AN3380

使用 PIC®单片机驱动节拍器

简介

作者：Iustinian Bujor 和 Cristian Pop，Microchip Technology Inc.

本应用笔记介绍如何在内核极少干预的情况下主要使用独立于内核的外设（Core Independent Peripheral，CIP）来驱动 Switec 步进电机作为节拍器。

节拍器是一种带有钟摆的设备，其振荡频率表示每分钟的节拍数。每当振荡周期结束时，节拍器都会生成听觉和/或视觉信号。

本文档中的节拍器之所以使用 Switec 步进电机来实现，原因有两点：第一点是节拍器需要的电流较低，使用单片机引脚即可非常精确地驱动（而无需任何其他硬件）；第二点是运行的步数可以配置。

节拍器是通过向电机的输入端发送特定波形来驱动。这些波形通过完全由 CIP 组成的电路生成。本应用笔记介绍了使用的所有外设及其连接方式。本实现从单向驱动电机开始，到控制旋转方向，再到运行的步数逐步进行介绍。

波形的生成独立于软件，最大程度地降低了内核负载以及程序和数据存储空间占用。

本项目使用的是 PIC16F18446 Curiosity Nano 板和 Switec 步进电机。该实现可以移植到其他平台，但是受所用单片机的硬件特性影响，可能会存在一些限制。

View Code Example on GitHub
Click to browse repository

© 2021 Microchip Technology Inc.

目录

简介 1

1. 概述 3

2. 硬件说明 4
   - 2.1. PIC16F18446 Curiosity Nano 4
   - 2.2. Switec 步进电机 4

3. 使用 CIP 驱动步进电机 5
   - 3.1. 设计思路概述 5
   - 3.2. 单向驱动步进电机 7
   - 3.3. 以每分钟固定节拍数驱动步进电机作为节拍器 8
   - 3.4. 调整每分钟节拍数 11
   - 3.5. 控制步进电机的旋转方向和步数 11

4. 应用工作流程 14

5. 实现 15

6. 结论 25

7. 版本历史 26

Microchip 网站 27

产品变更通知服务 27

客户支持 27

Microchip 器件代码保护功能 27

法律声明 27

商标 28

质量管理体系 28

全球销售及服务网点 29

1. 概述

本应用笔记介绍了如何获得驱动 Switec 步进电机所需的硬件和软件配置。通过控制电机的旋转方向和每分钟的节拍数，可使其作为节拍器运行。

本应用实现包括一个由 CIP 组成的电路，可生成用于驱动 Switec 步进电机作为节拍器的信号。此外，本应用实现还会读取用户提供的输入值并依此调整节拍器每分钟的节拍数。

应用开始时，电机的轴会设在初始位置，从而确保始终从固定位置开始相对于刻度盘的中心对称振荡。

节拍器起初以特定频率振荡，用户随后可通过调整电位器（与单片机相连）的位置来修改频率。每当周期结束时，节拍器都会通过 LED 和蜂鸣器生成听觉和视觉信号。

用于驱动 Switec 步进电机的信号是使用以下 CIP 独立于软件而生成：

- 带计算功能的模数转换器（Analog-to-Digital Converter with Computation，ADCC）
- 可配置逻辑单元（Configurable Logic Cell，CLC）
- 数控振荡器（Numerically Controlled Oscillator，NCO）
- Timer0
- Timer2
- 外设引脚选择（Peripheral Pin Select，PPS）

由于使用 CIP，因此大大降低了计算复杂度并减少了程序存储空间的占用。在本应用中，内核只需要初始化外设和定期触发 ADCC 启动转换。

单片机中使用的外设初始化源代码使用 MPLAB®代码配置器（MPLAB Code Configurator，MCC）生成。代码生成器会创建项目、文件和源代码的结构。

先决条件：

- 带有 MPLAB® XC8 C 编译器 v2.10 的 MPLAB® X 集成开发环境（Integrated Development Environment，IDE）v5.30
- PIC16F18446 Curiosity Nano 板
- 带有 PIC16 库 v1.77.0 的 MPLAB®代码配置器（MCC）v3.95.0
- Switec 步进电机
- 电位器
- LED
- 蜂鸣器

2. 硬件说明

2.1 PIC16F18446 Curiosity Nano

PIC16F18446 Curiosity Nano 板是一款硬件平台，可轻松访问 PIC16F18446 单片机的功能，并且便于将器件集成到定制设计中。

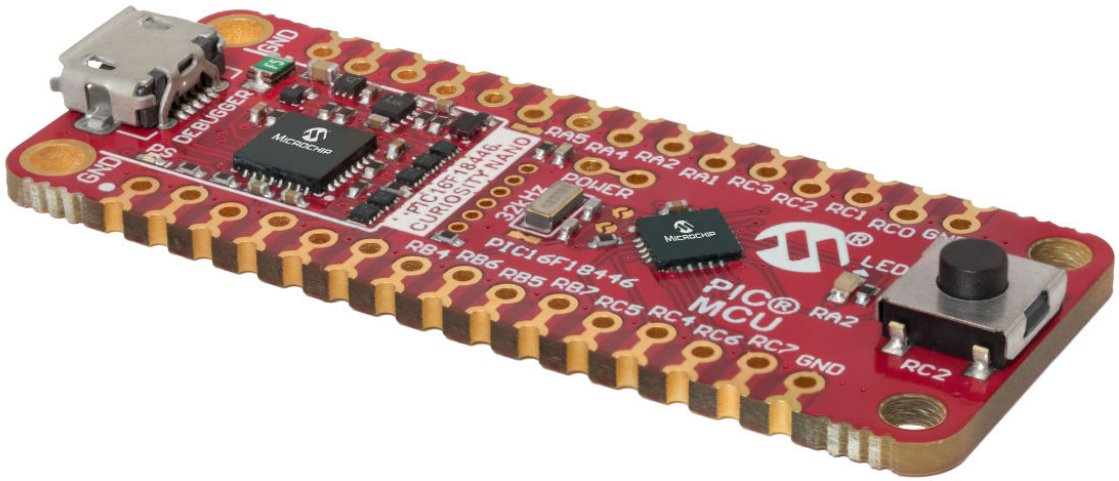
该电路板配有用于编程和调试的板上 Nano 嵌入式调试器（nEDBG），支持多种接口功能：调试器、大容量存储设备、数据网关和虚拟 COM 端口（CDC）。

所有这些接口均可通过终端软件简化用户与单片机之间的交互，并且可提供一些简单的方法对器件编程，如 ICSP™或使用*.hex* 文件执行拖放操作。

该电路板受 MPLAB® X IDE 支持，因此可通过板上 nEDBG 接口直接对单片机进行编程和调试，无需使用其他软件或硬件工具。

该电路板通过 USB 连接器供电，并且包含两条独立的供电路径：一条用于 nEDBG，另一条用于目标器件。通过使用板上 nEDBG，可以在 2.3V 与 5.1V 之间调节输出电压。

图 2-1. PIC16F18446 Curiosity Nano 板



2.2 Switec 步进电机

步进电机是一种无刷直流电机，每旋转一周都划分为同等数量的步来完成。其转子周围对称排列着多个电磁体。每当这些电磁体收到特定的脉冲序列时，转子都会在固定的时间间隔内更改其位置。

步进电机支持顺时针和逆时针运转，旋转精度很高，并且运行的步数可以配置。

Switec 步进电机是一种低功耗静音步进电机，通常用作仪表盘仪表及其他指示设备的指示驱动器。由于这种电机需要的电流很低，因此可以直接由单片机驱动，而无需使用中间驱动器。

3. 使用 CIP 驱动步进电机

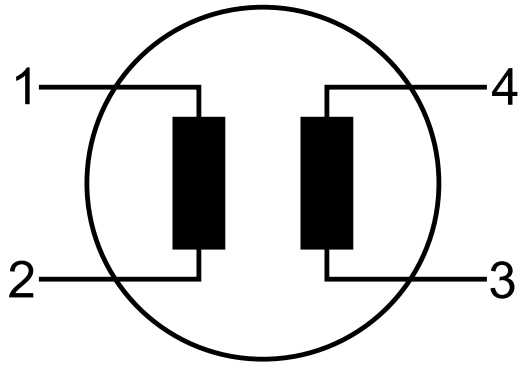
3.1 设计思路概述

本节介绍如何生成用于驱动电机输入的信号以及使用的 CIP。

3.1.1 电机输入

本项目中使用的 Switec 步进电机具有四个输入（与两个线圈相关联）。当提到电机输入时，本文档中会称之为“触点”。四个触点分别称为：触点 1、触点 2、触点 3 和触点 4。

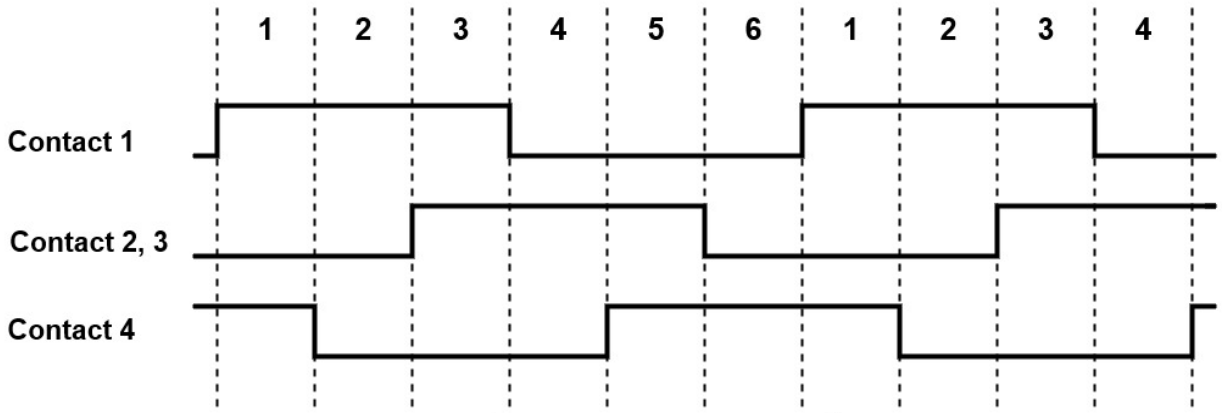
图 3-1. 电机触点



转子的运动是由施加到线圈的电压驱动。电压的波形会根据电机触点的数量和电机的构造细节而有所不同。相关驱动图可参见电机数据手册。

下图给出了本项目中使用的 Switec 步进电机的触点相关波形。

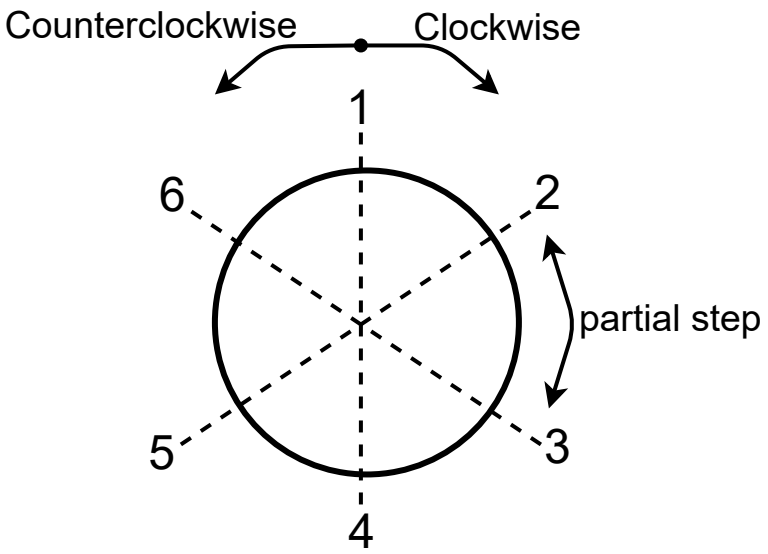
图 3-2. 电机触点相关波形



这些波形是占空比为 50%的周期性方波信号。每个信号的周期划分为六个序列（定义为部分步）。

为了驱动电机，必须按照图 3-2 中的顺序将与每个部分步相关的电压施加到电机触点上。旋转方向可以随时立即调转。

图 3-3. 转子位置



每个信号的一个周期对应转子的一次完整旋转（360°）。由于本项目中使用的 Switec 步进电机配备减速比为 1/180 的齿轮组，因此转子旋转一周相当于轴旋转 2°。

3.1.2 CIP 概述

解决方案是使用 CIP 实现。由于操作独立于内核完成，因此降低了软件复杂度并减少了存储空间的占用。

下文分段介绍了使用的 CIP 及其在系统中的作用：

1. **数控振荡器（NCO）**
   为了创建每个部分步序列，需要一个频率六倍于触点驱动信号的信号。NCO 外设用于生成该信号。

   NCO 是一个计数器，它使用由于加上递增值而引起的溢出来对输入频率进行分频。它能够产生占空比固定为 50%的信号。因此，来自 NCO 外设的输出（NCO_out）用作生成电机驱动信号的起点。此外，NCO_out 还用作 CLC 的时钟信号。NCO 之所以适合本应用是因为其输出稳定且输出频率分辨率不会随分频值而变化。
2. **可配置逻辑单元（CLC）**
   CLC 外设提供独立于软件工作的可编程逻辑单元，并且允许用户使用逻辑功能组合输入信号。此外，由于该外设可实现以下丰富的逻辑功能，因此带来了极大的灵活性：AND、NAND、AND-OR、AND-OR-INVERT、OR-XOR、OR-XNOR、S-R 锁存器、带置 1 和复位功能的时钟控制 D 型锁存器以及带置 1 和复位功能的透明锁存器。

   CLC 接收 NCO_out 并使其经过一系列操作（NOT、AND、OR、延时和多路复用），以此获得电机驱动信号。
3. **Timer0**
   Timer0 可配置为在 8 位和 16 位模式下运行，并具有多个预分频和后分频选项。该定时器用于对 NCO_out 频率进行分频，以便生成相应的信号来指示电机需要运行的步数。
4. **Timer2**
   Timer2 是一个 8 位定时器，用于对 NCO_out 频率进行分频，以便生成相应的信号来作为 CLC 外设的输入。
5. **外设引脚选择（PPS）**
   PPS 模块用于将外设的输入和输出连接到器件 I/O 引脚。这里的外设是指无法直接连接的外设。

6. **带计算功能的模数转换器（ADCC）**
   ADCC 用于将模拟输入信号转换为 12 位数字表示。它具有平均、低通滤波、阈值比较和可选中断等计算功能。所有计算均由硬件完成。

   ADCC 用于将电位器提供的值转换为数字表示，以此调整节拍器每分钟的节拍数。

3.2 单向驱动步进电机

为了驱动电机，必须生成图 3-2 所示的波形。每个电机驱动信号的周期划分为六个序列（定义为部分步）。

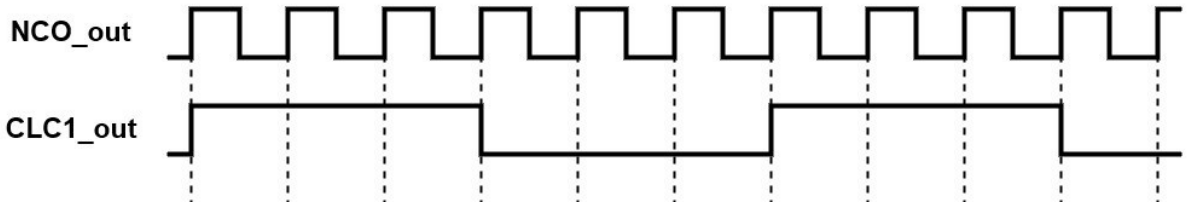
为了创建每个步序列，需要一个频率六倍于触点驱动信号的周期性信号。为了生成该信号，将使用 NCO 外设。

通过对 NCO_out 频率进行 6 分频获得电机触点 1 的驱动信号。为此，需使用 Timer2 对 NCO_out 频率进行 3 分频，然后使用 CLC1 对其进行 2 分频。

CLC1 配置为 D 型触发器（D-FF），其输出反相并连接到数据（D）端口，而 NCO_out 连接到时钟（CLK）端口。在该配置下使用 CLC1 会对 Timer2 输出（TMR2_out）的频率进行 2 分频。

此时，CLC1 输出（CLC1_out）信号能够驱动触点 1。

图 3-4. NCO_out 和 CLC1_out 信号

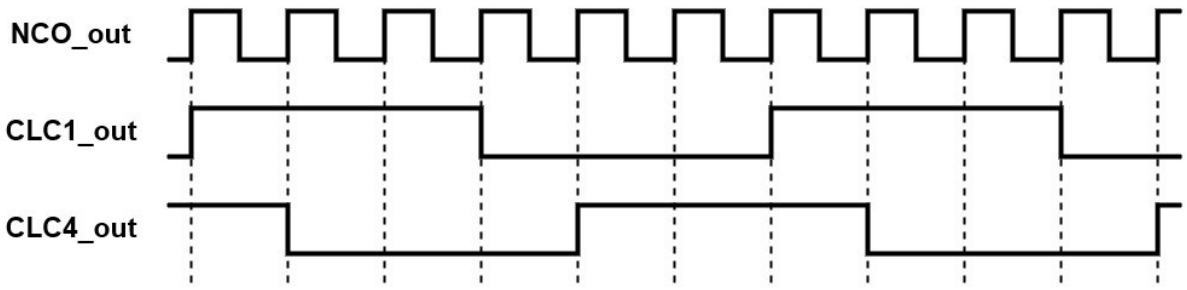


从图 3-2 中可以看出，通过对 CLC1_out 施加一个部分步的延时和一个反转可以获得电机触点 4 的驱动信号。

获得延时的方式是将 CLC4 配置为 D-FF，将 CLC1_out 连接到数据（D）端口并将 NCO_out 连接到时钟（CLK）端口。反转通过将其输出取反来实现。

此时，CLC4 输出（CLC4_out）信号能够驱动触点 4。

图 3-5. NCO_out、CLC1_out 和 CLC4_out 信号

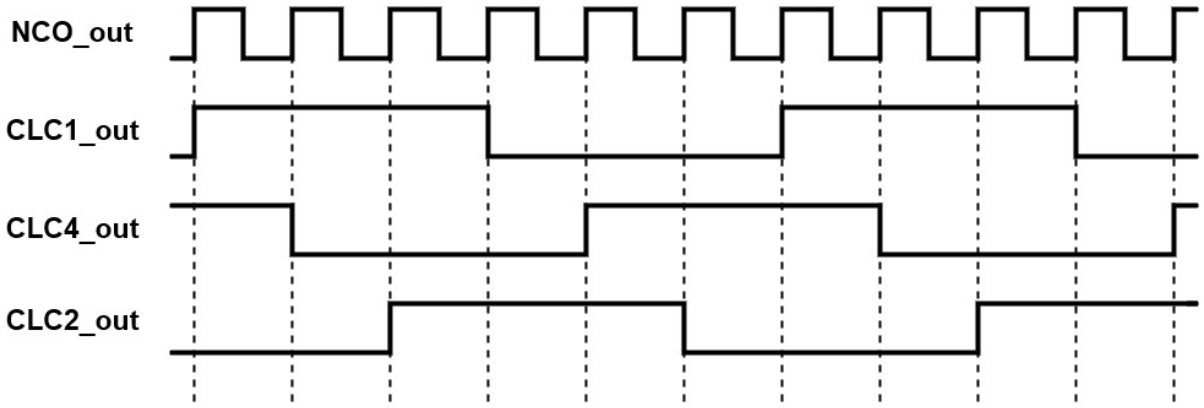


下一步是生成触点 2 和触点 3 的驱动信号。操作方法与获取触点 4 的驱动信号时基本相同，只是操作对象由 CLC1_out 变为 CLC4_out。

获得延时的方式是将 CLC2 配置为 D-FF，将 CLC4_out 连接到数据（D）端口并将 NCO_out 连接到时钟（CLK）端口。反转通过将其输出取反来实现。

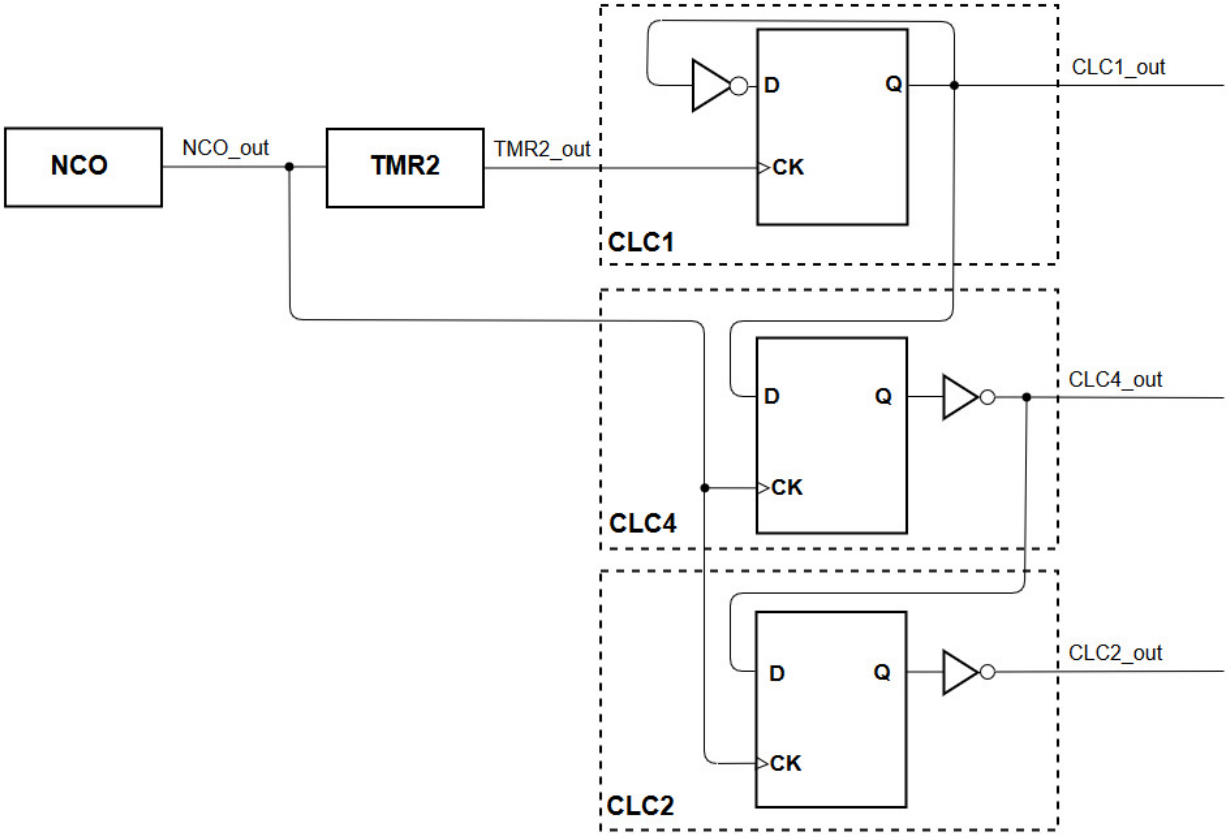
此时，CLC2 输出（CLC2_out）信号能够驱动触点 2 和触点 3。

图 3-6. NCO_out、CLC1_out、CLC4_out 和 CLC2_out 信号



下图以更加形象的方式给出了外设连接，以便更好地理解如何获取信号。

图 3-7. 用于单向驱动步进电机的外设



3.3 以每分钟固定节拍数驱动步进电机作为节拍器

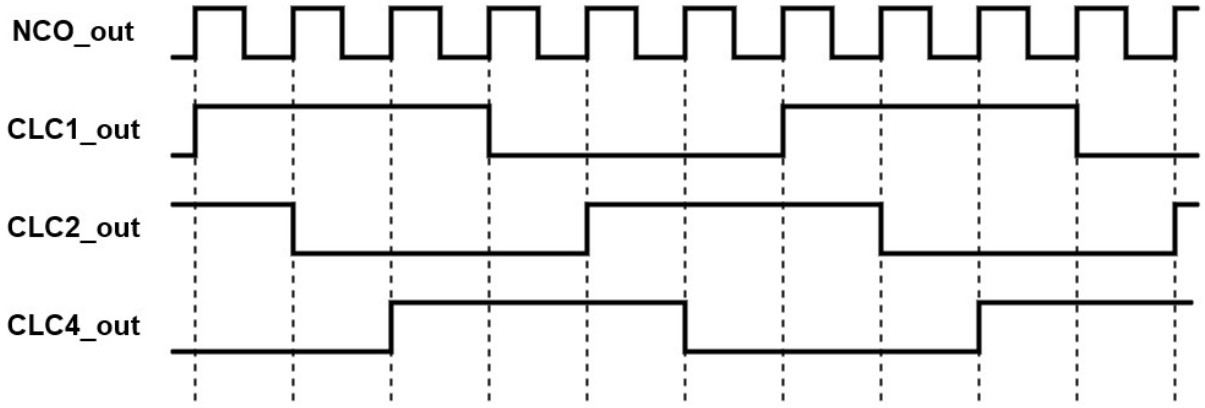
使用上述电路时，只能以特定速度单向（顺时针）驱动电机。但是，节拍器需要交替沿着顺时针和逆时针方向运动。

为了指示运动方向，专门生成了周期性信号。该信号的占空比为 50%。节拍器将在一半周期内顺时针运动，在另一半周期内逆时针运动。

Timer0 配置为生成该信号，并且将 NCO_out 作为时钟输入。每当其计数寄存器达到周期寄存器中的值时，Timer0 输出（TMR0_out）信号就会翻转。

电机驱动信号会根据旋转方向而呈现不同的波形。

图 3-8. 用于逆时针运动的 NCO_out、CLC1_out、CLC2_out 和 CLC4_out 信号



如图 3-8 所示，对于逆时针运动，NCO_out 仍作为生成波形的起点，并且 CLC1_out 的获得方式也与前文所述类似。

对于顺时针运动：

- CLC4_out 由延迟一个 NCO_out 周期并反转的 CLC1_out 表示。
- CLC2_out 由延迟一个 NCO_out 周期并反转的 CLC4_out 表示，这相当于延迟两个 NCO_out 周期的 CLC1_out。

对于逆时针运动：

- CLC2_out 由延迟一个 NCO_out 周期并反转的 CLC1_out 表示。
- CLC4_out 由延迟一个 NCO_out 周期并反转的 CLC2_out 表示，这相当于延迟两个 NCO_out 周期的 CLC1_out。

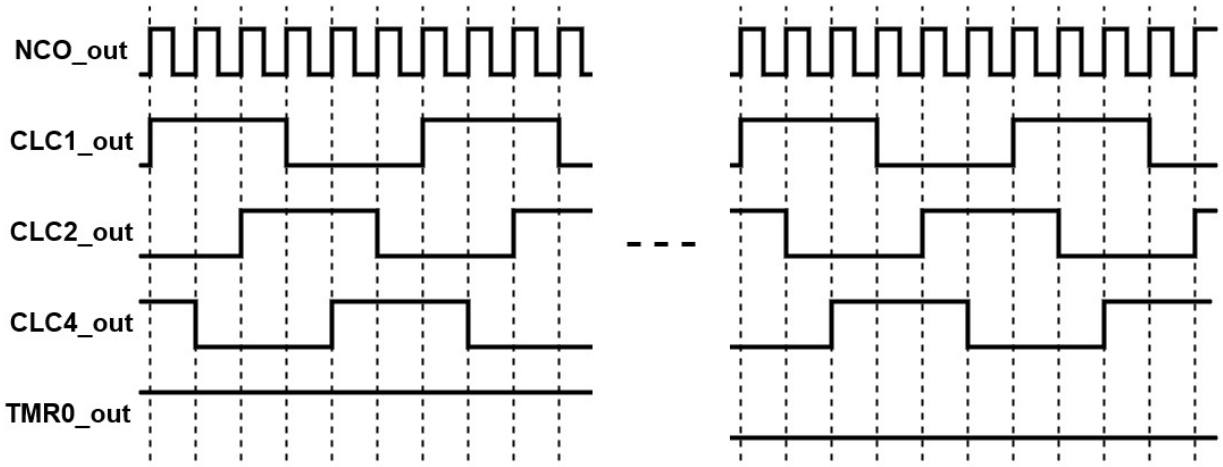
两个运动方向的波形之间惟一的区别是应用于 CLC1_out 的延时数，具体表现为 CLC 的顺序有所不同。对于顺时针运动，CLC 的顺序为 CLC1-CLC4-CLC2；对于逆时针运动，CLC 的顺序为 CLC1-CLC2-CLC4。

为了在这两个旋转方向之间进行选择，必须定期互换 CLC2 和 CLC4。相关配置如单向驱动步进电机部分所述，但为每一个都添加了 2:1 多路开关（MUX）。MUX 将选择用于数据（D）端口的输入信号。

CLC4 的 MUX 将 CLC2_out 和 CLC1_out 作为输入，而 CLC2 的 MUX 将 CLC1_out 和 CLC4_out 作为输入。两个多路开关均将 TMR0_out 作为选择输入。

下图给出了 NCO_out、CLC1_out、CLC2_out、CLC4_out 和 TMR0_out 信号。当 TMR0_out = 1 时，电机将顺时针运行；当 TMR0_out = 0 时，电机将逆时针运行。

图 3-9. NCO_out、CLC1_out、CLC2_out、CLC4_out 和 TMR0_out 信号



下表列出了 D-FF（CLC2 和 CLC4）的输入，具体取决于 TMR0_out 值。

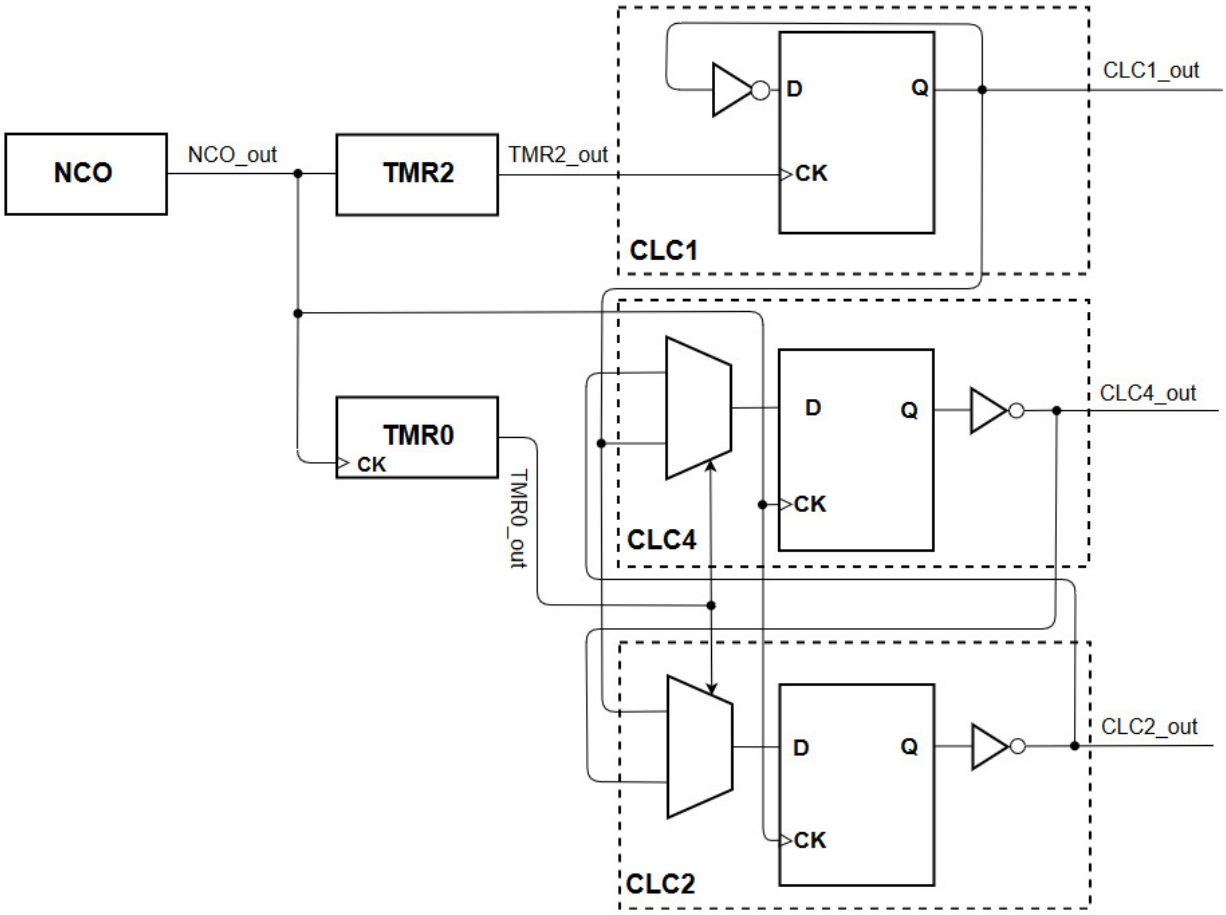
表 3-1. D-FF（CLC2 和 CLC4）的输入

TMR0_out	D-FF（CLC2）输入	D-FF（CLC4）输入
0	CLC1_out	CLC2_out
1	CLC4_out	CLC1_out

此时，电机用作节拍器，仅以每分钟固定的节拍数振荡。

下图以更加形象的方式给出了外设连接，以便更好地理解如何获取信号。

图 3-10. 用于以每分钟固定节拍数驱动步进电机作为节拍器的外设



3.4 调整每分钟节拍数

使用上述电路，可以驱动电机作为节拍器以每分钟固定的节拍数进行振荡。考虑到节拍器每分钟的节拍数必须可以配置，因此实现了一种调整该值的机制。

旋转速度和运行的步数都会影响每分钟的节拍数。由于节拍器在固定刻度盘中运行，并且步数恒定，因此影响因素只有旋转速度。

对于步进电机，旋转速度将转换为电机触点驱动信号的频率。在当前的实现中，NCO_out 代表所有外设的时钟信号，因此修改 NCO_out 频率时也将修改连接到触点的信号。

用户可使用电位器（其输出连接到 ADCC）来配置上述调整。ADCC 将根据电位器提供的值来计算将用作 NCO 输入的数值。ADCC 计算得出的值与 NCO_out 频率之间呈线性关系。

由于本应用中使用的 Switec 步进电机的物理限制，每分钟节拍数的范围为 40-250。

3.5 控制步进电机的旋转方向和步数

本项目的最后一步是实现轴的起始位置。节拍器可以在运行时断电。每次接通节拍器电源时，节拍器都会处于最后一次停止的位置，而用户对该位置是未知的。因此，需要将轴设在已知位置。

由于 Switec 步进电机具有内部停止机构，因此可以将轴设在已知位置。这样，便可在两个位置（零和最大值）之间以已知的步数（对于本应用中使用的电机为 315）旋转。

定位算法会使用上述详细信息，首先将轴设在零位置，方法是沿逆时针方向运行 320 步，然后沿顺时针方向运行已知的步数。此时，轴的位置是已知的。

解决方案必须允许控制旋转方向和要运行的步数，但是电机也需要能够作为节拍器运行，具体将通过采用 2:1 多路开关配置的 CLC3 来实现。

作为数据输入，CLC3 具有 TMR0_out 和名为“方向”的信号（其值指示旋转方向，即顺时针或逆时针）。

作为选择输入，CLC3 还有另一个名为“模式”的信号（其值指示运行方式，即自由运行或以节拍器运行）。

“方向”和“模式”都是非周期性方波信号。用户可通过软件配置这两种信号，或者将其路由到输入引脚以通过硬件进行配置。

为了控制每个方向上要运行的步数，必须将所需值写入 Timer0 周期寄存器。如果该值超过周期寄存器的最大值，则可以使用 Timer0 时钟信号的预分频器。

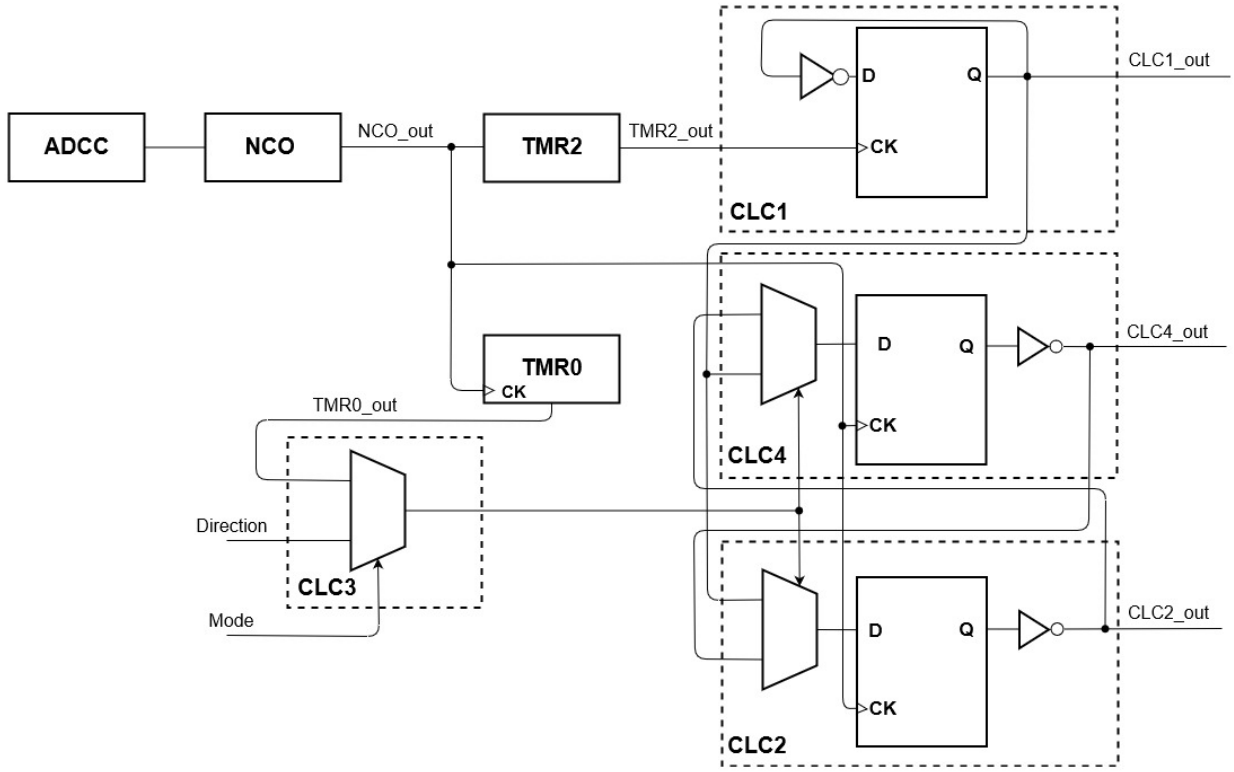
现在，CLC3 的输出（CLC3_out）表示 CLC2 和 CLC4 的多路开关的选择输入。

表 3-2. 关于 CLC3 输入信号的系统行为

模式	TMR0_out	方向	行为
0	0	0	节拍器
0	0	1	节拍器
0	1	0	节拍器
0	1	1	节拍器
1	0	0	顺时针运行
1	0	1	逆时针运行
1	1	0	顺时针运行
1	1	1	逆时针运行

下图以更加形象的方式给出了外设连接，以便更好地理解如何获取信号。

图 3-11. 用于控制步进电机的旋转方向和步数的外设



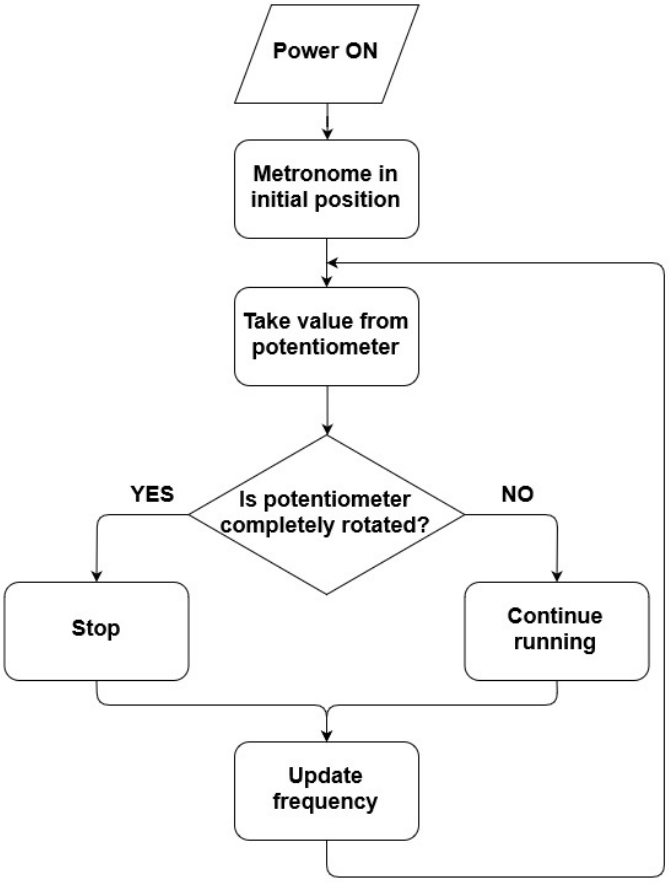
4. 应用工作流程

电路板上电后，电机的轴会设在一个固定的位置并开始进行振荡运动。用户可通过调节电位器的位置来控制每分钟的节拍数。如需加快速度，必须顺时针旋转电位器；如需降低速度，必须逆时针旋转电位器。

用户还可通过将电位器逆时针旋转到尽头让节拍器停止振荡。

节拍器每执行一个完整的周期后，都会在一段很短的时间内发出听觉和视觉信号：LED 点亮，蜂鸣器响起。

图 4-1. 应用流程图



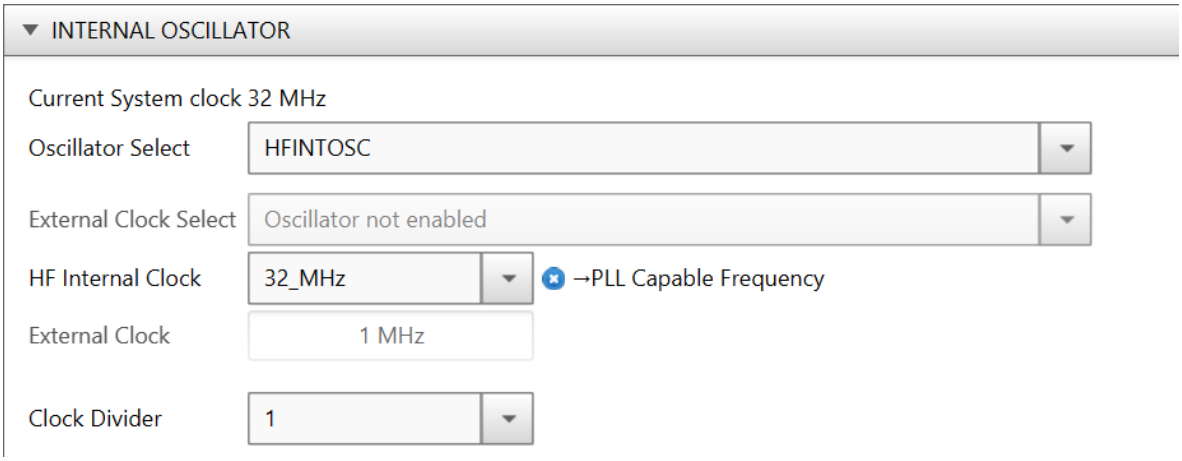
5. 实现

本项目使用 MPLAB X IDE 开发，并使用 MCC 配置所需的外设。用户可通过单击 **File → New Project → Standalone Project**（文件 → 新项目 → 独立项目）来创建新项目。用户必须对器件进行过滤，选择本应用中使用的单片机 PIC16F18446。

本章旨在让用户熟悉 MPLAB 代码配置器和所生成代码的结构，并演示如何配置用于开发本应用的每个外设。

1. **内部振荡器**

图 5-1. 内部振荡器配置



内部振荡器配置：

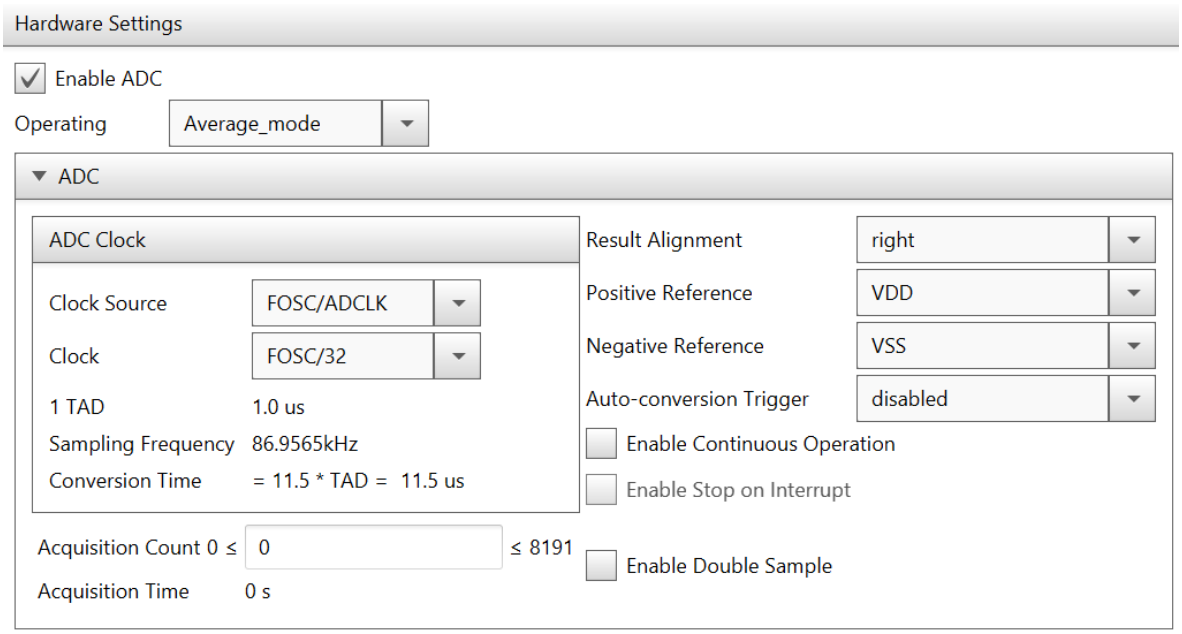
- 振荡器选择（NOSC）：HFINTOSC
- 分频器选择（NDIV）：1
- 频率选择（HFFRQ）：32 MHz

2. **ADCC**

在本项目中，使用模拟电位器来调节节拍器的振荡频率。ADCC 会将模拟电位器的电阻变化转换为数字值。PIC18F18446 的 ADCC 的分辨率为 12 位，因此 ADCC 外设的输出值介于 0 与 4095 之间。

由于电位器的机械部分易损，其电阻值可能会在短时间内受到干扰。为避免这种情况，ADCC 被配置为平均模式。它会获取一系列采样，并提供其平均值作为输出。所有计算均由硬件完成，只有转换操作由软件触发启动。

图 5-2. ADCC 配置

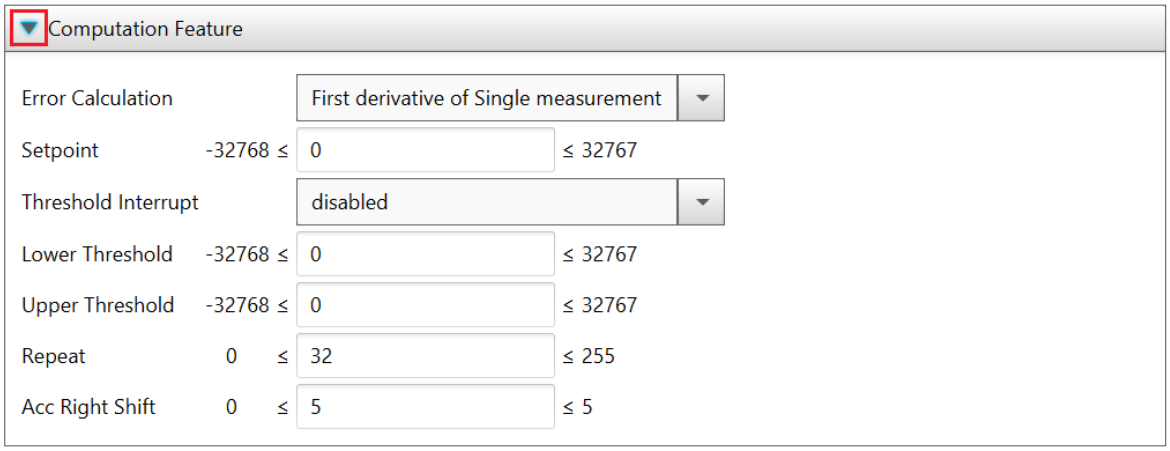


ADCC 配置：

- ADCC 工作模式（ADMD）：平均模式
- ADCC 转换时钟（ADCS）：FOSC/32
- ADCC 结果对齐（ADFM）：右
- ADCC 正参考（ADNREF）：V_{DD}
- ADCC 负参考（ADPREF）：V_{SS}
- ADCC 使能（ADON）：复选框

单击“Computation Feature”（计算功能）菜单旁的箭头可以找到有关平均模式的设置。

图 5-3. ADCC Computation Feature 菜单配置



ADCC Computation Feature 菜单配置：

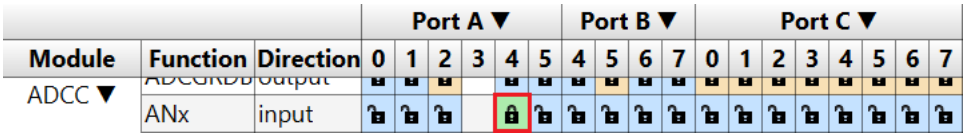
- ADCC 误差计算（ADCALC）：单次测量结果的一阶导数
- ADCC 阈值中断（ADTMD）：禁止
- ADCC 重复（ADRPT）：32
- ADCC 计算右移（ADCRS）：5

可以通过在 Repeat（重复）框中写入所需值或配置 ADRPT 寄存器来配置必须获取的采样数。

在平均模式下使用 ADCC 时，建议采样数为 2 的幂（ADRPT = 2^{ADCRS}）。

ADCC 可具有各种内部和外部的输入通道。在本应用中，使用了一条利用 PA4 引脚实现的外部通道（ANA4）。来自电位器的信号连接到该引脚。

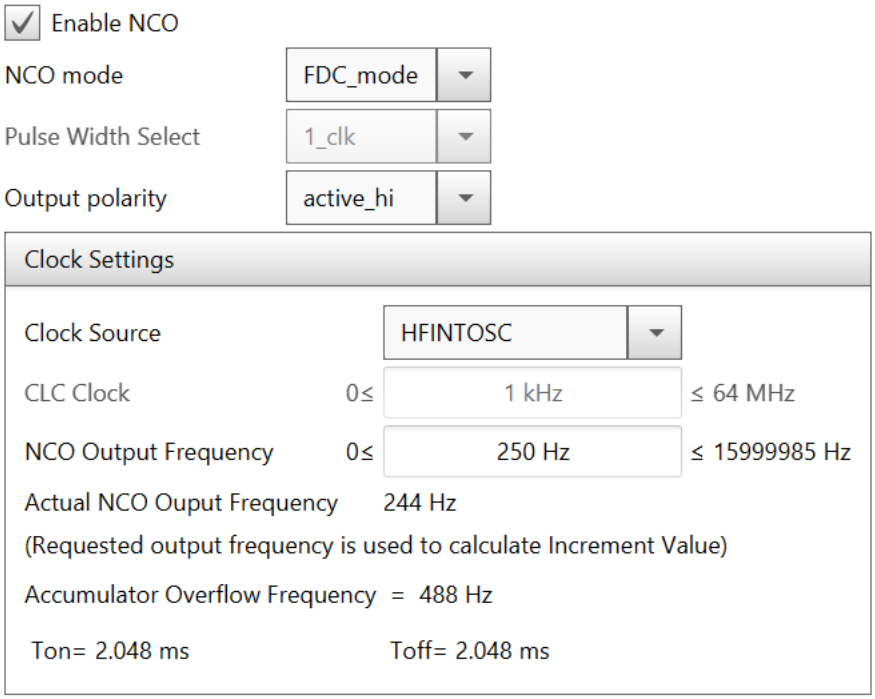
图 5-4. ADCC 的引脚选择



3. **NCO**

NCO 模块用于生成方波信号，以用作其余外设（ADCC 和 CLC3 除外）的时钟信号。该模块会反复将递增值添加到累加器，每次累加器溢出时，输出值均翻转。

图 5-5. NCO 配置



NCO 配置：

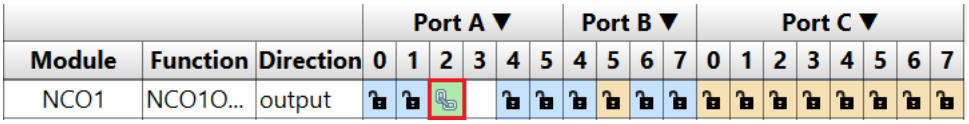
- 脉冲频率模式（PFM）：固定占空比模式
- 时钟源（CKS）：HFINTOSC
- 极性（POL）：高电平有效
- 使能（EN）：复选框

该配置有两种工作模式：固定占空比（Fixed Duty Cycle，FDC）模式和脉冲频率（Pulse Frequency，PF）模式。在本项目中，由于 NCO_out 用作时钟信号，因此 NCO 模块配置为 FDC 模式。

可通过将所需值写入 NCO Output Frequency（NCO 输出频率）框或配置 NCO 递增（NCOxINC）寄存器来调整 NCO_out 频率。NCO 模块的时钟源为 HFINTOSC（32 MHz），因为本应用需要精细的频率调节。

NCO_out 路由到引脚（PA2），以便可用于所有外设。

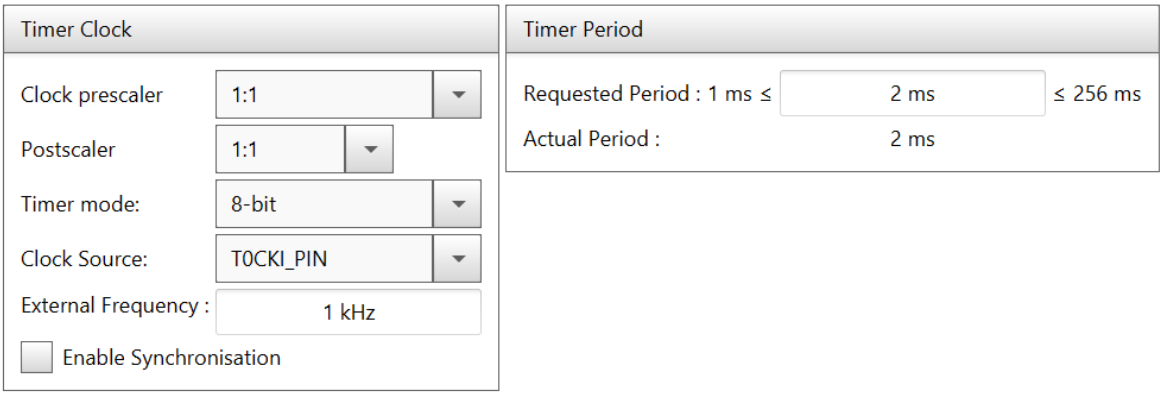
图 5-6. NCO 的引脚选择



4. **Timer0**

Timer0 用于对 NCO_out 频率进行分频，以获得相应的信号来指示节拍器的运动方向。在某个方向上运行的步数与 TMR0_out 的周期之间呈线性关系。

图 5-7. Timer0 配置



Timer0 配置：

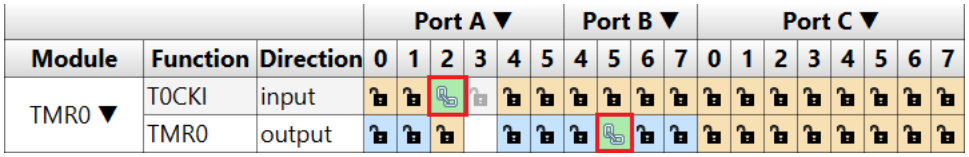
- T0CKPS（Timer0 预分频比）：1:1
- T0OUTPS（Timer0 输出后分频比）：1:1
- 定时器模式：8 位模式
- T0CS（Timer0 时钟源）：T0CKI_PIN（由 T0CKIPPS 选择的引脚）

Timer0 可以在两种模式下运行：8 位模式和 16 位模式；本项目使用 8 位模式。

可通过将所需值写入 Requested Period（请求的周期）框或配置 Timer0 周期寄存器（TMR0L，用于 8 位模式）来调整 Timer0 周期。

Timer0 的时钟源为 NCO_out，但不能直接连接两个外设。Timer0（T0CKI）的输入时钟源与 NCO_out 路由到同一引脚（PA2）。TMR0_out 路由到 PB5，可用于 CLC3。

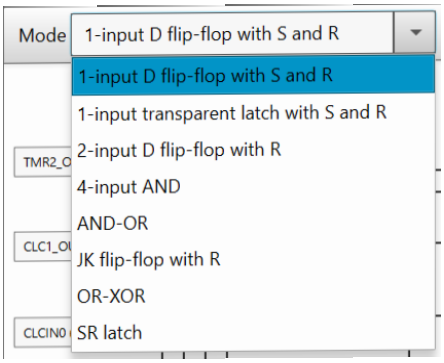
图 5-8. Timer0 配置的引脚选择



5. **CLC1**

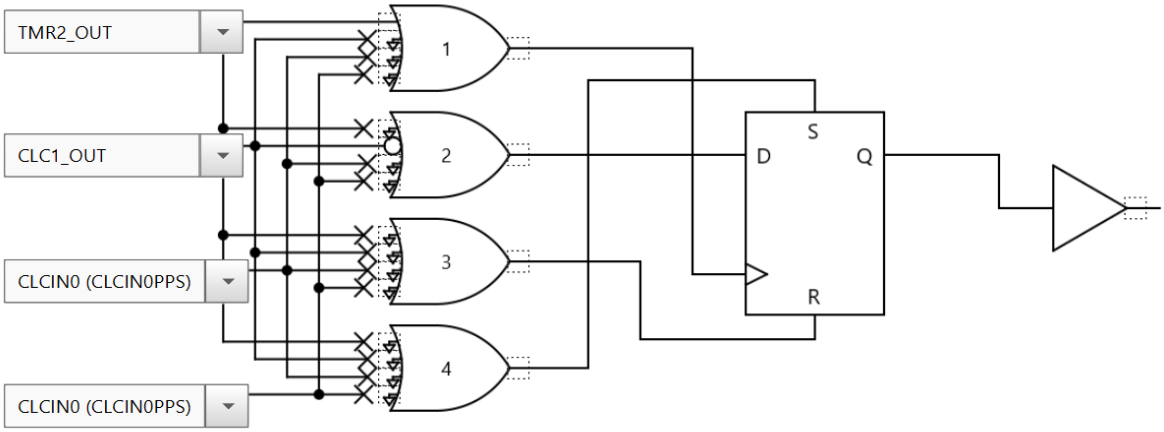
CLC1 配置为 D-FF，其时钟输入由 TMR2_out 表示，而数据（D）输入由取反的 CLC1_out 表示。不使用 S 和 R 端口，CLC1 的 OR 门充当缓冲器和反相器的作用。

图 5-9. CLC1 的模式选择



CLC1 的模式选择：带置 1 和复位功能的 1 输入 D 型触发器。

图 5-10. CLC1 配置



CLC1_out 驱动触点 1，并路由到配置为输出的两个引脚（PC0 和 PC1，连接到同一触点）。这两个引脚用于同一触点，以便为电机提供足够的电流。

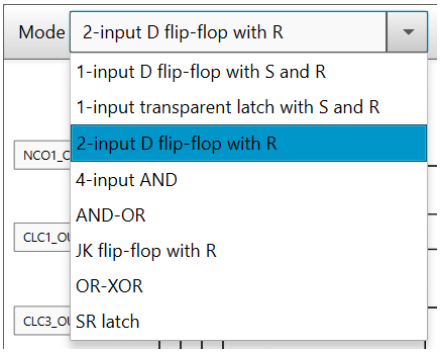
图 5-11. CLC1 配置的引脚选择

			Port A ▼						Port B ▼				Port C ▼							
Module	**Function**	**Direction**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**4**	**5**	**6**	**7**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
CLC1	CLC1OUT	output																		

6. **CLC2**

CLC2 也配置为 D-FF，但是它包含一个多路开关，用于选择表示数据（D）输入的信号。时钟输入由 NCO_out 表示，不使用 R 端口。

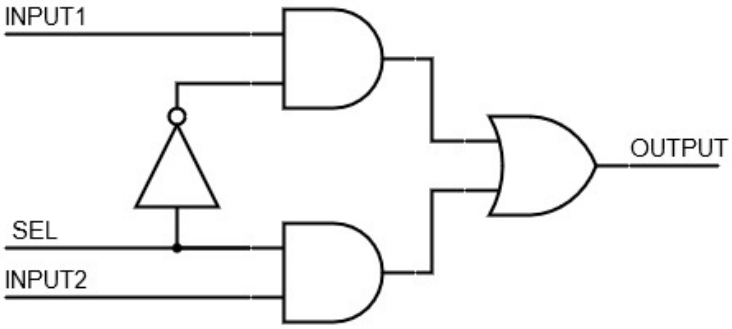
图 5-12. CLC2 的模式选择



CLC2 的模式选择：带复位功能的 2 输入 D 型触发器。

通常，2:1 多路开关由一个逆变器、一个 OR 门和两个 AND 门采用以下配置构成：

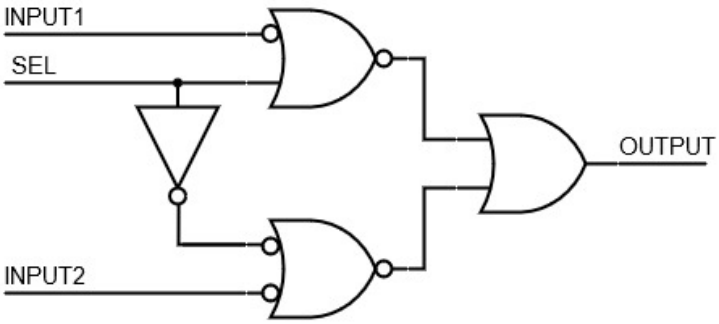
图 5-13. 典型 2:1 多路开关



输出信号的表达式如下： $OUTPUT = (INPUT1 \times \overline{SEL}) + (INPUT2 \times SEL)$

但是，作为 D-FF 的 CLC2 配置不包含 AND 门。通过对上述关系应用德摩根定律，解决了这一问题。

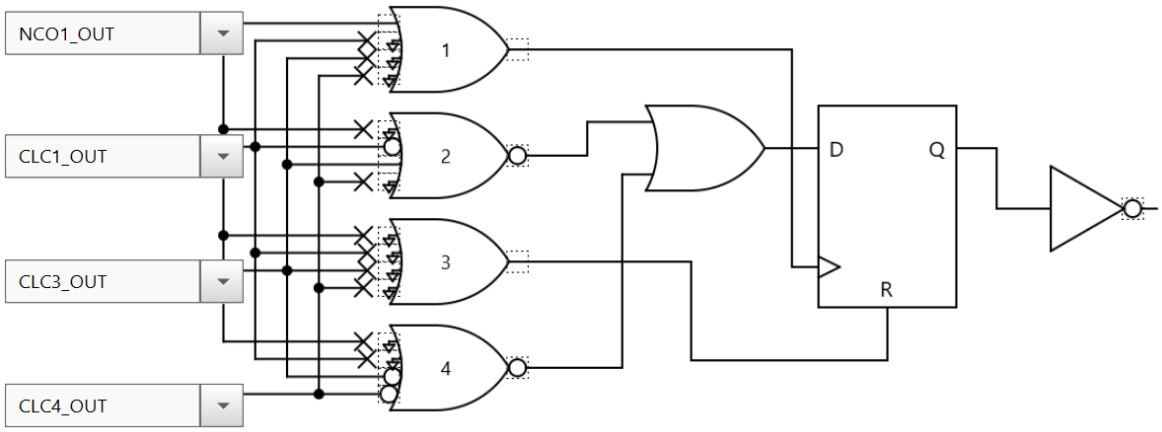
图 5-14. 应用德摩根定律后的多路开关



每个 AND 门必须在其输入反相的情况下转换为 NOR 门。完成该操作后，输出信号的表达式如下：
$OUTPUT = \overline{(\overline{INPUT1} + SEL)} + \overline{(\overline{INPUT2} + \overline{SEL})}$

CLC2 的多路开关在 CLC1_out 和 CLC4_out 之间进行选择，并将 CLC3_out 作为选择信号。

图 5-15. CLC2 配置



CLC2_out 路由到配置为输出的四个引脚（PC2、PC3、PC4 和 PC5），并驱动触点 2 和触点 3。PC2 和 PC3 连接到其中一个触点，而 PC4 和 PC5 连接到另一个触点。两个引脚用于同一触点，以便为电机提供足够的电流。

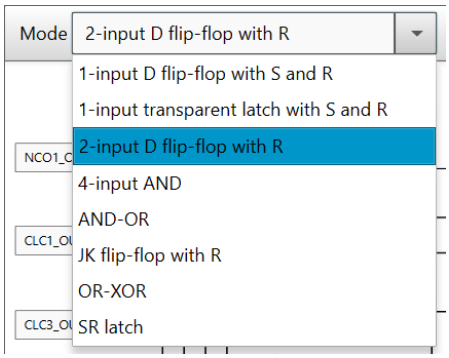
图 5-16. CLC2 的引脚选择

			Port A ▼						Port B ▼				Port C ▼							
Module	**Function**	**Direction**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**4**	**5**	**6**	**7**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
CLC2	CLC2OUT	output																		

7. **CLC4**

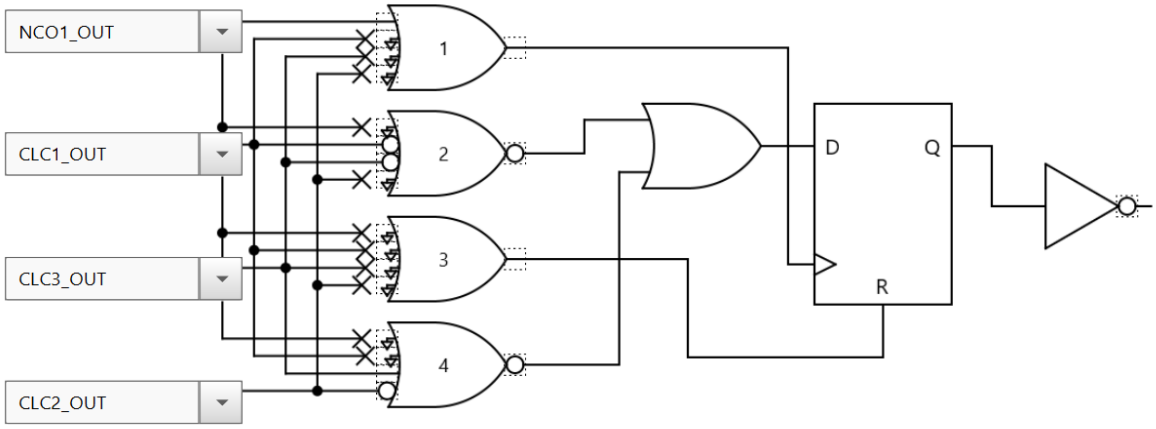
CLC4 也配置为 D-FF，其包含一个多路开关，用于选择表示数据（D）输入的信号。时钟输入由 NCO_out 表示，不使用 R 端口。

图 5-17. CLC4 的模式选择



CLC4 的模式选择：带复位功能的 2 输入 D 型触发器。

图 5-18. CLC4 的配置



CLC4 的多路开关的实现方式与 CLC2 的多路开关类似。它在 CLC1_out 和 CLC2_out 之间进行选择，并将 CLC3_out 作为选择信号。

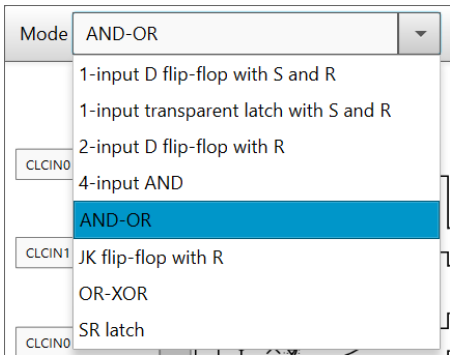
CLC4_out 驱动触点 4，并路由到配置为输出的两个引脚（PC6 和 PC7，连接到同一触点）。两个引脚用于同一触点，以便为电机提供足够的电流。

图 5-19. CLC4 的引脚选择

			Port A ▼						Port B ▼				Port C ▼							
Module	**Function**	**Direction**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**4**	**5**	**6**	**7**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
CLC4	CLC4OUT	output																		

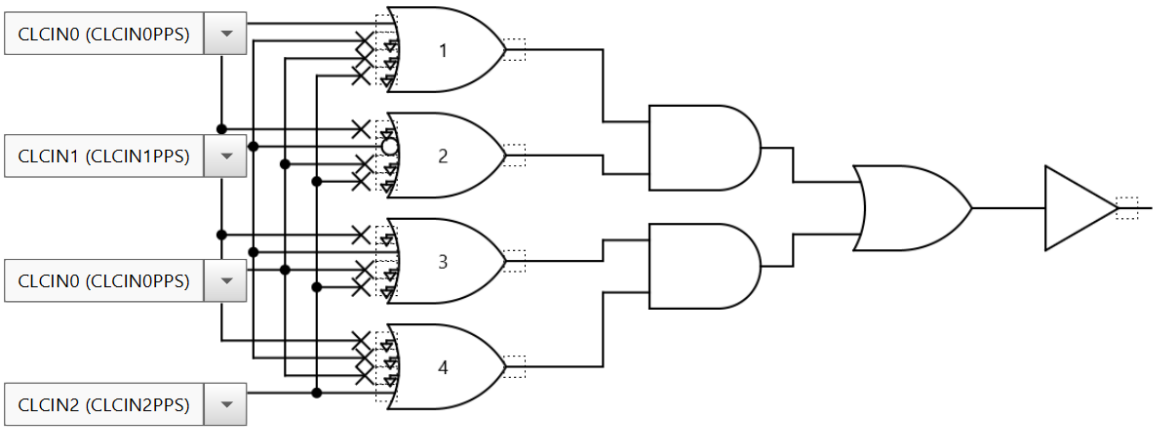
8. **CLC3**
CLC3 被配置为 2:1 多路开关。但对于此配置，AND 门可用。

图 5-20. CLC3 的模式选择



CLC3 的模式选择：AND-OR。

图 5-21. CLC3 的配置



9. **PPS**

TMR0_out、“模式”和“方向”信号不能直接路由到 CLC，因此它们通过外设引脚选择（PPS）模块进行路由。PPS 允许外设的输入和输出重新路由到其他 I/O 引脚，而非默认引脚。

TMR0_out 路由到 PB5，输入信号 CLCIN0 路由到同一引脚。

“模式”信号路由到 PB4，为了可通过 CLC3 访问，CLCIN1 也路由到 PB4。

“方向”信号路由到 PB6，为了可通过 CLC3 访问，CLCIN2 也路由到 PB6。

图 5-22. CLC3 的引脚选择

			Port A ▼						Port B ▼				Port C ▼							
Module	**Function**	**Direction**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**4**	**5**	**6**	**7**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
CLCx ▼	CLCIN0	input																		
	CLCIN1	input																		
	CLCIN2	input																		

蜂鸣器发出听觉信号。为了向蜂鸣器发送信号，专门将 I/O 引脚（PA5）配置为输出。

图 5-23. 蜂鸣器的引脚选择

			Port A ▼						Port B ▼				Port C ▼							
Module	**Function**	**Direction**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**4**	**5**	**6**	**7**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Pin Modul...	GPIO	input																		
	GPIO	output																		

以下三个图分别显示了用于驱动电机触点的信号（CLC1_out、CLC2_out 和 CLC4_out）、NCO_out 和用于实现顺时针和逆时针运动的 TMR0_out。引脚上存在实际的信号，由逻辑分析器捕捉。

使用的平台是 PIC16F18446 Curiosity Nano，其所有外设均按以上各节所述进行配置。

图 5-24. 顺时针运动时的电机触点驱动信号和 NCO_out

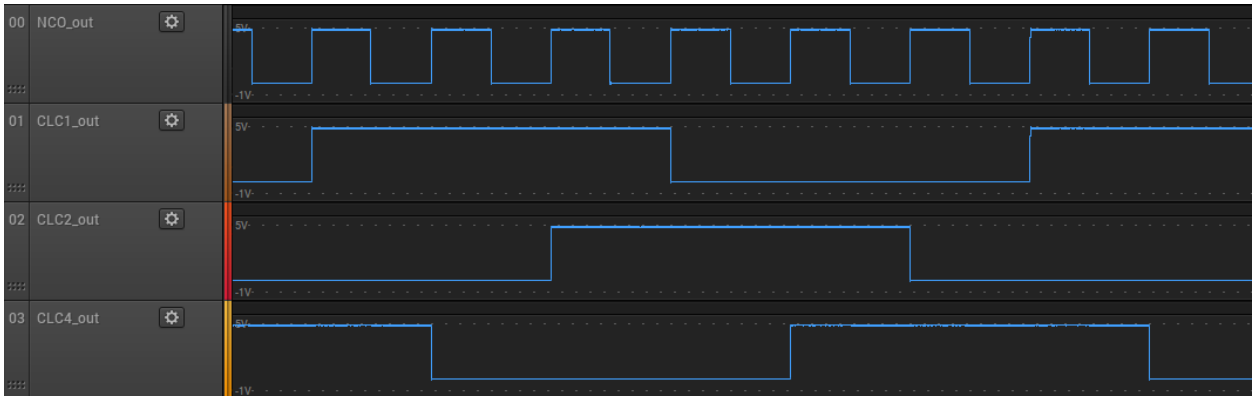


图 5-25. 逆时针运动时的电机触点驱动信号和 NCO_out

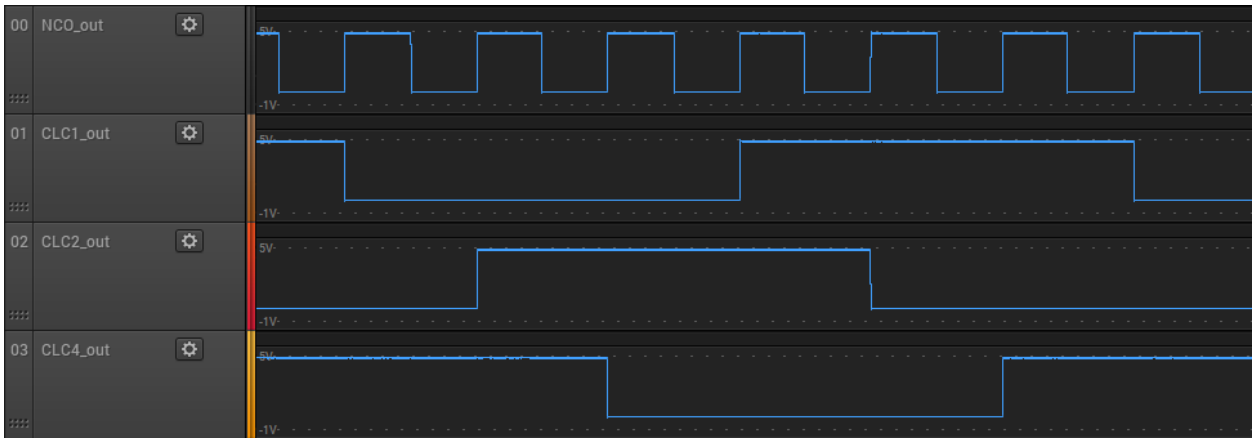
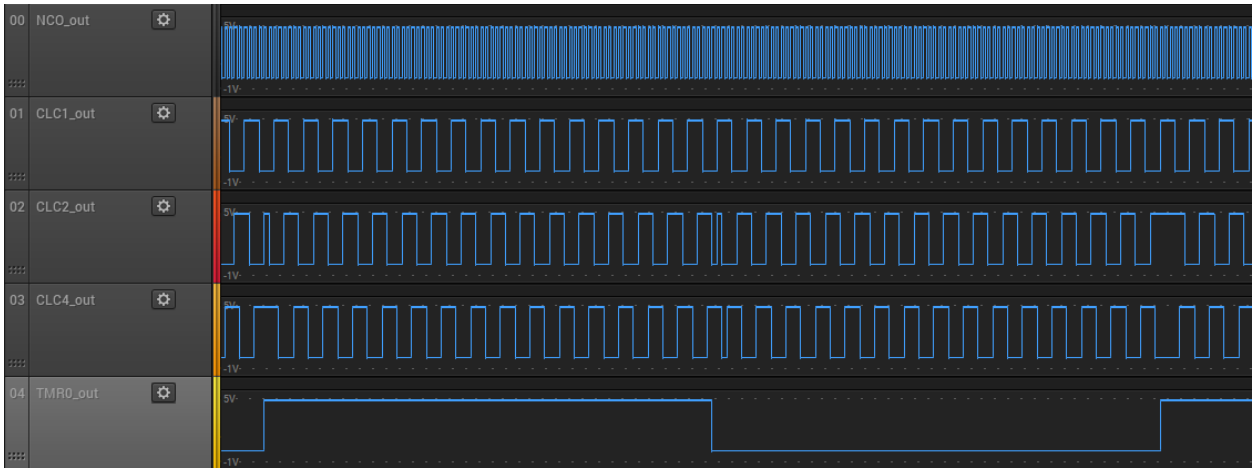


图 5-26. 电机作为节拍器运行时的电机触点驱动信号、NCO_out 和 TMR0_out



6. 结论

本应用笔记介绍了如何使用完全由 CIPS 组成的电路来驱动 Switec 步进电机作为节拍器。本实现从单向驱动电机开始，到控制旋转方向，再到运行的步数逐步进行了介绍。

在本实现及其他各类应用中使用 CIP 驱动步进电机有诸多优势，例如占用的数据和程序存储空间极少、相关计算极少需要内核的干预，并且几乎独立于软件实现。

由于降低了内核负载和存储空间占用，因此可以轻松地对应用进行后续开发。此外，也可使用其他电机，具体取决于触点的数量及其物理特性。

本实现可以移植到其他单片机，但前提是新器件包含当前应用中使用的 CIP。

7. 版本历史

文档版本	日期	备注
B	2020 年 4 月	更新了 GitHub 资源库链接
A	2020 年 3 月	文档初始版本

Microchip 网站

Microchip 网站（www.microchip.com/）为客户提供在线支持。客户可通过该网站方便地获取文件和信息。我们的网站提供以下内容：

- **产品支持**——数据手册和勘误表、应用笔记和示例程序、设计资源、用户指南以及硬件支持文档、最新的软件版本以及归档软件
- **一般技术支持**——常见问题解答（FAQ）、技术支持请求、在线讨论组以及 Microchip 设计伙伴计划成员名单
- **Microchip 业务**——产品选型和订购指南、最新 Microchip 新闻稿、研讨会和活动安排表、Microchip 销售办事处、代理商以及工厂代表列表

产品变更通知服务

Microchip 的产品变更通知服务有助于客户了解 Microchip 产品的最新信息。注册客户可在他们感兴趣的某个产品系列或开发工具发生变更、更新、发布新版本或勘误表时，收到电子邮件通知。

欲注册，请访问 www.microchip.com/pcn，然后按照注册说明进行操作。

客户支持

Microchip 产品的用户可通过以下渠道获得帮助：

- 代理商或代表
- 当地销售办事处
- 应用工程师（ESE）
- 技术支持

客户应联系其代理商、代表或 ESE 寻求支持。当地销售办事处也可为客户提供帮助。本文档后附有销售办事处的联系方式。

也可通过 www.microchip.com/support 获得网上技术支持。

Microchip 器件代码保护功能

请注意以下有关 Microchip 器件代码保护功能的要点：

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术指标。
- Microchip 确信：在正常使用的情况下，Microchip 系列产品是当今市场上同类产品中最安全的产品之一。
- 目前，仍存在着恶意、甚至是非法破坏代码保护功能的行为。就我们所知，所有这些行为都不是以 Microchip 数据手册中规定的操作规范来使用 Microchip 产品的。这样做的人极可能侵犯了知识产权。
- Microchip 愿意与关心代码完整性的客户合作。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。

代码保护功能处于持续发展中。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。任何试图破坏 Microchip 代码保护功能的行为均可视为违反了《数字器件千年版权法案（Digital Millennium Copyright Act）》。如果这种行为导致他人在未经授权的情况下，能访问您的软件或其他受版权保护的成果，您有权依据该法案提起诉讼，从而制止这种行为。

法律声明

提供本文档的中文版本仅为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分，因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc.及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc.的英文原版文档。

本出版物中提供的信息仅仅是为方便您使用 Microchip 产品或使用这些产品来进行设计。本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利，它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范，是您自身应负的责任。

Microchip“按原样”提供这些信息。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对非侵权性、适销性和特定用途的适用性的暗示担保，或针对其使用情况、质量或性能的担保。

在任何情况下，对于因这些信息或使用这些信息而产生的任何间接的、特殊的、惩罚性的、偶然的或间接的损失、损害或任何类型的开销，Microchip 概不承担任何责任，即使 Microchip 已被告知可能发生损害或损害可以预见。在法律允许的最大范围内，对于因这些信息或使用这些信息而产生的所有索赔，Microchip 在任何情况下所承担的全部责任均不超出您为获得这些信息向 Microchip 直接支付的金额（如有）。如果将 Microchip 器件用于生命维持和/或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切损害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任。除非另外声明，在 Microchip 知识产权保护下，不得暗中或以其他方式转让任何许可证。

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、Adaptec、AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、chipKIT、chipKIT 徽标、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi 徽标、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PackeTime、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的注册商标。

AgileSwitch、APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、FlashTec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、Libero、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus 徽标、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、WinPath 和 ZL 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、Augmented Switching、BlueSky、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、Espresso T1S、EtherGREEN、IdealBridge、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、maxCrypto、maxView、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、RTAX、RTG4、SAM-ICE、Serial Quad I/O、simpleMAP、SimpliPHY、SmartBuffer、SMART-I.S.、storClad、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Switchtec、SynchroPHY、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、VectorBlox、VeriPHY、ViewSpan、WiperLock、XpressConnect 和 ZENA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 为 Microchip Technology Incorporated 在美国的服务标记。

Adaptec 徽标、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology 和 Symmcom 均为 Microchip Technology Inc.在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 为 Microchip Technology Inc.的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. KG 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2021, Microchip Technology Incorporated 版权所有。

ISBN：978-1-5224-7933-8

质量管理体系

有关 Microchip 的质量管理体系的信息，请访问 www.microchip.com/quality。

全球销售及服务网点

美洲	亚太地区	亚太地区	欧洲
公司总部 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 电话：480-792-7200 传真：480-792-7277 技术支持： www.microchip.com/support 网址： www.microchip.com	**澳大利亚 - 悉尼** 电话：61-2-9868-6733	**印度 - 班加罗尔** 电话：91-80-3090-4444	**奥地利 - 韦尔斯** 电话：43-7242-2244-39
亚特兰大 德卢斯，佐治亚州 电话：678-957-9614 传真：678-957-1455	**中国 - 北京** 电话：86-10-8569-7000	**印度 - 新德里** 电话：91-11-4160-8631	传真：43-7242-2244-393
奥斯汀，德克萨斯州 电话：512-257-3370	**中国 - 成都** 电话：86-28-8665-5511	**印度 - 浦那** 电话：91-20-4121-0141	**丹麦 - 哥本哈根** 电话：45-4485-5910
波士顿 韦斯特伯鲁，马萨诸塞州 电话：774-760-0087 传真：774-760-0088	**中国 - 重庆** 电话：86-23-8980-9588	**日本 - 大阪** 电话：81-6-6152-7160	传真：45-4485-2829
芝加哥 艾塔斯卡，伊利诺伊州 电话：630-285-0071 传真：630-285-0075	**中国 - 东莞** 电话：86-769-8702-9880	**日本 - 东京** 电话：81-3-6880-3770	**芬兰 - 埃斯波** 电话：358-9-4520-820
达拉斯 阿迪森，德克萨斯州 电话：972-818-7423 传真：972-818-2924	**中国 - 广州** 电话：86-20-8755-8029	**韩国 - 大邱** 电话：82-53-744-4301	**法国 - 巴黎** 电话：33-1-69-53-63-20
底特律 诺维，密歇根州 电话：248-848-4000	**中国 - 杭州** 电话：86-571-8792-8115	**韩国 - 首尔** 电话：82-2-554-7200	传真：33-1-69-30-90-79
休斯顿，德克萨斯州 电话：281-894-5983	**中国 - 香港特别行政区** 电话：852-2943-5100	**马来西亚 - 吉隆坡** 电话：60-3-7651-7906	**德国 - 加兴** 电话：49-8931-9700
印第安纳波利斯 诺布尔斯维尔，印第安纳州 电话：317-773-8323 传真：317-773-5453 电话：317-536-2380	**中国 - 南京** 电话：86-25-8473-2460	**马来西亚 - 槟榔屿** 电话：60-4-227-8870	**德国 - 哈恩** 电话：49-2129-3766400
洛杉矶 米慎维荷，加利福尼亚州 电话：949-462-9523 传真：949-462-9608 电话：951-273-7800	**中国 - 青岛** 电话：86-532-8502-7355	**菲律宾 - 马尼拉** 电话：63-2-634-9065	**德国 - 海尔布隆** 电话：49-7131-72400
罗利，北卡罗来纳州 电话：919-844-7510	**中国 - 上海** 电话：86-21-3326-8000	**新加坡** 电话：65-6334-8870	**德国 - 卡尔斯鲁厄** 电话：49-721-625370
纽约，纽约州 电话：631-435-6000	**中国 - 沈阳** 电话：86-24-2334-2829	**台湾地区 - 新竹** 电话：886-3-577-8366	**德国 - 慕尼黑** 电话：49-89-627-144-0 传真：49-89-627-144-44
圣何塞，加利福尼亚州 电话：408-735-9110 电话：408-436-4270	**中国 - 深圳** 电话：86-755-8864-2200	**台湾地区 - 高雄** 电话：886-7-213-7830	**德国 - 罗森海姆** 电话：49-8031-354-560
加拿大 - 多伦多 电话：905-695-1980 传真：905-695-2078	**中国 - 苏州** 电话：86-186-6233-1526	**台湾地区 - 台北** 电话：886-2-2508-8600	**以色列 - 若那那市** 电话：972-9-744-7705
	中国 - 武汉 电话：86-27-5980-5300	**泰国 - 曼谷** 电话：66-2-694-1351	**意大利 - 米兰** 电话：39-0331-742611 传真：39-0331-466781
	中国 - 西安 电话：86-29-8833-7252	**越南 - 胡志明市** 电话：84-28-5448-2100	**意大利 - 帕多瓦** 电话：39-049-7625286
	中国 - 厦门 电话：86-592-2388138		**荷兰 - 德卢内市** 电话：31-416-690399 传真：31-416-690340
	中国 - 珠海 电话：86-756-3210040		**挪威 - 特隆赫姆** 电话：47-72884388
			波兰 - 华沙 电话：48-22-3325737
			罗马尼亚 - 布加勒斯特 电话：40-21-407-87-50
			西班牙 - 马德里 电话：34-91-708-08-90 传真：34-91-708-08-91
			瑞典 - 哥德堡 电话：46-31-704-60-40
			瑞典 - 斯德哥尔摩 电话：46-8-5090-4654
			英国 - 沃金厄姆 电话：44-118-921-5800 传真：44-118-921-5820