

非传统电源供应之能量收集入门

凌力尔特公司电源产品市场总监 Tony Armstrong

电子电路现在能在微瓦功率级别上工作，因此用有别于传统的电池供电方式的非传统电源为电子电路供电是可行的。这导致了能量收集的出现，在使用电池不方便、不现实、昂贵或危险的系统中，能量收集可提供电源，以给电池充电、补充或代替电池。

能量收集还可以消除对携带功率或传送数据导线的需求。能量收集可以给智能无线传感器网络供电，以监视和优化复杂的工业过程、安装在遥远现场的系统以及建筑物供热、通风和空调 (HVAC) 系统。此外，工业过程、太阳能电池板或内燃机产生的能量可以收集起来，用于各种用途，否则这些能量就浪费了。

环境能源包括光、热差、振动波束、发送的 RF 信号或任何可通过传感器产生电荷的电源。这些能源在我们周围到处都是，利用面向热量的热电发生器 (TEG)、面向振动的压电组件、面向太阳光 (或室内照明) 的光生伏打电池等合适的传感器，可将这些能源转换成电能，甚至可以利用潮气产生的电能。这些所谓的“免费”能源可用来自主地给电子组件和系统供电。

尽管能量收集的概念已经出现很多年了，但在真实环境中的系统实现方

法却一直笨重、复杂和昂贵。不过，有很多市场已经采用了能量收集方法，其中包括交通运输基础设施、无线医疗设备、轮胎压力检测和楼宇自动化系统。在楼宇自动化系统市场，诸如占用传感器、恒温器和光控开关等可消除通常与电源或控制系统安装有关的导线，并采用本地化的能量收集系统取而代之。

类似地，一个采用能量收集方法的无线网络可将建筑物中任何数量的传感器链接到一起，以在建筑物中无人居住时关断非重要区域的电源，从而降低 HVAC 和照明成本。此外，能量收集电子产品的费用常常低于电源布线所需的费用，因此，采用能量收集电源技术显然有经济上的益处。

不过，如果每个节点都需要自己的外部电源，那么无线传感器网络的很多优点就消失了。尽管电源管理技术持续不断的发展已经使电子电路在给定电源情况下能工作更长时间，但这是有限度的，而能量收集电源提供了一种补充方法。因此，能量收集通过将本地环境能

量转换成可用的电能，成为一种给无线传感器节点供电的方法。

能量收集系统和/或无线传感器节点

一个典型的能量收集配置或无线传感器节点由 4 个方框组成 (参见图 1)。它们是：(1) 环境能源；(2) 给节点其余部分供电的电源转换组件；(3) 将该节点链接到真实世界的检测组件以及计算组件 (由微处理器或微控制器组成，处理测量数据并将数据存储到存储器中)；(4) 由短程无线单元组成的通信组件，实现与相邻节点及外部世界的无线通信。

环境能源的例子包括连接到 HVAC 管道等发热源的热电发生器 (TEG) 或热电堆，或者连接到诸如窗玻璃等机械振动源的压电传感器。在热源情况下，一个紧凑型热电器件 (常称为传感器) 可将小的温度差转换成电能。而在存在机械振动或压力的情况下，压电器件可用来将机械能转换成电能。

一旦电能产生出来，就可以由能量

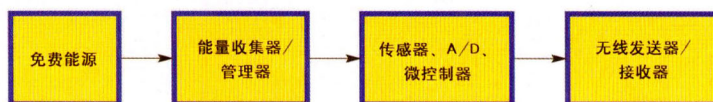


图1 一个典型的能量收集系统或无线传感器节点的主要组成方框图

收集电路转换并调整为合适的形式，以给下游电子组件供电。因此，一个微处理器可以唤醒一个传感器，以获取读数或测量值，然后读数或测量值可由一个模数转换器进行处理，以通过一个超低功率无线收发器传送。

有几种因素影响无线传感器节点能量收集系统的功耗特性。表 1 概述了这些因素。

当然，能量收集源所提供的能量取决于它处于运作状态的时间。因此，比较环境提取能源的主要度量标准是功率密度，而不是能量密度。能量收集通常遇到的是低、可变和不可预知的可用功率等级，因而采用了一种与能量收集器相连的混合结构和一个辅助电能储存器。能量收集器因其不受限制的能量供

应和功率方面的欠缺而成为系统的能量源。辅助电能储存器（一个电池或一个电容器）将产生较高的输出功率，但储存的能量较少，它在需要的时候供电，而在除此之外的其他情况下则定期从能量收集器接收电荷。

能量收集系统的一个关键应用是楼宇自动化系统中的无线传感器。为了说明方便，我们考虑美国能量使用的分布情况。建筑物是排名第一的用户，占总能耗的 38%，紧随其后的是交通运输和工业领域，各占 28%。此外，建筑物可进一步分成商业和住宅建筑，分别占 17% 和 21%。另外，住宅建筑 21% 的能耗占比数字可进一步细分，其中供热和冷却占住宅建筑总能耗的 76%。预计从 2003 年到 2030 年，能量使用量会翻一番，而利用楼宇自动化系统有可能节省多达 30% 的能量。

环境能源的特征

最先进和现成有售的能量收集技术（例如振动能量收集和室内光生伏打技术）在典型工作条件下产生毫瓦量级的功率。尽管这么低的功率似乎用起来很受限，但是若干年来收集组件的工作可以说明，无论就能量供应还是就所提供的每能量单位成本而言，这种技术大体上与长寿命的主电池类似。此外，采用能量收集的系統一般能在电能耗尽后再充电，而这一点主电池供电的系统是做

不到的。

正如已经讨论的那样，环境能源包括光、热差、振动波束、发送的 RF 信号，或者其它任何能通过传感器产生电荷的能源。下面的表 2 说明了从不同能源可产生多少能量。

要成功设计一个完整的自含式无线传感器系统，需要稳定供货的节电微控制器和传感器，并要求这些器件最低限度地消耗来自低能量环境的电能。幸运的是，低成本、低功率传感器和微控制器已经上市两三年左右的时间了，不过只是在最近，超低功率收发器才投入商用。然而，在这一系列环节中，最落后的一直是能量收集器。

图 1 所示能量收集器方框图的现有实施方案一般由低性能分立式配置组成，通常包括 30 个或更多个组件。这样的设计转换效率低，静态电流高。这两种缺点导致最终系统的性能受损。低转换效率将延长给系统加电所需时间，这反过来又延长了获取传感器读数和传送这些数据之间的时间间隔。高静态电流限制了能量收集源的输出能达到的最低值，因为它必须首先提供自己工作所需的电流，多出来的功率才能提供给输出。正是在能量收集器这个领域，凌力尔特公司最近推出的产品 LTC3109 和 LTC3588-1 可使性能和简单性都提升到一个新的水平。

表1 影响无线传感器节点功耗的因素

影响功耗的因素	
电源（或电池）	放电速率
	电池尺寸
	电源电压
	所使用电极材料的类型
传感器	DC/DC 效率
	物理到电信号的转换
	支持组件的复杂性
	信号采样
ADC	信号调理
	采样速率
	混叠
	高频抖动
微处理器	内核工作频率
	工作电压
	功率与处理及计算负载成正比
	环境温度
无线单元	应用节点
	外部设备利用率
	调制电路
	数据速率
	传送举例
	工作占空比

表2 能源以及可产生的能量

能量源	产生的典型能量等级	典型应用
小型太阳能电池板	几百 mW/cm ² (直射阳光)	手持式电子设备
小型太阳能电池板	几百 μW/cm ² (间接阳光)	手持式电子设备
赛贝克器件(用于将热能转换为电能)	几十 μW/cm ² (体热)	远程无线传感器
赛贝克器件(续)	几十 mW/cm ² (高炉排气管烟)	远程无线执行器
压电器件(利用器件的压缩或挠曲来产生能量)	几百 μW/cm ²	手持式电子设备或远程无线执行器
来自天线的射频能量	几百 pW/cm ²	远程无线传感器

新型能量收集器 IC

LTC3109 是一种高度集成的 DC-DC 转换器和电源管理器。它能从诸如 TEG (热电发生器)、热电堆甚至小型太阳能电池板等极低的输入电压源收集和管理多余的能量。其独特的专有自动极性拓扑允许该器件用低至 30mV 的输入电源工作,而不管电源极性如何。

上面的电路用两个紧凑型升压变压器来提高 LTC3109 输入电压源的电压，然后该器件为无线检测和数据采集提供一个完整的电源管理解决方案。它能收集小的温差，不用传统的电池电源，就能产生系统电源。

就低至 30mV 的输入电压而言，推荐使用主-副匝数比约为 1:100 的变压器。就较高的输入电压而言，可用较低的匝数比来获得更大的输出功率。这些变压器是标准的现成有售组件，而且诸如 Coilcraft 等磁性元件供应商可稳定供货。

LTC3109 采用一种“系统级”方法来解决复杂问题。它转换低压电源,并管理多个输出之间的能量。用 LTC3109 外部的充电泵电容器和内部的整流器对

每个变压器副端绕组上产生的 AC 电压升压并整流。这个整流器电路将电流馈送进 V_{AUX} 引脚，从而向外部 V_{AUX} 电容器、然后是其它输出提供电荷。

内部 2.2V LDO

图3 LTC3588 的

可以支持低功率处

理器或其它低功率 IC。该 LDO 由 V_{AUX} 和 V_{OUT} 二者之间较高的一个供电。这使

它能在 V_{AUX} 一充电到 2.3V 就能有效运

行, 同时 V_{OUT} 存储电容器仍然在充电。

倘若 LDO 输出上有阶跃负载, 那么如果

V_{AUX} 降低低于 V_{OUT} , 电流就可能来自主

V_{OUT} 电容器。该 LDO 能提供 3mA 输出

电流。

V_{STORE} 电容器也许具有非常大的数值(几千 μF 甚至 F)，以在输入电源有可能丢失时提供保持作用。当上电操作完成时，主输出、备份输出和开关输出均可提供。如果输入电源发生故障，则仍然可以利用 V_{STORE} 电容器的供电继续运作。

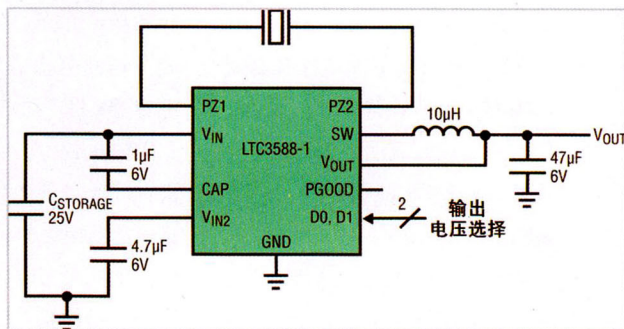


图3 LTC3588 的典型应用原理图

LTC3588-1 是一种完整的能量收集解决方案, 为包括压电传感器等低能量源而优化。压电器件通过器件的挤压或挠曲产生能量。视尺寸和构造的不同而不同, 这些压电元件可以产生几百 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 的能量。

OUTPUT VOLTAGE
SELECT: 输出电压选择

应该提到的是，压电效应是可逆的，即展现直接压电效应（一加上压力就产生电位）的材料也展现反向压电效应（一加上电压就产生压力和/或应力，即挠曲）。

LTC3588-1 在 2.7V ~ 20V 的输入电压范围内工作，从而非常适用于多种压电传感器以及其它高输出阻抗能源。其高效率降压型 DC/DC 转换器提供高达 100mA 的连续输出电流或者甚至更高的脉冲负载。其输出可以设定为 4 个固定电压之一 (1.8V、2.5V、3.3V 或 3.6V)，以向无线发送器或传感器供电。输出处于稳定状态 (无负载) 时，静态电流仅为 950nA，从而最大限度地提高了总体效率。

LTC3588-1 为直接与压电或可替代高阻抗 AC 电源连接、给电压波形整流以及在外部的存储电容器中存储收集到的能量而设计,同时通过一个内部并联稳

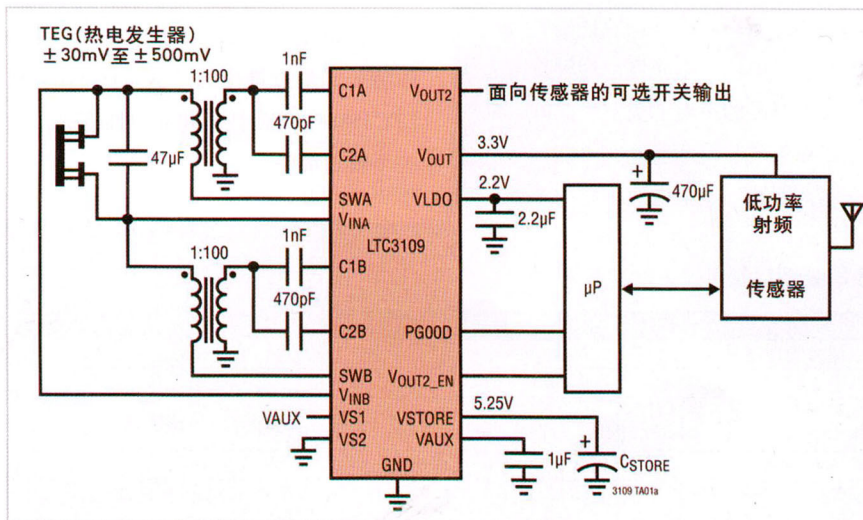


图2 LTC3109 的典型应用原理图

压器消耗过多的功率。具 1~1.4V 迟滞窗口的超低静态电流 (450nA) 欠压闭锁 (ULVO) 模式使电荷能在存储电容器上积累, 直到降压型转换器能高效率地将部分存储的电荷传送到输出为止。

结论

电源管理是实现远程无线检测的关键一面。不过, 电源管理的实现必须从设计理念开始就是正确的。因此, 系统设计师和系统规划师必须从一开始就

划分电源管理需求的优先顺序, 以确保高效率设计以及从长远来看部署是成功的。幸运的是, 领先高性能模拟 IC 制造商最近推出的能量收集电源管理 IC 极大地简化了这一任务。ECN