

基于温差发电的超声波热量表设计

超声波热量表因其需要不停计量的工作特性, 现有方案大都采用内嵌电池的方法提供工作电源, 电池的寿命决定了热量表的使用周期。为了提高热量表的使用周期, 首次在可充电锂电池的基础上添加了发电片型号为TEC112706的温差发电装置。详细介绍了温差发电的原理以及相应硬件电路的具体实现方法。该方案大大延长了超声波热量表的使用周期, 减少了能耗, 绿色环保, 通过校验台测试, 产品工作稳定, 性能满足设计要求, 有望推广应用。

高正中¹ 谭冲¹ 赵连成² 张国营¹ 孙钦刚¹ / 1. 山东科技大学信息与电气工程学院 2. 山东能源枣矿集团供电工程处



高正中 / 副教授

在我国北方地区有较长的寒冷季节, 供暖供热是城镇居民冬季生产生活的基本需求^[1]。热量表是测量热交换系统释放或吸收热量多少的关键设备。受限于供电电池的容量, 超声波热量表的使用周期较短^[2], 如何利用供热管道中热水自身带有的能量, 将其转换为电能, 再供给热量表的电源系统是一个新的课题。本文首次采用了一种新颖的温差发电技术来解决热量表不能长期供电的问题。

超声波热量表的工作原理与温差发电系统的系统组成

1. 超声波热量表的工作原理

超声波热量表是在超声波流量计的基础上添加温度传感器实现温度的测量, 通过测出流体的流量和供、回水的温差来计算出向用户提供的热量^[3]。水流经过热交换系统时, 依据流量传感器测出的流量和温度传感器测出的供水温度、回水温度, 以及TDC-GP22测出水流经的时间, 再通过CPU的计算就可以得到该系统所吸收或释放的热量。实际

应用中由于经过热交换系统水的质量都是通过测量水的体积来得出的^[4], 因此热量值的计算方法大多采用欧洲流行的 k 系数法, 其数学表达式如式(1)所示

$$Q = \int_0^V k \Delta \theta dV \quad (1)$$

式中, Q 为吸收或释放的热量, J; V 为载热液体流经的体积, m^3 ; $\Delta \theta$ 为热交换回路中载热液体供回水的温差, $^{\circ}C$; k 为热系数, 它是载热液体在相应压力、温度以及温差下的函数。

2. 温差发电系统的系统组成

温差发电也可以称为热能发电, 是通过塞贝克效应实现热能与电能之间的转换的。当管道内水温与室温存在一定温差时, 温差发电片两端就可产生直流电压, 可靠性较高, 温差为 $1^{\circ}C$ 时就可产生70 mV左右的电压。温差发电系统功能框图如图1所示。本文采用型号为TEC112706的发电片, 热源经过半导体发电片将热能转化为微弱的电压信号, 由于电压信号电压较低, 同时还夹杂着干扰信号, 故不能直接供热量表使用。将此电压信号经过DC-DC升压电路升压, 整流后输出较为平稳的电压, 可以被超声波热量表直接使用。由于超声波热量表采用的是分离型休眠工作模式, 大部分时间处于LPM3模式, 即处于休眠状态, 此时功耗很低, 温差发电系统产生的电量不仅满足热量表的使用, 而且可将多余的电量储存到储能元件中。而当MSP430F4371单片机在AM模式下, 进行流量和温度信息采集或者检定状态时, 起动高速时钟带来较大功耗, 当

关键词/Keywords

超声波热量表 ·
温差发电 ·
TEC112706 ·
TDC-GP22 ·

转化的电量不足, 储能元件将储存的电量释放出来, 补充给热表使用^[5]。

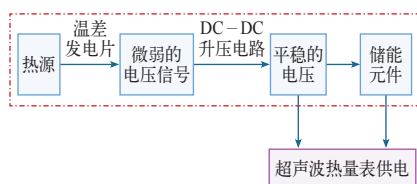


图1 温差发电系统功能框图

热表温差发电电源系统硬件电路

超声波热量表中MSP430F4371单片机和计时芯片TDC-GP22的供电主要来源于两部分: 3.6 V、2 200 mA·h的可充电锂电池和温差发电系统。锂电池与温差发电系统共同为热表供电。当温差发电的电量充足时, 满足热表工作供电需求的同时还可以将多余电量储存在可充电的锂电池中; 当温差较小、长时间处于检定状态, 或者起动机LCD液晶屏的瞬间, 温差发电会产生供电不足的情况下, 锂电池就会作为主电源供电, 来弥补温差发电的不足。热量表电源系统电路图如图2所示。

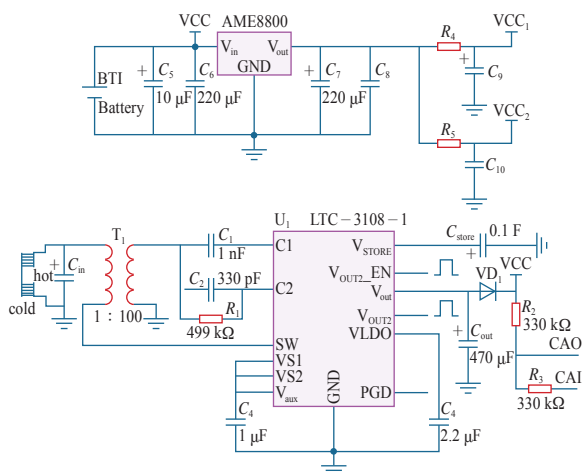


图2 热量表电源系统电路图

图2中 R_4 、 R_5 作为限流电阻。电阻 R_2 、 R_3 连接内部比较器A用来构成电压检测模块。比较器A由模拟输入、比较器A核心、低通滤波器、基准电压部分和中断这五部分组成。通过软件设置将外部模拟输入电压与内部的基准电压进行比较, 用来判断系统电压所处的状态, 以监视系统电压。低频滤波电容 C_7 用来减小输出纹波电压, 高频滤波电

容 C_9 和 C_{10} 用来改善负载的瞬态响应。BTI Battery为3.6 V锂电池, 用作系统主电源。 VCC_1 和 VCC_2 通过稳压器AME8800将3.6 V的电压转化为3.3 V, 用来给TDC-GP22芯片和MSP430F4371单片机供电。当温差发电片两端有一定温差时, 其两端就会产生一定的直流电压信号。此信号经过电容 C_{in} 滤除高频信号后, 经升压变压器一次线圈进入LTC3108-1的SW端口, 通过芯片内部N通道产生自激振荡信号, 从而将直流信号变为交流信号进行升压。升压后的电流经电容 C_1 进入LTC3108-1内部整流器和充电泵开始充电, 然后经过 V_{out} 端口输出。当 V_{aux} 端电压大于2.5 V时, V_{out} 端口开始对电容 C_{out} 充电。当充电完毕, 就可对设备供电。当供电能力大于其输出能力时, 多余的电能便会通过电容 C_{store} 储存起来, 当温差发电片供电能力消失或变弱, 电容 C_{store} 会对系统进行直接供电或电压补偿^[6]。添加二极管 VD_1 是为了防止当温差发电系统电压低于电池电压时, 锂电池反作用于该系统。

实验数据测量结果

1. 超声波热量表功耗参数的测量

本文设计的超声波热量表采用MSP430F4371单片机作为微处理器, 计时测量芯片选用的是ACAM公司最新推出的TDC-GP22。两者的工作电压均为3.3 V, 当热表处于休眠状态时, 平均电流功耗约为5 μ A, 当处于AM状态时, 平均电流功耗约为10 μ A。MCU间歇式工作, 实验中超声波热量表每隔10 s采集一次温度, 每隔1 s采集一次流量, 不工作时处于睡眠状态。具体测量结果如表1所示。

表1 不同状态下超声波热量表功耗

睡眠状态功耗/ μ A (液晶不显示时)	睡眠状态功耗/ μ A (液晶显示时)	工作状态功耗/ μ A (采集数据时, 液晶不显示时)	工作状态功耗/ μ A (采集数据, 且液晶显示时)
5.1	7.1	8.6	10.6

温差发电系统在管道内水温为70 $^{\circ}$ C时, 不但可以满足热表的用电, 而且当检定状态和现场工作状态的信号采样间隔时间统一设计为1 s时, 超声热量表内置电池的使用寿命仍满足(6+1)年

的标准要求^[7]，使用的温差发电装置在使用较小容量电池的情况下，满足了相应指标的要求，避免了使用大容量电池带来的资源浪费，使用温差发电节约了能源，同时保护了环境，更具有推广价值^[8]。

2. 流量的测量

在完成了温差式超声波热量表的整体设计后，经调试可以长时间稳定运行。根据热量表行业标准文件CJ 128—2007^[9]中的规定，本文采用管径为DN25的热表，温度保持在55℃左右的情况下，分别在5个不同的流量点进行了测量，使用称重法^[11]。在型号为RJZ15—25Z的热能表检定装置测得实验数据如图3所示。

3. 5块DN25的热量表校正后的误差。

根据被检测计的额定流量 Q_n 在标准装置上设定不同的流量点（流速）和不同的温度条件，

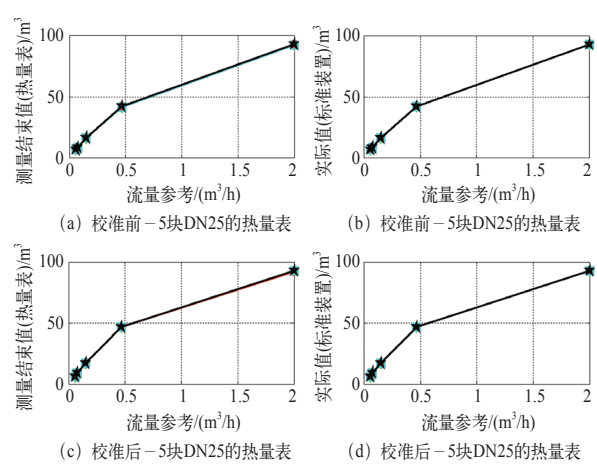


图3 实际测量结果与标准数据对比图

来综合考察被检测计的误差^[10]。所测得的测量结果按下式计算误差： $E = [(示值 - 标准值) / 标准值] \times 100\%$ ，具体实验数据如表2所示。

表2 5块DN25热量表在校正后各自的误差

流量点/ (m³/h)	0.065	0.080	0.150	0.470	2.000
误差要求 (±%)	2.04	2.15	2.47	2.88	3.08
1#表	0.423 313	-0.144 145	-0.160 742	0.778 508	1.096 237
2#表	0.135 496	-0.288 253	-0.621 378	0.565 985	-0.842 080
3#表	-0.690 406	0.162 215	0.320 438	1.129 183	1.432 486
4#表	0.561 535	-0.119 882	0.497 752	-0.208 300	-0.026 130
5#表	0.394 356	-0.305 238	0.037 564	-0.419 534	0.146 210

实验结果表明，使用的温差发电系统在实验室的条件下满足了对准确度的要求，在误差范围内，性能可靠。

结束语

实验表明此温差发电不仅可以满足低功耗要求也可以保证其测量的准确性。此方法有效解决了更换电池的实质性问题，满足（6+1）年的标准要求，同时降低了污染源的使用，绿色环保，有效延长了热量表的使用寿命，保证测量准确度，有望推广应用。

参考文献

[1] 费战波，董意德. 供热分户计量系统解决方案[J]. 建设科技，2014(5)：120-121.
[2] 刘壮. 一种节省电量的超声波热量表的设计与实

现[J]. 机械设计与制造工程，2014(2)：77-78.
[3] 李广峰，刘昉，高勇. 时差法超声波流量计的研究[J]. 电测与仪表，2000(9)：13-19.
[4] 屈永. 超声波热量表的技术研究与设计[D]. 南京：南京理工大学，2014.
[5] 李甲胜. 基于能量收集技术的低功耗超声波热能表的技术研究[D]. 南京：南京理工大学，2011.
[6] CJ 128—2007 中华人民共和国城镇建设行业标准 热量表[S]. 北京：中国标准出版社，2008.
[7] 王贤妮，孙丽华，宋财华. 时差法超声波热量表测量流量的修正算法[J]. 现代制造工程，2013(6)：101-104.
[8] 李世光，孟强强，桑志峰，等. 基于多串口的热量表系数修正软件的设计[J]. 微型机与应用，2012，31(18)：1-4.

(收稿日期：2015-02-10) EA