

基于微加速度计的地震烈度计设计<sup>\* 1</sup>

李 欣<sup>1,2)</sup> 郭唐永<sup>1,2)</sup> 夏界宁<sup>1,2)</sup> 刘珠妹<sup>1,2)</sup> 王培源<sup>1,2)</sup>  
朱 威<sup>1,2)</sup> 邹 彤<sup>1,2)</sup>

(1)中国地震局地震研究所(地震大地测量重点实验室),武汉 430071  
(2)中国地震局地壳应力研究所武汉科技创新基地,武汉 430071

**摘 要** 介绍一种基于微加速度计的地震烈度计设计方案:以 STM32F107 为采样及数据处理核心,三轴微加速度计 LIS344ALH 感知加速度变化,ADS1248 进行高精度 24 位采样;对采集到的三分向加速度数据进行滤波,选取有效峰值加速度(PGA),计算得到仪器烈度。测试表明,此地震烈度计的性能指标参数完全达到设计要求。

**关键词** 微加速度计;地震动强度;地震烈度计;LIS344ALH;ADS1248

**中图分类号**:TP29 **文献标识码**:A

DESIGN OF SEISMIC INTENSITY METER BASED ON MEMS  
ACCELEROMETER

Li Xin<sup>1,2)</sup>, Guo Tangyong<sup>1,2)</sup>, Xia Jiening<sup>1,2)</sup>, Liu Zhumei<sup>1,2)</sup>, Wang Peiyuan<sup>1,2)</sup>, Zhu Wei<sup>1,2)</sup> and Zou Tong<sup>1,2)</sup>

(1)(Key Laboratory of Earthquake Geodesy, Institute of Seismology, CEA, Wuhan 430071)  
(2)Wuhan Base of Institute of Crustal Dynamics, CEA, Wuhan 430071)

**Abstract** This paper introduces a seismic intensity meter design based on mems-accelerometer, taking the STM32F107 as the sampling and data processing core, three axis mems accelerometer LIS344ALH detected acceleration changes, ADS1248 sampled the high precision 24 bit. Filtering three axis acceleration data, selecting effective peak ground acceleration(PGA), seismic intensity is calculated. The test shows that the performance parameters of seismic intensity meter fully achieve the desired design requirements.

**Key words**: mems accelerometer; peak strong motion; seismic intensity meter; LIS344ALH; ADS1248

1 引言

地震烈度是指地震时某一地区的地面和各类建筑物遭受到一次地震影响的强弱程度。地震烈度评定的传统方式是在震后组织相关专家进行现场调查,最终给出烈度分布图。这种方式在客观评估的同时会带有一些主观因素,而且现场烈度评定时间较长,不利于灾后应急救援的开展。

随着地震观测技术的发展,一些国家已经实现了仪器测定地震烈度,评估结果更加客观,时效性也更强。目前日本发布的地震烈度等级即是由地震烈度计测定的烈度,东京煤气公司鉴于阪神地震中,由烈度计组成的灾害评估系统取得了显著的减灾效益,在 1997—2007 年期间布设了 3 800 个新型地震谱烈度计<sup>[1]</sup>。

我国正在建设各级地震烈度速报网络,需要架

\* 收稿日期:2012-10-23  
基金项目:中国地震局地震研究所所长基金重点课题(IS201016030)  
作者简介:李欣,男,1978 年生,副研究员,主要研究方向为观测技术、地震预警. E-mail:lxcomcn@aliyun.com

设大量地震烈度计,因此研制具有自主知识产权的地震烈度计很有必要。本文设计的地震烈度计以微加速度计 (mems accelerometer) 为核心,具有体积小、功耗低、频带宽、低频响应好、灵敏度高、线性度高等优点。应用地震烈度计组建的地震烈度速报网络,在地震监测、震后应急快速响应等减灾方面有着广泛的应用前景。

2 硬件设计

烈度计不仅仅只是地震烈度监测仪器,而且还是一个高度集成化的网络传感器,集成了主控单元、存储单元、触发判断单元、定位、通讯单元、故障自检、数采、传感器、电源等部分,硬件结构如图 1 所示。

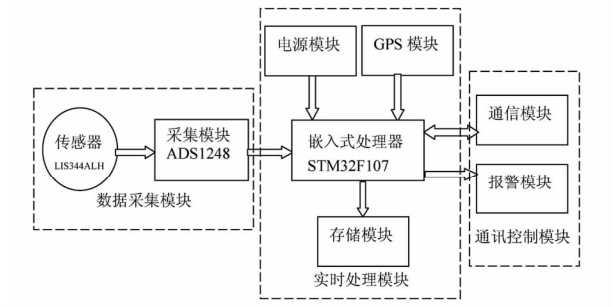


图 1 烈度计的硬件结构

Fig. 1 Hardware structure of intensity meter

2.1 加速度传感器 LIS344ALH<sup>[2]</sup>

传感器采用意法半导体公司出品的 LIS344ALH 低功耗微型电容式三轴向加速度传感器。该传感器具有信号调理、一阶低通滤波和温度补偿、高灵敏度、低噪声、低功耗、线性输出、自检等特点。测量范围为  $\pm 2\text{ g}$ 。

图 2 是 LIS344ALH 的典型电路连接图, LIS344ALH 可通过外部电容来限制  $V_{outX}$ 、 $V_{outY}$ 、 $V_{outZ}$  的带宽范围;频率范围从 DC 到  $1.8\text{ kHz}$ 。值

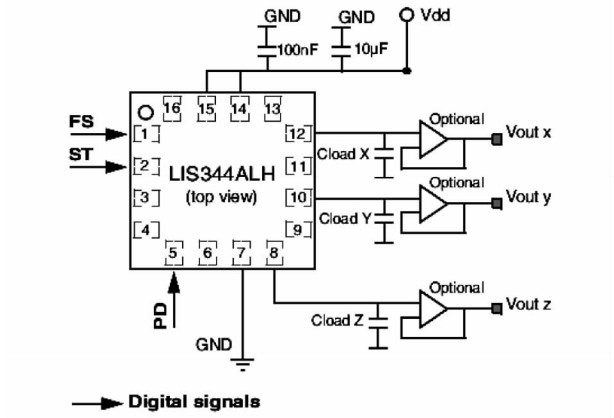


图 2 LIS344ALH 电气连接图

Fig. 2 LIS344ALH electrical connection

得注意的是,加到  $V_{outX}$ 、 $V_{outY}$ 、 $V_{outZ}$  输出脚上的电容可以实现反锯齿和降噪的低通滤波功能。外部滤波器的截止频率  $f_t$  为:

$$f_t = \frac{1}{2\pi R_{out} C_{load}(x,y,z)}$$
 (1)

考虑到内部滤波电阻  $R_{out}$  的标称值是  $110\text{ k}\Omega$ , 式(1)可以简化为:

$$f_t = \frac{1.45\text{ }\mu\text{F}}{C_{load}(x,y,z)}$$
 (2)

$C_{load}(x,y,z)$  所需要的最小电容是  $1\text{ nF}$ ,与截止频率的对应关系如表 1 所示。

表 1 滤波电容选择

Tab. 1 Filter capacitor's selection

截止频率 (Hz)	电容值 (nF)
1	1 500
10	150
20	68
50	30
100	15
200	6.8
500	3

由于天然地震频率主要分布在  $0\sim 20\text{ Hz}$  低频段,因此根据表 1 选取滤波电容  $C_{load}(x,y,z)$  为  $68\text{ nF}$ 。

2.2 模数转换芯片 ADS1248<sup>[3]</sup>

采用德州仪器公司出品的 24 位低噪声模数转换器 ADS1248,它集成了双匹配电流数模转换器 (DAC)、低漂移内反射、振荡器、温度传感器、开路检测以及 8 组通用 I/O。它的数据速率为  $2\text{ kSPS}$ ,功耗仅为  $2.56\text{ mW}$ 。

ADS1248 通过一个 SPI 兼容串行接口将数据写入到配置寄存器,使用命令控制转换器并最终读取通道数据。接口包含 /CS、SCLK、DIN 和 DOUT 四个信号。

/CS:选择进行串行通信的输入引脚,低电平有效。当 /CS 为高电平时,进行中的读/写命令被中止,串行接口复位。转换器通过使用 /CS 进行操作。/CS 在整个读/写操作中必须保持低电平。当把 /CS 拉低进行操作时,必须谨慎控制 SCLK 脉冲的数目以防止错误的命令传输。

SCLK(串行时钟):用于产生 ADS1248 数据输入 (DIN) 和输出 (DOUT) 操作的时钟。SCLK 为具有高度抗噪声能力的输入引脚,数据在 SCLK 的上升沿 DIN 移入,在 SCLK 的下降沿 DOUT 移出。

DIN(数据输入):用于向 ADS1248 输入数据; DOUT(数据输出引脚):用于从 ADS1248 输出数据。在 SCLK 的上升沿从 DIN 移入数据,同时在 SCLK

的下降沿从 DOUT 上移出数据。当/CS 为高电平时 DOUT 呈现三态,允许多个器件共享此线。

### 2.3 主控单元 STM32F107<sup>[4]</sup>

采用意法半导体公司出产的 32 位 ARM 微处理器 STM32F107VCT6,此芯片集成了各种高性能工业标准接口,可以轻松适应多种应用,具有高性能、低功耗、接口丰富和体积小等优良特性。时钟频率 72 MHz 时,从闪存执行代码,STM32 功耗 36 mA(所有外设处于工作状态),是 32 位市场上功耗最低的产品,相当于 0.5 mA/MHz。

## 3 地震烈度计算方法

地震烈度也称为地震动强度,是指地面及房屋等建筑物受地震破坏的程度。利用震时仪器快速获取的强地震动参数来估算的地震动烈度,就是仪器烈度。依据历史地震烈度资料(由震后宏观调查获取)和强地震动记录时程(由震后仪器观测获取),

通过统计分析的方法,确定出地震动参数(包括幅值、持时、频谱)和地震烈度间的经验对应关系<sup>[5,6]</sup>。

目前计算烈度的方法很多,我国目前使用 2008 年确定的 12 级烈度分级标准,将地震烈度划分为 12 等级,所以烈度计采用的计算步骤如下:

- 1)对三分向地震动加速度记录分别滤波;
- 2)由滤波后的三分向记录计算合成加速度时程 PGA:

$$PGA = \sqrt{PGA_{EW}^2 + PGA_{NS}^2 + PGA_{UD}^2}$$

(3)

- 3)选取合成加速度时程中持时大于等于 0.5 s 的幅值作为有效峰值加速度;
- 4)代入仪器烈度计算公式(式(4))计算仪器烈度值,保留两位小数,发布时取整。

$$I = 2.71 \times \log_{10}(A_{0.5}) + 2.39$$

(4)

根据式(3)、(4)计算地震仪器烈度值,其地震仪器烈度表如表 2 所示。

表 2 仪器烈度表(等效峰值加速度  $A_{0.5}$ )

Tab. 2 Table of instrument intensity(Effective PGA  $A_{0.5}$ )

震感程度	无感	微感	弱感	轻感	中感	强	非常强	强烈	剧烈	极剧烈	极剧烈	极剧烈
潜在破坏	无	无	无	无	非常轻微	轻微	中等	中等/严重	严重	非常严重	极其严重	倒毁
$A_{0.5}(\text{cm/s}^2)$	0-0.5	0.5-1.1	1.1-2.6	2.6-6.0	6.0-14	14-32	32-76	76-179	179-420	420-983	983-2299	2299+
仪器烈度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

## 4 技术指标

地震烈度速报计的总体性能指标参数如表 3 所示,其中,触发报警方式可选择短长比、短长差及阈值触发三种之一,根据现场情况触发阈值可调节,采样率通常情况下定为 200 sps,也可根据使用情况调整为 100sps 或者 250sps。根据测试结果,烈度计

表 3 地震烈度计性能指标参数

Tab. 3 Performance parameters of the seismic intensity meter

名称	指标参数
测量范围	$\pm 2g(X、Y、Z \text{ 轴向})$
采样位数	24 位
采样率	200 SPS
触发阈值	0.04 g
CPU 位宽	32 位
存储容量	$\geq 2\ 048\ \text{MB}$
数据传输协议	RS232、802.3
功耗	1.5 W(工作中)
工作温度	-40 ℃ ~ +85 ℃
整机尺寸	234 mm × 154.5 mm × 68.5 mm

采用高精度的  $\Sigma$ - $\Delta$  型 A/D 转换器实现有效位数为 16、17 位的模/数转换。

## 5 结语

使用 LIS344ALH 微加速度计的地震烈度计可准确采集强地震动信息。采用本文提出的仪器烈度计算方法,能够简化并有效地处理复杂的地震动信号,并给出较为满意的结果。该地震烈度计具有体积小、功耗小、安装方便、报警实时准确等特点,适合推广应用到地震烈度速报系统的建设中。

### 参 考 文 献

1 孟于飞.地震紧急处置技术综合研究[D].中国地震局工程力学研究所,2011.

2 LIS344ALH 数据手册[S].意法半导体,2008.

3 ADS1248 数据手册[S].德州仪器,2010.

4 STM32F107VCT6 数据手册[S].意法半导体,2009.

5 李山有,等.地震动强度与地震烈度速报研究[J].地震工程与工程振动,2002,22(6):1-7.

6 袁一凡.由地震动三要素确定地震动强度(烈度)的研究[R].中国地震局工程力学研究所,1998:1-51.