



51系列单片机 系统设计与应用技巧

李刚 林凌 姜苇 编著



北京航空航天大学出版社

51 系列单片机 系统设计与应用技巧

李 刚 林 凌 姜 苇 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

介绍作者经过成功实验检验或成功应用的系统及接口设计、研发和调试中的经验,更有不少巧妙的硬件和软件应用设计实例。本书虽然介绍的是 51 系列单片机系统的设计与应用技巧,但书中所介绍的一些巧妙的设计方法、宝贵的经验和实用的实例,对于从事其他种类单片机应用开发的工程技术人员也有很高的借鉴价值。本书可作为单片机应用开发工程技术人员的参考用书,也可作为工科院校电子、自动化、机电一体化等专业师生、培训班师生、全国大学生电子设计竞赛的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

51 系列单片机系统设计与应用技巧/李刚等编著.
北京:北京航空航天大学出版社,2004.1
ISBN 7-81077-411-5
I. 5… II. 李… III. 单片微型计算机—系统设计
IV. TP368.1
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 120739 号

51 系列单片机系统设计与应用技巧

李 刚 林 凌 姜 苇 编著

责任编辑 朱伟锋

责任校对 戚 爽

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail:bhpress@263.net

河北省涿州市新华印刷厂印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:12 字数:307 千字

2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 7-81077-411-5 定价:18.00 元

前 言

自从 Intel 公司推出 MCS-48 系列单片机以来,单片机迅速在各行各业推广使用。1981 年 Intel 公司推出 MCS-51 系列单片机的最初成员是 8051,由于 8051 具有一系列其他型号 8 位单片机难以比拟的优点,成为事实上的单片机工业标准。在我国,学习 8051 的人数之多,应用之广,更是其他种类的单片机不可比拟的,8051 几乎就是单片机的代名词。时至今日,虽然有成百上千种新型的单片机出现,但 8051 在 8 位单片机中的霸主地位似乎仍然不可动摇。新出现的 8 位新型单片机中,仍然有相当数量的单片机是基于标准 8051 单片机或与其兼容。即便是与 8051 不兼容的单片机,在掌握好 8051 单片机之后,也可以迅速地掌握它。这也是在各个学校开设单片机课程时几乎都是以 8051 单片机作为授课内容的原因。

作者所领导的课题组在研制第一项采用单片机作为控制核心的测控系统时,就是选用 8031 单片机。20 年过去了,课题组完成了和正在进行着几十项涉及单片机的科研工作,其中多数的科研项目采用的是 8051 或与其兼容的单片机,在完成这些单片机应用的科研项目时,获得了很多的经验和教训。总结这些经验和教训,不仅有助于我们自己今后的学习和工作,更有助于新进课题组的研究生和大学生们学习、掌握单片机。在将本书中部分材料发给研究生后,他们普遍感到很有借鉴价值,由此而诱发我们把过去的有关单片机应用开发方面的经验整理出来与大家交流的想法,这就是这本小册子产生的来由。也正由于此,该书存在系统性较差等缺点。但不管怎样,我们相信该书对于刚开始学习和从事单片机应用的工程师和研究生、大学生有较高的借鉴价值。

综上所述,本书是课题组 20 年来单片机开发经验的总结,是课题组全体人员智慧和工作的结晶。作为课题组负责人想借此机会,向已奔赴世界各国、国内各地和仍在的课题组工作和学习的人员致意,感谢他们对课题组的卓越贡献和深情合作。这里特别要感谢下列女士和先生们:何宏献、郭文力、马建英、刘巍、王秀红、俞岳、何阳、何峰、王霞、尚喜团、吴开杰、叶文宇、邵蔚、相韶霞、湛雅琴、李素芬、王朔、丁茹、刘理、郝丽宏、解国明、安会霞,本书直接采用了他们的成果和经验。

作者

2003 年春于北洋园,天津大学

目 录

第一章 传感器接口设计

1.1 新型阻抗型传感器接口方法	1
1.1.1 新型阻抗型传感器的接口方法	2
1.1.2 80C51 测量程序	2
1.2 双轴加速度传感器 ADXL202	5
1.2.1 工作原理	6
1.2.2 应用设计	7
1.2.3 应用实例	10
1.2.4 与 80C51 的接口与程序	11
1.3 差动变压器式传感器的接口芯片 AD2S93	11
1.3.1 AD2S93 的内部结构和工作原理	11
1.3.2 电路参数设计	13
1.3.3 应用接口电路	15
1.3.4 与 80C51 的接口电路与程序	17
1.4 数字温度计和控温器 DS1625	17
1.4.1 引脚功能	17
1.4.2 工作原理	17
1.4.3 与 80C51 的接口电路与程序	20

第二章 键盘接口与电源开关

2.1 独立式按键程序的设计	21
2.1.1 程序设计中考虑的问题	21
2.1.2 程序实例	23
2.2 高可靠性 PWM 式键盘	27
2.2.1 PWM 式键盘接口电路	28
2.2.2 接口程序	30
2.3 轻触式电源开关	32
2.3.1 极为简单的轻触式电源开关	33
2.3.2 可开闭自身电源的轻触式电源开关	33
2.3.3 基本的轻触式电源开关	34
2.3.4 上电时状态确定的电源开关电路	35
2.3.5 结构简单的轻触式电源开关电路	35
2.3.6 同时控制两组电源的轻触式电源开关电路	36

2.3.7 可由单片机自行控制的轻触式电源开关·····	37
2.3.8 带稳压的轻触式电源开关·····	37

第三章 存储器接口与管理

3.1 单片机应用系统中的大容量存储器的接口·····	38
3.1.1 直接扩展外部存储器的接口电路·····	38
3.1.2 并行增加地址线扩展大容量存储器·····	39
3.1.3 串行扩展 I/O 口 ·····	41
3.2 单片机应用系统中存储器接口的低功耗设计·····	42
3.2.1 RAM 的低功耗设计 ·····	42
3.2.2 降低 CPU 功耗的方法 ·····	43
3.2.3 EPROM 和 A/D 芯片的降耗接口 ·····	44
3.3 系统 RAM 的自检方法 ·····	44
3.4 程序存储器的自检方法·····	47
3.5 外部数据存储器空间的数据快速传递·····	48
3.5.1 纯软件方法·····	48
3.5.2 硬件支持下的软件方法·····	50
3.5.3 以硬件为主的数据快速传递方法·····	51
3.6 新型大容量 Flash 芯片——K9K2GXXU0M ·····	52
3.6.1 K9K2GXXU0M 的性能 ·····	52
3.6.2 K9K2GXXU0M 的结构和功能 ·····	53
3.6.3 K9K2GXXU0M 的工作状态 ·····	56
3.6.4 与 51 系列单片机的接口与程序 ·····	59

第四章 显示器接口

4.1 通用 8 位 LED 数码管驱动电路 ICM7218B ·····	70
4.1.1 ICM7218B 的内部结构与引脚配置 ·····	70
4.1.2 ICM7218B 在单片机系统中的应用 ·····	72
4.2 串行接口 8 位数字 LED 显示驱动器 MAX7219 ·····	73
4.2.1 工作原理·····	74
4.2.2 应 用·····	75
4.3 液晶显示模块 KS0713 及其应用 ·····	76
4.3.1 基本原理·····	76
4.3.2 指令系统·····	79
4.3.3 KS0713 液晶模块的应用 ·····	80
4.4 大规模液晶显示器 EG7012C-AR 及其控制器 SED1330 ·····	81
4.4.1 高分辨率液晶显示器 EG7012C-AR 简介·····	81
4.4.2 液晶控制器 SED1330 ·····	82
4.4.3 液晶控制器 SED1330 的指令 ·····	86

4.4.4 EG7012C-AR 和 SED1330 与 80C51 的接口	87
4.4.5 EG7012C-AR 在医学仪器中的应用	88
4.5 点阵式液晶显示器的波形快速显示方法	91
4.5.1 液晶显示器显示波形原理	91
4.5.2 波形快速显示方法	93

第五章 通信接口设计

5.1 扩展并行 I/O 口的简单方法及其问题	95
5.2 光电隔离并行通信接口	96
5.2.1 电路原理	97
5.2.2 传输软件	98
5.3 基于脉宽调制的新型串行通信方法	99
5.4 基于 IIC1.0 的时钟芯片应用程序设计	103
5.4.1 X1203 内部结构和工作特性	104
5.4.2 运用虚拟 I ² C 总线软件包 VIIC 设计时钟芯片 X1203 的应用程序	107
5.5 SPI 串口的模拟	109
5.5.1 SPI 总线接口概述	110
5.5.2 SPI 总线接口逻辑时序	111
5.5.3 SPI 串行总线在 51 系列单片机中的实现方法	112
5.6 具有节能闲置模式的单电源串行口收发器 ADM3311E	114
5.6.1 工作原理	115
5.6.2 ESD/EFT 瞬间保护设计	118

第六章 信号处理与软件设计技巧

6.1 自适应相干模板法在 51 系列单片机中的实现	122
6.1.1 自适应相干模板法	122
6.1.2 单片机实现	124
6.2 数学形态滤波器及其在单片机系统中的应用	130
6.2.1 数学形态滤波器的基本原理	131
6.2.2 数学形态滤波器在心电图机中的应用	132
6.2.3 在单片机上的快速实现	136
6.3 一种单片机定时中断服务程序的设计方法	137
6.3.1 中断服务程序的假返回	137
6.3.2 启动另一个定时中断	138
6.3.3 触发外部中断	138
6.4 基于 8051 单片机的高性能软件 PWM	138
6.4.1 高性能 8 位软件 PWM	138
6.4.2 高性能 16 位软件 PWM	142
6.5 软件抗干扰技术	146

6.5.1 实施软件抗干扰技术的前提	146
6.5.2 软件抗干扰技术	147
6.5.3 小 结	151

第七章 其它电路与软件技巧

7.1 复位电路	152
7.2 P2 口总线/口线复用技术的实际应用	154
7.2.1 实例 1	154
7.2.2 实例 2	156
7.3 一种新型电流/脉宽转换电路及其应用	158
7.3.1 电流/脉宽转换电路结构和原理	158
7.3.2 电路参数的选取及讨论	159
7.3.3 应用设计	160
7.3.4 小 结	162

第八章 系统调试经验与应用系统设计实例

8.1 固化程序后单片机用户系统不运行的分析	163
8.1.1 实例分析	163
8.1.2 小 结	165
8.2 基于单片机的溶断仪	165
8.2.1 系统硬件	166
8.2.2 系统软件	169
8.3 CIHANG-2000 型微型多功能心电图机	169
8.3.1 系统硬件	170
8.3.2 系统软件	173
8.4 微型液晶显示数字存储示波器	174
8.4.1 硬件电路设计	174
8.4.2 软件设计	176
8.5 多导同步体表子宫电数据采集系统的研制	178
8.5.1 EHG 信号的特点	178
8.5.2 数据采集系统硬件部分	179
8.5.3 数据采集系统软件部分	181
8.5.4 数据采集方法与结果	183
8.5.5 小 结	184

第一章 传感器接口设计

本书主要介绍 51 系列单片机的应用系统的设计技巧与实例,因此,本章不会系统而全面地介绍传感器的接口设计,只介绍作者在设计传感器接口电路时所选用的便于与 80C51 单片机接口的集成化传感器接口电路,所采取的一些特殊设计方法、技巧和经验。作者深信这些单片机应用系统的设计方法,对读者有一定的借鉴和启发意义。

对于标准的 80C51 单片机,由于其本身没有任何模拟信号处理能力,而绝大多数的被检测信号是模拟信号,因此,便于与 80C51 单片机接口的传感器接口应该具备有数字信号输出,而这类集成化电路必然是大规模集成电路。选用这些集成电路将有助于简化系统,提高可靠性。

传感器中有很很大一部分是阻抗型,即它们的阻抗随被测量变化而变化。本章介绍了一种基于 80C51 的新型阻抗型传感器的接口方法。这种方法利用阻抗/频率变换电路实现传感器的准数字化,再巧妙地利用 80C51 单片机的脉宽测量功能实现传感器的接口。为提高测量精度,可以利用分频器或单片机的定时/计数器对被测脉冲信号进行分频。这种方法简单易行,灵活方便,可广泛用于各种测控系统和仪器仪表中。

1.1 新型阻抗型传感器接口方法

传感器可以分为两大类,即有源传感器和无源传感器。前者不需要外加驱动信号,在被测量的作用下就会输出电信号,如光电池在光的作用下输出电压和电流,压电晶体在外力的作用下输出电荷。而后者在被测量的作用下,传感器的电阻、电容或者是电感会发生变化。这类传感器种类繁多,如热电阻、电容传感器、电感传感器、压力硅等等。一般情况下,这类传感器需要外加驱动信号才能工作。图 1-1 所示是常规的无源传感器的信号检测与处理框图。通常传感器的信号调理电路是把传感器的参数变化转换成电压信号,然后经过放大和滤波等处理后,由模/数转换器转换成计算机可以处理的数字信号。但是,这样的电路结构十分复杂,体积也较大,成本高,抗干扰性能也差。

综上所述,常规的无源传感器的信号处理方式不仅电路复杂,还需要高精度的驱动信号,驱动信号的质量直接影响电路的测量精度。

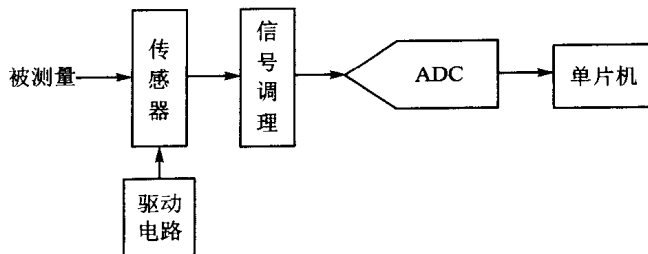


图 1-1 常规传感器接口电路

1.1.1 新型阻抗型传感器的接口方法

为了避免传统的传感器接口电路的缺点,这里提出一种新型的阻抗型传感器的接口电路,以满足电路结构简单、抗干扰性能好以及测量精度提高等多方面的需要。

新型的阻抗型传感器的接口电路如图 1-2 所示。以阻抗型传感器构成振荡器中的选频元件,因而振荡器的输出周期或频率与传感器的阻抗相关,也即与被测量有关。

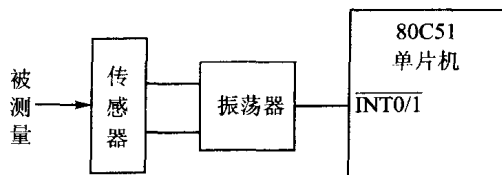


图 1-2 新型阻抗型传感器的接口方法

新型阻抗型传感器的接口方法具有以下优点：

- 以传感器阻抗(电感、电容或电阻)构成振荡器。振荡器的输出信号频率(或周期)与传感器的参数为一一对应的线性单调函数关系。振荡器的输出信号经过分频器分频后,作为参数型传感器接口电路的最后输出信号,因而测量精度高。
- 整体结构简单易制造,产品体积小,成本低且灵敏度高,测量范围广,操作方法简单灵活;市场前景广阔,社会和经济效益显著。

图 1-3 和图 1-4 分别给出了电容传感器和电感传感器构成振荡器式接口电路的实例。

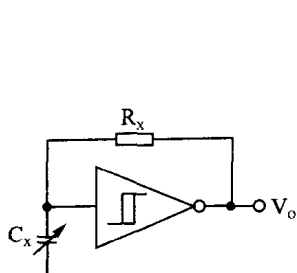


图 1-3 电容传感器的接口方法

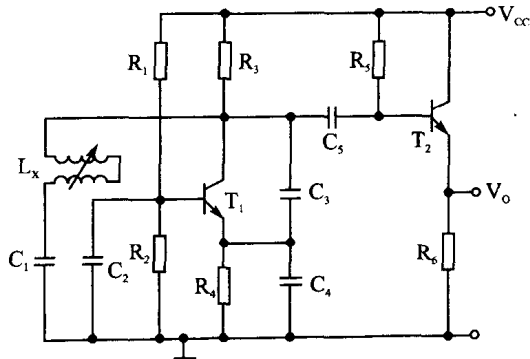


图 1-4 电感传感器的接口方法

在图 1-3 中, C_x 也可以是固定电容,而 R_x 是变电阻传感器。整个电路既可作为电容传感器的接口电路,也可作为电阻传感器的接口电路。

1.1.2 80C51 测量程序

标准 80C51 单片机的定时/计数器有一种测量脉宽方式。其原理是利用 $\overline{INT0}$ 或 $\overline{INT1}$ 脚作为定时器/计数器 T0 或 T1 的控制端,当 TR0 或 TR1 置 1 并且 GATE 也置为 1 时,只有 $\overline{INT0}$ 或 $\overline{INT1}$ 脚为高电平,相应的定时器/计数器 T0 或 T1 才被选通工作,对内部或外部时钟脉冲进行计数。下面为 80C51 的测量程序。

入口:传感器的输出信号输入到 80C51 的 $\overline{INT0}$ 引脚。

出口：脉宽测量值的低、高位分别放在 30H 和 31H。

程序清单如下：

```

PWL EQU 30H           ; 脉宽测量值低位
PWH EQU 31H           ; 脉宽测量值高位
:
ORG 0003H             ; 外部中断
LJMP EX0INT
:
MAIN: MOV TH0, A       ; 脉宽测量定时器清 0
      MOV TL0, A
      MOV TMOD, #00001000B ; 设置 T0 工作在 16 位定时器模式, 打开选通门
      SETB EA          ; 开放总中断
      SETB IT0         ; 设置 INT0 为下降沿触发模式
      JB P3.2 $        ; 等待低电平
      SETB TR0         ; 启动定时器 T0
      SETB EX0         ; 允许 INT0 中断
      :
EX0INT: CLR TR0        ; 关闭计数器
        MOV PWL, TL0   ; 读取脉宽值
        MOV PWH, TH0
        RET            ; 返回
  
```

为了进一步提高测量精度,可以将振荡器的输出信号分频后输入到 80C51,如图 1-5 所示。根据误差理论,将 N 次测量的平均值作为测量结果,其精度提高 $\sqrt{N}$ 倍。但实际上,由于作为计时脉冲的单片机系统时钟的频率不可能很高,精度也有限,加上电路的速度有限,实际精度不可能提高到理论值。但该方法能够大幅度提高脉宽测量的精度是确信无疑的。



图 1-5 采用分频器提高测量精度的原理图

图 1-6 所示的电路,利用集成了振荡器和分频器的廉价中规模芯片 CD4060,与电阻或电容传感器构成了极为简洁的传感器接口电路。

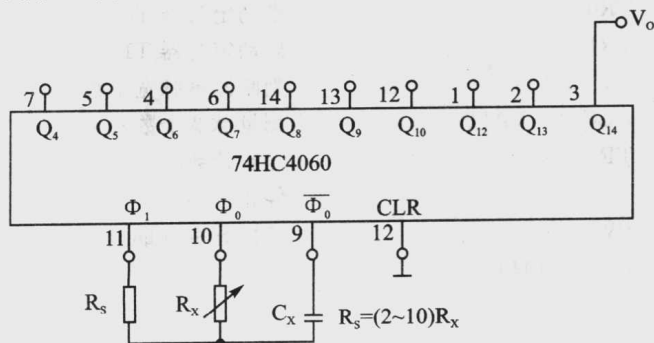


图 1-6 采用分频器提高测量精度的电路图

图 1-7 所示的电路采用“异或”门控制被测脉冲的极性,并利用软件分频器(计数器,由定时器/计数器 T1 实现)提高测量精度。该电路的测量方法是:设置定时器 T0 为定时器方式(模式 1),并设置 GATE=1,将定时器 T0 和 31H(高位字节)以及 30H(低位字节)作为 32 位定时器对被测脉宽进行测量。T1 作为测量脉宽个数计数器。工作时先将各定时器(计数器)清 0,再通过 T0 引脚选择被测脉冲的电平极性,然后通过 T1 或 $\overline{\text{INT0}}$ 判断这两个引脚的电平。在低电平时打开定时器 T0 和 T1。当 T1 和 $\overline{\text{INT0}}$ 两个引脚的电平变为高时, T0 在 $\overline{\text{INT0}}$ 引脚的控制下开始计数。当 $\overline{\text{INT0}}$ 引脚变为低电平时, T0 停止计数,但在此时定时器 T1 加 1,对被测脉宽的个数进行计数。在 T1 和 $\overline{\text{INT0}}$ 两个引脚的电平再变为高时, T0 在 $\overline{\text{INT0}}$ 引脚的控制下又开始计数。如此循环,直到 T1 中的数字等于预定的测量脉宽个数。读出定时器 T0 和 30H、31H 中的数据,再除以测量脉宽个数,即得到被测脉宽数。特别地,如果测量脉宽个数设定为 256 或 65 538,则只要读出 T0 中的高位字节、30H 和 31H

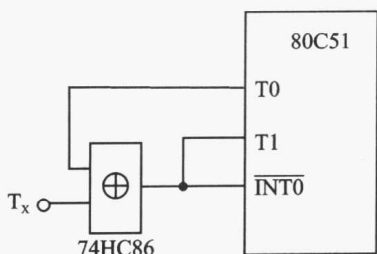


图 1-7 利用软件分频器提高测量精度

中的数据就是测量结果。

根据前面的介绍,下面给出测量脉宽的程序。在该程序中,假定测量脉宽个数为 256。测量被测脉冲的高电平宽度。

入口:传感器的输出信号输入到 80C51 的 $\overline{\text{INT0}}$ 引脚。

出口:脉宽测量值的 4 个字节由低到高分别放在 30H、31H。

```

PWL EQU 30H          ; 脉宽测量值低位
PWH EQU 31H          ; 脉宽测量值高位
:
MAIN: MOV A, #0        ; 脉宽测量定时器清 0
      MOV TH0, A
      MOV TL0, A
      MOV PWL, A
      MOV PWH, A
      MOV TH1, A        ; 清除脉宽个数计数器
      MOV TL1, A
      MOV TMOD, #01001000B ; 设置 T0 工作在 16 位定时器模式,打开选通门
                          ; 设置 T1 工作在 16 位计数器模式
      JB P3.2, $        ; 等待低电平
      SETB TR0          ; 启动定时器 T0
      SETB TR1          ; 启动定时器 T1
WAIT: MOV A, TH1        ; 判断测量脉宽个数
      JNB ACC.1, WAIT   ; 测量脉宽个数等于 256?
      CLR TR0           ; 停止计数
      CLR TR1           ; 停止计数
      MOV PWL, TL0      ; 读出脉宽测量值
      MOV PWH, TH0
      :

```

```

T0INT:  PUSH PSW                ; 定时器 0 中断
        PUSH ACC
        INC  PWL                ; 脉宽值高 16 位加 1
        MOV  A,PWL
        JNZ  T0INTEND
        INC  PWH
T0INTEND: POP  ACC
        POP  PSW
        REIT                    ; 返回

```

该程序利用被测脉冲为低电平时进行有关操作,这就要求被测脉冲低电平的持续时间要大于 3 个指令周期,在系统时钟为 12 MHz 时为 $3\mu\text{s}$ 的时间。被测信号最小周期不短于 18 个指令周期。在设计时应该注意这些基本数据。

1.2 双轴加速度传感器 ADXL202

ADXL202 是一种低成本、功耗低、功能完善的双轴加速度传感器,其测量范围为 $\pm 2\text{ g}$ 。ADXL202 既能测量动态加速度(如振动加速度),又能测量静态加速度(如重力加速度)。

ADXL202 可输出数字信号,其脉宽占空比与两根传感轴各自所感受到的加速度成正比。这些信号可直接传输给单片机,而不需 A/D 转换或附加其他电路。输出信号周期在 0.5~10 ms 范围内,可用外接电阻 R_{set} 调节。如果需要与加速度成正比的模拟电压输出,则可从 X_{FILT} 和 Y_{FILT} 引脚输出信号,或者使用对脉宽占空比输出信号滤波后的信号。

ADXL202 的带宽可以通过电容 C_X 和 C_Y 在 0.01 Hz~5 kHz 的范围内设定。其典型噪声值为 $500\text{ }\mu\text{g}/(\text{Hz})^{1/2}$,60 Hz 带宽时的分辨率为 5 mg。

ADXL202 采用 14 引脚表面封装。有两种工作温度范围:商业温度范围为 $0\sim 70\text{ }^\circ\text{C}$,工业温度范围为 $-40\sim +85\text{ }^\circ\text{C}$ 。

图 1-8 和图 1-9 分别为 ADXL202 的功能结构框图和引脚排列图。表 1-1 所列是其引脚功能。

表 1-1 ADXL202 的引脚及功能

引脚序号	名 称	功 能
1,6,8	NC	空置端
2	VTP	检测端
3	ST	自我测试端
4,7	COM	公共接地端
5	T_2	外接 R_{OUT} ,可设定 T_2 周期
9	Y_{OUT}	Y 轴脉宽信号输出端
10	X_{OUT}	X 轴脉宽信号输出端
11	X_{FILT}	连接 Y 滤波电容
12	X_{FILT}	连接 X 滤波电容
13	V_{DD}	电源端,接 $+3\sim +5.25\text{ V}$,与 14 引脚相连
14	V_{DD}	电源端,接 $+3\sim +5.25\text{ V}$,与 13 引脚相连

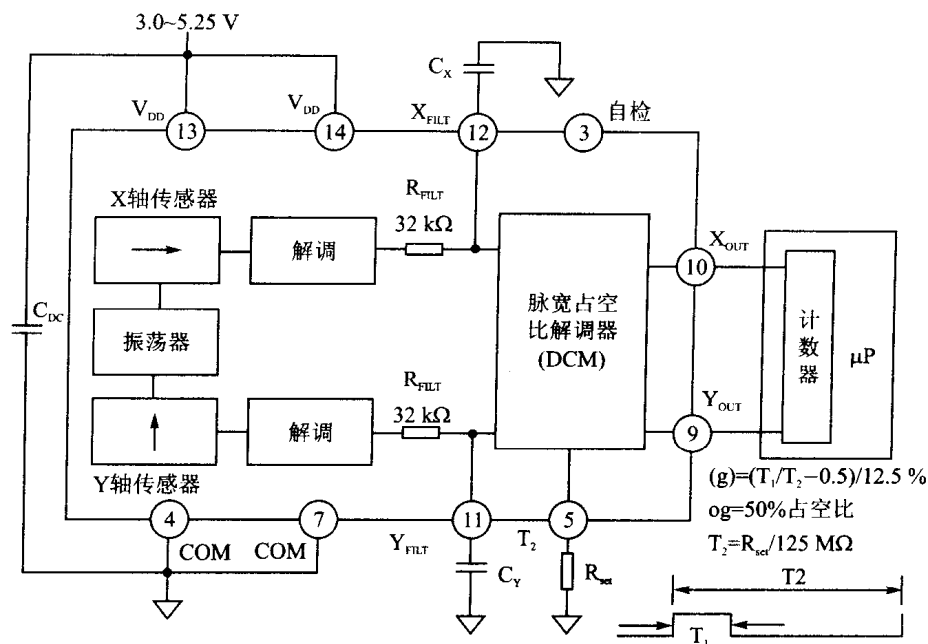


图 1-8 ADXL202 功能结构框图

ADXL202 具有以下特点：

- 是集双轴加速度传感器于一体的单块集成电路；
- 既可测量动态加速度，又可测量静态加速度；
- 具有脉宽占空比输出；
- 低功耗，工作电流小于 0.6 mA；
- 响应快；
- 每根轴的带宽均可通过电容调整；
- 60 Hz 带宽时的分辨率为 5 mg；
- 直流工作电压为 3~5.25 V；
- 可承受 1 000 g 的剧烈冲击。

ADXL202 可应用于如下领域：

- 斜度测量；
- 惯性导航；
- 地震监视装置；
- 交通安全系统；
- 电池供电的运动测量装置。

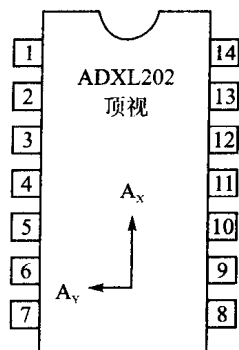


图 1-9 ADXL202 引脚排列图

1.2.1 工作原理

ADXL202 是基于单块集成电路的、完善的双轴加速度测量系统。它是一个以多晶硅为表面的微电机传感器和信号控制环路来执行操作的开环加速测量结构。对每根轴而言，输出环路将模拟信号转换为脉宽占空比的数字信号。这些数字信号直接与微处理器接口。ADXL202 可测量正负加速度，测量范围为 ± 2 g。ADXL202 也可测量静态加速度，亦可用作

斜度测量。

传感器采用在硅片上经表面微加工的多晶硅结构,用多晶硅的弹性元件支撑它,并提供平衡加速度所需的阻力。结构偏转是通过由独立的固定极板和附在移动物体上的中央极板组成的可变电容来测量的。固定极板通过方波的每 π 个相位控制。加速度计受到产生加速度的力的影响,改变了可变电容的平衡,使输出方波的振幅与加速度成正比。而相位解调技术用来提取信息,判断加速方向。

解调器的输出通过 32 k Ω 的固定电阻输出到脉宽占空比解调器。这时,允许用户改变滤波电容的大小来设置输出信号的带宽。这种滤波提高了测量的精度,并有效地防止频率混叠。

经过低通滤波后,模拟信号由 DCM(脉宽占空调制器)转换为脉宽占空比信号。通过一个电阻 R_{set} 将 T_2 设定在 0.5~10 ms 范围内。在 0 g 加速度时使输出占空比为 50 %。加速度可由一计数/计时器或低功耗单片机通过测量 T_1 、 T_2 来测得。

模拟输出信号可通过以下两种方法获得:一种从 X_{FILT} 和 Y_{FILT} 引脚得到;另一种是通过 RC 滤波器对脉冲信号滤波后得到的 dc 值推算。

1.2.2 应用设计

ADXL202 的应用设计包括选择信号周期、滤波电容(决定信号的频带)、分辨率和测量时间。下面分别介绍。

1. 引脚连接

V_{DD} : ADXL202 有两个电压输入引脚 13 和 14。这两个引脚应直接与电源相连。

COM: ADXL202 有两个接地引脚 4 和 7。它们应直接相连并接地。

VTP: 该引脚应保持开路,不与其他任何引脚相连。

V_{DD} 与 COM 引脚:其间连接退耦电容 C_{DC} ,推荐使用 0.1 μF ,形成电源退耦电路。

ST: 自检输入端。当 ST 接 V_{DD} 时,将加一个静电压使传感器的中心电容极板发生偏转,等效于施加一个加速度力,帮助用户检查加速度计的功能。输出信号脉宽占空比为 10 %,相当于 80 mg 的加速度。平时该引脚可开路,亦可与 COM 引脚相连。

2. 设置脉宽占空比信号

ADXL202 的数字输出是脉宽占空比调制信号, T_1/T_2 与被测加速度成正比。0 g 时,ADXL202 的输出为 50 % 占空比。灵敏度为每 g 所引起的脉宽占空比变化 12.5 %。0 g 时的失调和系统误差会影响实际输出值。

不必每次都测量 T_2 ,只需在温度变化后适时修正。既然 T_2 是 X 和 Y 两路共有的,因此只需一次测量一路的 T_2 值就行。

(1) 使用 C_x 和 C_y 的设定频带

ADXL202 有两个 X_{FILT} 和 Y_{FILT} 引脚,可外接电容来设定频带。电容必须安装在紧靠引脚处,用以去混叠和抑制噪声。3 dB 带宽计算公式如下:

$$F_{-3dB} = 1/[2\pi(32 \text{ k}\Omega) \times C_{(X,Y)}]$$

或简化为

$$F_{-3dB} = 5 \mu F / C_{(X,Y)}$$

R_{FILT} 可在额定值 $32 \text{ k}\Omega$ 的 $\pm 25\%$ 范围内变动,相应地,带宽也随之变化。另外,在任何情况下, $C_{(X,Y)}$ 的最小电容值为 $1\,000 \text{ pF}$ 。表 1-2 给出了滤波电容 C_X 和 C_Y 与信号带宽的关系。

(2) 利用 R_{set} 设定 DCM 的周期

有两个通道的 DCM 的周期是通过电阻 R_{set} 来设定的。计算公式为

$$T_2 = R_{set} / 125 \text{ M}\Omega$$

式中, R_{set} 的单位为 Ω 。 $125 \text{ k}\Omega$ 的电阻将周期设定为 1 ms 左右。器件可在周期 $0.5 \sim 10 \text{ ms}$ 范围内运行,也可由表 1-3 来选择 R_{set} 。

表 1-2 滤波电容 C_X 和 C_Y 的选择

带 宽 / Hz	电容值 / μF
10	0.47
50	0.10
100	0.05
200	0.027
500	0.01
5 000	0.001

表 1-3 T_2 与 R_{set} 的关系

T_2 / sm	R_{set} / $\text{k}\Omega$
1	125
2	250
5	625
10	1 250

注意:即使只需要一个模拟输出端,也必须使用 R_{set} 。在需要从 X_{FILT} 和 Y_{FILT} 两个引脚输出信号时, R_{set} 的阻值可在 $500 \text{ k}\Omega$ 和 $2 \text{ M}\Omega$ 之间选取。 R_{set} 应安装在靠近 T_2 引脚处,以使分布电容最小。

3. 滤波器的设计

ADXL202 的带宽选择决定测量精度(测量最小的加速度)。滤波可降低噪音,提高加速度测量仪的分辨率。分辨率取决于 X_{FILT} 和 Y_{FILT} 的滤波带宽以及单片机的计算速度。

ADXL202 的模拟信号输出具有典型的 5 kHz 带宽。用户必须对信号进行滤波处理以减少频率混叠。为了使 DCM 的误差最小,模拟带宽应比 DCM 的频率低 $1/10$ 。在实际应用中,模拟带宽可提高至 DCM 频率的 $1/2$,但这可能导致 DCM 的动态误差增大。

模拟带宽可进一步减小,从而降低噪声,提高分辨率。ADXL202 的噪声特点是在所有频率下都是同样大的白色高斯噪声,以 $\mu\text{g}/(\text{Hz})^{1/2}$ 为单位。换句话说,噪声与加速度信号带宽平方根成正比。因此,建议用户将带宽限制为实际应用所需的最低频率,以使分辨率和加速度计的动态范围达到最大。

ADXL202 的典型噪声值可用以下公式计算:

$$\text{噪声(均方值)} = [500 \mu\text{g}/(\text{Hz})^{1/2}] \times (1.5 \text{ BW})^{1/2}$$

例如:100 Hz 时的噪声均方值为

$$[500 \mu\text{g}/(\text{Hz})^{1/2}] \times (1.5 \times 100)^{1/2} = 6.12 \text{ mg}$$

通常噪声峰值是确定的,可通过均方值来估计(参考表 1-4)。

表 1-5 给出了 ADXL202 在不同的 C_X 和 C_Y 值时的噪声峰值。

表 1-4 噪声的估计峰值

噪声额定峰值/rms	噪声超过峰值的时间/%
2.0	32
4.0	4.6
6.0	0.27
8.0	0.006

表 1-5 不同的 C_X 和 C_Y 值时的噪声峰值

带宽/Hz	$C_X, C_Y/\mu F$	噪 声/rms	噪声峰值 (概率 95%)/(rms $\times 4$)
10	0.47	1.9	7.6
50	0.10	4.3	17.2
100	0.05	6.1	24.4
200	0.027	8.7	35.8
500	0.01	13.7	54.8

4. T_2 和分辨率

加速度计的分辨率由噪声水平决定,同时还与单片机在测量脉宽占空比信号时的分辨率有关。

ADXL202 的脉宽占空比信号具有 14 位的分辨率。加速度信号的实际分辨率还受脉宽占空比信号测量装置的分辨率的限制。计算器运行速度越快,对给定的分辨率而言,脉宽调制信号的分辨率越高, T_2 越短。表 1-6 给出了它们之间的关系。需要注意的是,这还依赖于单片机的分辨率,加速度计上的噪声有可能降低分辨率。

表 1-6 单片机的计数时钟、 T_2 和脉宽调制信号的分辨率

T_2 /ms	$R_{set}/k\Omega$	ADXL202 采样频率/Hz	计数时钟 频率/MHz	每 T_2 时间 内计数值	每 g 计数值	分辨率/mg
1.0	124	1 000	2.0	2 000	250	4.0
1.0	124	1 000	1.0	1 000	125	8.0
1.0	124	1 000	0.5	500	62.5	16.0
5.0	625	200	2.0	10 000	1 250	0.8
5.0	625	200	1.0	5 000	625	1.6
5.0	625	200	0.5	2 500	312.5	3.2
10.0	1 250	100	2.0	20 000	2 500	0.4
10.0	1 250	100	1.0	10 000	1 250	0.8
10.0	1 250	100	0.5	5 000	625	1.6

5. ADXL202 的定标

ADXL202 在使用前应定标。ADXL202 的专门设计使用户可方便、及时地进行定标。校