

BZ11 系列内装集成电路压电加速度传感器

使 用 说 明 书

秦皇岛市北戴河兰德科技有限责任公司
北戴河电气自动化研究所

引言

欢迎您选用 BZ11 系列内装集成电路压电加速度传感器，很高兴您选择了本公司的产品。

安全信息

为了安全、有效地使用您购买的传感器，请您在使用前阅读以下信息。

- 传感器的供电电压范围是 18~30VDC，为了减小传感器内部的功耗所带来的温升，应尽量使用低电压供电。
- 传感器接线要正确。
- 请在使用前详细阅读使用方法和注意事项（详见本说明书第 19~33 页）。

兰德公司拥有对本说明书的最终解释权。

兰德公司保留修改技术规则而不事先通知的权利。

兰德公司保留修改说明书的权利，恕不另行通知。

兰德公司保留在未事先通知的情况下对技术产品规格进行修改的权利。

目录

产 品 概 述

I. 简介	1
II. 产品特点和技术创新点	1

使 用 知 识

I. 工作原理	3
II. 主要技术指标	19
III. 使用方法	19
IV. 注意事项	33

产品附件及售后服务

I. 产品附件	34
II. 售后服务	34

附 录

附表一、传感器型号和主要技术指标	35
附表二、传感器订货信息	36
附图一、传感器外形图	37
附表三、传感器外形尺寸	38
附录一、信号调理器介绍	39

简介

BZ11 系列内装集成电路压电加速度传感器是基于压电转换原理、内装微型集成电路的加速度传感器。传感器为二线制 4~20mA 标准电流输出。它与电荷输出型压电加速度传感器相比，最大的优点是传感器的输出阻抗减小了几百万倍，抗干扰能力等综合指标大大增强；与二线制或多线制电压输出型传感器相比，最大的优点是电缆电阻、接线电阻及电阻随温度等环境因素的变化都不会对信号造成任何影响。传感器还具有关键技术创新点，使高、低频特性和稳定性得到突破性改善，是新型内装集成电路压电加速度传感器。

BZ11 系列内装集成电路压电加速度传感器具有从 0.1Hz 到 35kHz 的频率范围和从 $1 \times 10^{-6} \text{ms}^{-2}$ 到 $8 \times 10^5 \text{ms}^{-2}$ 的动态范围；它还具有良好的归一化特性、接插互换性和产品齐套性；它可以独立组成最小测量系统；可与具有 4~20mA 接口仪器无缝连接；可与本公司研制生产的 BZ27 系列信号调理器配套使用连接众多仪器或信号处理设备；利用信号调理器积分功能可组成速度传感器系列和位移传感器系列。产品逐个检验，出具计量检定合格证书。本系列传感器可广泛应用于航空、航天、国防等尖端技术领域以及铁路、桥梁、建筑、车船、机械、石油、化工、冶金、交通等国民经济领域。

产品特点和技术创新点

主要技术创新点如下：

1、采用等效阻抗变换技术，展宽并稳定传感器低频特性。

压电加速度传感器在低频段对阻抗的要求很高，传统的传感器很难精确控制高输入阻抗值，从而不能精确控制低频下限频率和低频段的高稳定性。本系列传感器应用等效阻抗变换技术，将高阻抗变为低阻抗（降低几百倍），生产工艺变得简单而有效，使传感器低频特性和稳定性得到突破性改善。传感器低频信噪比的提高使低频高灵敏度测量更精确、更稳定。

2、采用欠阻尼谐振补偿技术，展宽传感器高频特性并提高高频信噪比。

传感器换能部分的机械结构可等效为单自由度欠阻尼系统的受迫振动。传统传感器可用的上限频率只能限制在机械固有频率的 1/3 以下，普通内装集成电路传感器也是如此，都没有把传感器的高频性能充分发挥出来。采用欠阻尼谐振补偿技术，可使传感器可用的上限频率接近其机械固有频率，而且越接近其机械固有频率，传感器的信噪比也越高，使传感器高频特性得到突破性改善。

产品特点如下：

- 1、高频响应范围宽，更适合宽频带测量；
- 2、低频特性明显改善，更适合低频高灵敏度测量；
- 3、4~20mA 电流输出，噪声小、抗干扰能力强，更适合远距离测量；
- 4、内部基准补偿，使时间和温度稳定性得到改善，更适合长期监测；
- 5、归一化输出，不用单独设置灵敏度，互换性好，更适合多点集群式测量；
- 6、过载能力强，防尘、防潮、防腐蚀，适用于恶劣环境；
- 7、利用传感器的输出特性，可以对传感器进行自检，更适合高可靠性测量；
- 8、两线制接线，不怕地电流干扰，对电缆电器特性无严格限制，使用方便；
- 9、与积分型信号调理器连接后，可灵活选择增益和积分曲线组成速度传感器系列和位移传感器系列。

工作原理

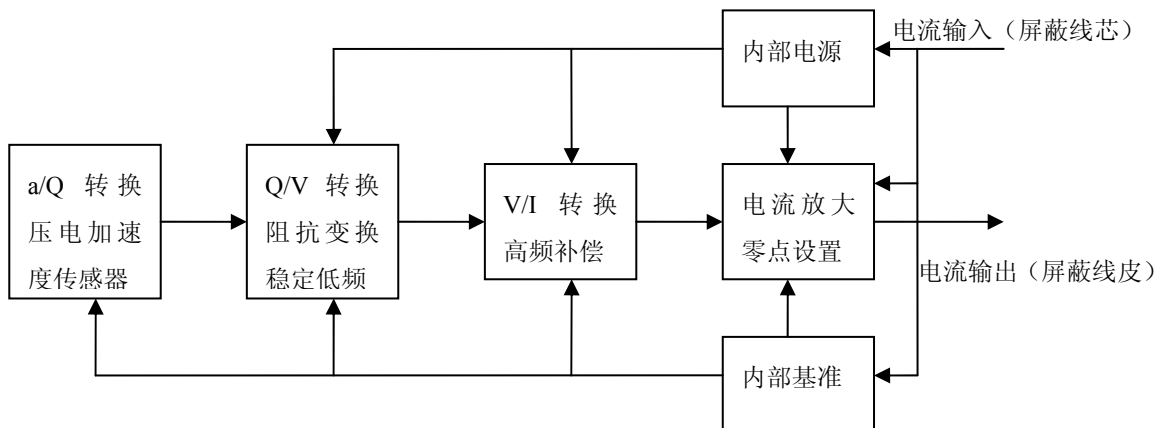


图 1：传感器原理框图

BZ11 系列内装集成电路压电加速度传感器（以下简称内装电路传感器）的原理框图见图 1。下面将内装电路传感器分为压电加速度传感器、内装集成电路、综合性能三部分叙述。

1、压电加速度传感器

压电加速度传感器的结构形式和工作原理

压电加速度传感器为图 1 所示的 a/Q 转换单元，它的功能是将加速度 a 按一定规律转换为电荷 Q ，完成机电信息转换。

单轴向剪切式压电加速度传感器的内部结构如图 2 所示。

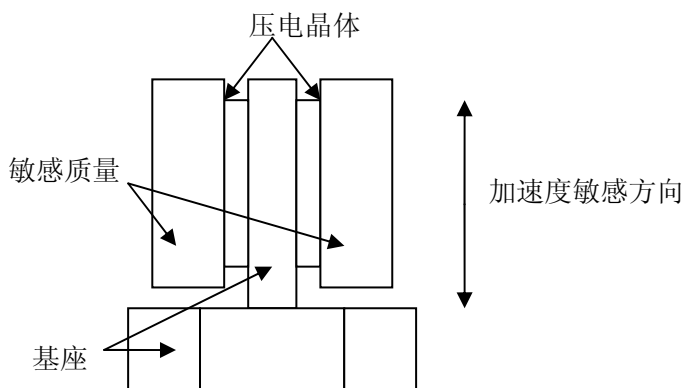


图 2：传感器内部结构框图

图 2 中的压电晶体是人工极化陶瓷（PZT）材料。这种材料按不同的晶格方向切割做成压电晶体片时，具有不同的压电效应，分为剪切片和压缩片。不论剪切片还是压缩片，只对单轴向受力敏感。图 2 中使用的压电晶体片是剪切片，只对单轴向的剪切力敏感。所以图 2 中的加速度敏感方向是与基座垂直的方向。

传感器基座感受到垂直方向的加速度时，敏感质量在惯性作用下与基座形成相对运动，压电晶体受到剪切应力，使压电晶体的表面产生电荷。利用这种机械结构和压电转换原理制成的传感器称为剪切式压电加速度传感器。

根据机械结构设计的不同，剪切式传感器分为梁式剪切（如图 2 所示）和环型剪切等。

根据压缩片的特点，设计相应的机械结构可以制成压缩式压电加速度传感器。剪切式传感器与压缩式传感器相比，具有很好的温度稳定性。其原因是：敏感质量与基座都是金属材料，体积都会随温度的变化而膨胀或收缩，则会在压缩方向上产生附加应力，而不会产生剪切应力。压缩式传感器会将这个附加应力转换成电荷输出，而剪切式传感器对压缩应力不敏感，所以剪切式传感器比压缩式传感器得到更广泛的应用。

根据机械结构特点，无论是压缩式还是剪切式传感器，它的抗过载能力极强，一般能达到传感器量程的 5~10 倍以上。

根据压电晶体只对单轴向受力敏感的特点，可设计成单轴向加速度传感器、双轴向加速度传感器和三轴向加速度传感器。

单轴向加速度传感器（图 2）只能测量与基座垂直方向的加速度值，对其它方向不敏感。在使用单轴向加速度传感器时，传感器的安装位置和安装方向与被测加速度的位置和方向相一致。

双轴向加速度传感器相当于两只互相垂直的单轴向加速度传感器的组合。在空间坐标系中一般标注为 X 轴和 Z 轴，传感器外表面都有明显标注。标注 Z 轴表示与传感器基座垂直的方向，X 轴表示与 Z 轴垂直的方向。双轴向加速度传感器独立测量 X 轴方向和 Z 轴方向的加速度值，并分别输出 2 路电荷信号，可

以直接测得 X 轴方向和 Z 轴方向的加速度值，也可以通过后续仪表计算出 X 轴方向和 Z 轴方向加速度值的向量和，测出 XZ 平面内任意方向的加速度值。当然也要注意传感器的安装位置和安装方向是否与使用者关心的平面相一致。

三轴向加速度传感器相当于三只互相垂直的单轴向加速度传感器的组合。在空间坐标系中一般标注为 X 轴、Y 轴和 Z 轴，传感器外表面都有明显标注。一般标注 Z 轴表示与传感器基座垂直的方向，X 轴、Y 轴互相垂直并与 Z 轴垂直。三轴向加速度传感器独立测量 X 轴方向、Y 轴方向和 Z 轴方向的加速度值，并分别输出 3 路电荷信号，可以直接测得 X 轴方向、Y 轴方向和 Z 轴方向的加速度值，也可以通过后续仪表计算出 X 轴方向、Y 轴方向和 Z 轴方向加速度值的向量和，测出三维空间内任意方向的加速度值。当然也要注意传感器的安装位置和安装方向是否与使用者规定的坐标系相一致。

目前北戴河兰德科技有限责任公司生产的双轴向加速度传感器和三轴向加速度传感器不是简单地将单轴向加速度传感器组合在一起，而是经过巧妙设计，在单位灵敏度时体积和重量比同类产品减小了 70%，由于重量大幅度减轻，给标定和使用带来了极大方便。

压电加速度传感器的四个重要指标

压电加速度传感器用许多指标来表征它的特性。对使用者而言，应该关心的指标很多，有信号转换指标、结构指标和环境指标。信号转换指标包括：电荷灵敏度、最大横向电荷灵敏度系数、幅值频率特性曲线、相位频率特性曲线、幅值温度特性曲线、幅值时间特性曲线等。结构指标包括：轴向（单、双、三轴）、结构机理（剪切式、压缩式）、外形尺寸、重量、安装方式、安装力矩、出线方式等。环境指标包括：环境温度、湿度、密封等级、防腐蚀等级、是否对地绝缘、绝缘等级等。在同一种型号的传感器中，每只传感器给出的结构指标和环境指标是相同的，但是信号转换指标是不同的，所以，每只传感器都要单独给出一组信号转换指标。下面对压电加速度传感器信号转换指标中的四个重要指标予以阐述。

A、电荷灵敏度

当压电晶体受到机械应力作用时，其表面就会产生电荷，所产生电荷密度的大小与所施加的机械应力的的大小成线性关系，所受的机械应力在敏感质量一定的情况下与加速度值成正比，所以压电晶体受力后产生的电荷与所感受的加速度值成正比。

$$\text{即: } Q = d_{ij}ma = S_Q a \quad \text{----- (1)}$$

$$\text{则: } S_Q = \frac{Q}{a} \quad \text{----- (2)}$$

式中: Q —— 压电晶体输出的电荷

d_{ij} —— 压电晶体的二阶压电张量

m —— 加速度的敏感质量

a —— 所受的振动加速度值

S_Q —— 加速度传感器的电荷灵敏度

压电晶体承受单位振动加速度值输出电荷量的多少，称为电荷灵敏度 S_Q ，常用单位为 pC/ms^{-2} （皮库仑/加速度）。以前曾用单位为 pC/g （皮库仑/重力加速度），它们的换算关系： $1\text{pC/g}=9.8\text{ pC/ms}^{-2}$

重力加速度 g 在地球的不同地区有所差别，如北京地区 $g=9.81\text{ ms}^{-2}$

注意：每只传感器都要单独给出电荷灵敏度指标。

B、最大横向电荷灵敏度系数

在传感器设计时，规定为传感器基座的安装平面与传感器敏感轴方向垂直，被测加速度的敏感方向就是与传感器基座垂直的方向。在理论上，垂直于传感器敏感轴方向的平面（安装平面）内任意方向的加速度都不会使传感器产生电荷，在这些方向上的电荷灵敏度为零，这也是设计传感器时想要达到的理想结果。但是，在传感器生产工艺中，不可能保证压电晶体片的切割方向与晶体的晶格方向没有误差，也不可能保证传感器的机械加工和装配过程中没有误差，这些误差的积累会导致这样的情况发生：a、传感器敏感轴方向与安装平面不垂直；b、传感器内使用多片压电晶体时出现多个传感器敏感轴方向，互相不一致且与安装平面

不垂直。这样，在传感器安装平面内任意方向的加速度都会在传感器敏感轴方向上产生加速度分量，使传感器的灵敏度不为零。这个灵敏度是测量中不需要的，是假信号，但是它却是很难消除的。所以，就产生了横向灵敏度的定义：在传感器安装平面内任意方向的加速度所产生的电荷灵敏度称为横向电荷灵敏度。平面内各方向横向电荷灵敏度的最大值称为最大横向电荷灵敏度。一般情况下，传感器的电荷灵敏度越高，它的最大横向电荷灵敏度也越高，所以不能简单地说最大横向电荷灵敏度高的传感器这项指标一定不好。为了综合评价不同型号传感器的最大横向电荷灵敏度，采用最大横向电荷灵敏度系数指标来评价比较客观，最大横向电荷灵敏度系数由下式表示：

$$k_H = \frac{S_H}{S_Q} \times 100\% \quad \text{-----} \quad (3)$$

式中： k_H ——最大横向电荷灵敏度系数

S_Q ——传感器的电荷灵敏度 pC/ms^{-2}

S_H ——传感器的最大横向电荷灵敏度 pC/ms^{-2}

传感器的最大横向电荷灵敏度系数越小，传感器的信噪比就越高，性能也就越好。

注意：每只传感器都要单独给出最大横向电荷灵敏度系数指标。

C、幅值频率特性曲线

传感器的幅值频率特性曲线也称为幅频响应曲线，是传感器在相同幅值、不同频率振动加速度的激励下电荷灵敏度的响应曲线。示意图如图 3 所示：

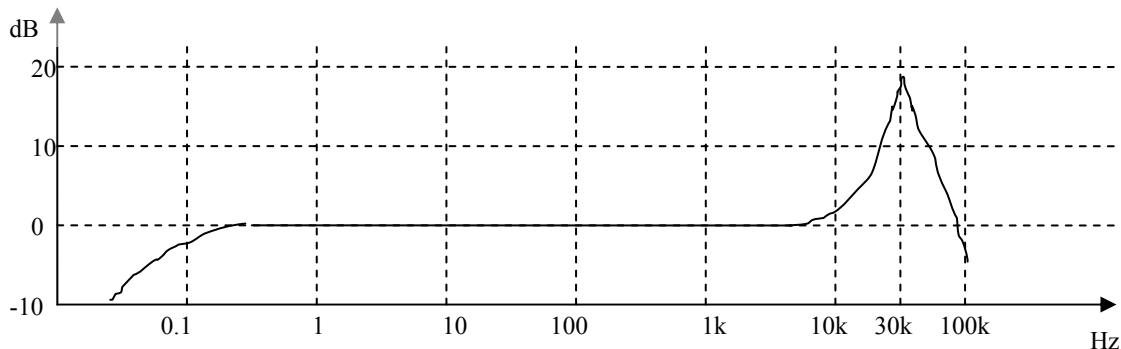


图 3：幅值频率特性曲线

例如：图 3 是某只传感器的幅值频率特性曲线。图中 0.1Hz 时幅值衰减到 -1dB (-10%)，随着频率逐渐减小幅值也跟着逐渐衰减，0.1Hz 称为传感器的下限频率 (-1dB)，这就是这只传感器的低频特性。图中 10kHz 时幅值提高到 1dB (10%)，随着频率逐渐增大幅值也跟着逐渐增加，10kHz 称为传感器的上限频率 (1dB)，到 30kHz 时幅值达到最大值，而后幅值迅速衰减，这就是这只传感器的高频特性。图中幅值达到最大值的频率 (30kHz) 称为传感器的机械谐振频率。图中 0.1Hz~10kHz 范围内幅值不随频率的变化而变化，所以这只传感器的可用频率范围是：0.1Hz~10kHz，称为传感器的幅值线性区。传感器的一般性规律：传感器的上限频率 (10kHz) 是传感器机械谐振频率 (30kHz) 的 1/3。被测加速度信号的频率只有包含在传感器的幅值线性区内，我们才能得到正确的测量结果，否则就不能保证测量结果的正确性。

所有压电加速度传感器的幅值频率特性曲线的形状都与图 3 相近，但是每只传感器的上限频率、下限频率、机械谐振频率、幅值线性区都不同。幅值线性区越宽的传感器，应用范围也越广。在传感器的设计中，为了增加传感器的幅值线性区宽度，就必须改善传感器的低频特性和高频特性。

压电加速度传感器的低频特性：

影响压电加速度传感器低频特性的主要因素是传感器的电器特性。压电晶体受力产生电荷时，压电晶体的两个表面等效成两极板电容器 C_Q ，电荷随时间的泄漏程度等效成与两极板电容器并联的电阻 R_Q ，传感器的下限频率 (-3dB) 可由下式表示：

$$f_Q = \frac{1}{2\pi R_Q C_Q} \quad \text{----- (4)}$$

式中： f_Q ——传感器的低频下限频率 Hz (赫兹)

R_Q ——传感器的等效电阻 Ω (10^{12} 欧姆)

C_Q ——传感器的等效电容 pF (10^{-12} 法拉)

从上式中不难看出，为了改善传感器的低频特性，应该减小 f_Q ，为了减小 f_Q

就必须增大 R_Q ，或增大 C_Q ，或同时增大 $R_Q C_Q$ 。传感器在设计完成时，等效电容 C_Q 就基本确定了， C_Q 的容量一般在几十pF到几千pF之间。但等效电阻 R_Q 因为生产工艺的不同有很大差异，传感器必须经过超净清洗和在超净环境中装配，才能使绝缘阻抗提高，增大等效电阻 R_Q 。

压电加速度传感器的高频特性：

影响传感器高频特性的主要因素是传感器的机械特性。当传感器敏感部分的结构材料和安装工艺一定时，它的等效刚度 K ，等效阻尼系数 C ，敏感质量 m ，就是一定的。传感器的内部结构可以等效为一个单自由度的欠阻尼受迫振动，运动微分方程由下式表示：

$$m\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = F_0 \sin \omega t \quad \text{-----} \quad (5)$$

式中： F_0 ——振动力作用在敏感质量 m 上的幅值 N （牛顿）

传感器的固有圆频率：

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{m}} \quad \text{-----} \quad (6)$$

传感器的阻尼比：

$$\zeta = \frac{C}{2\sqrt{Km}} \quad \text{-----} \quad (7)$$

传感器的机械谐振频率：

$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} \quad \text{-----} \quad (8)$$

从图 3 的例子中得到： $f_n \approx 30\text{kHz}$ ， $\zeta \approx 0.05$ 。不难看出，传感器在高频特性中由于阻尼比很小，会在谐振频率附近产生机械共振。由于机械共振使传感器的电荷灵敏度也跟着大幅度提高，过了共振频率点后，电荷灵敏度又将大幅度下降，虽然这一频段内的信噪比明显提高，但是由于电荷灵敏度与加速度不成线性关系，信号无法正常使用。

注意：每只传感器都要独立给出幅值频率特性曲线。由于标定系统的限制，允许传感器幅值频率特性曲线从 200Hz 开始向高频方向标定到传感器谐振频率以上，给用户出据的幅值频率特性曲线如图 4 所示：

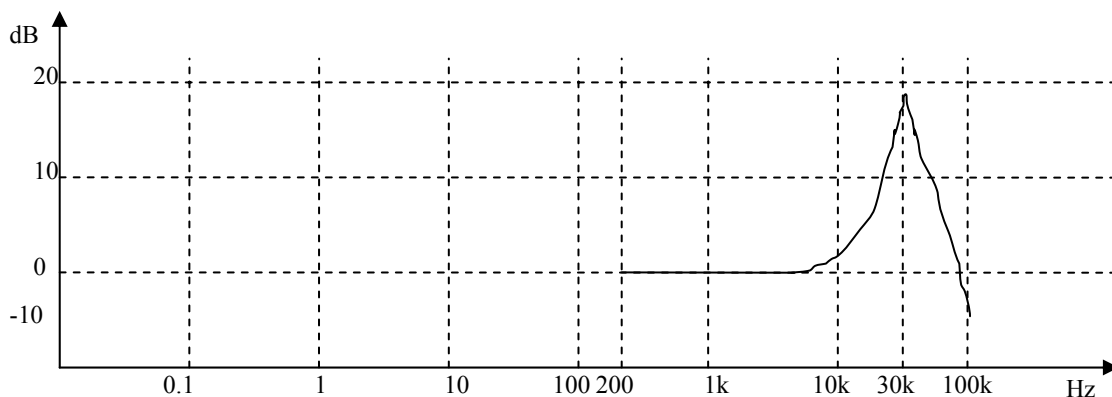


图 4 提供给用户的幅值频率特性曲线

D、传感器的相位频率特性曲线。

通俗的讲传感器的相位频率特性曲线描述了不同频率的振动加速度与传感器响应之间的时间延迟。在两只以上传感器同时测量关联系统时，相位信息显得非常重要（如模态分析等）。传感器的相位频率特性曲线示意图见图 5

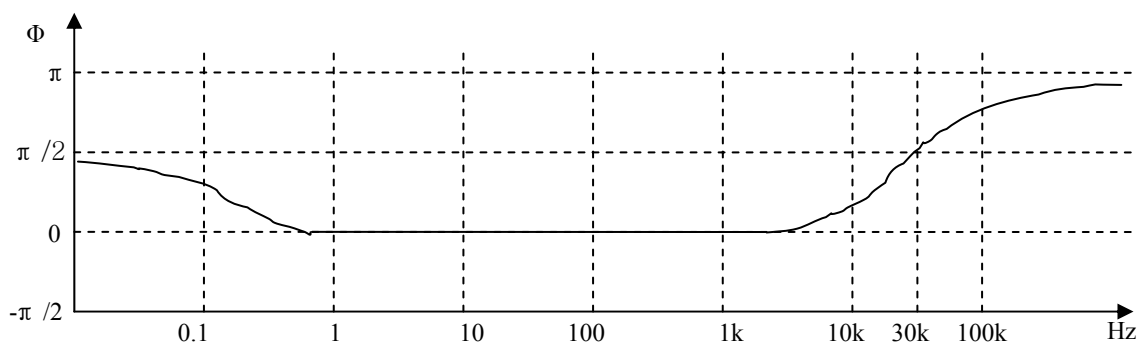


图 5 相位频率特性曲线

传感器的相位信息与幅值信息是相联系的，是同一个方程的解，图 3 与图 5 是对应的。虽然每只传感器都应该独立标定出相位频率特性曲线，但由于标定系统的限制，一般不给用户出据相位频率特性曲线。当用户在多测点关联系统中对相位信息有要求时（如要求各点之间相位差要尽量小），一般选择传感器有两种方法：a、选择幅值频率特性曲线（因为没有相位频率特性曲线）较宽的传感器，用中频段特性（相移小）进行振动测量。b、选择同型号的传感器进行测量（同

型号的传感器性能相近，相位差也相近）。如果对传感器的相位信息有更严格要求，就要通过国家权威鉴定部门进行传感器相位频率特性曲线标定。

2、内装集成电路

传感器内装集成电路不是简单地将电荷放大器放到传感器内，而是与传感器的个性化指标全面配合，达到以下效果：a、低频特性补偿，展宽传感器低频下限频率和提高传感器的低频稳定性。b、高频特性补偿，展宽传感器高频上限频率和提高传感器的信噪比。c、对同型号传感器做归一化处理，使传感器的个性特征在一定范围内统一起来，增加了传感器的互换性。d、输出采用国标 4~20mA 标准输出，可与国标 4~20mA 仪器无缝连接，也可以通过 BZ27 系列信号调理器与各种仪器连接。e、提高抗干扰能力。

内装集成电路见图 1 所示，除内部电源和内部基准外，信号通道由以下三部分组成：

A、Q/V 变换单元

Q/V 变换单元与传感器电荷信号相接，将传感器的电荷信号 Q 变换为电压信号 V，同时将高输入阻抗转换为低输出阻抗。变换公式由下式表示：

$$V = \frac{Q}{C} \text{ ————— (9)}$$

式中：C——Q/V 变换单元的输入等效电容 pF

传感器的电荷灵敏度转换为电压灵敏度：

$$S_V = \frac{S_Q}{C} \text{ ————— (10)}$$

式中： S_V —— 传感器的电压灵敏度 V/ms^{-2}

S_Q —— 传感器的电荷灵敏度 pC/ms^{-2}

Q/V 单元不但完成了电荷电压转换，还对传感器低频下限频率进行展宽，同时减小反馈电阻，稳定传感器低频特性。图 6 是传感器与 Q/V 变换单元的等效电路：

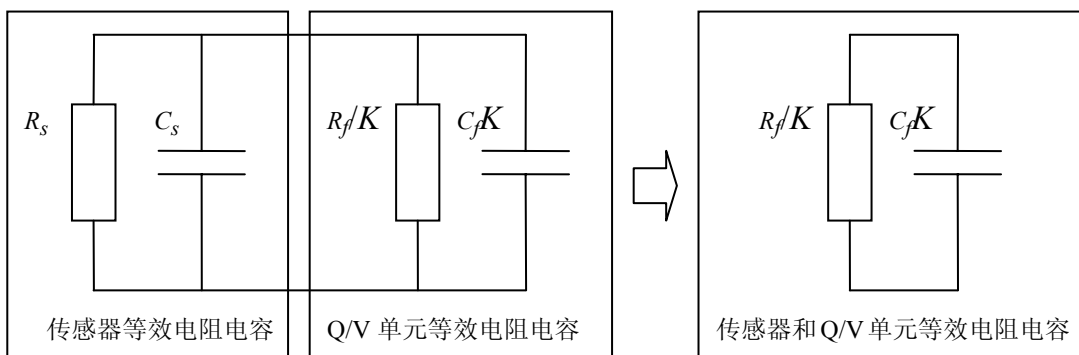


图 6 传感器与 Q/V 单元等效电路

图中： C_s ——传感器等效电容，取值范围：几十 pF～几千 pF

R_s ——传感器等效电阻，取值范围： $10^9 \sim 10^{10} \Omega$

C_f ——Q/V 单元等效输入电容，取值范围：100～1000pF

R_f ——Q/V 单元等效输入电阻，取值范围： $10^9 \sim 10^{10} \Omega$

K ——Q/V 单元放大器开环放大倍数，取值范围： $10^5 \sim 10^6$

从图 6 看出由于 $K \gg 1$ ， $R_s \gg \frac{R_f}{K+1}$ 所以，电阻并联后等效电阻

$$\frac{\frac{R_f}{K+1} R_s}{R_s + \frac{R_f}{K+1}} \approx \frac{R_f}{K}$$

$C_s \ll (K+1)C_f$ 所以 电容并联后等效电容 $C_s + (K+1)C_f \approx KC_f$

传感器与 Q/V 单元连接后传感器的低频特性为：

$$f_l = \frac{1}{2\pi K C_f \frac{R_f}{K}} = \frac{1}{2\pi R_f C_f} \quad \text{----- (11)}$$

式中： f_l ——低频下限频率（-3dB）

传感器与 Q/V 单元连接后 Q/V 变换公式为：

$$V = \frac{Q}{\frac{C_s}{K} + C_f} \approx \frac{Q}{C_f} \quad \text{----- (12)}$$

电压灵敏度为：

$$S_V = \frac{S_Q}{C_f} \quad \text{-----} \quad (13)$$

显然传感器的等效电容和电阻在连接到 Q/V 单元时被 Q/V 单元的等效电容和电阻完全代替。那么只要将 Q/V 单元的 C_f 和 R_f 选择好，就会提高传感器的低频性能。对于 R_f 而言要选择 $10^9 \sim 10^{10} \Omega$ 比较困难， R_f 越大，在生产工艺中绝缘问题就越不好解决，低频稳定性也越差，看来 R_f 不能选择太大。对 C_f 而言选 $100 \sim 1000\text{pf}$ 是很容易的事，但也不能选择太大， C_f 太大会降低传感器的电压灵敏度。在低频振动加速度测量中，都是小信号或微弱信号，必须用高灵敏度传感器测量，随意降低传感器的灵敏度来获得低频效果是不行的。传统的内装电路传感器也好，电荷放大器也好，指标只能到此为止。

低频特性指标真的到此为止了吗？经过研究发现，由于开环放大倍数 $K \gg 1$ 则 K 与电压灵敏度无关，却与低频下限有关。对 C_f 而言， K 越大越好，这样使传感器等效电容和空间分布电容可忽略不计。对于 R_f 而言， K 越小越好，这样使 R_f/K 较大， R_f 的值就可以适当减小了。北戴河兰德科技有限责任公司工程师们用等效阻抗变换技术，将与 R_f 有关的 K 变换为 K_1 ，而与 C_f 有关的 K 不变。最终传感器的低频特性变为：

$$f_l = \frac{1}{2\pi K C_f \frac{R_f}{K_1}} \quad \text{-----} \quad (15)$$

$$\text{例如，若选 } K_1 = 0.01 K, \text{ 则 } f_l = \frac{0.01}{2\pi C_f R_f}$$

这个结果意味着：如果 R_f 不变，低频下限频率可展宽 100 倍。如果低频下限不变， R_f 可以减小 100 倍。如果综合考虑，即可展宽频带还可以减小 R_f 。

灵活地改变 K_1 和 R_f 会使传感器即展宽了频带又使低频稳定性得到明显提高，这在无内装电路传感器或简单内装电路传感器中是无法实现的。

需要特别指出的是，一般使用者认为频率响应高的传感器低频特性不好，这是不一定的，通常频率响应高的传感器其灵敏度都比较低，在低频测量中由于

低频振动的加速度都很小，所以测得信号太小，信噪比很差，以至于不能使用，误认为传感器的低频特性不好。

B、V/I 变换单元

V/I 变换单元将电压信号变换为电流信号。变换公式由下式表示：

$$I = \frac{V}{k} \quad \text{————— (16)}$$

式中：I——电流，mA

k——V/I 变换系数，kΩ

V/I 变换单元同时将传感器高频特性进行补偿，并提高了高频信号的信噪比。

图 7 是高频特性补偿前后幅值频率特性曲线对比。

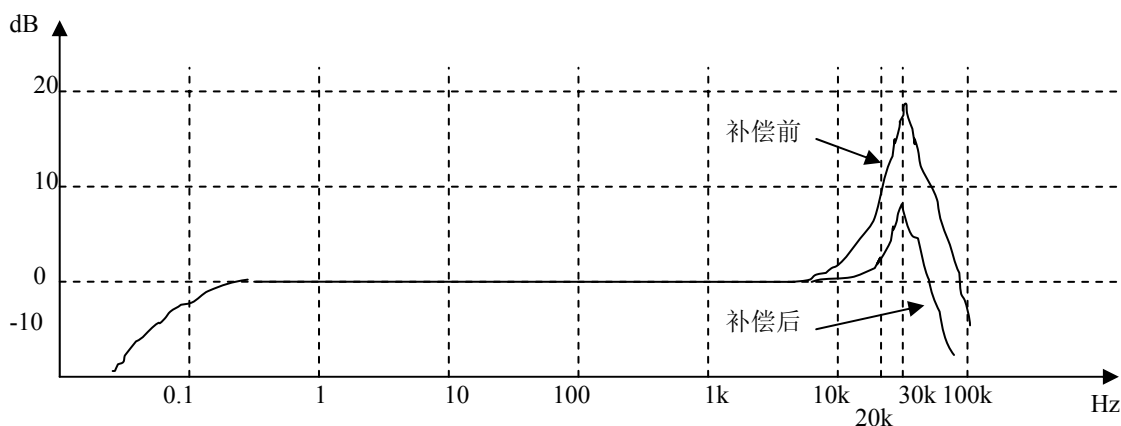


图 7 幅值频率特性曲线高频补偿前后比较

从图 7 中不难看出，补偿后的上限频率从原来的 10kHz 提高到 20kHz 以上，这在无内装电路的传感器或简单内装电路传感器中是无法实现的。

C、电流放大单元

电流放大单元将 V/I 单元输出的电流进一步放大，同时设置直流零点，完成信号变换的最后过程。传感器组成系统后的供电电压范围是 18~30VDC，典型值是 24VDC。传感器的电流由电流输入端流入，经过传感器内部电路，再由电流输出端流出，流入与流出的电流相等。电流分配原则是：4mA 恒定电流为传

感器内装集成电路提供能量，4~20mA 电流为信号输出。传感器与后续仪器连接后供电电压的分配原则是：传感器两端电压降小于 8V，250 Ω 取样电阻的电压降为 5V，信号调理器（如果使用信号调理器）的电压降为 5V，剩余电压用于驱动环路电阻（包括电缆电阻、接线电阻等）。例如：供电电压为 24V，则剩余电压是 6V，用 20mA 的驱动电流可以驱动 300 Ω 的环路电阻，假如电缆电阻是 60 Ω/km，可接双线电缆 2500 米长，信号不会衰减。

为什么要把传感器的输出设计成电流输出呢？因为电流输出的优点很多：与电荷输出型传感器相比，最大的优点是组成系统后传感器的输出阻抗减小了几百万倍，抗干扰能力大大增强；与电压输出型传感器相比，最大的优点是组成系统后传感器可以接几千米的长电缆，在剩余电压够用的前提下，电缆电阻和接线电阻不会造成信号衰减，电缆电阻和接线电阻随温度等环境因素的变化也不会对信号造成任何影响。

BZ11 系列内装集成电路压电加速度传感器将振动加速度最终转换为二线制 4~20mA 电流信号输出。电流灵敏度由下式表示：

$$S_I = \frac{I}{a} \quad \text{————— (17)}$$

式中： S_I ——传感器的电流灵敏度 $\mu\text{A}/\text{ms}^{-2}$

I ——传感器的输出电流 μA

a ——传感器的振动加速度 ms^{-2}

振动加速度与内装集成电路传感器电流输出的对应关系有三个特点：a、无振动加速度时，传感器输出 12mA 直流电流信号。b、振动加速度从零瞬时向上时（传感器安装方向见图 2），传感器输出电流信号大于 12mA。c、振动加速度从零瞬时向下时，传感器输出电流信号小于 12mA。振动加速度与内装集成电路传感器电流输出的对应关系见图 8 的例子。

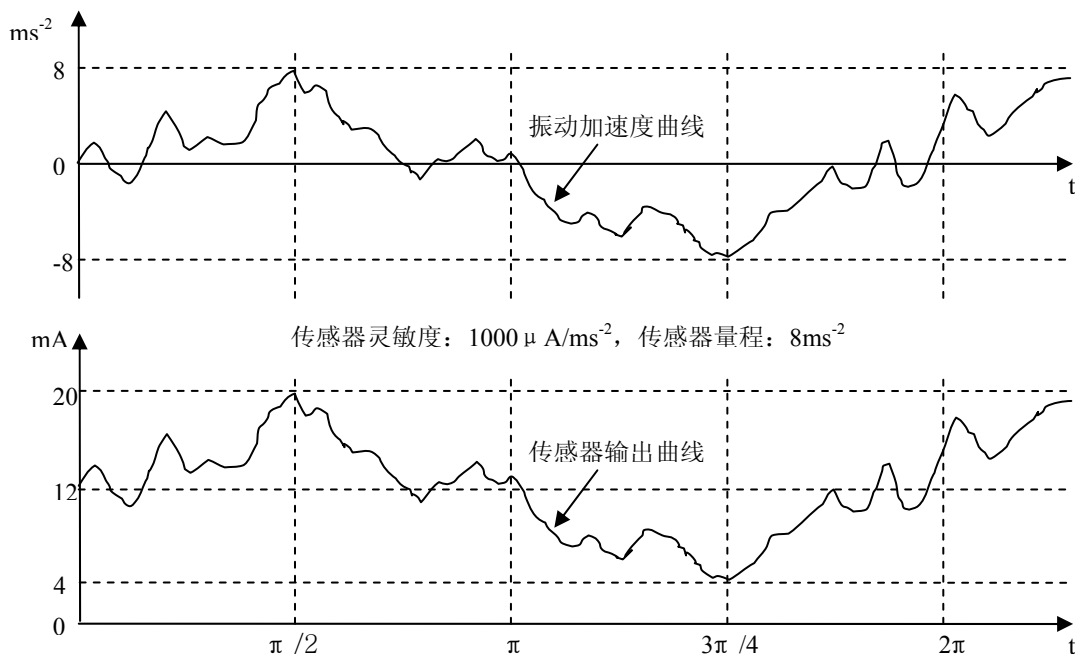


图 8 振动加速度与内装集成电路传感器电流输出的对应关系

图 8 中的内装集成电路传感器型号是BZ1188, 灵敏度 $1000 \mu\text{A/ms}^{-2}$, 量程 8ms^{-2} 。这个例子可以推广到其它型号的内装集成电路传感器中, 传感器灵敏度越低, 它的量程就越大, 例如BZ1182 传感器, 它的灵敏度是 $10 \mu\text{A/ms}^{-2}$, 量程达到 800ms^{-2} 。

内装电路传感器的量程 (也称为满量程) 是指传感器在线性测量范围内能测到的瞬时最大加速度值。图 8 中在 $t = \pi/2$ 时传感器测到 8ms^{-2} 的加速度, 输出 20mA 电流信号, 或在 $t = 3\pi/4$ 时传感器测到 -8ms^{-2} 的加速度, 输出 4mA 电流信号, 传感器的量程就是 8ms^{-2} 。

请用户注意: 传感器的量程就是传感器的测量范围。以图 8 为例, 传感器的测量范围是 $-8 \sim +8 \text{ms}^{-2}$, 也就是说, 传感器测量向上的加速度可以测到 8ms^{-2} , 传感器测量向下的加速度也可以测到 8ms^{-2} , 所以传感器的量程应该是 8ms^{-2} 。但是, 在传感器标定时, 传感器量程的读数最大是 $8/\sqrt{2} \text{ms}^{-2}$, 约 5.6ms^{-2} , 不是 8ms^{-2} 。原因很简单, 标定台给传感器的激励信号是正弦信号, 传感器的输出信号用交流有效值表读数, 当给传感器的激励信号最大值达到 8ms^{-2} 时, 交流

有效值表读数是 5.6 ms^{-2} ，这个值是正弦信号的有效值。如果用数据采集仪读数时，就会读到某时刻传感器输出最大值 8 ms^{-2} ，这个值是正弦信号的单峰值。

3、综合性能

BZ11 系列内装集成电路压电加速度传感器特点如下：

A、高频响应范围宽，增益带宽积比普通传感器提高 2 倍以上，同时提高了高频信噪比，更适合宽频带测量。

B、低频特性明显改善，应该说是突破性改善，更适合低频高灵敏度测量。目前，由于国家权威鉴定部门对振动加速度传感器低频特性的标定最低到 0.1Hz ，所以内装电路传感器的下限频率只能给到 0.1Hz 。实际上，我们用重力旋转方法可以直接测出传感器在 0.1Hz 以下的低频特性。用激励衰减方法可以测出与低频下限频率相关的 $R_f C_f$ 时间常数，也可以间接测出传感器在 0.1Hz 以下的低频特性。经过我们的实验，灵敏度在 $100 \mu \text{ A/ms}^{-2}$ 以上的内装电路传感器在 0.1Hz 以下的低频特性都很好。

C、4~20mA 电流输出，符合国标 4~20mA 电流型仪表的使用要求，可以与其无缝连接。配用 BZ27 系列信号调理器，可与更多仪器设备连接，将在下面的传感器使用方法中进一步描述。4~20mA 电流输出噪声小、抗干扰能力强，更适合远距离测量；

D、内部基准补偿，使时间和温度稳定性得到改善，更适合长期监测；

E、归一化输出，不用单独设置灵敏度，互换性好，更适合多点集群式测量；

F、过载能力强，一般能达到传感器量程的 5~10 倍以上，这个特点比应变式加速度传感器、电磁式微分加速度传感器等要好很多，尤其对振动加速度幅值范围估计不太准确时，可以放心使用，不会损坏传感器。部分型号传感器可以防尘、防潮、防腐蚀，适用于恶劣环境。

G、利用传感器的输出特性，可以对传感器进行自检，更适合高可靠性测量。

在使用普通传感器时，传感器与电缆的连接、电缆与电荷放大器的连接是否正确可靠，电荷放大器与后续仪器都无法知道。通俗地说，传感器接好没接好，

电荷放大器与后续仪器都没有反应。在科研与工程测量中，一般都使用多只传感器进行多点测量，检查传感器的安装与接线的工作量很大，反复仔细检查还可能有疏忽和遗漏，甚至造成某些测点信号丢失。在不可重复的大型试验中（如航天器的发射、大型工程爆破等）信号丢失会带来严重的后果。

BZ11 系列内装电路传感器输出特性是：无振动加速度时，传感器输出 12mA 直流电流信号，有振动加速度时，传感器最小输出 4mA 电流，最大输出 20mA 电流。根据这些特性，就能正确判断传感器及电缆连接的故障。当测量系统组成后进行通电检查时，长时间出现以下情况可以帮助使用者做出正确的判断。a、传感器电流输出为零时，说明传感器电缆断线，也许传感器内部损坏。b、传感器电流输出大于 20mA 时，说明传感器电缆短路，也许传感器内部损坏。c、传感器电流输出直流零点不在 12mA 附近时，说明传感器指标变差或内部损坏。系统在正常工作时也可以实时进行故障自检，瞬间出现信号大于 20mA 说明传感器超量程，长时间出现上述情况，按 a、b、c 规则判断故障。以上信息也可以用软件存入测量系统中，让计算机帮助检查传感器故障，确保万无一失。BZ27 系列信号调理器也具有传感器正确连接指示。

H、两线制接线，不怕地电流干扰，对电缆电器特性无严格限制，使用方便。传感器的全部接线只有 2 条，电流输入线和电流输出线。用一条单芯屏蔽电缆，电流输入线接芯线，电流输出线接屏蔽皮并与传感器壳体相连。通过这两条线既能给传感器提供能量，又能输出振动加速度信号。不需要普通传感器使用的低噪声电缆。

I、与积分型信号调理器组合后，可组成速度传感器系列和位移传感器系列。积分型信号调理器有 6 条一次积分曲线和 6 条二次积分曲线，对每一只加速度传感器来说有可能组成 6 种速度传感器和 6 种位移传感器。积分型信号调理器还有 4 档增益：1、2、4、8 倍，利用增益档可以提高加速度、速度、位移传感器的灵敏度。这是一个非常庞大的灵活的系列组合，选用一只加速度传感器和一个积分型信号调理器相当于拥有了若干只加速度、速度、位移传感器，会给振动测量带

来极大的方便。

主要技术指标

BZ11 系列内装集成电路压电加速度传感器主要技术指标（见附表一）。

使用 方 法

内装电路传感器的正确使用，可以使用户用最低的使用成本，达到最好的测量效果和最高的工作效率。

1、传感器的选型

BZ11 系列内装电路传感器的型号很多，用户要对自己测量的参数进行数值估计，选择参数合适的传感器型号使用。一般选型步骤如下：

A、根据使用环境和用途选择专用型或通用型。专用型参考传感器订货信息列表中标注的内容：a、选择出线方式，如顶端 M5 插座出线或侧端 $\Phi 3$ 电缆出线等；b、选择安装方式，三角法兰或 M5 螺孔安装；c、选择用途，是否长期监测；d、对地绝缘；e、是否密封。

B、根据对振动信号方向性的要求选择单轴向、双轴向或三轴向传感器。如果只测量一个方向的振动，就选择单轴向传感器；如果测量某一个平面内各个方向的振动，甚至测量这个平面内振动方向随时间变化的信息，就选择双轴向传感器；如果测量空间内各个方向的振动，甚至测量振动方向随时间变化的信息，就选择三轴向传感器。

C、根据被测加速度的频率范围选择传感器的频率特性。这个指标很重要，如果传感器的频率响应范围达不到要求，传感器的输出信号无规律可寻。有些用户对这个指标的量值估计不足，喜欢高频响应范围宽一些，如果被测信号的频率没那么高，反而增加了高频噪声。怎样正确选择传感器频率响应范围，一是看被测量对象的性质，例如地震、大型桥梁、大型钢结构机械振动等，振动频率在零点零几至几十赫兹，旋转机械、汽油、柴油发动机、工业风机等，振动频率在几至几千赫兹，爆破、冲击等，振动频率在几十至几万赫兹。二是看测量者关心的

信号频率特征和信号分析方法，例如关心旋转机械的主要振动能量及振动破坏程度，测量频率范围应该选择 10Hz~1000Hz。

D、根据被测物体加速度的幅值选择传感器的灵敏度和量程。量程的选择可以适当放宽，防止传感器由于信号过强而超出测量范围。传感器的灵敏度和频率范围存在一般规律：传感器的频率响应越高，灵敏度越低。反之，传感器的灵敏度越高，频率响应越低。物体振动加速度的一般规律是：振动加速度幅值越大，振动频率越高。反之，振动频率越低，振动加速度幅值越小。所以，在爆破、冲击等高频测量中，选择频率响应高（高频上限高）、灵敏度低、量程范围大的传感器；在地震、大型桥梁等低频测量中，选择频率响应低（低频下限低）、灵敏度高、量程范围小的传感器；在旋转机械等中频测量中，选择传感器的范围较宽，部分传感器可以兼顾使用。

E、传感器重量的选择原则是：振动物体在安装传感器后，增加的附加质量对振动信号的影响可以忽略不计。也就是说，测量质量较小物体的振动时，要选择重量较轻的传感器。传感器的重量与灵敏度的一般规律：传感器的灵敏度越高，重量越重。

F、传感器外形尺寸和出线方式应符合传感器安装位置和安装空间的要求。

2、传感器的安装

传感器安装的基本原则是将传感器牢固地安装在被测点上，防止传感器因为振动太大而跳动或脱落。传感器的安装力要大于振动加速度作用在传感器（包括与传感器一起运动的附加质量）上产生的力。安装力与被测加速度之间关系由下式表示：

$$\vec{F} > (m + m_1)(\vec{a} \pm \vec{g}) \quad \text{----- (18)}$$

式中：F——传感器的安装力 N

m——传感器的质量 kg

m₁——传感器的附加质量（如磁力安装座、插头和部分电缆等）kg

a——被测振动加速度峰值 ms⁻²

g ——重力加速度值（北京地区 9.81 ） ms^{-2}

上式表述了传感器在三种安装位置时安装力与被测加速度之间关系：a、传感器水平安装在被测物体上方时，向量公式简化为标量公式，公式中 g 前面的符号取负号， $F > (m + m_1)(a - g)$ 表示当 $a < g$ 时传感器可以不加安装力，直接放在被测点上，当 $a > g$ 时传感器安装力大于加速度产生的力与重力的差值即可；b、传感器水平安装在被测物体下方时，向量公式简化为标量公式，公式中 g 前面的符号取正号， $F > (m + m_1)(a + g)$ 表示传感器安装力要大于加速度产生的力与重力的和；c、传感器垂直安装在被测物体侧面时，公式中 g 前面的符号取正号， $\vec{F} > (m + m_1)(\vec{a} + \vec{g})$ 表示传感器安装力大于加速度产生的力与重力的向量和。

传感器的安装方法主要有四种：

A、用螺栓安装。传感器的安装底座有两种形式，长期监测用传感器底座为三角法兰式，有三个安装孔，通用传感器底座中心有一个螺纹安装孔。BZ11 系列内装电路传感器提供金属安装螺栓，用螺栓连接传感器和被测物体是最常用的方法，建议采用的安装力矩为 $15 \sim 20 \text{kg} \cdot \text{f} \cdot \text{cm}$ 。传感器的安装尺寸见附图一。

B、用磁力安装座安装。被测物体的被测点为导磁材料时（如钢结构件等），可选用磁力安装座安装传感器。磁力安装座的主要指标是垂直吸力 F （N 牛顿），规格有 60N、200N 等。选择磁力安装座的原则要依据公式 18。磁力安装座的吸力就是传感器的安装力（ F ），磁力安装座的质量就是传感器附加质量（ m_1 ）。

例如：已知传感器的质量为 0.1kg ，磁力安装座的质量为 0.1kg ，吸力为 60N ，求：可测加速度 a 的峰值？

解：1、传感器水平安装在被测物体上方时， $a = 309.8 \text{ms}^{-2}$

2、传感器水平安装在被测物体下方时， $a = 290.2 \text{ms}^{-2}$

3、传感器垂直安装在被测物体侧面时， $a = 299.8 \text{ms}^{-2}$

磁力安装座还有一个特点，磁力安装座和传感器接触的部分与磁力安装座和被测物体接触的部分互相绝缘。传感器通过磁力安装座安装，就会与被测物体绝缘，这在一些测量中是很重要的。

C、用胶粘的方法安装。采用胶粘的方法安装主要原因是被测物体既不导磁也不能钻孔攻丝。要求选用粘接强度大的胶，按粘接工艺清洗粘接表面，粘接面要平整，粘接力与被测加速度的大小也要依据公式 18。粘接力就是传感器的安装力（ F ）。

D、利用重力安装。传感器水平安装在被测物体上方时，且被测加速度 a 小于重力加速度 g 时，传感器可以利用重力直接放在被测物体上，不需要其它安装就可以正常测量。例如微弱地震的测量、大型桥梁的振动测量等。

3、传感器的接线方法

输出 4~20mA 电流信号的传感器和变送器在工业仪表中得到了广泛的应用，已经成为国家标准。在内装集成电路压电加速度传感器制造中，输出 4~20mA 电流信号的传感器还很少见，有的用户对这种输出方式不太习惯，在使用上容易出现一些问题，尤其是传感器与后续仪器如何连接和使用是非常重要的。

输出 4~20mA 电流信号的传感器对于信号的远距离传输和抗干扰能力都具有明显优势，当电流信号完成了上述任务后，还要将电流信号转换为电压信号送后续仪器使用。电流信号转换为电压信号的基本方法是在电流环路中串入取样电阻，根据欧姆定律，环路电流值乘以取样电阻值等于取样电阻两端的电压值，这就完成了电流电压信号的转换。取样电阻串在传感器的电流输出端还是电流输入端，就形成了两种取样方法，从而就形成了两种接线方法：传感器浮地接线和传感器共地接线。任何电流型传感器和仪器的具体接线都离不开这两种方法。

传感器浮地接线原理见图 9（A），它的特点是取样电阻串在传感器的电流输出端，供电电源的地与传感器的外壳及屏蔽线的屏蔽皮不共地。如果供电电源地与被测物体连接而被测物体导电时，传感器的安装必须与被测物体绝缘，否则不能正常使用。如果用多只传感器进行多点测量，被测物体互相导电时，每只传感器的安装都必须与被测物体绝缘，否则不能正常使用。请用户注意。

传感器共地接线原理见图 9（B），它的特点是取样电阻串在传感器的电流输入端，供电电源的地与传感器的外壳及屏蔽线的屏蔽皮共地，同时也与后续测

量仪器的地共地。在这个系统中传感器安装不需要绝缘，多只传感器进行多点测量时不需要绝缘安装，使用非常方便。

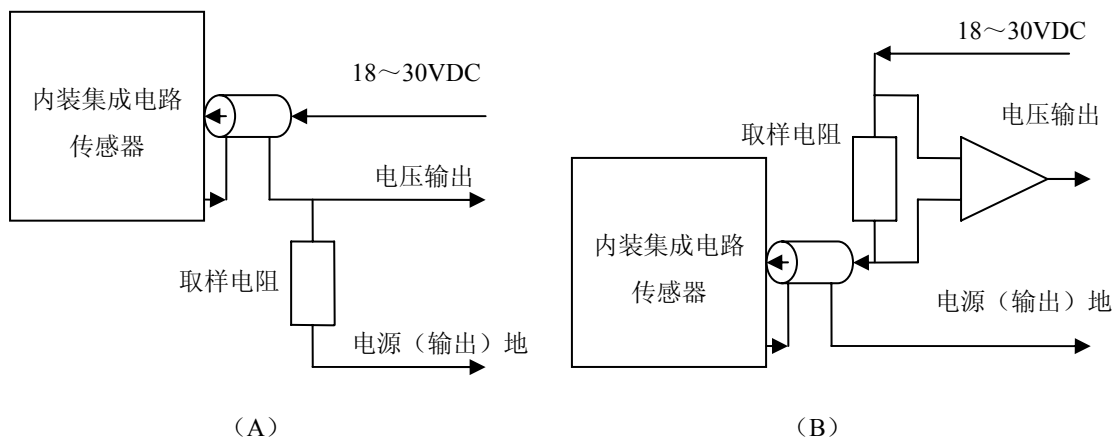


图 9：传感器浮地式 (A)、共地式 (B) 原理接线框图

为了满足用户的要求，我们专门为内装集成电路压电加速度传感器设计了信号调理器，将 4~20mA 电流信号转换为不同等级的电压信号。关于信号调理器的详细情况见附录一。下面介绍传感器的几种具体接线方法：

A、传感器与带 4~20mA 接口仪器或数据采集器的接线方法

目前带 4~20mA 接口的仪器或数据采集器的品种越来越多，使用非常方便。这种仪器主要有三种接口。传感器浮地接法（取样电阻在仪器内部与传感器电流输出端相连）的仪器有两种，一种是仪器内部自带 24V 直流电源，可以直接为传感器提供能量，这种仪器较多；另一种是仪器内部不带 24V 直流电源，需要外接电源。传感器与仪器的接线方法见图 10。传感器共地接法的仪器有一种，内部自带 24V 直流电源，取样电阻在仪器内部与传感器电流输入端相连，传感器的外壳及屏蔽线的屏蔽皮与仪器地共地。传感器与仪器的接线方法参考图 9 (B)，供电电压为 24V。

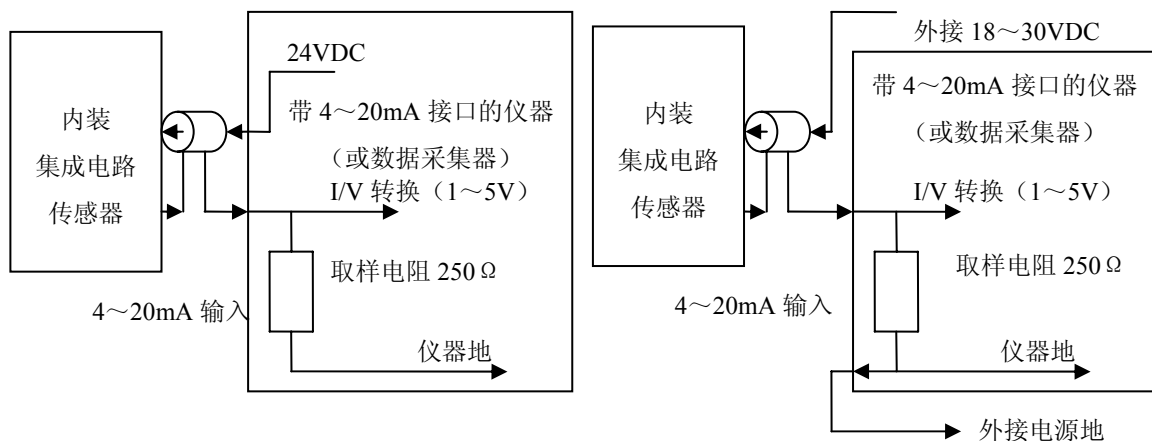


图 10: 传感器与带 4~20mA 接口仪器的接线框图（传感器浮地）

B、传感器与带电压输入接口仪器或数据采集器的接线方法

通常使用的电压放大器或数据采集器都是电压输入接口，为了使这些仪器能与内装集成电路压电加速度传感器正确连接和使用，在图 11 中给出了它们的接线图。图中需要一个外接电源 18~30VDC，为传感器提供能量，要求电源电压稳定，还需要一个 250 Ω 的电阻，用这个电阻将 4~20mA 的电流信号转换为 1~5V 的电压信号，要求电阻精度高，稳定性好。从电阻两端取出的电压接入仪器或数据采集器的电压输入端。为了保证测量精度，还要注意仪器或数据采集器的输入阻抗。从仪器输入端向传感器方向看，传感器的输出电阻是 250 Ω。当仪器的测量精度达到 1% 时，仪器的输入阻抗至少是 25k Ω。近年来生产的仪器大多数输入阻抗达到 100k Ω 以上，它的测量精度能达到 0.25% 以上。

C、传感器与信号调理器和仪器或数据采集器的接线方法

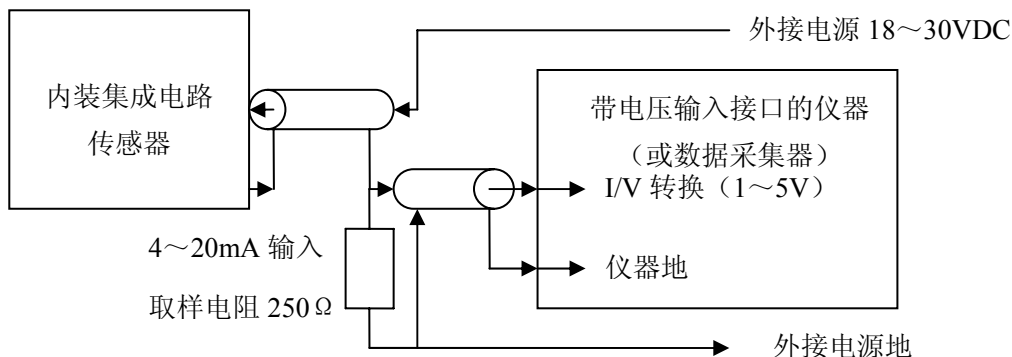


图 11: 传感器与带电压输入接口仪器的接线框图（传感器浮地）

为了满足用户的要求，我们专门为内装电路传感器设计了信号调理器。有了信号调理器的帮助，用户就可以方便地将内装电路传感器与电压输入接口的仪器或数据采集器连接在一起，达到测量的目的。信号调理器分为两种：浮地式信号调理器和共地式信号调理器。传感器与浮地式信号调理器和仪器或数据采集器的接线方法见图 12。

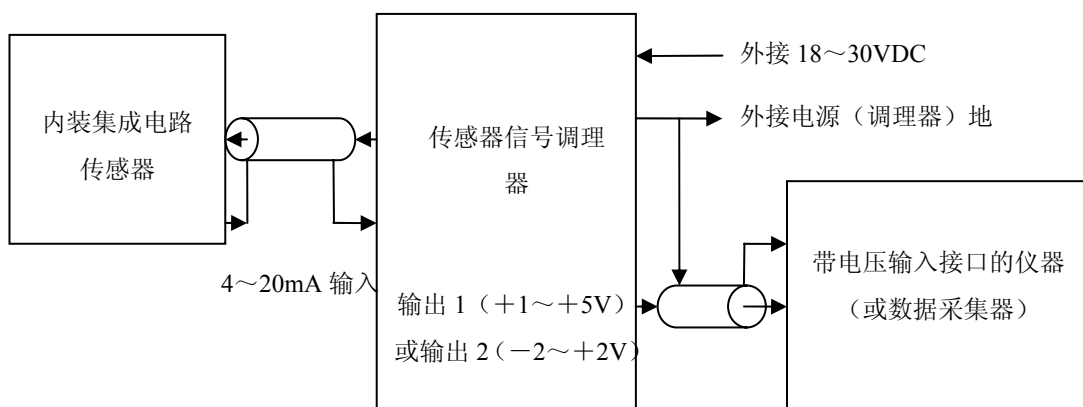


图 12: 传感器与浮地式信号调理器和仪器的接线框图

浮地式信号调理器电压输出 1 的输出阻抗是 $250\ \Omega$ ，所以当仪器的测量精度达到 1% 时，仪器的输入阻抗至少是 $25\text{k}\ \Omega$ 。仪器的输入阻抗达到 $100\text{k}\ \Omega$ 以上时，它的测量精度能达到 0.25% 以上。浮地式信号调理器电压输出 2 的输出阻抗与信号频率有关，信号在中频段以上时输出阻抗是 $250\ \Omega$ ，信号在低频段时，输出电压的低频下限频率有如下关系：

$$f_l = \frac{1}{2\pi R_l C_o} \quad \text{----- (19)}$$

式中： f_l ——输出电压的低频下限频率 Hz（赫兹）

R_l ——仪器的等效输入电阻 $\text{T}\ \Omega$ (10^{12} 欧姆)

C_o ——信号调理器的等效输出电容 pF (10^{-12} 法拉)

当仪器或数据采集器的输入电阻是 $100\text{k}\ \Omega$ 时，浮地式信号调理器电压输出 2 的低频下限频率可以达到 0.07Hz 。浮地式信号调理器电压输出 1 和电压输出 2 同时输出电压信号，可同时接两路仪器测量，或一路用于测量，一路用于监视。

传感器与共地式信号调理器和仪器或数据采集器的接线方法见图 13。

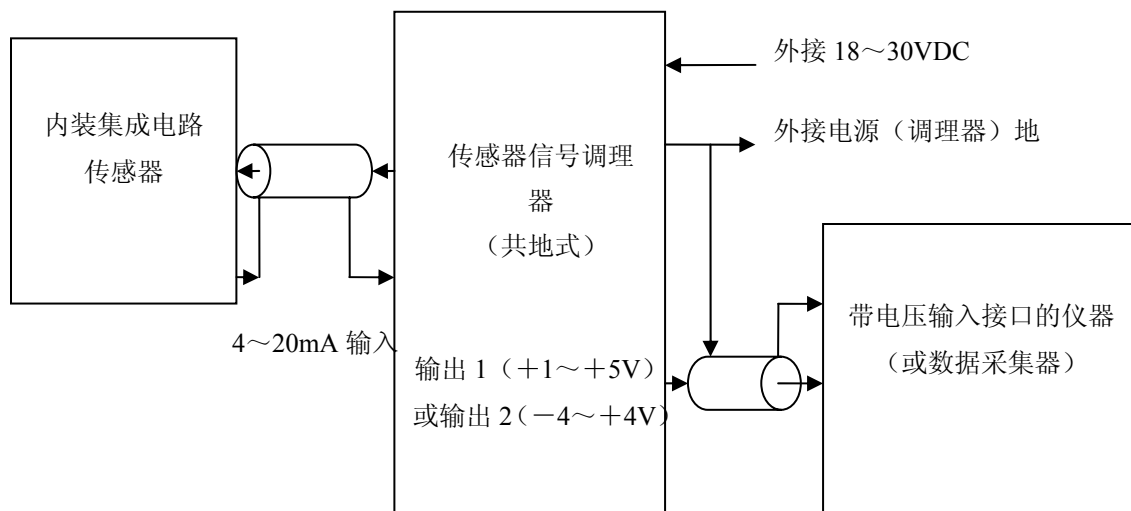


图 13: 传感器与共地式信号调理器和仪器的接线框图

共地式信号调理器电压输出 1 和电压输出 2 的输出阻抗都小于 5Ω ，所以对于仪器或数据采集器的输入阻抗都能满足要求。

传感器与共地式信号调理器的连接是组成测量系统的首选方案。

4、传感器的应用

例 1: 传感器组成的最小测量系统。

由一只传感器、一组 24V 直流电源和一只交流电流表（或万用表的交流电流档）就可以组成测量加速度的最小系统，见图 14（A）。例如测量一台风机的振动加速度，它的最大加速度有效值 13 ms^{-2} 。计算传感器量程 $13 \times \sqrt{2} \approx 18\text{ ms}^{-2}$ ，选择传感器型号 BZ1186，量程 40 ms^{-2} ，灵敏度 $200\text{ }\mu\text{A/ms}^{-2}$ 。交流电流表用 20mA 档测量，若电流表读数为 1.50mA，则测得加速度有效值是：

$$a = \frac{I}{S_I} = \frac{1.5(mA)}{200(\mu A / mS^{-2})} = 7.5 mS^{-2}$$

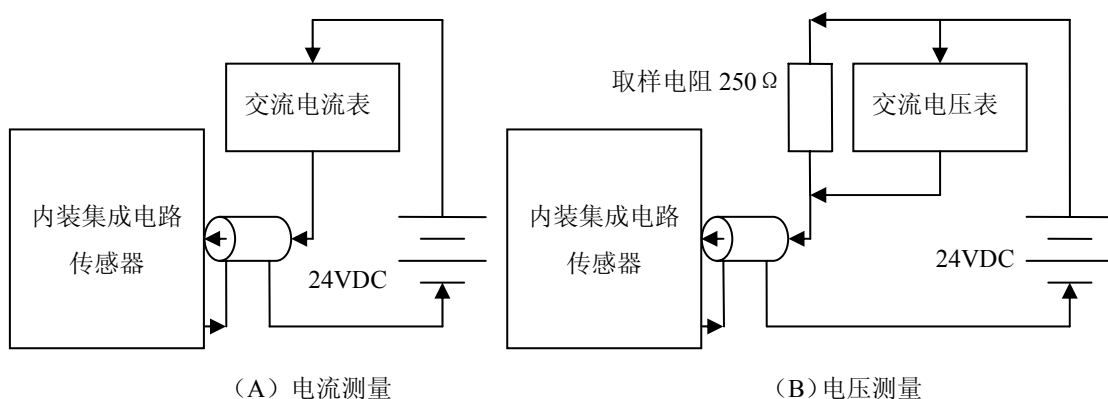


图 14: 传感器组成的最小测量系统

在实际使用时，由于电流表容易损坏，我们可以用交流电压表代替交流电流表，增加一只 $250\ \Omega/0.5\text{W}$ 电阻，见图 14 (B)。以上例为例，电压表用 2V 档测量，若电压表读数为 0.375V，则测得加速度有效值是：

$$a = \frac{V}{S_I R} = \frac{0.375(V)}{200(\mu\text{A}/\text{mS}^{-2}) \times 250(\Omega)} = 7.5\text{mS}^{-2}$$

例 2：传感器与信号调理器连接组成的测量系统。

例如某铁路大桥在列车通过时，某测点的振动加速度峰值最大是 3 ms^{-2} ，最高振动频率 400Hz。计算传感器量程 3 ms^{-2} ，选择传感器型号 BZ1189，量程 4 ms^{-2} ，灵敏度 $2000\ \mu\text{A}/\text{ms}^{-2}$ ，频率范围 $0.1\sim 1.5\text{kHz}$ 。传感器与信号调理器连接组成的测量系统见图 15。

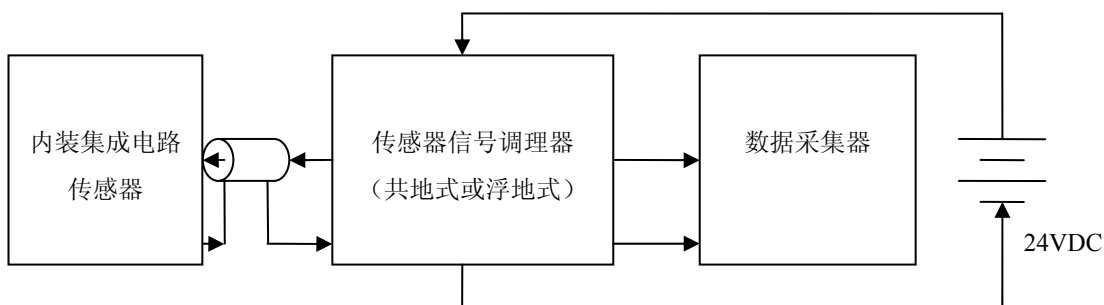


图 15: 传感器与信号调理器连接组成的测量系统

系统测量信号曲线见图 16。

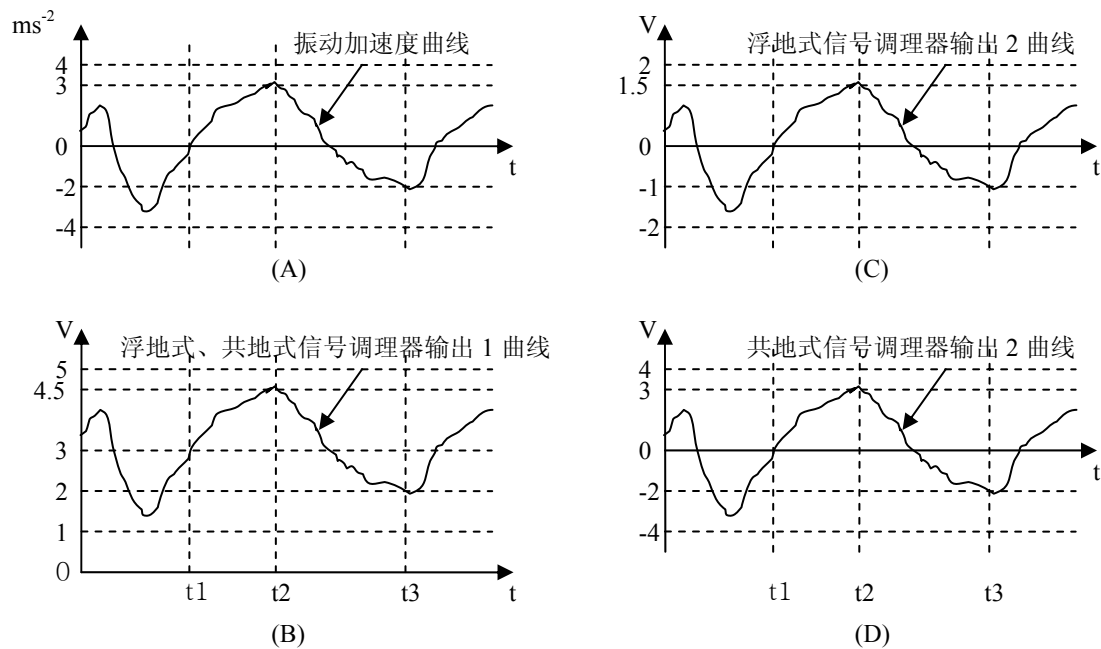


图 16：传感器与信号调理器连接组成的测量系统信号波形图

图 16（A）是振动加速度随时间变化的曲线。图 16（B）是浮地式或共地式信号调理器输出 1 输出的电压随时间变化的曲线。图 16（C）是浮地式信号调理器输出 2 输出的电压随时间变化的曲线。图 16（D）是共地式信号调理器输出 2 输出的电压随时间变化的曲线。在 t_1 、 t_2 、 t_3 时刻振动加速度 a 与信号调理器电压输出 V 的对应关系见下表：

表一

瞬时时间	t_1	t_2	t_3	电压灵敏度 (V/ms^{-2})
振动加速度瞬时值 (ms^{-2})	0	3	-2	
浮地式或共地式信号调理器输出 1 输出的电压瞬时值 (V)	3	4.5	2	0.5
浮地式信号调理器输出 2 输出的电压瞬时值 (V)	0	1.5	-1	0.5
共地式信号调理器输出 2 输出的电压瞬时值 (V)	0	3	-2	1

从实际测量中得到了信号调理器各输出端的总的电压灵敏度，见表一。我们

也可以通过传感器电流灵敏度和信号调理器电压灵敏度计算出总的电压灵敏度。已知传感器电流灵敏度是 $2000 \mu\text{A/ms}^{-2}$ ，浮地式或共地式信号调理器输出 1 输出的电压灵敏度是 0.25V/mA ，得到总的电压灵敏度是 $2000 \mu\text{A/ms}^{-2} \times 0.25\text{V/mA} = 0.5\text{V/ms}^{-2}$ 。浮地式信号调理器输出 2 输出的电压灵敏度是 0.25V/mA ，得到总的电压灵敏度是 $2000 \mu\text{A/ms}^{-2} \times 0.25\text{V/mA} = 0.5\text{V/ms}^{-2}$ 。共地式信号调理器输出 2 输出的电压灵敏度是 0.5V/mA ，得到总的电压灵敏度是 $2000 \mu\text{A/ms}^{-2} \times 0.5\text{V/mA} = 1\text{V/ms}^{-2}$ 。

例 3：传感器与积分型信号调理器连接组成的测量系统。

积分型信号调理器设计为共地式，它具有积分功能和增益可调功能。积分功能有三个主要指标：积分增益（积分灵敏度）、下限频率和上限频率，信号频率一定要在频带内才能得到正确测量结果，积分指标请看附录一中表二。

例 3.1：振动速度测量。

例如：需要测量旋转与往复式机器机械振动的振动烈度，用以评价设备的优劣。根据 ISO2372—1974 对转速为 $10 \sim 200\text{r/s}$ 机器的机械振动规定评价标准和 ISO2954—1975 对旋转与往复式机器机械振动——振动烈度测量仪的要求，需要在 $10\text{Hz} \sim 1000\text{Hz}$ 频率范围内测量机械振动的速度有效值。

首先选择传感器，已知被测机器的 D 类标准的振动速度有效值是 11.2 mms^{-1} 。主频按 200Hz 估计，其振动加速度有效值是 $11.2 \text{ mms}^{-1} \times 2 \times \pi \times 200 \approx 14.067 \text{ ms}^{-2}$ ，考虑其它频率的能量，估计加速度总有效值约 20 ms^{-2} ，总峰值约 30 ms^{-2} （峰值因数可能大于 1.414），选传感器 BZ1186（量程 40 ms^{-2} ，灵敏度 $200 \mu\text{A/ms}^{-2}$ ）。第二步选择信号调理器的积分曲线，选择原则是：以接近低频下限为准，可选择一次积分 5 或一次积分 6，当信号偏小时，选择高增益的一次积分 6。第三步如果信号有必要再放大时，请选择增益档。

测量系统组成后总的电压灵敏度是： $200 \mu\text{A/ms}^{-2} \times 0.5\text{V/mA} \times 1000 \text{ s}^{-1} = 100 \text{ V/ms}^{-1}$ （传感器灵敏度 \times 信号调理器传递系数 \times 积分增益 = 总的电压灵敏度，未考虑增益档），当振动速度有效值达到 11.2 mms^{-1} 时，输出电压有效值是： 11.2

$\text{mms}^{-1} \times 100 \text{ V/ms}^{-1} = 1.12\text{V}$ 。按ISO2954—1975 标准用数字滤波对信号进行处理后，当测得输出电压有效值达到 1.12V 时，判定该设备振动烈度已达到规定的D类等级，不能再继续使用了。

在这个例子中，加速度传感器经过信号调理器的一次积分，输出 1.12V 的电压对应被测设备的振动速度为 11.2 mms^{-1} ，达到了振动速度传感器的使用效果。

例 3.2：振动位移测量。

例如：需要测量桥梁振动的振动位移，用以评价桥梁的状况。

首先选择传感器，已知被测桥梁的振动位移最大峰值是 0.2 mm 。主频按 1.5Hz 估计，其振动加速度峰值是 $0.2\text{mm} \times (2\pi \times 1.5)^2 \approx 0.0178 \text{ ms}^{-2}$ ，考虑其它因素，估计加速度总峰值约 0.05 ms^{-2} ，选传感器BZ1189（量程 4 ms^{-2} ，灵敏度 $2000 \mu \text{ A/ms}^{-2}$ ）。第二步选择信号调理器的积分曲线，选择原则是：以接近低频下限为准，可选择二次积分 4。第三步选择 $\times 8$ 增益档。

测量系统组成后总的电压灵敏度是： $2000 \mu \text{ A/ms}^{-2} \times 0.5\text{V/mA} \times 1000 \text{ s}^{-2} \times 8 = 8000\text{V/m}$ （传感器灵敏度 \times 信号调理器传递系数 \times 积分增益 \times 增益档的增益 = 总的电压灵敏度），当振动位移峰值达到 0.2 mm 时，输出电压峰值是： $0.2 \text{ mm} \times 8000\text{V/m} = 1.6\text{V}$ 。

在这个例子中，加速度传感器经过信号调理器的二次积分，输出 1.6V 的电压对应被测桥梁的振动位移为 0.2 mm ，达到了振动位移传感器的使用效果。

例 4：传感器组成的多点测量系统。

在许多振动测量领域都要组成多点测量系统以满足科研和生产的需要。传感器可以用多种形式组成多点测量系统，如在上节的传感器的接线方法中，每种方法都可以组成多点测量系统。组成的系统分为两类：传感器浮地式多点测量系统和传感器共地式多点测量系统。

传感器浮地式多点测量系统的特点是：因为传感器的外壳以及屏蔽线皮是传感器的电流输出端，也正是取样电阻的取样端，所以每只传感器的外壳都不能互相连接，也不能与系统地相连接。在组成多点测量系统时必须做到：传感器与

传感器之间、传感器与被测物体之间可靠绝缘。

传感器共地式多点测量系统的特点是：因为取样电阻的取样端在传感器的电流输入端，与传感器的屏蔽线芯相连接，传感器的外壳以及屏蔽线皮是与系统地相连接的，所以每只传感器的外壳可以互相连接。在组成多点测量系统时，不需要传感器与被测物体之间绝缘。只有当被测物体是强大电磁干扰源时，可以考虑传感器与被测物体之间的绝缘。共地式多点测量系统的抗干扰能力优于浮地式多点测量系统。

传感器与浮地式信号调理器连接组成的多点测量系统属于传感器浮地式多点测量系统。如果在可以用磁力安装座安装的场合，用磁力安装座安装传感器是比较方便的，因为磁力安装座是绝缘的，否则，传感器安装就比较困难，再考虑抗干扰等因素，在大系统多点测量时，我们不推荐用浮地式信号调理器连接系统。

传感器与共地式信号调理器连接组成的多点测量系统属于传感器共地式多点测量系统。它除了具有共地式多点测量系统的共同优点外，多路组合式信号调理器的接入使系统连接更方便、更可靠，通过多路输出线直接与多路数据采集器连接。多路组合式信号调理器只有一种输出口（相当于单路信号调理器的输出 2），输出电压： $-4V \sim +4V$ ，也可以与各种电压输入仪器连接。传感器与共地式信号调理器连接组成的多点测量系统见图 17。

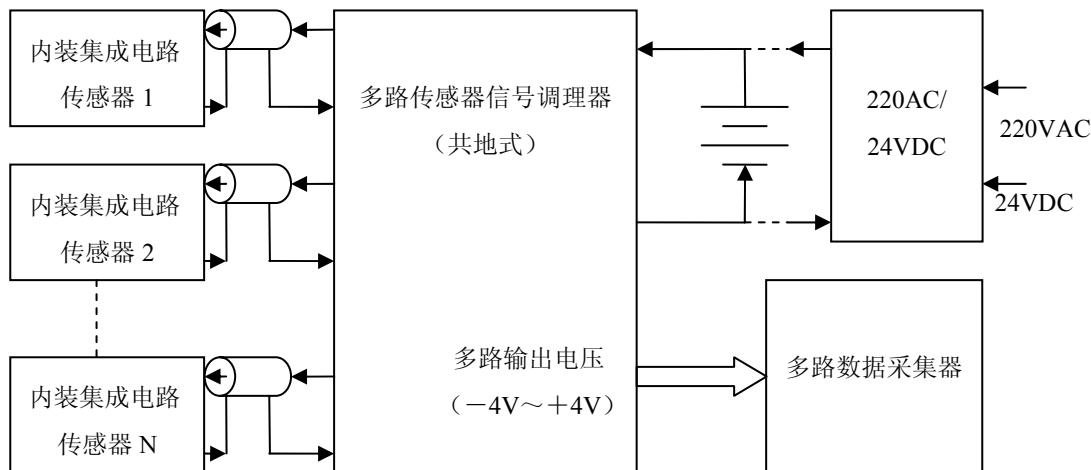


图 17：传感器与共地式信号调理器连接组成的多点测量系统

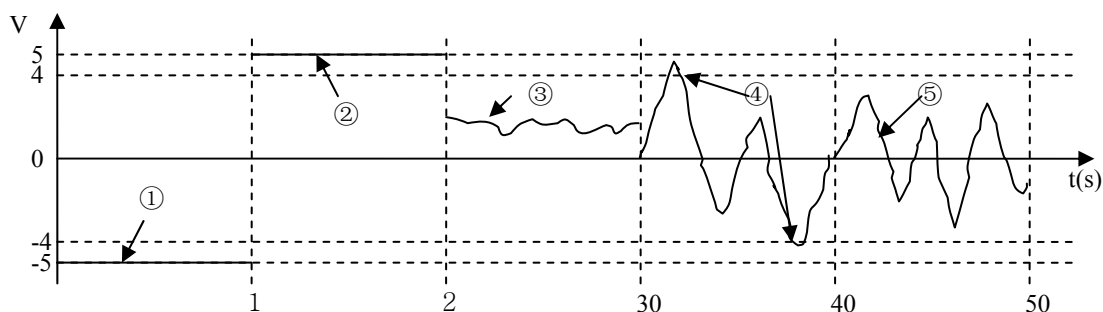
例 5：传感器组成测量系统后的实时自检。

传感器组成测量系统后，利用传感器的输出特性，可以对传感器进行实时自检。以图 17 为例，根据三、3、H 小节中故障判断原则，可以对图 17 系统做出正确的判断。

系统在测量前或测量中长时间（10 秒以上）出现以下情况则系统出现故障：

a、信号调理器电压输出小于 $-4V$ 时（如 $-5V$ ），说明传感器电缆断线，也许传感器内部损坏。b、信号调理器电压输出大于 $+4V$ 时，说明传感器电缆短路，也许传感器内部损坏。c、信号调理器电压输出直流零点不在 $0V$ 附近时，说明传感器指标变差或内部损坏。以上情况需要检查电缆或更换传感器。

系统在测量中瞬间出现信号大于 $+4V$ 或小于 $-4V$ 时，说明被测加速度超出传感器测量范围，需要更换量程更大的传感器。



① 电缆断线或传感器损坏；② 电缆短路或传感器损坏；③ 传感器指标变差或损坏；④ 传感器量程太小；⑤ 传感器输出信号正确。

图 18：信号调理器输出电压波形与传感器工作状态的对应关系

图 18 是信号调理器输出电压波形与传感器工作状态的对应关系，利用测量系统的计算机软件，可以在系统组成后以及系统测量中对信号波形的分析，准确判断传感器的工作状态，对系统进行实时自检。

使用积分型信号调理器积分档时，故障①②③不能自检，应先在线性档自检后再测量。

注 意 事 项

1、传感器在使用前要进行检查。

传感器在使用前一定要进行检查，确认传感器好坏的简单方法见图 14(B)，用万用表直流电压档代替交流电压表，传感器不动时万用表读数为 3V，再用手拿着传感器按 1Hz 左右的频率上下运动，万用表读数应该在 3V 左右变化，运动幅度越大读数变化也越大，最后放下传感器使它静止，万用表读数又回到 3V，说明传感器是好的。当传感器灵敏度太小时，万用表读数变化可能不太明显。当传感器使用一年以上时，应该到本公司或计量部门进行标定。

2、传感器接线要正确。

传感器的接线虽然有插头插座，在与其它仪器连接时也要注意极性不能接反，因为传感器内部电路没有极性保护，极性接反可能会损坏传感器。

3、尽量减小传感器的供电电压。

传感器的供电电压范围是 18~30VDC，为了减小传感器内部的功耗所带来的温升，应尽量使用低电压供电。例如，图 14 所示的系统，电压分配是：信号取样 5V，传感器 8V，电缆电压降 2V（如果电缆较短时），总的供电电压为 15V 就可以正常使用。如果接入信号调理器，信号调理器电压降 5V，总的供电电压为 20V 就可以正常使用。当然如果电源不方便，尽量选用 24VDC 电源。

4、传感器组成系统时注意浮地式与共地式的区别。

再次强调传感器组成系统时注意浮地式与共地式的区别，否则系统不能正常工作。

5、系统受到干扰时干扰源不一定来自传感器。

当组成系统后，干扰源来自多种因素：电网电源 50Hz 及倍频或高频干扰，无线通讯设备高频辐射干扰，被测物体表面带电干扰，计算机等数字电路共地干扰等。一般情况下，有测量经验的用户组成系统后，上述干扰不会影响测量精度。如果干扰确实很大，就要分别采取以下措施查找干扰源并排除干扰：用净化电源为系统供电，加强系统屏蔽并可靠接地，传感器与带电物体绝缘安装，模拟信号地与数字地隔离等。也可以多种措施并用降低干扰。

产 品 附 件

每只内装集成电路压电加速度传感器出厂时附有下列物品：

1、电缆总成	1 条
2、备用电缆插头组件	2 套
3、安装螺钉	1 个
4、电缆转接插座	1 个
5、使用说明书	1 份
6、检定证书	1 份
7、包装盒	1 个
8、长电缆总成，按用户要求订做，最长 100 米	可选件
9、电缆转接插座	可选件
10、电缆微型插头零件	可选件
11、电缆插头安装夹具	可选件
12、磁力安装座	可选件

售 后 服 务

如用户需用其它特殊用途的压电加速度传感器可直接与我公司联系。

产品实行三包，因质量问题保修期 18 个月。

地 址：河北省秦皇岛市北戴河开发区金二路 2 号

电 话：0335-4289044 0335-4288044

传 真：0335-4288001

邮 编：066102

网 址：<http://www.bdhland.com>

E-mail：bz4288044@126.com

附表一：内装集成电路压电加速度传感器型号和技术指标

型号	灵敏度 $\mu\text{A}/\text{ms}^{-2}$	量程 ms^{-2}	分辨率 ms^{-2}	频率范围 $\text{Hz}(\pm 10\%)$	质量 g	结构尺寸		特性
						外形尺寸	基座尺寸	
BZ1181	5	1600	0.004	0.2~20k	16	$\Phi 14.6 \times 31$	17.3×15	单轴
BZ1182	10	800	0.002	0.2~20k	17	$\Phi 14.6 \times 31$	17.3×15	
BZ1183	20	400	0.001	0.2~18k	23	$\Phi 14.6 \times 31$	17.3×15	
BZ1184	50	160	0.0004	0.2~16k	27	$\Phi 15.6 \times 31$	18.5×16	
BZ1185	100	80	0.0002	0.2~13k	40	$\Phi 17.6 \times 31$	20.8×18	
BZ1186	200	40	0.0001	0.2~2.3k	70	$\Phi 19.6 \times 29$	23.1×20	
BZ1187	500	16	0.00004	0.1~2.3k	72	$\Phi 20.6 \times 30$	24.2×21	
BZ1188	1000	8	0.00002	0.1~2k	110	$\Phi 24.6 \times 32.4$	28.9×25	
BZ1189	2000	4	0.00001	0.1~1.5k	150	$\Phi 26.6 \times 35$	31.2×27	
BZ1161	5	1600	0.004	0.2~15k	25	$\Phi 13.6 \times 31$	15×15	双轴
BZ1162	20	400	0.001	0.2~12k	35	$\Phi 15.6 \times 31$	17×17	
BZ1163	100	80	0.0002	0.2~10k	41	$\Phi 20.6 \times 31$	22×22	
BZ1191	5	1600	0.004	0.2~15k	64	$\Phi 22.6 \times 29$	24×24	三轴
BZ1192	20	400	0.001	0.2~10k	80	$\Phi 28.6 \times 29$	30×30	
BZ1193	100	80	0.0002	0.2~10k	102	$\Phi 28.6 \times 29$	30×30	

各型号共同指标：

线性度：1%，

横向灵敏度： $\leq 5\%$ ，

输出电流：4~20mA，

输出偏流（无信号时输出直流电流）：12mA，

供电电压：18~30VDC，

温度范围：-40~+85℃。

附表二：内装集成电路压电加速度传感器订货信息

型号	出线方式				安装方式		用途		对地绝缘	密封
	侧端 M5 插座	顶端 M5 插座	侧端 Φ3 电缆	顶端 Φ3 电缆	M5 螺孔	三角 法兰	通用	长期 监测		
BZ1181	Y				Y		Y			
BZ1182	Y				Y		Y			
BZ1183	Y				Y		Y			
BZ1184	Y				Y		Y			
BZ1185	Y		Y		Y	Y	Y	Y	Y	Y
BZ1186	Y		Y		Y	Y	Y	Y	Y	Y
BZ1187	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
BZ1188	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
BZ1189	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
BZ1161	Y				Y		Y			
BZ1162	Y				Y		Y			
BZ1163	Y		Y		Y		Y	Y	Y	Y
BZ1191	Y				Y		Y			
BZ1192	Y		Y		Y		Y	Y	Y	Y
BZ1193	Y		Y		Y		Y	Y	Y	Y

注：Y 表示某型号传感器有此项功能，订货时应附加说明。型号后无附加说明，表示：出线为侧端 M5 插座、安装方式为 M5 螺孔、用途为通用。

附图一：内装集成电路压电加速度传感器外形图

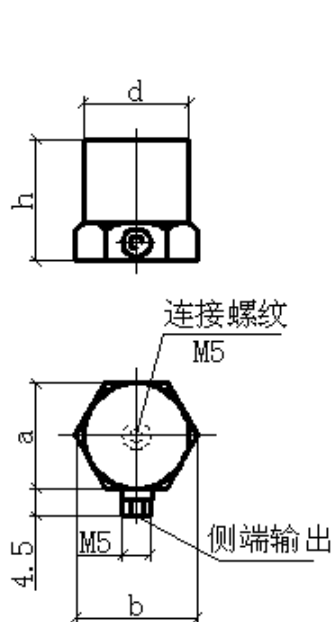


图 1

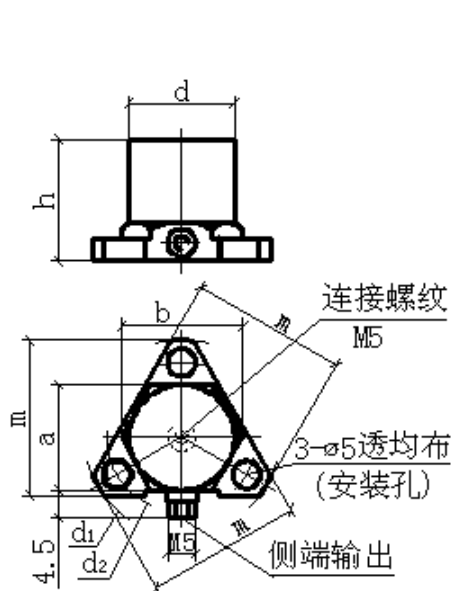


图 2

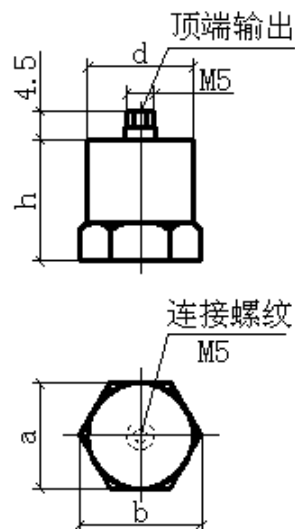


图 3

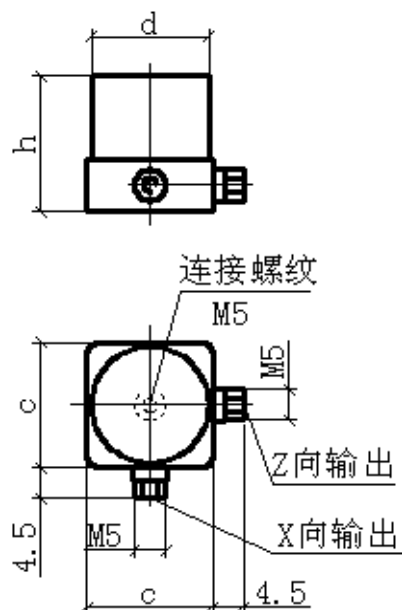


图 4

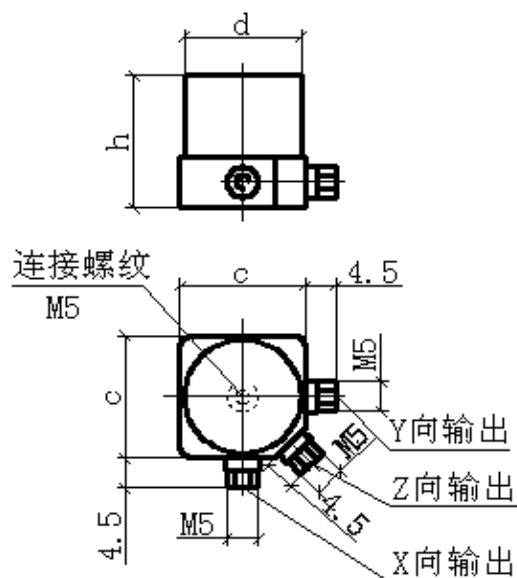


图 5

附表三：内装集成电路压电加速度传感器外形尺寸

型号	外形图	主要外形尺寸								输出形式
		d	h	a	b	c	m	d 1	d 2	
BZ1181-1183	图 1	14.6	31	15	17.3					单向 侧端输出
BZ1184	图 1	15.6	31	16	18.5					单向 侧端输出
BZ1185	图 1 或图 2	17.6	31	18	20.8		26	34	26	单向 侧端输出
BZ1186	图 1 或图 2	19.6	29	20	23.1		28	36	28	单向 侧端输出
BZ1187	图 1 或图 2	20.6	30	21	24.2		29	37	29	单向 侧端输出
	图 3	20.6	30	21	24.2					单向 顶端输出
BZ1188	图 1 或图 2	24.6	32.4	25	28.9		33	41	33	单向 侧端输出
	图 3	24.6	32.4	25	28.9					单向 顶端输出
BZ1189	图 1 或 图 2	26.6	35	27	31.2		35	43	35	单向 侧端输出
	图 3	26.6	35	27	31.2					单向 顶端输出
BZ1161	图 4	13.6	31			15				双向输出
BZ1162	图 4	15.6	31			17				双向输出
BZ1163	图 4	20.6	31			22				双向输出
BZ1191	图 5	22.6	29			24				三向输出
BZ1192	图 5	28.6	29			30				三向输出
BZ1193	图 5	28.6	29			30				三向输出

附录一：信号调理器介绍

一、信号调理器简介

BZ27 系列程控信号调理器是内装 IC 传感器的配套仪器，也可以用于其它测量。信号调理器有 2 种输入方式供用户选择，一种是二线制 4~20mA 输入，另一种是 ICP 输入。可以直接配置国内外应用广泛的内装 IC 传感器。

信号调理器功能控制可以通过面板操作完成，也可以通过计算机软件操作完成。最多 32 台信号调理器与计算机连接，可以组成并行传输 1024 路模拟信号的庞大测试系统，可以同时测量 6 平方公里范围内任意一点的被测数据。

信号调理器与内装 IC 加速度传感器连接可以同时测量振动加速度、振动速度和振动位移，相当于拥有多种型号的速度传感器和位移传感器。

信号调理器配置隔离的 USB 接口，信号调理器与计算机不共地，有效地阻断了计算机对信号调理器模拟信道的干扰。信号调理器具有睡眠功能，进一步降低仪器功耗、降低噪声和数字干扰，提高测量信号的信噪比。所有的程控操作都不参与模拟信道的数字化变换，保证模拟信号的幅值、频率、相位信息不失真。

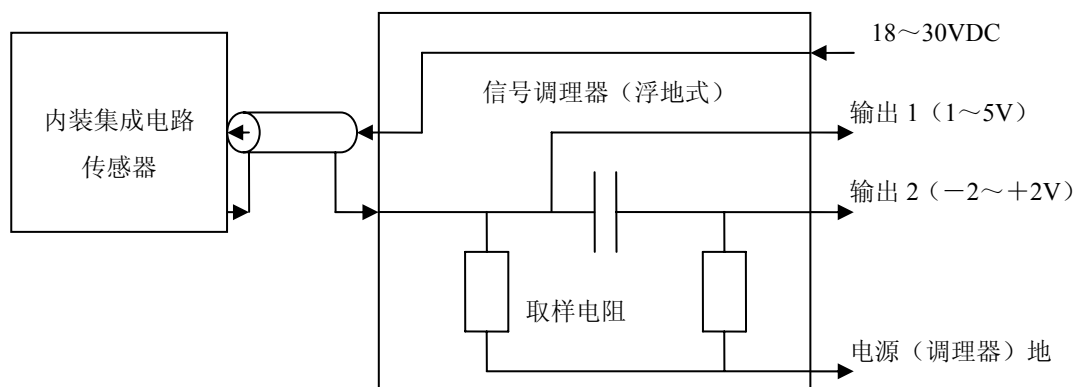
二、信号调理器的两种基本电器特性

信号调理器的两种基本电器特性是：a、浮地式信号调理器。b、共地式信号调理器。任何型号的信号调理器都必须符合这两种基本电器特性的其中一种。

1、浮地式信号调理器

浮地式信号调理器的特点是：a、传感器的外壳和屏蔽线的屏蔽皮连接作为信号线，与信号调理器的外壳和地不连接，传感器的地与信号调理器的地不共地。b、传感器的芯线接正电源，电流由芯线进入传感器，再经过传感器的地线输出电流，信号调理器的电流取样电阻接在传感器的地与信号调理器的地之间，电流经过取样电阻到调理器的地，电流经过取样电阻时，将电流转换为电压。c、浮地式信号调理器适合单通道测量或多通道浮地测量，比如利用磁力吸座安装传感器，就会达到传感器浮地测量的目的。d、信号调理器对后续仪器的输入阻抗有严格要求；e、浮地式信号调理器价格比较经济。

浮地式信号调理器的原理与接线框图见下图：

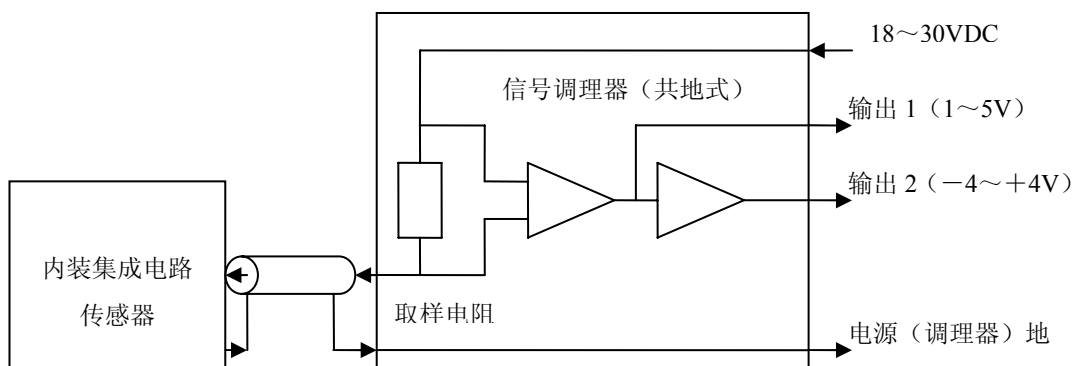


图一：信号调理器（浮地式）原理与接线框图

2、共地式信号调理器

共地式信号调理器的特点是：**a、**传感器的外壳和屏蔽线的屏蔽皮与信号调理器的外壳和地连接，传感器的地与信号调理器的地共地。**b、**信号调理器的电流取样电阻接在正电源与传感器的芯线之间，电流经过取样电阻由芯线进入传感器，再经过传感器的地线到调理器的地，电流经过取样电阻时，将电流转换为电压。**c、**共地式信号调理器适合多通道共地测量，不需要传感器对地绝缘，安装十分方便。**d、**信号调理器输出电阻小，对后续仪器的输入阻抗没有严格要求。

共地式信号调理器的原理与接线框图见下图：



图二：信号调理器（共地式）原理与接线框图

三、信号调理器产品信息。

本公司生产的 BZ27 系列信号调理器除了上述单通道外，还有多通道组合式和功能扩展型，适合不同的应用。BZ27 系列信号调理器型号和功能说明见下表：

表一：BZ27 系列信号调理器型号和功能

功能/型号	BZ2701	BZ2702	BZ2703	BZ2704
信号连接方式	浮地式	共地式	共地式	共地式
通道数	1	4, 8, 16, 32	8, 16, 32	8, 16, 32
信号输入	4~20mA	4~20mA	4~20mA 或 ICP	4~20mA 或 ICP
信号输出 1	1~5V			
信号输出 2	-2~+2V	-4~+4V	-4~+4V	-4~+4V
输出 1 传输系数	0.25V/mA			
输出 2 传输系数	0.25V/mA	0.5V/mA	0.5~4V/mA 0.5~4V/V	0.5~4V/mA 0.5~4V/V
传输精度	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%
频率响应范围	0~100kHz	0~100kHz	0~100kHz	0~100kHz
增益调整			1, 2, 4, 8	1, 2, 4, 8
一次积分			6 档 (表二)	6 档 (表二)
二次积分			6 档 (表二)	6 档 (表二)
低通模拟滤波 (-24dB/oct)				1~100kHz 每通 道独立选择 16 档
低通抗混滤波 (-140dB/oct)				0.7~20kHz 2 组 通道每组 298 档
电源	18~30VDC	18~30VDC 220VAC	18~30VDC 220VAC	18~30VDC 220VAC
换档方式			程控	程控
显示			LED 数字	LED 数字
省电模式 (提高信噪比)			主机睡眠, 显示黑屏, 通道正常工作	主机睡眠, 显示黑屏, 通道正常工作
记忆功能			掉电记忆档位	掉电记忆档位
计算机接口			USB	USB
多台仪器连接			RS485	RS485

四、信号调理器积分功能。

积分型信号调理器与内装集成电路压电加速度传感器结合后可组成系列速度传感器和位移传感器。

信号调理器积分功能有 12 条曲线，每条曲线有三个主要指标：积分增益（积

分灵敏度)、下限频率和上限频率, 见下表:

表二: 积分功能

积分曲线	积分增益 (s^{-1})	下限频率 (Hz)	上限频率 (Hz)
一次积分 1	1	0.1	300
一次积分 2	10	0.1	300
一次积分 3	10	1	3000
一次积分 4	100	1	3000
一次积分 5	100	10	30000
一次积分 6	1000	10	30000
	积分增益 (s^{-2})		
二次积分 1	1	0.1	10
二次积分 2	10	0.1	10
二次积分 3	100	1	100
二次积分 4	1000	1	100
二次积分 5	10000	10	1000
二次积分 6	100000	10	1000

信号调理器的详细信息请查阅本公司信号调理器的使用说明书。