

特刊：电源

毫微功率能量收集 IC 极大地延长电池寿命

凌力尔特公司 Jeff Gruetter

历史上，远程无线传感器一直依靠电池供电来测量数据并以无线方式发送数据。这种方式一直工作可靠，但传感器网络的可用寿命取决于电池的可用寿命。在有些应用中，无线传感器节点是人员可及的，因此电池可以相对容易地更换，尽管会有一些费用。这些电池设计为持续工作5~10年时间，在每个传感器节点中，都属于昂贵的组件。还有一些应用，难以给电池充电，而且给电池充电属于劳动密集型任务，费用高昂。例如，给核电站、炼油厂甚至地下设施中的无线传感器的电池充电，相关费用可能是非常巨大的。当然，较大的电池可以提供较长的寿命，但是较大的电池物理尺寸更大、成本更高，因此不是没有代价的。这样一来，问题就变成：“怎样让电池持续工作更长时间？”一个可能的答案是，找到一种可收集能源，当可收集能源可用时，用该能源给传感器节点供电，当没有可收集能源可用时，用主电池给传感器节点供电。

当然，能量收集绝不是一个新概念。第一座利用水和重力驱动涡轮发电机的水力发电厂建于1882年，提供了相对“绿色”和可持续的电力来源，这是

一种规模非常大的可收集能源。然而，由于这种能源极度依赖自然形成的地势，因此需要大型、昂贵的传输网络。由于传输损耗随距离加长而升高，所以极大地降低了可用功率。不过，在很多情况下，给无线传感器节点供电仅需几毫瓦功率，所以可以使用规模较小的解决方案。

面向这类应用的解决方案已从一个非常不同的角度重新引入了能量收集概念，为紧凑的、主要采用无线传送方式且在功率谱低端的应用创造了一个新的市场。这类应用需要的输出功率从几毫微瓦到数十毫瓦。尽管太阳能电池（光伏电池）、压电换能器等非传统电源已为大家所熟知，但是利用这类非传统电源供电一直富有挑战性。这类电源都需要某种类型的电源转换电路，以高效率地收集、管理并将这种可替换能源转换成更加方便使用的电能，给传感器、微控制器和无线换能器供电。无论电源电压高于所需电压、必须降压转换为可用电压或在某些情况下，需要先整流，然后再进行降压转换，都必须有特定的能量收集电路。历史上，这类电路是非常复杂的分立式电路，具有多达30个组件，而且还要努力提供足够高的效率以

适合实际使用。直到不久前，才推出了专门的能量收集电源IC，这类IC结合适当的换能器，可组成紧凑、简单且效率非常高的电源转换及管理解决方案。

这类超低功率应用包括多种无线系统，例如面向交通运输、基础设施、工业检测、楼宇自动化、资产跟踪等的无线系统。这类系统通常在大部分工作时间处于备用模式（休眠），仅需要几微瓦功率。系统唤醒时，传感器测量压力、温度或机械偏转等参数，然后以无线方式将这些数据传送到远程系统管理器。测量、处理和传输所用的全部时间通常仅为几毫秒，但是在这么简短的时间内却需要数十毫瓦功率。因为这些应用的占空比通常很小，所以必须收集的平均功率仍然可以相对较小。尽管电源可能只是一块电池，但是它最终仍需要替换。不过如果能量收集设计在大多数时间内可以使用环境能源，而当没有环境能源可用时，才使用电池，那么电池寿命就可以极大地延长。

毫微功率无线传感器应用

以面向楼宇自动化的无线传感器系统为例。占位传感器、恒温器、光感应开关等系统都可以摆脱通常所需的电源

或控制布线，而是结合使用通过能量收集而来的环境能源和电池给无线网络供电。除了不需要首先安装线缆，这种替换方法也不需有线系统通常所需的日常维护，所以还可以进一步节省费用。

类似地，采用能量收集技术的无线网络还可以将大楼内任何数量的传感器连接到一起，以当大楼内没人时，关闭非必要区域的电源，以此减少热量、通风和空调(HVAC)以及照明费用。

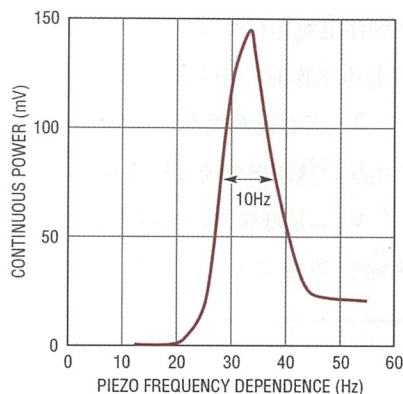


图1 所提供的功率随压电频率变化

能量收集案例分析

我们考虑一个基于能量收集的HVAC监视系统，例如一个工业园区的强制空气流动管道，该系统需要连续监视空气流动速度、温度和压力。每个无线传感器节点(WSN)都可能内置了温度、压力和空气流动传感器。测量和报告必须每隔5s进行一次。由于HVAC系统分布在相当长的距离上，而且经常深深地埋入楼宇基础设施中，所以敷设供电和信息传输线缆的费用非常高，且线缆需要时常维护，可能需要高昂的维修费用。定期更换电池会导致非常高的费用，因为取出每一块电池都属于劳动密

集型任务。我们需要的是一个可连续运行的电源系统，当环境能源可用时，使用收集的环境能量，当没有环境能量可收集使用时，用电池供电，以尽量减小使用电池。最受欢迎、最容易得到的环境能源之一是振动。小型压电换能器可以简便地将HVAC压缩机上的振动能量转换成小电流AC电信号(见图1)。这种收集能源需要整流和降压，以提供可用的低电压，为WSN供电。电池可用作备份电源，在暂时没有收集能源可用时使用。然而，由于电池仅在部分时间使用，所以总体电池寿命可以极大地延长。因此，能提供非常高的效率、超低静态电流以及能在能量收集能源和电池之间无缝转换的能量收集IC是一种理想解决方案。

延长电池寿命的IC

LTC3330是一款完整的能量收集稳压解决方案，当可收集能源可用时，提供高达50mA的连续输出电流，可延长电池寿命。当从收集能源向负载稳定供电时，该IC无须电池提供电源电流，当在无负载情况下由电池供电时，仅需750nA工作电流。LTC3330集成了一个高压能量收集电源和一个同步降压-升压型DC/DC转换器，该转换器由主电池供电，为WSN中常见的那些能量收集应用产生单一无中断输出。能量收集电源由一个适合AC或DC输入的全波桥式整流器和一个高效率降压型转换器组成，从压电(AC)、太阳(DC)或磁(AC)能源收集能量。主电池输入为降压-升压型转换器供电，当没有收集能量可用

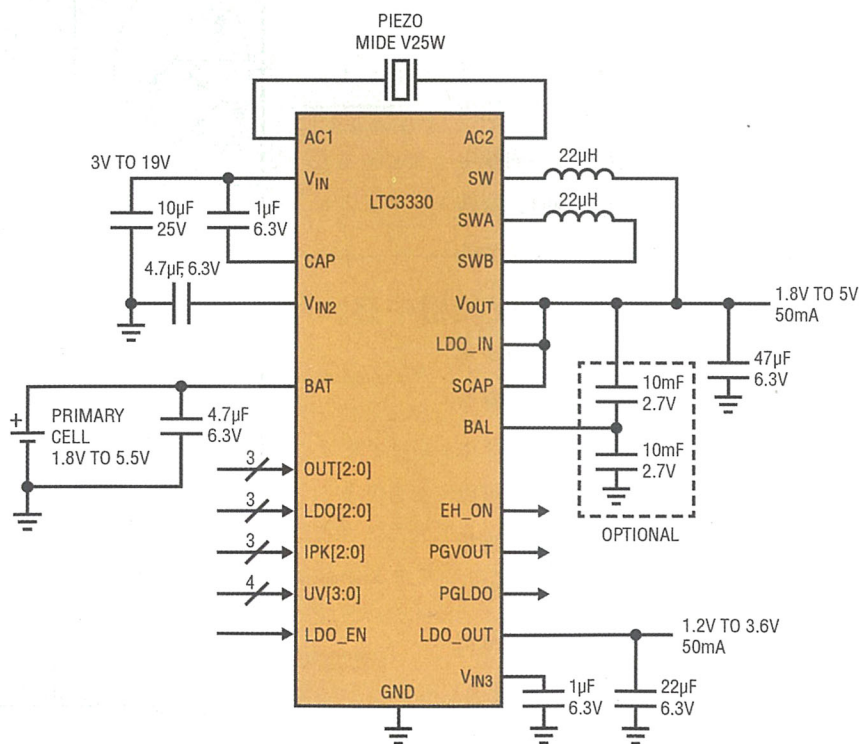


图2 LTC3330 压电能量收集/主电池原理图

时，该转换器在1.8~5.5V的输入电压范围内工作，以在无论输入高于、低于或等于输出时，都能调节输出。当没有收集能源可用时，LTC3330自动转换到电池。

图2所示电路显示了采用压电换能器AC输入的LTC3330。一般而言，应用或者使用AC1端的DC输入，而且有可能同时使用AC2端的第二个输入，或者使用跨AC1和AC2连接的单个AC输入。如果能量收集电源是AC电源，例如由压电换能器产生的电源，那么LTC3330就用集成的全波桥式整流器向输入电容器提供DC电压，而DC能量直接存储到输入电容器中。一旦输入电容器上的电压超过ULVO，LTC3330的输入优先级设定器就关断电池，并调节来自收集电源的输出。 V_{OUT} 从1.8~5V是引脚可编程的，该输出通常为RF收发器供电。此外，1.2~3.3V的LDO输出是低噪声的，一般作为微处理器内核电源使用。当使用能量收集电源时，这两个输出相结合，可提供高达125mA的输出电流，当电池启动时，可提供50mA电流。在能量收集模式时，如果有多余的输出功率，可以存储到超级电容器中，以备将来使用，这进一步延长了电池寿命。集成的超级电容器平衡器可以用来进一步优化能量存储。需要特别指出的是，在使用能量收集电源时，电池的静态电流为零，因此所有电池能量都能节省下来，以备将来使用。

图3更详细地显示了LTC3330集成的功能。集成的全波桥式整流器适合

压电或磁换能器等产生的AC输入，将AC信号整流成DC信号。显然，太阳能电池等产生的DC输入不需要整流。如果有多个换能器输入，那么，LTC3330就使用提供最高可用电压（功率）的那一个。输入电流通过输入电容器收集，当超过可编程ULVO门限时，优先级设定器就关断电池，由同步降压型转换器向输出提供所需功率，该功率通过 V_{OUT} 引脚或低噪声LDO输出提供给负载；任何多余的功率都存储在输出电容器和/或超级电容器中。在这种状态下，电池吸取的静态电流为零。输入保护分流电路为电压超过20V的情况提供额外的安全保护。如果没有能量收集输入电源可用，那么优先级

设定器就自动切换到同步降压-升压型转换器，以提供所需输出。在整个转换期间， V_{OUT} 和 V_{LDO} 都保持稳定，从而为传感器、无线发送器和微处理器提供了所需功率。降压-升压型转换器能提供1.8~5.5V的输入，适合多种锂离子电池。无论电池电压是高于、等于还是低于 V_{OUT} ，该降压-升压型转换器都以超过90%的效率提供恒定电压。与常规降压型设计相比，降压-升压型架构使电池运行时间延长30%以上。当用电池工作时，总的输出电流取决于 V_{IN}/V_{OUT} 之比和电池不能使用时的最终电压，这输出电流大约为50mA。

V_{OUT} 是低噪声LDO输出的输入，该输出范围为1.2V直至比 V_{OUT} 低

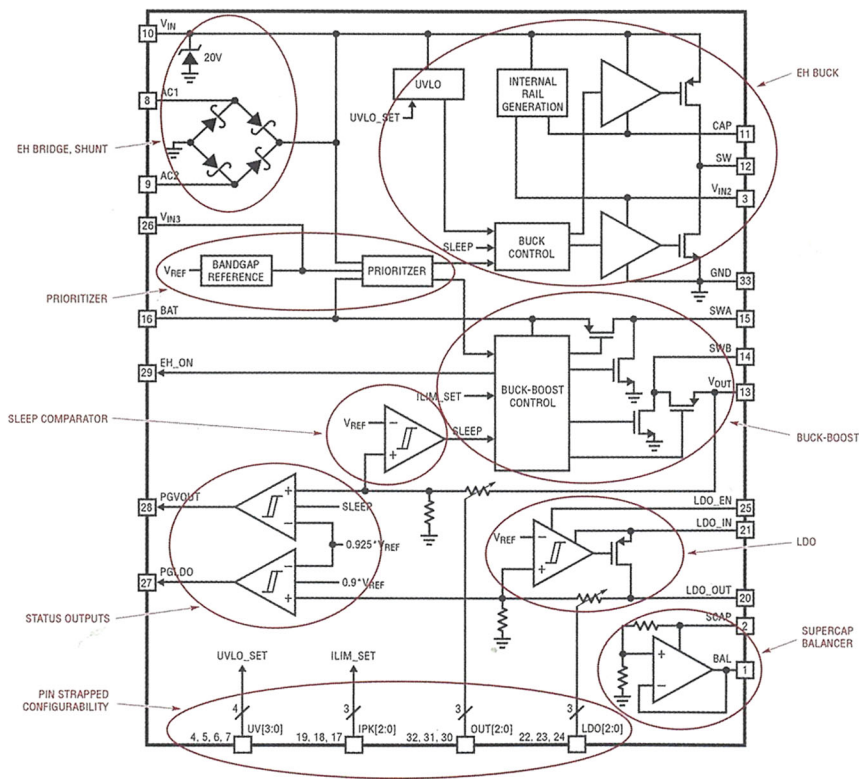


图3 LTC3330方框图

50mV，是引脚可编程的，非常适用于给多种微处理器/控制器内核供电。可选超级电容平衡器确保存储能量有最长寿命。 V_{OUT} 和 V_{LDO} 都有电源良好状态输出，以从总体上减轻系统工作负担。

电池寿命延长了多少

准确地说，电池寿命能够延长多少取决于环境能源的性质/可用性以及WSN需要的总功率。在前面所举的HVAC例子中，如果压缩机在所有时间都工作，整个系统由压电能量收集电源供电，而电池仅用作备用电源，在停电

或压缩机检修时使用，那么可以无限期地延长电池寿命。类似地，在火车应用中，传感器用来测量轮毂轴承温度、货物库存或温度；火车运行时，压电能量收集电源为系统供电，火车静止时，由电池供电。这也会显著延长电池寿命，这种特点是轨道车辆特别需要的。

可以看到的另一个例子是太阳能环境能源应用。通过将一摞非常小的太阳能电池用作能量收集电源，这类系统白天能够用太阳能电池工作，同时也在输出电容器和超级电容器中存储多余的电能，当没有太阳能电池输入可用时，系

统首先给输出电容器和超级电容器放电几小时，然后再转换到电池。视外部条件的不同而不同，这有可能至少将电池寿命延长2倍。

至于电池寿命能延长多少，答案是“视情况而定”。不过延长时间介于2倍至无限期之间，而且高度取决于系统设计和输入/输出功率占空比。显然，只有通过用能量收集IC纳入能量收集电源、用主电池补充能量收集电源时，才有可能延长电池寿命。在大多数情况下，这还使设计师能够使用更小、更便宜的电池。