

电器设计中的电机控制趋势

Microchip Technology

Patrick Heath

许多家用电器都包括一个或多个对其功能至关重要的电机。在不断提高市场份额的斗争中，新产品设计力求使其产品在竞争中脱颖而出。本文将探讨五个主要趋势，这些趋势塑造了电器电机控制的未来，电器电机控制适用于从 HVAC 系统到食品加工的所有领域。

能效

最大限度地降低电机和压缩机的功耗仍然是电器设计的大趋势之一。在很大程度上，美国环境保护局（EPA）家用电器能源之星计划推动着这一进程。这项计划会对产品进行评级并提供相应的标签，显示运行该设备所需的全年电量（kWh）。更高效的产品将获得能源之星评级，而这是许多消费者眼中的必备家电属性。许多其他国家/地区的政府提供类似的评级系统。

低端设备通常使用交流感应电机（ACIM）。使用变频驱动器（VFD）可以相对简单地控制这些电机。在这种技术中，三相正弦波形为电动机的绕组供电。电机的控制通过改变脉宽调制（PWM）占空比来实现，PWM 占空比通过其变化率来设置电压和频率。

对于 VFD，只要负载不变，即可通过使电压与频率之比保持恒定来提供恒定的转矩。遗憾的是，装备有 VFD 的 ACIM 对变化的负载或速度请求的反应缓慢，这降低了它的效率。例如，洗衣机通常使用 ACIM，并且 ACIM 对可变负载的变化反应不佳。当湿衣服在滚筒内翻转，或者在搅拌期间滚筒旋转发生变化时，就会发生这种情况。

提高效率的最直接方法是改变运行设备的电机类型。高端设备已经开始采用一种新型电机，称为永磁同步电机（PMSM）。由于设计原因，这种电机提供了更好的控制，但制造成本也更高。

PMSM 的效率更高，因为它们使用永磁体，而感应电机转子使用的绕线线圈需要额外的能量来维持磁场。PMSM 设计的优点是可以使用一种称为磁场定向控制（FOC）的改进控制算法，这种算法可以在更宽的负载或速度范围内非常精确地控制电机使用的能量。使用数字信号控制器（DSC）来控制 PMSM（例如 Microchip 的 dsPIC33EV 系列），可以帮助提高这些电机的能效并实现无噪声运行。

此外，使用具有 FOC 的 PMSM 可以节省大量能源。例如，冰箱的压缩机是一种专门设计的电机，通过将控制范围扩展到非常低的速度（如 800 rpm），在冷却系统中泵送冷却液。因此，使用的功率降低了约 30%。这可以显著提高设备的能源星级。其他研究表明，PMSM 在将电能转换成转矩方面可以达到 90% 的效率。

更高速

反过来看，诸如电钻、HVAC 和排气扇等电器需要非常高的速度。磁场削弱（也称磁通削弱）是一种控制技术，能够以快于 FOC 技术的速度旋转电机。为此，转子磁体之后遇到的定子绕组中的电压场以抵消转子磁体中某些磁场（称为磁通）的方式进行充电。当转子的磁铁与绕组对齐时，这会降低电机转动的阻力效果。这种阻力称为反向电磁力

（BEMF）。通过磁场削弱降低 BEMF，可以将电机的最高速度从 25% 提高到 100%，只要该时间点所需的转矩较低即可。由于大多数电器在较高运转速度下不需要满载转矩，因此磁场削弱可以有效地提高它们的最高速度，从而提高运行效率。

最大程度降低噪声

电器电机控制的第三大趋势是最大程度降低噪声。您是否厌倦了厨房电器的嗡鸣声？很多人不想在家里听到电器运行的声音。静音十分重要，消费者愿意为此支付更高的费用！



图 2：使用 ACIM 和 PMSM 电机的常见家用电器

电器电机噪声的产生有多种原因。电源线中电源电压的突然下降，以及负载或转矩需求的突然变化，都可能导致转子位置估计值略微偏离。此外，PWM 控制信号的时序可能与转子位置不完全一致。这些情况中的任何一种都可能导致转子轻微抖动并产生可听到的噪声。

然而，造成电机噪声的主要原因是导通和关断金属氧化物半导体场效应晶体管

（MOSFET）或绝缘栅双极晶体管（IGBT），IGBT 是一种将功率传输到电机绕组的大晶体管。每次打开或关闭这些晶体管时，绕组中电流的突然冲击会推动周围的空气（与扬

声器的工作方式相同），产生可以听见的声音或咔嚓声。把这个声音乘以三倍（三个电机绕组），每秒钟重复数千次，便会产生刚好处于人类平均听力范围内（20 至 20 kHz）的电机嗡鸣声。

幸运的是，我们有降低噪声的解决方案。这一切都归结于成本，但两个关键的解决方案是以更高的频率切换 MOSFET 并拓宽 PWM。

虽然所有的电机控制算法都可以使用 20 kHz 或更高的 PWM 频率将噪声保持在人耳的听觉范围之外，但是许多家用电器仍然以更低的频率（通常在 5 至 8 kHz 范围内）来关断和导通它们的电机控制 MOSFET。这是因为，在较慢的速度下，可以低得多的价格购买集成电源模块（IPM）（一种包含 MOSFET 的封装）。

扩频是另一种技术，一些设计正在使用这项技术来进一步降低噪声。为此，使用随机数发生器来改变 PWM 频率。这会使 PWM 频率时高时低，但平均 PWM 频率将保持不变。通过将这种抖动添加到 PWM 频率中，噪声信号的幅度减小，并可实现显著的降噪效果。

先进的控制技术

有一种技术在各种家电的电机应用中都十分实用，它涉及到在启动前和极低的转速下掌握电机转子相对于定子的位置。这有两个主要原因。第一个原因是，一些电器不能反向运行（例如空调机组中的泵和压缩机）。如果电机在启动时转向错误，即便是微小的转动，也可能最终损坏泵并导致其断裂。第二个原因是，像钻孔机、食品加工器、洗衣机和风扇这样的电器需要从启动时就获得满载转矩，以便更快地达到全速运转。

遗憾的是，与 FOC 一起使用的反馈电路（称为估测器或观测器）不能在零速或低速下工作。FOC 称为无传感器技术。这意味着，将没有霍尔传感器、磁位置传感器或光轴编码器来提供转子位置。为了发挥作用，FOC 算法从三个电机绕组获得电流反馈。当电机首次启动时，速度过低，反馈电路无法获得良好的读数，电机以开环方式运行。在电机达到足够的转速（如 50 rpm），并且获得良好的电流反馈后，控制回路闭合，进行正常的 FOC。

为了能够在电机启动或低速运转时检测转子位置，开发了一种使用高频注入（HFI）的技术。在这种技术中，转子中的三个绕组通过高频 PWM 信号逐一通电，并测量电流反馈信号。通过比较这三个测量值，可以确定转子的准确位置，并利用正确的 PWM 信号以正确的方向启动泵和压缩机的转子。这样做也能更快地加速电机。

另一项新技术称为“风转”。通过风转，可以重新启动处于滑行状态的电机，以匹配当前电机的位置和速度，从而实现平稳而不晃动的重启。这样既有助于降低噪声，又能提高电机耐用性。

此外，也可以通过使用FOC最大程度地提高转矩的方式来控制电机。这种技术称为每安培最大转矩（MTPA），它允许电机在恒定转矩阶段的闭环转换后加速旋转。利用这种技术，洗衣机可以实现高速旋转，从衣物中排出更多的水，无人机的电机也可以在不到300 ms内从0 rpm加速到30,000 rpm，从而实现更快的起飞。

提高安全性

最后一个趋势至关重要。行业内发起了一项提高产品功能安全性的运动。这意味着电气元件——即控制电器电机的单片机（MCU）或数字信号控制器（DSC）需要具有符合行业规范的内置安全特性。例如，IEC 60730 B类安全规范要求启动时关闭MCU或DSC的PWM信号的默认状态，以防止任何可能导致电机转动的瞬态尖峰电压。未来，行业将为电机控制设计工程师编制一本功能安全手册，以帮助他们更好地理解如何使用MCU或DSC电机控制器件中内置的所有安全功能。这种趋势将使电机驱动家用电器变得更加安全，最终让所有人受益。