

飞兆半导体特稿
2009年5月

开关磁阻电机及其驱动技术

作者：飞兆半导体韩国分公司运动控制系统组Byoungchul Cho 及 Sungil Yong

新一代电机：开关磁阻电机 (SRM)

越来越多的消费者选择使用更精巧、更高效的电子产品，要达到这个目标，这些电子产品需要用到效率高、调速宽，而且尺寸小巧的电机。为了配合当今电子产品的尺寸和重量需求，从设计角度来看，从效率低、尺寸笨重的感应电机转型至效率高、尺寸小的设计优良的开关磁阻电机 (Switched Reluctance Motors, SRM) 将是业界潮流。

SRM 是一种使转子 (rotor) 运动到磁激励绕组电感最大化的位置而产生转矩的电机。在电机运作期间，每个定子相位在电感上升时被激磁，电感下降时则被去磁。在处于对准位置时，气隙是最小的，磁通量的磁阻也处于最低。一个实现转子转动的简便方法是从一个相位到下一个相位按顺序导通电流，并使各相的励磁与转子同步。旋转方向与电流的方向无关，而是仅依赖于定子绕组励磁的顺序。这种单极原理方法仅仅需要一个与相位绕组串联的开关，这个相位独立和单极原理已促生了各种各样的转换器拓扑。

SRM 拥有多项超越大多数电机类型 (包括感应电机) 的独特优势，因为 SRM 具有凸极转子而没有转子绕组，所以材料成本得以降低。而且，独立的绕组可以实现容错 (fault tolerant) 运作，并提供稳健的结构。由于绕组仅在需要时励磁和去磁，故减少了实际的功耗。而且，SRM 具有较高的转矩转动惯量比和高启动转矩，而不会出现冲击电流的问题。在其它的电机应用上，启动期间的冲击电流可能引起线路电压突降，从而负面影响功率质量，并可能不符政府法规要求。另一方面，使用 SRM 技术可能有某些缺点，例如 SRM 运作需要转子位置的信息，因而 SRM 驱动器通常必需包括传感器，但这会增加成本。不过，随着专为运动控制应用而设计的高速数字信号处理器出现，使用无传感器的算法来控制 SRM 变得可行。SRM 的另一个缺点是需要复杂的噪声抑制方法，而固有的运行和使用产生振动不受转矩纹波或控制的影响。

在家电行业中，SRM 主要用于真空吸尘器，因为它的运作速度可高达数万转，并需要高转矩来产生强大的吸力。由于速度高，故转子的动能还可作为转矩纹波的低通滤波器，从而减轻 SRM 的缺点。而且，由于真空吸尘器的可闻噪声主要来自风扇，因此 SRM 引起的噪声相对不太突出。基于以上考虑，将 SRM 用于真空吸尘器是最佳的选择。

驱动解决方案和考虑事项

许多低成本真空吸尘器使用具有通用电机的简单开关，因为运作速度高达 30,000RPM，而电机速度则利用一个带有位置传感器信息的同步电路的 triac 断路器来控制。但这种相位角度控制概念仅仅使用了 AC 线路电压的一部分，由于相位角度不断变化，因此产生各种电压波形。不过，这种简单又廉宜的电子控制器有一个缺点，就是在转换 AC 波形时可能会产生不合需要的电磁干扰，故必须留意避免 EMI 辐射返回进入线路，甚至影响 triac 电路本身。此外，较高的峰值电流会导致电机效率不良，以及形成高电刷温度引起电机使用寿命缩短。值得一提的是，有关电刷产生碳尘之有害影响的争论，也推动了用于真空吸尘器之 SRM 方案的开发。

SRM 驱动器是带有 PWM 控制电路的不对称转换器，电路的作用是提供功率和换向。由于电路复杂，所以这个解决方案仅限于高端市场。实际上，业界还有多种用于 SRM 的转换器产品，选择要素取决于成本、控制方案和性能。图 1 所示为单相位的等效电路，这个转换器包括两个 IGBT 和两个二极管。当 Q1 和 Q2 导通时，定子绕组被激励，转子开始运动，与被磁组转矩所激励的定子极对准。就在定子极和转子极对准之前，Q1 和 Q2 被关断；而 D1 和 D2 被导通，这产生了对于相位绕组的负压和突降电流，从而抑制了负转矩的生成。电流的大小和波形可以按着转矩和速度需求作适度调节。

当设计人员为 SRM 选择此电路拓扑时，可以使用分功率立器件或模块来设计 PCB 硬件。虽然分立器件立解决方案在布局、栅极电阻和器件选择方面提供了大量的设计灵活性，但功率模块的解决方案能够提供空间效率和高可靠性，更高的生产力和大规模生产的成本效益。在市场中，现有两种模块可用于 SRM 驱动，分别是单相和双相 SRM 转换器（增加 SRM 相位的数量可以减小转矩纹波，但代价是需要更多的电子装置来运作 SRM。这至少需要两相来确保启动，而确保启动的方向则最少需要三相）。在两相 SRM 模块的情况下，模块中包括四个 NPT-IGBT、四个快速恢复二极管 (FRD)、三个驱动 IC 和分立自举二极管。SRM 模块具备上述所有组件和一个附加的热敏电阻，将这个热敏电阻放在模块内部而不是散热片上，便能以较短的固定时间来追踪硅片温度，误差幅度也较小。这个模块的最终优势是通过基于真空吸尘器的实际运作特性来调节功耗，从而优化硅器件的运作。

结论

高效和高性能是家电市场不可或缺的需求，消费者需要多功能精巧电子产品，不过，随着能源成本上升，他们也需要能够在整个使用周期有效地节能的电子产品，而这是 SRM 技术用于真空吸尘器等普通应用的原因。预计用于 SRM 驱动的功率模块将会被许多电机驱动应用采纳为解决方案，而且，全球对于能源的关注也使 SRM 技术出现更多的改进，例如通过改进电机本身，尽量减小噪声和转

矩纹波；或是提高无传感器的算法和控制算法的精度等等。半导体供应商和 SRM 制造商能够实施的创新越多，我们对于建构绿色世界的贡献便越大。

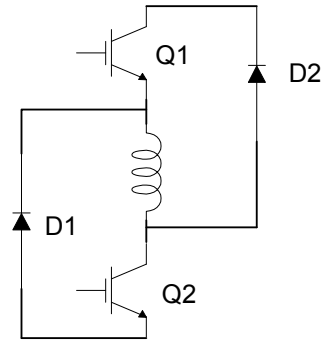


图 1：用于单相 SRM 的等效电路