

一种高精度便携式极低频信号发生器

刘志梅, 杨艳, 陆德康

(宁波东海仪表水道有限公司)

摘要: 介绍了一种高精度的便携式极低频信号发生器。该信号发生器可产生精度万分之 2.5 内、频率 0.001~2KHz 之间的脉冲信号, 并可根据实际应用情况选择占空比 25%、50% 或 75% 输出, 电池或外电源供电。电路的液晶显示带有背光板、可在夜晚或光线较暗的场合清晰读数。本设计基于 MSP430 单片机、分频技术和逻辑门电路, 包含显示和键盘, 精度高、结构紧凑、成本低。本文介绍了相关原理、软硬件设计、测试和应用。测试和分析结果表明, 该信号发生器满足设计要求, 具有很强的实用性。

关键词: 极低频; 高精度; 便携式; 信号发生器

A Portable Ultra-low Frequency Signal Generator with High Precision

Liu ZhiMei, Yang Yan, Lu DeKang

Abstract: This paper introduces a high precision portable ultra-low frequency signal generator. Within the accuracy of 2.5/10000, the signal generator which is powered by battery or external power supply can simulate pulse frequency signals between 0.001 ~ 2 KHZ. And it can choose duty ratios of 25%, 50% or 75% according to the actual application. This design which has advantages of high precision, compact structure and low cost, based on MSP430 microcontroller, frequency division technology and logic gate, contains the display and keyboard. The LCD which displays with a black plant can suitable for the night. The design principles are introduced, and the hardware and software design, test and application is discussed. The Test and analysis results show that it can comply with the design index and has very strong practicability.

Key words: Ultra-low frequency; High precision; Portable; Signal generator

0 引言

极低频信号发生器在电路实验和设备检测中具有十分广泛的用途, 如应用于涡轮流量计的校准和现场调试, 以模拟高精度的频率信号^[1]。因此, 研发一种高精度的便携式极低频率信号发生器尤为必要。通常的频率信号发生器都是借助于精密振荡电路和DSP的锁相环技术, 通过编程实现占空比可调的频率信号^[2-4]。该方法频率受限于单片机的时钟频率, 一般很难实现高精度的极低频率输出, 而且成本较高, 体积较大^[5]。另一种常用方法是通过RC电路、运放等构成信号发生器, 电路复杂, 精度亦很难保证。本文信号发生器适用于精度万分之2.5内、频率0.001~2KHz之间的脉冲信号模拟, 并可根据实际应用情况选择占空比25%、50%或75%输出, 电池或外电源供电, 精度高, 体积小, 便于随身携带和现场应用。

1 系统总体设计

系统的频率输出范围为: 0.001Hz 至 2048.0Hz, 可选的频率档位为 976uHz, 7.8125mHz, 15.625mHz, 31.25mHz, 62.5mHz, 125mHz, 250mHz, 1000mHz, 4.0Hz, 16.0 Hz, 32.0 Hz, 64.0 Hz, 256.0 Hz, 512.0 Hz, 1024.0 Hz, 2048.0 Hz, 频率输出精度满足万分之 2.5。供电方式可选择电池 3.6V 或者外电源 5V-28VDC。输出频率的占空比可调, 可选的档位为 25%, 50%, 75%, 可根据不同的实际应用选择输出。

为实现高精度的极低频信号发生器, 本设计中采用高精度的计数器进行分频以产生所需频率信号, 逻辑门电路以实现占空比可调; 考虑到现场应用的简单方便, 本设计还包含液晶和按键操作、结构紧凑, 便于携带。系统主要由 MSP430 主控制器^[6]、频率信号发生电路、占空比调节电路、输出 LED 指示、LCD 液晶显示和按键输入部分组成, 如图 1 所示。

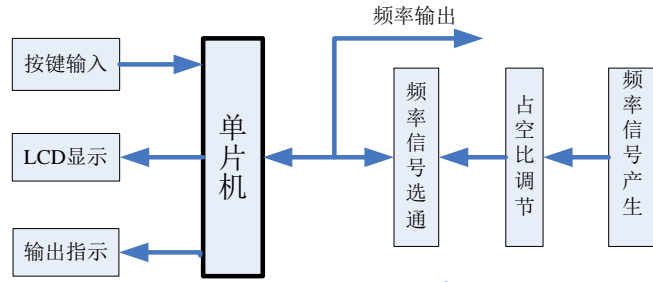


图 1.电路系统整体设计框图

2. 信号发生器的实现

本便携式极低频信号发生器的实现分两个部分，硬件电路和软件程序。

2.1 硬件电路的设计

本设计的频率信号由 14 位二进制异步计数器 MC74HC4060 分频得到，以 1Hz 为分界点，分为两类：4Hz 至 2048Hz（以下简称大频率），0.001Hz 至 1Hz（以下简称小频率）。初始频率信号由晶振 32768Hz 得到，如图 2 所示。

占空比的调节由逻辑门电路产生，基本原理为：频率为 f 、占空比为 50% 的信号与其自身二分频后的 $f/2$ 信号相与时，对应的输出为占空比 25% 的 $f/2$ 频率信号；相或时，对应的输出为占空比 75% 的 $f/2$ 频率信号。其他数值的占空比，可同样根据该原理得到，如图 3 所示。可见，该占空比调节方法非常简单巧妙，且精度高。在实际电路设计中，还需考虑并解决逻辑电路的竞争冒险现象，通常在输出端并上滤波电容。

频率信号选通由两个八选一数字选择器 74HC151 构成 16 选一电路完成，通过按键选择不同的通道，从而对应不同的频率输出。本信号发生器的频率输出由硬件电路产生，其他的外围电路，如按键、LCD 显示、输出 LED 灯指示等功能，由主芯片的 I/O 口控制，结合软件以实现更人性化的设计。如上电默认背光开启，1min 后自动关闭；输出指示 LED 灯可按键设置允许或者禁止；允许时 LED 灯随频率信号闪烁，每个脉冲的低电平，LED 灯亮，以直观指示频率信号的输出。

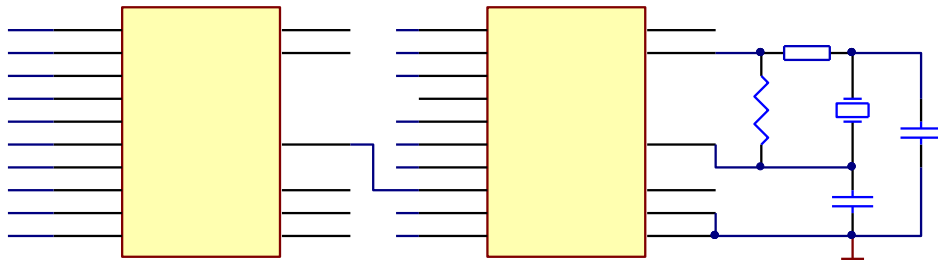


图 2.频率信号产生电路



图 3.占空比调节电路

2.2 软件程序的设计

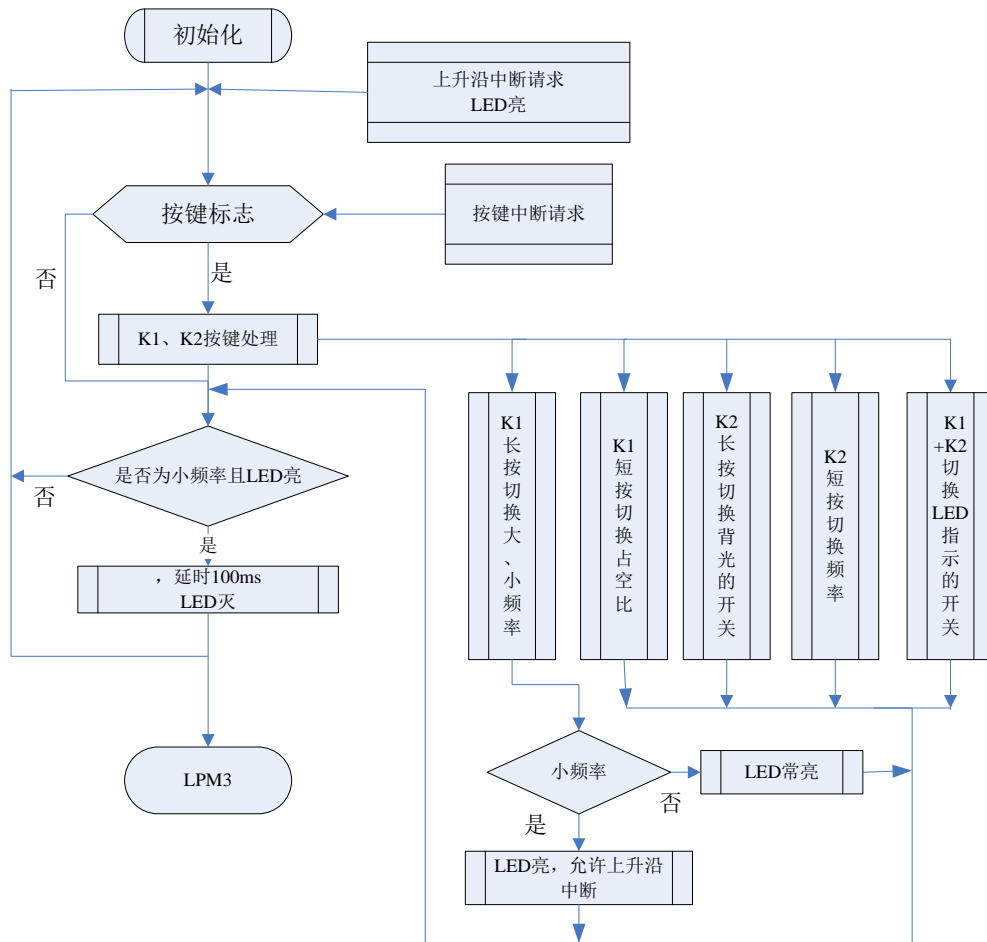


图 4.软件程序流程图

图 4 给出了软件设计流程图。上电后，首先进行系统初始化工作，根据硬件电路的接口情况，配置主芯片的 I/O 口及变量；初始输出频率 2048Hz，50% 占空比；打开背光，并开启定时器 1min 延时；按键通过中断进入，主程序中判断键值，为 K1 或 K2，为长按或短按，从而调用对应的子函数进行档位设置、频率输出及显示。同时主程序中判断标志位，以决定是否允许输出指示 LED 灯的闪烁。空闲时，程序将进入低功耗模式。

2.3 关键技术

本高精度极低频信号发生器的设计，关键的技术之一为占空比的调节，本文通过逻辑门电路的实现方式，简单巧妙。此外，在实际的硬件设计中，输出端的信号必须隔离、互不影响，通过增加或门，或者数据选择器的方式可以使不同的频率、占空比档位独立，但亦增加了元件的数目和电路的复杂性。考虑到结构紧凑，本设计利用主芯片的 I/O 口输出高低电平来控制门电路的电源脚，从而控制占空比调节芯片的工作，无需额外的元器件。

其次，本信号发生器的功耗也是关键点，考虑到可电池供电，硬件电路必须功耗低，且芯片的工作电源范围需尽可能的宽，因此本设计中大部分芯片均选择 74HC 系列。在 LED 指示灯的处理上，当脉冲上升沿到来时，LED 亮，延时 100ms 后，灭。考虑到人眼能识别的最大频率约为 20Hz，且 LED 在闪烁瞬间的功耗较大，本设计默认大频率 4 至 2048Hz 时，LED 灯亮。此外，同时按下 K1、K2，可以选择 LED 灯指示功能的开启或关闭，从而进一步的降低功耗。

3. 性能测试



图 5.本设计信号发生器实物

图 5 为本设计极低频信号发生器的实物。可见，整个硬件电路的尺寸仅 46mm*80mm*1.2mm，重量小于 100g，便于携带，适用于现场的调试及应用。

档位	测量值	相对误差 Δ	占空比(%)		
			25%	50%	75%
2048Hz	2.048015871	0.000775%	/	49.98	/
1024Hz	1.024007975	0.000779%	24.99	49.98	74.99
512Hz	512.0039726	0.000776%	24.99	49.99	74.99
256Hz	256.0019784	0.000773%	25	50	75
64Hz	64.00049812	0.000778%	25	50	75
32Hz	32.00024575	0.000768%	25	50	75
16Hz	16.00012224	0.000764%	25	50	75
4Hz	4.000030525	0.000763%	25	50	75
1000mHz	1.000007647	0.000765%	25	50	75
250mHz	250.0019172	0.000767%	25	50	75
125mHz	125.0009553	0.000764%	25	50	75
62.5mHz	62.50047305	0.000757%	25	50	75
31.25mHz	31.25023217	0.000743%	25	50	75
15.625mHz	15.62511525	0.000738%	25	50	75
7.8125mHz	7.812556606	0.000725%			
976.532mHz		/			

表 1.本文便携式极低频信号发生器测试数据及误差表

表 1 为对本信号发生器采用精密频率计泰克 FCA3100，分辨率 12 位/秒，进行性能测试的数据表格。可见，频率输出均满足万分之 2.5 的精度，且占空比输出也准确可靠。0.001Hz 频率点受精密频率计量程限制，无法测量。

频率	状态	电流/mA	时间/s	平均功 mA · s
2048-4KHz	LED 一直亮	0.048	1/F	0.048
1000-0.9765mHz	脉冲高电平到来亮 100ms， 后熄灭（Duty 为占空比，亮 瞬间 I_S , T_S ；高电平 I_H , T_H ； 低电平 I_L , T_L ；F 为频率）。 平均功耗公式： ($I_H \cdot T_H + I_L \cdot T_L + I_S \cdot T_S$)*F	I_H	T_H	0.027
		0.023	F*Duty-0.1	
		I_L	T_L	
		0.018	F*(1-Duty)	
		I_S	T_S	
		0.350	0.100	
注：上表计算中，假设所有频率和占空比档位选择的概率相等。则总近似功耗为：0.0375mA				

表 2. 本文便携式极低频信号发生器的功耗测试数据

表 2 为本设计的功耗测试数据。可见，系统的整体功耗约为 0.0375mA，若以 1200mA · h 的电池进行供电，约可持续使用 3 年，功耗较低，可采用电池供电。此外，本设计中还增设了电源开关，即在使用时可以打开，外供电或者无需工作时关闭，使电池不耗电。这进一步延长了本便携式极低频信号发生器的电池使用寿命。

4. 结束语

本文设计的便携式极低频信号发生器可模拟精度万分之 2.5 内、频率 0.001~2KHz 之间的脉冲信号，并可根据实际应用情况选择占空比 25%、50%或 75%输出，电池或外电源供电，结构紧凑、成本低，使用简单方便。在仪表的现场标定及故障检测中，具有实际的应用意义。

参考文献

1. 郭建, 朱杰, 周丽. 一种用于涡轮流量计校准的新型信号发生器[J]. 计算机测量与控制, 2011.19(9):2312-2314.
2. 胡学武. 用 AT89C51 实现超低频任意函数发生器[J]. 现代电子技术, 2005 (17) :105-106.
3. 原玢, 李燕杰, 祖静, 杜红棉. 多功能便携式信号发生器设计[J]. 标准、检测与仪器, 2011.35 (15) :138-140.
4. 孙群, 宋卿. 基于 DDS 技术的便携式波形信号发生器[J]. 仪表技术与传感器, 2009 (4) :67-70.
5. 王卫林, 肖建辉. 模拟式超低频信号发生器的研制[J]. 宜春学院学报. 2001.23(2):41-43.
6. 沈建华, 杨艳琴. 16 位超低功耗单片机原理与实践[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.

作者简介：刘志梅（1989-），女，工学硕士，从事流量仪表研究。