

文章编号: 1000-5013(2007)04 0376-03

温补晶振的一种实现方法

王佳斌, 戴在平

(华侨大学 信息科学与工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 提出一种数字控制实现晶振温度补偿的方法. 利用 Matlab 7.0 对采集的数据进行分析处理, 采用多项式拟合和多项式插值建立数学模型, 并使用中值滤波法和程序判断滤波法对数据采集进行滤波, 消除随机噪声对数据的干扰, 以保证数据样本的稳定性. 通过样品实例分析可以看出, 在靠近非线性工作区的测试数据误差较大, 工作电流也较大; 在温度传感器的线性区 $-45 \sim 85 \text{ }^\circ\text{C}$ 的范围内可以对晶振进行有效补偿, 频率的偏差在温度传感器的线性范围内可以控制在晶振频率的 10^{-7} 以内.

关键词: 晶振; 温度补偿; 数字控制; 数字滤波

中图分类号: TP 212. 11; TP 217. 3

文献标识码: A

温度补偿晶振一般要求精度高、工作电流小、体积小, 以及成本低, 目前常见的实现方法有模拟反馈控制和数字反馈控制两种. 数字控制的温补晶振较容易大规模集成, 体积可以做得很小, 工作电流目前最小可以达到 1.5 mA, 频率的偏差控制一般都可以达到晶振频率的 10^{-6} . 本文采用 C8051F411 芯片作为数字温补晶振的控制芯片, 通过选用合理的数学模型及适当的数字滤波, 可以在温度传感器的线性工作范围内, 将频率的偏差控制在晶振频率的 10^{-7} .

1 电路结构

温补晶振的电路结构框图, 如图 1 所示. 图 1 中, C8051F411 芯片是完全兼容 MCS-51 的 8 位高性能单片机, 内部集成高精度温度传感器、12 位模拟/数字(A/D)转换器和 12 位电流型数字/模拟(D/A)转换器. 对于 A/D 连续采样温度传感器的值, 中央处理器(CPU)根据数学模型计算的相应数据, 通过 D/A 放大电路放大输出. 当晶振的频率因为温度的变化而改变的时候, 其输出电压用以调整晶振电路中的变容二极管的输入电压, 校正晶振的输出频率. 最后, 通过晶振输出电路输出稳定的工作频率^[1].

内置温度传感器的典型温度曲线, 如图 2 所示. 由图 2 可知, 其温度传感器的输出电压(U)随温度(t)的升高而升高, 且其线性范围在 $-45 \sim 85 \text{ }^\circ\text{C}$. 内置的 12 位 A/D 转换器具有 $200 \text{ kbit} \cdot \text{s}^{-1}$ 的转换速

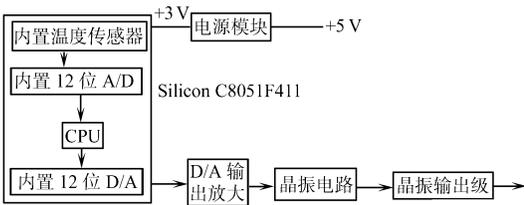


图 1 电路结构框图

Fig. 1 System block diagram

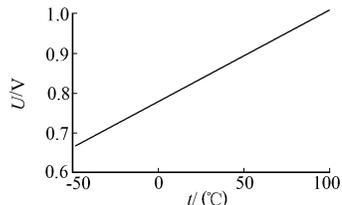


图 2 内置温度传感器温度曲线图

Fig. 2 The temperature curve of temperature sensor

率. 通过对内部寄存器的设置, 可以选择所有的 27 个 I/O 口作为它的模拟量输入引脚, 或选择内部温度传感器作为它的模拟量输入. 有多种 A/D 转换模式供选择, 也可以选择每次转换的次数, 便于实现采集数据的数字滤波. A/D 转换器的启动也有多种方式, 并提供 Burst Mode 的 A/D 转换器启动模式, 只在

收稿日期: 2007-02-17

作者简介: 王佳斌(1974), 男, 讲师, 主要从事智能仪器的研究. E-mail: fatwang@hqu.edu.cn.

基金项目: 福建省自然科学基金计划资助项目(S0650020)

需要转换时由信号激活 A/D 转换器,其他时间处于休眠状态,实现节能作用. 内置的 12 位电流型 D/A 转换器输出电流可编程, D/A 转换器的启动及输出也可编程,提供了使用上灵活的选择^[2-3].

2 样本数据采集

要获得控制系统的数学模型,需要先获得相关 A/D 转换器与 D/A 转换器的样本数据. 由于 C8051F411 芯片的温度传感器、A/D 转换器、D/A 转换器均为内置型的, A/D 转换器与 D/A 转换器的启动、停止会直接影响 C8051F411 芯片的工作电流. 另外, A/D 转换器的采样速率对工作电流的影响很大. 采用不同 A/D 转换器采样速率^[4], 所得到的统计数据,如表 1 所示. 由表 1 可以看出,当采样频率降低时可以明显减小工作电流,同时对内置温度传感器的输出也有影响. 此外, C8051F411 芯片内置温度传感器具有重复性,这在后期的测试中表现很突出. D/A 值有较大差别,特别是在温度曲线两端,这是因为表 1 的两组数据中,左边采用多项式插值的算法,而右边采用多项式拟合的算法.

表 1 样本数据的采集

Tab. 1 The collection of the samples data

序号	t/(°C)	A/D		D/A		U/V	I/mA	序号	t/(°C)	A/D	D/A	U/V	I/mA
		Hex	Dec	Hex	Dec					Dec	Dec		
1	85	0C7E	3 198	0930	2 352	1.460	3.93	1	85	3 200	2 335	1.449	4.77
2	80	0C4C	3 148	0A51	2 641	1.637	3.95	2	80	3 150	2 626	1.625	4.81
3	70	0BF1	3 057	0B8E	2 958	1.831	3.97	3	70	3 059	2 951	1.827	4.82
4	65	0BC3	3 011	0BD6	3 030	1.877	3.93	4	65	3 014	3 024	1.873	4.83
5	60	0B95	2 965	0BE6	3 046	1.888	3.92	5	60	2 968	3 044	1.887	4.84
6	55	0B68	2 920	0BC9	3 017	1.873	3.91	6	55	2 922	3 018	1.873	4.82
7	45	0B0C	2 828	0B20	2 848	1.772	3.88	7	45	2 831	2 854	1.776	4.79
8	35	0AB1	2 737	0A16	2 582	1.613	3.84	8	35	2 740	2 588	1.616	4.75
9	25	0A55	2 645	08DE	2 270	1.427	3.78	9	25	2 658	2 280	1.432	4.70
10	15	09FB	2 555	07B2	1 970	1.246	3.73	10	15	2 558	1 976	1.249	4.65
11	5	09A0	2 464	071C	1 820	1.155	3.70	11	5	2 467	1 821	1.155	4.61
12	0	0972	2 418	0617	1 783	1.131	3.69	12	0	2 422	1 784	1.132	4.60
13	-5	0942	2 370	0608	1 755	1.114	3.67	13	-5	2 373	1 754	1.114	4.58
14	-10	0915	2 325	06E3	1 763	1.123	3.65	14	-10	2 328	1 760	1.121	4.57
15	-20	08BB	2 235	0796	1 942	1.234	3.65	15	-20	2 238	1 931	1.228	4.56
16	-30	0861	2 145	0923	2 339	1.477	3.67	16	-30	2 148	2 318	1.465	4.58
17	-40	0806	2 054	0C23	3 107	1.939	3.72	17	-40	2 058	3 163	1.911	4.62
18	-45	07DA	2 010	0E9B	3 739	2.226	3.75	18	-45	2 013	3 785	2.294	4.66

3 数学模型建立及数字滤波措施

利用 Matlab 7.0 对上述采集的数据进行处理,分别采用了多项式拟合和多项式插值来建立数学模型,如图 3 所示. 通过对 3 种数学模型比较发现,用多项式拟合需要使用 7 次多项式,其精度可以满足要求,但考虑到使用单片机控制,实现 7 次多项式有很大的困难,其运算过程会消耗大量 CPU 运算时间,影响对温度采样的实时控制. 因此,我们最终采用了同样可以达到精度要求的多项式插值方案,其缺点是需要构造一个将近 2 kB 的表格. 为此,我们编制了一个查表程序,使得 A/D 数据到 D/A 数据的转换时间可以非常短,对程序的实时控制效果明显.

通过观察分析数据采集过程中样本数据的波动情况,考虑自然界中温度变化不会有突变,我们在进行样本数据

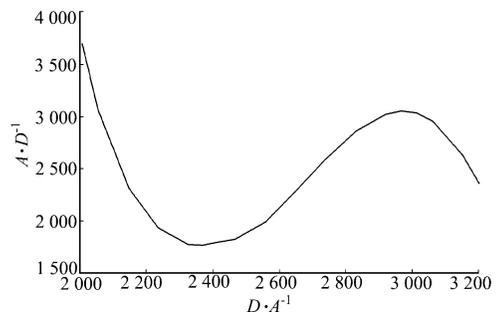


图 3 数学模型

Fig. 3 The mathematic model

采集程序中采用了中值滤波来进行数据平滑. 即每隔一定时间间隔采一次温度值, 共采 18 次, 去除最高和最低值, 以平均值作为一次采样值, 在采集控制程序中结合了中值滤波和程序判断滤波法来处理数据, 同时通过时间间隔的调整, 减少了采到干扰信号的机会和 A/D 转换次数, 间接降低整个晶振的工作电流. 另外, 为了克服数字处理中一个字的误差, 我们也编写了一段窗口函数, 用来克服由于一个字误差引起的频率跳变的问题^[5].

表 2 样品实测数据

Tab. 2 The data of actual test

序号	$t/ (^{\circ}\text{C})$	$\Delta f/ \text{Hz}$	U/ V	I/ mA
1	85	3.9	1.474	3.91
2	80	3.3	1.650	3.92
3	70	1.8	1.841	3.92
4	60	1.4	1.895	3.92
5	50	-0.3	1.835	3.89
6	40	-0.5	1.700	3.85
7	25	-1.4	1.427	3.77
8	15	0.4	1.251	3.74
9	5	0.9	1.161	3.68
10	-20	2.1	1.241	3.65
11	-30	1.6	1.484	3.67
12	-40	5.0	1.956	3.72
13	-45	-1.4	2.332	3.76

4 样品实测数据

表 2 是样品的实测数据, 晶振的频率为 24 MHz. 测试仪器有美国 S&A INC 出产的 S&A 4220 型恒温箱、惠普 HP 5384A 型频率计、Fluke 8840 型数字万用表. 对表 2 中数据分析可以得出以下 3 个结论. (1) 在靠近温度传感器非线性工作区的测试数据误差较大, 这应该与温度传感器的工作特性及当前晶体振荡器的工作曲线有关. (2) 工作电流在靠近温度传感器非线性工作区的两端较大. (3) 在温度传感器的线性区, 频率偏差 Δf 控制得非常好, 达到晶振频率在 10^{-7} 以内的要求.

5 结束语

尽管采用的是微型封装器件, 但由于采用了单片机进行数字控制, 产品的体积和工作电流仍然较大, 可应用于对体积及功耗不敏感但对精度要求较高的大型设备中. 另外, 由于温度传感器内置于 C8051F411 单片机中, 单片机本身的工作电流又会随其内置的 12 位 A/D 转换器和 D/A 转换器的工作而变化. 因此, 在传感器温度曲线的两端 (低于 -40°C 或高于 80°C) 偶尔出现频率轻微波动的现象, 仍需在数字滤波上做进一步的处理.

参考文献:

- [1] 鲍可进. C8051F 单片机原理及应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006: 200-237.
- [2] 黄光辉, 董天临. 16 位 A/D 转换器与微控制器接口设计[J]. 现代电子技术, 2002, (3): 58-60
- [3] 胡志高. AD7705/AD7706 及其应用[J]. 电子产品世界, 2000, (10): 45-47.
- [4] 李华. MCS 51 系列单片机实用接口技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002: 402-405.
- [5] 王佳斌, 戴在平. 模拟 I²C 总线从器件的一种方法[J]. 华侨大学学报: 自然科学版, 2004, 25(2): 206-209.

A Method for Realizing the Temperature Compensated Crystal Oscillator

WANG Jia-bin, DAI Zai-ping

(College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: A method to realize the temperature compensated crystal oscillator is proposed. Dealing sample data by Matlab 7.0 and using polynomial fitting and interpolation to establish the mathematical model, filtering by median filtering and programmer judge filtering to eliminate the disturb of the random noise, and make the sample data steady. Samples analysis show that the way we introduce can make a effective compensation to the crystal oscillator and the frequency warp can be control within 10^{-7} of the crystal oscillator frequency under the linear area of the temperature sensor with $-45\sim 85^{\circ}\text{C}$ while the error of sample data and the working current is bigger at the nonlinear area.

Keywords: crystal oscillator; temperature compensated; digital control; digital filtering

(责任编辑: 黄仲一)