

用于编码器的低功耗多圈计数方法设计

邓世韬

(深圳市众为创造科技有限公司, 广东 深圳 518100)

【摘要】本文全面探讨了编码器低功耗、多圈计数方法的开发, 解决了断电时数据丢失、能耗高、难以跟踪高速旋转等关键难题。深入研究了中断唤醒机制、延长使用寿命的电池供电解决方案、基于磁环的计数系统等创新技术, 以及具有成本效益的生产和简易安装策略。包括外部电源检测模块、优化的低功耗模式和增强的高速旋转检测方法在内的解决方案标志着向更节能、更可靠、适应性更强的编码器技术的模式转变。这些进步有望通过提供可持续、精确和反应灵敏的运动控制解决方案, 对工业自动化产生重大影响, 并为未来的编码器技术及其在各行各业的应用树立新的标准。

【关键词】编码器; 低功耗; 多圈计数; 转速检测

一、背景

(一) 编码器技术概述

编码器是将运动转换为电信号的关键, 是自动化系统中实现精确位置和速度反馈的支柱。从根本上说, 编码器主要分为两种类型: 绝对式和增量式。绝对式编码器为每个角度位置提供唯一的编码, 无需参考点即可进行精确的位置识别。相反, 增量式编码器产生的信号代表位置的相对变化, 需要外部参考点来确定准确位置。在编码器技术的发展过程中, 旨在提高精度、耐用性和对不同环境适应性的技术取得了长足的进步。从依靠光穿过圆盘上的图案开口来生成位置信号的光学编码器, 到检测旋转磁铁引起的磁场变化的磁性编码器, 各种技术满足了广泛的工业应用需求。最近, 电容式编码器和电感式编码器也得到了发展, 提供了不易受灰尘和湿气等环境污染影响的解决方案。

(二) 多圈编码器在工业中的重要性

多圈编码器是编码器系列中的一个重要变体, 它通过精确跟踪编码器轴的整圈旋转数来扩展标准编码器的功能。在运动超过 360 度的应用中, 这一功能至关重要, 因为需要记录多个旋转才能准确确定绝对位置。从机器人和航空航天到重型机械和可再生能源系统, 各种行业都依靠多圈编码器实现精确控制和反馈。多圈编码器在工业环境中的重要性怎么强调都不为过。在可靠性和准确性要求极高的系统中, 多圈编码器可实现复杂的运动控制、精确定位和反馈。例如, 在机器人技术中, 多圈编码器有助于在长时间运动中精确跟踪肢体位置, 这对自动化任务的顺利运行至关重要。同样, 在风力涡轮机中, 多圈编码器对于根据不断变化的风力条件调整叶片角度、

优化效率和发电至关重要。将多圈编码器集成到工业应用中对于推进自动化和提高运行效率至关重要。多圈编码器减少了手动校准的需要, 最大限度地降低了出错的风险, 并为开发更复杂、更可靠的机械提供了支持。随着各行各业继续向更高的自动化和更高的精度要求迈进, 多圈编码器的作用变得越来越重要, 这也凸显了不断创新和改进编码器技术的必要性^[1]。

二、问题陈述和目标

(一) 断电时的数据丢失

在编码器技术领域, 一个普遍存在的问题是断电时位置数据的丢失。传统的编码器系统, 特别是那些依赖外部电源的系统, 面临着在电源中断时保持位置数据完整性的挑战。在电力波动频繁的工业环境中, 这种脆弱性尤为明显, 可能导致数据丢失和运行停机。传统的解决方案是将位置数据存储在易失性存储器中, 但事实证明这种方法是不够的, 因为它无法在没有持续供电的情况下保留信息。这种限制要求在恢复供电后必须频繁重新校准, 从而造成延误并影响工业流程的效率。

(二) 传统传感器功耗高

包括许多编码器设计在内的传统传感器通常功耗较高。这不仅增加了运行成本, 还限制了其在远程或电池供电环境中的适用性。在传统编码器系统中, 需要采用连续运行或定期唤醒机制来监控位置变化, 这必然会导致大量能耗。这种设计缺陷在优先考虑能效或需要长期自主运行而无需频繁维护的行业中尤其成问题。高能耗的影响是多方面的, 既包括能源需求增加对环境的影响, 也包括在能源受限环境中部署传感器的实际限制。对于电池操作或遥感应用来说, 需要频繁更换电池或充电会大大降低系统的效率和

可靠性。因此，迫切需要既能保持高性能又能最大限度地降低功耗的编码器技术，从而延长运行寿命并减少对环境的影响。

（三）开发低功耗多圈计数法

要解决功耗低这一关键问题，就必须开发一种低功耗多圈计数方法。这种方法将大幅降低能耗，从而提高这些系统的可持续性和多功能性，从而彻底改变编码器的应用。目标是设计出一种计数机制，不仅能准确跟踪多圈旋转，而且能将能耗降至最低。这需要对编码器系统内的传统作用机制进行重新思考，从持续监控转向更加智能的需求驱动型操作。这种低功耗计数方法的开发基于编码器在更广泛应用中有效运行的需求，包括那些电力资源有限或运行效率至关重要的应用。这一领域的创新可使编码器能够在远程或便携式应用中长期部署，从而为以前受限于功耗问题的自动化和监控领域开辟新的可能性。此类开发的成功取决于对电源管理技术的深入理解，以及对高性能组件和算法的集成^[2]。

三、设计方案

（一）中断唤醒机制

中断唤醒机制的实施标志着编码器系统在降低功耗方面取得了重大进展。这种方法有别于传统的连续或定期监控方法，而是引入了一种更加智能的运行模式，即在特定活动或运动触发唤醒之前，设备一直处于低功耗状态。这种机制依赖于通过最小化的传感器输入来检测运动，只有在必要时才会激活编码器的处理能力。这种策略大大降低了平均功耗，因为编码器不会耗费能量持续监测位置变化，而是进入一种能耗显著降低的准休眠状态。中断唤醒机制在编码器不是持续运动而是零星突发运动的应用中尤为有利。在检测到运动之前，编码器一直处于低功耗状态，从而在不影响位置数据的准确性和及时性的情况下节约了能源。这种方法的有效性取决于唤醒触发器的灵敏度和可靠性，必须对其进行微调，以便在节能和及时响应之间取得平衡。要成功实施这一机制，需要复杂的电路设计和软件算法，能够区分真正的运动信号和噪声，确保编码器按要求准确有效地唤醒^[3]。

（二）使用电池供电的长寿命解决方案

采用使用寿命更长的电池供电解决方案对于提高编码器系统的运行寿命和可靠性至关重要，尤其是在不可能频繁更换电池的远程或移动应用中。这一设计方案需要使用高效电池，并结合电源优化策略（如前面介绍的中断唤醒机制），以最大限度地降低能耗，延长电池寿命。我们的目标是开发出可以长期运行（可能是十年以上）而无需维护的编码器系统，从而

降低总体拥有成本，为用户提供更多便利。这种方法的关键在于选择电池类型和配置，以便在能量密度、使用寿命和环境影响之间取得最佳平衡。电池技术（包括工业锂离子电池和固态电池）的进步为实现这些目标提供了前景广阔的途径。此外，将环境能源转换为电能能量收集技术可以补充电池的能量，从而有可能实现无需外部充电的永久运行。这种集成的电池供电解决方案强调了向更可持续和自主的编码器系统的转变，能够满足现代工业和商业应用的需求。

（三）磁环计数装置

基于磁环的计数机制代表了编码器设计的突破性转变，它利用磁现象准确高效地跟踪旋转。与传统的光学或机械计数方法不同，这种方法使用连接到旋转轴上的磁环，并在磁环旋转时战略性地放置传感器以检测磁场变化。这种方法具有多种优势，包括不受灰尘、湿气和其他环境污染物的影响，而这些污染物可能会损害光学编码器的性能。此外，由于磁性计数机制依靠的是无源磁场，而不是有源光源或机械触点，因此所需的电能更少。在磁环计数的磁传感器技术应用中，市场上最流行的 GMR（巨磁阻效应 Giant Magnetoresistance Effect）和 AMR（各向异性磁阻效应 Anisotropic Magnetoresistance Effect）因为生产效率高，率先成为市场主流的磁传感技术。但近年来 TMR（隧道磁阻效应 Tunnel Magnetoresistance Effect）已经进一步降低成本，并且开始广泛应用。它的磁电阻效应大、磁场灵敏度高是独特优势，该原理决定了它具有超低功耗的特点，在应用时可降低机械结构上的要求。这种设计的优雅之处在于其简单性和坚固性，可实现可靠的多圈计数，而不会像传统方法那样复杂和脆弱。单个磁环的使用还简化了制造过程，降低了成本，简化了安装要求。采用这种机制需要仔细考虑磁场的特性和传感器的位置，以确保在各种工作条件下都能进行精确可靠的计数。因此，该编码系统用途广泛、效率高，适用于从重型机械到精密仪器等各种工业应用^[4]。

（四）经济高效的生产和简便的安装

低成本生产和简易安装是新型编码器系统设计的关键目标。通过简化编码器的结构，特别是通过采用基于磁环的计数机制，生产过程变得更加简单，从而降低了制造成本。这种简便性还延伸到安装过程中，编码器的设计最大限度地减少了对专业工具或高技能人员的需求。这些特性对于各行各业的广泛应用至关重要，因为在这些行业中，采用先进技术的成本和复杂性往往令人望而却步。此外，注重生产的成本效益并不会影响编码器的质量或功能。通过创新设计

和材料的战略性使用，编码器保持了高性能和耐用性标准。这种方法确保了编码器能够应用于更广泛的领域，从高端工业自动化系统到更注重预算的项目。最终，对经济性和安装简便性的强调，加上在电源效率和可靠性方面的进步，使该编码器技术成为运动控制和测量领域的变革性解决方案。

四、挑战和解决方案

（一）挑战

1. 处理高速旋转

编码器设计的一大挑战是准确处理高速旋转。在高速旋转时，编码器必须以更快的速度处理信号，以确保精确的位置跟踪。这一要求带来了挑战，尤其是对于旨在最大限度降低能耗的功率优化系统而言。高速下产生的快速连续信号会导致功耗增加和潜在的数据处理瓶颈，从而影响编码器的效率和精度。此外，高速旋转带来的物理应力要求坚固的机械设计和信号完整性，从而使编码器的开发更加复杂。

2. 编码器转速检测的局限性

编码器转速检测的固有局限性来自于低功耗状态和激活状态之间的转换延迟。当编码器依赖于低功耗模式以节约能源时，唤醒并准确捕捉转速（尤其是在快速变化的环境中）就变得非常具有挑战性。唤醒和处理信号所需的时间会导致漏步或定位不准确，这在要求在大速度范围内实现高精度的应用中尤为突出。在为动态系统设计编码器时，这种限制是一个关键问题，因为动态系统的操作灵活性和响应速度至关重要。

（二）解决方案和改进

1. 外部电源检测和开关模块

针对上述挑战的一种新颖解决方案是实施外部电源检测和开关模块。该模块使编码器能够根据外部电源的可用性在电源和运行模式之间进行智能切换。当存在外部电源时，编码器可以在高性能模式下运行，将更多资源用于处理高速旋转，而不受节电的限制。相反，在没有外部电源的情况下，系统可以恢复到低功耗模式，在保持核心功能的同时优化能源使用。这种双模式运行可灵活应对各种应用需求，在能效和性能需求之间取得平衡。

2. 解决高速旋转检测问题

要应对高速旋转检测的挑战，就必须整合复杂的信号处理技术和硬件优化。通过采用先进的滤波算法和高速数据处理装置，编码器即使在极高的速度下也能准确捕捉和分析旋转数据。为在如此苛刻的条件下高效运行而设计的传感器和电路的开发对这种能力进行了补充。此外，利用预测分析和自适应阈值可以

预先调整编码器的灵敏度，使其能够应对转速的突然增加。这些技术进步使编码器能够在广泛的运行速度范围内提供精确、可靠的性能，有效克服了编码器技术中最重要的障碍之一^[5]。

五、结论

本文所探讨的编码器低功耗多圈计数方法的开发和实施代表了编码器技术的重大飞跃，解决了关键挑战，并为不同工业环境下的效率、可靠性和适用性设定了新基准。中断唤醒机制、使用寿命更长的电池供电解决方案、低功耗的磁场检测技术，基于磁环的计数机制以及经济高效的生产工艺等创新解决方案的推出，凸显了自动化系统向可持续发展和卓越运营迈进的战略支点。这些先进技术不仅缓解了断电时数据丢失和高功耗等传统问题，还提升了编码器的性能，以满足高速旋转和动态运行环境的要求。通过集成外部电源检测和利用低功耗模式优化，所提出的设计可确保编码器在保持精度和响应速度的同时不降低能效。

展望未来，编码器技术为工业应用中的自动化和精度开辟了新天地。在提高编码器处理高速旋转和确保精确位置跟踪的能力的同时强调降低功耗，为更可持续、可靠和多功能的自动化系统铺平了道路。随着各行各业继续朝着更高的自动化和更智能的能源管理方向发展，本文介绍的创新技术无疑将在塑造运动控制和测量的未来方面发挥关键作用。这些先进的编码器解决方案从构思到实施的过程标志着在克服长期挑战方面迈出了关键一步，有望在未来将精度和效率完美地结合在一起，为技术进步和环境管理服务。

参考文献：

- [1] 陈洪生, 王寅, 邱鑫, 等. 磁编码器研究现状 & 展望 [J]. 微特电机, 2023, 51(11): 71-78.
- [2] 张萍萍. RS 编码芯片的 ASIC 低功耗设计 [D]. 中北大学, 2023.
- [3] 刘兵. 一种被动唤醒式多圈编码器及工作方法: CN107941247A[P]. 2018-04-20.
- [4] 王忠杰, 徐文东. A kind of low-power consumption of electronic type encoder meter circle realize method: CN103940457B[P]. 2016-06-15.
- [5] 吕宁. 基于多项式旋转的雷达高速目标检测技术研究 [D]. 南京理工大学, 2020.

作者简介：

邓世韬（1989—），男，广东吴川人，本科，研究方向：机器人核心部件与控制系统研发设计。