

调试手册

三相有感电机对 Hall 手册

V4.4

峰昭科技（深圳）股份有限公司

目 录

1 对 Hall 的原理	3
2 Hall-IC 类型如何对 Hall	4
2.1 Hall-IC 设计电路	4
2.2 Hall-IC 与反电动势关系.....	4
2.3 Hall-IC 测量步骤	6
2.3.2 测量 Hall 相序	7
2.3.3 测量 U/V/W 相序.....	8
2.3.4 测量 Hall 和三相的关系	9
2.3.5 如何调整对 Hall 关系.....	12
3 Hall-Sensor 类型如何对 Hall	14
3.1 Hall-Sensor 设计电路	14
3.2 Hall-Sensor 与反电动势关系	14
3.3 Hall-Sensor 测量步骤	16
3.3.1 产品板接线.....	16
3.3.2 测量 Hall 相序	17
3.3.3 测量 U/V/W 相序.....	17
3.3.4 测量 Hall 和三相的关系	19
3.3.5 如何调整对 Hall 关系.....	20
4 修改记录	21

1 对 Hall 的原理

有感电机需要安装 Hall 来判断电机的位置,常见的 Hall 类型有两种,数字 Hall(Hall-IC)和差分 Hall(Hall-sensor)。

Hall 安装位置和顺序是否准确,决定了对电机位置判断的准确性。在调试三相有感电机时,需要先测量 Hall 信号和三相反电动势的关系,从而判断 Hall 的安装情况,这个过程就叫做:对 Hall。

硬件 PCBA 板通常已经定义好了 U/V/W 和 HA/HB/HC,但它们之间的匹配关系是不确定的,所以需要对 Hall,要在电机 U/V/W 与 HA/HB/HC 之间找到一组完全匹配的关系。

2 Hall-IC 类型如何对 Hall

2.1 Hall-IC 设计电路

下图为 Hall-IC 的参考电路，多个 Hall 器件一般采用并联供电的方式，Hall-IC 输出信号一般为开漏(或者开集)输出。由于大部分芯片的管脚电压不能超过 5V，所以 Hall-IC 输出信号上拉至 5V(VDD5)，然后输入芯片检测。

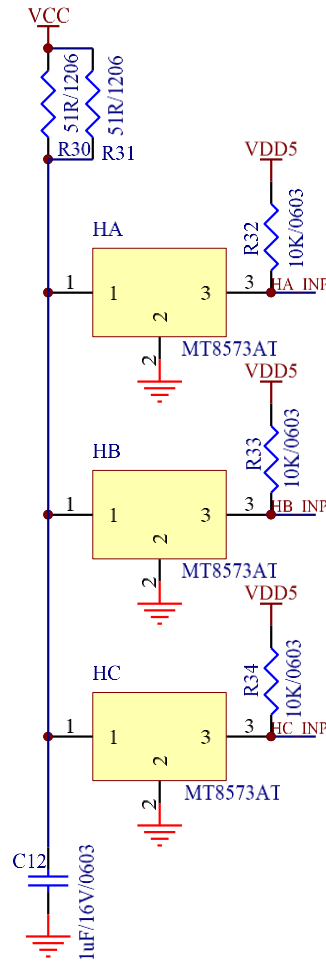


图 2-1 Hall-IC 设计电路

2.2 Hall-IC 与反电动势关系

Hall-IC 也称为数字 Hall，存在六种 Hall 关系：Hall 正相超前 30°、Hall 正相重合、Hall 正相滞后 30°、Hall 反相超前 30°、Hall 反相重合、Hall 反相滞后 30°。

Hall 上升沿与反电动势零点之间的电角度，可以通过实际测试。角度范围在 25°~35°之间，标准角度为 30°。如果这两个波形上升或下降的趋势相同，则为正相关系；如果上升或下降趋势相反，则为反相关系。实际上，通常是以 Hall 上升沿和反电动势的上升沿作对比。下面是 Hall-IC 关系的几种辨别方法：

■ Hall 正相超前 30°

Hall 上升沿位于反电动势上升沿零点之前，电角度相差 30°，关系为 Hall 正相超前 30°。

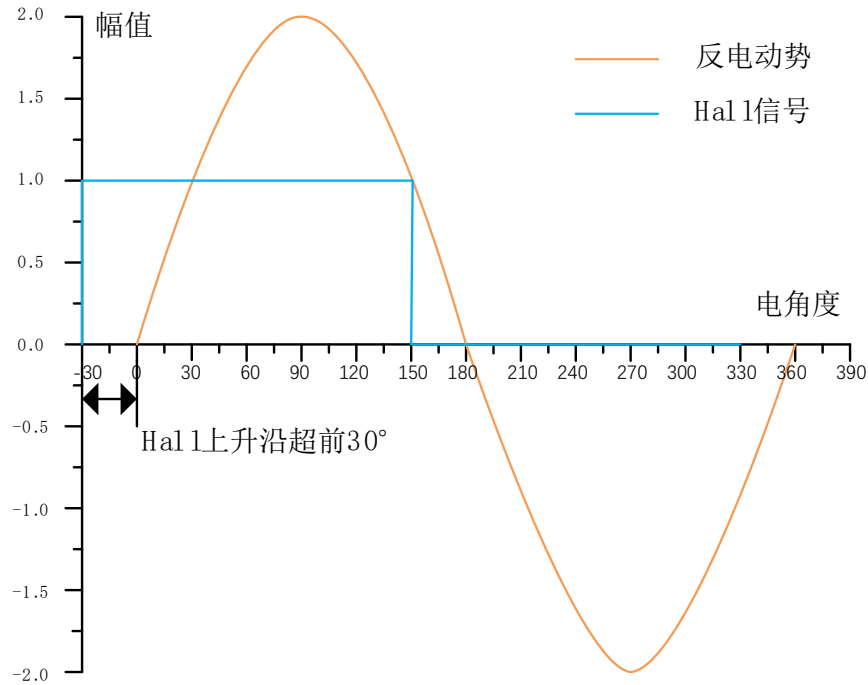


图 2-2 Hall-IC 正相超前 30°

■ Hall 正相重合

Hall 上升沿与反电动势上升沿零点重合，电角度相差为 0，所以关系为 Hall 正相重合。

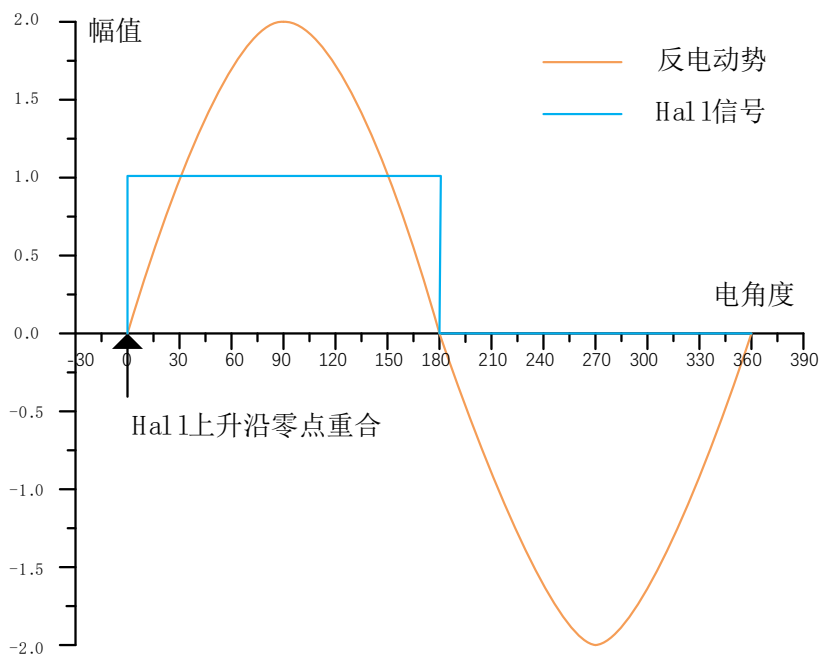


图 2-3 Hall-IC 与反电动势重合

■ Hall 正相滞后 30°

Hall 上升沿位于反电动势上升沿零点之后，电角度相差 30°，关系为 Hall 正相滞后 30°。

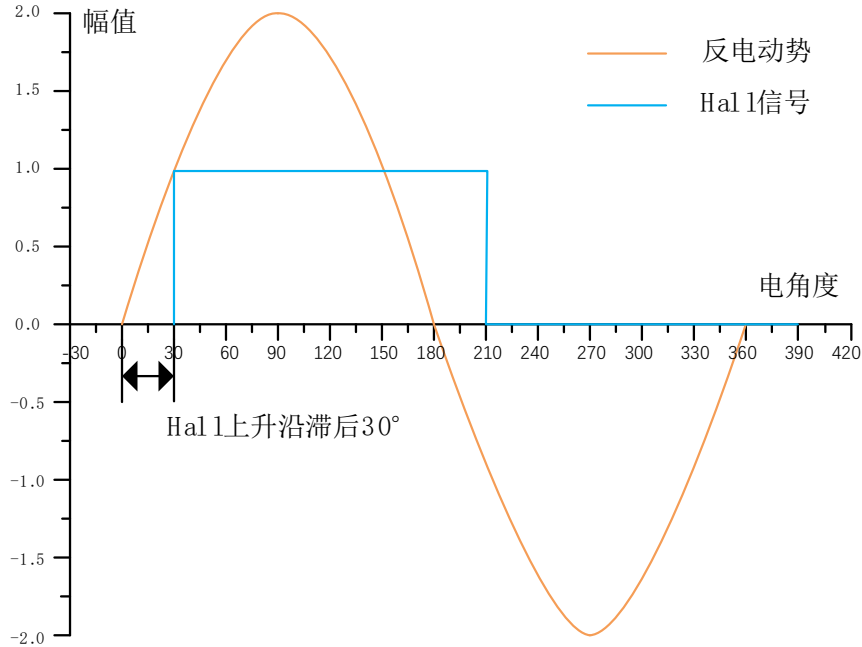


图 2-4 Hall-IC 正相滞后 30°

2.3 Hall-IC 测量步骤

2.3.1 产品板接线

去掉产品板的芯片，以及外置 MOS 管，避免产生干扰。将绕组的 U/V/W 接线出来，同时将 Hall 的信号 (HA、HB、HC)和输入电源(VDD5、GND)分别接线出来。

接线预留完成之后，将产品板上定子绕组，并组装到电机里面固定好结构。

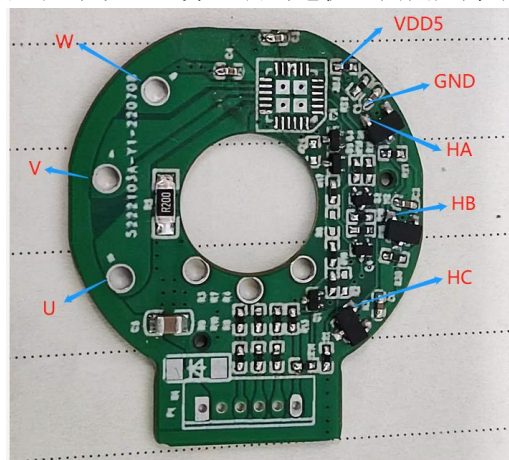


图 2-5 Hall-IC 产品板接线

2.3.2 测量 Hall 相序

1) Hall 供电

给 Hall 电源供电 5V，如果 HA/HB/HC 信号没有加上拉，需要在外部加上拉电阻。

注：HA、HB、HC 均是在画 PCB 板时定义的，但实际的 Hall 相序未知。

2) 产生 Hall 信号

使用示波器的 3 根探头，CH1~CH3 分别测量 HA、HB、HC。按顺时针方向快速转动电机(手动或者借助工具)，使其产生 Hall 信号。

注：①若用户对初始转向有要求，则按要求转向来转动电机；若无要求，一般按顺时针转向。②转向不同，得到的相序不一样。在测量 Hall 相序和 UV/W 相序时，两者转向需要保持一致。

3) Hall 编号

为了方便理解，按相序关系给它们编号：通常将 HA 编号为 H1，按照相序关系将另外两相依次编号为 H2、H3。H1->H2->H3 才是 Hall 正确的相序关系，理论上应该与芯片的 HA、HB、HC 连接。

4) 举例

示波器的 CH1~CH3 分别测量 PCBA 板定义的 HA、HB、HC，电机按顺时针旋转，得到的 Hall 波形如下图所示。按相序给它们依次编号，H1 = HA，H2 = HC，H3 = HB，相序关系为 H1->H2->H3，(即 HA->HC->HB)。

实测的 Hall 相序和 PCB 板定义的不一致，需要修改 PCB 板，或者在程序上交换 Hall 信号。

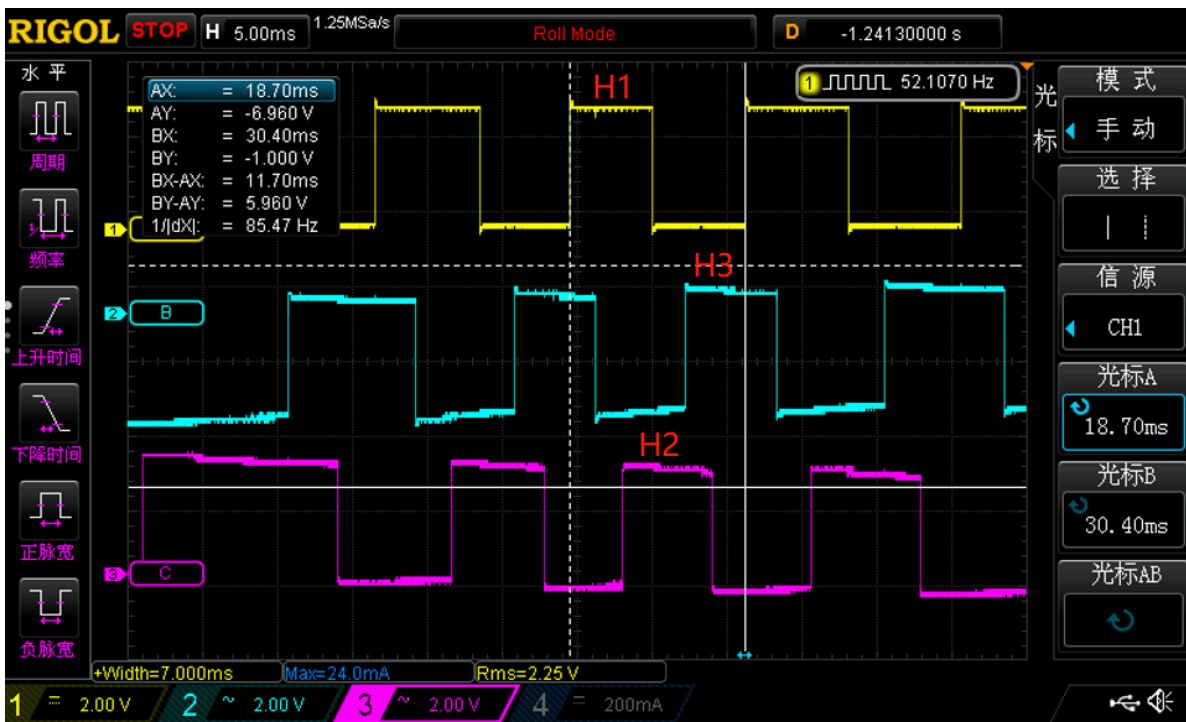


图 2-6 Hall 相序测量

2.3.3 测量 U/V/W 相序

- 1) 构建虚拟中性点。电机的 U/V/W 出线各串联 10K 电阻，电阻另外一端接一起，构建虚拟中性点。

注：U、V、W 均是在画 PCB 板时定义的，但实际的三相相序未知。

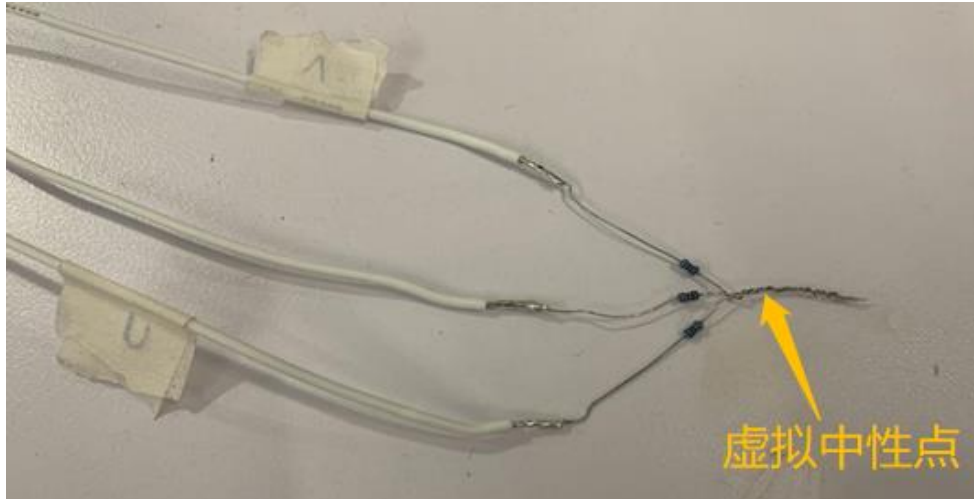


图 2-7 构建虚拟中性点

- 2) 示波器接线。示波器的 3 根探头分别电机的 U/V/W，示波器的 GND 共接虚拟中性点。

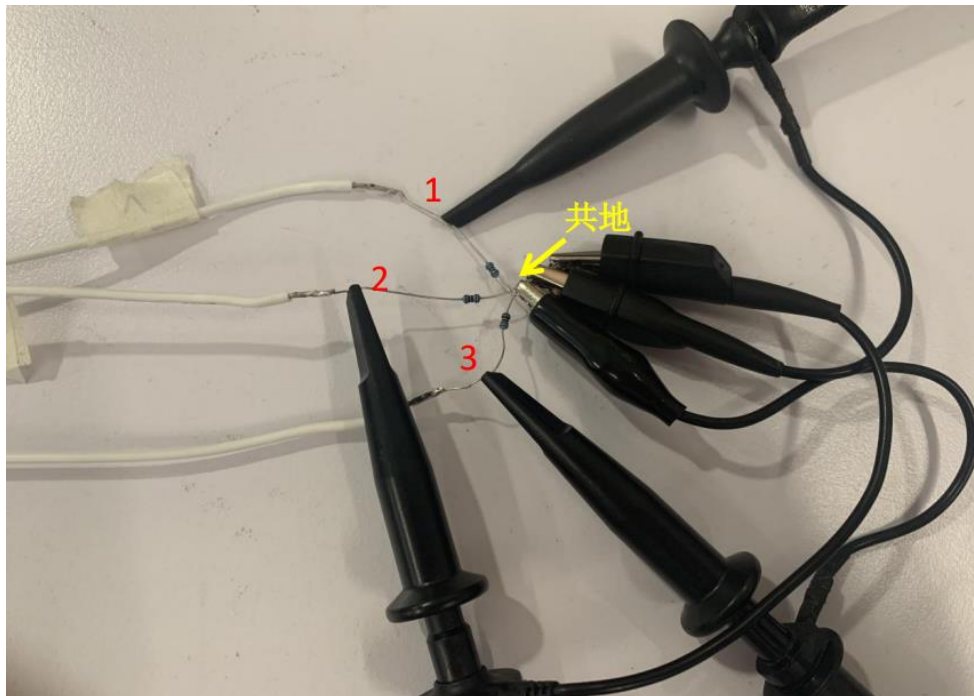


图 2-8 测量三相反电动势

- 3) 产生反电动势。使用示波器的 3 根探头，CH1 ~ CH3 分别测量 U、V、W。快速转动电机(手动或者借助工具)，使其产生反电动势信号。

注：测量反电动势的相序时，转向需要和测 Hall 相序时保持一致。

4) 相线编号。为了方便理解，按相序关系给它们编号：通常将 U 相编号为 1，按照相序关系将另外两相依次编号为 2 和 3，三相的相序关系为 1->2->3。

5) 举例：

前面测量 Hall 相序时，按顺时针得到的相序是 HA->HC->HB；为了 Hall 相序和 PCB 板定义的一致，我们改成按逆时针转向，得到的 Hall 相序是 HA->HB->HC。

同样按逆时针转向，得到反电动势波形如下，按相序关系依次编号，1 = U, 2 = W, 3 = V, 相序关系 1->2->3, (即 U->W->V)。由此可知，接入芯片的 UV/W 相序不对，后面需根据和 Hall 的配对关系进行调整。

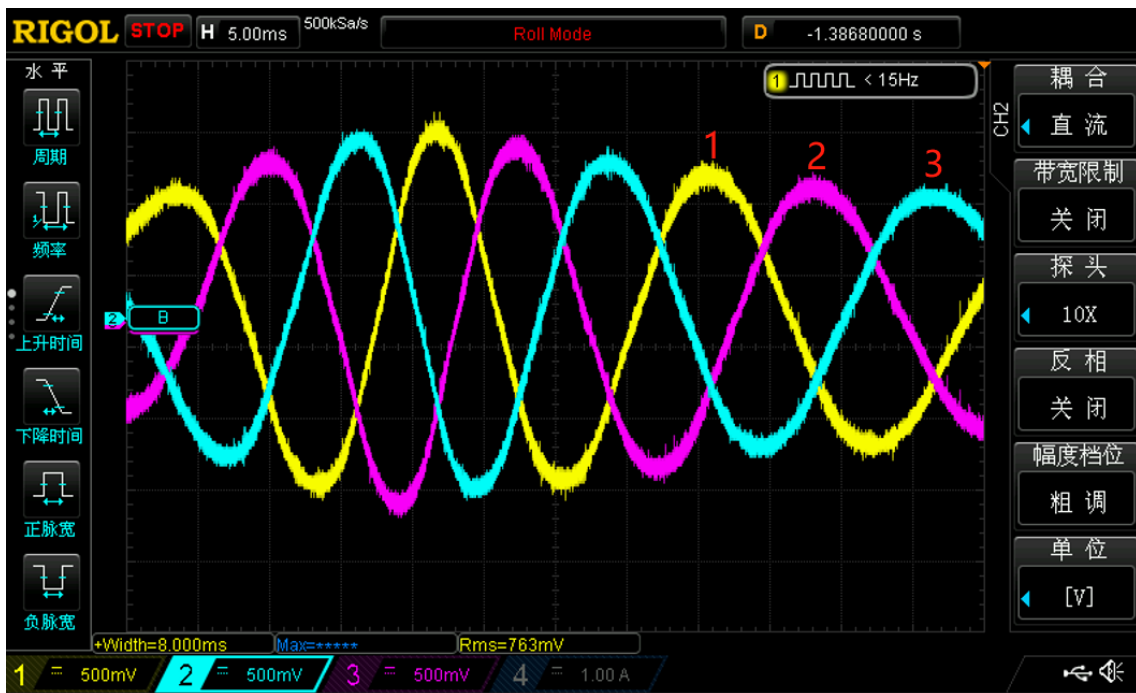


图 2-9 反电动势的相序关系

2.3.4 测量 Hall 和三相的关系

- 1) 测量 HA 与三相的关系。CH1 测量 HA，CH2 ~ CH4 测量 U/W 反电动势。以 HA 的上升沿进行观察：
 - 对于相线 1，HA 上升沿靠近相线 1 的上升沿零点(波形峰峰值的一半为零点)，HA 零点滞后于相线 1，两者零点角度约在 20~45° 之间，可以认为是相差 30°，所以 HA 与相线 1 的关系为正相滞后 30°。
 - 对于相线 2，HA 上升沿和相线 2 的上升沿零点，两者的零点几乎相差了 90°，此 Hall 关系不成立，HA 与相线 2 无关。
 - 对于相线 3，HA 上升沿靠近相线 3 的下降沿，HA 零点超前相线 3 零点，两者的零点角度约在 10~30° 之间，也可以认为是相差 30°，所以 HA 与相线 3 的关系为反相超前 30°。
 - 由下图可以读取 HA 与三相的关系：

表 2-1 HA 的关系测量

Hall 与相线关系	1	2	3
HA	正相滞后 30°	无关	反相超前 30°

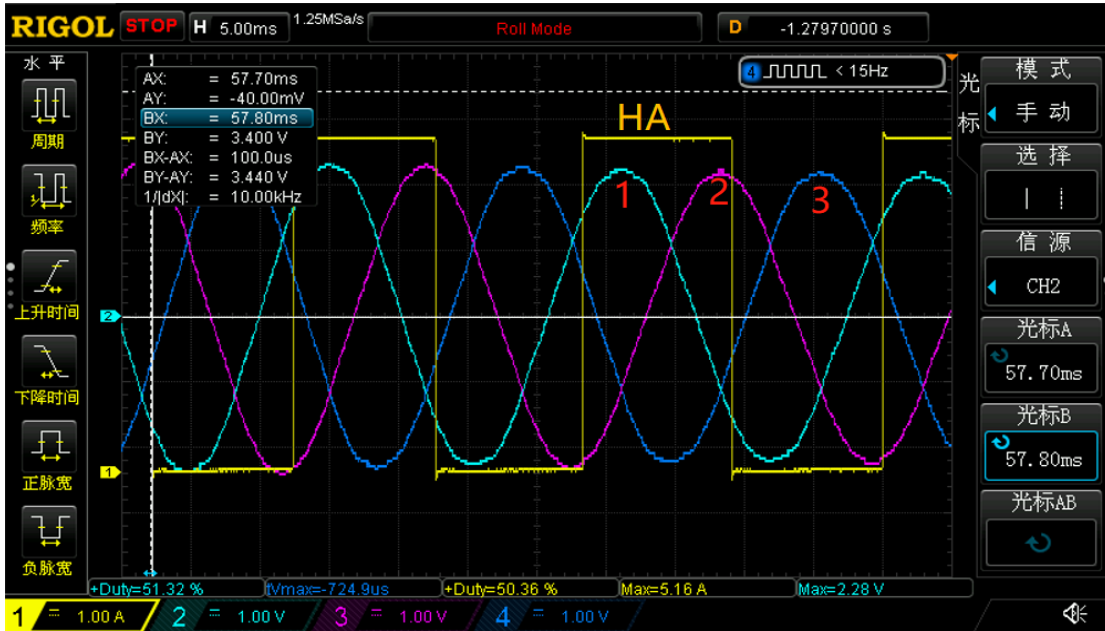


图 2-10 HA 与三相的关系

- 2) 测量 HB 与三相的关系。CH1 测量 HB，CH2~CH4 测量 U/V/W 反电动势，以 HB 的上升沿进行观察。同理，由下图可以读取 HB 与三相的关系：

表 2-2 HB 的关系测量

Hall 与相线关系	1	2	3
HB	反相超前 30°	正相滞后 30°	无关

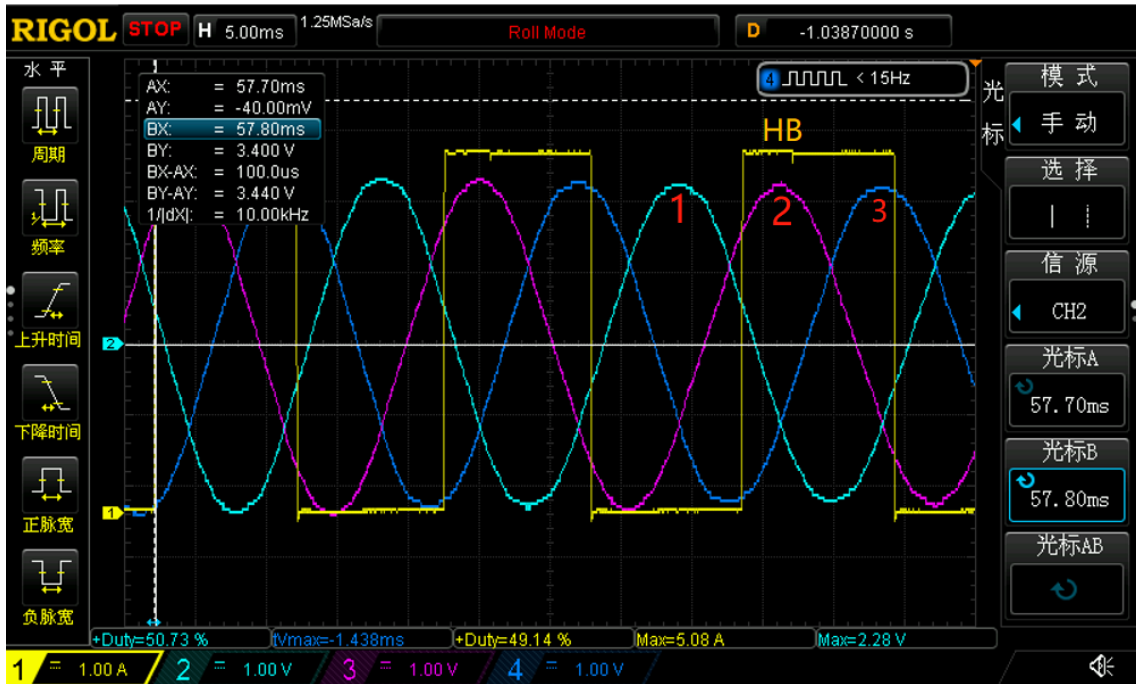


图 2-11 HB 与三相的关系

- 3) 测量 HC 与三相的关系。CH1 测量 HC，CH2 ~ CH4 测量 U/V/W 反电动势，以 HC 的上升沿进行观察。同理，由下图可以读取 HC 与三相的关系：

表 2-3 HC 的关系测量

Hall 与相线关系	1	2	3
HC	无关	反相超前 30°	正相滞后 30°

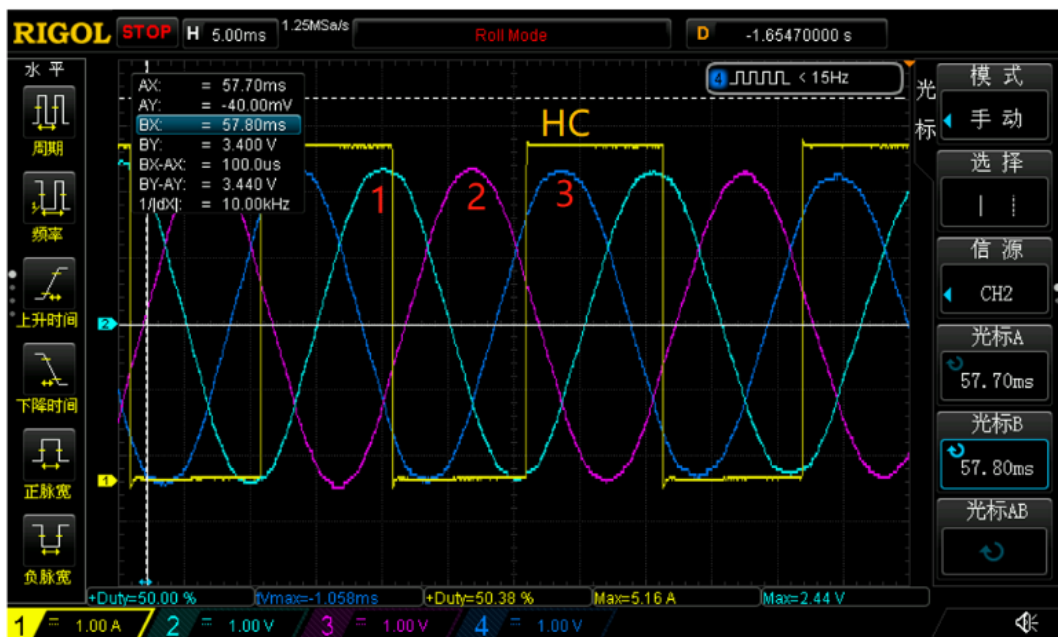


图 2-12 HC 与三相的关系

4) 对 Hall 关系整理

由前面的 2.3.3 章可知，Hall 相序是 HA->HB->HC，三相的相序是 1->2->3，(即 U->W->V)。

整理三相的对 Hall 关系如下表 4，HA 与相线 1、HB 与相线 2、HC 与相线 3 的关系相同，所以 Hall 安装与电机的关系为：正相滞后 30°。

由于 V 和 W 在 PCB 上定义的相序反了，硬件上需要调换 V 和 W 相，或者程序上交换 V 和 W 相。

表 2-4 Hall 关系整理

Hall 与相线关系	U(1)	W(2)	V(3)
HA	正相滞后 30°	无关	反相超前 30°
HB	反相超前 30°	正相滞后 30°	无关
HC	无关	反相超前 30°	正相滞后 30°

2.3.5 如何调整对 Hall 关系

1) 我们在设计 PCB 板时，往往将 U/V/W 相和 HA/HB/HC 均固定定义了，不能随意交换相线或者交换 Hall 与芯片的连接。但在进行对 Hall 时，经常会发现 HA/HB/HC 和 U/V/W 不能完全匹配，所以需要调整。下面是常见的几种方法：

- 方法 1: 调整 Hall 信号。在不改变 Hall 循环相序(H1->H2->H3)的前提下，将 PCB 板(或程序上)的 Hall 信号线调换(或者调整 Hall 安装位置)，信号调换后再输入芯片，使 Hall 和对应相线有匹配的关系。例如 HA/HB/HC = (H1/H2/H3, H2/H3/H1, H3/H1/H2)。
- 方法 2: 调整 U/V/W 相。在不改变 U/V/W 相序(1->2->3)的情况下，将 PCB 板(或程序上)的 U/V/W 调换再输入芯片，使三相和 Hall 有匹配的关系。例如 U/V/W = (1/2/3, 2/3/1, 3/1/2)。
- 方法 3: 改变初始转向。例如，按顺时针转向得到的对 Hall 关系，硬件上需要做较多的调整，很不方便。此时，可以考虑更换转向再进行对 Hall。

注：对 Hall 完成后，电机运行的初始转向和对 Hall 时的转向相同。

2) 应用实例

- 有感电机 M，按顺时针转向，测得 Hall 相序是 H1->H2->H3 = HA->HC->HB。三相的相序是 1->2->3 = U->W->V；测量到的对 Hall 关系如下表 5

表 2-5 顺时针的对 Hall 关系

Hall 与相线关系	U (1)	V (3)	W (2)
HA (H1)	无关	反相滞后 30°	正相超前 30°
HB (H3)	正相超前 30°	无关	反相滞后 30°
HC (H2)	反相滞后 30°	正相超前 30°	无关

- 由表 2-5 可知，PCB 板定义的 HA 和 U、HB 和 V、HC 和 W，它们之间完全没有匹配的关系。调整方法如下，我们先把 Hall 的相序调整正确，将 HB 和 HC 交换，得到表 2-6。

表 2-6 调换 U 和 W 相

Hall 与相线关系	U (1)	V (3)	W (2)
HA (H1)	无关	反相滞后 30°	正相超前 30°
HC (H2)	反相滞后 30°	正相超前 30°	无关
HB (H3)	正相超前 30°	无关	反相滞后 30°

- 此时，观察到 HA 和当前相线没有匹配关系，通过观察将 U 和 W 相交换(或者将 HA 和 HB 交换也是可以的)，得到表 2-7。交换之后，Hall 和对应相线均有相同的关系(高显部分)，说明对 Hall 关系成立。

表 2-7 再交换 HB 和 HC

Hall 与相线关系	W (2)	V (3)	U (1)
HA (H1)	正相超前 30°	反相滞后 30°	无关
HC (H2)	无关	正相超前 30°	反相滞后 30°
HB (H3)	反相滞后 30°	无关	正相超前 30°

- 小结：有感电机 M，如果按顺时针方向进行对 Hall，那么硬件/软件上需要做这两点调整：HB 和 HC 信号需要交换后再输入芯片，同时 U 和 W 相也需要交换。最终确认的对 Hall 关系为：正相超前 30°。

3 Hall-Sensor 类型如何对 Hall

3.1 Hall-Sensor 设计电路

Hall-Sensor 电路采用串联供电的方式，电源使用 5V，电路两端各加一个 150R 电阻限流。Hall 输出的两个差分信号无需上拉，可直接输入芯片检测。

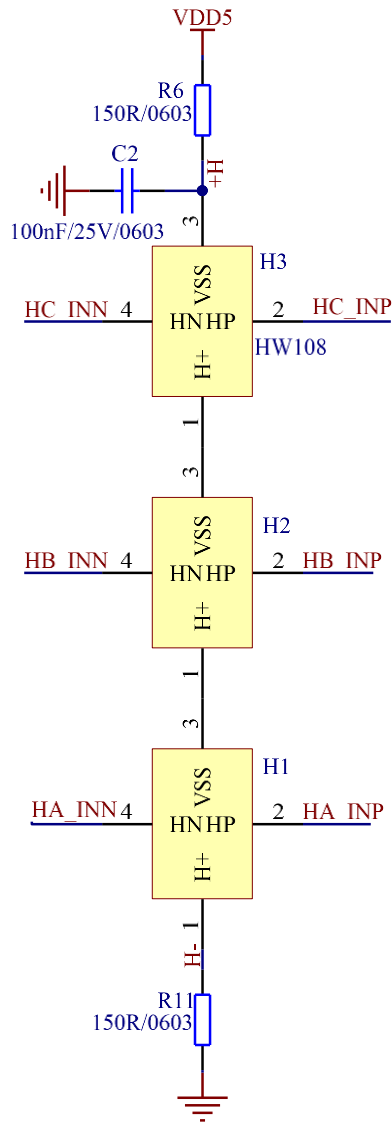


图 3-1 Hall-Sensor 设计电路

3.2 Hall-Sensor 与反电动势关系

Hall-Sensor 也称为差分 Hall，存在六种 Hall 关系：Hall 正相超前 30°、Hall 正相滞后 30°、Hall 正相重合、Hall 反相重合、Hall 反相超前 30°、Hall 反相滞后 30°。

反电动势上升沿的零点与 Hall 零点的电角度之差，可以通过实际测试。角度范围在 25°~35° 之间，标准角度

为 30° 。Hall_INP 信号与反电动势上升或下降的趋势相同，则为正相关系；Hall_INN 信号与反电动势上升或下降的趋势相同，则为反相关系。

电机线标号 1、2、3 之后，假设将电机线 1 定义为 U 相，下面通过 HA 和 U 相的匹配关系，来了解 Hall-Sensor 的几种对 Hall 关系辨别方法：

■ Hall 反相超前 30°

- HA 零点位于反电动势 1 上升沿之前，属于 Hall 超前关系。Hall_INN 信号与反电动势 1 上升趋势相同，属于 Hall 反相关系。电角度之差 $\theta = |t_2 - t_1|/T \times 360$ ，下图计算得出 $\theta = 30^\circ$ 。所以 HA 与反电动势 1 的关系是：反相超前 30° 。
- 以反电动势 2 的上升沿作为观察，HA 零点滞后于反电动势 2 的零点，两者零点角度相差 30° ，HA_INP 与反电动势 2 上升沿相同，所以 HA 与反电动势 2 的关系是：正相滞后 30° 。
- 以反电动势 3 的上升沿作为观察，HA 零点与反电动势 3 的零点之间相差接近 90° ，此 Hall 关系不成立，所以 HA 与反电动势 3 的关系是：无关。

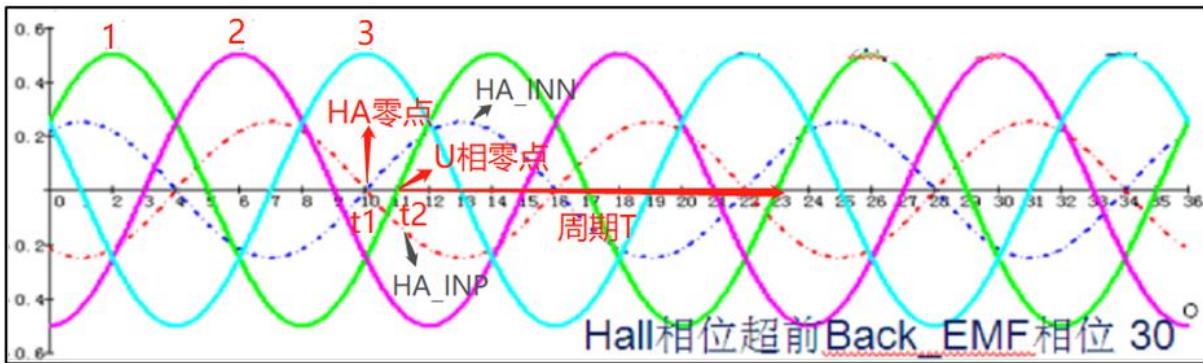


图 3-2 Hall 反相超前 30°

■ Hall 反相重合

HA 零点与反电动势 1 上升沿的零点重合，电角度之差为 0，且 Hall_INN 信号与反电动势 1 上升趋势相同，它们的关系为反相重合。

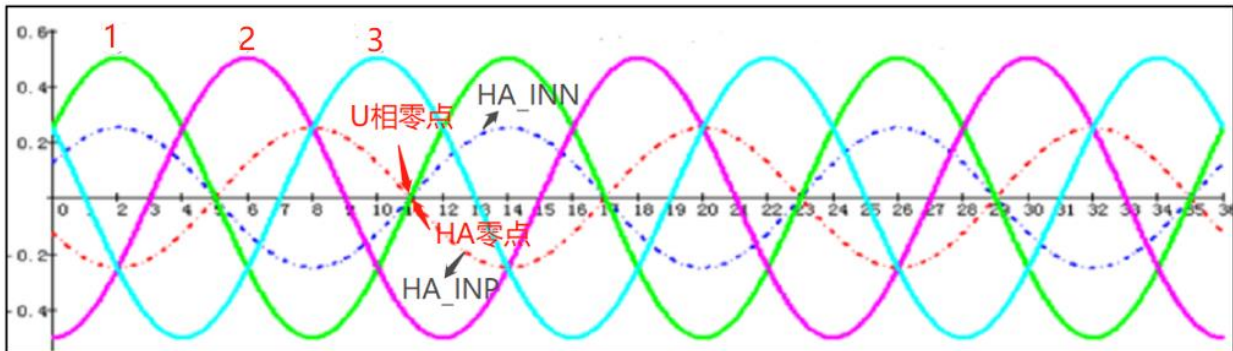


图 3-3 Hall 反相重合

■ Hall 反相滞后 30°

HA 零点位于反电动势 1 上升沿之后，属于 Hall 滞后关系。Hall_INN 信号与反电动势 1 上升趋势相同，属于 Hall 反相关系。电角度之差 $\theta = |t_2 - t_1|/T \times 360$ ，下图计算得出 $\theta = 30^\circ$ 。所以它们的关系为 Hall 反相滞后 30°。

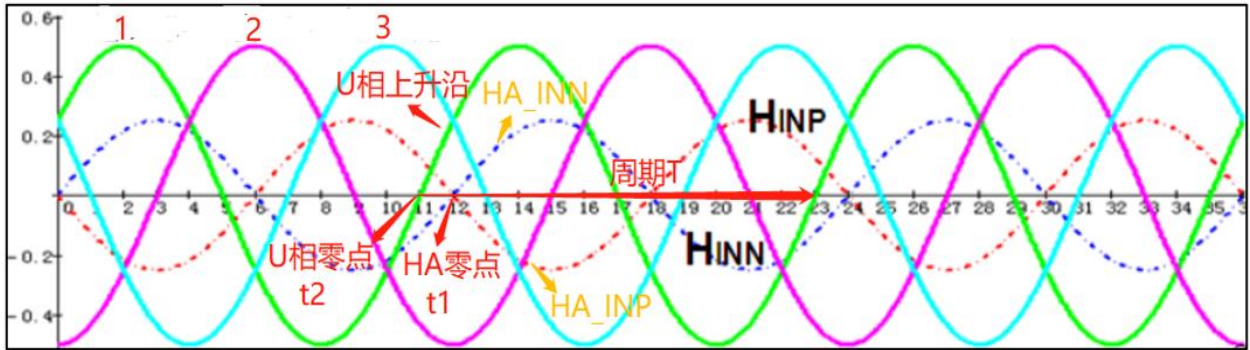


图 3-4 Hall 反相滞后 30°

3.3 Hall-Sensor 测量步骤

3.3.1 产品板接线

去掉产品板的芯片，以及外置 MOS 管，避免产生干扰。将电机的三根出线接出来，并将 Hall 电源线和 3 组差分信号(HA_INP、HA_INN、HB_INP、HB_INN、HC_INP、HC_INN)接线出来。

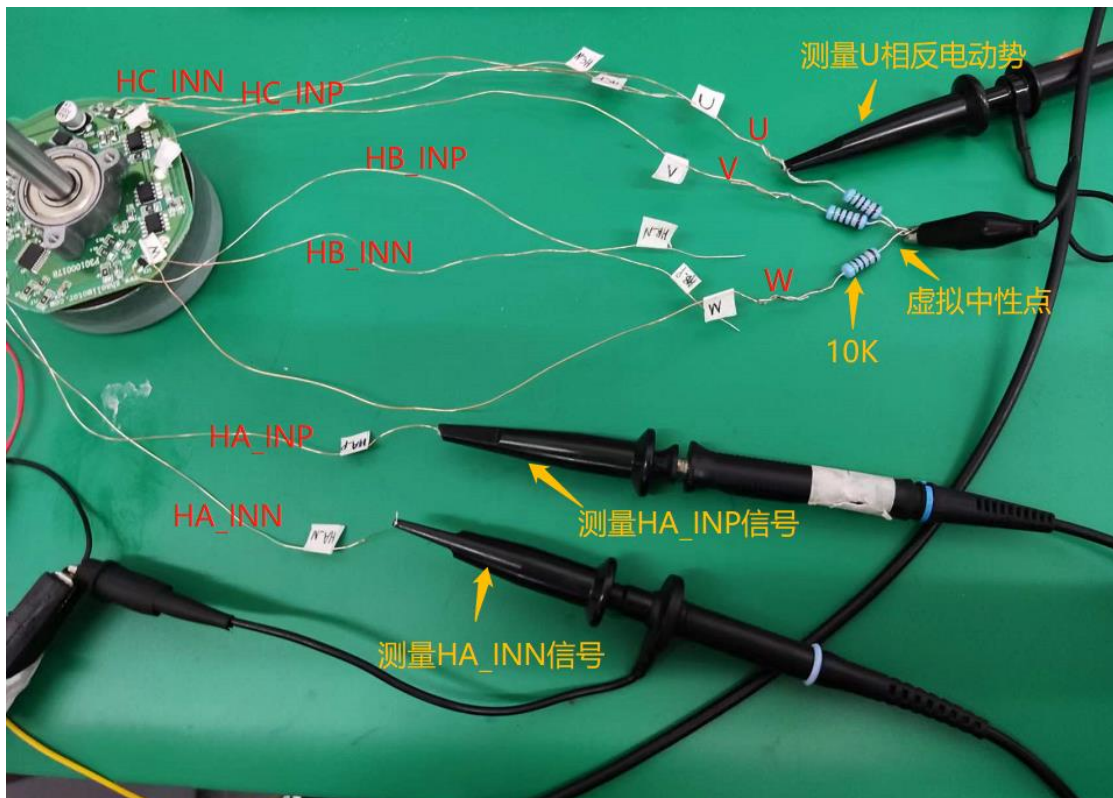


图 3-5 Hall-Sensor 产品板接线

3.3.2 测量 Hall 相序

1) Hall 供电

给 Hall 电源供电 5V，4 脚 Hall(Hall-Sensor)不需要加上拉电阻。

2) 产生 Hall 信号

使用示波器的 3 根探头，CH1~CH3 分别测量 HA_INP、HB_INP、HC_INP。按顺时针方向快速转动电机（手动或者借助工具），使其产生 Hall 信号。

注：①若用户对初始转向有要求，则按要求转向来转动电机；若无要求，一般按顺时针转向。②转向不同，得到的相序不一样。在测量 Hall 相序和 U/V/W 相序时，两者转向需要保持一致。

3) 确认 Hall 相序

观察波形，确认 HA、HB、HC 的相序关系。为了方便理解，按相序关系给它们依次编号：通常将 HA 编号为 H1，按照相序关系将另外两相依次编号为 H2、H3。例如测量的相序为 HA->HC->HB，则按相序进行编号依：H1 = HA, H2 = HC, H3 = HB。H1->H2->H3 才是 Hall 实际的相序，所以 PCB 板定义的 HA/HB/HC 安装位置不对，需要调整 Hall 位置使其相序正确。

3.3.3 测量 U/V/W 相序

1) 构建虚拟中性点。电机的 U/V/W 出线各串联 10K 电阻，电阻另外一端接一起，构建虚拟中性点。

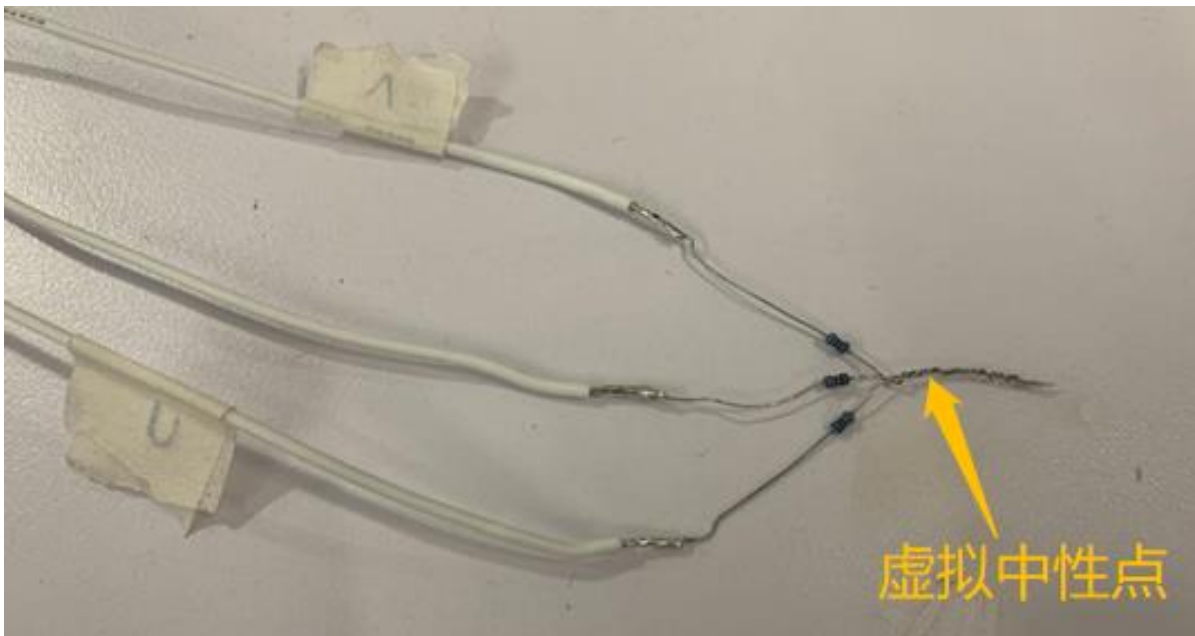


图 3-6 构建虚拟中性点

2) 示波器接线。示波器的 3 根探头分别电机的 U/V/W，示波器的 GND 共接虚拟中性点。

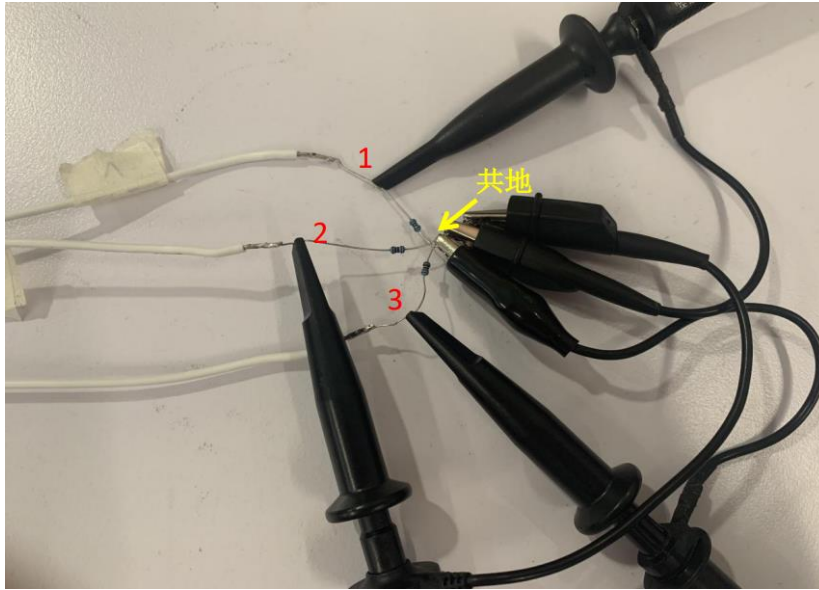


图 3-7 测量三相反电动势

- 3) 产生反电动势。使用示波器的 3 根探头，CH1~CH3 分别测量 U、V、W。快速转动电机（手动或者借助工具），使其产生反电动势信号。

注：测量反电动势的相序时，转向需要和测 Hall 相序时保持一致。

- 4) 相线编号。为了方便理解，按相序关系给它们编号：通常将 U 相编号为 1，按照相序关系将另外两相依次编号为 2 和 3，三相的相序关系为 1->2->3。

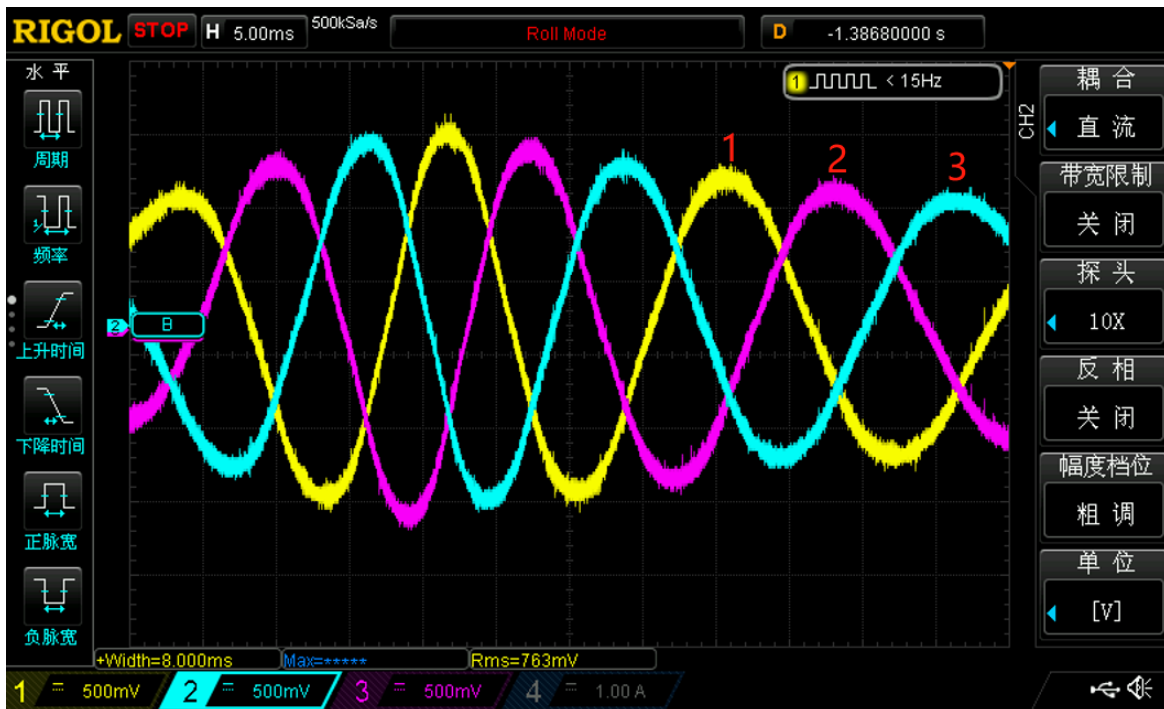


图 3-8 反电动势的相序关系

3.3.4 测量 Hall 和三相的关系

1) 测量 HA 与 U 相的关系。CH1 测量 U 相，CH2、CH3 分别测量 HA_INN、HA_INP。以 U 相的上升沿作为观察对象：HA 与 U 相的测量关系如下：

- HA 零点位于 U 相反电动势上升沿的零点之前，属于 Hall 超前。
- Hall_INN 信号与 U 相反电动势上升趋势相同，属于 Hall 反相。
- 电角度之差 $\theta = (2.3\text{ms}/26.5\text{ms}) \times 360^\circ \approx 30^\circ$ ，所以 HA 与 U 相关系为：反相超前 30° 。

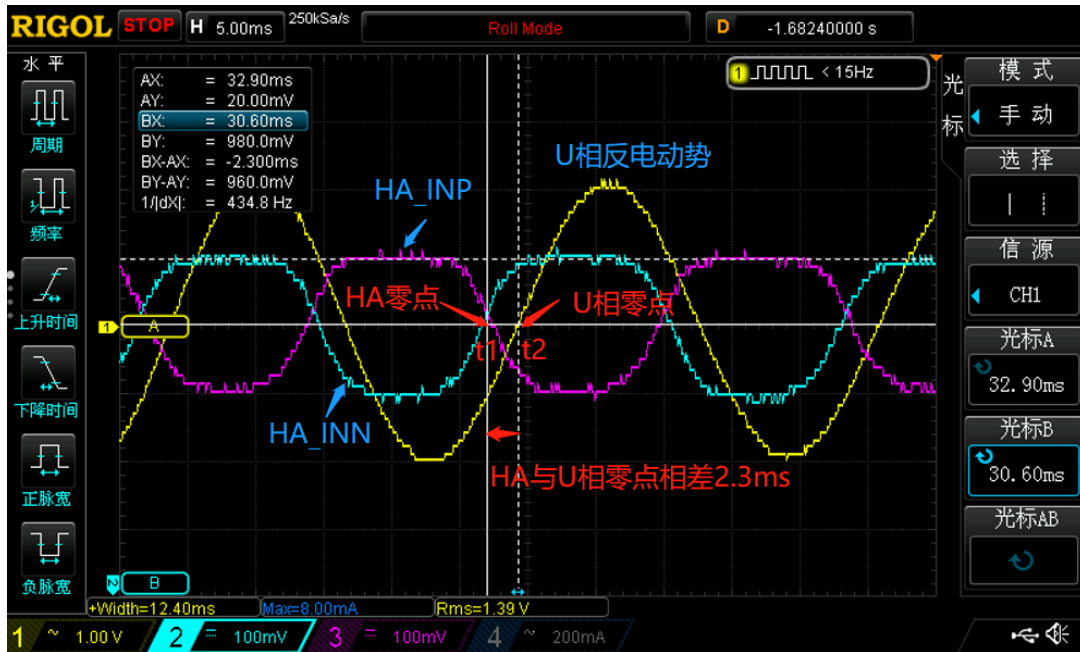


图 3-9 测量 HA 与 U 相反电动势的关系

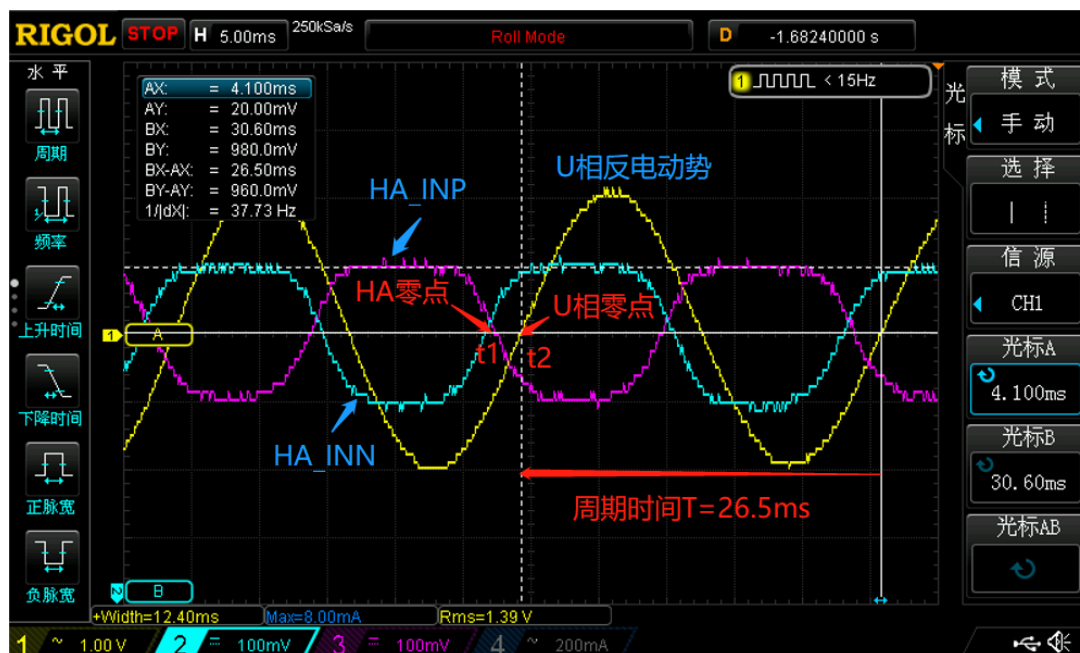


图 3-10 测量 U 相反电动势的周期

- 2) 测量 HA 与另外两相的关系，按同样的方法测量；
- 3) 测量 HB 分别与 U/V/W 三相的关系，按同样的方法测量；
- 4) 测量 HC 分别与 U/V/W 三相的关系，按同样的方法测量；
- 5) 对 Hall 关系整理，并分析和匹配对应相线；
- 6) 举例
 - 有感电机 N，按顺时针转向，测得 Hall 相序是 H1->H2->H3 = HA->HC->HB。三相的相序是 1->2->3 = U->V->W；测量到的对 Hall 关系如下表 3-1

表 3-1 Hall 测量关系

Hall 与相线关系	U(1)	V(2)	W(3)
HA(H1)	反相超前 30°	正相滞后 30°	无关
HB(H3)	正相滞后 30°	无关	反相超前 30°
HC(H2)	无关	反相超前 30°	正相超前 30°

- 由表 3-1 可知，PCB 定义的 Hall 相序不对，把 Hall 相序调整正确，将 HB 和 HC 交换，得到表 3-2：

表 3-2 交换 HB 和 HC

Hall 与相线关系	U (1)	V (2)	W (3)
HA (H1)	反相超前 30°	正相滞后 30°	无关
HC (H2)	无关	反相超前 30°	正相超前 30°
HB (H3)	正相滞后 30°	无关	反相超前 30°

- 由表 3-2 可知，交换 HB 和 HC 之后，Hall 相序和三相相序是对的，且 Hall 和对应相线的关系相同，说明对 Hall 关系成立。
- 小结：有感电机 N，如果按顺时针方向进行对 Hall，那么硬件/软件上只需要调整这一点：HB 和 HC 信号需要交换后再输入芯片。最终确认的对 Hall 关系为：反相超前 30°。

3.3.5 如何调整对 Hall 关系

- 方法 1：调整 Hall 信号。在不改变 Hall 循环相序(H1->H2->H3)的前提下，将 PCB 板(或程序上)的 Hall 信号线调换(或者调整 Hall 安装位置)，信号调换后再输入芯片，使 Hall 和对应相线有匹配的关系。例如 HA/HB/HC = (H1/H2/H3, H2/H3/H1, H3/H1/H2)。
- 方法 2：调整 U/V/W 相。在不改变 U/V/W 相序(1->2->3)的情况下，将 PCB 板(或程序上)的 U/V/W 调换再输入芯片，使三相和 Hall 有匹配的关系。例如 U/V/W = (1/2/3, 2/3/1, 3/1/2)。
- 方法 3：改变初始转向。例如，按顺时针转向得到的对 Hall 关系，硬件上需要做较多的调整，很不方便。此时，可以考虑更换转向再进行对 Hall。

注：对 Hall 完成后，电机运行的初始转向和对 Hall 时的转向相同。

4 修改记录

版本	修订记录	日期	修订人
V3.3	初始版本	2022/06/16	温小春
V4.3	第二版	2022/07/29	温小春
V4.4	修订格式	2023/09/11	李佳妮

版权说明

版权所有©峰昭科技（深圳）股份有限公司（以下简称：峰昭科技）。

为改进设计和/或性能，峰昭科技保留对本文档所描述或包含的产品（包括电路、标准元件和/或软件）进行更改的权利。本文档中包含的信息供峰昭科技的客户进行一般性使用。峰昭科技的客户应确保采取适当行动，以使其对峰昭科技产品的使用不侵犯任何专利。峰昭科技尊重第三方的有效专利权，不侵犯或协助他人侵犯该等权利。

本文档版权归峰昭科技所有，未经峰昭科技明确书面许可，任何单位及个人不得以任何形式或方式（如电子、机械、磁性、光学、化学、手工操作或其他任何方式），对本文档任何内容进行复制、传播、抄录、存储于检索系统或翻译为任何语种，亦不得更改或删除本内容副本中的任何版权或其他声明信息。

峰昭科技（深圳）股份有限公司

深圳市南山区科技中二路深圳软件园二期 11 栋 2 楼 203

邮编：518057

电话：0755-26867710

传真：0755-26867715

网址：www.fortiortech.com

本文件所载内容

峰昭科技（深圳）股份有限公司版权所有，保留一切权力。