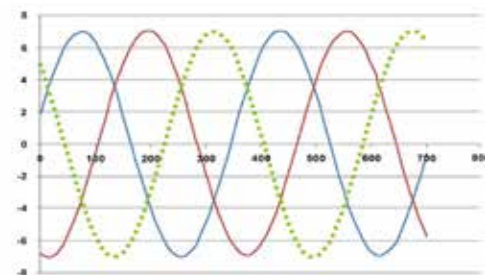
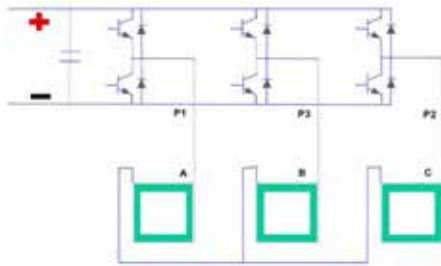




## 交流永磁伺服驱动器放大器 — 不同的伺服电机相位与换向对齐

伺服电机和伺服驱动器之间会出现换向对齐问题，特别是电机和驱动器分别来自不同的制造商时，这些问题可能会带来巨大挑战。了解典型的设计难点有助于您解决电机相序问题。

我们将先从识别或确认伺服电机的引线开始。接下来我们将识别新驱动器的特定相位引线，其固件功能标签尚未经外界验证。利用此方法，我们将探讨一系列问题，从而更好地了解换向对齐的基础问题。



## 问题 A (电机相关)：

如何确认某个制造商的永磁 (PM) 交流伺服电机相位标识？

合适的方法是使用示波器 (OSC)；但我们首先需要制定基本规则：

1. 我们将电机相位节点定为 A、B 和 C (A、B、C)；相对于电机转子定义的旋转方向，其中相位 A 处的反电动势 ( $Bemf$ ) 电压比相位 B 超前  $120^\circ$ ；相位 B 比相位 C 超前  $120^\circ$ ；而相位 C 比相位 A 超前  $120^\circ$ 。[注意：还可自行将这些相位/节点定为 R、S、T 或 U、V、W 等]。
2. 我们还将相位 A 定为反馈对齐所参考的电机相位，使其成为电机的锚定相位。
3. 由于相位 A、B、C 标识了电机的反电动势 ( $Bemf$ ) 或电源的物理引线/节点，因此，相对于所有其他节点电压，我们将首个正向节点电压定为相位 A。这将为锚定相位提供一个固定起始点，就如同电源在此时施加并且始终从相位 A 开始，与所有其他相位相对。
4. 无论是电机的反电动势 ( $Bemf$ ) 还是接通电机的电源，此相位 A 电压都将是讨论范围内每个初始序列中的正向超前电压。

相位 A、B、C 相对于电机转子的指定旋转方向进行顺时针 (CW) 旋转，无论是通过观察引线出口端，还是通过其常规的另一端（转矩端）来建立参考点，只要我们保持一致就不会受到影响。

对于此示例，我们将使用相位 A、B、C 作为顺时针 (CW) 旋转方向，正如观察电机引线出口端时一样。

使用双通道示波器 (OSC)，通过检查电机相位（反电动势 ( $Bemf$ ) 波形）与电机特定旋转之间的关系，即可轻松识别伺服电机的相位。如需有关如何完成此操作的完整说明，请参阅附录 A。

伺服电机的转子沿着制造商定义的方向旋转时（在此示例中为顺时针方向，即观察有框伺服电机的引线出口端或常规后端盖），您通过了解反电动势 ( $Bemf$ ) 节点电压之间的关系： $V_{AB}$ 、 $V_{BC}$ 、 $V_{CA}$ 、 $V_{AB}$ 、 $V_{BC}$  等，此时可顺利识别并标记电机相位 A、B、C。

注意：节点  $V_{AB}$  或  $V_{AB}$ ，应读作节点 A 相对于节点 B 的电压。此外，每个节点都应进行标记以供后续参考——使用唯一的特定字母进行标识 [有其特殊原因]。

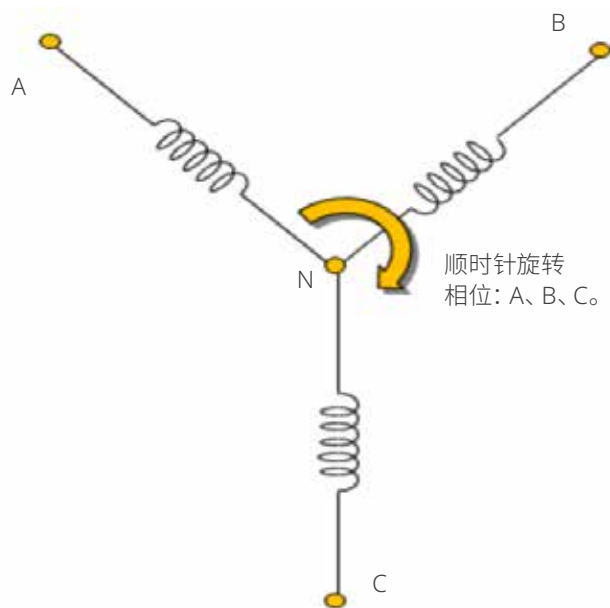


图 A：本示例的观察方向为电机引线出口端

## 问题 B (驱动器相关):

我们刚刚设计了一台新的伺服驱动器，希望能保持反馈换向偏移和对齐，以便我们的产品之间维持协调一致（反馈换向角等），能否说明一下相应流程？

这是个非常好的问题，在这个示例中，在我们拥有驱动器之前，显然我们希望将一台永磁 (PM) 交流同步电机用作伺服驱动系统。

但在回答这个问题之前，我们需要确立一些基本规则：

1. 您先前的产品（电机和驱动器）与电机相位标识方法一致，这些方法取决于电机按定义方向旋转所产生的电动势 ( $E_{\text{bemf}}$ )。
2. 此示例中特别标识的相位（锚点 [P1]）通过反馈设备进行识别；此特别标识的锚点电源相位在讨论范围内每个初始序列中都有着正向超前电压，就如同电源在此时施加并且始终从上述锚点相位开始，与所有其他相位相对（在我们的目标场景中）。

注意：由于相位在识别和通电后的循环特性，我们必须将某一个相位定为锚点相位，硬件/软件/固件都将根据该相位进行设计与参考。

3. 为实现目标，我们将驱动器相位定为 P1、P2 和 P3 进行正向旋转。正向旋转方向的电源输出相位 P1 比 P2 超前 120°；相位 P2 比 P3 超前 120°；P3 比 P1 超前 120°。

注意：建议将伺服驱动器相位标记（正式产品）为 A、B、C（与电机相同）。但是，在确认驱动器内部编程之前，我们要将驱动器的输出相位指定为 P1、P2 和 P3，其中 P1 是驱动器的锚点相位，所有硬件/软件/固件都将根据该相位进行设计并将驱动器内部的预期反馈信号作为参考。

4. 我们还将假设，驱动器期望供电相位定义的正向旋转方向会导致反馈信号计数增加（正）；在此回答场景中，此正向换向方向与电机的定义换向 (CW) 方向相同，并且所有反馈连接与先前的驱动器和电机具有相同的功能。

注意：驱动器内部所需的换向角设置会基于反馈硬件和电机相位之间的反馈对齐。但是，除了基于电机相位的初始反馈对齐之外，它还与固件/软件在驱动器内部的编写方式、电机转子旋转 360° 之内的电机极对数（电循环）有关。

比较容易发生的初期错误之一是将驱动器相位分配为 A、B、C，而缺少中间步骤（P1、P2、P3）来确认正确的标记与功能，或者是将驱动器相位分配为 A、B、C，而没有提前专门确定需要如何为电机供电，才能使其按照定义方向旋转。

在这种情况下，看似符合逻辑的常见情况是：驱动器设计人员建立驱动器的软件、固件和物理电路，从而使正向电气旋转产生输出，进而有效地使拟定的电机锚点呈现正电压：相位 A [我们的 P1]（相对于相位 B [我们的 P2]），随后是相位 B [P2]（相对于相位 C [我们的 P3]），接着是相位 C [P3]（相对于相位 A [P1]），此正向电源旋转的预期反馈计数增加（正），并且换向定相将相位 P1 设为驱动器的锚点。

但是，当驱动器相位以这种方式预先分配时，驱动器-电机连接的第一印象是 A 到 A、B 到 B 以及 C 到 C。

## 这很快就会因系统无法运行而暴露出连接错误。

为什么? 因为电源电压需要以与电机产生的反电动势 (*Bemf*) 相反的方式施加到每个相关电机相位 (针对相同的定义旋转方向), 这用于确定单独的电机相位 (单字母) 标识。我们通过定义的旋转方向和电机的反电动势 (*Bemf*):  $V_{AB}$ 、 $V_{BC}$ 、 $V_{CA}$ 、 $V_{AB}$ 、 $V_{BC}$  等找到了电机相位 A、B、C (这种方法广泛用于伺服行业); 但是, 要想让该反电动势 (*Bemf*) 以与电源相反的方式出现 (针对定义的旋转方向), 驱动器的输出相位电压必须以  $V_{AC}$ 、 $V_{BA}$ 、 $V_{CB}$ 、 $V_{AC}$ 、 $V_{BA}$  等形式施加到电机 [与电机的反电动势 (*Bemf*) 相反]。相应地, 从我们的定义锚点相位的角度来看, 我们必须更换其参考点, 而不是锚点相位。

注意: 节点  $V_{AC}$  或  $V_{AC}$  读作节点 A 相对于节点 C 的电压。这也说明了在完成正确定义后, 为什么仅用一个字母来定义特定的电机和驱动器相位。

为保持产品之间的换向协调, 另一个关键点在于和电机相位锚点 (相位 A) 相匹配的已识别驱动器相位锚点 (P1)。必须注意的是, 驱动器相位 P1 不需要是锚点; 实际上, 设计人员会希望将指定的驱动器锚点相位与电机的锚点相位保持一致, 以此保持换向对齐。

为纠正这种错误, 人们可能会切换驱动器上的电机相位连接 A 和 B; 但这会导致电机的锚点相位 [A] 和驱动器的锚点相位 [P1] 不匹配, 并造成与所有先前生产的电机-驱动器产品系列组合之间发生  $\pm 120^\circ$  的换向相位角偏移。这不符合我们一开始的要求。

注意:

1. 切换电机相位 A 和 B 是电气行业中一种常见的做法, 用于改变交流感应电机的旋转方向。
2. 这种解决方法不可取的原因还在于, 设计人员希望将所有驱动器连接标记进行内联, 例如 A、B、C (而不是 B、A、C), 正如它们在驱动器上显示的一样; 仅仅将连接 B、A、C 重新标记为 “A、B、C 或 C、B、A”, 都会与所有先前生产的电机-驱动器产品系列组合之间保持不正确的换向相位角偏移 (除非在驱动器的软件/固件内部或通过电路布局进行纠正)。

# 如何纠正或避免这种初期错误？

首先，我们回到看似符合逻辑的常见情况：驱动器设计人员建立驱动器的软件、固件和物理电路，从而使正向电气旋转产生输出，进而有效地使驱动器初始标记的输出相位 P1 呈现正电压（相对于 P2），随后是相位 P2（相对于相位 P3），接着是相位 P3（相对于相位 P1），上述正向电源旋转的预期反馈计数增加（正），并且设定的锚点相位为 P1。

假设我们的初始驱动器-电机连接相同，只是将 P1 标记为电机相位 A，P2 为电机 B，P3 为 C，那么我们将产生同样的错误。究竟该如何纠正，并且保持驱动器锚点相位 (P1) 及设定的电机锚点相位 A？

**答：**我们翻转驱动器的参考相位 (P2，连接到电机相位 C)，以便驱动器的供电电压与电机的反电动势 (*Bemf*) 相当，从而根据我们的基本规则 (#2) 保持第一个相位 (P1— 锚点)。这意味着驱动器相位 P3 与电机相位 B 相连，P1 和电机相位 A 保持连接。

我们的最终拓扑过程大致如下：

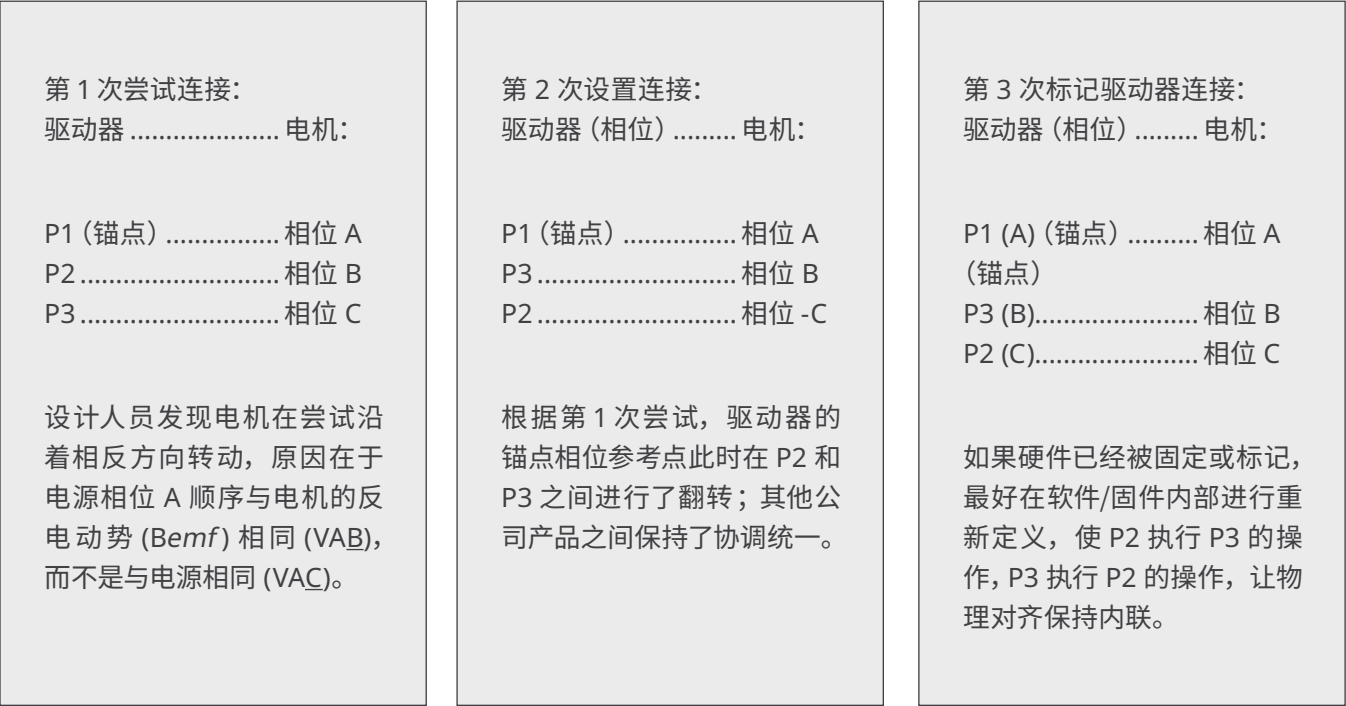


图 C

必须注意的是，在设计新驱动器期间，有多种连接情况会导致无法实现预期的运行效果。这些不同的情况最后都会变成前文所述情况的某种变体。在纠正任何标记错误期间，需要完成的一件重要的事情是将驱动器的锚点相位与电机的锚点相位相对齐，否则就会造成 +/- 120 度的偏移，使产品无法与先前和当下的产品系保持协调。

其他注意事项：

- 1. 第 3 次标记表格 [ 上方 ] 是否要求进行某些软件/固件改动，取决于软件/固件的初始编写方式或预期运行方式。
- 2. 如果使用了霍尔效应元件（“霍尔元件”），其驱动器与具体电机相位之间的关联同样需要根据初始固件的编写方式进行改动。但是，如果只有锚点相位 A 的电源参考点存在问题，那么只需将 Hb (Hall-b) 重新定义为 H\_P3，将 Hc 重新定义为 be H\_P2，即可完成修复。在其他情况下，请阅读《采用霍尔换向的伺服电机定相》[白皮书](#)，第 T20-T22 页。

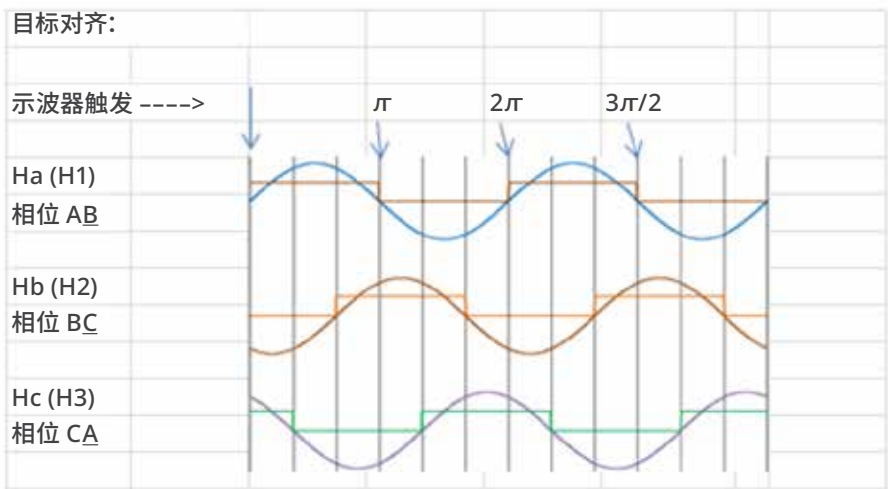


图 G：星形绕线式电枢中与电机反电动势 (Bemf) 各相位同步的正向霍尔信号 (不考虑转子的定义旋转方向)

霍尔元件（霍尔效应元件）常用于简化无刷直流伺服电机的 6 步驱动器换向，或是为正弦波换向交流永磁伺服电机建立驱动器的换向偏移设置。

**观察结果：**产品间的协调性有助于保持并改善产品质量和安全性，并确保客户与供应商之间的技术合规性，实现可持续的设计与制造实践。在设计期间定义的锚点相位不应改动。

**结论：**毫无疑问，电机相位的混合搭配方式有许多种。霍尔信号反馈、旋转变压器以及其他反馈设备都能够让系统运行起来。制造商提供驱动器和电机之间可识别相位的逻辑关系（针对所有反馈类型）— 这种简单易懂的信号和连接方式有助于设计人员更快地理解与设置。这还可促进采用混搭产品、实现附加功能，以及纠正控制器/驱动器固件和/或 HMI 软件的任何漏洞，为供应商和制造商留下良好的印象。

# 附录: A

为确定电机相位标记 A、B、C 并同时遵守基本规则 (第 1 页)，我们将使用双通道示波器 (OSC)，并通过手动旋转转子将永磁 (PM) 交流伺服电机的反电动势 ( $Bemf$ ) 作为发电机 [ 监测相对应生成的电压波形 ]。

## 说明

1. 根据制造商文档对电机的相位 A 进行标记。此相位 A 标记此时变成了您的锚点或地桩 (切勿修改或删除相位 A (锚点) 标记)。
  2. 将双通道示波器 (OSC) 的通道 1 连接到相位 A。
  3. 打开示波器通道 2 的反相 (INV) 功能，并将其余两个电机相位/导线中的任意一个连接到通道 2。
  4. 将两个示波器探头的接地夹连接到剩余的电机相位/引线/端子。
  5. 将示波器耦合 (两个通道) 设为直流，并将通道 1 设为捕获示波器迹线的触发源，由上升沿触发 (上升触发点略高于零即可)。
  6. 开始：将示波器通道 1 和 2 的时基设为介于 5-40 毫秒/格之间，并将通道 1 和 2 的幅度设为介于 2-20 伏/格之间，然后根据第 7 步的需要进行调整。
  7. 沿着顺时针方向旋转电机轴；在此示例中，观察方向为电机的引线出口端 (一般为有框电机的后端盖)。
    - a. 这意味着，如果从另一端 (安装端盖) 观察，您需要沿着逆时针方向旋转轴/电机，才能与我们的示例保持一致。
    - b. 注意：您需要多次执行此操作，同时调整示波器的垂直标度 (伏/格) 以及时基设置，才能获得理想的示波器显示效果。
  8. 在调节示波器的时基和电压幅度后，您可获得与图 B 相似的波形图 (没有绿色的虚线)。
- 注意：如果条件允许，在此阶段使用示波器的捕获保持功能会非常有帮助。

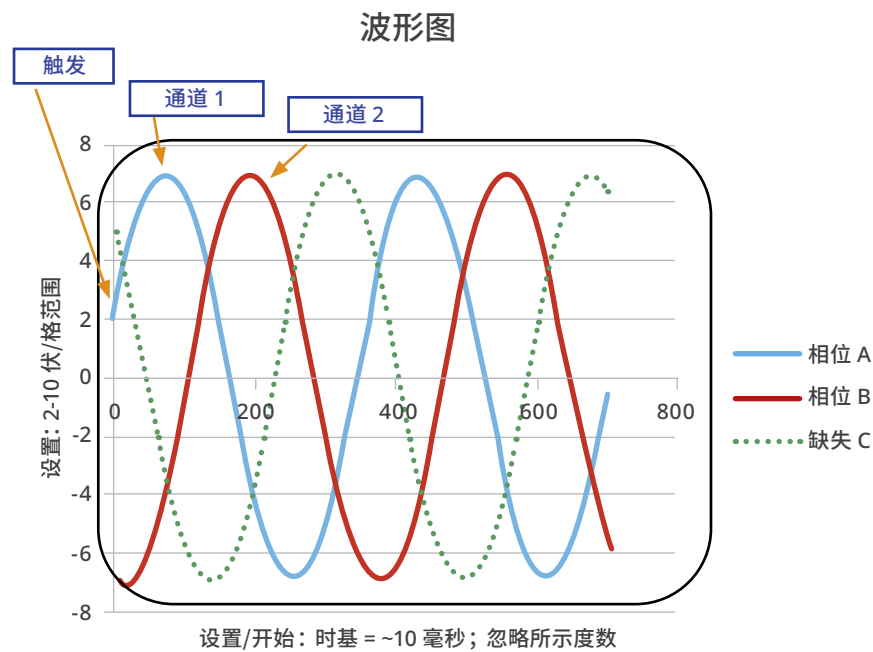


图 B

9. a. 如果您当前的反电动势 ( $Bemf$ ) 波形如上方图 B 所示：通道 1 (蓝色) 先于通道 2 (红色)，请将通向通道 2 的线缆标记为相位 C，并将连接到示波器接地夹的导线标记为相位 B。

b. 如果您的通道 2 波形如上图所示：看似像是向右移动越过了绿色虚线，请将通向通道 2 的导线标记为相位 B，并将连接到示波器接地夹的导线标记为相位 C。

防差错措施 [ 仔细检查 ]：

对于上文中的 9 (b)，请切换示波器接地夹和通道 2 之间的导线，并核实此时的波形是否看上去和通道 1 (蓝色)

与 2 (红色) 一致 [ 上文 9 (a) ]；如果不一致，则说明此过程中出现了错误。[ 例如，确保转子沿着正确的方向旋转。]

通过了解节点电压之间的关系： $V_{AB}$ 、 $V_{BC}$ 、 $V_{CA}$ 、 $V_{BA}$ 、 $V_{CB}$  等，根据伺服电机的转子沿着定义的方向旋转时（在此示例中为顺时针方向，即观察后端盖）的电机反电动势 ( $Bemf$ )，您此时即可顺利识别并标记电机相位 A、B、C。

注意：节点  $V_{AB}$  或  $V_{BA}$  应读作节点 A 相对于节点 B 的电压；此外，每个节点都应进行标记以供后续参考一使用唯一的特定字母进行标识 [ 有其特殊原因 ]。

## 准备好向前迈进了吗？

[联系科尔摩根](#)，与科尔摩根的专家讨论您在伺服驱动应用方面的需求和目标。

---

## 关于科尔摩根

作为 Regal Rexnord 旗下品牌，科尔摩根在运动控制领域拥有 100 多年的经验，提供高性能且可靠的电机、驱动器、线性执行器、AGV 控制解决方案和自动化平台，享誉业界。我们提供的突破性解决方案在性能、可靠性和易用性方面更胜一筹，为机器制造商提供无可争议的市场优势。