技术分析 （科研院校检测认证）

Technical Analysis

861718 Technical Analysis

基于无线传感器超低功率能量收集器的供电系统设计

测量和控制所需的超低功率无线传感器用量的激增、再加上新型能量采集技术的运用，使得能够制造出由局部环境能量而非电池供电的全自主型系统。

在替换或维护电池不方便、昂贵或危险时，这显然是有好处的。由收集能量供电的传感器节点可以在楼宇自动化、无线自动测量、前瞻性维护、和其他很多工业、军事、汽车和消费类应用中使用。能量收集的好处是显而易见的，但是有效的能量收集系统需要智能电源管理电路，以将微量免费能量转换成无线传感器系统可使用的形式。

归根结底是占空比问题

很多无线传感器系统消耗非常低的平均功率，从而成为由收集的能量供电的主要对象。因为传感器节点常常用来监视缓慢变化的物理量，所以可以不经常进行测量，也不需要经常发送测量数据，因此传感器节点是以非常低的占空比工作的，相应地，平均功率需求也很小。例如，如果一个传感器系统在工作时需要 3.3V/30mA（100mW），但是每 10s 仅有 10ms 时间在工作，那么所需平均功率仅为 0.1mW，假定在传送突发的间隔期间不工作时，传感器系统电流降至数 uA。

电源管理：迄今为止在能量收集中仍然缺失的一环

仅消耗 uW 功率的微处理器和模拟传感器以及小型、低成本、低功率 RF 收发器得到了广泛采用。在实现实际的能量收集系统时，缺失的一环始终是可以靠一个或多个常见免费能源工作的电源转换器 / 电源管理构件。LTC3108 能在输入电压低至 20mV 时启动，为热能收集补上了缺失的这一环。LTC3108 采用 3mm x 4mm x 0.75mm 12 引脚 DFN 或 16 引脚 SSOP 封装，为用热电发生器（TEG）、以低至 1℃的温度差（T）给无线传感器供电提供了一个紧凑、简单和高度集成的电源管理解决方案。

参见图1，LTC3108 用一个小的升压型变压器和一个内部 MOSFET 形成一个谐振振荡器。变压器的升压比为 1:100 时，该转换器能以低至 20mV 的输入电压启动。变压器的次级绕组向充电泵和整流器电路馈送电压，然后给该 IC 供电，并给输出电容器充电。2.2V LDO 的输出设计成首先进入稳定状态，以尽快给微处理器供电。然后，给主输出电容器充电至由 VS1 和 VS2 引脚设定的电压（2.35V、3.3V、4.1V 或 5.0V），以给传感器、模拟电路或 RF 收发器供电。当无线传感器工作并发送数据因而出现低占空比负载脉冲时，VOUT 存储电容器提供所需的突发能量。还提供一个开关输出（VOUT2），以给没有停机或休眠模式的电路供电。电源良好输出提醒主机，主输出电压接近其稳定值了。一旦 VOUT 进入稳定状态，那么所收集的电流就被导向 VSTORE 引脚，以给可选存储电容器或可再充电电池充电。如果能量收集电源是间歇性的，那么这个存储组件就可用来给系统供电。还有一个 LTC3108-1 版本的器件，除了提供一套不同的可选输出电压（2.5V、3.0V、3.7V 或 4.5V）以外，与 LTC3108 完全相同。

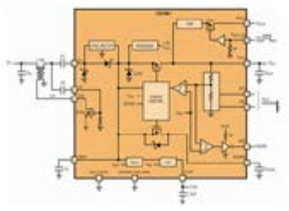


图1：LTC3108 方框图

热电发生器的基本原理

热电发生器（TEG）其实就是逆向工作的热电冷却器（TEC）。热电发生器应用席贝克效应（Seebeck Effect）将设备（通过该设备产生热量流动）上的温度差转换成电压。输出电压的幅度和极性取决于 TEG 上温度差的幅度和极性。如果 TEG的热端和冷端掉换过来，那么输出电压就改变极性。TEG 可以用一个受温度影响的电压源模型加一个串联电阻（规定为 AC 电阻）来代表。

TEG的尺寸和电气规格多种多样。大多数模组都是方形的，每边的长度从10mm至50mm不等，标准厚度为2mm至5mm。它们的开路输出电压视尺寸不同而不同，范围为 10mV/K 至 50mV/K。一般而言，对于给定的T，较大的模组可提供较大的 VOUT，但是有更高的 AC 阻抗和更低的热阻。就给定应用而言，所需要的TEG大小取决于可用的T、负载需要的最大平均功率、以及用来冷却TEG一侧的散热器热阻。

为了从 TEG 抽取可获得的最大功率，转换器输入阻抗必须相对于 TEG AC 电阻提供合理的负载匹配。LTC3108 转换器呈现约 2.5 的输入阻抗，这刚好在大多数TEG AC 电阻（0.5 至 7.5）范围的中间。

需要考虑的热量问题

当在一个温暖的表面放置 TEG 以收集能量时，必须给 TEG 温度较低的一侧增加散热器，以允许热量传送到周围空气中。由于散热器的热阻，在 TEG 上呈现的 ?T 将低于温暖表面和环境之间的温度差，因为 TEG 具有相对较低的热阻（典型情况下在 1℃/W 至 20℃/W 范围内）。

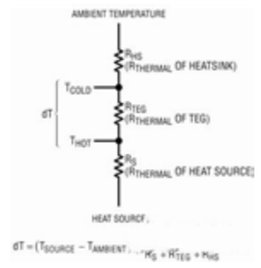


图2：TEG 和散热器简单的热模型

参见图2所示的简单热模型，考虑如下例子，一个大型机器在周围环境温度为 25° C、表面温度为 35° C 的情况下工作。将一个 TEG 连接到这台机器上，同时在 TEG 温度较低（环境温度）的一侧加上一个散热器。

散热器和TEG的热阻确定了 10℃总温差（T）的哪一部分存在于TEG 的两端。假定热源（RS）的热阻可忽略不计，如果 TEG 的热阻（RTEG）为 4℃/W，散热器的热阻（RHS）也为 4℃/W，那么落在 TEG 上的 ?T 仅为 5℃。

由于较大的TEG表面积增大了，所以大型TEG比小型TEG热阻低，因此需要较大的散热器才有利。在受到尺寸或成本限制而必须使用相对较小的散热器的应用中，较小的TEG也许比大型 TEG 提供更多的输出功率。热阻等于或小于 TEG 热阻的散热器可最大限度地提高 TEG 上的温度差，因此能最大限度地提高电输出。

脉冲负载应用设计例子

由 TEG 供电的典型无线传感器应用如图 3 所示。在这个例子中，TEG 上至少有 4° C 的温差可用，因此选择 1:50 的变压器升压比，以实现最高的输出功率。

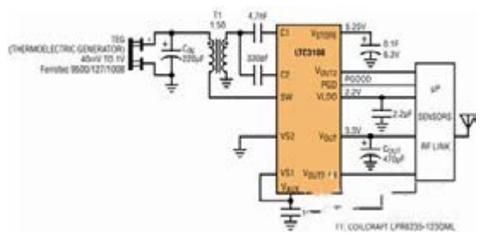


图3：无线传感器应用例子

LTC3108 提供一个典型的无线传感器所需的多个输出。2.2V LDO 输出给微处理器供电，而 VOUT 利用 VS1 和 VS2 引脚设定到 3.3V，以给 RF 发送器供电。开关 VOUT（VOUT2）由微处理器控制，以仅在需要时给 3.3V 传感器供电。当 VOUT 达到稳定值的 93% 时，PGOOD 输出向微处理器发出指示信号。为了在输入电压不存在时保持工作，在后台从 VSTORE 引脚给 0.1F 存储电容器充电。这个电容器可以充电至高达 VAUX 并联稳压器的 5.25V 箝位电压。如果失去输入电压源，那么就自动由存储电容器提供能量，以给该 IC 供电，并保持 VLDO 和 VOUT 的稳定。

根据以下公式确定 COUT 存储电容器的大小，以在10ms 的持续时间内支持 15mA 的总负载脉冲，从而在负载脉冲期间允许VOUT有 0.33V 的下降。请注意，IPULSE 包括 VLDO和 VOUT2以及 VOUT 上的负载，但充电电流未包括在内，因为与负载相比，它可能非常小。

$$C_{OUT}(\mu F) = \frac{I_{PULSE}(mA) \bullet t_{PULSE}(ms)}{dV_{OUT}}$$

考虑到这些要求，C必须至少为 454F，因此选择了一个 470F 的电容器。

采用所示 TEG（以及大小合适的散热器），在 T 为 5° K 时工作，那么 LTC3108 在 3.3V 时提供的平均充电电流约为 560?A。用这些数据，我们可以计算出，首次给 VOUT 存储电容器充电需要花多长时间，以及该电路能以多大频度发送脉冲。假定充电阶段 VLDO 和 VOUT 上的负载非常小，那么 VOUT 最初的充电时间为：

$$t_{CHARGE} = \frac{470\mu F \bullet 3.3V}{560\mu A} = 2.77\ seconds$$

假定发送脉冲之间的负载电流非常小，那么一种简单估计最大发送速率的方法是，用从 LTC3108 可获得的平均输出功率（在本例情况下为 3.3V 560A = 1.85mW）除以脉冲期间所需功率（在本例情况下为 3.3V15mA = 49.5mW）。收集器可以支持的最大占空比为 1.85mW/49.5mW = 0.037 或 3.7%。因此最大脉冲发送速率为 0.01/0.037 = 0.27 秒或约为 3.7Hz。

请注意，如果平均负载电流（如发送速率所决定的那样）是收集器所能支持的最大电流，那么会没有剩余的收集能量给存储电容器充电。因此，在这个例子中，发送速率设定为 2Hz，从而留出几乎一半的可用能量给存储电容器充电。VSTORE 电容器提供的存储时间利用以下公式计算：

$$t_{STORE} = \frac{0.1F \bullet (5.25V - 3.3V)}{6\mu A + 15mA \bullet \frac{0.01}{0.5}} = 637\ seconds$$

上述计算包括 LTC3108 所需的 6uA 静态电流，而且假定发送脉冲之间的负载极小。一旦存储电容器达到满充电状态，它就能以 2Hz 的发送速率支持负载 637 秒，或支持总共 1274 个发送脉冲。

热量收集应用需要自动极性

有些热量收集应用（如无线 HVAC 传感器或地热供电的传感器）要求电源管理器不仅能以非常低的输入电压工作，而且能以任一极性工作，因为 TEG 上的 T 的极性可能改变。

LTC3109 是惟一适合克服这种挑战的器件。LTC3109 运用两个具 1:100 升压比的变压器，能以低至 ±30mV 的输入电压工作。LTC3109 与 LTC3108 的功能相同，包括一个 LDO、一个数字可编程的输出电压、一个电源良好输出、一个开关输出和一个能量存储输出。LTC3109 采用 4mm x 4mm 20 引脚 QFN 和 20 引脚 SSOP 封装。图4显示了 LTC3109 在自动极性应用中的一个典型例子。如图 4 所示，该转换器的输出电流随 VIN 变化的曲线说明，该器件在任一极性的输入电压时，都能同样良好地工作。

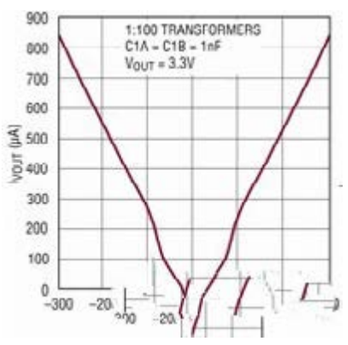


图4：自动极性应用例子，图中转换器的输出电流随 VIN 变化的曲线

结论

LTC3108 和 LTC3109 能独特地在输入电压低至 20mV 时工作，或者以非常低的任一极性电压工作，提供了简单和有效的电源管理解决方案，能实现热能收集，可用常见热电器件为无线传感器和其他低功率应用供电。这些产品采用 12 引脚 DFN 或 16 引脚 SSOP 封装（LTC3108 和 LTC3108-1）和 20 引脚 QFN 或 SSOP 封装（LTC3109），提供了前所未有的低压能力和高集成度，可最大限度地减小解决方案占板面积。LTC3108、LTC3108-1 和 LTC3109 提供了与现有低功率基本构件无缝连接所需的所有输出，以支持自主型无线传感器应用。

使用隔离多通道大容量存储记录仪测试 UPS 体验

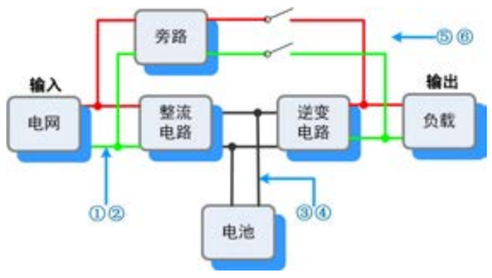
UPS电源的工作过程多且时间长，往往需要动用多台示波器和高压差分探头同时测试，记录数据也相对比较麻烦，今天给大家推荐一种新的测试方法，“傻瓜式”操作，测试时间节省80%！

一、引子

在研发和测试时，你是否有过这样糟糕的体验：想一次查看四路以上的信号波形但目前示波器一般最多只有四个通道；接线时头疼测量通道间不隔离，混合接线时一不小心就烧坏探头或示波器；受存储限制，测试时需要不停地进行开始、停止、保存，最后再逐个打开查看；如此等等。现在有一台机器可以彻底解决此类烦恼，让你享受流畅的测试流程，下面是一次极度流畅的UPS电源测试实录。

二、接线

YD/T 1095-2018主要规定的电气参数分为功率和响应两类，为保隔壁PA功率分析仪组的饭碗，这里就不越俎代庖去测功率参数了，此次主要看UPS响应时间。被测的是单相UPS，要看其工作过程，除了输入和输出的电压电流，还需要看内部电池的电压和电流，所以我脑子的接线是这样的：

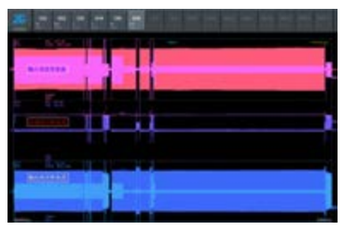


三、测试

UPS响应时间的测试，主要是在开机状态下，输入（电网）和输出（负载）端的切入和切出。由于ZDL6000具备硬盘容量级别的记录空间，测试时无需每项内容都重复设置触发、启动捕获和命名保存捕捉的数据。设置好ZDL6000开启硬盘记录后，就可以开始测试。整个过程就像有一个摄像机不停机持续跟拍，没有导演喊停，所有表演均完整记录下来，不满意自己随时重来，完成了就停机。所以按按开关测试就完成了，非常省事，不是一般的流畅。

四、结果分析

测试结果出来了，首先是测试数据的全貌：



定位到波形最前面，可以从上电和输出时间看出开机时间需要3.4秒时间。此时UPS工作在旁路模式，输出电压与输入电压波形一致。

开机一段时间后，在旁路模式下接入负载，测量点电压只有短暂跌落，之后马上回复正常，这应该是回路阻抗在瞬间大电流下分压导致的。从负载电流波形我们还可以看出，负载先是全桥整流启动辅助电源，然后才启动带功率因数校正的主电源。

接下来是最关键的参数：旁路模式到逆变模式的切换时间，标准要求这个时间必须在10ms以下。如果时间太慢，工作电器有可能会停机，UPS就没有意义了。从下图实测波形分析看，被测UPS是满足标准要求的，电压上升也较快，只是这输出的波形真的如用户手册写的一样是准方波，这应该是最低端的型号了吧。谐波含量之类的参数就不要奢求了，如果想看看频谱分布，可以打开机器数学运算或FFT的频谱分析功能查看。

逆变时输出的方波导致很抖的电流尖峰，对工作电器和周边电磁环境很不利。最直接的体验就是电流噪声特别大，且带载越大噪声越大。如果用声压计测量，应该会超出YD/T 1095-2018标准。

在逆变模式下切入负载，电压波动比工作模式切换时更大，稳定时间也更长，此UPS控制部分有待改进。电压上升时间慢可能会导致已接入电器电压过低而停机，因此用此UPS最后不要在逆变模式下再增大负载，不然自身不保。那么从逆变模式切回旁路模式需要多久时间呢？同样地，闭合电网的输入开关模拟恢复供电。该UPS结果了11秒后才切回旁路模式，从动作时间看相当慢。不排除厂家故意这样设计，用来避免供电恢复初期电网不稳定带来的影响。这样虽然对负载没有额外的影响，但符合标准要求吗?

由于测试前未给UPS充满电，无法测试其实际放电时间，最后只能切断电网打开负载让其工作到终止输出了。

五、后记

用ZDL6000测试，最深的体验就是隔离多通道让人省心，超大存储让人省力。所以整个过程是省心又省力。在不追求超高带宽和超高采样率的测试场合，ZDL6000是不二选择，而且它还能提供更高的精度和更多的通道！有了它，原来繁杂的测试流程就被简化聚焦到最重要的数据分析上，极大地提高了工作效率。

高端示波器中的数字信号处理技术

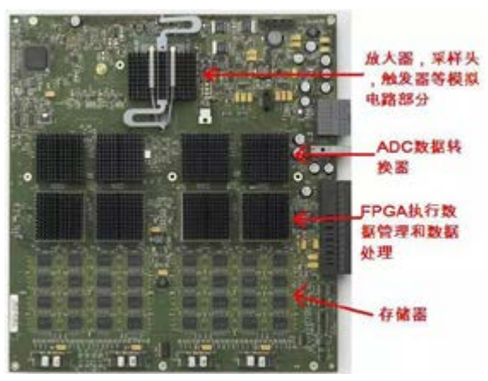


图1. 90000-X示波器捕获板

图1是90000-X示波器的捕获板。90000-X示波器使用磷化铟技术，其硬件带宽可达33GHz，实时采样率可达80GSa/s，存储深度可达2GB。这些指标都达到了业界顶尖的水平。但是随着采样速率和存储深度的提升，数字信号处理能力成为一大挑战，传统的使用内置计算机的Matlab软件处理方式已经不能满足测试速度的要求。现在，90000和90000-X示波器采用FPGA硬件进行数字信号的处理，代表了示波器数字信号处理技术发展的方向。

90000和90000-X示波器的FPGA执行了如下处理，大幅度提升了示波器响应的速度;其FPGA也集成了嵌入去嵌入和精密探头校准算法，也大幅度提升了测试精度。

1、MegaZoom处理核

MegaZoom处理核集成在FGPA内部，它对存储器进行管理。首先是使用乒乓处理技术，把存储器分为两部分，一部分捕获数据时，另一部分在传递数据。这样波形更新速度可提升一倍。

MegaZoom也进行压缩处理，进行屏幕显示波形数据运算，只传递需要显示的数据到示波器屏幕上，这样刷新速率会提升许多倍。一旦需要测量数据，再把数据传递给内部计算机进行参数计算。现在已经能够用FPGA处理一部分测量参数了，只传递测量参数，速度又将大幅提升。

2、FPGA进行波形参数测量

现在已经把一部分测试参数用FPGA实现了，未来会把主要的测量参数都用FPGA实现，整个示波器的速度又会大幅度提升。

3、FPGA进行正弦内插

传统的示波器的Sinx/x正弦内插是用内置计算机的Matlab来实现，一旦设置的存储深度比较深，则示波器的速度会变得很慢，现在用FPGA来实现，则没有这样的瓶颈。

4、FPGA进行幅度和相位修正

硬件放大器、采样保持电路的幅频和相频响应没法做到很完美，那用FPGA进行幅度和相位修正是理想化频响的正当方法。有的示波器也可以用这种修正来提升或降低示波器的带宽。图2是提升示波器带宽的方法，应用一个高通滤波器(图2绿色曲线)，提升示波器带宽(原来硬件带宽曲线是红色曲线)到更高数量级(蓝色曲线)。

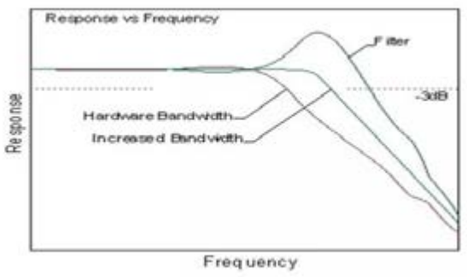


图2. DSP提升示波器带宽的方法

5、FPGA进行触发抖动修正

硬件触发器的触发抖动一般是1PS以上，可以用FPGA进行触发抖动修正到100fs量级，这样提升了单个波形的触发精度。但是没法修正双通道的时间偏差不确定度。

6、FPGA进行FFT运算和频谱触发

用FPGA进行FFT运算可大幅度提升FFT处理的速度，并且可以进行频谱触发。用内置计算机的Matlab进行FFT处理，当内存深度设置比较深时一般较慢，也没法进行频谱触发。

7、FPGA执行嵌入和去嵌入处理，执行精密探头校准参数的处理

用FPGA执行嵌入和去嵌入处理，大幅度提升了响应速度。

由于精密探头校准参数类似于S参数，校准参数表的数据量比较大，只有用FPGA进行处理，才能满足速度的要求。

8、FPGA执行协议触发和协议译码

示波器做总线的协议分析是示波器应用方向之一，但是用软件做协议译码速度比较慢，用软件只能进行协议搜索，而不能进行协议触发。现在一些示波器如3000-X示波器已经用处理器实现了这个功能，使得译码速度很快，而且可以进行协议的硬件触发。高端示波器用FPGA实现这个功能也在研发之中。

小结：

高端示波器用FPGA实现数字信号处理技术正在不断提升中，这必将大幅度提升示波器的响应速度和精度。这是示波器R&D关键工作之一。

GIT 星球國際資訊 屬下品牌 本商情各地联络电话：（客服热线）400-086-1718 广州：020-34050665 深圳：0755-23207500 东莞：0769-22381699 北京：010-82755851 上海：021-64362932