



HPM

HPM-RDC旋转变压器方案参考设计

目录

特性.....	3
应用.....	3
1. 系统说明	3
1.1. 参数说明	4
1.2. PCB总览	4
1.3. 框图	4
2. 关键器件	5
2.1. TLVx4171	5
2.2. TLV431x	5
3. 系统原理	5
3.1. PWM产生	5
3.2. 有源低通二阶滤波器和分相器.....	6
3.3. 电源(激励)放大器	7
3.4. 传感器	7
3.5. 交叉电路-可选	8
3.6. 模拟前端差分放大器	8
3.7. A/D转换和信号处理	9
4. 测试环境	10
4.1. 硬件准备	10
4.2. 环境搭建	11

说明

该参考设计是适用于旋转变压器传感器的励磁放大器和模拟前端，通过HPM系列MCU来进行信号处理和角度计算。

特性

- 行业标准化组件
- 低成本
- 支持性能升级

应用

交流驱动器位置反馈、逆变器和电机控制、伺服驱动器位置反馈

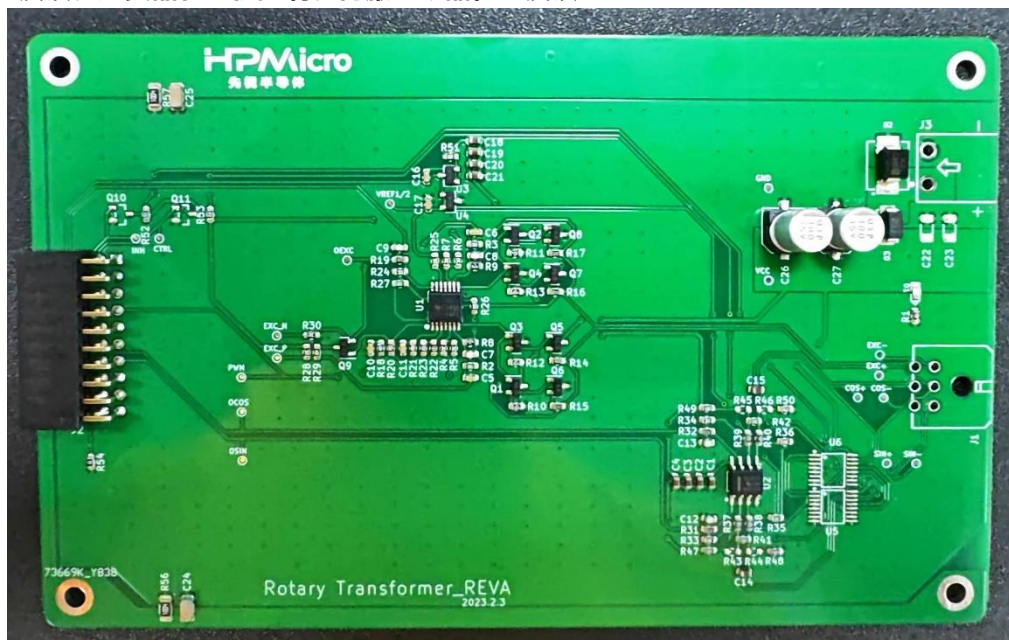


图1 旋变板

1. 系统说明

高性能电机控制应用传统上需要一个速度或位置传感器的控制回路反馈。各种方法和新算法可以消除对物理传感器的要求；然而，许多应用无法通过无传感器控制达到所需的性能和可靠性。示例包括用于混合动力汽车 (HEV) 和电动汽车 (EV) 的牵引逆变器、电动助力转向、工业应用中的电机驱动器和伺服驱动器。旋转变压器是（旋变）最受欢迎的角度传感器之一，因为它的可靠性（即使在恶劣的环境中）和比例输出，并抑制共模噪声。

这个离散旋变前端参考设计提供了旋变接口的简单实现。

该设计使用一个PCB来实现初级绕组的励磁放大器和反馈绕组的模拟信号前端。PCB通过杜邦线或标准牛角连接器连接到HPM MCU。MCU使用欠采样算法进行回读信号解调，并使用圆切角函数进行角度计算。

1.1. 参数说明

表1 系统关键参数

参数	规格
旋变励磁电压	7Vrms
输入电压	16V
PCB尺寸	145mm × 90mm
输出信号电压	0V~2.54V
支持励磁电流	80mA

1.2. PCB总览

通过MCU产生一个可变占空比的脉宽调制(PWM)信号。占空比调制与期望的旋变激励频率相匹配。二阶有源低通滤波器仅保留激励频率，并将PWM信号转换为谐波信号。模拟分相电路将谐波信号分成两个互补的谐波信号。两个功率放大器增强这些谐波信号以匹配旋变激励电压水平。一组差分放大器通过主MCU中的ADC接口监控所有旋变绕组。

1.3. 框图

图2展示了旋变板参考设计，主机MCU和旋变传感器的框图。

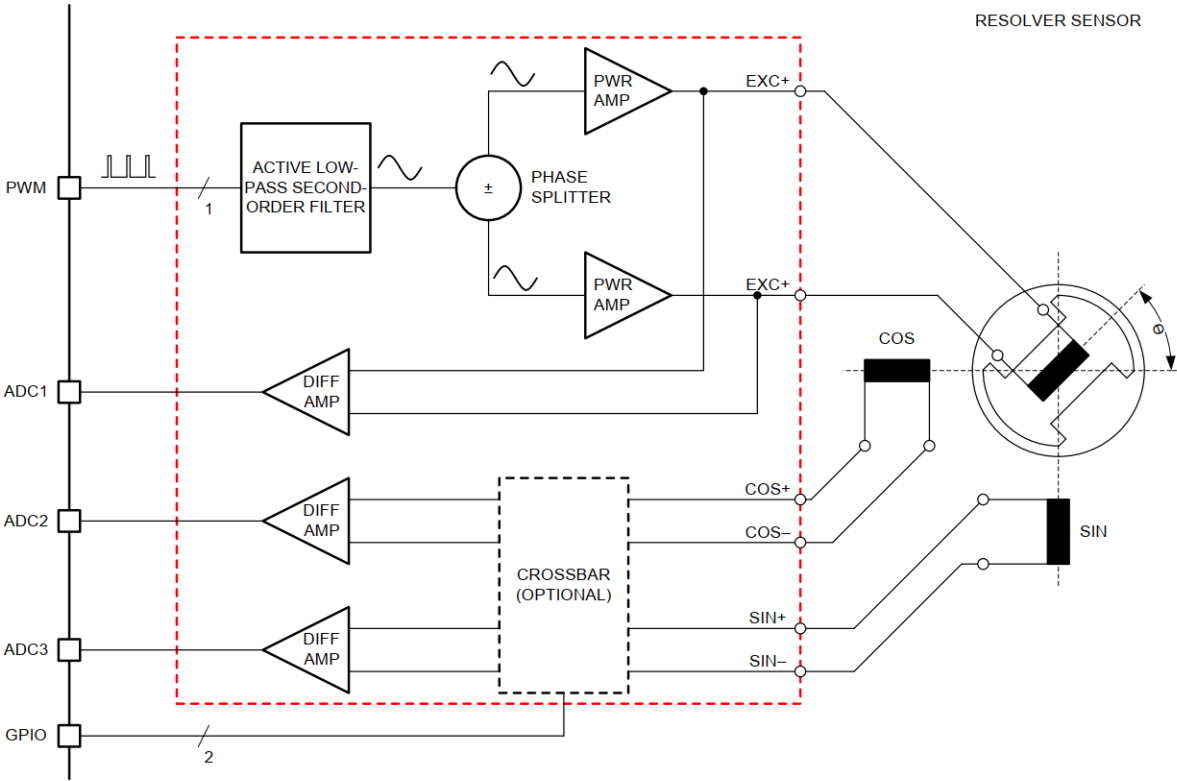


图2 旋变板框图

2. 关键器件

2.1. TLVx4171

TLVx171系列器件是一款36 V，单电源，低噪声运算放大器(运放)，能够在2.7 V(± 1.35 V)至36 V(± 18 V)的电源上工作。该系列有多种封装，可提供低偏移，漂移和低静态电流。单、双和四版本都有相同的规格，保证最大的设计灵活性。

与大多数运算放大器只指定一个电源电压不同，TLVx171系列器件指定在2.7 V到36 V之间。超出供电轨道的输入信号不会引起相位反转。

TLVx171系列器件稳定，电容性负载可达200pf，正常工作时输入可在负轨下100mv。该设备可以在超过顶轨100mv的全轨对轨输入下工作，但性能会降低。

2.2. TLV431x

TLV431器件是一种低压三端可调电压基准，在适用的工业、汽车和商业温度范围内具有指定的热稳定性。输出电压可以设置为1.24 V单机模式或VREF (1.24 V)和6v之间的任何值与两个外部电阻。这些器件的工作电压比广泛使用的TL431和TL1431并联稳压器参考电压低(1.24 V)。当与光耦合器一起使用时，TLV431器件是隔离反馈电路中3-V至3.3 v开关模式电源的理想参考电压。这些器件的典型输出阻抗为0.25 Ω 。有源输出电路提供了一个非常尖锐的开关特性，使其成为低压齐纳二极管在许多应用中的优秀替代品，包括板载调节和可调电源。

3. 系统原理

接下来的章节将按照信号流的顺序描述系统的设计。

- PWM产生(MCU，软件)
- 有源低通二阶滤波器和分相器(硬件)
- 电源(激励)放大器(硬件)
- 传感器(硬件)
- 交叉电路-可选(硬件)
- 模拟前端差分放大器(硬件)
- A/D转换和信号处理(MCU，软件)

3.1. PWM产生

MCU产生固定频率可变占空比的PWM信号。PWM周期明显高于变压器励磁信号的周期。图3显示了PWM流与调制波形。

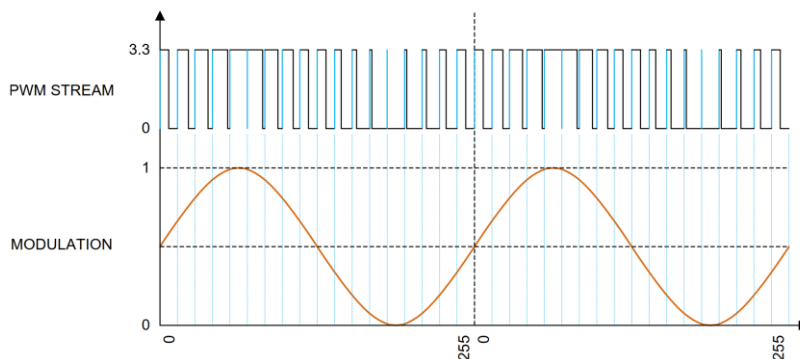


图3 PWM与调制波形

3.2. 有源低通二阶滤波器和分相器

如图4所示，适当设置的低通滤波器将PWM载波和谐波抑制到最小，传递了旋变激励信号内容。这个过程将调制的PWM流转换为正弦波。

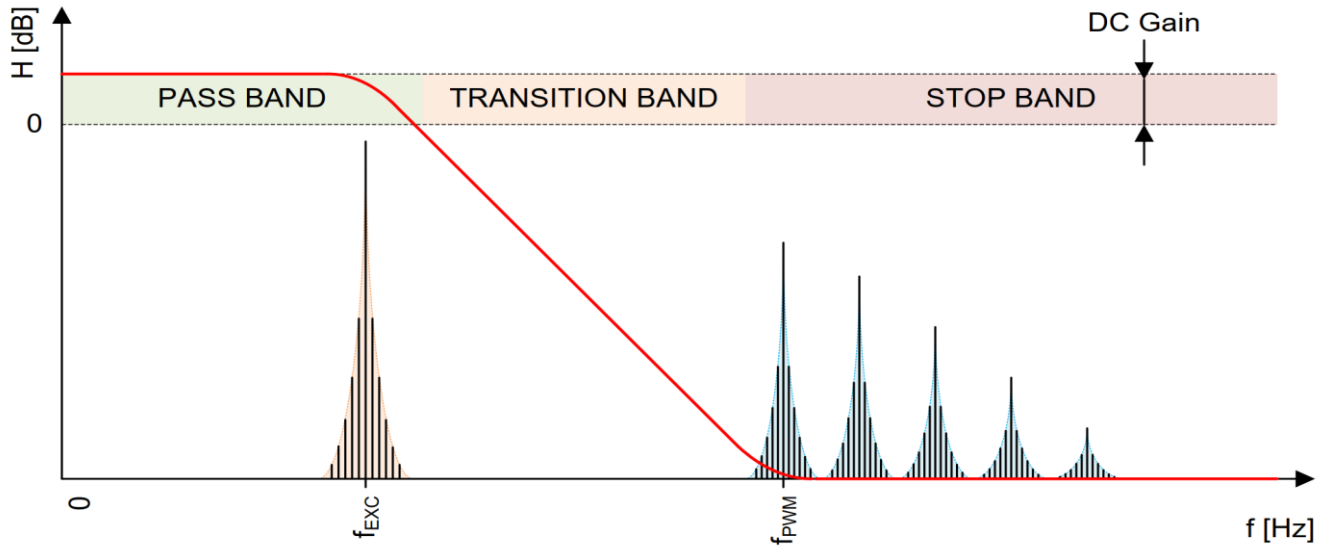


图4 PWM信号的低通滤波响应

参考设计使用具有多重反馈拓扑的二阶低通有源滤波器，如图5所示。

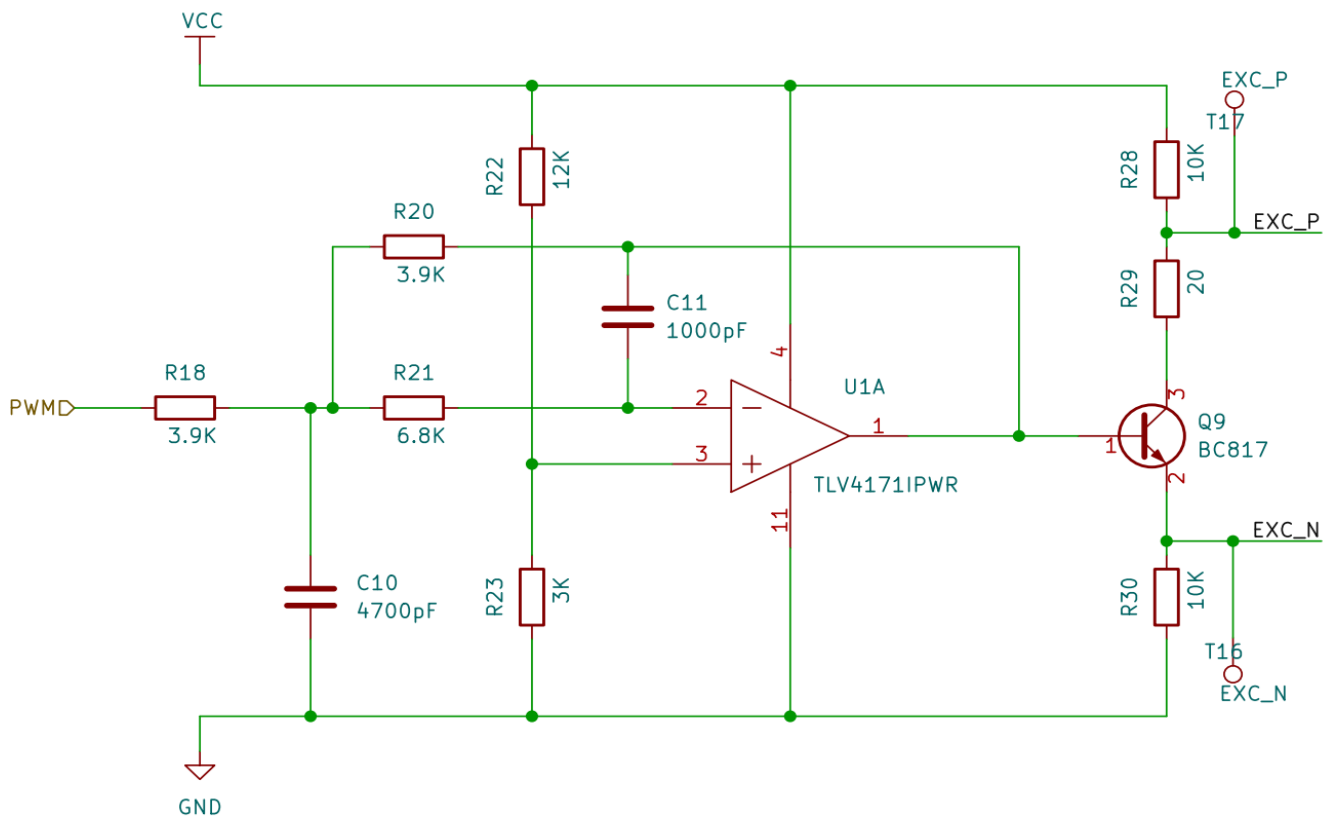


图5 多反馈滤波器

运放同相端通过电阻R22和R23设置直流偏置，R18和R20设置直流增益。 $A_{DC} = -R18/R20 = -1$ 。滤波器在-3dB的截止频率为：

$$f = \frac{\sqrt{\frac{1}{2^n} - 1}}{2\pi\sqrt{R20 \times R21 \times C10 \times C11}}$$

旋变传感器是一个变压器，需要消除初级绕组上的直流分量以避免磁饱和。因此，采用两个相移为180度的输出放大器差分激励，旋变只记录差分电压 V_R : $V_{EXC+}=V_{EXC-}$, $V_R=2 \times V_{EXC}$ 。
分相器使用三极管Q9和电阻R28、R30产生匹配的互补正弦波，电阻R29用于Q9的发射极电阻补偿，有助于大致匹配集电极和发射极间的输出阻抗。

3.3. 电源(激励)放大器

通过一对励磁放大器直接驱动旋变传感器的初级绕组，该放大器实际上是一个有带通滤波器响应的功放。电路如图6。

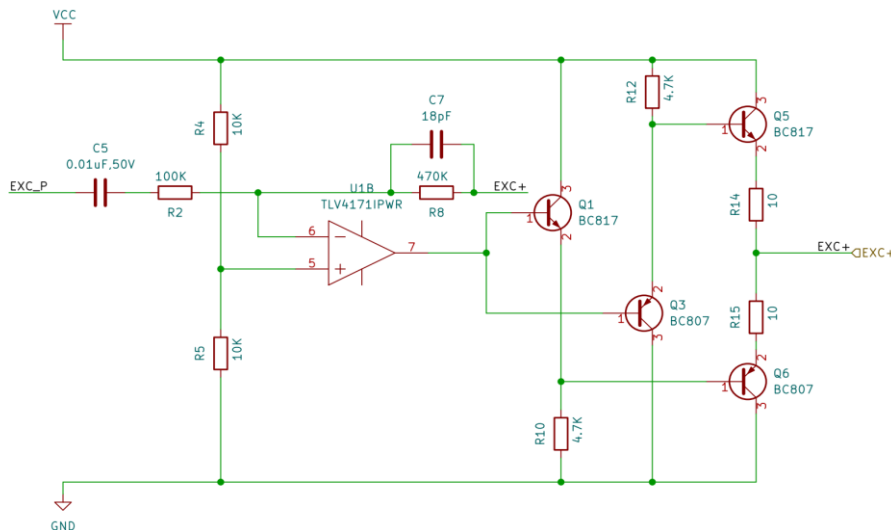


图6 激励放大器

电阻R4和R5创建一个虚拟地，并将直流偏置设置为工作电压范围的中间值。电阻R2和R8设置通带增益，阻值需足够大，因为R2影响功放的输入阻抗。 $A_{PASS-BAND}=-R8/R2$ 。

功率级是交流耦合，因为功率级的虚地（直流偏置）与分相器的输出EXC_P、EXC_N不匹配。电容C5和电阻R2设置通带下限截止频率，该截止频率应远低于激励频率，防止信号衰减；C7和R8设置通带上限截止频，该截止频率应足够高保证激励频率不衰减，同时设置得尽可能低以进一步降低PWM频谱含量。

$$f_{low-3dB} = \frac{1}{2\pi \times C5 \times R2}$$

$$f_{high-3dB} = \frac{1}{2\pi \times C7 \times R8}$$

3.4. 传感器

旋转变压器具有单个初级绕组和两个相互成直角的次级绕组(见图9)。产生的正弦波 V_R 激励初级绕组并产生磁通量，该磁通量通过次级绕组分布于转子角度 θ 。然后根据次级绕组上电压 V_S 、 V_C 的比值计算转子角度 θ 。

$$\theta = \arctan \frac{V_S}{V_C}$$

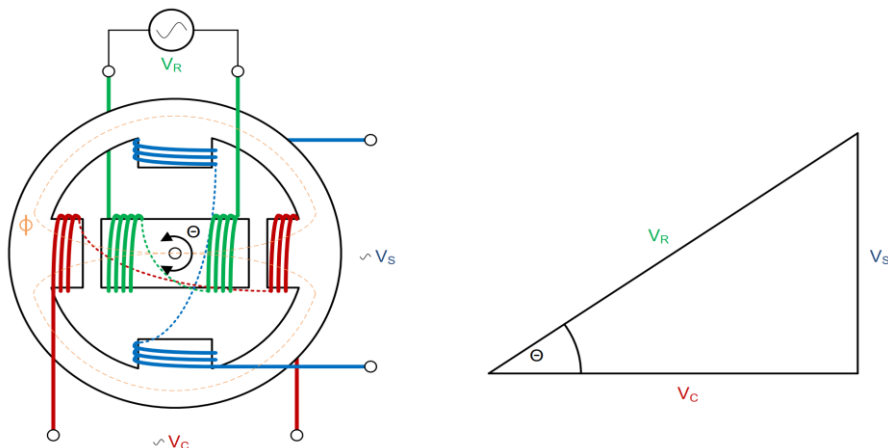


图7 旋变传感器

3.5. 交叉电路-可选

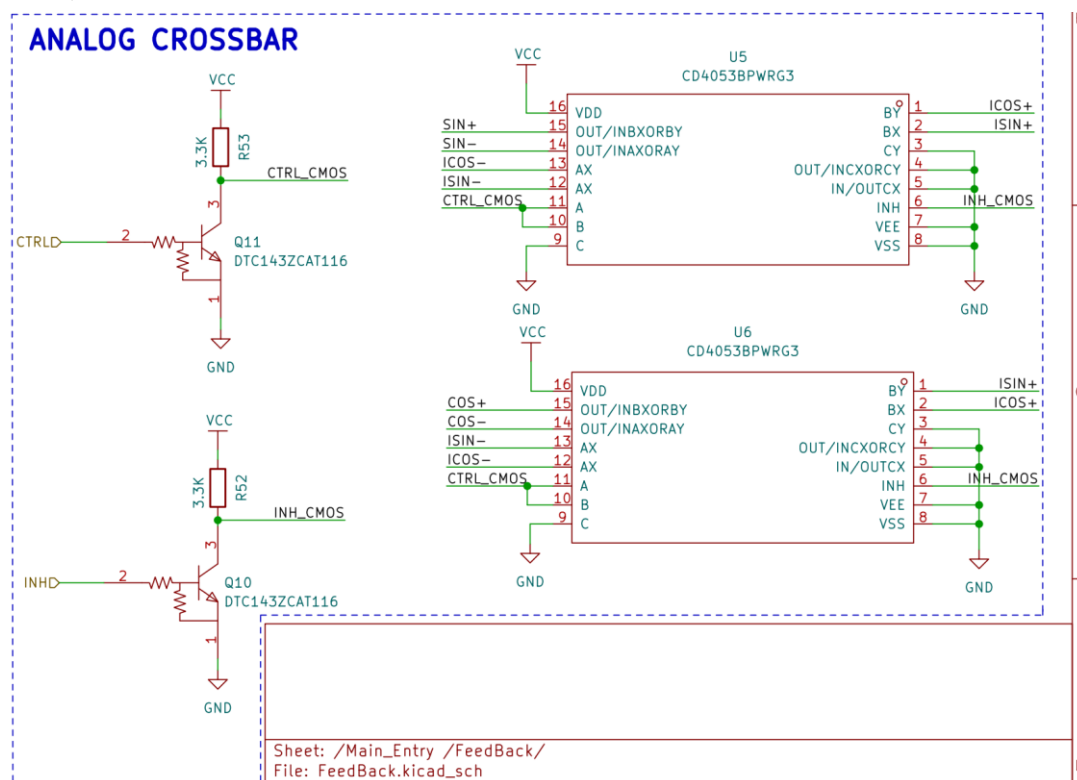


图8 交叉电路-可选

该交叉电路由一对CMOS多路复用器（U5, U6）组成，配合MCU中的特定信号处理算法，可进一步提高测量准确度。

3.6. 模拟前端差分放大器

本设计共使用了三个差分运放进行反馈。

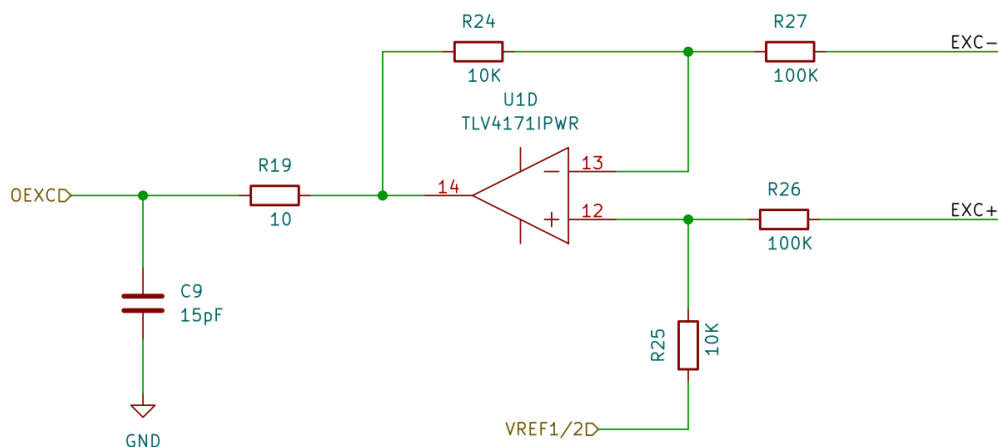


图9 激励运放输出反馈

图9为第一个放大器，它监视激励输出。监测励磁放大器非常有用，因为MCU中的诊断程序可以补偿器件误差，并使用ExcGain变量精确调整输出电压。同时这路反馈使系统能够测量有源滤波器和励磁放大器的相位滞后或检测励磁放大器的故障。差分放大器的直流增益为：当 $R24=R25$, $R27=R26$, $A=R24/R27=0.1$ 。电容C9和电阻R19作为ADC的charge-bucket滤波，差分运放通过直流偏置（VREF1/2）将旋变的双向信号（EXC+、EXC-）转为ADC的单端输入信号（OEXC）。

另外个差分运放监控旋变的正弦和余弦绕组，如图10。

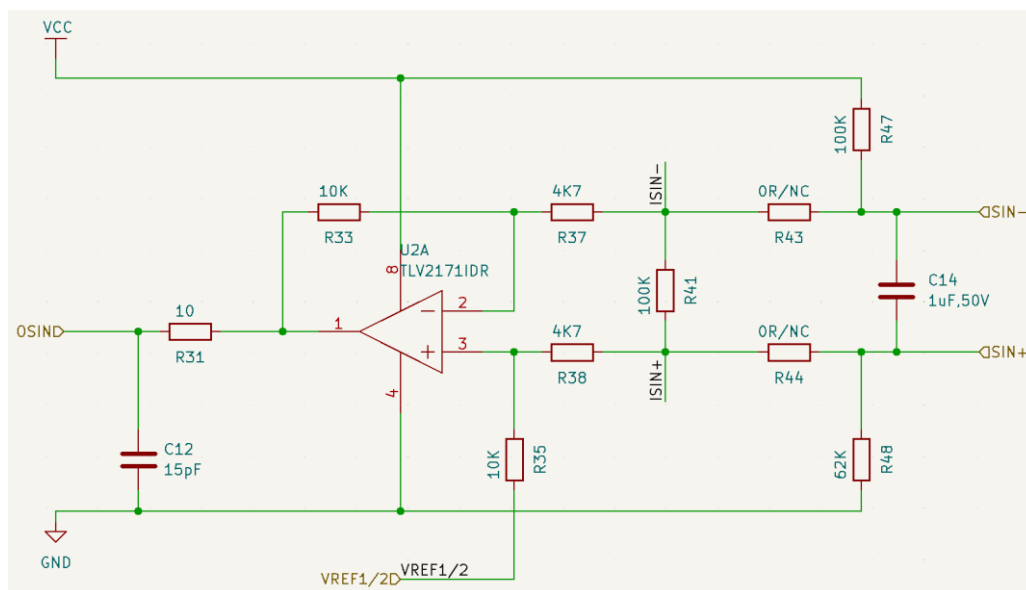


图10 旋变正弦绕组信号反馈

差分放大器的直流增益为：当 $R33=R35$, $R37=R38$, $A=R33/R37=2.1$ 。电容 $C12$ 和电阻 $R31$ 作为ADC的charge-bucket滤波，差分运放通过直流偏置（ $VREF1/2$ ）将旋变的双向信号（ $SIN+$ 、 $SIN-$ ）转为ADC的单端输入信号（ $OSIN$ ）。

旋变次级绕组发出的信号是浮地的。电阻 $R47$ 、 $R41$ 、 $R48$ 提供适当的直流偏置，将运放的输入保持在规定的共模范围内， $C14$ 是一个可选的滤波电容，OR电阻 $R43$ 、 $R44$ 须在交叉电路不使用时装配。

$U3$ 和 $U4$ 提供了参考电压1.24V和2.48V。

3.7. A/D转换和信号处理

旋变次级绕组的物理位置定义了正弦和余弦之间的相位差为90度，HPM MCU提供了两个独立的采样保持电路，可以理想地同时采样两个旋变输出信号。图11为旋变转动时的典型波形。

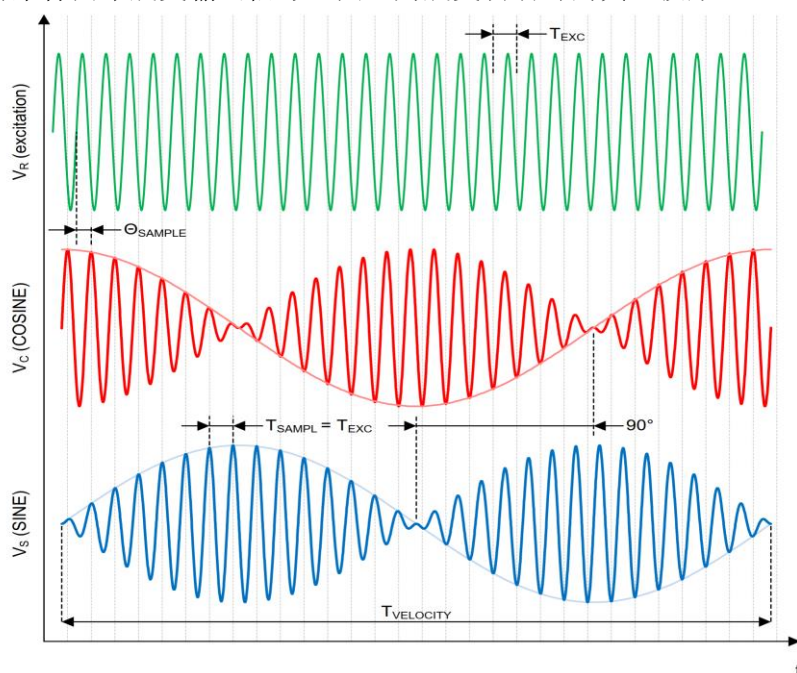


图11旋变典型波形

4. 测试环境

4.1. 硬件准备

使用HPM-RDC旋转变压器方案需搭配以下硬件：

- HPM-RDC旋变板
 - 先焯HPM各系列芯片开发板
 - 用于连接HPM-RDC旋变板与HPM开发板的杜邦线或标准接口
 - 与系统规格匹配的旋变传感器
 - 实验电源指定在0伏至18伏，0毫安至200毫安，最好有电流限制或过流保护
- 图12显示了参考设计引脚，表2列出了到HPM开发板的连接映射。

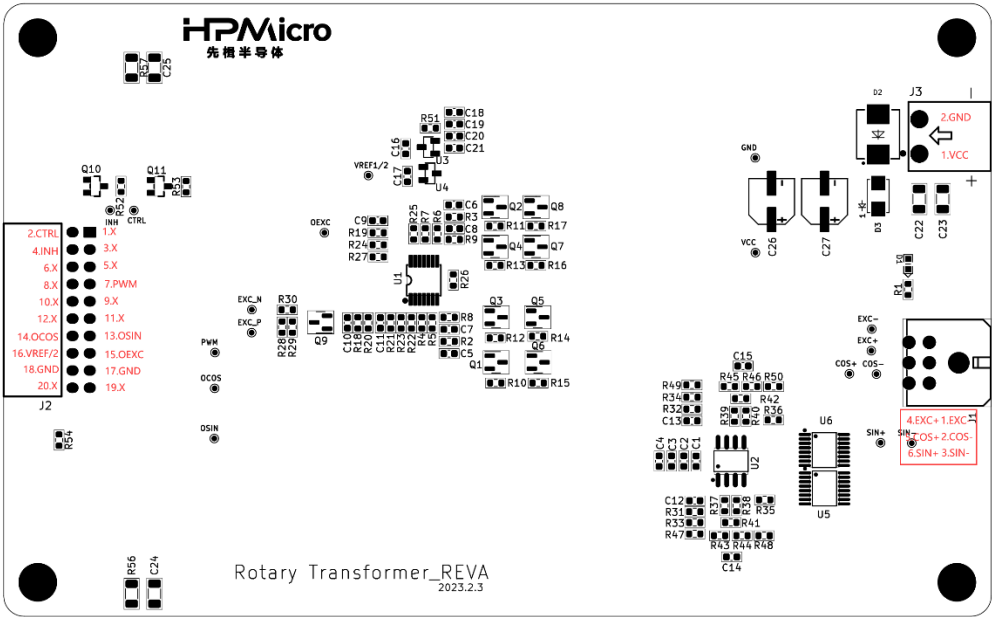


图12参考设计引脚

表2 旋变板PIN-OUT

信号	描述	输入/输出	接口
PWM	激励信号	Input	PWM(J2 PIN 7)
GND	公共地	/	GND(J2 PIN 17 18)
VCC	电源16V	Input	外部供电
OSIN	正弦输出	Output	ADC(J2 PIN 13)
INH	交叉电路约束	Input	GPIO(J2 PIN 4)
OCOS	余弦输出	Output	ADC(J2 PIN 14)
OEXC	激励输出反馈	Output	ADC(J2 PIN 15)
CTRL	交叉电路控制	Input	GPIO(J2 PIN 2)
VREF1/2	参考电压1.24V	Output	ADC(J2 PIN 16)
EXC+	激励信号正	Output	旋变 (J1 PIN 4)
EXC-	激励信号负	Output	旋变 (J1 PIN 1)
SIN+	正弦信号正	Input	旋变 (J1 PIN 6)
SIN-	正弦信号负	Input	旋变 (J1 PIN 3)
COS+	余弦信号正	Input	旋变 (J1 PIN 5)
COS-	余弦信号负	Input	旋变 (J1 PIN 2)

4.2. 环境搭建

1. 将HPM芯片开发板连接到HPM-RDC旋变板J2
2. 将旋变传感器连接到HPM-RDC旋变板J1
3. 将供电电源设为14.5V，电流限制为100mA
4. 运行RDC例程，检查旋变波形



图13测试环境