旋变数字转换器常见问题解答

编写人　　CAST (HM)

版本号　　V1.0_Draft

目 录

1 ADI 公司旋变数字转换器产品概述

旋转变压器（旋变、分解器、Resolver）和自整角机（Synchro）都是将沿着轴向旋转的角度位置和（或）角速度转换成一种电信号的传感器。两者都能够提供正比于旋转轴角度正弦值和（或）余弦值的电信号。旋变数字转换器（RDC）或自整角机数字转换器(SDC)用于将这些信号转换成对应于旋转角度和(或)角速度的数字输出。ADI 公司的 RDC 和 SDC 系列产品为这些应用提供解决方案。

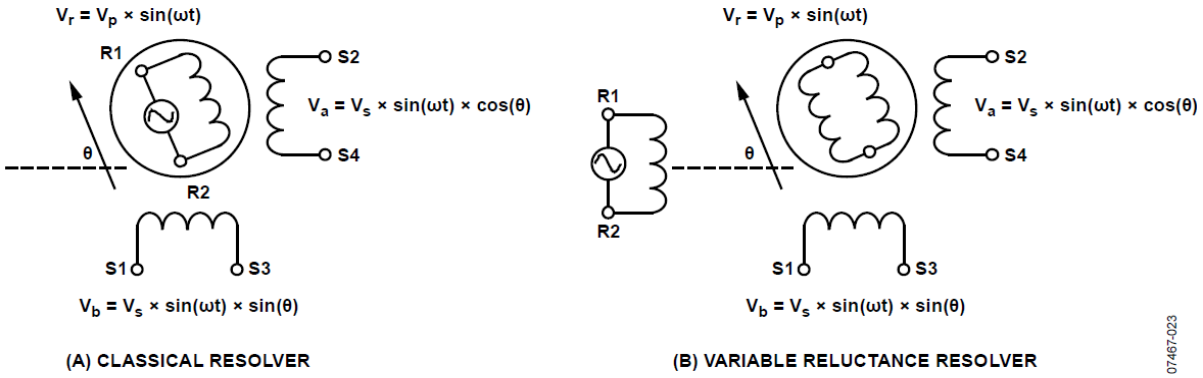
ADI 公司已经发布的 RDC/SDC 产品

表 1 ADI 的 RDC、SDC 产品列表

型号	分辨率(位)	最大跟踪速率(+/- 转/秒)	精度(弧分)	参考频率(Hz)	接口	编码器仿真	供电 (V)	封装
AD2S1200	12	1,000	22/11	10k-20k	并/串行	Yes	+5	44LQFP
AD2S1205	12	1,250	22/11	10k-20k	并/串行	Yes	+5	44LQFP
AD2S1210	16	3125/1250/625/156.25	5	2k-20k	并/串行	Yes	+5	48LQFP
AD2S44	14	20	4	400-2.6k	并行	No	±15	DH-32E
AD2S80A	16	1040/260/65/16.25	8/4/2	50-20k	并行	No	±12	40DIP, 44LCC
AD2S83	16	1040/260/65/16.25	8	0-20k	并行	No	±12	44PLCC
AD2S90	12	500	10.6	3k-20k	串行	Yes	±5	20PLCC
RDC1740	14	27	5.3	400-2.6k	并行	No	±15	32DIP
SDC1740	14	27	5.3	400-2.6k	并行	No	±15	32DIP
SDC1741	12	18	15.3	400-2.6k	并行	No	-15	32DIP
SDC1742	12	18	8.5	400-2.6k	并行	No	±15	32DIP

2 RDC 原理和主要参数指标

2.1 旋转变压器



(A) 经典旋变 **(B) 可变磁阻旋变**

图 1. 经典旋变与可变磁阻旋变

旋变，即旋转变压器，通常配置是初级绕组位于转子上，两个次级绕组则位于定子上。不过，可变磁阻旋变的转子上不存在绕组，如图 1 所示。初级绕组和次级绕组均位于定子上，但转子的特殊设计使得次级耦合随着角位置变化而发生正弦变化。无论何种配置，旋变输出电压(S3 − S1, S2 − S4)的计算公式均相同，如公式 1 所示。

$$S3\text{-}S1=E_0 \sin \omega t \times \sin\theta$$
$$S2\text{-}S4=E_0 \sin \omega t \times \cos\theta \quad (1)$$

其中：

θ 为轴角。

$Sin(\omega t)$为转子激励频率。

E_0 为转子激励幅度。

两个定子绕组机械错位 90°（见图 1）。初级绕组采用交流基准源激励。随后在定子次级绕组上的耦合的幅度是转子（轴）相对于定子的位置的函数。因此，旋变产生由轴角的正弦和余弦调制的两个输出电压(S3 − S1, S2 − S4)。旋变格式信号是指从旋变输出获得的信号，如公式 1 所示。图 2 显示了输出格式。

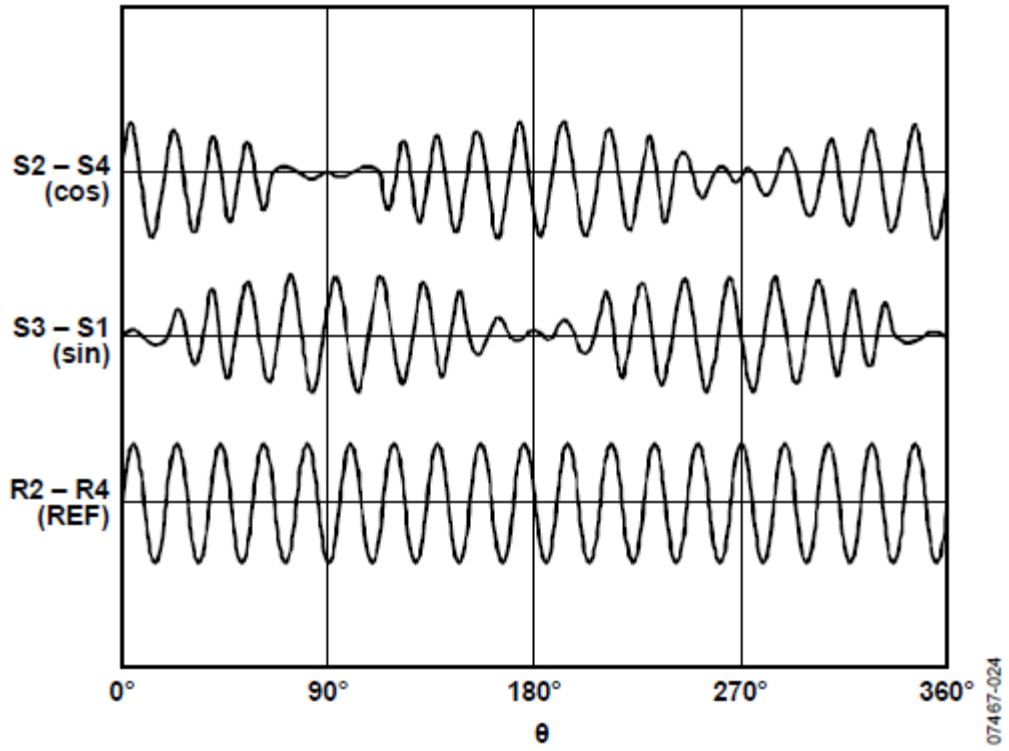


图2.旋变接口电信号表示图

2.2 RDC 的原理

ADI 的 RDC 按照 Type II 跟踪闭环原理工作。输出连续跟踪旋变的位置，而不需要外部转换和等待状态。当旋变的位置旋转了相当于最低有效位的角度时，输出更新 1 LSB。

转换器跟踪轴角 θ 的原理为，转换器产生输出角 Φ，然后反馈 Φ 以与输入角 θ 相比较；当转换器正确跟踪输入角度时，二者之间的误差将被驱动至 0。为了测量误差，将 S3 − S1 乘以 cosΦ，将 S2 − S4 乘以 sinΦ，从而得到下式：

$E_0 \sin \omega t \times \sin \theta \cos \Phi$　　（对于 S3 − S1）

$E_0 \sin \omega t \times \cos \theta \sin \Phi$　　（对于 S2 − S4）

二者的差值为：

$$E_0 \sin \omega t \times (\sin \theta \cos \Phi - \cos \theta \sin \Phi) \qquad (2)$$

利用内部产生的合成参考来解调该信号，得到下式：

$$E_0 (\sin \theta \cos \Phi - \cos \theta \sin \Phi) \qquad (3)$$

公式 3 等效于 $E_0\sin(\theta - \Phi)$；角度误差 θ − Φ 的值很小时，公式 3 近似等于 $E_0(\theta - \Phi)$。

值 E0 (θ − Φ)表示转子的角度误差与转换器的数字角度输出二者的差值。

一个相位敏感的解调器、一些积分器和一个补偿滤波器形成一个闭环系统，力求使误差信号归零于是，在转换器的额定精度范围内，Φ 等于旋变角度 θ。之所以使用 Type II 跟踪环路，是因为它能跟踪恒定速度输入，而不存在固有误差，且可以抑制噪声，改善谐波失真，提高精度。

2.3 RDC 的绝对位置和速度输出

RDC 的主要功能是读取旋变的角位置和角速度，用二进制数据表示，一般可以通过一个并行接口或者一个串行接口（两线或三线）来读取。

位置输出的单位为角分，又称弧分（Arc minute），符号为 ′ ，在不会引起混淆时，可简称作分。“角分”二字只限用于描述角度，不能用于其他以“分”作单位的情况使用（如时间的分）。

弧分（Arc minute）：l 度的 1/60 称为 1 弧分。l 弧分又分为 60 弧秒。
1 度等于 60 分，1 分等于 60 秒。以数学等式来表示即：
1°（度）= 60′（角分）= 3600″（角秒） 1π（弪度）= 180° = 10800′

位置输出的数据格式：全 0 代表 0 度，全 1 代表 360 度；位置输出时，
1LSB = 60′ ×360/2^N
Position = Output×1LSB
N 为 RDC 分辨率，一般为 10、12、14、16

速度输出的单位为转/秒（rps），该速度与系统最大跟踪速率相关，也与分辨率有关。
速度输出的数据格式：一般的，最高位代表旋转的方向，其他 11 位数据代表转速。速度输出时，最大满幅速率是最大跟踪速率。
如对于 AD2S1200（12bit），当加载 8.192MHz 的外部时钟时，最大跟踪速率为+/-1,000rps(逆时针或顺时针转)。则 1LSB = 1000rps/2^{11} = 0.488rps (11 bits @ 1,000rps 或 12 bits @ +/-1,000rps)。
Velocity = Output×1LSB
如果使用的外部时钟频率不同，则 1LSB 的的速度精度与最大速率等比例调整。

对于 AD2S1210，该 RDC 的精度是可调的，数据寄存器为 16bit 的，当选择输出低精度(10,12,14bit)时，则位置寄存器相应低几位数据为零，速度寄存器的低几位则可以忽略。
以 16bit 时钟输入为 8.192MHz 为例，位置输出的表达式为 360°/65536×dataout，如换算为弧分单位，则应为 60′ ×360/65536×dataout；角速度的输出表达式为+/-125rps/32768×dataout，输出数据为有符号数(补码)，MSB 为符号位。

表 2. AD2S1210 的分辨率设置

分辨率(位)	位置LSB(弧分)	速度LSB(rps)[1]
10	21.1	4.88
12	5.3	0.488
14	1.3	0.06
16	0.3	0.004

3 应用中的常见问题

3.1 RDC 接口的相关问题

3.1.1 AD2S12xx 系列集成励磁信号的 RDC，如何提高励磁驱动能力

AD2S12xx 系列 RDC 对应产品的数据手册和评估板中的运放（评估板使用一片 AD8664）和外围电路都可以使用，以提高励磁驱动能力。这个缓冲器电路是为旋变提供更强激励的，所以主要要看您所使用的旋变需要多大的激励电压和电流。

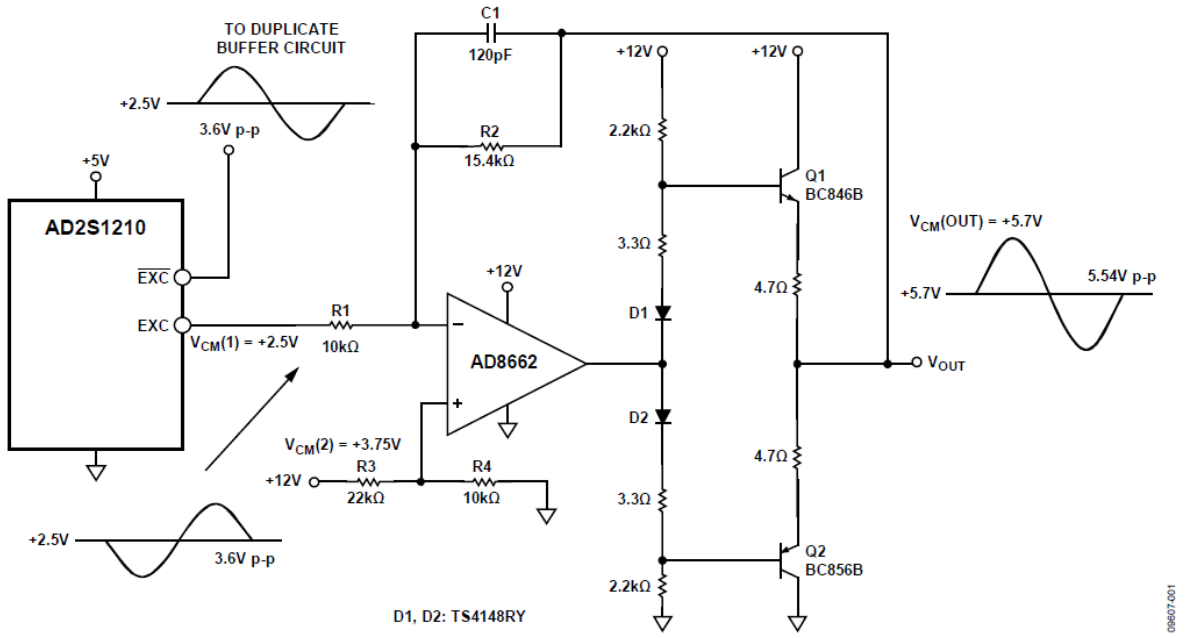


图 3. 励磁驱动电路

由于旋变有着不同的励磁电压要求和一定的变比，而 AD2S12xx 系列 RDC 的励磁信号输出典型值为差分 7.2Vp-p，输入信号范围为差分 3.15Vp-p，所以要结合旋变的参数调整驱动器的增益。一般情况增益都在励磁一侧的增益缓冲器处设定(即利用图 3 中的 R1,R2)，在 Vout 处得到旋变所需的励磁电压，再根据旋变的变比，得到符合 AD2S12xx 输入电平要求的正余弦调制信号。如果反馈信号不符合输入电平要求，则也可以考虑加放大器对差分信号进行调节，然而运放引入的噪声、非线性和相位失配则需要加以考虑。

建议您采用评估板推荐的运放驱动电路来驱动旋变，具体晶体管的推荐型号如下：
BC846B
BC856BLT1

如 AD2S1210 的应用，已知旋变的变比为 0.286，为实现 3.15Vpp 的正余弦输入信号幅度，励磁一侧的电压应为 11Vpp：

11 Vpp×0.286 = 3.15 Vpp
所以增益设定为 R2/R1 = 1.53：
11Vpp / 7.2Vpp = 1.53
运放同相输入端的电阻用于调整励磁信号的直流共模电平。另外，ADI 的一篇实验室电路 CN0192 也对 AD2S12xx 系列的励磁驱动电路进行了详细地描述。

3.1.2 对于旋变的输出，也就是 RDC 的正余弦输入信号，应如何保护以确保系统精度

AD2S1205 和 AD2S1210 的输入信号 Sin (Cos)与 SinLO (CosLO)两者的典型压差是 3.15Vp-p，AD2S1200 的典型输入信号为差分 3.6V。输入到 AD2S12xx 的差分信号不能低于地电位，可以考虑用芯片的 REFOUT 来偏置输入差分信号（如图 4b）。为了改善系统的噪声性能，可以考虑对输入模拟信号进行 RC 滤波（截止频率低于 500kHz），并使用较短的双绞屏蔽线对模拟信号进行保护，屏蔽应端接至 REFOUT 或 AGND。

一般情况下，旋变的输出端阻抗都比较低，所以如果电平范围符合要求，即使传输线较长，也无需再加缓冲器。然而，如果旋变输出的电压范围超出了 3.15Vpp 的要求，甚至超过 4Vpp 的最大电平范围要求，则需要考虑加电阻分压电路实现信号调理，这里需要注意电阻分压器会引入信号幅度失配的问题，所以使用 1%容差或更精密的电阻，阻值取几 kOhm 即可。当输入信号电压范围符合规范要求时，Fault 寄存器的 D7 应为 0。

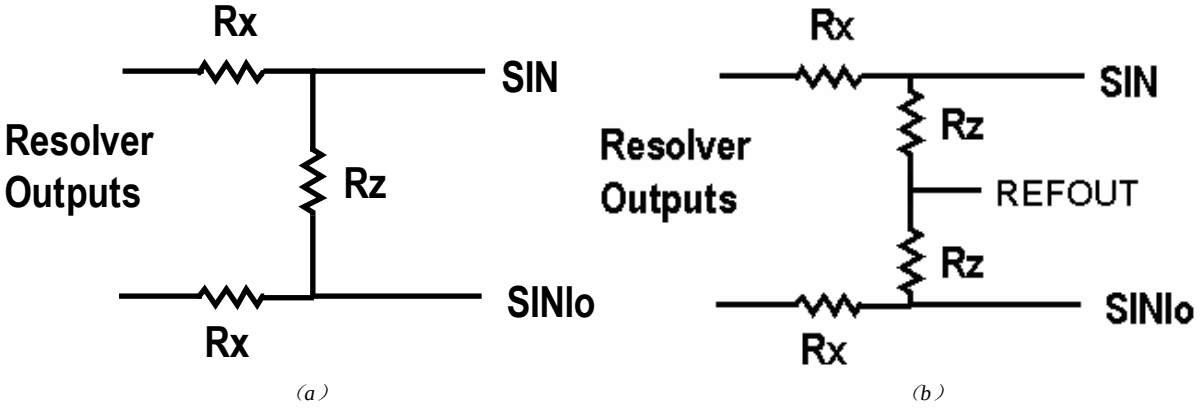


图4. 差分输入信号的电阻分压器

AD2S12xx 系列也支持单端信号输入，然而要注意信号的绝对电压范围要符合规范要求，如 SinLO 和 CosLO 端设为参考电位，则推荐通过电阻接到 2.5V 上，如果接到 GND 则会出现削波(clipping)的问题。单端信号(Sin 或 Cos)在 AD2S12xx 内部实际上仍是被认为是与参考电位(SinLO 或 CosLO)的差模信号，所以如果外部干扰很小，则单端信号输入同样可以得到较高精度的转换输出。

3.2 RDC 性能相关的问题

3.2.1 AD2S12xx 系列的串行时钟频率最高为多少

AD2S1200 和 AD2S1205 的串行时钟最高可达 25MHz。AD2S1210 的最高串行时钟频率 fSCLK 则与 Vdrive 电压有关，具体请见下图。

f_{SCLK}	Frequency of SCLK input		
	V_{DRIVE} = 4.5 V to 5.25 V	20	MHz
	V_{DRIVE} = 2.7 V to 3.6 V	25	MHz
	V_{DRIVE} = 2.3 V to 2.7 V	15	MHz

图 5. AD2S1210 的最高串行时钟频率与 Vdrive 电压的关系

3.2.2 外部时钟是如何影响跟踪速率的

比如，当时钟为 CLKIN = 10.24 MHz，即 8.192MHz 的 1.25 倍时，14bit 的跟踪速率为 625 rps，即典型值 500rps 的 1.25 倍。最大跟踪速率与系统时钟成比例变化。

3.2.3 AD2S8x 系列 RDC 的数字端口的逻辑电平是多少

SC1、SC2、DATALOAD 和 COMPLEMENT（AD2S83）引脚为 12V 的逻辑输入接口，其他的数字输入输出管脚为 5V 的逻辑电平。

3.2.4 RDC 产品的一些相关指标参数的来源

1) RoHS 情况，可参考：
http://www.analog.com/en/quality-and-reliability/material-declaration-search/content/index.html
2) 符合 RoHS 标准的回流焊温度：
260°C，请参考 JSTD020D 标准
3) 湿敏等级（MSL），可参考：
http://www.analog.com/en/quality-and-reliability/material-declaration-search/content/index.html
4) ESD，可以查看数据手册，如 AD2S1200、AD2S1205：
该类器件具有 4kV ESD 保护，也就是所有管脚都验证通过了 4kV ESD 保护的测试。
而 AD2S1210 的 ESD 保护则为 2kV HBM
5) 符合汽车应用标准：
可以查看芯片型号的后缀，其中标有 W 的为通过汽车应用认证的，如 AD2S1205WSTZ、AD2S1210WDSTZ 等。请注意，汽车应用型号的技术规格可能不同于商用型号，因此，设计人员应仔细阅读本数据手册的技术规格部分。只有显示为汽车应用级的产品才能用于汽车应用。

3.3 RDC 调试和应用中的相关问题

调试 RDC 时，应先确保芯片供电稳定，电源和参考处有良好的去耦，电容值根据手册推荐值设定。外部时钟晶振是否起振，频率和幅度是否符合手册要求。参考电源输出 REFOUT 电压是否符合数据手册中的要求。对于 AD2S12xx 系列 RDC，内部集成了增量编码器仿真输出，A、B 和 NM 增量式编码器为自动输出，而且如果施加于转换器的旋变输入信号有效，则就会看到有效输出。另外 EXC($\overline{\text{EXC}}$)处应看到固定频率的正弦激励信号。在对 RDC 进行控制时，应对照数据手册中的时序图编写控制程序，如数据读写不正常，可以根据接口模式的选择（串行或并行）并通过示波器观察控制信号变化，看是否符合手册中的时序要求。也可参考 ADI 关于 RDC 芯片的相关参考代码，相关代码可以从 ADI 网站下载，或联系 ADI 客服中心进行索取。

3.3.1 RDC 上电和控制时序方面有哪些注意点

AD2S12xx 系列 RDC 需要一个外部复位信号使$\overline{\text{RESET}}$输入保持低电平，直到 V_{DD} 达到规定的工作电压范围 4.5 V 至 5.5 V 以内。在 V_{DD} 处于规定的范围内之后，$\overline{\text{RESET}}$ 引脚必须保持低电平至少 10 μ s(t_{RST})。对 RDC 施加一个$\overline{\text{RESET}}$信号，将把输出位置初始化为 0x000 值（通过并行、串行和编码器接口输出的度数），并导致器件指示 LOS（LOT 和 DOS 引脚拉低）。

如果没有正确控制上电复位时序，可能会导致位置指示不正确。

在$\overline{\text{RESET}}$输入的上升沿之后，必须为器件留出至少 20ms 的时间（t_{TRACK}），以便内部电路稳定下来，并且跟踪环路建立至输入位置的变化。经过 t_{TRACK} 时间后，必须使用一个$\overline{\text{SAMPLE}}$脉冲来刷新 LOT 引脚和 DOS 引脚的状态（由错误检测电路决定），且使并行/串行输出端提供有效的数据。（请注意，如果位置数据是通过编码器输出获取，则可以在 t_{TRACK} 期间监控这些输出。）

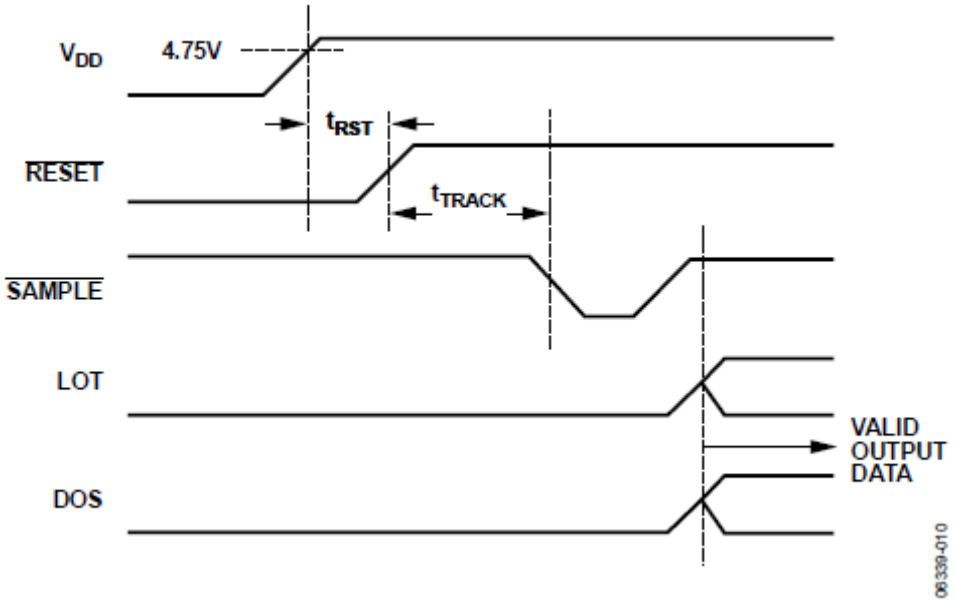


图 6. 上电时序控制和复位

另外，数据读出时要注意，CLKIN 的时钟为外部晶体产生，SAMPLE 下降沿(至少持续 t_{16} 的低电平)会将内部位置和速度的值送到寄存器准备输出，与 CLKIN 没有直接关系，之后随 CS 等控制信号的变化还需要一定的建立时间才可以正确读出数据。关于时序控制的更多信息，还请参考对应芯片的数据手册说明。

3.3.2 ADI 的 RDC 是否适用于较低转速的应用

如果电机一般工作在较低的转速，如 0.5rps 且打算用速度输出作为电机的反馈控制，则 AD2S1200 可能并不适用，因为 LSB 相对较大（典型值 0.488rps），会产生较大测量误差。然而可以考虑用位置输出来作反馈控制，位置输出 1LSB 为 5.3 弧分，即 0.09°。
如果需要更高精度的速度输出，您可以考虑用 AD2S1210，16 位分辨率输出时，速度精度可达 1LSB 0.004rps。

3.3.3 如果手头没有旋变或电机，我们能不能测试或验证 RDC 的功能

可以的：
1. 如果没有旋变和电机，可以考虑用旋变格式的信号发生器产生仿真信号送到 RDC，该类信号发生器可以模拟旋变对应转速和位置的正余弦调制信号，比如 North Atlantic 5300。当然也可以考虑用控制器（MCU 或 FPGA 等）对 DAC 进行控制，产生相应的调制的正余弦信号源。
2. 如果只有旋变，没有电机，可以考虑手动转动旋变轴来模拟低速旋转的情况，这种测试仅能验证 RDC 的功能，很难实现较高精度的测试。

3.3.4 测量时如何降低外部噪声干扰

首先是查看系统中的 RDC 电源是否有纹波，去耦是否良好，可以通过观察电源电平或芯片参考电压输出来判断电源供电是否稳定；另一方面，电机供电是否稳定，假定旋变与电机装配良好，那么如果励磁信号波形完好，而旋变输出波形噪声较大则需要考虑电机工作是否稳定，或者励磁驱动能力是否符合要求。
接下来要考虑差分输入信号线的匹配，适当的屏蔽和滤波可以降低外界干扰，详细信息请参考 3.1.2 部分的描述。

3.3.5 使用 RDC 中的故障检测指示需要注意的问题

LOS 和 DOS 管脚用于指示 RDC 跟踪状态错误或信号幅度误差故障。如果旋变没有正常接入系统，LOT 和 DOS 会被拉低来指示错误状态。注意，通过读错误状态寄存器或对应位也可以判断 RDC 的工作状况，但由于软件读写过程需要采样和延时，而 LOS 和 DOS 管脚的变化则是在错误状态被触发后立即更新的，所以推荐通过观察 LOS 和 DOS 管脚来检查系统故障。

如果任一旋变输入引脚（SIN、SINLO、COS 或 COSLO）对 AD2S1210 的电源轨或接地轨削波，AD2S1210 将指示发生削波错误。如果输入幅度小于 0.15 V 或大于 AVDD − 0.2 V 并持续 4 μs 以上，它将指示削波故障。正弦/余弦输入削波错误由 DOS 和 LOT 引脚均锁定为逻辑低电平输出来表示。AD2S1210 的故障寄存器的位 D7 也会通过置高来表示正弦/余弦输入削波错误。当用户进入配置模式并读取故障寄存器时，DOS 和 LOT 引脚复位至无故障状态。

LOS 高电平，DOS 被拉低则需要判断是 AD2S12xx 的 Sin/Cos 信号幅度超过指定的 DOS 正弦/余弦阈值还是两信号的幅度差值超过失配阈值。正(S3-S1)余(S2-S4)弦信号的幅度，即两路信号各自峰峰值的最大和最小值(通过比较得出)都会被存入内部寄存器，对于 AD2S1210，故障寄存器清除时，存储监控信号最大和最小幅度的内部寄存器将被复位到 DOS 最大和最小阈值寄存器的设定值，以便以后再进

行比较。

当错误状态出现时，输出的数据应被忽略，并清除错误状态。软件复位是可以清除 fault 寄存器的，但是如果系统仍然处在 fault 的状态，那么马上又会有 fault 被检测出来的。所以，清掉 fault 寄存器之后，还要注意一下，fault 的状态是否真的恢复了，且清除 fault 寄存器有具体的流程（请参考数据手册说明），不建议用软件复位来实现。

软件复位的时候只需要向 AD2S12xx 写软件复位寄存器的地址，也就是 0xF0，不需要再写其他的数据。另外要注意复位后，跟踪环路需要重新初始化，所以位置输出需要一段建立时间，不能立即读出。

3.3.6 如果旋变不是单极的，应如何应用 RDC 实现正确转换

如果旋变极数为 X（常见的如 2，3，4），旋变的输出速率为实际轴旋转速度的 X 倍，于是 RDC 输出的位置也变为轴旋转位置的 X 倍，所以在软件设计时，需要结合极数 X 来做一下转换。

$S3\text{-}S1=E_0 \sin \omega t \times \sin X\theta$

$S2\text{-}S4=E_0 \sin \omega t \times \cos X\theta$

3.3.7 能否实现两片 RDC 同步输出励磁信号

两片 AD2S12xx 可以同步使用，需要注意的是采用同一个时钟源（8.192 MHz），并同时发送 RESET 信号给两片 RDC 即可。如果两个条件都满足，两片 RDC 即可同步，励磁信号输出应没有明显相差。

3.3.8 多旋变系统中，用多路器切换旋变需要注意些什么

对于 RDC 控制多个旋变的系统，MUX 的开关会引起各通道相位不一致的问题，使 RDC 产生过多噪声和错误。建议您在切换通道后作一次系统复位，再开始新一个通道的转换。否则，可能会在输入信号引入噪声、毛刺或者是相移，从而导致故障检测发生。这里所指的复位可以是软件或硬件的复位。注意复位后，跟踪环路需要重新初始化，所以位置输出需要一段建立时间，不能立即读出。

3.3.9 如果系统中已有参考激励，则应该用什么型号的 RDC，AD2S12xx 系列是否合适

需要看外部的参考激励是什么源，励磁频率范围为多少。如果是 AD2S99 可编程振荡器或其他一些参考激励，可以考虑与 AD2S90（或 AD2S8x）构成分立的 RDC 方案，可以实现 12 位分辨率的 RDC，位置精度为 10 弧分，跟踪速率可达 500 rps。AD2S90 也包含了基本的故障检测功能。

AD2S12xx系列RDC以外部8.192 MHz的典型时钟驱动，并且可以确保内部的励磁频率与输入的SIN和COS信号相位锁定。如果使用外部源激励（即使是另一片AD2S12xx），AD2S12xx的励磁频率也必须与外部励磁完全匹配，然而由于漂移或误差因素影响，AD2S12xx的转换会出现误差和错误，所以如果采用外部励磁信号，则AD2S12xx系列RDC不宜使用。

3.3.10 ADI 有没有完整的伺服电机控制系统的解决方案

图 7 是一个伺服电机控制系统的完整信号链。可以看到 ADI 的很多产品都可以应用到该系统中，如电源管理芯片，运放，AD，DA，隔离等等。这里旋变位置反馈的模块就是用 AD2S12xx 系列 RDC 芯片来实现的。

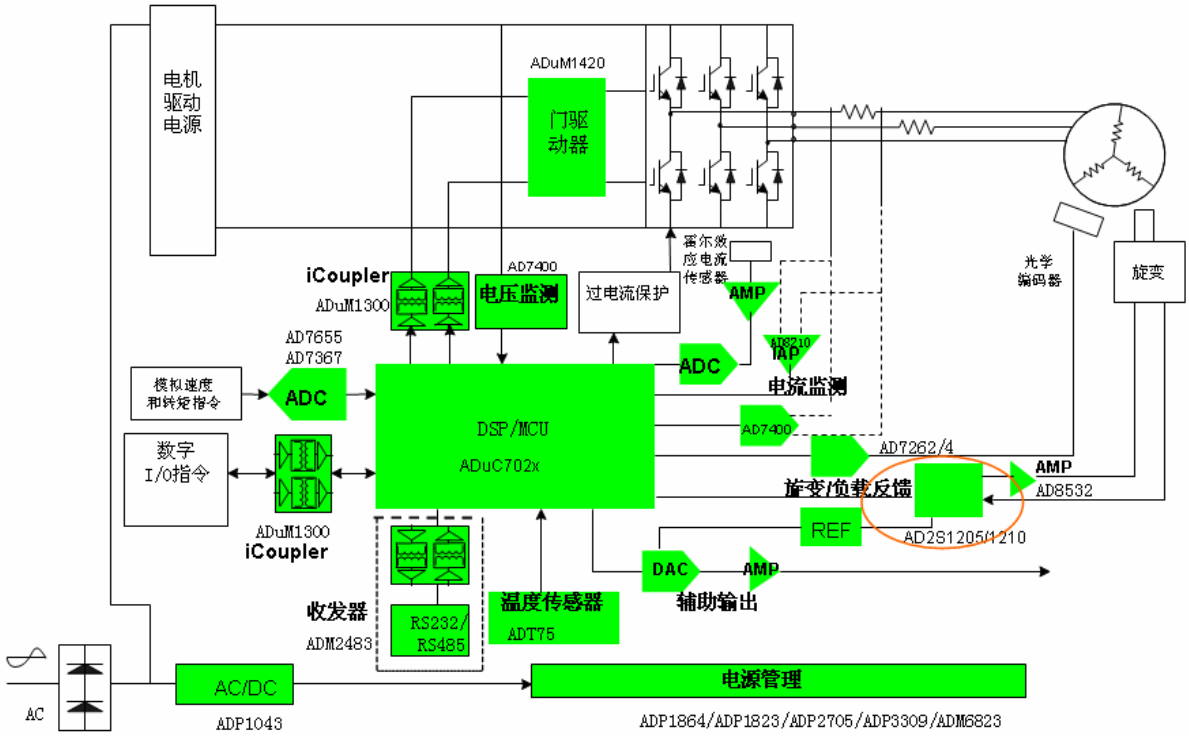


图 7. 应用 AD2S12xx 的伺服电机控制系统的信号链

3.3.11 如果是高电压激励信号（如 100V），有什么解决方案

高压系统一般是自整角机的应用，这方面可以参考 ADI 的一篇应用笔记（AN252），文章中提到了用 AD2S80A 作为 RDC，并用 Scott T 型变压器来实现自整角机与 RDC 之间的转换连接。

3.3.12 AD2S8x 系列 RDC 输出时的控制信号 INHIBIT、ENABLE 和 BYTE SELECT 应如何使用

在 AD2S8x 系列 RDC，INHIBIT 为低时，会抑制数据从 up-down counter 输出到锁存器 latch 上；而 INHIBIT 输入为高时，重新释放锁存器的数据。而 ENABLE 为低，则将锁存器中的数据加载到输出端口上。如果希望在数据输出口上得到稳定易读的数据，则需要将 INHIBIT 拉低，并等待 t_9 的数据建立时间，同时注意 ENABLE 也要为低。INHIBIT 为高时，BUSY 信号会随着输入信号变化（1LSB）而自动产生，从而更新 up-down counter 中的数据，提示有新的数据可读。也就是说，此时 BUSY 脉冲的频率取决于旋变转动的速度，改变输入信号的速度，BUSY 信号的频率应该也是改变的。

如果需要读取稳定的数据，则需要拉低 ENABLE 和 INHIBIT，并等待一定延时后读出锁存数据，这样并不会影响旋变的连续转动。

BYTE SELECT 的功能是决定当 ENABLE 和 INHIBIT 拉低时，输出端口 DB1 到 DB8 上的数据是高位

字节还是低位字节，也就是如下状态：
BYTE SELECT 为高，DB1 – DB8 输出 8 位 MSBs
BYTE SELECT 为低，DB1 – DB8 输出 8 位 LSBs
DB9 – DB16 始终输出 8 位 LSBs

BYTE SELECT 仅适用于接口为 8 位的 MCU 或 DSP 等。高低字节可以通过多路器选通传递，并最终组合为 16 位。如果不需要字节输出功能，BYTE SELECT 可通过电阻上拉到 5V 高电平上，这样 16 位的输出数据会同步输出到 DB1 – DB16，Mxx…xxL（这里 M 为数据输出最高位，L 为数据输出最低位）。

如果 RDC 被设定为低于 16 位的精度，如 12 位，则 BYTE SELECT 的控制输出为：
BYTE ENABLE 为高时：8 位 MSBs 输出到 DB1 – DB8 Mxxxxxxx
BYTE ENABLE 为低时：4 位 LSBs 输出到 DB1 – DB8 xxxL0000（剩余位自动补 0）
DB9 – DB16 此时始终为 4 位 LSBs：DB9 – DB16 xxxL0000（和 BYTE ENABLE 为低时的 DB1 – DB8 相同）

在 BYTE SELECT 高低切换输出数据时，需要等待 t_{12} 和 t_{13} 的数据建立时间以保证输出数据稳定。