

学习变得轻松

Qorvo 特别版

电机控制基础

for
dummies[®]



学习电机驱动
动作和控制

了解三相无刷
电机应用

了解电机控制算法

提供者：

qorvo[®]
all around you

ISBN: 978-1-119-68168-7

禁止转售



关于 Qorvo

Qorvo (Nasdaq: QRVO) 处在连接技术的核心，提供创新型射频(RF)解决方案，让我们的世界变得更加美好。我们同时拥有行业领先的产品技术、系统级的专业能力以及遍布全球的制造规模，能帮助客户快速解决最复杂的技术难题。Qorvo服务多元化、高增长的大型全球细分市场，包括高级无线设备、有线和无线网络以及防御性雷达和通信设备。另外，我们还借助独特的竞争优势推进5G网络、云计算、物联网等其他新兴应用，扩展人、地、物的全球互联框架。

想要了解Qorvo如何连通世界，请访问：www.qorvo.com。



电机控制基础

Qorvo 特别版

**David Schnaufer、
David Briggs、Marc Sousa
和 Jose Quinones 编著**

for
dummies[®]

电机控制基础入门®，Qorvo 特别版

出版商：

John Wiley & Sons 公司
111 River St.
Hoboken, NJ 07030-5774
www.wiley.com

Copyright © 2020, 新泽西州霍布肯市 John Wiley & Sons 公司版权所有

未经出版商事先书面许可，不得复制本出版物的任何部分，或者将其保存于检索系统，或者以电子、机械、影印、录制、扫描等形式或方式传输，但是根据《1976 年美国版权法》第 107 条或 108 条规定获得准许的情况除外。如需请求出版商许可，应致函 John Wiley & Sons 公司权限管理部，地址：新泽西州霍布肯市 River 大街 111 号，邮编 07030，电话 (201) 748-6011，传真 (201) 748-6008，或访问 <http://www.wiley.com/go/permissions> 在线提交请求。

商标：威利 (Wiley)、傻瓜版 (For Dummies)、傻瓜版人像标识 (Dummies Man)、傻瓜版之路 (The Dummies Way)、Dummies.com、“让一切变得更轻松” (Making Everything Easier) 以及相关商业外观，均为 John Wiley & Sons 公司和 / 或其在美国以及其他国家的附属公司所持有的普通商标或注册商标，未经书面许可，不得使用。所有其他商标均归相应所有权人所有。John Wiley & Sons 公司与书中提及的任何产品或供应商无任何关系。

免责声明 / 保证责任免除声明：出版商以及本文作者对于文中内容的准确性和完整性未做任何声明和保证，并且特别声明免除一切保证责任，包括但不限于对特定用途的适合性保证责任。销售资料或促销资料并不形成或扩展任何保证责任。文中出现的建议和策略可能并不适合所有情况。本书在出售时，即表明出版商并不提供法律、会计或其他专业服务。如需专业协助，应当寻求称职的专业人士提供服务。出版商及作者均不承担因此产生的损害赔偿。书中提及任何组织或网站并且将其作为引证和 / 或潜在信息源的，此举并不表明作者或出版商认可该组织或网站所提供的信息或建议。另外，敬请读者悉知，从本书成书时起至读者读到时止，书中所列网站可能发生变更甚至消失。

ISBN 978-1-119-68168-7 (pbk) ; ISBN 978-1-119-68173-1 (ebk)

美国制造

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

如果您想了解我们其他产品和服务的基本信息，或者如何为您的企业或组织定制傻瓜版图书，请联系我们的美国业务开发部，电话：877-409-4177；电子邮箱：info@dummies.biz；网址：www.wiley.com/go/custompub。如果您想了解傻瓜书品牌的产品或服务授权，请联系 BrandedRights&Licenses@Wiley.com。

出版商鸣谢

为本书上市做出贡献的部分人员如下：

联合出版人：Katie Mohr
项目编辑：Elizabeth Kuball
编辑经理：Rev Mengle

业务发展代表：Karen Hattan
制作编辑：Tamilmani Varadharaj
特别帮助：Faith Wempen

简介



消费者要求其家用电器、园艺工具和电机驱动产品动力更强、外形更小、效率更高。

像很多消费类电子产品一样，消费者也期望这些产品成本更低、更可靠且易于使用。无刷直流（BLDC）电机有助于满足这些需求。

为满足这一需求，需要完全优化、高度集成的片上系统（SOC）设备。当今的 SOC 设备是完全可编程的电机控制器，可提供高效、结构紧凑的解决方案，有助于满足 21 世纪制造商对绿色能源效率的严格要求。本书详细介绍了关于这些 SOC 如何提高效率以及在何处使用的宝贵信息。

傻瓜书

本书是针对技术和非技术类读者而编写的。如果您是行政人员、销售员或设计工程师，本书均适合您。只要您对直流电机控制器电源管理怀有好奇心，即可阅读本书。（没错，这些知识非常专业，但我们希望您对此有兴趣！）

书中使用的图标

在本书中，我们偶尔会使用图标来标记重要信息。下面是您会看到的内容：



REMEMBER

“谨记”图标指出您稍后会想重温的重要信息——本书的重点。



TECHNICAL
STUFF

所有标有“技术资料”图标的内容都是技术极客们非常喜欢的资料。（您知道自己的兴趣所在。）



TIP

此图标表示您在工作中可能用到的实用建议。

本书之外

虽然本书满篇都是非常不错的资料，但在 24 页的篇幅中，我们也只能涵盖这些内容！因此，阅读本书后，如果您想了解更多信息，请访问 www.qorvo.com/products/power-management/intelligent-motor-controllers，获取更多关于 Qorvo 直流电机控制产品的资料。

如何阅读本书

无论您是电机控制装置的新手，还是想在自己的设计中使用最新技术的经验丰富的设计工程师，这本书都会对您有所帮助。

本书中的各章内容相互独立，因此，您可根据个人需要选择跳过。如果您对某一章中的主题非常熟悉，则可跳过该章，继续阅读下一章。我们在本书其他章节提供了信息交叉引用，因此，您随时都可以找到所需要的内容。

- » 识别电动机的类型
- » BLDC/PMSM 电机的兴起
- » 电机控制器的工作原理

第 1 章

直流电机控制器基础

在 从汽车到冰箱和庭院工具等极其广泛的产品中，电机发挥着非常重要的作用。根据 IMS Research 的数据，每年市场上增加 110 亿台电机，其消耗的电能占总耗电量的 45%。

从传统的有刷直流电机到无刷电机，这一市场正在发生深刻变革。原因有多个，其中包括众多行业对提高能源效率的强烈需求。此外，便携式工具等不插电应用逐渐兴起，它们需要体积更小、重量更轻、耗电量更少的电机，从而使电池能够持续使用更长时间。

无刷电机具有许多优势，例如效率更高、重量更轻、控制更精确。但是，与传统的有刷电机不同，它们需要电子控制。因此，电机控制市场也随着有刷电机向无刷电机的转变而发展。

在本章中，我们将介绍各种类型的电机，并阐明新技术如何使直流电机在很多不同类型的产品中得到应用。我们还将介绍直流无刷电机的工作原理。

电机类型简介

如今主要有如下几种类型的电机：有刷直流电机、步进电机、感应电机以及无刷直流（BLDC）电机 / 永磁同步电机（PMSM）。图 1-1 是对电机类型的汇总。

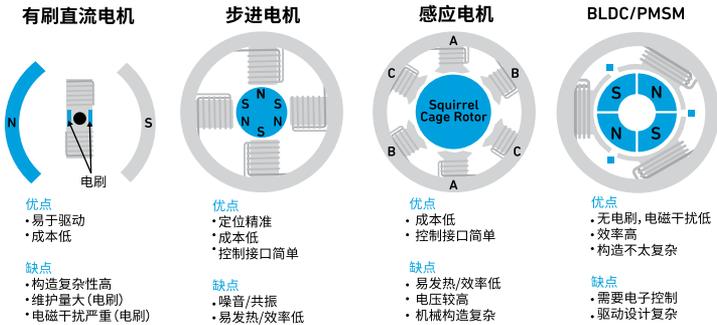


图 1-1：电机类型

密切相关的两种无刷电机——无刷直流（BLDC）电机和永磁同步电机（PMSM）——越来越广泛地应用于众多领域。这些电机不需要电刷和换向器，因此比有刷电机更高效，并可有效延长电机寿命。

在有刷电机中，转向（在各相中切换电流，以便形成能够产生运动的旋转磁场的过程）由电刷 / 换向器接口产生。该接口会产生不利的摩擦和电弧。

无刷直流（BLDC）电机和永磁同步电机（PMSM）采用电子生成的旋转磁场，因此不需要使用电刷和换向器。这是通过使用外部电路调节传送到各相的电压和电流来实现的。



虽然这些电路稍微复杂一些，但与传统有刷电机相比，无刷直流（BLDC）电机和永磁同步电机（PMSM）具有一些重要的优势。它们的电子换向方案使能源效率比以相同速度运行的有刷电机提高了 20% 到 30%，同时更加耐用、体积更小、重量更轻、噪音也更小。

BLDC 电机 /PMSM 的兴起

在有刷电机中，绕组位于转子上（电机的旋转部分）上。在无刷电机中，绕组位于定子（电机的静止部分）。将绕组放在电机静止不动的部分，并将永磁体放在转子上，这样就不需要电刷了。在无刷直流（BLDC）电机或永磁同步电机（PMSM）中，通过电子控制器从外部控制流向固定定子线圈的电流。

这些无刷直流（BLDC）电机或永磁同步电机（PMSM）比其他类型的电机具有明显优势，因此，在许多应用中，它们正逐渐取代有刷直流电机和感应电机。实际上，无刷直流（BLDC）电机或永磁同步电机（PMSM）已广泛应用于汽车、电动工具和家用电器中。



TIP

与传统的有刷电机相比，无刷直流（BLDC）电机或永磁同步电机（PMSM）具有诸多优势。它们节能，体积更小，重量更轻，噪音更小，也更可靠耐用。此外，它们还能精确地控制速度，更适合用于变速应用。最后，它们还具有出色的速度扭矩特性。

无刷直流（BLDC）电机或永磁同步电机（PMSM）通常用于需要精确控制速度的地方。我们将在第二章详细介绍其工作原理，但基本概念如图 1-2 所示。霍尔传感器或旋转编码器检测转子的位置，通过分析传感器输出端极性和变化率来测量速度。像图 1-2 中所示的三相无刷直流（BLDC）电机或永磁同步电机（PMSM）需要三个霍尔传感器。

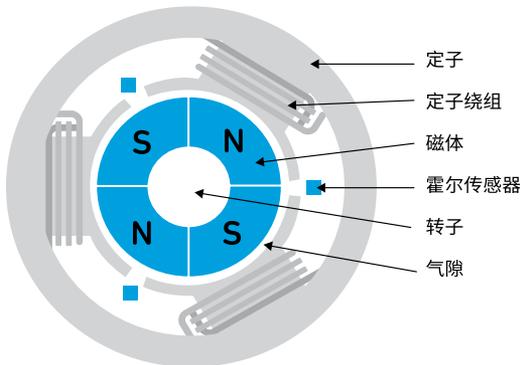


图 1-2: 三相无刷直流 (BLDC) 电机和永磁同步电机 (PMSM)

为发挥其优势,这些电机额外需要一些复杂的控制。由于无刷直流 (BLDC) 电机或永磁同步电机 (PMSM) 采用电子换向电路,因此,它们需要监控电路来确保线圈激励精确定时,从而准确调节速度、恰当控制扭矩以及提高效率。在许多需要可调速和准确控制位置的新型电机应用中,这种驱动电路是必不可少的。

好消息是,所有必需的模拟功能都与功能强大的微控制器一起集成到单个电机控制单元中,从而驱动外部(或某些情况下集成在单元内部)功率金属氧化物半导体场效应晶体管。这种单独控制单元可简化设计流程并降低组件成本(参见图 2-2)。

了解电机控制器的工作原理

电机控制器可完成多项非常重要的工作。其最基本的功能是通过控制各相的电压来调节电动机的速度和方向。但电机控制器还:

- » 调节电机速度、扭矩或功率输出
- » 控制启动或软启动
- » 防止出现电路故障
- » 使电机加速和减速更平稳
- » 防止过载

为实现所有这些功能,电机控制器必须比以往更加智能。例如,它们能够通过监测负载并调整扭矩使其匹配来提高效率。提高效率的同时还减少电机的热量、噪音和振动。

具有常规三相逆变器的无刷直流 (BLDC) 电机或永磁同步电机 (PMSM) 传统上需要多个集成芯片 (IC) 来提供各种电机控制器功能(参见图 2-3)。这其中包括微控制器、用于驱动功率金属氧化物半导体场效应晶体管 (MOSFET) 的预驱动功率级、用于放大检测到的电机电流的差分放大器、提取反电动势 (BEMF) 信息的比较器以及降低电压的开关式和线性稳压器。

由于半导体技术的进步,如今很多功能都被并入一个小型控制装置中。

- » 无刷电机驱动器类型简介
- » 选择带传感器的电机还是无传感器电机
- » 了解无刷直流电机控制系统
- » 探讨小型化电机控制器

第 2 章

了解电机控制装置

本章中，我们将进一步探讨无刷直流电机 (BLDC)，该电机在许多应用中逐步替代其他类型电机（参见第 1 章）。我们将介绍无刷直流电机、永磁同步电机 (PMSM) 以及它们的控制方式。

无刷电机驱动器类型比较

无刷电机有很多类型。使用最广泛的是单相和三相无刷直流电机 (BLDC) / 永磁同步电机 (PMSM)。



TECHNICAL
STUFF

刷直流电机和永磁同步电机均以同步电机的工作原理为基础。由于定子相序切换产生旋转磁场，转子磁极会试图与其保持同步，从而使电机开始运转。每次换向时，转子都会继续追随定子，因此电机将持续运转。

但是，这两种直流电机定子绕组的几何形状不同，因此它们会产生不同的反电动势 (BEMF) 反应。

无刷直流电机 (BLDC) 反电动势反应是梯形的。这意味着控制这其中每一种电机所需要的控制波形都有所不同,因为应根据电机类型进行控制。图 2-1 将两种类型电机的波形进行了对比。

相比之下,在永磁同步电机中,线圈以正弦方式缠绕,从而产生正弦反电动势信号(类似于间隔 120 度的三个正弦波)。为最大限度地提高性能,这些电机通常使用正弦波换向。

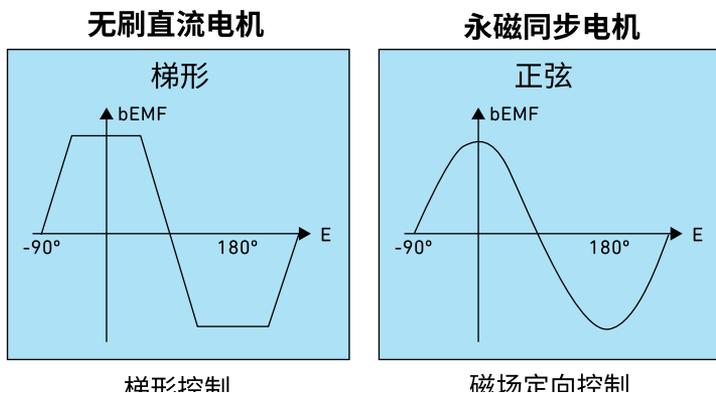


图 2-1: 无刷直流电机和永磁同步电机的反电动势。

反电动势

无刷直流电机 / 永磁同步电机运行时通过其绕组产生反电动势。如果将载流导体放入磁场中或者该导体在磁场中做切割磁感线运动,导体中就会感应或产生电动势。如果提供了闭合路径,电流就会从中流过。在任何电机中,因为电机运动而产生的电动势被称为反电动势,因为电机中产生的电动势与发电机中产生的电动势相反。

磁场定向控制

若要实现正弦波形以便控制永磁同步电机,需要使用磁场定向控制 (FOC) 算法。磁场定向控制或矢量控制是一种利用两个正交分量对三相电机中的定子进行变频控制的技术。一个正交分量定义定子产生的磁通量,而另一个则对应于电机速度定义的扭矩,由转子位置决定。



磁场定向控制算法通常用于最大限度地提高以正弦模式运行的三相永磁同步电机的效率。在正弦换向中，三根电线均永久性地由正弦电流供电，正弦电流各相相隔 120 度。这将在电机笼内产生一个旋转的南北磁场。磁场定向控制算法需要电机位置和速度来进行计算。

用于永磁同步电机的正弦控制器更加复杂，因此比无刷直流电机梯形形控制器更加昂贵。成本增加确实带来了一些优势，例如噪音更低、电流波形中的谐波更少。但是，无刷直流电机的主要优势是更易于控制。选择哪种电机最合适取决于具体用途。



任一类型的换向方案均可与任一类型的电机配合使用。但是，使用六步梯形算法，无刷直流电机的性能可能更好，而永磁同步电机使用正弦波换向算法时性能更高。

TIP

选择带传感器的电机还是无传感器电机

本节我们将仔细研究无刷直流电机和永磁同步电机中两种非常重要的类型：带传感器的电机和无传感器电机。

带传感器的电机

带传感器的无刷直流电机 / 永磁同步电机用于需要电机在负载下启动的应用中。它们使用嵌入电机定子的霍尔传感器。该传感器本质上是一个开关，其数字输出等同于感测到的磁场极性（即 HI 代表北，LO 代表南）。

电机各相都需要一个单独的霍尔传感器。单相无刷直流电机 / 永磁同步电机只需要一个霍尔传感器；三相无刷直流电机 / 永磁同步电机需要三个霍尔传感器。利用这些传感器，控制器可获得转子位置，确定哪个扇区（例如磁场极性）需要激励，并确定何时应用激励方案。



最近，利用越来越多的位置点来提供转子绝对位置的霍尔传感器已上市。

无传感器电机

基于硬件的感测会增加传感器、布线以及制造的成本，还会降低电机制造良率。由于这些原因，很多应用中越来越普遍使用无传感器电机。



无传感器电机要求算法将电机作为传感器来运行。它们依靠反电动势信息。在控制无刷直流电机的传统六步梯形换向算法中，任何指定时间只有两相通电，如图 2-2 所示。另一相处于浮动状态，为电机的反电动势提供了一个窗口。通过对此反电动势采样，可推断出转子位置，从而无需使用基于硬件的传感器。

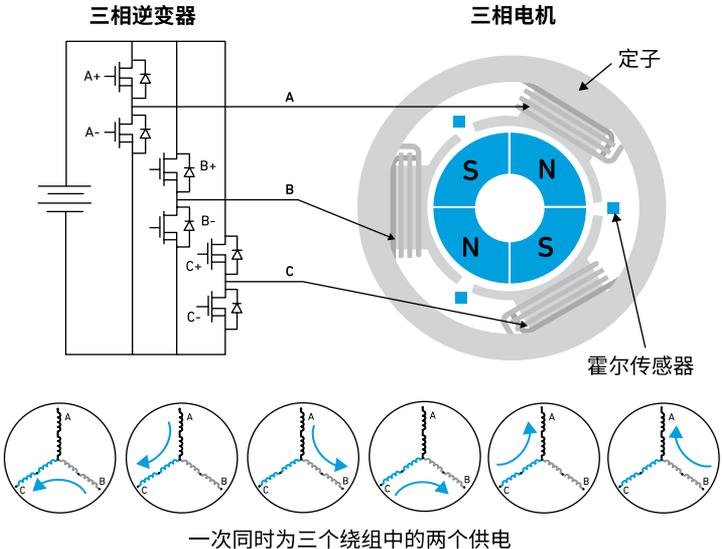


图 2-2：带电机旋转的三相无刷直流电机。

不管电机的拓扑结构如何，控制这些机器均需要了解转子的位置，这样才能使电机进行有效换向。如果转子的旋转磁场是通过与定子的永磁体的相互作用产生的，系统的运动和效率都会受到影响。有些电机使用传感器和带传感器的算法来获得转子位置，而其他一些电机不带传感器，从数学模型（无传感器算法）得出转子位置。

无传感器算法的一个缺点在启动时出现，此时电机速度为 0。因为反电动势与电机速度成正比，当电机速度为零时，反电动势也为零。没有反电动势值，就无法推断转子位置。此问题可通过新型算法解决：将高频信号注入三相来推断转子位置。



TIP

选择带传感器还是不带传感器通常取决于成本。一般来说，根据性能、成本及其他因素来决定选择无刷直流电机还是永磁同步电机。

无传感器控制可降低成本，因为它无需额外的硬件，并使电机制造良率接近 100%。因此，在风扇、冰箱压缩机、空调以及许多园艺工具等低成本、变速电机应用中，无传感器电机控制很常见。但是，启动时需要高扭矩的应用（如电动自行车和很多电动工具）需要有传感器的电机。

永磁同步电机与磁场定向控制算法相结合通常可提供最高性能。但永磁同步电机的成本一般高于无刷直流电机（虽然差距正在缩小），控制也更为复杂。机器人技术和伺服应用可能会因永磁同步电机而受益。

探讨小型化电机控制器

当今许多集成电机控制和驱动设备都非常复杂。它们需要模拟电路，如从相电流中抽样的差分放大器，还需要将这些值转移到数字域的模数转换器（ADC）。除了这两个模块，它们还需要比较器来进行电流采样，保护系统免受过电流的影响。它们利用可编程数模转换器（DAC）作为基准，并采用其他模拟模块（如单端放大器）来采集相电压。

现在，无需使用分立组件来实现所有这些功能，而是可以将这些模块集成到单个设备中。这样做可确保为所有应用提供紧凑的解决方案。产品工程师不必再将许多独立的组件拼凑在一起，相反，他们可以使用具有灵活的软件可配置性的即插即用片上系统（SOC）。

如图 2-3 所示，微处理器内核具有模拟前端、电源驱动、电源管理、脉宽调制 (PWM) 发生器以及序列驱动数据采集功能。电源管理器还处理一些系统功能，其中包括内部基准生成、定时器、休眠模式管理以及电源和温度监控。

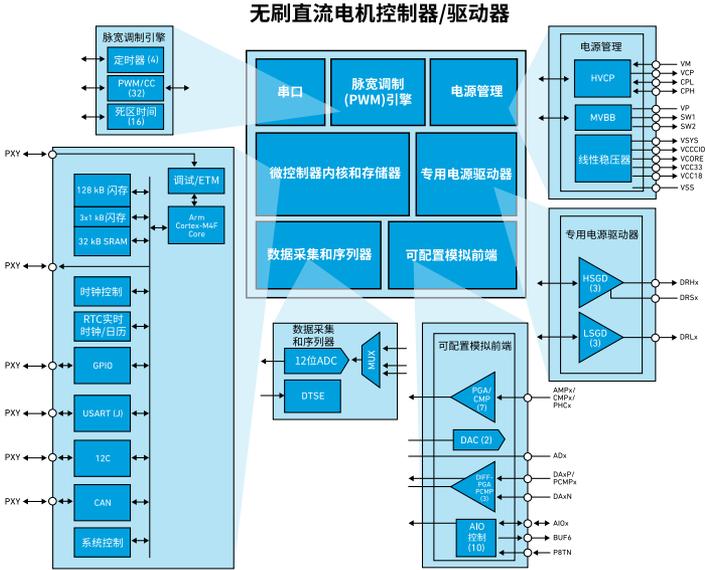


图 2-3 : 当今高度集成的无刷直流电机控制器 / 驱动器的基本功能模块。

- » 了解什么是电机控制算法
- » 了解控制器如何处理传感器信息
- » 脉宽调制简介
- » 探讨无刷直流电机 / 永磁同步电机典型应用

第3章

了解电机控制算法

本章中，您将了解电机控制算法及其工作原理，还将了解各领域的一些实际范例。

算法是一组为执行特定任务而设计的指令。计算机程序本质上是多组算法。

在无刷直流 (BLDC) 电机 / 永磁同步电机 (PMSM) 中，软件算法通过监测和控制电机操作来提高效率并降低运行成本。在带传感器的无刷直流电机 / 永磁同步电机中，主要算法的一些最重要的功能如下：

- » 电机初始化
- » 霍尔传感器转子位置检测
- » 检查开关信号是增加电流基准还是减少电流基准
- » 检查电机旋转方向

了解控制器如何处理传感器信息

无刷直流电机定子有三个霍尔传感器,各相彼此相隔 120 度(参见第 2 章)。当它们的数字输出数据合并在一起时,会产生一个代表转子位置的三位数字。



如图 3-1 所示,可用三位代码代表 1 到 6 之间的操作码。三相无刷直流电机有六种状态(从三相输出得出的六种可能的电流状态)。传感器利用八个操作码中的六个(1 到 6)生成三位数的数据输出。该信息很有用,因为控制器可确定何时发出了非法操作码(0 和 7),并根据合法操作码(1 到 6)执行动作。

阅读图 3-1 中的查找表的方法如下:

- » 当霍尔传感器 W、V、U 等于操作码 1-0-1、操作码 5 时,扇区 0 激励。
- » 当霍尔传感器 W、V、U 等于操作码 1-0-0、操作码 4 时,扇区 1 激励。

依此类推,可获得其他各种可能的状态。

各个霍尔传感器都位于转子上,因此每个转子扇区都会出现一个变化状态。如图 3-1 所示,该算法会获取霍尔传感器操作码并对其进行解码。一旦霍尔传感器操作码的值发生变化,控制器就必须更改激励方案以实现换向。微控制器利用操作码从查找表中提取激励信息。三相逆变器通过新扇区命令激励后,磁场移动至新位置,从而推动转子。电机运行时,此过程不断重复。

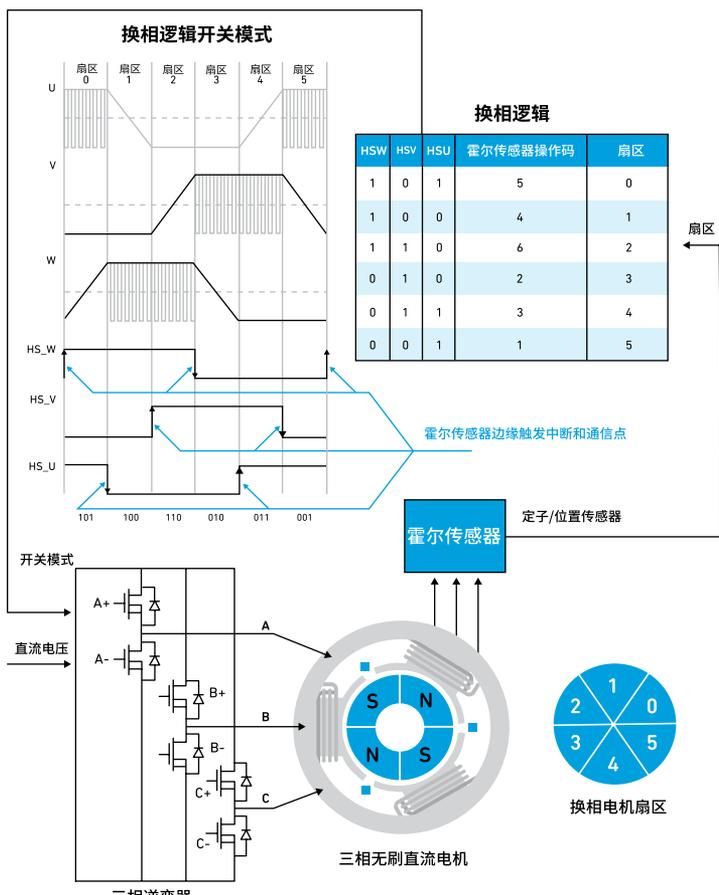


图 3-1：换向逻辑功能框图。

了解脉冲宽度调制

有些电机仅需要一个速度，因此它们只需要恒定直流电压进入逆变器，如图 3-1 所示。但是，如今许多产品，其中包括很多电动工具和园艺工具，都需要变速电机。这种电机利用脉冲宽度调制（PWM）来改变电机速度。脉宽调制可精准控制电机速度和扭矩，从而实现变速。



宽调制 (PWM) 是具有恒定频率的方波信号, 如图 3-2 所示。脉宽调制将逆变器直流电压转换为调制后的有效电压。例如, 利用占空比为 0% 到 100% 的脉宽调制控制信号, 可使用 12 伏电池向电机施加 0 伏到 12 伏的任何电压。算法利用这种控制方法来有效限制启动电流以及调节电机速度和扭矩。

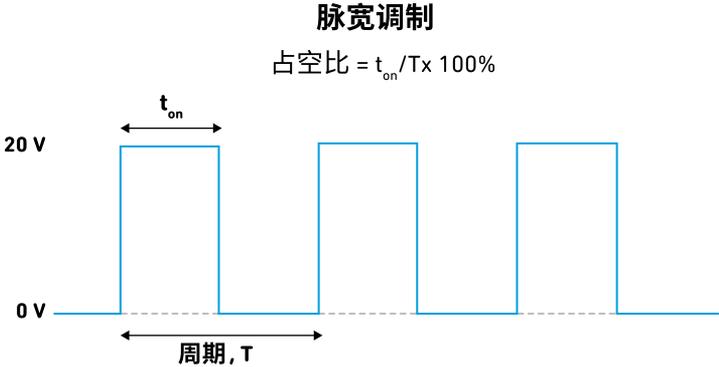


图 3-2 : 脉冲宽度调制。

脉宽调制开关频率是电源开发阶段必须牢记的重要设计因素。提高开关频率会增加开关损耗, 但可改善低电感电机中的电流稳定度。降低开关频率会增加电流纹波, 电流纹波将转化为扭矩纹波 (例如振动)。应用电压和电机电感将引导设计人员选择正确的脉宽调制开关频率。根据经验, 电压或电流越高, 所需要的开关频率就越低。

持续改变脉宽调制信号会改变占空比, 如图 3-3 所示。它给出了一系列电压值, 而这反过来又会改变电机速度。您可利用这些脉宽调制占空比的变化来改变进入电机绕组的电压。

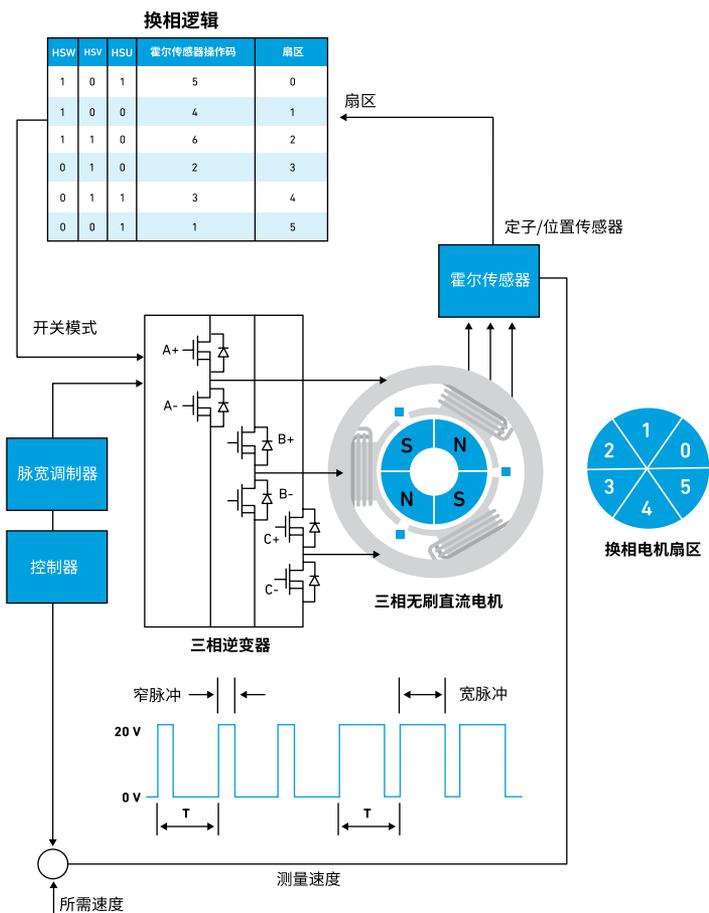


图 3-3：应用脉宽调制的换向逻辑功能框图。

识别无刷直流电机 / 永磁同步电机典型应用

本节中，我们将探讨无刷直流电机 / 永磁同步电机在电动工具、园艺工具、白色家电和车辆等关键产品类型中的某些常见用途。

电动工具

电池（尤其是经久耐用的高能量密度电池）供电的无绳电动工具让用户能够灵活自由地使用。这种便捷和自由促使该领域迅速转向无刷直流电机 / 永磁同步电机。

传统上，电动工具由通用交流 / 直流有刷电机、开关或电位计以及将其与电源插座连接的电线构成。在将近一个世纪的时间里，人们利用这种方法设计出了种类繁多的电动工具。但是，在无绳电动工具中，必须考虑操作时间，因为操作时间受到电池性能的限制。

钻孔机、圆锯及其他类似工具需要在负载下启动，因此它们使用传感器和基于传感器的算法，其中大多数使用无刷直流电机和六步梯形换向方案。但是，其他很多电动工具（如磨床和摆锯）以及诸如吹叶机、割草机和绿篱机等绝大多数园艺工具也采用无传感器算法。设计师一直在寻求提高电动工具性能的方法，因此，永磁同步电机和磁场定向控制（FOC）开始出现在成本更高、性能更高的电动工具中。

园艺工具

园艺工具包括割草机、打边机、链锯、吹叶机以及切边机。它们可能看起来属于电动工具，但传统的电动工具（如钻孔机和锯）是电力驱动，而园艺工具大多由燃气内燃机提供动力，我们的工具房里偶尔也有带电线的园艺工具。

可靠的电池供电的园艺工具普及较慢。它们大约在二三十年前就已出现，但因功能薄弱而并不引人注目。但是，随着无刷直流电机 / 永磁同步电机和高压电池领域的技术进步，它们的命运已发生逆转！

如今的园艺工具采用 40 伏到 80 伏电池技术，其性能与燃气动力同类产品的性能一样出色。这么高的电压甚至足以使无刷直流电机 / 永磁同步电机为拖拉机式割草机提供动力！

白色家电

白色家电行业为我们提供了很多家用电器，如冰箱、洗衣机和烘干机、真空吸尘器以及吊扇。传统上，所有这些电器都使用不需要专用驱动器 / 控制器的交流感应电机。但是，随着节电措施的出现以及用户对某些家电变速的需求，交流感应电机已逐步被无刷直流电机 / 永磁同步电机取代。

在冰箱中，压缩机、风机和水泵均已改用无刷直流电机 / 永磁同步电机。这些电器已纳入绿色能源计划中，所以节能至关重要。与此同时，在家庭环境中尽可能地减少振动和噪音，也是大家非常期待的。凭借采用磁场定向控制（FOC）换向的低纹波永磁同步电机，现在的冰箱不仅更节能、更可靠，而且还更加安静，在室内使用也不再令人厌烦。吊扇、抽油烟机和真空吸尘器也利用了这些先进技术。

汽车行业

您所拥有的机器中，电机数量最多的一台机器最可能是您的运输机器——汽车！电动座椅、电动窗、电动后视镜、门锁、雨刮、水泵、油泵、风扇、鼓风机等等。您的汽车的各个位置可能装配有二十几个到多达 50 个电机，它们都需要被驱动和控制。

传统上，汽车中的所有电机都是简单的有刷直流电机。但是，人们对能源使用和气候变化的担忧预示着一个注重节能的新时代的到来。以热量形式耗散的能源必须通过燃烧更多的化石燃料产生，因此使用更高效的电机可减少碳足迹。即使每个电机仅能节省相对较少的能源，但如果将其乘以每辆汽车中电机的数量以及全球大约有 14 亿辆汽车这一实际数字，便可明显看出，把有刷直流电机换成无刷直流电机 / 永磁同步电机意义重大。

- » 回顾无刷直流电机和永磁同步电机基础知识
- » 了解直流电机的相位和速度

第4章

电机控制领域的十大重要事实和发展趋势

以

下是电机控制领域的十大重要事实和发展趋势：

- » 由于技术进步，集成正在占领电机控制市场。各种尺寸和功率密度的无刷直流电机 (BLDC) 和永磁同步电机 (PMSM) 正迅速取代有刷交流/直流和交流感应等电机拓扑结构。
- » 无刷直流电机/永磁同步电机在机械上具有相同的结构，但定子绕组除外。它们的定子绕组采用的是不同的几何结构。定子始终与电机磁体相对。这些电机低速时可提供高扭矩，因此非常适合伺服电机应用。
- » 无刷直流电机和永磁同步电机无需使用电刷和换向器来驱动电机，因此比有刷电机更加高效可靠。
- » 无刷直流电机和永磁同步电机利用软件控制算法代替电刷和机械换向器来驱使电机运行。
- » 无刷直流电机和永磁同步电机的机械结构很简单。电机的非旋转定子上有一个电磁绕组。转子采用永磁体制成。定子可以在

内部或外部，并且总是处于磁体的对面。但定子始终是固定不动的部分，而转子始终是移动（旋转）的部分。

- » **无刷直流电机可以有 1、2、3、4 或 5 相。**它们的名称和驱动算法可能不同，但本质上都是无刷的。
- » **有些无刷直流电机带有传感器，可帮助获得转子位置。**软件控制算法利用这些传感器（霍尔传感器或编码器）来辅助电机换向或电机转动。当应用需要在高负载下启动时，需要这些带有传感器的无刷直流电机。
- » **如果无刷直流电机没有用于获取转子位置的传感器，则使用数学模型。**这些数学模型代表无传感器算法。在无传感器算法中，电机就是传感器。
- » **与有刷电机相比，无刷直流电机和永磁同步电机具有一些重要的系统优势。**它们能够利用电子换向方案驱动电机，从而使能源效率提高 20% 到 30%。
- » **如今很多产品需要可变化的电机速度。**这些电机需要脉宽调制 (PWM) 来改变电机速度。脉宽调制提供对电机速度和扭矩的精确控制，可实现变速。

高集成电源应用控制器 (PAC™)

优化家用电器的空间与效率

优化电动工具和园林工具的应用

qorvo®

WILEY END USER LICENSE AGREEMENT

Go to www.wiley.com/go/eula to access Wiley's ebook EULA.