

——South China FAE Skylar Li

低压小功率的步进电机被广泛用于家电领域，为了控制此类电机，我们通常使用达林顿晶体管来实现对其的驱动。TI 的 ULN2003A 达林顿晶体管不仅成本低而且设计简单，在家电行业里广受好评。

ULN2003A 达林顿晶体管是一个“开关阵列”，控制逻辑由 MCU 产生，它本身不产生控制信号，作用是：放大 MCU 的控制信号、电流驱动电机线圈，从而将低电平信号驱动较高电压/电流的负载。ULN2003A 内部有 7 个通道，单个通道输出额定为 500mA 的集电极电流，以下为单个通道达林顿晶体管的内部框图。

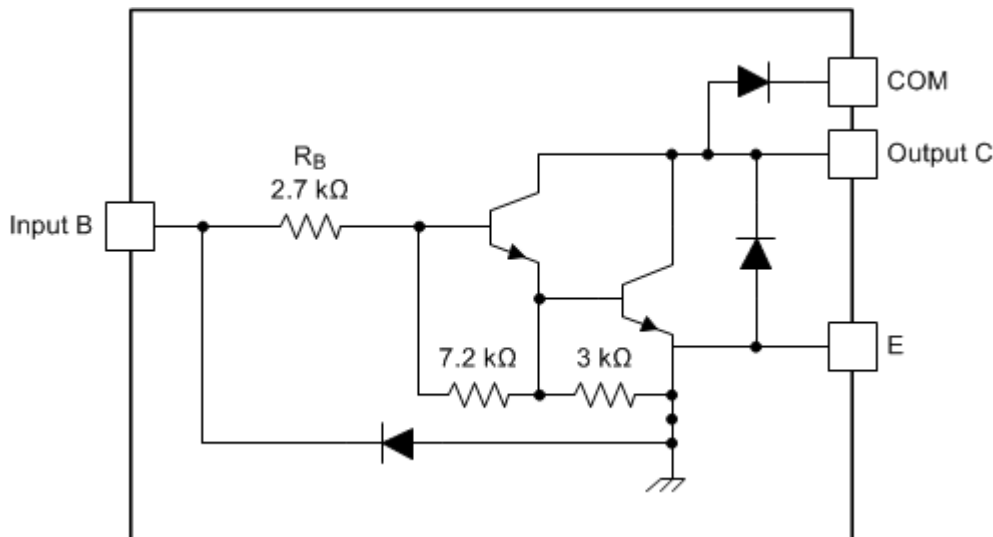


图 1. 单个通道达林顿晶体管的内部原理框图

每个达林顿晶体管对都串联了一个 2.7kΩ 的基极电阻，这种设计使得 ULN2003A 能够在 5V 的工作电压下直接与 TTL 和 CMOS 电路连接，无需额外的逻辑缓冲器。MCU 发送控制信号给 ULN2003A 的输入端口，当输入信号为高电平时，相应的输出通道会导通，允许电流流过，输出端口上的电压接近电源电压，从而驱动负载工作。四相八拍步进电机常用来作为负载。

四相八拍 (Half-Step) 是步进电机的一种驱动方式，特点如下所示：

- 电机有 4 个相位 (A、B、C、D)；
- 控制时通过特定的 8 步激励序列，逐步切换线圈导通；
- 每走 8 步，电机转动一个完整的“电气周期”；

由此，ULN2003A 连接四相八拍步进电机的示意图如下所示：

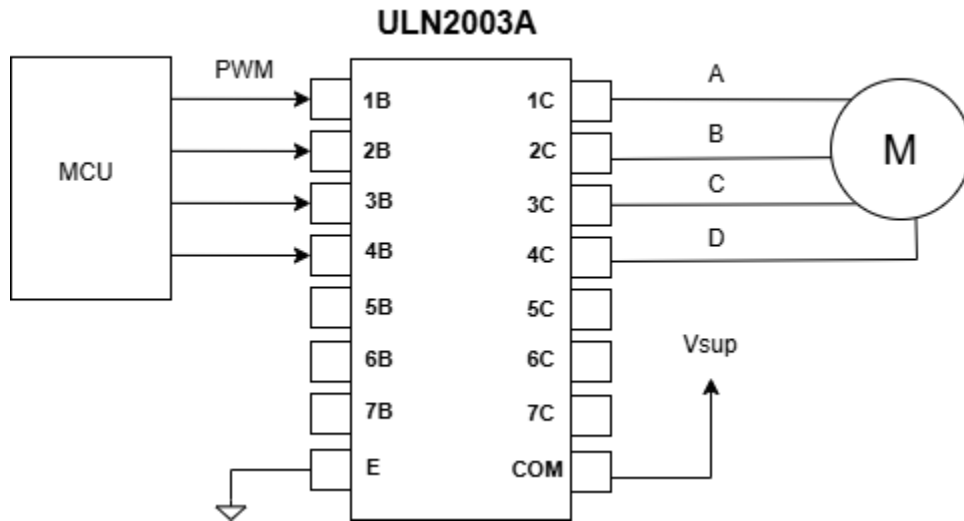


图 2. ULN2003A 连接四相八拍步进电机的示意图

四相八拍步进电机采用单相励磁（1相通电）和双相励磁（2相通电）交替进行的控制策略，来实现更精细的步距角控制，控制逻辑如以下表格（1表示通电，0表示不通）：

表 1. 四相八拍步进电机的控制逻辑

拍数	IN1	IN2	IN3	IN4	说明
1	1	0	0	0	A 相通电
2	1	1	0	0	A+B 相通电
3	0	1	0	0	B 相通电
4	0	1	1	0	B+C 相通电
5	0	0	1	0	C 相通电
6	0	0	1	1	C+D 相通电
7	0	0	0	1	D 相通电
8	1	0	0	1	D+A 相通电

这个激励顺序不断循环，电机会按设定的方向、速度进行旋转，如下图电机转动方向，反转时，控制时序倒过来控制即可。

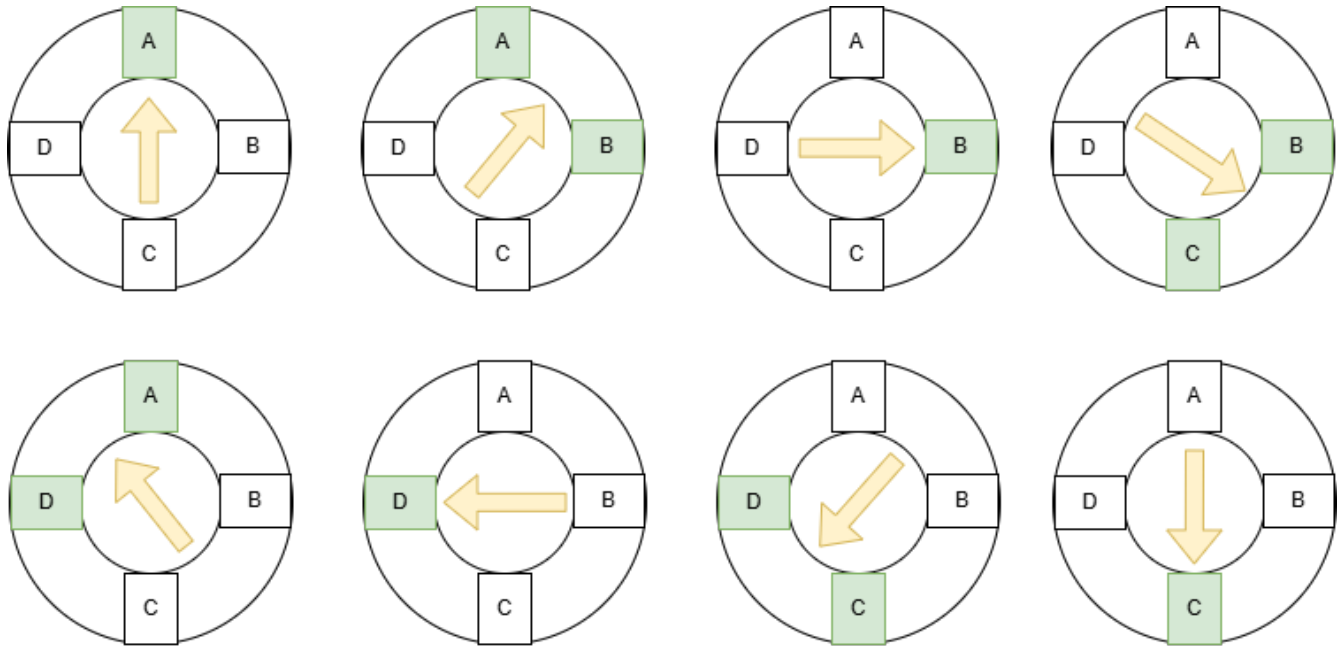


图 3. 四相八拍步进电机转动示意图

同时，四相八拍步进电机的 A、B、C、D 相的输入波形如下图所示，单相双相交替导通，有序运行。

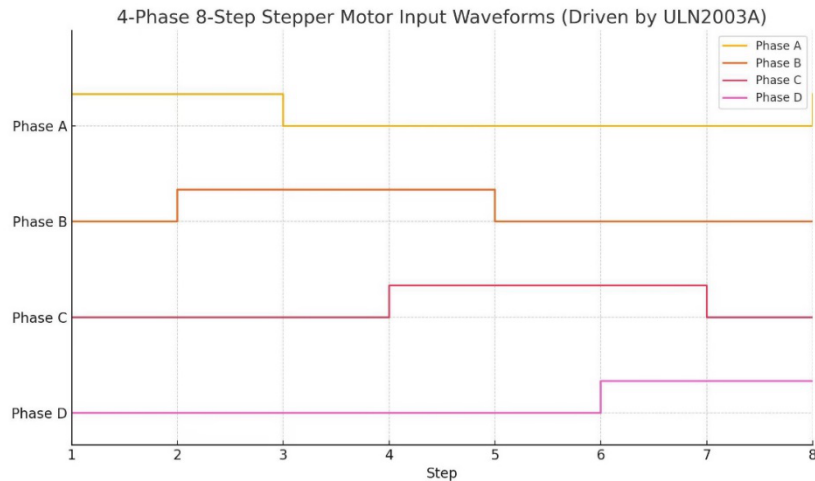


图 4. 四相八拍步进电机四相输入波形图

然而，在实际驱动步进电机时，可能因为电机功率较大需要更高的电流，单颗 ULN2003A 可能无法可靠驱动，就需要用到两颗 ULN2003A 芯片一起并联驱动。常见的方法是把 A、B 两相接其中一个 ULN2003A，C、D 两相接另一个 ULN2003A，但是这样会造成一些隐患。我们从图三和图四可以看到，以 A 相和 B 相为例，当这两相同时通电时，转子转向 45° ，AB 相存在交叠导通的状态如下图。

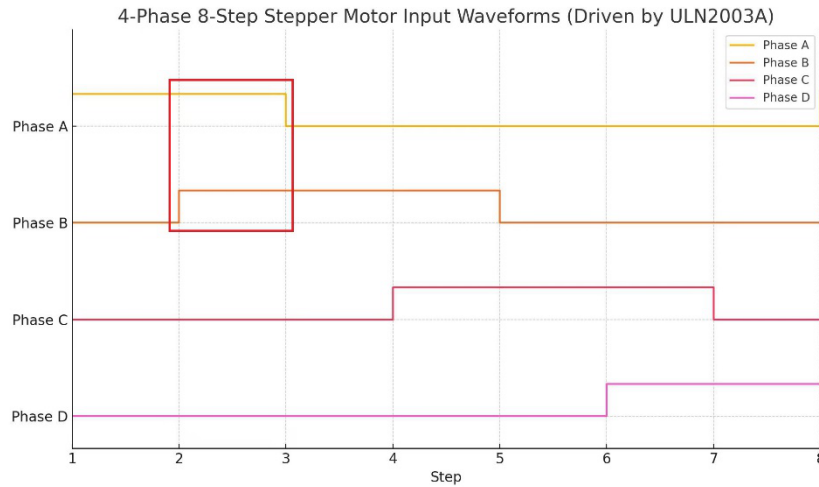


图 5. 四相八拍步进电机 AB 两相输入交叠

如果 A 相和 B 相由同一个 ULN2003A 驱动，在双励磁（如 A+B）时，芯片需要同时提供两倍的电流（如 $500\text{mA} \times 2 = 1\text{A}$ ），可能超出芯片的总电流承受能力，导致过热损坏或者驱动能力下降（输出电压降低，步进电机转矩不足）。同时，如果 A 相和 B 相同步导通时，可能会因为芯片内部电路限制导致电流分配不均，影响电机运行平滑性。从下图 6 驱动电流和占空比的关系可以看出，当环境温度为 70°C 的时候， $N=1$ 和 $N=2$ 在相同的占空比的情况下，ULN2003A 支持的最大驱动电流不一样，所以在仅 A 相导通和 A 相与 B 相同步导通的时候驱动电流有可能会分配不均，进而导致芯片发热甚至影响电机运行。所以，A 相和 B 相不适合同时由一个 ULN2003A 驱动。

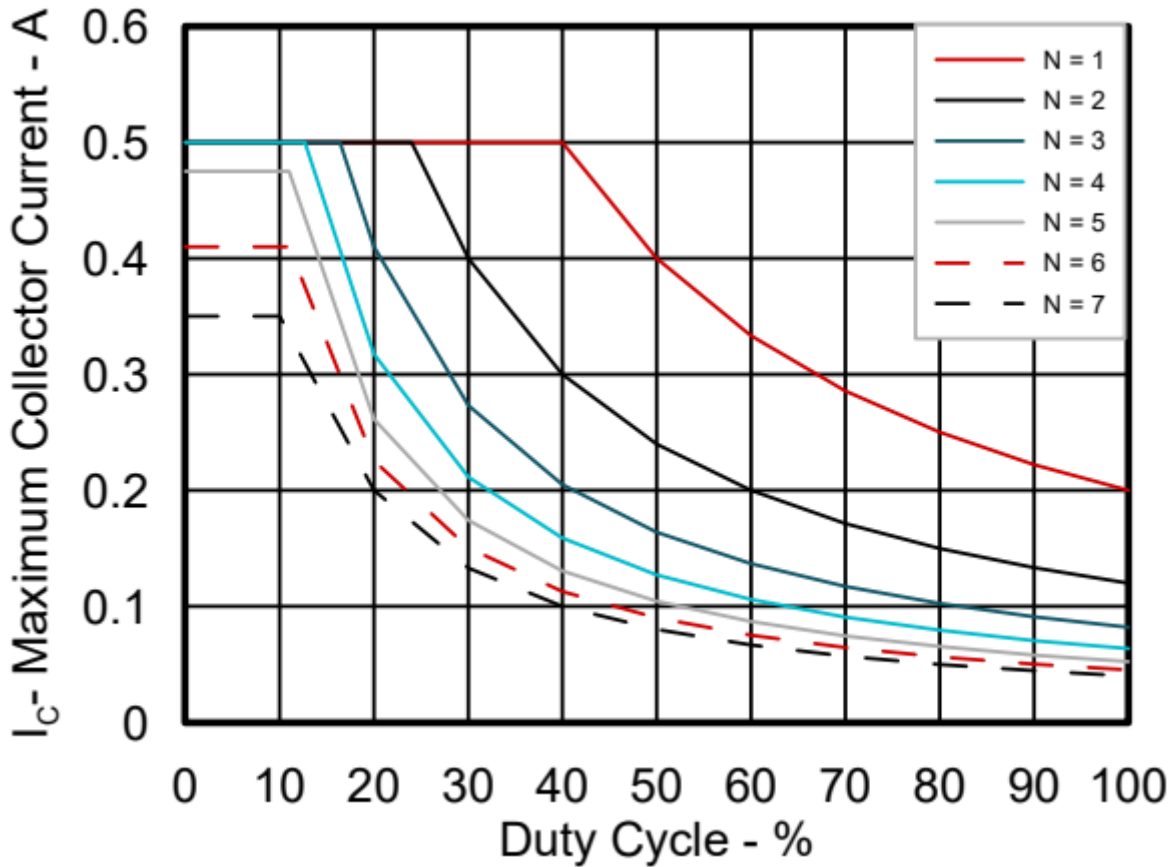


图 6. 最大集电极电流与占空比之间的关系($T_A = 70^\circ\text{C}$)

进而从图三来看，步进电机的 A 相和 C 相是错相的(相位差 180°)，它们是同一绕组的互补端，磁场方向相反，并且不能同时导通，同时导通会导致磁场抵消或短路。因此，倘若将步进电机的 A 相和 C 相同时连到同一 ULN2003A 上，那么工作时 A 相和 C 相分开导通，就不会超过 ULN2003A 的电流承受能力，并且不会存在 A 相断电，C 相导通或者 A 相导通，C 相断电的瞬间，可以减少相互干扰。当然，B 相和 D 相也同理。

综上所述，正确方式应该如下图所示：

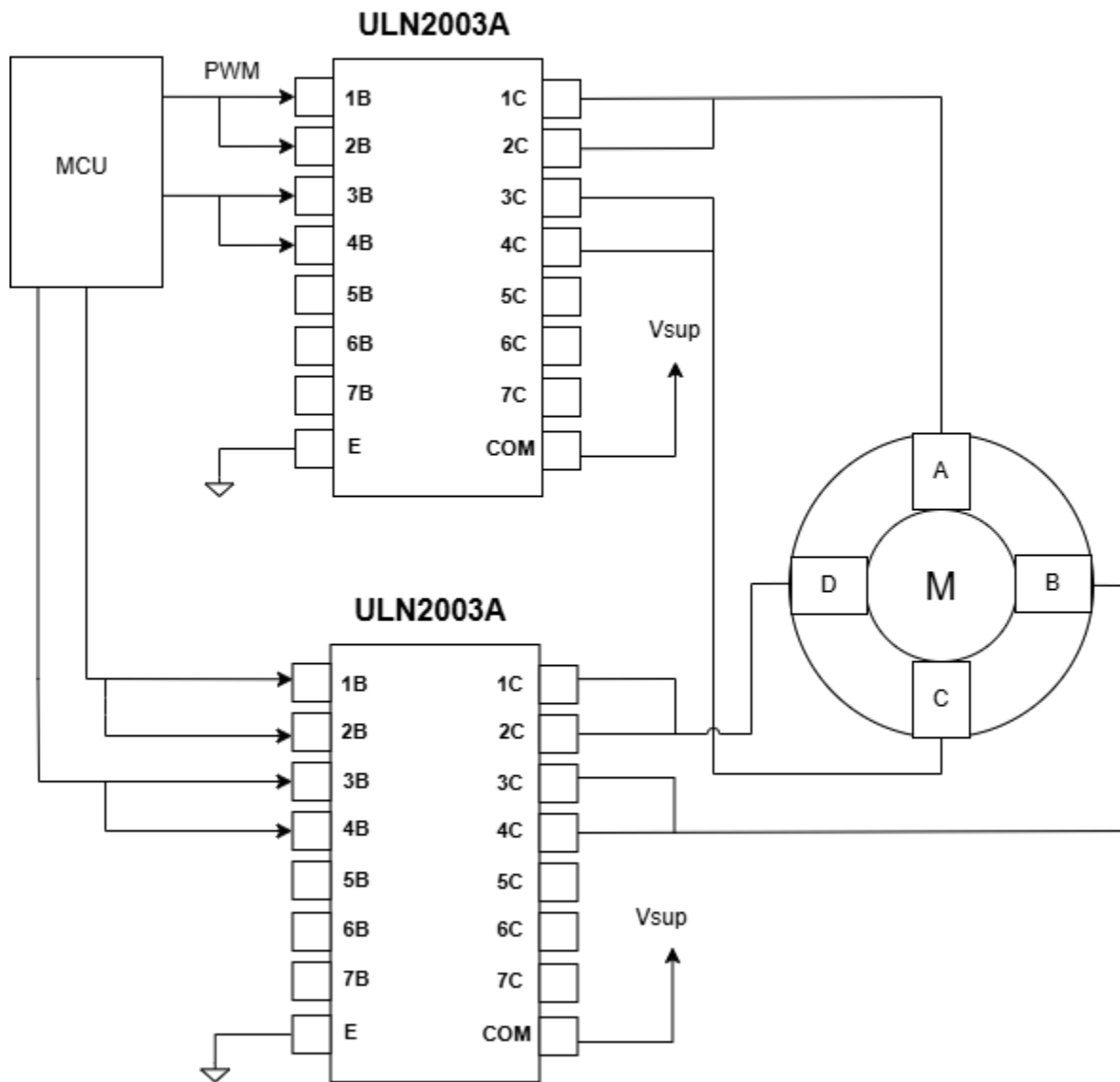


图 7. 两颗 ULN2003A 控制四相八拍步进电机示意图

图示中两颗 ULN2003A 分别接电机 A、C 相和 B、D 相，这样两相不会同时由同一 ULN2003A 驱动，这种分组方式可以分担功率损耗，改善散热，可确保电机运行稳定、高效，同时保护驱动芯片。

以上总结了 ULN2003A 的特点，以及使用 TI 的 ULN2003A 如何控 7 制步进电机的方法。当然，鉴于 ULN2003A 自身的特点，它不仅可以用在步进电机的驱动上还可以驱动继电器，灯和显示屏以及用作逻辑缓冲器，更多的使用场景值得我们发现和探索。

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司