

# 无线传感网用振动加速度传感器几点探索

中科院上海微系统与信息研究所 郭斌 李昕欣

无线传感网是由具有无线通信、数据采集和处理、协同合作等功能的无线传感器节点组成的网络。它是当今技术发展的一个热点，尤其在军事领域。无线传感网对所使用的传感器有一些严格的限制条件。首先，传感器的功耗要低；其次是精度要高，A/D转换的分辨率为16位；最后是传感器的体积要小。一般而言，无线传感网总是优先使用微型传感器，只是在其功能不能满足要求的条件下才考虑传统的机械式传感器。

无线传感网常用的振动加速度传感器有以下几种：MEMS振动加速度传感器，机械式振动加速度传感器，压电、光纤式振动加速度传感器。其中，MEMS振动加速度传感器又分为压阻式和电容式两种，而光纤式振动加速度传感器虽然精度高，但体积大、电路复杂，不适合现场应用。

## MEMS 压阻式振动加速度传感器电路设计

### 1 无线传感网用振动加速度传感器技术指标

供电电压：+3.3V 单电源。

输出信号：1.65V 为基准，上下差分模拟信号。

灵敏度：1000mV/g/3.3V。

模块功耗：额定电流 $\leq 1.5\text{mA}$ ；功耗 $\leq 1.5 \times 3.3\text{mW}$ （约5mW）。

分辨率：-75db。

带宽：300Hz。

### 2 开环电路结构

压阻式振动加速度传感器是由四个可变电阻连接成惠斯通桥而成的无源传感器。它的激励电源直接取自无线传感网系统电源，采用稳压源是因稳压源的结构较恒流源简单。前置级采用差分输入仪表放大器，目的是去除无用的共模信号，只放大反映振动加速度大小的差模信号。缓冲调整用于前置级和放大级的阻抗匹配，是为信号滤波做准备的。滤波电路的目标是将有用信号和无用信号分开，在本设计中，采用多路反馈电压控制二阶有源低通滤波器。该低通滤波器有通频带平坦、线性度好等优点。为满足计算机接口的要求，系统加了满刻度调整电路和中心电压调整电路。本电路系统选用的器件基本上都是低功耗，低功耗器件。

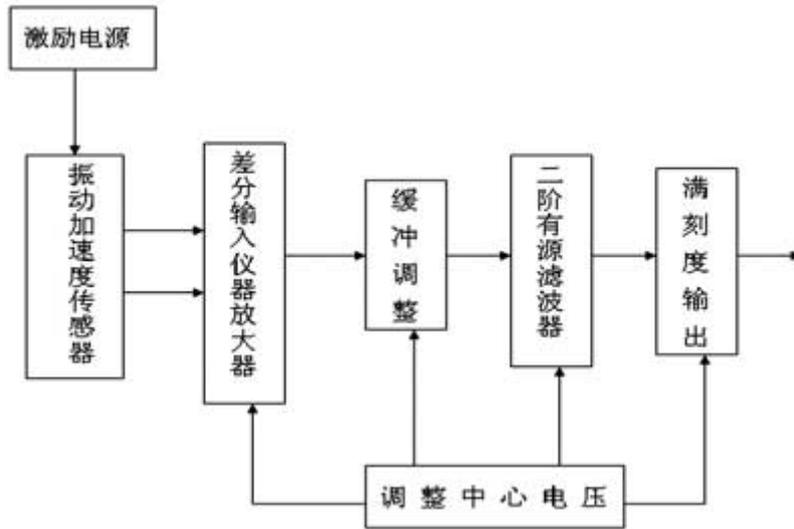


图1 开环电路结构

### 3 开环电路图

在本电路中，RS1、RS2、RS3 和 RS4 是光刻在 MEMS 悬臂梁上的四可变电阻；R\*是零位调整电阻；仪表放大器 AD620 和 C2 组成前置级交流放大器，放大原始信号；AD708 是高精度双运放芯片，IC2/A 和 R2、R3 组成反比例放大器，目的是调准中间级放大倍数；IC/2B 和 R4、R5、C4、C5 组成多路反馈、压控、二节低通有源滤波器，滤除高频干扰波；IC/3A 和 R7、R8 组成反比例放大器，调整整个电路的输出，也称满足刻度输出。因为该套电路要和计算机接口，需要设计中心电压，本设计的中心电压为 1.65V，IC3/B 和 R9、R10 组成跟随电压稳压电路，使 IC3/B 运放输出电路接口电位为 1.65V，从而保持整个电路的中心电压为 1.65V。

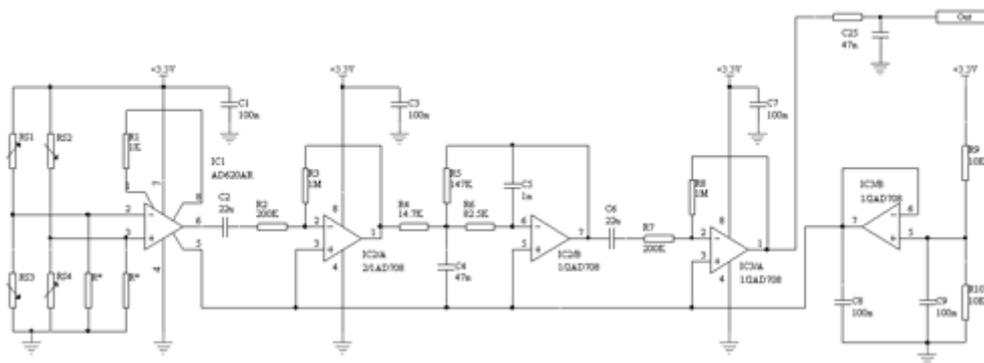


图2 开环电路图

压阻式和动圈式振动加速度传感器幅频特性和相频特性

### 1 压阻式和动圈式振动加速度传感器幅频特性对比

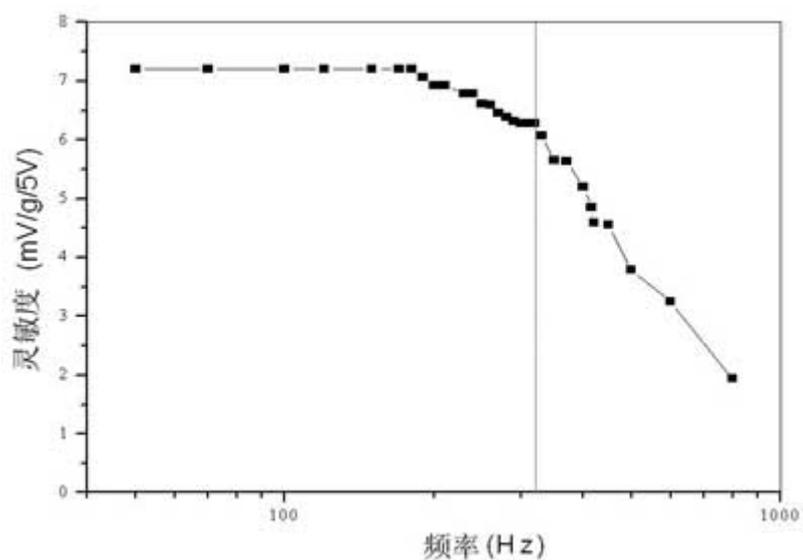


图 3 压阻式振动加速度传感器幅频特性曲线

#### 幅频特性曲线图

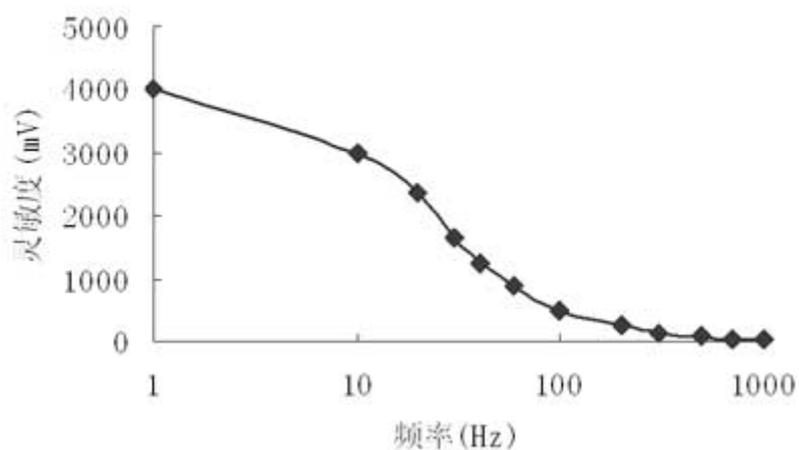


图 4 动圈式振动加速度传感器幅频特性曲线

从图 3、图 4 上可明显的看出二者的差别。压阻式振动加速度传感器在 300Hz 内的通频带内平坦、线性度好，能真实地反应振动信号的大小；而动圈式振动加速度传感器的带宽不足 300Hz，且通频带极不平坦，线性度不好，放大后，反映的是畸变的振动信号。动圈式振动加速度传感器已无法采集 100Hz 以上的振动信号，后面的幅频特性图对比更能说明这一点。

## 2 压阻式和动圈式振动加速度传感器信号采集特性和幅频特性对比

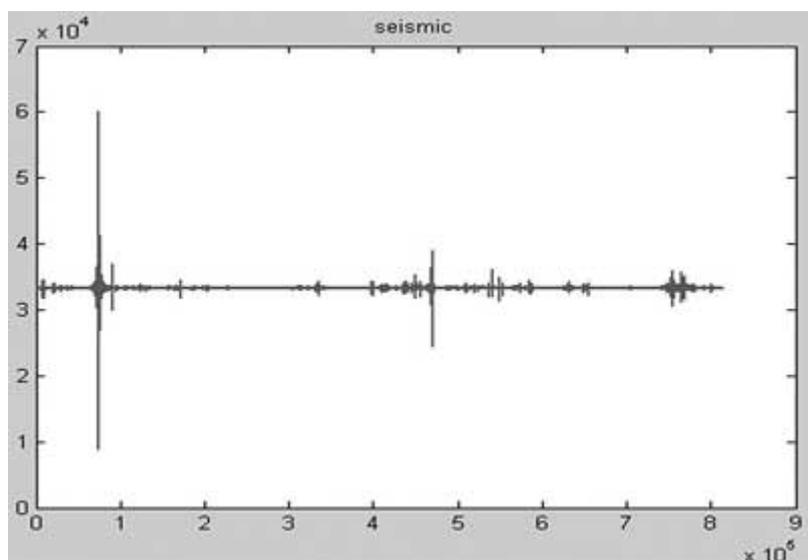


图 5 动圈式振动加速度传感器信号采集特性曲线

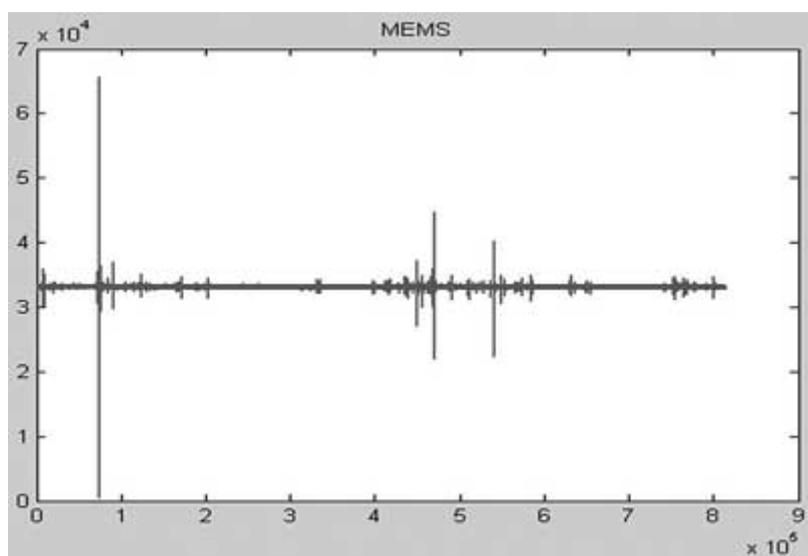


图 6 压阻式振动加速度传感器信号采集特性曲线

图 5 和图 6 为两种传感器的信号采集特性曲线，横轴单位为 s，纵轴单位为 10mV。此曲线是两传感器在灵敏度相同的情况下，测量同一个人的步行振动信号所得。

从图中可明显看出，压阻式传感器采集到的振动信号比动圈式采集到的振动信号内容丰富，后者有明显的

信号丢失，而前者的信号幅度在环境等同条件下明显增强。虽然作为无源传感器的机械动圈式传感器具有低噪声的特点，但压阻式的信噪比要比动圈式大的多，达 6dBv，后面的幅频特性对比曲线将说到这一点。

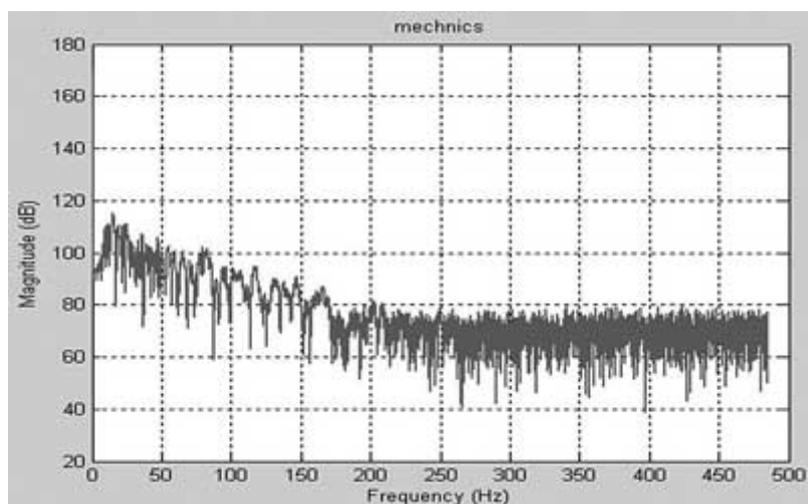


图 7 动圈式振动加速度传感器幅频特性曲线

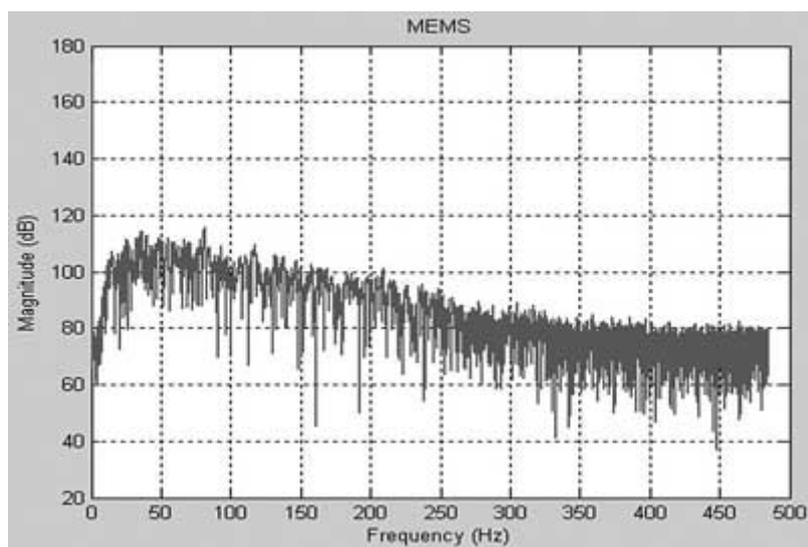


图 8 压阻式振动加速度传感器幅频特性曲线

图 7、图 8 是两传感器在灵敏度相同的情况下，即每 1g 输出 1V 时的幅频特性曲线图。此时两传感器所处外环境相同，测量的仍是同一个人的步行振动信号。压阻式传感器线性度好，信号在 250Hz 时才开始下降，而后者的信号在 150Hz 时就开始下降，信号基本淹没于噪声中。

从图中还可以看出，动圈式传感器噪声在 80dB 以下，压阻式传感器噪声在 80dB 附近，略高于动圈式。在信噪比方面，压阻式比动圈式高约 6dBv，即相差约一倍。

## 使用 MEMS 电容式振动加速度传感器

电容式振动加速度传感器因分辨率高，在 MEMS 传感器家族中占有重要的地位。从结构上看，其输出阻抗特别大，相当于开路，如当作无源传感器使用，需经外部激励和电荷转移，才能将振动加速度信号精确地转化为电信号。因电容传感器内阻相当开路，故只能采用交流激励。但这样增加了电路的复杂度，也增大了功耗。

如想将该传感器应用到无线传感网上，只能将其当有源传感器使用。即不用外激励电路，将电容量的变化通过电荷转移为电压变化，用电压变化信号来反映振动加速度大小。从专业角度来看，这是一个非常难处理的信号，不仅信号幅度小，且传感器输出阻抗特别大，需经前置放大电路阻抗匹配后，信号才能作为有效信号。

MEMS 电容式振动加速度传感器前置放大电路的设计是其能否应用到无线传感器网的关键。图 9 是精心设计的 MEMS 电容式振动加速度传感器前置放大电路。

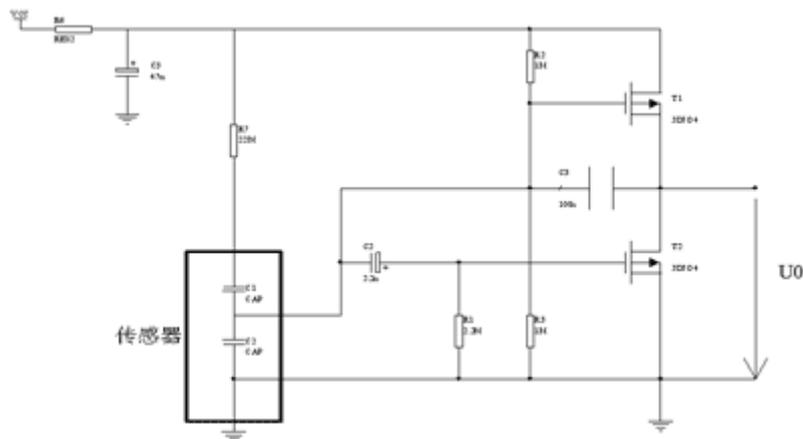


图 9 MEMS 电容式振动加速度传感器前置放大器电路图

该电路总体上说是一个自给偏压式射极输出器。T1、T2 采用了 3sDJ0 绝缘栅场效应管，目的是降低功耗。T2 为射极输出器，T1 为 T2 集电极负载，选用同型管是为了使静态电路对称，中心输出点电压为  $VCC/2$ 。R2、R3 为分压电阻，保证 T1 工作在饱和状态。C3 为反馈电容，稳定输出信号，扩展通频带。R1 和后续电路组成自给分压电路，确保 T2 工作在放大区。

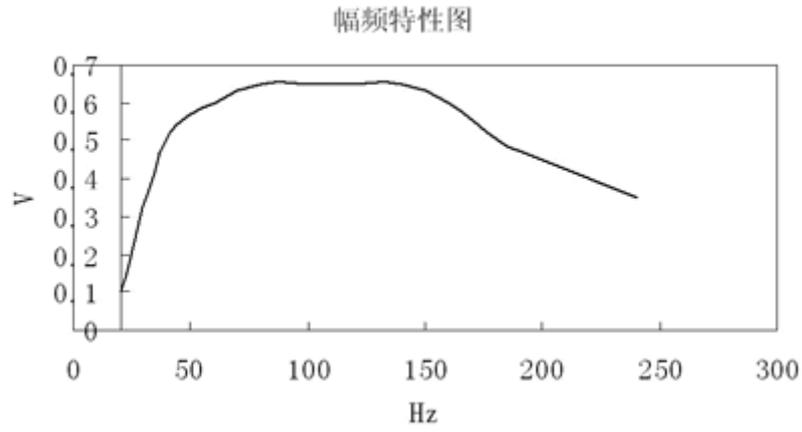


图 10 MEMS 电容式振动加速度传感器幅频特性图

图 10 为 MEMS 电容式振动加速度传感器幅频特性图，因为其与压电式振动加速度传感器原理基本一致，幅频特性也基本一致。从图 10 中可以看出，中频段线性度良好，缺点是 20Hz 以下低频段衰减强烈，失真度高。

来源：今日电子