

基于温差发电的微弱能源采集电路设计

许刚, 刘芳, 战延谋

(陆军军官学院, 合肥 230031)

摘要: 为了充分利用自然界的各种能源为微型传感器节点供电, 设计了一种超低压启动, 双电容蓄能, 两级变压的微弱能源采集电路, 并进行了温差发电的实例分析。结果表明, 该电路能够在低温差条件下为蓄能电路积累能量, 实现了低温差环境下的微弱能量采集, 并能够根据无线传感器节点的间歇性工作的特点, 快速做好供电准备。

关键词: 温差发电; 无线传感器; 超级电容; 微弱能源

本文引用格式: 许刚, 刘芳, 战延谋. 基于温差发电的微弱能源采集电路设计[J]. 四川兵工学报, 2014(9): 96-98.

中图分类号: TP211

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2014)09-0096-03

Design of Weak Energy Harvesting Circuit Based on Thermal Power Generation

XU Gang, LIU Fang, ZHAN Yan-mou

(Army Officer Academy of PLA, Hefei 230031, China)

Abstract: In order to make full use of the energy of nature for the micro sensor node power supply, a weak energy harvesting circuit is designed with ultra-low voltage, double capacitor and two DC-DC converters. The analysis results about thermal power generation show that the circuit could accumulate energy under the condition of low temperature difference, and quickly prepare to power supply according to the characteristics of the wireless sensor node of intermittent work.

Key words: thermal power generation; wireless sensor; super capacitor; weak energy

Citation format: XU Gang, LIU Fang, ZHAN Yan-mou. Design of Weak Energy Harvesting Circuit Based on Thermal Power Generation[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2014(9): 96-98.

“无源”、“无线”一直是许多传感器系统所最求的目标。随着 MEMS、微电子系统等技术的发展, 低功耗无线传感器网络已应用于设备运行状态的监控、环境参数的检测等技术领域, 由于其体积微小, 自身携带的电池能量有限, 真正意义上的“无源”难以实现。如何将自然环境中的能量并转换为电能, 实现传感器的自供电, 成为目前的研究热点之一。磁电、压电和温差发电等供电方式已在不同程度上得到应用, 但上述几种供电方式都存在的能量转换率低、输出功率小, 无法直接驱动传感器等问题^[1-4]。本文设计了基于温差发电的微弱能源采集电路, 该电路具有超低压启动、双电容蓄能、升降压 DC 等功能, 适用于间歇功率输出的传感器节点。

1 系统构成

该装置主要由温差发电片、超低压启动 5.5 V 升压稳压电路、双电容蓄能电路、(1.8~5.5 V) 升降压电路等部分组成, 系统整体结构如图 1 所示。

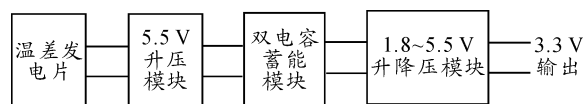


图 1 系统构成

收稿日期: 2014-03-26

基金项目: 安徽省自然科学基金项目“基于粒子滤波的锂离子电池健康状态预测技术研究”(1308085ME80)。

作者简介: 许刚(1977—), 男, 硕士, 讲师, 主要从事装备测试及军事计量技术研究。

温差发电片是由一对对 PN 电偶臂构成,使用时将温差发电片一面与热源(如发动机、排气管)接触,另一面与大气或者散热片接触,当电偶臂两端存在温差时,PN 结 2 种不同热材料将产生塞贝克(Seebeck)效应,从而在回路中产生电流^[5-6]。升压模块将温差发电片产生的电压提升并稳定在 5 V,向蓄能模块充电。蓄能模块由一大一小 2 个超级电容构成,按先充小电容再充大电容的方式进行蓄能,小电容向传感器系统提供低功耗状态和正常工作所需电量,大电容充则用于支持传感器系统进行无线数据收发等功耗较大状态所需电量。升降压模块根据负载的需要,将电压稳定在 3.3 V 输出。电路采用两级变压和双电容蓄能方式,在一定程度上降低了电能转化效率,但大大提高了系统蓄能并缩短了电路启动时间和充放电间隔。

2 系统设计

2.1 超低压启动升压稳压电路

温差发电是将余热发电等低品位能源转换为电能的有效方式,但温差发电效率远低于火力发电、水力发电、光伏发电等常见的发电方式^[5-6]。电路采用的 TEG1-241 系列温差发电片,发电效率约为 3%,当温差 40°时可以得到 2.2 V 的开路电压,发电电流为 390 mA,但在实际应用中,由于散热材料和尺寸的限制,温差常小于 10°C,电压低于 1 V,甚至低于 0.5 V。传统的升压式 DC/DC 转换器由于其最低输入电压在 1 V 左右,为克服这一难点,电路采用了 S-882Z 芯片,可以实现超低压(0.3 V 左右)启动^[7]。电路如图 2 所示。

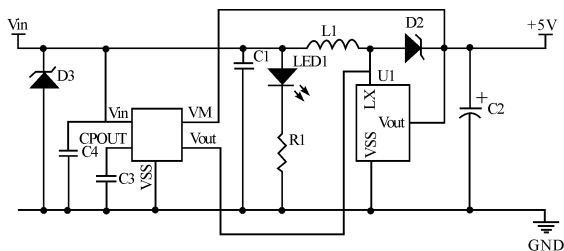


图 2 超低压启动升压稳压电路

为了使 S-882Z 芯片能够启动升压 DC/DC(U1),升压电力存储在外接的启动用电容器 C4 中,C4 电压大于 0.3 V 时 S-882Z 中振荡电路开始工作,并将转换后的升压电力缓慢充至 C3,用于启动 U1,合理选用 C3、C4 的容量可以实现升压 DC/DC 的超低压快速启动。D3 是一个 5 V 稳压二极管,当 Vin 大于 5 V 时导通,用于保护升压芯片 U1 输入电压不超过 5 V。这种结构确保了温差发电片在低温差情况下能量的高效利用。

2.2 双电容蓄能电路

电路采用超级电容作为系统的蓄能原件,将升压后的电能储存在超级电容内,并在需要时将能量送入系统。超级电容是一种介于静电电容器与电池之间的新型储能元件,存储

能量可达到静电电容器的 100 倍以上,同时又具有比电池高出 10~100 倍的功率密度,具有充电速度快、使用寿命长、低温性能优越等特点^[8-10]。

电容在放电过程中能够为系统提供的能量,即有效蓄能可表示为

$$E = \frac{1}{2}C(U_1^2 - U_2^2) \quad (1)$$

其中: U_1 是电容的放电阈值电压; U_2 是电容的充电阈值电压。放电时 C 越大,电容能够提供的能量 E 也越大,充电时 C 越大,根据式(2)电容达到放电阈值电压 U_1 的时间也越长。当电容 C 不变时,蓄能系统是无法同时实现缩短充电时间和提供更大的能量 2 个目标的。根据传感器系统大部分时间工作在低功耗状态的特点,本文设计了双电容蓄能模式,蓄能电路如图 3 所示。

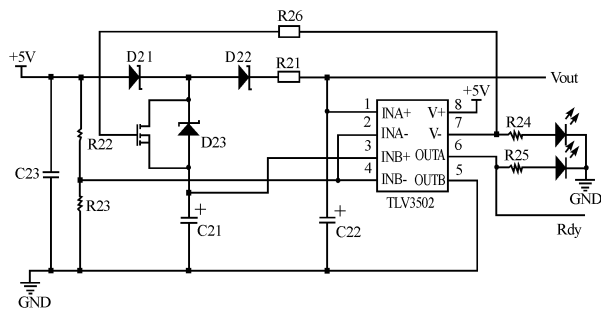


图 3 双电容蓄能电路

其中 C22 为小电容,C21 为大电容。充电时,5V 输入电压经防反充肖特基二极管 D21 和 D22 后首先为 C22 充电,当 C22 电压大于放电阈值电压 U_1 后,C21 才开始充电。当 C21 未达到充电阈值电压 U_2 前,蓄能系统通过 C22 向外提供能量,当 C21 电压超过 U_2 后,蓄能系统向外提供的能量相当于 6 倍的 C22。这种方式既能满足传感器系统在低功耗状态下快速启动的需要,又为高功耗状态提供了强大的能量后备。

2.3 升降压 DC/DC 电路设计

由于负载需要稳定的输出电压,当超级电容电压降低时,为了继续驱动负载,超级电容电压必须通过 DC/DC 电路后输出。电路采用 TI 公司的 TPS63001 升降压芯片,它可以将 1.8~5.5 V 的电压转换为 3.3 V 输出,最大输出电流 1 200 mA,最高转化效能达到 96%。升降压电路如图 4 所示。

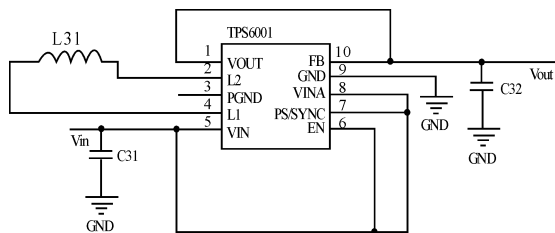


图 4 DC/DC 升降压电路

3 应用实例

某传感器节点放置于发动机附近,用于监测机械运行状态,节点由传感器模块、处理器模块、无线通信模块和能量供应模块组成。处理器采用 nRF24LE1 超低功耗单片无线收发系统,工作电压为 3.3 V,典型工作电流为 10 mA,低功耗状态电流小于 1 mA,耗电忽略不计,传感器和无线通信模块启动后工作电流为 100 mA 左右。该传感器节点一旦启动,长期工作在低功耗状态;每次进入典型工作状态连续工作时间 10 s 左右;每间隔 10 min 进入大功耗状态一次,连续工作不少于 20 s。

根据上述指标,能量供应模块设计使用了一片 TEG1-241 发电片,放在发动机散热片上,平均输出电压 0.6 V,输出电流 50 mA,采用 0.02F 和 1F 2 个超级电容蓄能,放电阈值电压为 3 V,可充至 4.7 V 以上。电路由于各种原件损耗,系统整体转化效能能在 80% 左右。

根据式(2)

$$Pt = \frac{1}{2}C(U_1^2 - U_2^2) \quad (2)$$

当小电容蓄能到 3 V 时电路启动,时间为

$$T1 = \frac{1}{2} \times 0.02 \times 3^2 \div (0.6 \times 0.05) = 3 \text{ s}$$

此时,如果电路工作于典型工作状态,可工作时间为

$$T2 = \frac{1}{2} \times 0.02 \times (3^2 - 1.8^2) \div$$

$$(3.3 \times 0.01 - 0.6 \times 0.05) = 25.8 \text{ s}$$

考虑到系统效能的因素,实际可工作时间在 20 s 左右。

若系统一直处于低功耗状态,双电容充电至 4.7 V 时间为

$$T3 = \frac{1}{2} \times 1.02 \times 4.7^2 \div (0.6 \times 0.05) = 375 \text{ s}$$

大功耗状态可工作时间为

$$T4 = \frac{1}{2} \times 1.02 \times (4.7^2 - 1.8^2) \div$$

$$(3.3 \times 0.1 - 0.6 \times 0.05) = 32 \text{ s}$$

考虑到系统效能的因素,实际可工作时间在 24 s 左右。

上述结果表明,根据传感器间歇工作的特点选取适当的电容和放电阈值电压,本设计可以满足实际应用需要。

4 结束语

本文实际的电路完全满足传感器节点供电需求,并且具备启动时间短,对散热要求不高,支持间歇大功率输出的优点,可直接放置于发动机排气管、空调出风口、冷热水管等物体表面,实现微弱能源的采集和利用,具备较高的实用价值。

参考文献:

- [1] 刘盼刚,文玉梅,李平,等.一种磁电自供电无线传感器电源管理电路研究[J].传感技术学报,2008,21(8):1427-1431.
- [2] 吴邗俊,廖承茵,廖华,等.半导体温差发电器件应用探讨[J].云南师范大学学报,2012,32(9):23-26.
- [3] 张强,杨涛.用于环境监测的自供电传感器网络[J].仪表技术与传感器,2008(2):34-36.
- [4] 周志敏,周纪海,纪爱华.模块化 DC/DC 实用电路[M].北京:电子工业出版社,2003.
- [5] 李伟江.低温差下半导体温差发电模块性能分析与实验研究[D].上海:同济大学,2007.
- [6] 许艳艳,王东生,韩东,等.基于余热回收的半导体温差发电模型及数值模拟[J].节能技术,2010(160):168-172.
- [7] 陈建明,王亭岭.一种基于 S-882Z 启动 IC 的无线传感节点电源设计[J].光电与控制,2010,17(8):90-93.
- [8] Xu Qing. DLC charging performance for microgrid applications[J]. Journal of Southeast University(English Edition), 2010,26(3):415-420.
- [9] 张伟民,郭超,姚雷波.超级电容充放电实验系统的研究与实现[J].化工自动化及仪表,2010,37(9):53-56.
- [10] Pierre Mars. 超级电容与小型能量采集源的结合[J].技术纵横,2012(9):43-47.

(责任编辑 杨继森)