

# 如何优化 楼宇和家居自动化设计以 提高能效



**Brian Dempsey**  
系统设计工程师  
德州仪器 (TI)

## 简介

开发楼宇自动化产品时，能效是其中非常重要的设计考量因素之一。使用单节纽扣电池供电时，有些新型无线智能传感器可以工作五年以上，有些传感器甚至能够持续 10 年或更长时间。在本白皮书中，我将讨论楼宇自动化在能效方面的各种进展。

我们首先了解一下纳瓦级集成电路 (IC) 如何增强功能和降低功耗，以及近期的各种进展如何实现低功耗和长工作寿命。纳瓦级器件的平均电流消耗可以纳安 (nA) (1 安培的十亿分之一) 为单位来测量。远程无线智能楼宇传感器中使用的标准 CR2032 纽扣电池在 10 年内可提供大约 2,100nA 的电流。

对于在过去两年间推向大众市场的纳瓦级组件，其所需电流比上一代产品的一半还要低。由于设计人员需要在设计时减小电池和电源的空间，他们得以构建出更小的产品。此外，使用传感器和智能器件改造现有住宅、商业和工业等区域时的便利性和安全性也有所提高。由于这些器件使用商品级电池可以工作数年之久，因此无需使用电线，也无需为更换电池编制例行维护产生费用。

随着物联网相关应用在楼宇自动化中的快速推广，人们开始关注利用嵌入式传感器提高安全性和效率的巨大潜力：这些传感器不仅能够检测超大型系统中的个别组件故障，还能通过毫米波雷达监控人类的健康和舒适程度。

### 楼宇自动化的能效：注意事项、重要性和未来趋势

在能效方面，设计工程师需要考虑很多因素，他们必须在功能、电池预期寿命和电路板各器件的平均电流消耗之间实现性能平衡，还要为设计建立准确的稳态消耗模型。为了尽可能多地减少功耗，很多工程师在设计中非常巧妙地实现了一些功能，从而提高了整体效率。

并非只有电池供电型器件需要考虑能效问题，几乎所有线路供电系统都要进行这方面的考量。例如，在暖通空调 (HVAC) 行业，美国能源部 (DOE) 为了最大程度降低效率额定值 (称为“季节能效比”)，制定了更加严格的法规。这些法规继而导致永久分相式电容器电机迅速被电子换向电机取代，后者现成为大多数制造商下一代 HVAC 设备的标配。图 1 对上述两种电机进行了比较。

DOE 认为，尽管消费者承担了上述更昂贵电机的初始成本，但电子换向电机实际上显著提高了能效，因此可快速获得技术回报 - 到 2030 年，将为美国人节省 90 亿美元以上的家庭用电费用。如需进行高效电子换向电机设计，建议先参阅[《具有 BOM 低成本、适用于 HVAC 风机的 TI 电子换向电机参考设计》](#)。

下文具体介绍了有关楼宇自动化时下流行的电池供电应用领域 - 楼宇安全，超低功耗产品设计和能效方面有许多体现这一趋势的示例。如下页图 2 中所示，从 2013 年到 2023 年，安防和视频监控市场预计增长约 5% (来源-Omdia, “工业半导体市场追踪报告”，2020 年\*)。这一增长将不可避免地促使相关方不断优化安防和视频监控设备的效率。

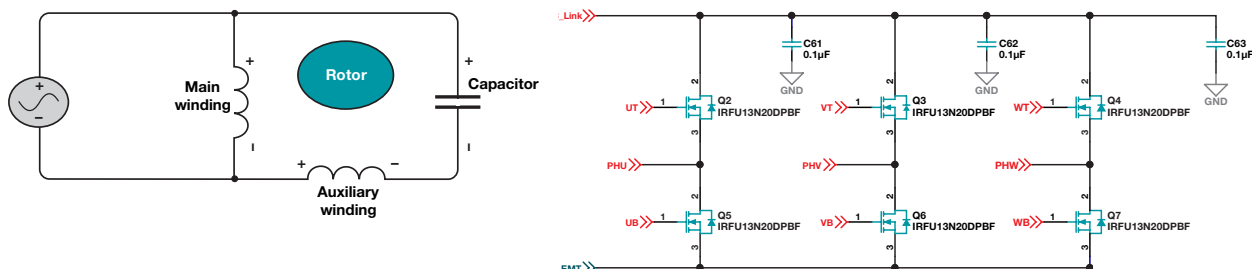


图 1. 永久分相式电容器电机与电子换向电机。

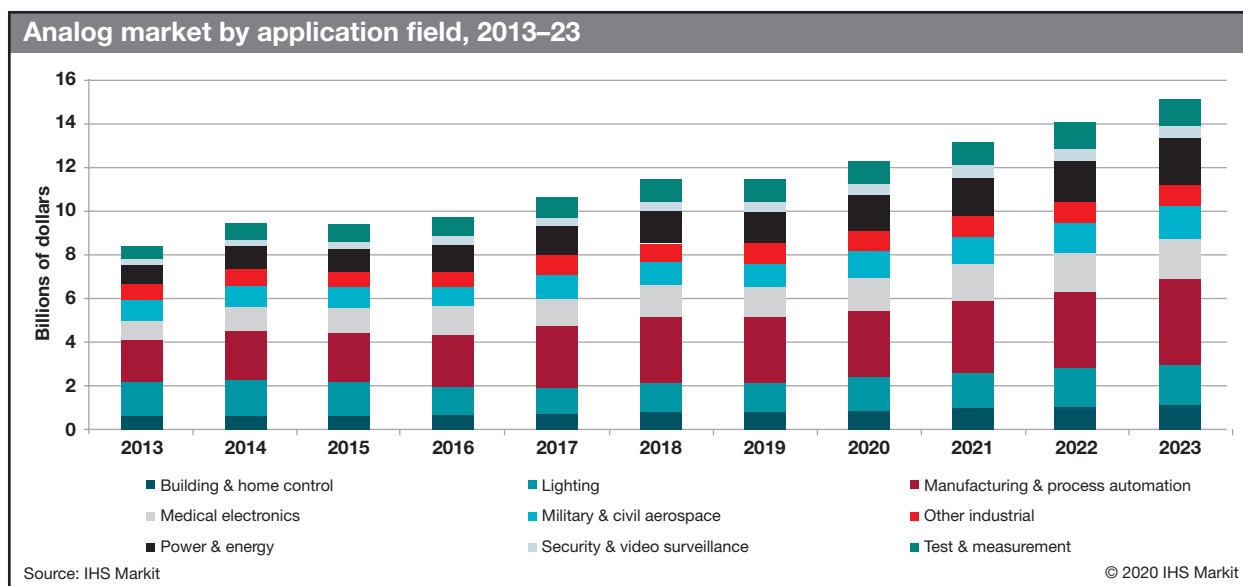


图 2. Omdia, “工业半导体市场追踪报告”。德州仪器 (TI) 不对此承担任何责任。第三方独立承担所有后果。

在更大的空间和较陈旧的楼宇中，利用电池供电传感器代替时断时续的线路供电可以显著提高成本效益。

人们为了提高能效，延长了电池寿命，因此楼宇或住宅中的远程传感器能够在比以往更长的时间内，传递实时环境数据和传感器状况，而且无需使用线路供电。

### 高效器件可解决工程设计难题

在楼宇安全应用中，霍尔效应传感器能够利用放在门窗上的低成本磁铁检测到磁场变化。与 DRV5055 角度评估模块一样，结合使用两个 DRV5055 传感器，即可实现二维位置检测。通过这种高级感应法，以及所用的校准方法和校准点数量，可实现  $<1^\circ$  的高精度，但电流消耗可能较高（典型值约为 12mA）。因此为了最大限度降低功耗，可以使用超低功耗霍尔效应开关，可一次性检测磁场移动。

另一款纳瓦级霍尔效应传感器 DRV5032，采用图 3 所示的设置来检测闭门器摆臂的旋转角度，它没有始终保持开启状态，只有在检测到移动时才消耗电能，因此性能优于功耗要求更严苛的 DRV5055 传感器。将霍尔效应开关与超低功耗负载开关配合使用时，可切断来自 DRV5055 传感器的电源，需要 DRV5055 传感器进行角度感应时除外。

下页图 4 显示了另一个低功耗高效应用，此应用使用 320nA 的 TLV8802 运算放大器作为无源红外传感器的信号链。TLV8802 非常适合采用电池供电器件的成本敏感型系统。

PIR 应用需要在 PIR 传感器的输出端提供经过放大和滤波的信号，以使进入信号链后续各级的信号振幅足够大，进而提供有用的信息。PIR 传感器检测远处物体的移动时，其输出端的典型信号电平为微伏级，因此需要放大。在噪声到达窗口比较器的输入端之前，需要使用滤波功能来限制系统的噪声带宽。滤波功能还会设置系统在检测移动时的最低和最高速度限值。

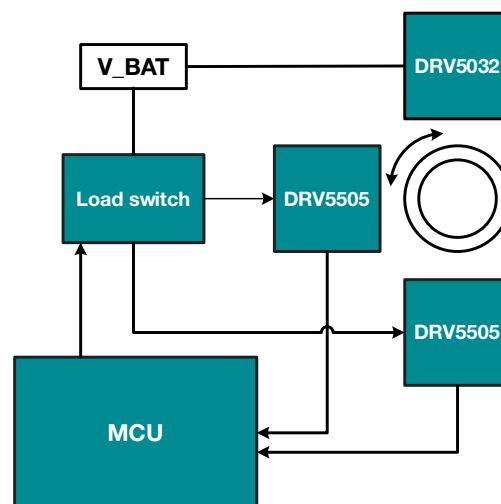


图 3. 高效门位置传感方框图。

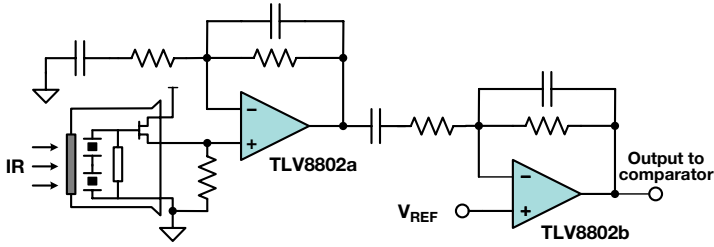


图 4. 低功耗 PIR 传感器模拟前端。

优化设计以提高能效的另一种方法是将纳瓦级计时器和负载开关结合使用，将功耗更高的器件甚至微控制器 (MCU) 断电，让它们进入更深的休眠状态。

图 5 是适用于住宅和商业环境的简单低功耗无线环境传感器原理图。

在图 5 中，将 TPL5111 用作 TPS22860 的一个定期唤醒或使能信号，当启用 TPS22860 之后，它将为 HDC2080 供电。此电路还有一个 DONE 引脚，此引脚连接到 SimpleLink™ MCU 的通用输入/输出引脚，可以在完成处理之后将 HDC2080 断电。当纳瓦级计时器关闭负载开关之后，会切断来自 HDC2080 的电源，从而大幅降低能耗。可以为 TPL5111 设置一个宽时间范围，这样可以在将轮询频率设置为高延迟值时降低更多功耗。

### 楼宇自动化的能量收集

当前很多超低功耗的创新都基于数十年来一直沿用的纽扣电池设计，但这些组件会消耗由光能（光伏）、移动或无线射频能量转化的电能。能量收集

可以为器件提供额外电能，从而大大提高能效。将超低功耗器件和高能效设计结合使用时，可以将远程楼宇传感器的使用寿命延长数年之久。超级电容器与低功耗器件中的纽扣电池结合使用或代替纽扣电池时，可存储收集到的能量，供器件使用。与一次性电池不同，超级电容器可快速充电。

### 能量收集应用：门把手

转动门把手即可轻松收集额外的能量，供智能锁使用。当与电机结合使用时，电机轴可与减速齿轮集成，将门把手的慢速转动转换为电机的更高转速旋转，使电机发电，随后电能经过整流和调节，可在超级电容器内存储。

图 6 显示了一种可能的设置，通过对门把手使用握力计和耦合器来测试这种能量收集方法。

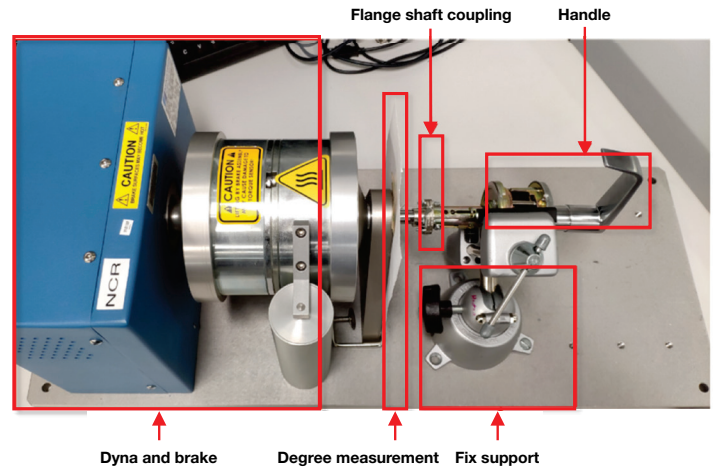


图 6. 门把手能量收集测试设置。

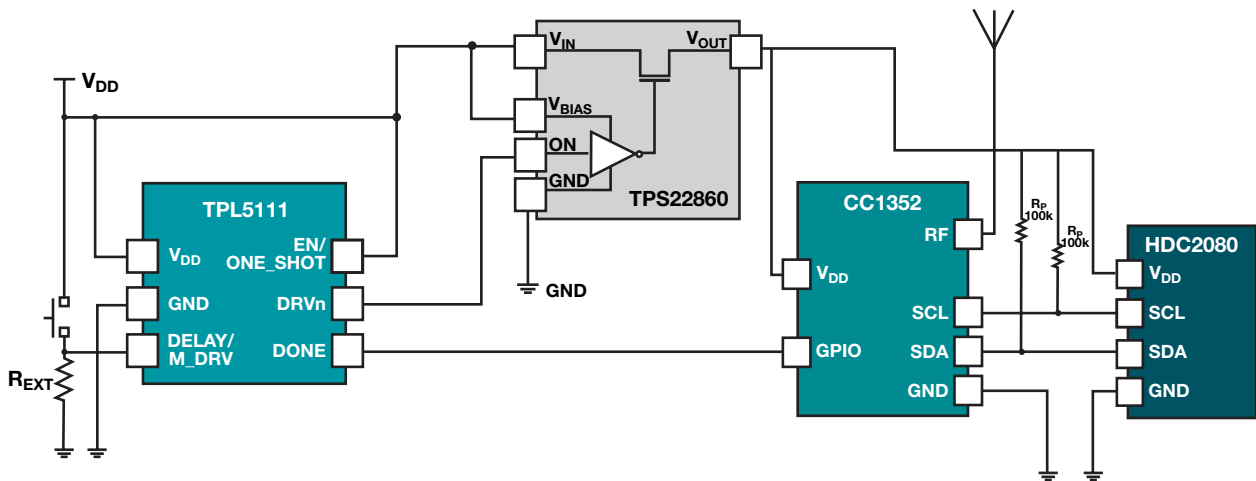


图 5. 无线环境传感器以及纳瓦级计时器和负载开关。

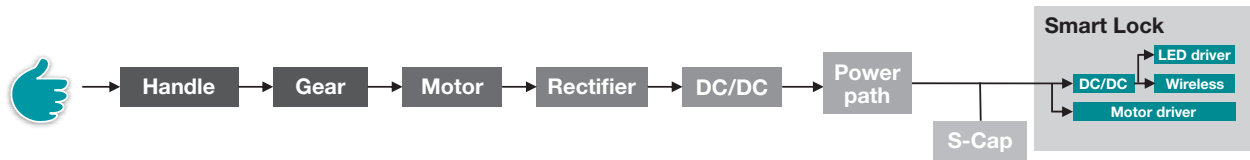


图 7. 门把手能量收集电源路径示例。

图 7 显示了用于将门把手的旋转运动转换为存储能量的完整电源路径。此电源路径具有两个负载开关，当超级电容器上的能量足够高、能够为系统供电或为电池充电提供能源时，可减少电池负载。

DRV8847 双路 H 桥电机驱动器可以从发电机收集能量。图 8 显示了这种电源架构的输出功率。

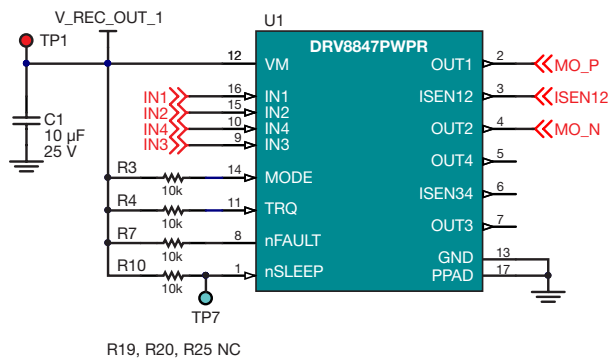


图 8. 使用 DRV8847 进行整流。

有很多其他的 TI 产品和设计满足能量收集的工业需求，例如[《无线开关电源能量收集参考设计》](#)，此设计利用一个零点频率能量收集开关通过按钮按压操作产生能量。另一个很好的示例是[《低于 1GHz 网络的能量收集环境光和环境传感器节点参考设计》](#)，此设计采用两块集成式太阳能电池，能够通过收集光伏发电量为系统提供额外电能。图 9 显示了此能量收集门把手的输出以及电机输出有源整流。

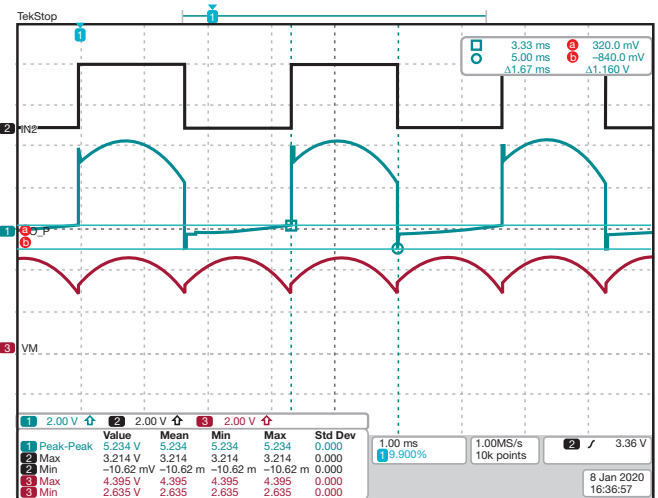


图 9. 能量收集门把手的输出电压。

## 高效设计的一个示例

智能家居设计的一个核心器件是智能锁，它能够通过无线方式接收授权用户发出的命令、监控走廊并在无人工干预的情况下操纵门锁。但如果电池寿命和维护经常干扰智能锁的正常运行，智能锁将无法获得主流标准锁/钥匙机制的认可。高效设计和能量收集有助于将电子智能锁的寿命延长数年之久。

不妨考虑这样一款高级智能锁，它可以确保门栓位于门框内，而且门完全关闭。当用户从内侧打开门锁旋转门栓时，会产生少许能量，这些能量在被收集后可在远程锁门时用于验证门栓位置。很明显，这只是提议的方法之一，还可以有很多其他方法。下页图 10 显示了这种特定方法的方框图。

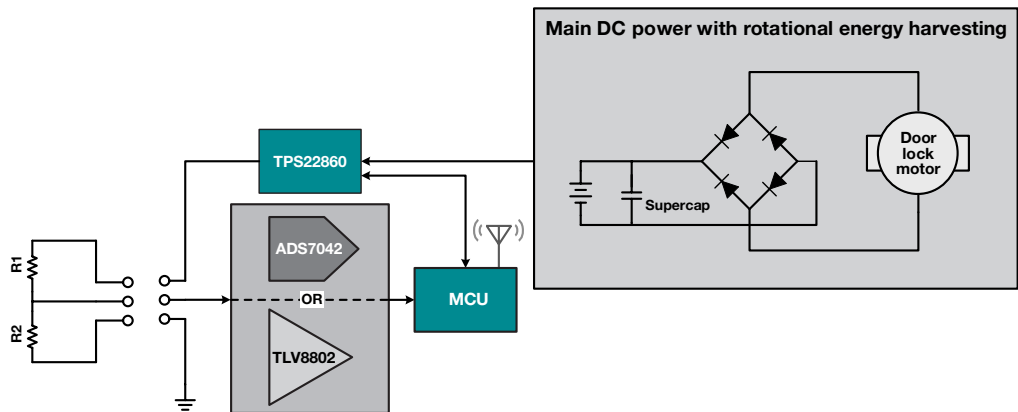


图 10. 进行能量收集的门把手位置传感器的示例方框图。

在门框一侧有一个简单的嵌件，可以安装在门栓板的背面。这些触点的内部有一个特殊电阻值，它会在触点之间提供压降。可以使用一个运算放大器来比较此电压，也可以利用一个超低功耗模数转换器来测量输出电压以进一步提高精度或防止篡改。

当 MCU 验证了输出值之后，它会通过负载开关切断为负载提供的电源，以最大限度降低功耗（在关断模式下  $\leq 2nA$ ）。由于外设的无源性质，这种设计非常高效，能够以非常低的附加成本为智能锁提供额外的防入侵和篡改安全功能。

图 11 更详细地概述了门栓位置感应应用。

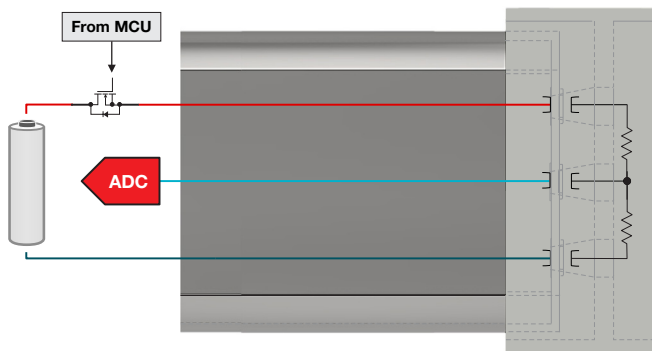


图 11. 门栓位置感应。

## 结论

新技术要想取代成熟但技术含量低的现有技术，通常需要具备明显的优势而且不会造成任何严重负担。超低功耗的实现不仅提高了便利性，还提供了几乎无需维护的先进技术，成功解决了这些难题。

凭借多年来可以信赖的可靠数据见解和计算能力，超低功耗技术正在重新定义人们对于智能器件的部署位置、部署方式和工作寿命的期望。当第一代电池最终被淘汰之后，这些创新的涟漪效应会持续很长时间。

重要声明：本文所提及德州仪器 (TI) 及其子公司的产品和服务均依照 TI 标准销售条款和条件进行销售。TI 建议用户在下订单前查阅全面的全新产品与服务信息。TI 对应用帮助、客户应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不承担任何责任。有关任何其他公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的批准、担保或认可。

平台标识和 SimpleLink 是德州仪器 (TI) 的商标。所有其它商标均是其各自所有者的财产。

## 重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性 & 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，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用 TI 产品进行设计使用。您将对以下行为独自承担全部责任：(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安全、安保或其他要求。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及 TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它 TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对 TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受 TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及 [ti.com.cn](http://www.ti.com.cn) 上或随附 TI 产品提供的其他可适用条款的约束。TI 提供所述资源并不扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122

Copyright © 2020 德州仪器半导体技术（上海）有限公司