 64 = 15\text{ KHz}$,若系统工作时钟设定为 1920 KHz 时 PWM 频率就等于 30 KHz。因此,PWM 频率的工作范围也就等于 15 KHz ~ 30 KHz。

FCM8201 是以 $R_CLK=12\text{ K}\Omega$ 时,系统工作时钟应该为 1280 KHz,PWM 频率等于 20 KHz 为基准。所以,若要使 FCM8201 操作在不同的系统工作时钟,可用以下的公式(1)来决定 R_CLK 的阻值:

$$R_CLK = 12\text{K}\Omega \times \frac{1280\text{KHz}}{F_{SYS}} \quad (1)$$

若要改采 PWM 频率来决定系统工作频率,则可用以下的公式(2)来选择 R_CLK 的阻值:

$$R_CLK = 12\text{K}\Omega \times \frac{20\text{KHz}}{F_{PWM}} \quad (2)$$

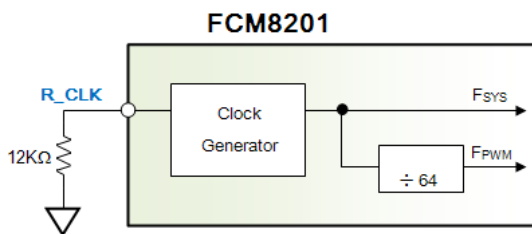


Figure 1. Clock Generator

PWM 工作周期的控制

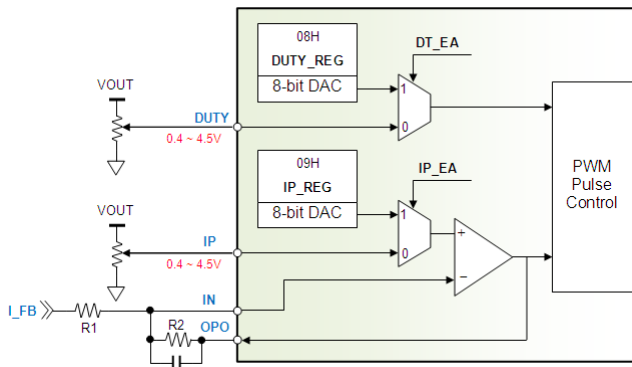


Figure 2. Block Diagram of PWM Duty Control

FCM8201 的 PWM 工作周期 (Duty)，可由两个不同的控制路径所决定。主要的控制路径是来自外部的 DUTY pin 或是内部的 DUTY_REG 缓存器，经过 DAC 转换后的电压准位所决定。一般应用的条件下，通常会把这个控制路径作为电机转速的控制设定。

另一个控制路径则是由外部的 IP pin 或内部的 IP_REG 缓存器经 DAC 转换后的准位，再经由误差放大器(Error Amplifier)与 IN pin 相比后的差额放大电压所决定。通常此控制路径可作为扭力回路的控制设定或是电机最大输出的限制设定。基本的应用电路如 Figure 2所示，差额放大的增益倍率等于 $R2 \div R1$ 。关于此 Error Amplifier 的应用，后面的电流反馈章节会做更详细的介绍。

两个控制路径的输入电压范围都是 $0.5\text{ V} \sim 4.5\text{ V}$ ，而且两个是同时一起作用，谁的电压位准低，就由谁决定真正的 PWM 工作周期输出。 0.5 V 以下是零工作周期 (zero duty)， 4.5 V 是最大工作周期(full duty)。所以，若有不需使用到两个 PWM Duty 控制路径的情况下，

务必将不使用的控制路径设定在 4.5 V ，以免影响到另一个控制路径的操作范围。

方波 PWM 电机驱动

FCM8201 支持两种方波 PWM 切换 (square-wave PWM commutation) 模式：“PWM-PWM” 和 “PWM-ON” 两种。

FCM8201 一律以 “PWM-PWM” 切换的方波驱动方式启动电机运转，在独立操作 (stand-alone) 的模式下，只要电机运转的状况符合正弦波驱动的条件，FCM8201 就会自动进入正弦波驱动模式。

若是操作在 SPI 控制模式下，在电机启动后则可由微控制器自由的选择，继续维持在 “PWM-PWM” 切换或转变成 “PWM-ON” 切换的方波驱动，或者进入正弦波驱动。

方波驱动之 “PWM-PWM” 切换

120° 的转子磁极位置侦测方式，每个 N-S 的 360° 循环在三个霍尔传感器上，只会出现六种信号变化。如 Figure 3所示，只要根据这六种信号变化在定子的三相绕组上，提供对应的电流方向，就可产生旋转的磁场，吸引转子转动。每一种霍尔信号都会对应一种 PWM 输出形式，共有六种不同的 PWM 输出形式在 360° 中，每 60° 切换一次。所以，又称为六步 (six-step) 方波驱动。

从 Figure 3的右侧波形，可看出这种六步方波的输出方式。都是三相中的其中一相连续 120° (两步) 输出 PWM，另外两相则各自在不同的 60° 下桥导通。因为每相都是连续两步输出 PWM，所以简称它为 “PWM-PWM” 切换模式。

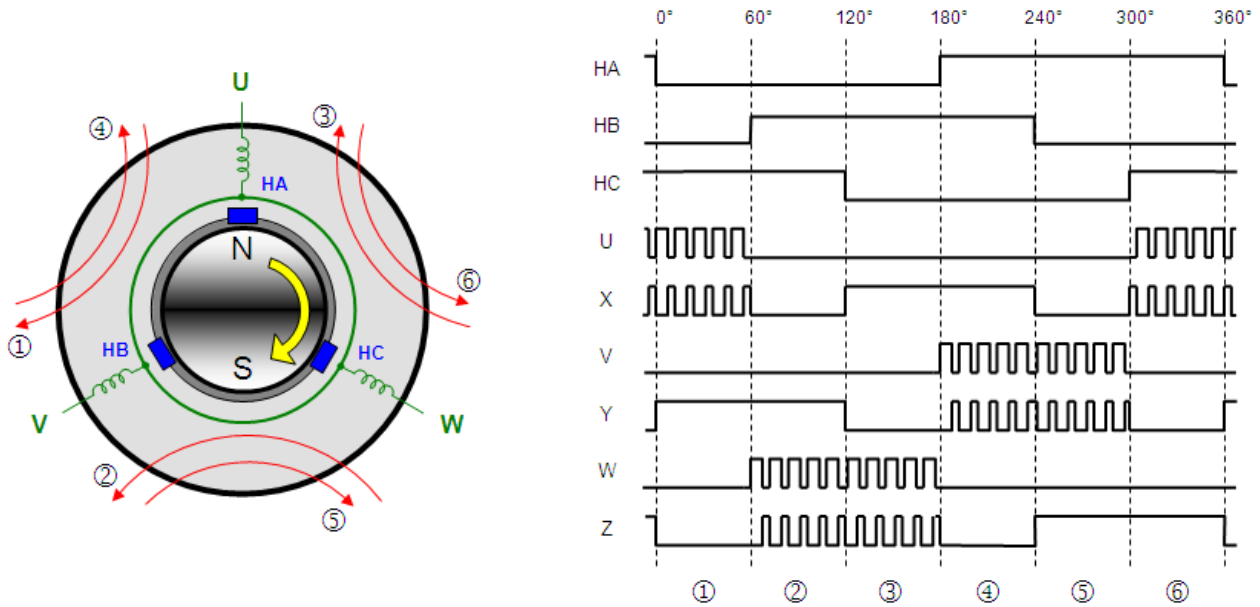


Figure 3. “PWM-PWM” Commutation @ CW/CCW=1

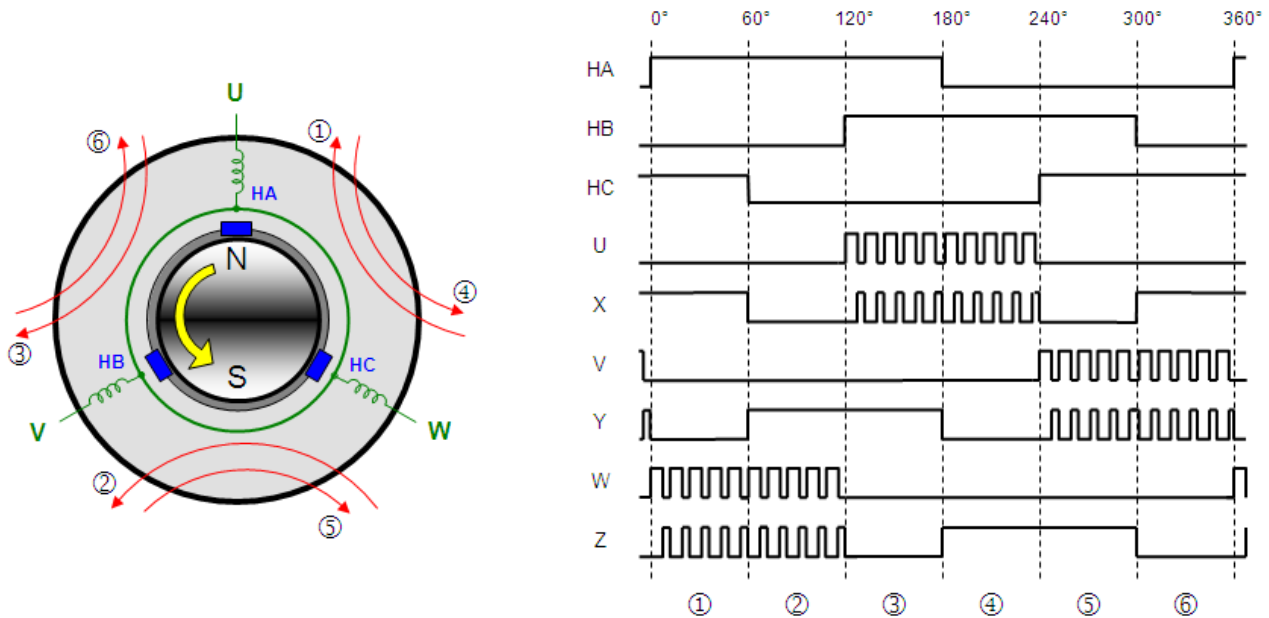


Figure 4. “PWM-PWM” Commutation @ CW/CCW=0

采用“PWM-PWM”切换模式的情况下，非常方便使用高压侧驱动 IC (high/low-side driver) 搭配上/下桥都是 N-Channel MOSFET 或 IGBT 做为电机的驱动电路。因为上桥在任一换相周期内不会持续导通，而且上桥关闭时其同相的下桥会导通，执行同步整流提高效率。此时高压侧驱动 IC 的自举 (bootstrap) 电路也有机会充电，可以持续补充能量驱动 MOSFET。

使用这种切换方式的 PWM 输出，虽然驱动电路会比较简单，而且不用担心上桥 MOSFET 可能会出现无法开启或导通不完全的现象。不过，它却会在两步连续输出

PWM 的中间，另外两相下桥交换导通的瞬间，出现负电流回流电源端，如 Figure 5- (c) 所示。而该负电流正是方波驱动的主要噪音来源之一。

此负电流的产生原因，是因为 U-phase 输出 PWM 时，从 W-phase 下桥导通要切换到 V-phase 下桥导通的瞬间。当 W-phase 的下桥关闭，而且 U-phase 的 PWM 亦为关闭的时候，U-phase 和 W-phase 的电感呈现逆向极性，将原本储存于电感中的能量，以负向电流 I_{W-U} 经由 W-phase 上桥 MOSFET 的内藏二极管流回电源端。

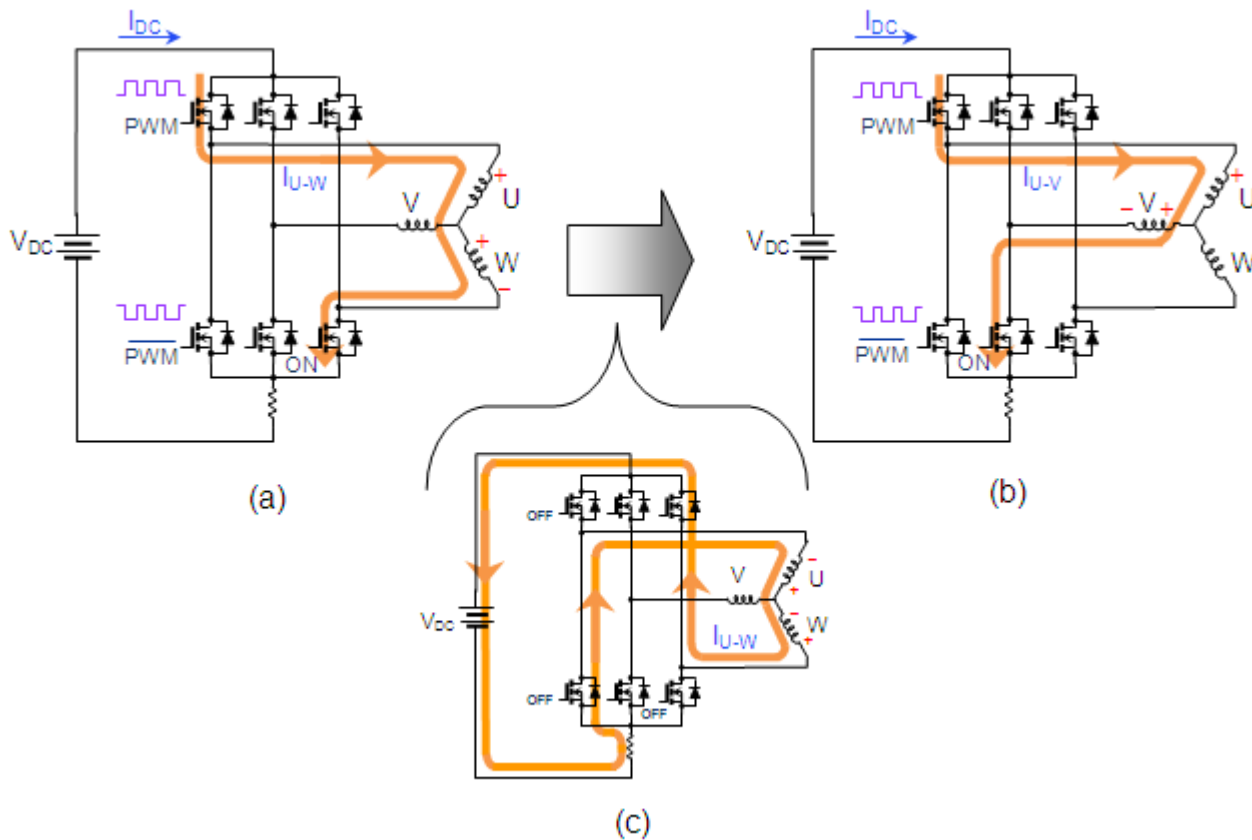


Figure 5. The Commutation Between U-W into U-V

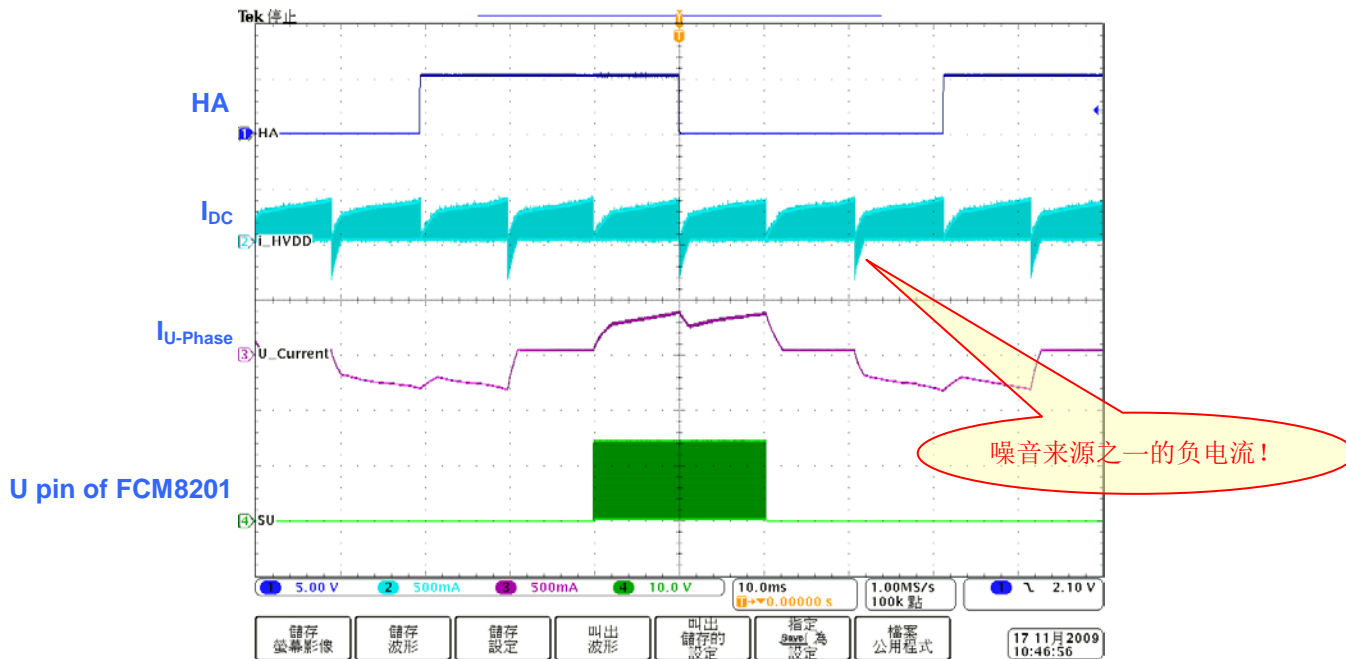


Figure 6. Current Waveform of “PWM-PWM” Commutation

方波驱动之“PWM-ON”切换

为避免“PWM-PWM”切换方式的负电流产生，同时降低方波驱动的噪音。FCM8201 特别提供“PWM-ON”的切换输出方式。由 Figure 7 可看出“PWM-PWM”与“PWM-ON”差异的地方，在于 Step-2/4/6 要切换到 Step-3/5/1 的时候，原本输出 PWM 的相位的上桥 MOSFET 会直接变成完全导通的状态，同时改由另外

一相的下桥输出 PWM。因此就不会造成三相绕组的电感，出现逆向极性的状况而产生负向电流。而且，依然保有与“PWM-PWM”相同的电流方向和磁场。

因为这种切换方式的每一相输出，都是先上桥输出 PWM，然后切换到下一步时，则上桥就变成完全 turn ON 的状态，所以我们简称它叫“PWM-ON”切换模式。

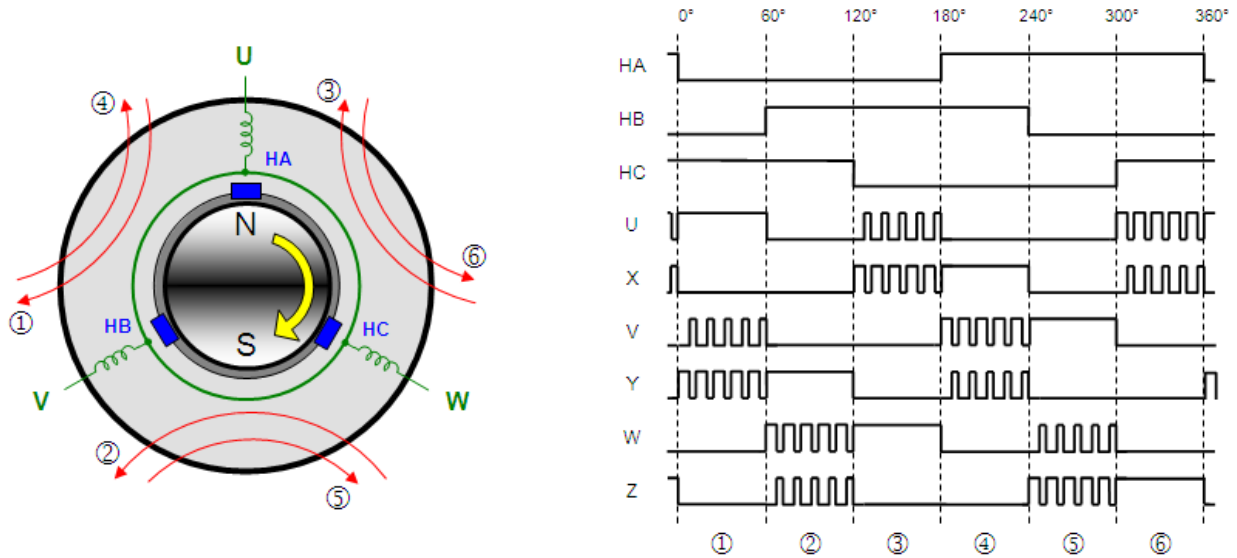


Figure 7. “PWM-ON” Commutation @ CW/CCW=1

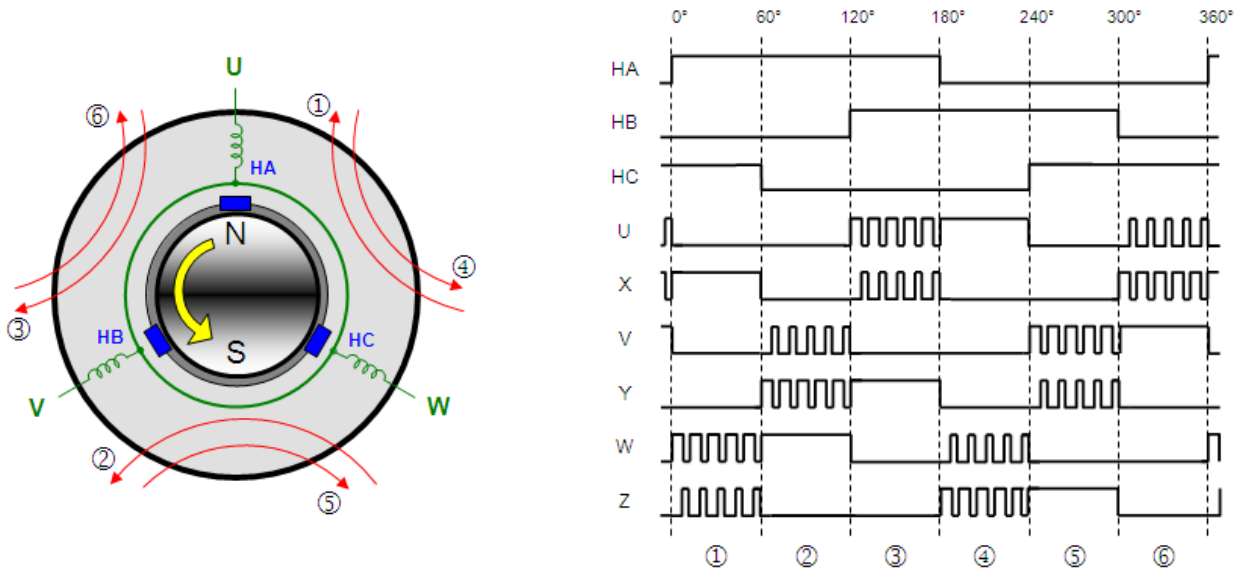


Figure 8. “PWM-ON” Commutation @ CW/CCW=0

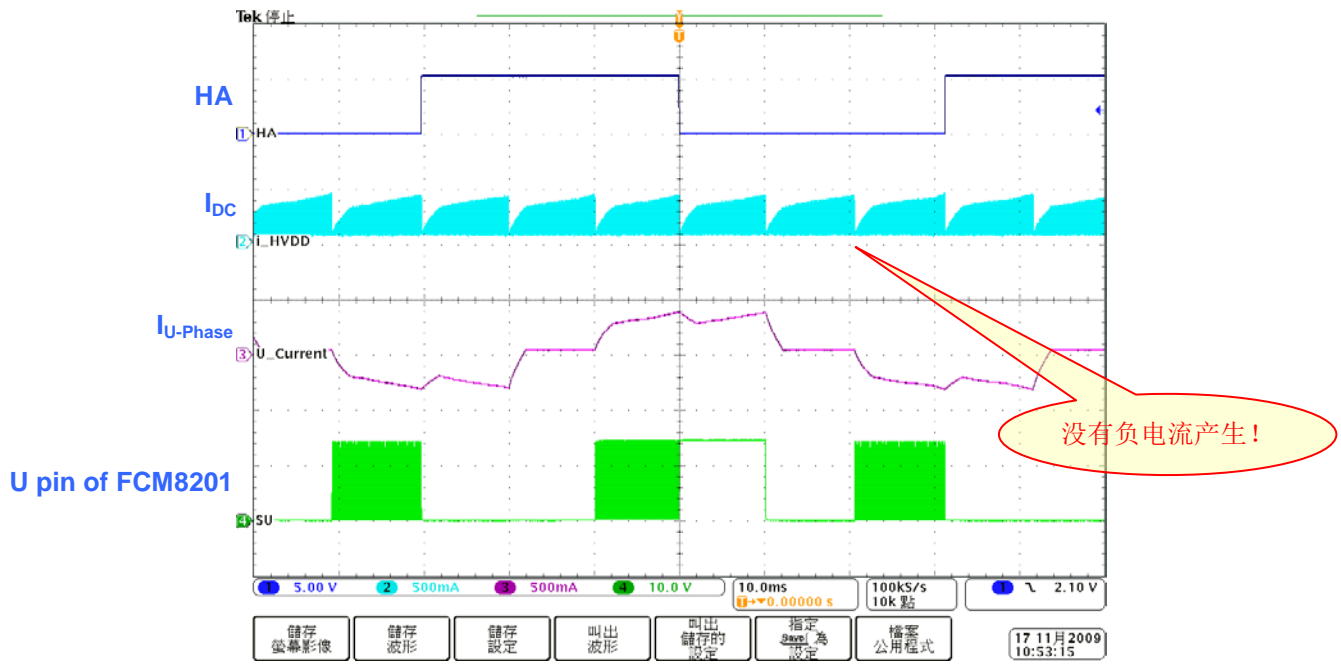


Figure 9. Current Waveform of “PWM-ON” Commutation

正弦波 PWM 电机驱动

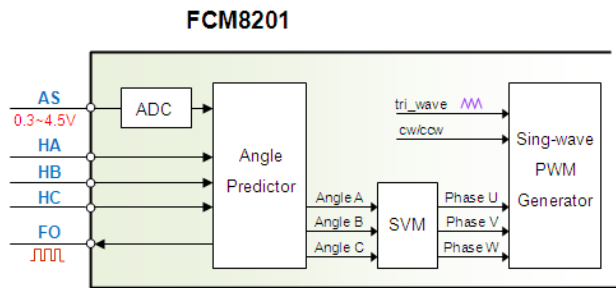


Figure 10. Block Diagram of Sine-Wave Generation

FCM8201 的正弦波驱动电路主要由：角度预测器 (angle predictor)、空间矢量调制 (space vector modulation, SVM)、正弦波 PWM 产生器 (sine-wave PWM generator) 三个模块所构成。

角度预测器是以霍尔输入信号 (HA/B/C) 每 60° 电气角的变化作为预测的基准。在系统工作频率为 1.28 MHz 的情况下，可操作的霍尔信号频率范围，区分成三个速度范围，可由 ANG_REG 缓存器的 ARNG[1:0] 两个位来选择，如 Table 1 所示。

当角度预测器的预测角度与霍尔信号一致时，FCM8201 才会允许切换到正弦波驱动模式。FCM8201 开机后的内定频率范围是 0.8 ~ 80 Hz，所以在 Stand-alone 操作模式下，若以两极的电机来计算，可运转于正弦波驱动的转速范围等于 48 ~ 4800 转。

Table 2. Sine-Wave Active/Inactive Conditions

Angle Predict	AS Pin / ANG[4:0]	DUTY Pin / DUTY[7:0]	SIN_MAU (b7/SVM_REG)	SIN_EA (b6/SVM_REG)	PMOD (b7/PWM_REG)	Sine-Wave
Hit	> 0.3 V	> 0.75 V	0	X	0	Active
Miss	> 0.3 V	> 0.75 V	0	X	0	Inactive
X	X	X	1	1	0	Active
X	X	X	X	X	1	Inactive
X	X	X	1	0	0	Inactive
X	X	< 0.65 V	0	X	0	Inactive
X	< 0.2 V	X	0	X	0	Inactive

Table 1. Predict Range vs. Motor Revolution

ARNG[1:0]	Hall Freq.	Revolution of 2 Poles Motor
0, 0	0.8 ~ 80Hz	48 ~ 4800 rpm
0, 1	0.4 ~ 40 Hz	24 ~ 2400 rpm
1, x	3.2 ~ 320 Hz	192 ~ 19200 rpm

若是其它非两极的电机，可利用以下公式(3)求出可运转于正弦波驱动的电机转速：

$$RPM = \frac{Hall_Freq. \times 60}{Poles \div 2} \quad (3)$$

* Poles = 电机极数

FCM8201 启动正弦波驱动共有三个主要条件：1. 角度预测的结果，2. AS pin 或 ANG[4:0] 的电压准位，3. DUTY pin 或 DUTY[7:0] 的电压准位。以上三个条件必须同时成立，FCM8201 才能自动转换为正弦波驱动。在 SPI 控制模式下，另外有三个控制位 (SIN_MAU, SIN_EA, PMOD) 可强制的切换正弦波或方波驱动，不受以上三个条件的限制。详细的操作状态如下 Table 2 所示：

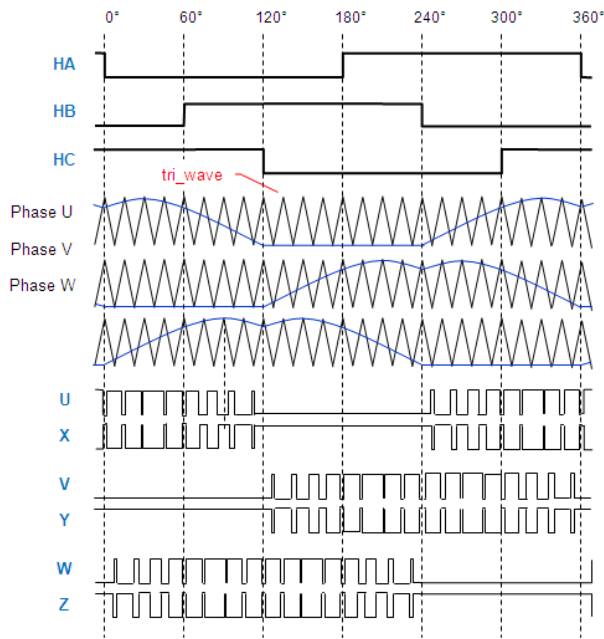


Figure 11. Sine-Wave Output @ CW/CCW=1

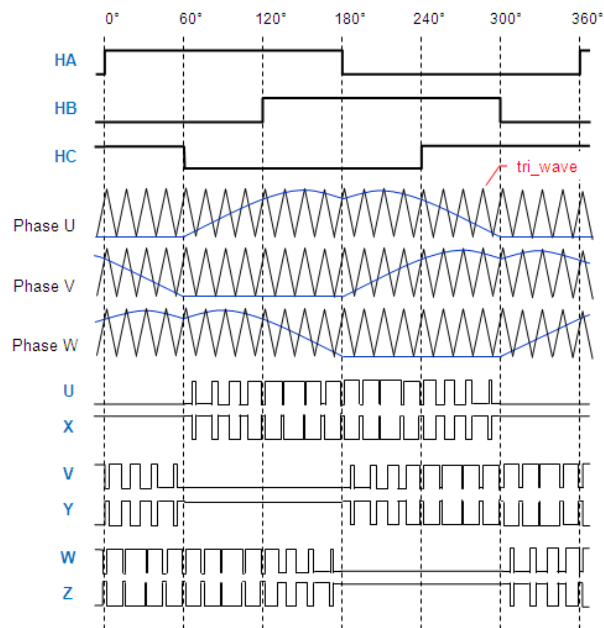


Figure 12. Sine-Wave Output @ CW/CCW=0

Figure 11 和 Figure 12所描绘的是实际的正弦波 PWM 驱动的输出波形。空间矢量调制(SVM)模块会依照来自角度预测器的角度输出信号 Angle A, B, C，调变输出 Phase U, V, W 三个信号给正弦波 PWM 产生器，然后正弦波 PWM 产生器再将 SVM 的调变信号与 PWM 三角波(tri_wave)相比后，由 U, X, V, Y, W, Z pins 输出可产生正弦波电流驱动的 PWM 波形。

电流领导相位(Current Leading Phase)校正

FCM8201 的角度预测器，除了担任角度预测的工作外，同时也具备角度位移(angle shift)的功能。

由于定子绕组的电感特性，实际流入三相线圈的正弦波电流，将会落后三相输入电压一个角度 $\Delta\theta$ (如 Figure 13 所示)。而导致正弦波电流无法与反电动势同相，以致于输出效率无法完全发挥。

FCM8201 可藉由 AS pin 或 ANG_REG 缓存器的电压准位，将输出电压的角度提前 $0^\circ \sim 58^\circ$ 。一旦电压角度提前，电流相位的角度也会跟着提前，因此电流相位就不会落后反电动势，而造成电机的输出效率降低。

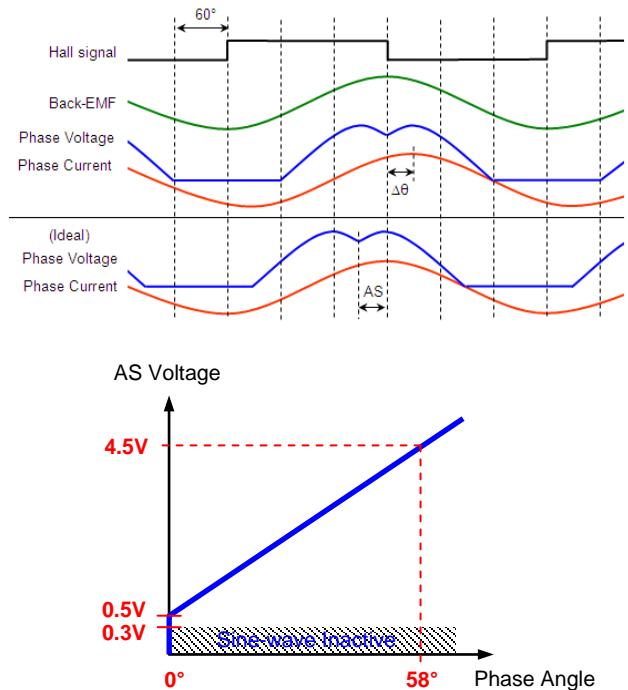


Figure 13. Current Leading Phase Correction

AS 功能的电路设计与电流角度之校正方法

步骤一、设计 AS 应用电路

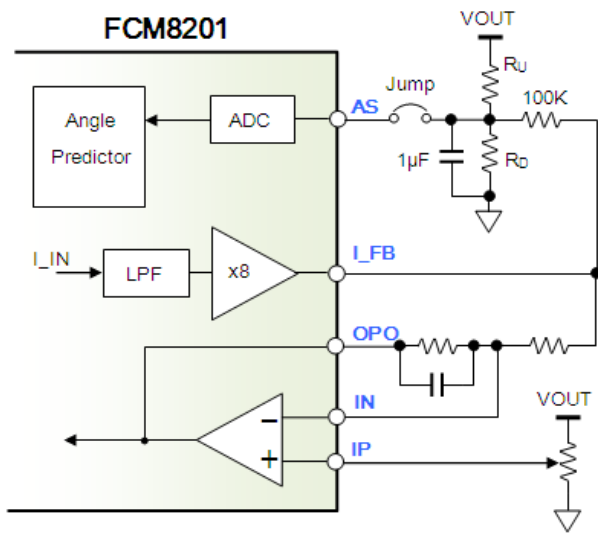


Figure 14. Stand-Alone Application of AS Function

Stand-alone 模式的线路设计，如 Figure 14所示。流经电机定子绕组的电流大小，会与相电流的落后角度成正比，电流越大落后角度也会越大。因此，可利用 I_FB pin 获得流经电机定子绕组的电流信息，经过 100 K Ω 电阻和 1 μ F 电容所构成的低通滤波器后，就可得到一随着电流大小变化的 0.5 V ~ 4.5V 电压。经过 Jump 连接到 AS pin，就可以让电流的相位，随着电流的大小自动调整。当电流变大时，相位角度就会提前较多。电流变小时，提前角度就会变小。

Jump 和 R_U , R_D 电阻是为了后续的调整步骤，所增加的预备组件。一开始制作的工程原型，不需要焊接这三颗组件。留待实际接上电机与负载，完成后续的调整步骤，并确认出实际需要的偏压大小后，再决定阻值大小或去留。

若是 FCM8201应用于 SPI 模式下，因为微控制器可藉由 SPI 读取 I_FB_REG 缓存器，获得电机实际运转的电流信息。位移角度所需的 AS 电压准位，也可以藉由 SPI 写入 ANG_REG 缓存器控制。所以，I_FB pin 与 AS pin 之间的线路，可以不需要，AS pin 空接即可。

步骤二、确认电机霍尔组件的安装位置

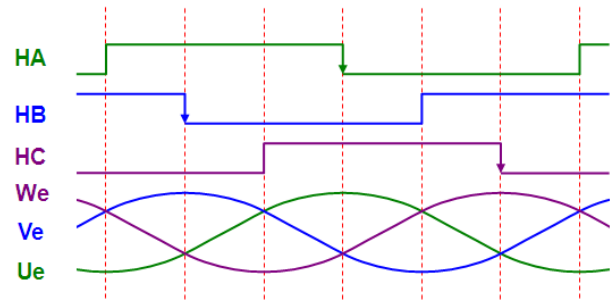


Figure 15. Hall Position

进行相电流角度的位移调整前，需先确认并调整霍尔组件的安装位置，使霍尔组件的输出信号 HA/B/C 的负缘 (falling edge)，对准电机三相反电动势波形 $U_e/V_e/W_e$ 的上半周中心位置。

步骤三、设置位移角度调整的量测环境

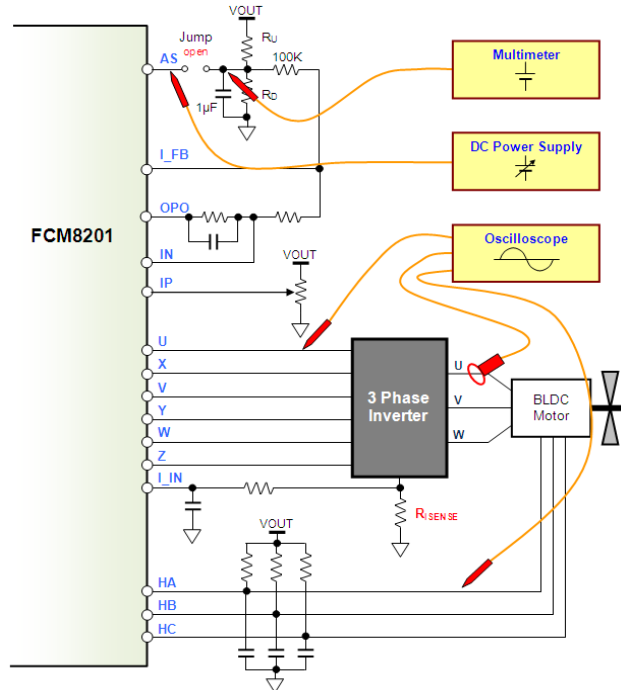


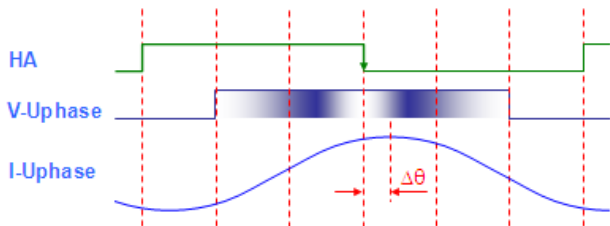
Figure 16. Measuring Configuration

进行相电流角度的位移调整时，需要一台三用电表 (multimeter)，量测并纪录不同负载的条件下，I_FB pin 经过 100 K Ω /1 μ F 低通滤波器后的电压值。和一台直流电源供应器 (DC power supply)，提供 AS pin 0.5 V ~ 4.5 V 的输入电压，调整 PWM 输出波形的超前角度。最后还需要一台四信道的数字示波器 (Oscilloscope)，两支电压探棒和一支电流探棒，观察 HA 信号、U 相 PWM 输出和 U 相电流的波形。

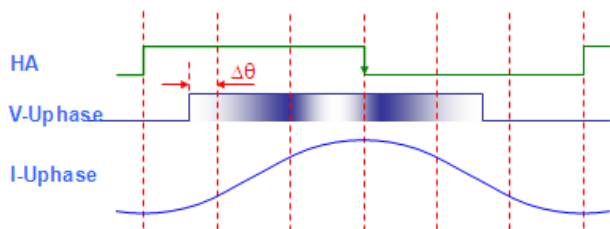
步骤四、相电流角度调整与量测纪录

以上的量测环境一切就绪后，就可以开始进行以下的调整程序。

1. 将 AS pin 的输入电压调整至 0.5 V (PWM 输出超前 0°)。
2. 用示波器观察 HA、U 相 PWM 输出和 U 相电流波形。此时，应该可看到 U 相 PWM 输出波形的中心位置，是与 HA falling edge 对准的。不过，U 相电流波形的上半周中心位置，却是落后于 HA falling edge。



3. 将 AS pin 的输入电压，以 0.1 V/step 往上慢慢调整。同时观察 U 相 PWM 输出和 U 相电流波形，是否一起慢慢往左(前)位移。



4. 当 U 相电流波形的上半周中心，位移到 HA falling edge 的时候，也就等于 U 相电流已经与 U 相反电动势波形同步。这时候，请将 AS pin 的输入电压，三用电表量到的 I_FB 电压和负载大小(电机转速)一起记录下来。
5. 重复以上 1 ~ 4 程序，将所有的不同负载(转速)条件下，所调整出来的 AS pin 和 I_FB 电压，都记录下来。

步骤五、量测纪录分析与偏压电阻的选择

由于，电机特性的不同。步骤四所记录下来的量测结果，整理后可能会出现以下三种，AS 与 I_FB 电压的比例关系。

Type 1: AS 与 I_FB 的电压上升斜率一致。

若量测纪录所呈现的是 Figure 17 的结果。R_U 和 R_D 两颗电阻不用焊接，Jump 短路，让 I_FB 信号通过 100 KΩ/1 μF 低通滤波器后，直接连接到 AS pin 输入端，让 AS 电压随着 I_FB 电压一起变化。如果上升斜率一致，可是电压位准略有差异的话，则可微调电流侦

测电阻(Figure 16 的 R_{ISENSE})的阻值，改变 I_FB 电压的位准，让 I_FB 与 AS 的电压一致。

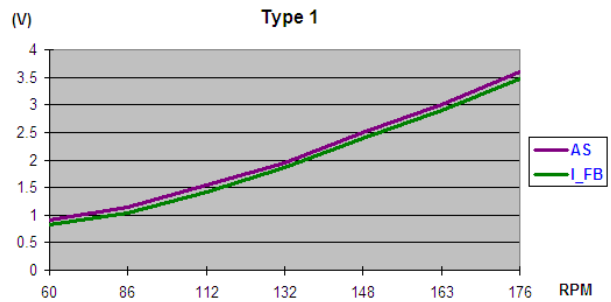


Figure 17. Curve of Type 1

Type 2: AS 电压高于 I_FB 电压，而且负载越小，电压差越大。

若量测纪录是呈现 Figure 18 的结果话。R_D 电阻不用焊接，Jump 短路，焊接 R_U 电阻上拉到 V_{OUT}，让 100 KΩ 电阻上，可以产生偏压，垫高 AS 的电压位准。偏压大小与 I_FB 电压成反比，I_FB 电压越低，偏压越大。

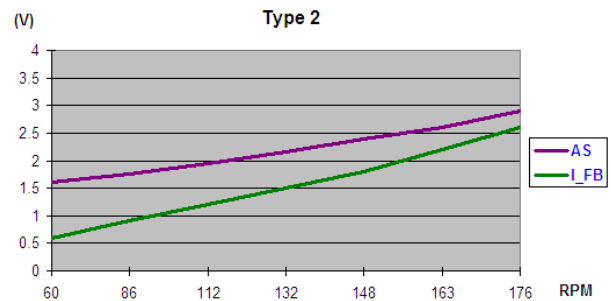


Figure 18. Curve of Type 2

Type 3: AS 电压低于 I_FB 电压，而且负载越大，电压差越大。

若量测纪录是呈现 Figure 19 的结果话。R_U 电阻不用焊接，Jump 短路，焊接 R_D 电阻。让 AS 的输入电压，等于 I_FB 电压经过 R_D 与 100 KΩ 分压后的结果。

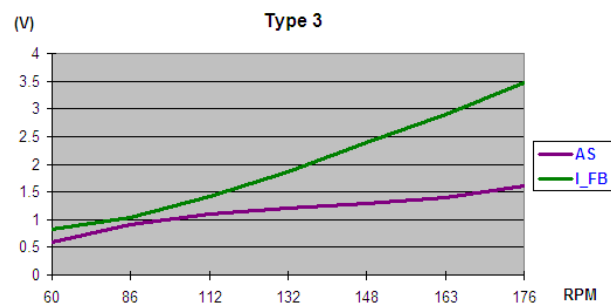


Figure 19. Curve of Type 3

闭回路速度控制的应用

虽然 FCM8201 是开放回路控制(open loop control)的设计。不过在有搭配微控制器的应用线路下，藉由 FO pin 或是读写 SPI 缓存器，也一样可实现闭回路的速度控制。

利用 SPI 接口达成闭回路速度控制的应用

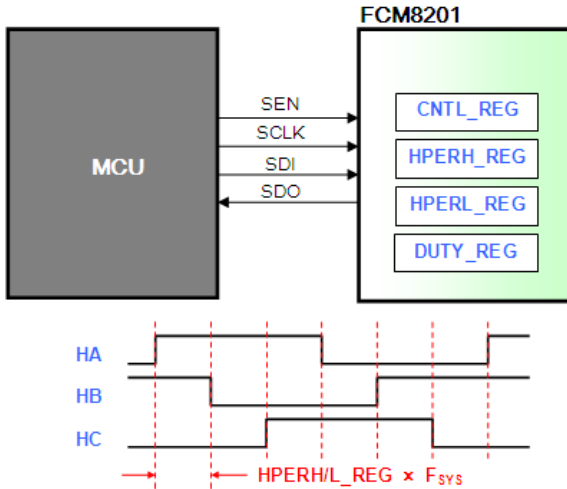


Figure 20. Close-Loop Speed Control with SPI

以 SPI 接口实现闭回路速度控制时，将会运用到 CNTL_REG、HPERH_REG、HPERL_REG 和 DUTY_REG 等，四个 FCM8201 内部缓存器。首先，让 FCM8201 进入 SPI 操作模式，然后将 CNTL_REG 的 DT_EA 位设定为“1”，将 PWM duty 宽度的控制权，变更由 DUTY_REG 决定。藉由写入 DUTY_REG 的内含，即可达到控制 PWM duty 宽度的目的。DUTY_REG 是一个可读/写的 8 位缓存器，当写入值为 0x00 时，就相当于 DUTY pin $\leq 0.5V$ ，PWM 输出 Zero Duty。写入值为 0xFF 时，则相当于 DUTY pin = 4.5V，PWM 输出 Full Duty。以下公式表示 DUTY_REG 的写入值与 DUTY pin 电压的比例关系：

$$Vol. = \left(\frac{4.5V - 0.5V}{255} \times DUTY_REG \right) + 0.5V \quad (4)$$

HPERH_REG 和 HPERL_REG 是一组 16 位，仅可读取的计数缓存器，其计数值内容乘于系统工作频率的倒数，就等于每次 Hall 信号变化的时间长度。读取这两个缓存器后，再利用公式 (5) 即可换算出目前的电机转速。由 HPERH/L_REG 获得目前的电机转速后，再透过 DUTY_REG 调节 PWM 输出的 duty 大小，就可达成速度反馈的控制应用。

$$RPM = \frac{60}{\frac{HPERH / L_REG}{CLK_{HPER}} \times 6 \times \frac{Poles}{2}} \quad (5)$$

* Poles = 电机极数

* $CLK_{HPER} =$

ARNG[1:0] / ANG_REG	CLK _{HPER}
0, 0	CLK _{HPER} = f _{sys}
0, 1	CLK _{HPER} = f _{sys} × 2
1, x	CLK _{HPER} = f _{sys} ÷ 4

读取这两个缓存器时，务必先读取 HPERH_REG 再读取 HPERL_REG。一旦 HPERH_REG 被读取，FCM8201 就会即刻停止两个缓存器的内容更新，直到 HPERL_REG 也被读取为止，FCM8201 才会重新计数新的 Hall 信号变化时间。

利用 FO 信号达成闭回路速度控制的应用

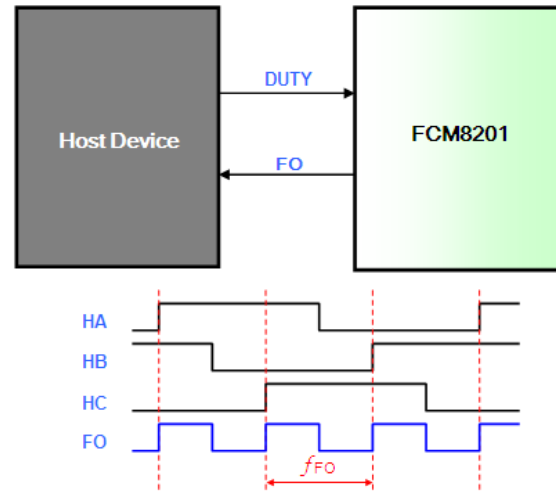


Figure 21. Close-Loop Speed Control with DUTY/FO

FO 信号在每次 Hall 信号变化的时候，也会同时变化一次。因次 FO 信号的周期时间，也就等于三分之一 Hall 信号的周期时间。在具有主控装置(host device)的应用系统下，主控装置就可以利用 FO pin 获得电机的转速信息，然后再输出适当的电压准位给 DUTY pin，调节 PWM 输出的 duty 大小，一样也可达到闭回路速度控制的目的。

藉由以下公式，可将 FO 信号的周期时间换算成电机的实际转速：

$$RPM = \frac{60}{\frac{1}{f_{FO}} \times 3 \times \frac{Poles}{2}} \quad (6)$$

* Poles = 电机极数

电流反馈与电流保护

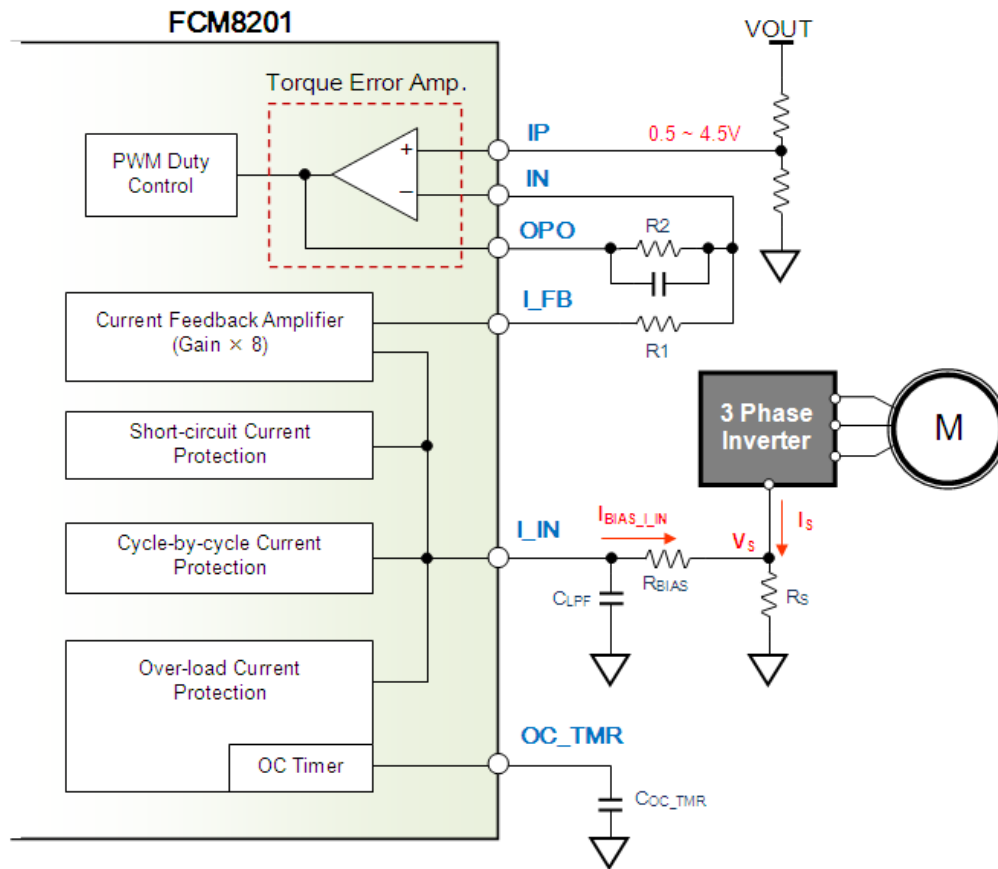


Figure 22. Block Diagram of Current Feedback and Protections

Figure 22 是 FCM8201 内部的电流反馈方块图和外部应用线路。整个电流反馈方块包含：电流反馈放大器 (current feedback amplifier)、扭力误差放大器 (torque error amplifier) 和过电流保护 (over-current protections) 三个区块。

电流反馈放大器的主要目的是将电流反馈信号 (I_{IN}) 经过低通滤波器将高频噪声滤除后，再经由放大器放大八倍，然后由 I_{FB} pin 输出。提供外部应用线路做为扭力回路控制 (torque loop control) 或电流引导相位 (current leading phase) 自动调整之应用。

I_{IN} pin 会输出 $50 \mu A$ 的偏压电流 ($I_{BIAS_I_IN}$)，然后透过外加的 $10 K\Omega$ 偏压电阻 (R_{BIAS})，将负载电流的基准电位提高为 $0.5 V$ 。

应用线路在 I_{IN} pin 与 R_{BIAS} 之间，靠近 I_{IN} pin 的地方，必须有一颗滤波电容 C_{LPF} 接地。将 PWM 频率以上的高频噪声滤除，避免噪声引起电流保护误动作。PWM 频率 $15 \sim 30 KHz$ 、 R_{BIAS} 为 $10 K\Omega$ 的条件下，电容值的大小应该在 $220 pF \sim 470 pF$ 左右，电容过大

的话保护功能会不准确，太小则噪声不会完全滤掉，可能会导致电流保护误动作。

电流反馈输入信号与输出 (I_{IN} vs. I_{FB}) 之间的关系，可由以下的公式表示：

$$V_{I_FB} = (V_S \times 8) + (I_{BIAS_I_IN} \times R_{BIAS}) \quad (7)$$

扭力反馈控制的应用

FCM8201 基本上虽是开回路的速度控制设计，不过只要利用 I_{FB} pin 和 torque error amplifier 的连结，也可达成扭力反馈控制的应用。

扭力反馈控制的应用线路中， I_P pin 可当作扭力控制的输入信号。当电流反馈信号 I_{IN} 经过 I_{FB} 放大后，于 torque error amplifier 与扭力控制输入信号 I_P 相比，一旦 I_{FB} 大于 I_P 的设定，PWM 的工作周期 (Duty) 宽度就会开始缩减，降低电机的扭力输出。反之，若是 I_{FB} 小于 I_P 设定的情况下，PWM 的工

作周期大小则由速度回路的 DUTY pin 或 DUTY_REG 来决定。

若应用线路没有使用扭力反馈控制的必要，建议依照 Figure 22 来连接 torque error amplifier 的外部接线。此线路接法，可将 IP pin 充当为最大 PWM Duty 的限制设定，最大的 PWM Duty 由 IP pin 外部的分压电阻所决定。

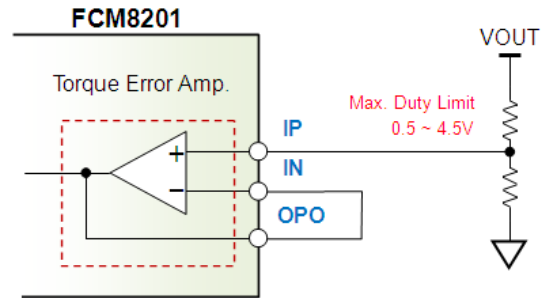


Figure 23. Application of Without Torque Loop Control

过电流保护的应用

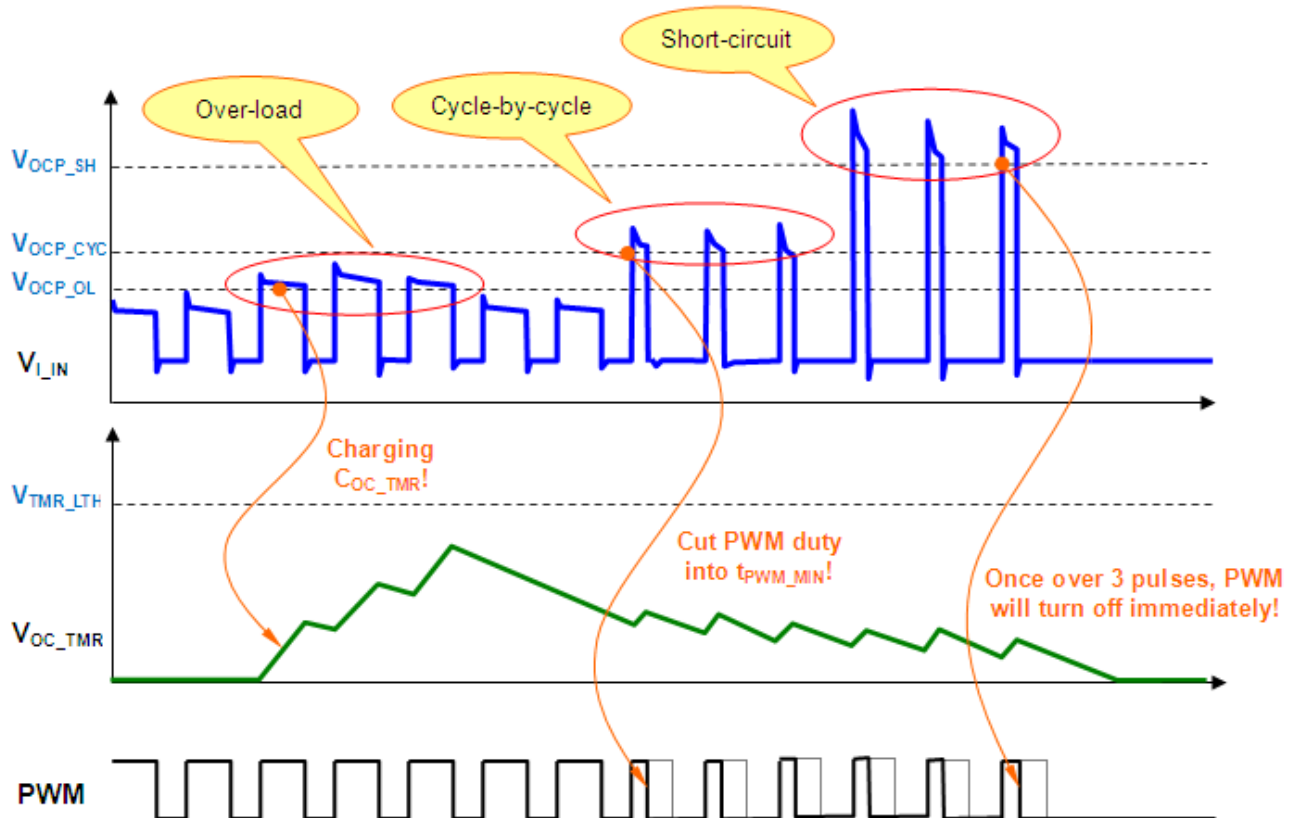


Figure 24. Operating of Current Protections

由 Figure 24 可看出 FCM8201 提供三个阶段的过电流保护。第一阶段称为过载电流保护 (overload current protection)，保护动作的门坎电压 (V_{OCP_OL}) 为 1.4 V。第二阶段为 PWM 每一周期的电流保护 (Cycle-by-cycle current protection)，保护动作的门坎电压 (V_{OCP_CYC}) 为 1.5 V。最后阶段则是短路电流保护 (short circuit current protection)，保护动作的门坎电压 (V_{OCP_SH}) 为 2.5 V。

Overload Current Protection

过载电流保护的过电流定时器 (OC timer) 之时间设定可由 OC_TMR pin 上的电容器或 FCM8201 内部的缓存器 OC_TMR[2:0] 来决定。

FCM8201 内定的 (default) 过电流定时器为 OC_TMR pin 与外接电容器。一旦 I_{IN} 的电压大于 V_{OCP_OL} 时，OC_TMR pin 就会流出 $40 \mu A$ (I_{TMR_CHG}) 对电容器进行充电，反之 I_{IN} 的电压恢复到小于 V_{OCP_OL} 时，OC_TMR pin 则会流入 $10 \mu A$ (I_{TMR_DIS}) 对电容器进行放电。如果 I_{IN} 电压持续的超过

V_{OC_OL} , OC_TMR 就会不断的对电容器充电，一旦电容器上的电压充电到 2.5 V (typical) 时，FCM8201 马上就会关掉所有的电机驱动输出信号 (U, V, W, X, Y, Z)，并且闭锁(latch)关闭状态直到 $FREE/nST$ pin 转态到高电位(Free)后再度重新回到低电位状态(Start)，FCM8201 才会解除闭锁恢复输出。

此保护功能可允许电机有足够扭力，在过电流定时器所设定的安全时间内，运转在超过额定负载的条件下，但驱动电路的功率晶体却不会受到损害。在电动车和电动工具机的应用领域中，此保护功能是非常有必要的。

若应用线路不需使用这个保护功能，可将 OC_TMR pin 接地，就可关闭此保护功能。

如何使用内部的缓存器 $OC_TMR[2:0]$ 做为过电流定时器的时间设定，将留待后面的『SPI 操作模式』再做详细的介绍。

Cycle-by-Cycle Current Protection

只要 I_IN pin 的电压超过每一周期电流保护的门槛电压 V_{OC_CYC} ，FCM8201 就会即刻缩小正常的 PWM 工作周期，变成最小的工作周期输出 (t_{PWM_MIN})。

此保护功能的目的是，在避免电机运转时因为瞬间的负载变动，在 PWM 输出上产生过大的尖峰电流(Peak Current) 而损害到驱动电路的功率晶体。

Short Circuit Current Protection

当 I_IN pin 的电压有连续三个 PWM 脉波超过 V_{OC_SH} 就会触发短路电流保护功能动作。此时 FCM8201 会马上关闭所有电机驱动输出信号，并且闭锁 (latch) 关闭状态直到 $FREE/nST$ pin 转态到高电位(Free)后再度重新回到低电位状态 (Start)，FCM8201 才会解除闭锁恢复输出。

系统与电机驱动之电压保护

FCM8201 提供了多重的电压保护功能。包含：系统工作电压(+12 V)的过压 (OV, over-voltage) 和欠压(UV, under-voltage) 保护、5 V 电压调节器 (voltage regulator) 的欠压保护和电机驱动的过电压保护。前面三者可避免因为系统电压的异常而导致电机驱动的不正常，后者则可防止电机运转产生的反电动势 (back-EMF) 电压过高而烧毁驱动电路和功率晶体管。

系统的过压与欠压保护

当系统工作电压超过 18 V 时，FCM8201 就会进入过压保护状态，关闭所有的电机驱动输出信号(U, V, W, X, Y, Z)，让电机自由运转(FREE)。若工作电压低于 8 V 则进入欠压保护，FCM8201 一样会关掉所有的电机驱动输出，同时自己重置 (Reset)。

当 FCM8201 内部的 5 V 电压调节器输出(VOUT)低于 4 V，FCM8201 也会关闭所有的电机驱动输出信号，让电机自由运转。

电机驱动的过压保护

直流无刷电机在运转过程中的煞车、瞬间的转速或负载变化，都可能会产生反电动势电压，并且回灌到电机驱动的输入电压中，促使输入电压急速的拉升。若不适度的抑制此电压的窜升，就很可能烧毁功率晶体管 (power transistors) 和整个驱动电路。

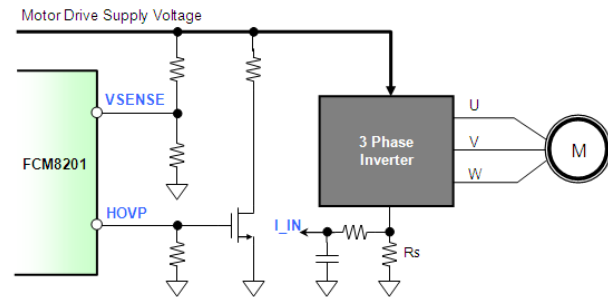


Figure 25. Application Circuit of Motor Drive OVP

电机驱动过压保护的基本应用电路如 Figure 25 所示。藉由分压电阻 FCM8201 可由 VSENSE pin 侦测电机驱动输入电压的大小，一旦 VSENSE pin 上的电压大于 4.5 V，就会触发电机驱动过压保护功能开始动作。此时，FCM8201 会即刻关闭所有的驱动输出信号，让反电动势电压不再上升，同时 HOVP pin 也会输出高电位让放电电路的功率晶体导通，将回灌到输入电压中的反电动势电压迅速的消耗掉，让输入电压的电位降低到安全的工作范围内。随着反电动势电压的消失，VSENSE pin 的电位下降到 4.0 V 以下时，所有的电机驱动输出讯号也将跟着恢复正常。

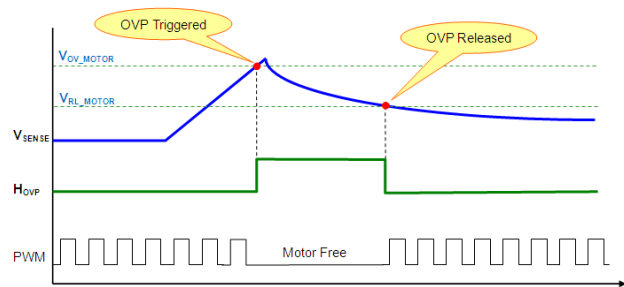


Figure 26. Operating Waveform of Motor Drive OVP

SPI 操作模式

SPI 操作模式下 FCM8201 提供了，比独立操作模式 (Stand-Alone Mode) 更多的电机控制功能。主控的微处理器可藉由 SPI 接口，控制 FCM8201 执行更高阶的电机控制应用。

SPI 操作模式下，才有的进阶功能。如下：

- 方波驱动支持 "PWM-ON" 切换模式，可降低方波驱动的噪音。
- Dead Time 提供 1.5 / 2.0 / 2.5 / 3.0 μs 四种时间设定，可更安全的避免功率晶体烧毁。
- 提供三种角度预测器 (angle predictor) Hall Frequency 的工作范围设定 (0.4~40 Hz / 0.8~80 Hz / 3.2~320 Hz)，可使弦波驱动可运作的转速范围更广。
- OC Timer 可藉由内部缓存器设定时间长度，可节省 PCB 空间和电容器的材料成本。
- 同步整流功能可关闭，或透过 OC_TMR pin 控制开/关。
- 可开启 "Low Side Minimum PWM Output" 功能，让 "PWM-ON" 方波驱动时，high/low side Driver IC 的 Bootstrap 电容，不会发生无法充电的状况。
- Current leading phase correction 可藉由读取 I_FB_REG 和写入 ANG_REG，执行更精确的电流相位校正，提高弦波驱动的输出效率。
- 可强迫 FCM8201 切入弦波驱动模式。
- 可个别设定 HA / HB / HC 三个信号反向，选择 Hall Sensor 更有弹性。
- 可开启 "Hall Signals Regulation" 功能，防止 Hall 信号因噪声干扰而出现异常状态。
- 可开启 SPI 接口的 CRC 功能，避免因通信错误而造成电机控制误动作。
- VSENSE pin 的电压准位，可由微处理器透过 SPI 读取。藉此可实现欠压保护或更弹性的过电压保护。
- RT pin 的电压准位，可由微处理器透过 SPI 读取。藉此可实现更有弹性的过温度保护功能。
- 藉由 STATUS_REG 可完全掌握，所有的异常原因。

SPI 操作模式的进入与离开

FCM8201 的内定值 (Default) 是独立操作模式。所以，欲使 FCM8201 工作于 SPI 操作模式下，在每次开机的时候，主控的微处理器都必须藉由 XP, XN 两信号，完成 Figure 27 所示的信号交替程序，即可使 FCM8201 进入 SPI 操作模式。

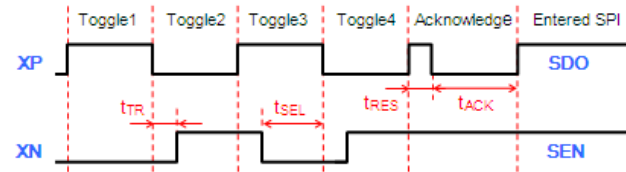


Figure 27. Timing Diagram of Enter SPI Mode

XP/XN 连续四次的 high/low toggle 之后，MCU 必须让 XP/XN 维持在 open-drain (collector) 的高位准输出。若 FCM8201 确认进入 SPI 模式，就会在 5 μs (t_{RES}) 内将 XP 信号拉到低位准状态，并维持 1 ms (t_{ACK}) 左右，让 MCU 有足够的时间确认 FCM8201 已进入 SPI 模式。此后，XP pin 就变成 SDO 的功能，XN pin 则变成 SEN 的功能。

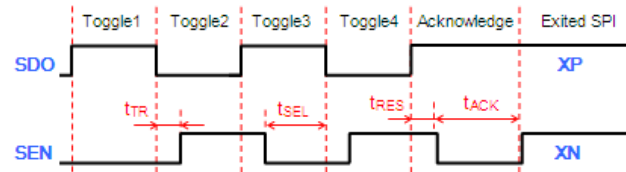


Figure 28. Timing Diagram of Exit SPI Mode

要从 SPI 模式回到 Stand-Alone 模式，MCU 一样要在 SDO/SEN pins 连续送出四次的 high/low toggle 信号，然后再将 SDO/SEN 维持在 open-drain (collector) 的高位准输出。若 FCM8201 确认离开 SPI 模式，就会在 5 μs (t_{RES}) 内将 SEN 信号拉到低位准状态，并维持 1 ms (t_{ACK}) 左右，让 MCU 有足够的时间确认 FCM8201 已进入 SPI 模式。此后 SDO 变回 XP 功能，SEN 变回 XN 功能。

Table 3. Timing Specification of SPI Mode Enter and Exit

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
t _{TR}	Signals Toggle Transient Time	f _{SYS} =1.28 MHz	4		12	μs
t _{SEL}	Signals Toggle Stable Time	f _{SYS} =1.28 MHz	12		100	μs
t _{RES}	FCM8201 Response Time	f _{SYS} =1.28 MHz		4		μs
t _{ACK}	FCM8201 Acknowledge Time	f _{SYS} =1.28 MHz		1		ms

SPI 模式之进入与离开程序范例

```

sbit    PIN_XP_SDO = P2^6;           // 宣告 MCU I/O Port P2.6 为 XP/SDO pin
sbit    PIN_XN_SEN = P2^4;           // 宣告 MCU I/O Port P2.4 为 XN/SEN pin

void SPI_Enter_Routine()             // 执行进入 SPI 模式之子程序
{
    unsigned char ReTry_Count = 3;
    while (--ReTry_Count)
    {
        Send_Signals_Toggle();
        Delay_1 μs(10);                // 等待 10 μs
        if (!PIN_XP_SDO) return;
        Delay_100 μs(15);              // 等待 1.5 ms
    }
}

void SPI_Exit_Routine()              // 执行离开 SPI 模式之子程序
{
    unsigned char ReTry_Count = 3;
    while (--ReTry_Count)
    {
        Send_Signals_Toggle();
        Delay_1 μs(10);
        if (!PIN_XN_SEN) return;
        Delay_100 μs(15);
    }
}

void Send_Signals_Toggle()           // 送出四次 XP/XN high/low toggle 信号的子程序
{
    PIN_XP_SDO = 1                    // Toggle 1
    PIN_XN_SEN = 0;
    Delay_1 μs(50);
    PIN_XP_SDO = 0;                    // Toggle 2
    PIN_XN_SEN = 1;
    Delay_1 μs(50);
    PIN_XP_SDO = 1;                    // Toggle 3
    PIN_XN_SEN = 0;
    Delay_1 μs(50);
    PIN_XP_SDO = 0;                    // Toggle 4
    PIN_XN_SEN = 1;
    Delay_1 μs(50);
    PIN_XP_SDO = 1;                    // XP/XN 维持在 Open-Drain (Collector) High 输出
    PIN_XN_SEN = 1;
}

```


SPI 模式之读取与写入操作

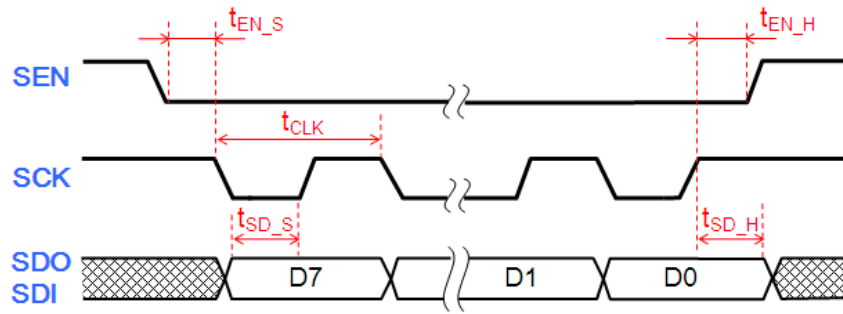


Figure 29. Bus Timing Diagram of SPI

Table 4. Timing Specification of SPI

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
t_{EN_S}	Setup Time of SEN	$f_{SYS}=1.28\text{ MHz}$		2		μs
t_{EN_H}	Hold Time of SEN	$f_{SYS}=1.28\text{ MHz}$		2		μs
t_{SD_S}	Setup Time of SDO/SDI	$f_{SYS}=1.28\text{ MHz}$	0			μs
t_{SD_H}	Hold Time of SDO/SDI	$f_{SYS}=1.28\text{ MHz}$		2		μs
t_{CLK}	Cycle Time of SCK	$f_{SYS}=1.28\text{ MHz}$	12.5			μs
t_{CLK_TO}	Time Out of SCK	$f_{SYS}=1.28\text{ MHz}$		100		ms

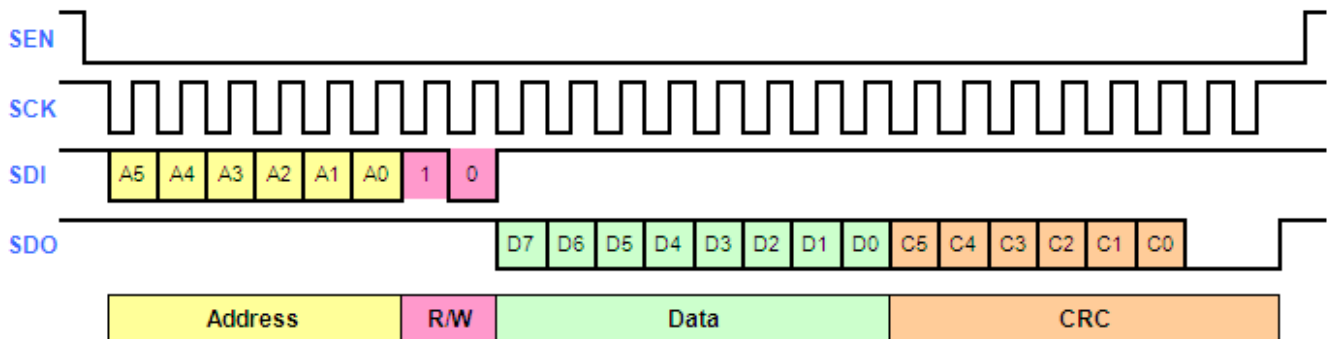


Figure 30. Read Operation Format

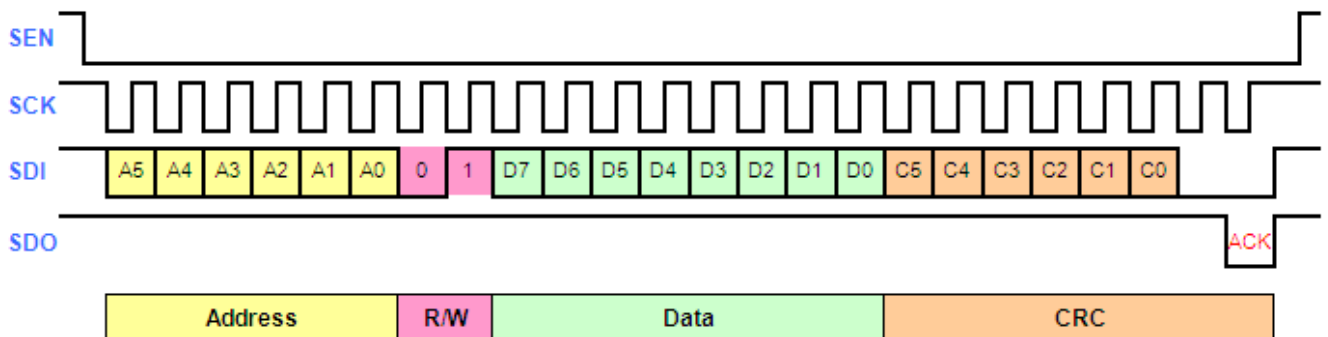


Figure 31. Write Operation Format

FCM8201 的 SPI 接口，具备有 6 位的“循环冗余校验 (cyclic redundancy check, CRC)”错误侦测能力。此功能的系统内定值(Default)是关闭的，若使用者有需要开启它来避免通信错误，而导致电机控制异常的话，可将缓存器 WDT_REG 的 CRC_ON 位，设定为“1”。

FCM8201 的 CRC 功能无论开启与否，每次的读/写操作位长度都是 24 bits。最前面的 6 bits 代表即将读/写的缓存器地址，接下来的 2 bits 代表即将执行读取或写入的控制命令(Read = 1,0, Write = 0,1)，再接续的 8 bits 则是该读/写缓存器的内容数据，最后 8 bits 的前面 6 bits 则是 CRC 的计算值，最后两位是无效位。

CRC 的计算范围为 A5 ~ D0，总共 16 bits。读取操作时，主控的 MCU 需自己计算这 16 bits 的 CRC，然后

再与 FCM8201 藉由 SDO 送出的 CRC，核对是否一致？两个 CRC 的内容若发生不一致的现象，就表示该读取操作的通信有错误，MCU 必须再重新执行一次读取动作。写入操作时，FCM8201 会自动核对自己计算的 CRC 与 MCU 送进来的 CRC 是否一致？若内容一致的话，则会在最后一个位的时候，将 SDO 变成低准位状态(即 ACK bit)，表示通信无错误发生。所以，MCU 若在最后一个位的 SCK 上升缘，没有侦测到 ACK bit，就表示刚才的写入操作有错，MCU 必须再重新执行一次。

CRC 公式：

$$g(x) = x^6 + x + 1 \quad (8)$$

CRC 计算的程序范例

ADDR: 即将读/写的缓存器地址。

RW: 即将执行读取或写入的控制命令。

DATA: 该读/写缓存器的内容数据。

```
int      Cal_CRC(int ADDR, RW, DATA)
{
    unsigned long Data_String, CRC_Accum, CRC_Result;
    int i;

    Data_String = (((ADDR & 0x3F) << 2 | (RW & 0x3)) << 8) | (DATA & 0xFF);
    for ( i = 0; i <= 15; i++)
    {
        if ( (Data_String & 0x8000) == 0x8000 )
        {
            CRC_Accum = Data_String & 0xFE00;
            CRC_Accum = CRC_Accum ^ 0x8600;
            Data_String = (Data_String & 0x01FF) | CRC_Accum;
        }
        if ( i == 15 )
            break;
        Data_String = Data_String << 1;
    }
    CRC_Result = ((Data_String & 0xFE00) >> 9) & 0x3F;
    return CRC_Result;
}
```

SPI 可读取/写入缓存器

Table 5. List of SPI Readable/Writeable Registers

Addr.	Name	Description
0x00	CNTL_REG	System Control Register
0x01	PWM_REG	PWM Control Register
0x02	ANG_REG	Angle Shift Control Register
0x03	SVM_REG	Sine-wave Control Register
0x04	HALL_REG	Hall Signals Control Register
0x05	Reserved	
0x06	WDT_REG	Watch Dog Timer Control Register
0x07	Reserved	
0x08	DUTY_REG	Duty Control Register
0x09	IP_REG	Error Amp IP Pin Control Register

Table 6. CNTL_REG, 系统控制缓存器(System Control Register)

Bit	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
Name	TMR_CLR	OC_TMR2	OC_TMR1	OC_TMR0	IP_EA	DT_EA	CW/CCW	FREE/nST
Default	0	0	0	0	0	0	1	1

TMR_CLR: OC Timer 清除位。
 1: OC Timer 清除。
 0: OC Timer 正常运作。

OC_TMR[2:0]: OC Timer 计数器时间设定位。当 I_IN pin 电压大于 1.4 V 时，计数器往上计数，小于 1.4 V 时则往下计数。往上计数的时钟频率是往下计数的四倍。
 0,0,0: 计数器不作用，OC Timer 的时间由外部 OC_TMR pin 的电容大小决定。
 0,0,1: 上数时间 = $2^{18} \div f_{SYS}$ 。当 $f_{SYS}=1.28$ MHz 时，上数为 0.2 秒，下数为 0.8 秒。
 0,1,0: 上数时间 = $2^{19} \div f_{SYS}$ 。当 $f_{SYS}=1.28$ MHz 时，上数为 0.41 秒，下数为 1.64 秒。
 0,1,1: 上数时间 = $2^{20} \div f_{SYS}$ 。当 $f_{SYS}=1.28$ MHz 时，上数为 0.82 秒，下数为 3.28 秒。
 1,0,0: 上数时间 = $2^{21} \div f_{SYS}$ 。当 $f_{SYS}=1.28$ MHz 时，上数为 1.64 秒，下数为 6.55 秒。
 1,0,1: 上数时间 = $2^{22} \div f_{SYS}$ 。当 $f_{SYS}=1.28$ MHz 时，上数为 3.28 秒，下数为 13.11 秒。
 1,1,0: 上数时间 = $2^{23} \div f_{SYS}$ 。当 $f_{SYS}=1.28$ MHz 时，上数为 6.55 秒，下数为 26.21 秒。
 1,1,1: 上数时间 = $2^{24} \div f_{SYS}$ 。当 $f_{SYS}=1.28$ MHz 时，上数为 13.11 秒，下数为 52.43 秒。

IP_EA: IP_REG 致能位。
 0: PWM 的 duty 宽度由外部的 IP pin 控制。
 1: PWM 的 duty 宽度由内部的 IP_REG 控制。

DT_EA: DUTY_REG 致能位。
 0: PWM 的 duty 宽度由外部的 DUTY pin 控制。
 1: PWM 的 duty 宽度由内部的 DUTY_REG 控制。

CW/CCW: 方向控制位。
 0: 逆时针方向趋动(CCW)。
 1: 顺时针方向趋动(CW)。

FREE/nST: 自由运转或启动之控制位。
 0: 电机启动(nST)。
 1: 电机自由运转(FREE)。

Table 7. PWM_REG, 脉波宽度调变控制寄存器(PWM Control Register)

Bit	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
Name	PMOD	na	DT1	DT0	SEQ_TBL	SYN_OFF	EXT_SYN	LPWM
Default	0	0	0	0	0	0	0	0

PMOD: PWM 驱动模式之选择位。
 0: 角度预测器角度预测正确后, FCM8201 将切换到 Sine-wave PWM 驱动。
 1: 角度预测器角度预测正确后, FCM8201 将切换到 Square-wave PWM 驱动。

DT[1:0]: Dead Time 时间设定位。
 0,0: 2.0 μ s
 0,1: 1.5 μ s
 1,0: 3.0 μ s
 1,1: 2.5 μ s

SEQ_TBL: 方波驱动 PWM 切换模式之设定位。
 0: “PWM-PWM” 模式切换。
 1: “PWN-ON” 模式切换。

SYN_OFF: 方波驱动之同步整流 (Synchronous Rectifying) 功能控制位。
 0: 开启方波驱动之同步整流功能。
 1: 关闭方波驱动之同步整流功能。

EXT_SYN: 同步功能的开/关, 可由外部脚位 OC_TMR 控制之设定位。
 0: 同步整流功能的开/关, 由 SYN_OFF bit 决定。
 1: CNTL_REG 之 OC_TMR[2:0] 的设定值不为 0,0,0 时, 同步整流功能的开/关, 由外部脚位 OC_TMR 的 High/Low 决定。

LPWM: “下桥最小 PWM 输出功能”之致能位。
 0: 关闭 “下桥最小 PWM duty 输出功能”。
 1: 开启 “下桥最小 PWM duty 输出功能”。

Note:

1. 当方波驱动的 PWM 切换模式, 选择为 “PWM-ON” 时, LPWM 设定为 “1”。FCM8201 会在平常 PWM 输出关闭的时候, 在三相的下桥, 固定输出最小 PWM duty。可避免 High/Low Side Driver IC 的自举电容(Bootstrap Capacitor), 没有机会充电而导致上桥 MOSFET 无法导通。

Table 8. ANG_REG, 角度位移控制寄存器(Angle Shift Control Register)

Bit	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
Name	ANG_SEL	ARNG1	ARNG0	ANG4	ANG3	ANG2	ANG1	ANG0
Default	0	0	0	0	0	0	0	0

ANG_SEL: 角度位移控制之输入选择。
 0: 角度位移由外部 AS pin 控制。
 1: 角度位移由内部 ANG[4:0] bits 控制。

ARNG[1:0]: 角度预测器(angle predictor)可工作之霍尔频率(Hall Frequency)范围设定。
 0,0: 可工作之 Hall Frequency 范围为 0.8 Hz ~ 80 Hz (48 ~ 4800 rpm @ 2 poles motor)。
 0,1: 可工作之 Hall Frequency 范围为 0.4 Hz ~ 40 Hz (24 ~ 2400 rpm @ 2 poles motor)。
 1,x: 可工作之 Hall Frequency 范围为 3.2 Hz ~ 320 Hz (192 ~ 19200 rpm @ 2 poles motor)。

ANG[4:0]: 位移角度设定。
 设定值 0 ~ 31 等于位移角度 0° ~ 58°。

Table 9. SVM_REG, 弦波驱动控制缓存器(Sine-Wave Control Register)

Bit	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
Name	SIN_MAU	SIN_EA	na	na	na	na	na	na
Default	0	0	0	0	0	0	0	0

SIN_MAU: 强制开启弦波驱动之致能位。
 0: 条件成立时弦波驱动自动开启。
 1: 无论条件成立与否，强迫开启弦波驱动。

Note:

2. 弦波驱动强迫开启的情况下，电机转速超过角度预测器的预测范围，或转速变化太快，都有可能造成 PWM 输出不正常！

SIN_EA: 弦波驱动强制开启下，PWM 输出模式选择。
 0: 方波驱动 PWM 输出。
 1: 弦波驱动 PWM 输出。

Note:

3. SIN_MAU 和 SIN_EA 两个 bits 必须同时为“1”，强制弦波驱动才会真正启动。

Table 10. HALL_REG, 霍尔信号控制缓存器(Hall Signals Control Register)

Bit	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
Name	na	na	na	na	HREG	HC_INV	HB_INV	HA_INV
Default	0	0	0	0	0	0	0	0

HREG: 霍尔信号调制(Hall Signals Regulation)功能之开/关设定。
 0: 关闭霍尔信号调制功能。
 1: 开启霍尔信号调制功能。

Note:

4. 无论“霍尔信号调制”开启与否，FCM8201 都具有霍尔信号的去弹跳(De-bounce)功能，可滤除 3 ~ 6 μ s 的弹跳噪声。开启霍尔信号调制功能，可更进一步的滤除，比弹跳噪声更严重的异常讯号，防止霍尔信号出现不连续的现象，造成电机顿转。

HC_INV: HC 输入信号反向设定。
 0: HC 输入不反向。
 1: HC 输入反向。

HB_INV: HB 输入信号反向设定。
 0: HB 输入不反向。
 1: HB 输入反向。

HA_INV: HA 输入信号反向设定。
 0: HA 输入不反向。
 1: HA 输入反向。

Table 11. WDT_REG, 看门狗定时器控制寄存器(Watch Dog Timer Control Register)

Bit	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
Name	OSL_DIS	OTL_EA	na	CRC_ON	WDT_EN	CLR	W_TMR1	W_TMR0
Default	0	0	0	0	0	0	0	0

OSL_DIS: 脚位开/短路保护功能的闭锁关闭设定。FCM8201 只有 R_CLK pin 具有短路保护功能，R_CLK 和 RT pins 具有开路保护功能。

0: 开/短路保护不具闭锁作用，只要开/短路的现象解除，FCM8201 即刻恢复 PWM 输出。

1: 开/短路保护触发后，所有 PWM 输出即刻关闭，并且闭锁直到下次的 FREE/nST pin 重新转态到低准位，或 CNTL_REG 的 FREE/nST bit 设定为“1”后，再设定为“0”。

OTL_EA: 过温度保护功能之闭锁开启设定。

0: 过温度保护功能不具闭锁作用，只要过温现象解除，FCM8201 即刻恢复 PWM 输出。

1: 过温度保护触发后，所有 PWM 输出即刻关闭，并且闭锁直到下次的 FREE/nST pin 重新转态到低准位，或 CNTL_REG 的 FREE/nST bit 设定为“1”后，再设定为“0”。

CRC_ON: SPI CRC 功能的开启设定。

0: SPI CRC 功能关闭。

1: SPI CRC 功能开启。

WDT_EN: 看门狗定时器(Watch Dog Timer, WDT)开启设定。

0: WDT 功能关闭。

1: WDT 功能开启。

W_TMR[1:0]: 看门狗定时器的时间设定。

0,0: 当 $f_{SYS} = 1.28 \text{ MHz}$ 时，计时时间为 0.25 秒。

0,1: 当 $f_{SYS} = 1.28 \text{ MHz}$ 时，计时时间为 0.5 秒。

1,0: 当 $f_{SYS} = 1.28 \text{ MHz}$ 时，计时时间为 1 秒。

1,1: 当 $f_{SYS} = 1.28 \text{ MHz}$ 时，计时时间为 2 秒。

Table 12. DUTY_REG, 工作周期控制寄存器(Duty Control Register)

Bit	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
Name	DUTY7	DUTY6	DUTY5	DUTY4	DUTY3	DUTY2	DUTY1	DUTY0
Default	0	0	0	0	0	0	0	0

DUTY[7:0]: PWM 工作周期宽度设定。当 CNTL_REG 的 DT_EA bit 设定为“1”时，DUTY[7:0] 将取代 DUTY pin 控制 PWM 输出的工作周期宽度。

设定值 0 ~ 255 相当于 DUTY pin 电压 0.5 V ~ 4.5 V。(0 = Zero Duty, 255 = Full Duty)

Table 13. IP_REG, 误差放大器 IP 脚位控制寄存器(Error Amp IP Pin Control Register)

Bit	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
Name	IP7	IP6	IP5	IP4	IP3	IP2	IP1	IP0
Default	0	0	0	0	0	0	0	0

IP[7:0]: 误差放大器 IP 脚位之内部电压准位设定。当 CNTL_REG 的 IP_EA bit 设定为“1”时，误差放大器的 IP 脚位电压准位，将由 IP[7:0] 的写入值，取代外部的 IP pin。

设定值 0 ~ 255 相当于 IP pin 电压 0.5 V ~ 4.5 V。

SPI 仅能读取寄存器

Table 14. List of SPI Read Only Registers

Addr.	Name	Description
0x20	AS_REG	AS Pin Voltage Level Read Register
0x21	VSENSE_REG	VSENSE Pin Voltage Level Read Register
0x22	I_FB_REG	I_FB Pin Voltage Level Read Register
0x23	RT_REG	RT Pin Voltage Level Read Register
0x24	Reserved	
0x25		
0x26	HPERH_REG	Hall Period Counter High Byte Register
0x27	HPERL_REG	Hall Period Counter Low Byte Register
0x28	STATUS_REG	System Status Register

Table 15. AS_REG, AS Pin 电压位准读取寄存器(AS Pin Voltage Level Read Register)

Bit	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
Name	na	na	na	AS4	AS3	AS2	AS1	AS0

AS[4:0]: AS pin 电压位准的 ADC 读入值。

$$AS(V) = (AS[4:0] \times 0.125V) + 0.5V \quad (9)$$

Table 16. VSENSE_REG, VSENSE Pin 电压位准读取寄存器(VSENSE Pin Voltage Level Read Register)

Bit	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
Name	na	na	na	VS4	VS3	VS2	VS1	VS0

VS[4:0]: VSENSE pin 电压位准的 ADC 读入值。

$$VSENSE(V) = (VS[4:0] \times 0.125V) + 0.5V \quad (10)$$

Table 17. I_FB_REG, I_FB Pin 电压位准读取寄存器(I_FB Pin Voltage Level Read Register)

Bit	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
Name	na	na	na	IFB4	IFB3	IFB2	IFB1	IFB0

IFB[4:0]: I_FB pin 电压位准的 ADC 读入值。

$$I_FB(V) = (IFB[4:0] \times 0.125V) + 0.5V \quad (11)$$

Table 18. RT_REG, RT Pin 电压位准读取寄存器(RT Pin Voltage Level Read Register)

Bit	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
Name	na	na	na	RT4	RT3	RT2	RT1	RT0

RT[4:0]: RT pin 电压位准的 ADC 读入值。

$$RT(V) = (RT[4:0] \times 0.125V) + 0.5V \quad (12)$$

Table 19. HPERH_REG, 霍尔时间计数器高字节寄存器(Hall Period Counter High Byte Register)

Bit	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
Name	HP15	HP14	HP13	HP12	HP11	HP10	HP9	HP8

Table 20. HPERL_REG, 霍尔时间计数器低字节寄存器(Hall Period Counter Low Byte Register)

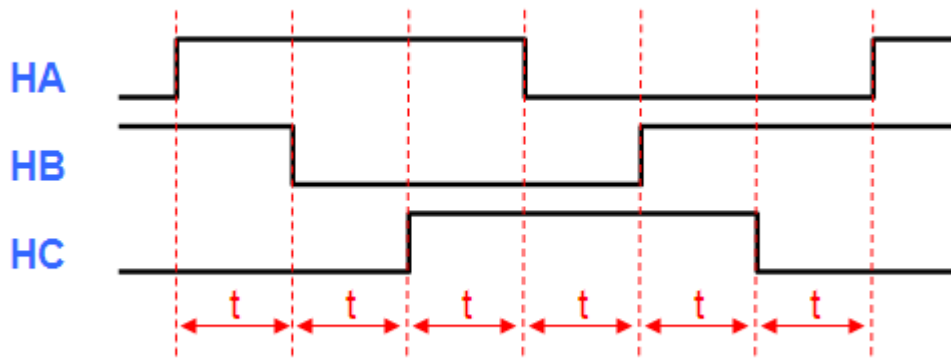
Bit	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
Name	HP7	HP6	HP5	HP4	HP3	HP2	HP1	HP0

HP[15:0]: 霍尔信号 HA/B/C 每次变化组态的时间长度计数值。

$$t = \frac{HP[15:0]}{CLK_{HPER}} \quad (13)$$

Notes:

- 若 ARNG[1:0]=0,0 则 $CLK_{HPER} = f_{SYS}$
- 若 ARNG[1:0]=0,1 则 $CLK_{HPER} = f_{SYS} \times 2$
- 若 ARNG[1:0]=1,x 则 $CLK_{HPER} = f_{SYS} \div 4$

**Note:**

8. 读取这两个寄存器时，务必先读取 HPERH_REG 再读取 HPERL_REG。一旦 HPERH_REG 被读取，FCM8201 就会即刻停止两个寄存器的内容更新，直到 HPERL_REG 也被读取为止，FCM8201 才会重新计数新的 Hall 信号变化时间。

Table 21. STATUS_REG, 系统状态寄存器(System Status Register)

Bit	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
Name	OT	OC	OS	OV	H_ERR	DIR	WDT	SHORT

OT: 读入值为“1”表示过温度保护已触发。(RT pin 电压小于 1.0 V)

OC: 读入值为“1”，表示 Over-load 过电流保护已触发。

OS: 读入值为“1”，表示 FCM8201 的 R_CLK, RT pins 开/短路保护已触发。

OV: 读入值为“1”，表示过电压保护已触发。(VSENSE pin 电压大于 4.5 V)

H_ERR: 读入值为“1”，表示霍尔输入信号发生错误。(HA/B/C 出现 0/0/0 或 1/1/1 的信号组态)

DIR: 读入值为“1”，表示霍尔信号的方向顺序与 FCM8201 内部 PWM 循序器(Sequencer)的方向不一致。

WDT: 读入值为“1”，表示看门狗定时器已计时中止(Time out)。

SHORT: 读入值为“1”，表示 Short Circuit 过电流保护已触发。(I_IN pin 电压大于 2.5 V)

Related Datasheets

[FCM8201 Datasheet Rev 0.02](#)

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION, OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.