

## 磁位置传感器的应用

### 摘要

采用各向异性磁阻(AMR)传感器传感磁场位置,逐渐成为一种非接触测量运动物体位置的常用方法。角度或线性运动物体,配有补充性的传感器或固定磁铁,再附装上一块磁铁或传感元件,就可以定量确定合成磁场的相关方向。使用多个传感器或磁铁可以增大角度或线性位置的测量范围。此应用说明解释了用于位置测量的 AMR 传感器的原理,包括几个用以解决工艺问题的有效寿命电路。

### AMR 传感器的原理

各向异性磁阻发生在某些含铁材料中,该材料可以薄带形成使用而成为电阻元件。霍尼韦尔公司采用了一种被称为坡莫合金的含铁材料,将其制成了四个电阻元件构成一个惠斯顿电桥传感器。每个带状磁阻元件都具有以  $\cos^2\theta$  关系改变电阻的能力,其中  $\theta$  (西塔)是磁矩 (M) 矢量和电流 (I) 间的夹角。图 1 示出了有外加磁场和电流情况的坡莫合金元件。

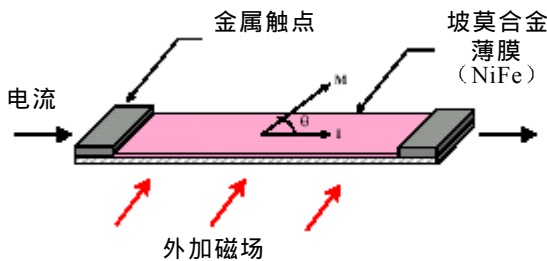


图 1  
AMR 元件

为了用 AMR 元件构建传感器,须将四个元件布置成金刚石形状,并通过金属化将它们的端部彼此连接在一起,以形成惠斯顿电桥。对四个首尾连接的不同元件施加  $V_s$  的直流电压源,剩余的两个节点用于测量(节点任意选取)。在不提供任何磁场(0 高斯)的情况下,除了因 AMR 元件的制造公差而引起的少量补偿电压外,各个测量节点都应具有相同的电压。在用

这种方式连接 AMR 元件形成惠斯顿电桥时,这些节点将产生一个是由供电电压, MR 比率和西塔 ( $\theta$ ) 角构成的函数的差分电压 ( $\Delta V$ );  $\theta$  角是元件上的电流和元件磁敏角度 (M) 之间的夹角。图 2 描述了这种传感器电桥。

外加磁场的方向

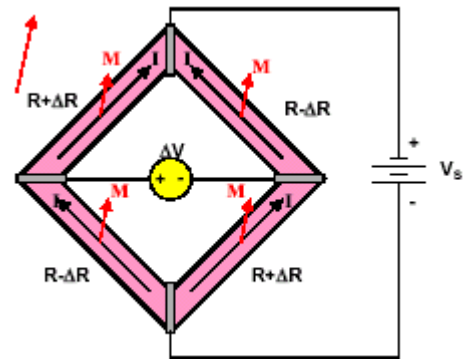


图 2  
AMR 电桥

要使元件磁化方向与外加磁场一致,外加磁场必须“饱和”坡莫合金材料。与其它以线性方式工作的 AMR 传感器相反,位置传感是一种饱和方式功能;这就是说,外部磁场完全可对材料的磁化重新定向。对于霍尼韦尔公司的磁位置传感器而言,必须在电桥上施加至少 80 高斯的磁场以实现期望的性能。小于 80 高斯的磁场虽然会使一些电桥工作,但饱和程度不够。

### 输出信号

HMC1501 和 HMC1512 是霍尼韦尔公司 AMR 型磁位置传感器,它包含可在饱和方式下的 AMR 传感器电桥。HMC1501 含有一个可在  $\pm 45^\circ$  范围内传感位置的 AMR 电桥,而 HMC1512 含有两个可在  $\pm 90^\circ$  范围内传感位置的 AMR 电桥。HMC1501 的电桥差分输出电压 ( $\Delta V$ ) 为:

## 磁位置传感器的应用

Honeywell

$\Delta V = -V_s \sin(2\theta)$ ，式中：

$V_s =$  供电电压 (V)

$S =$  (材料常数) (12mV/V)

$\theta =$  磁场参考角 (度)

在 HMC1512 上的各个电桥彼此旋转定向成  $45^\circ$  时，传感器电桥 A 的差分输出电压为：

$$\Delta V_A = V_s S \sin(2\theta)$$

而传感器电桥 B 的差分输出电压为：

$$\Delta V_B = -V_s S \cos(2\theta)$$

用 HMC1512 电桥 A 的输出信号绘制与  $\theta$  角的关系曲线，图 3 描绘了两个周期的波形。

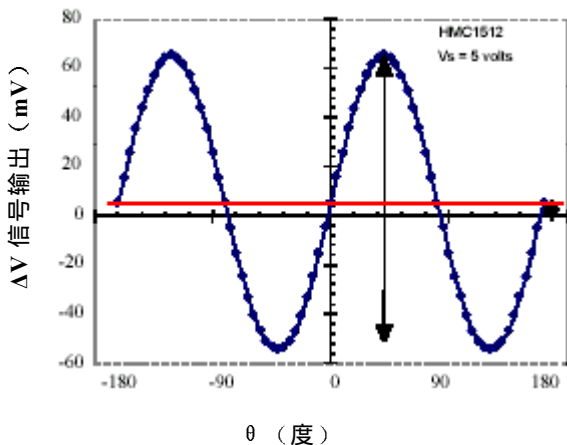


图 3  
两个周期的波形

由上图可以看出，这种传感器电桥的大多数线性范围在约  $-180^\circ$ ， $-90^\circ$ ， $0^\circ$ ， $90^\circ$  和  $180^\circ$  各点的  $\pm 45^\circ$  范围中。其中， $0^\circ$  和  $\pm 180^\circ$  的各点具有正斜率，而  $\pm 90^\circ$  各点则具有负斜率。这些斜率可充分运用于角度和线性定位应用中。

既然我们已制定了用于传感磁场方向的相当精确方法，则应当指出，一些误差须作调整以提高测量精度。第一个误差是如图 3 中描述的零点偏置电压，它是前述的制造公差副产物。要对偏置进行补偿，可以采用模拟信号处理方法或者采用数字值校正方法。在模拟信号处理方法中，可以通过信号调节电路

将反向误差电压合并到电桥输出信号中。在数字方法中，可以将数字化的输出信号值与误差校正值组合起来。

另一个要说明的常见误差是材料常数随温度的漂移。这个误差会影响电桥的灵敏度和偏差。灵敏度和偏差的温度系数 (tempcos) 一般分别额定为  $-0.32\%/^\circ\text{C}$  和  $-0.01\%/^\circ\text{C}$ 。如果贵公司的应用场合应当具有较大的工作温度范围，可以考虑采用某种能进行误差校正的温度监控电路来补偿温度漂移。

如果贵公司采用的是多电桥传感器，应当补偿的另一个误差是材料常数中的器件一致性公差。这种误差本身表现为灵敏度上的变化，因而在  $\Delta V$  与  $\theta$  曲线中产生不同的峰-峰值电压摆动。与零点偏置电压非常相似，可以采用模拟信号处理或数字化数值校正方法来抵消这种灵敏度公差。

### 位置传感

对于简单的磁位置传感而言，可以采用 HMC1501 传感器探测附近处于线性或角位移状态的磁铁的相对运动。图 4 图示了一个典型的定向。

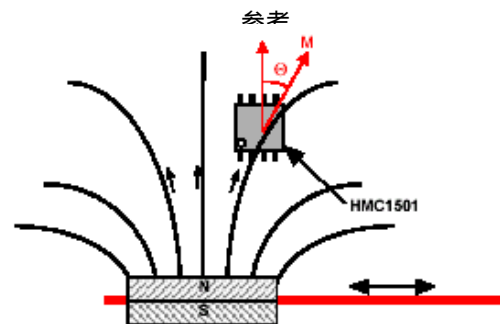


图 4  
位置传感

在固定的 HMC1501 的定向时，磁铁可转换成  $\pm 45^\circ$ ，并保持在传感位置时的  $\Delta V$  与  $\theta$  的线性斜率中。假定一个典型的供电电压为 5 伏 ( $V_s = +5\text{Vdc}$ )，则 HMC1501 将在 2.5 伏的偏置电压上提供约 120mV 的摆动 ( $\pm 60\text{mV}$ )。采用 2.5 伏偏置电压的理由是，当惠斯顿电桥电源电压在 0 伏和 +5 伏时，该电桥将执行一个导轨分流功能，以利用由磁场和零点偏置电压产生的  $\Delta V$  创建两个分开的接近 +2.5V 的电压源。图 5 示出了这种转换曲线。

# 磁位置传感器的应用

Honeywell

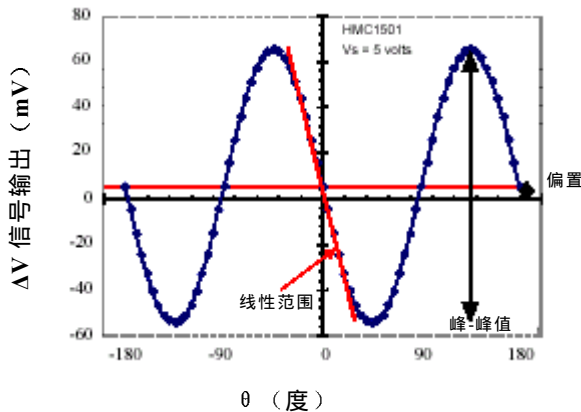


图 5 转换曲线

为了与 HMC1501 (OUT+, OUT-) 的输出引脚相连，一般采用一个仪表放大器电路。仪表放大器可以以成套集成电路的形式购买，也可以通过将分立的元件和集成电路进行组合来制作；例如，运算放大器 (op-amps)。仪表放大器的目的是导出差分信号 (OUT+减去 OUT-)，并将附加信号放大至所需水平。图 6 显示了采用一个带外部分立元件的运算放大器组成的典型仪表放大器。

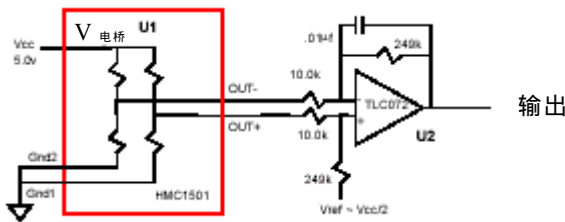


图 6 仪表放大器

上面的电路原理图显示出了一个电压增益约为 25 的仪表放大器，其电桥输出端上的额定峰-峰值信号摆动范围为 120mV。该仪表放大器允许输出电压在约 2.5V (1 至 4V) 的峰-峰值中心点间出现约 3V 的摆动。因为电桥偏置指标是  $\pm 7\text{mV/V}$ ，故在电桥上施加 5V 的电压可产生  $\pm 35\text{mV}$  的偏置电压。在仪表放大器增益后，该偏置电压为  $\pm 850\text{mV}$ ，与放大信号组合起来时，它将保持在供电电压输出线上。

抵消电桥上的零点偏置电压的一种方法是将仪

表放大器上的  $V_{\text{ref}}$  的值从 2.5V 改变为能使放大器输出电压在磁场方向每旋转  $90^\circ$  时仍保持在 2.5 伏的近似电压。这可以通过使用一台微调电位器，沿着供电端，将电位器的滑动片拨至  $V_{\text{ref}}$  和端部位置来实现。图 7 示出了这一方法。

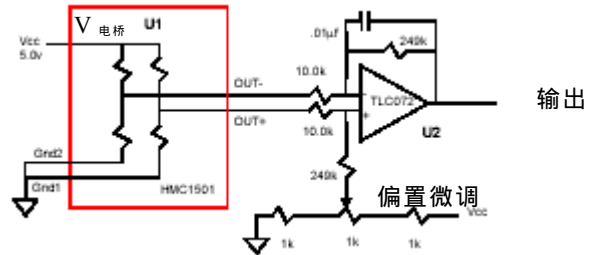


图 7 偏置微调

另一种补偿偏置误差电压的方法是仅在生产测试时测量这偏置误差电压，并从所有将来的测量结果中减去该值。这种方法的优点是电路元件数保持在最少数目 (如图 6 那样)，并且不需要微调程序。其缺点是，你可能不得不降低放大器增益以接纳偏置和灵敏度公差中积累的所有误差，以及所有乘以放大器增益的温度系数的变化。

## 扩大位置传感范围

要从  $\pm 45^\circ$  扩大到  $\pm 90^\circ$ ，需要两个 HMC1501 传感器或单个 HMC1512 双传感器。利用两个彼此相位差  $45^\circ$  的电桥，可以另外使用两个线性斜率。图 8 示出了一种典型配置。

由图 8 可知，当轴旋转时，由放置在轴端的一块磁铁产生的磁力线从北极出发并返回到南极。将一个 HMC1512 放置在该磁铁的轴线上，位于磁铁的正前方，流经传感器电桥的磁场将维持磁铁的方向。两个电桥的输出将从这旋转中产生如图 9 中所示的正弦和余弦波形。

# 磁位置传感器的应用

Honeywell

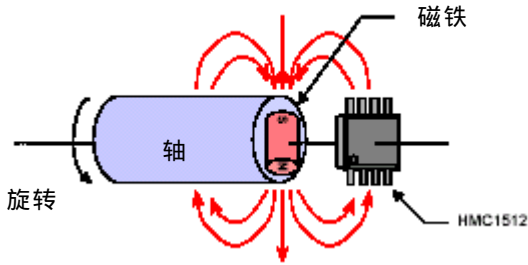


图 8  
宽范围的位置传感

传感器 A:  $V = A * \sin(2 * \theta) + \text{偏置}$   
 传感器 B:  $V = A * \cos(2 * \theta) + \text{偏置}$

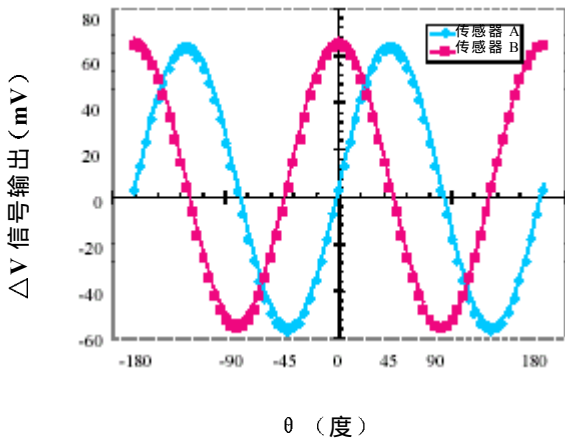


图 9  
正弦, 余弦波形图

由于正弦（传感器电桥 A）和余弦（传感器电桥 B），减去偏置误差电压后成比例，所以电桥 A 与电桥 B 的比将产生一个  $\text{tg}2\theta$  函数，并消除了振幅 A 的值。因此， $\theta$  角可描述为：

$$\theta = 0.5 * \arctan(\Delta V_a / \Delta V_b)$$

然而，因为当  $\theta$  接近和超过  $\pm 45^\circ$  时，反正切函数会产生一些三角函数差，这些特殊情形适于：

- $\Delta V_a = 0$  时,  $\theta = 0^\circ$
- $\Delta V_b = 0$  和  $\Delta V_a < 0$  时,  $\theta = -45^\circ$
- $\Delta V_b = 0$  和  $\Delta V_a > 0$  时,  $\theta = +45^\circ$
- $\Delta V_a < 0$  和  $\Delta V_b < 0$  时, 从  $\theta$  中减去  $90^\circ$
- $\Delta V_a > 0$  和  $\Delta V_b < 0$  时, 从  $\theta$  中加上  $90^\circ$

因为大多数三角函数都是在微控制器的集成电路中以参数库形式执行的，所以这些特殊情况的条件很容易处理。合成  $\theta$  角是磁场相对于传感器的相对位置。应当注意的是，如果允许旋转超过  $\pm 90^\circ$ ，将再次重复计算  $\theta$  并在各端点上跳读正  $90^\circ$  和负  $90^\circ$ 。通过使用这种电路和一个霍尔效应传感器来确定轴的哪一侧正在通过磁极探测来测定位置，可以进一步将  $360^\circ$  或  $\pm 180^\circ$  的参数输入到微控制器中。图 10 示出了 HMC1512 的基本电路接口。

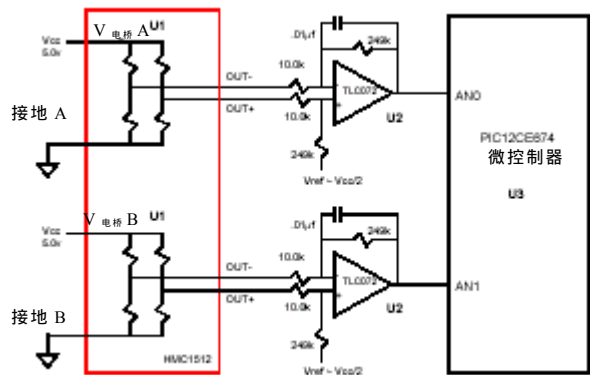


图 10  
HMC1512 电路

## 线性位移传感

对于长度延长的线性位置传感而言，可以将多个传感器电桥排列在移动磁铁旁。要获得最佳分辨率和线性度，应当将  $\pm 45^\circ$  范围后退一点，至约  $\pm 30^\circ$ 。当定量计算移动位移需要多少线性排列的传感器时，应当确定磁铁到电桥的间隔距离。对于像陶瓷型和铝镍钴型，其磁极面磁场强度在 1000 高斯以下的常用磁铁而言，最大约 0.25in 的间隔距离则较为合理；因此，离磁铁最近的两个至三个电桥将处于饱和状态（大于 80 高斯）。对于诸如钕型，其磁极面磁场强度约为 3000 高斯或更高的罕见地磁而言；可以获得 0.5in 的间隔距离。图 11 示出了具有额定磁铁位移范围的四个 HMC1501 单电桥传感器的典型阵列。

由图 11 可知，一个单电桥传感器可以产生  $\Delta V$  与线性位置分布。如果要磁场始终维持电桥处于饱和，

## 磁位置传感器的应用

Honeywell

位移的两个端点会离开正弦曲线外，除此之外，将产生一个极像图 3 和图 5 所示的正弦波形。如果饱和水平迅速衰减，则端点位置的传感器的  $\Delta V$  可能仍接近正弦波曲线的峰值，直到磁铁移动返回使电桥重新饱和。图 12 描述了一个单传感器的这种线性位移波形。

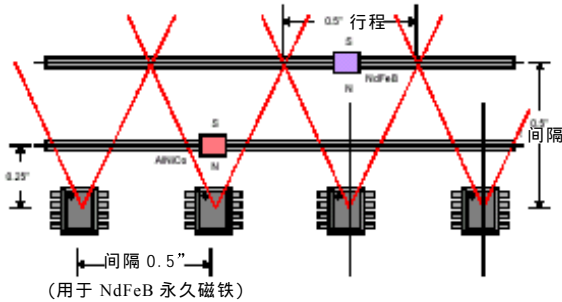


图 11  
HMC1501 阵列

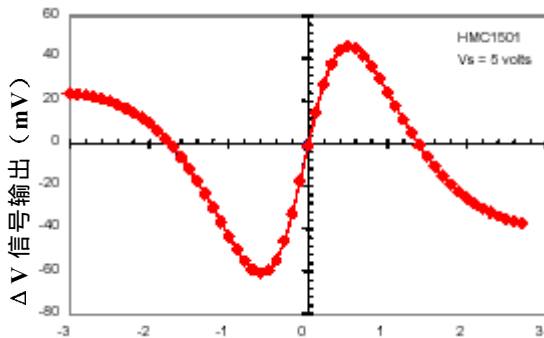


图 12  
线性位移波形图

上图图示出了一个位移约为 2 in 的传感器系统的设计。典型位置分辨率约为 2 密尔 (0.002")，其精度为 0.1% (在很大程度上取决于辅助接口电子设备)。

在解释来自每个传感器电桥的  $\Delta V$  信号时，每个电桥是通过消除偏置误差电压和测量峰-峰值电桥波形，再进行校准，并为每个桥路的输出创建一个换算系数，以使最终调整的峰-峰值范围都是相同的。一旦校准好后，就会收集每个传感器的电压值并开始执行比较程序。比较程序使用校正过的校准值并在相邻的传感器中创建一个“斜率”值。根据图 12，需注意，当磁铁最接近电桥时，电桥将在被测  $\Delta V$  的一侧或两侧上显示一个正斜率。然后比较程序从一个或多个正斜率值中找到最小的  $\Delta V$ ；它将是使用的线性范围值。

图 13 描述了一个大致中心位置在第二个电桥传感器上方的磁铁，所产生的组合电桥波形。

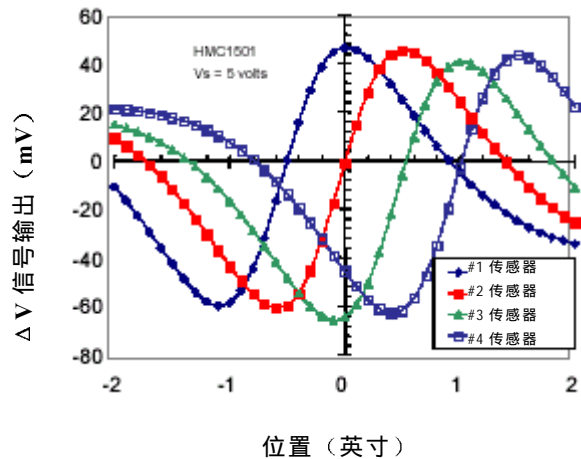


图 13  
组合电桥波形

一旦比较程序已确定了正确的桥路及其模拟值，就可以选择一个最终值来确定位置与编号的关系。例如，如果将每个电桥都连接到一个 8 位的模拟-数字转换器 (8 位 ADC) 上，则可用 256 个可能值 (1 至 256 点) 表示磁铁在位移范围内的位置。对于一个四传感器的阵列，可以用从 1 至 1024 点的编号来表示整个移动范围。假定选择 2 号传感器，它有 132 点的值，则 388 的点值将表示磁铁的相对位置 (1 号传感器的 256 点加上 2 号传感器的 132 点)。

用户应当了解上面描述中的两点注释。一个是如果传感器在  $\pm 90^\circ$  范围的旋转，斜率可以相反转化，这样可用负斜率来代替正斜率。第二点是需要时，可提高 ADC 分辨率以获得更高的精度。上例虽然是 8 位 ADC，但也可使用 10 位，12 位和 16 位 ADC 装置。图 14 示出了上例设计的典型电路。

### 电动机轴位置传感

并非所有电动机的轴端都可用于磁铁安放的。对于那些磁铁必须沿轴周围放置的应用场合，可选用几种方法。虽然“扩大位置传感”章节阐述了轴端上的传感器，但也可将两个 HMC1512 以  $180^\circ$  相位差放置在轴的两端，并在传感器的上方或下方放置一个对开磁铁以靠近端点。

# 磁位置传感器的应用

然而，现在可以制造环形磁铁，这种磁铁可以实现北极或南极饼状化，用于轴位置传感。

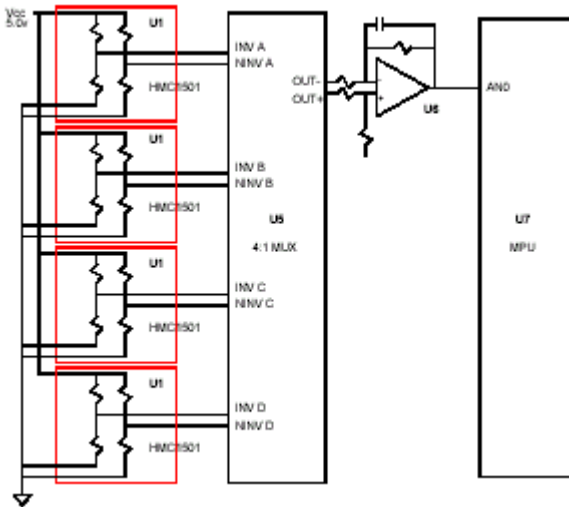


图 14  
阵列电路

使用环形磁铁，至少可设想出两种方法来定位电动机轴的位置。第一种方法是确定一个或两个窄的饼状磁环面，并封装 HMC1501 传感器的阵列，这与前面线性位置传感器一节中的介绍非常相似。然后为每个传感器分配一个可起作用的轴旋转区域。第二种方法是保存在传感器上，使用一个多段磁环以提供南北磁极的重复图形。例如，一个 6 至 8 段的磁环和两个 HMC1501 传感器可以提供精确的轴位置。

为保持高精度，磁极面的增量，比采用线性霍尔传感器时的增量要小。另外，要求南极和北极之间有一些强制的间隔以确保饱和磁场中的间隙不会小。图 15 图示了轴位置传感的典型环形磁铁设计。

正如所看到的那样，两个 HMC1501 传感器并没有覆盖整个旋转轴，而是集中在一个位置上。这是出于实际封装原因，可最佳地把传感器组件予以分组，考虑到需要将工作磁场与附近的励磁线圈的磁场屏蔽隔开。另一项要注意的地方是，在定位两个传感器时会出现图形重叠，致使其中一个传感器处于饱和状态， $\Delta V$  最接近零，处于最佳测量状态。

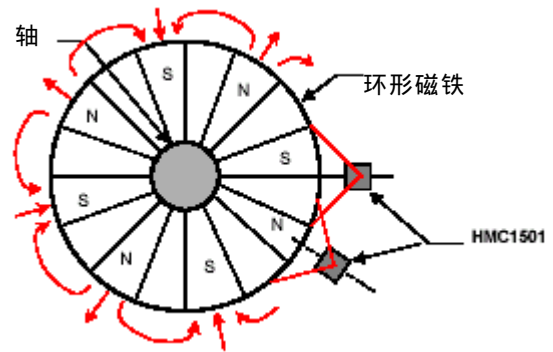


图 15  
环形磁铁设计

## 360° 旋转传感

要创建一个满 360° 的旋转位置传感方案，可以将 HMC1512 与霍尔传感器组合在一起。大多数霍尔传感器都采用硅半导体材料，以便在偏置电流流过平板材料时，磁场矢量垂直切割该平板材料而产生一个比例电压输出。图 16 图示了这一原理。

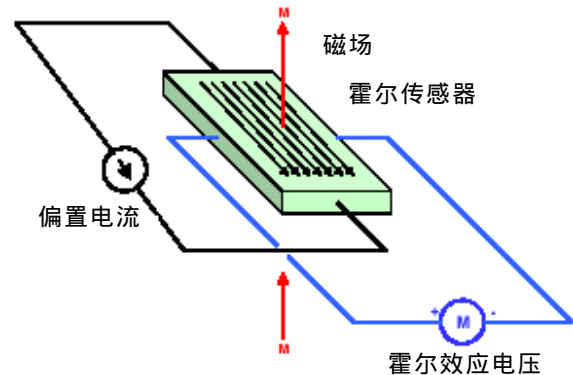


图 16  
霍尔效应

尽管霍尔传感器不能提供精确位置传感的灵敏度或精确度，但可将其作为“极性”探测器而用于 360° 位置传感以确定磁铁在 HMC1512 阵列的哪一半的旋转区。图 17 和图 18 示出了 360° 位置传感的典型定向和合成波形。

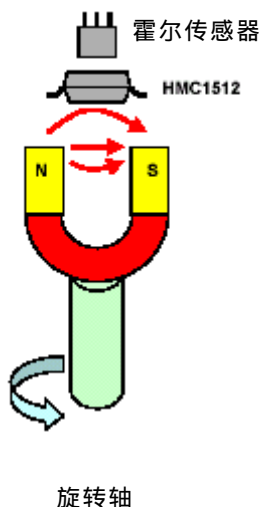


图 17  
360° 位置传感

当磁通在 HMC1512 和霍尔传感器周围旋转时，霍尔传感器的电压，将在磁力线通过硅板方向从背对背变为面对背，从而使极性相反。

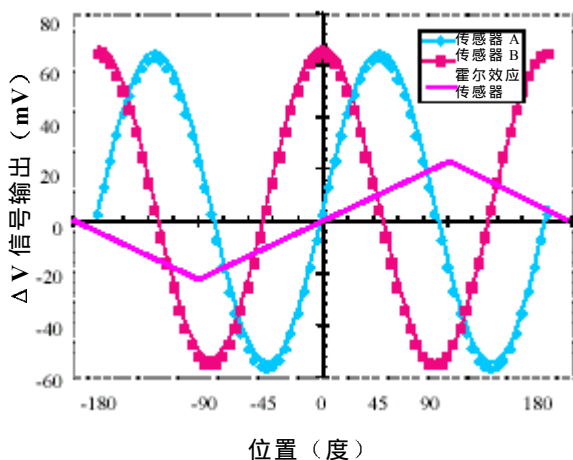


图 18  
360° 传感波形

通过在霍尔传感器的模拟输出接一个比较器，可以获得代表半旋转极性的数字信号。当与 HMC1512 的  $\pm 90^\circ$  传感电路组合起来时，可使感测范围增加一倍，从而可提供一个高精度的  $\pm 180^\circ$  或  $360^\circ$  旋转的传感器。应注意的一点是，要从机械上确保霍尔传感器的定向相对于 HMC1512 几乎是完美的，以便使反正切方程推导的方向恰好在霍尔传感器输出为 0V 输出时到达端部位置（专利申请中，专利申请号 H0003321）。

## 最低限度位置传感

要使一台传感器能处理比规定范围大的线性或角度范围，这可以在一次完整的线性移动，或轴旋转一整圈的过程中，通过磁铁设计，确定磁场方向来实现。图 19 图示了一个典型方法。

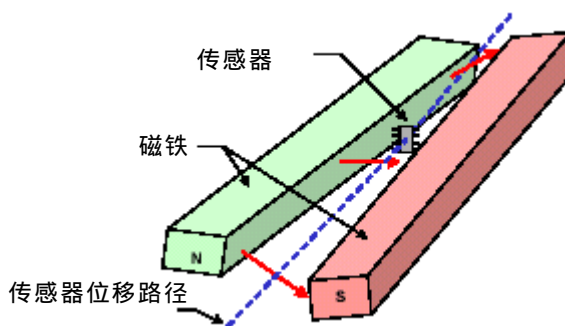


图 19  
倾斜磁铁法

上图显示了两块彼此稍微倾斜，并保持一致间隙的磁铁，该间隙供传感器在磁铁之间移动用。在起始端位置可产生一个向下倾斜的磁通通路，其水平方向的磁通路在行程中间，而向上倾斜通路则位于终端位置。因此，单电桥的线性传感范围分布在相当长的位移长度上。磁铁或传感器本身可以进行相对另一方的运动。

关于角位置，图 20 显示了旋转轴上的两个磁环。每个磁环都偏离轴心，并平行于轴而被磁化。两个磁铁彼此偏心  $180^\circ$ ，并具有一个供放入传感器用的间隙。两个位置传感器被放置得间隔  $90^\circ$ ，以执行全部  $360^\circ$  的位置传感范围。

须指出的一点是，只有外部偏心区域才会被磁化，这样沿磁力线方向就会产生一个向内或向外弯曲（视轴位置而定）的磁力线“笼”。

## 传感器的关键规格

在选择适当的传感器电桥的接口电路时，应当强调一些关键规格，第一个要注意的规格是电桥电阻。因为 HMC1501 和 HMC1512 具有不同的电桥电阻（分别为 5000 和 2100 欧姆），故用户可能会更喜欢根据功耗或噪声性能加以选择。如果功耗属于第一重要，则用户可以选择选通供电或“间歇供电”，以降低能耗。

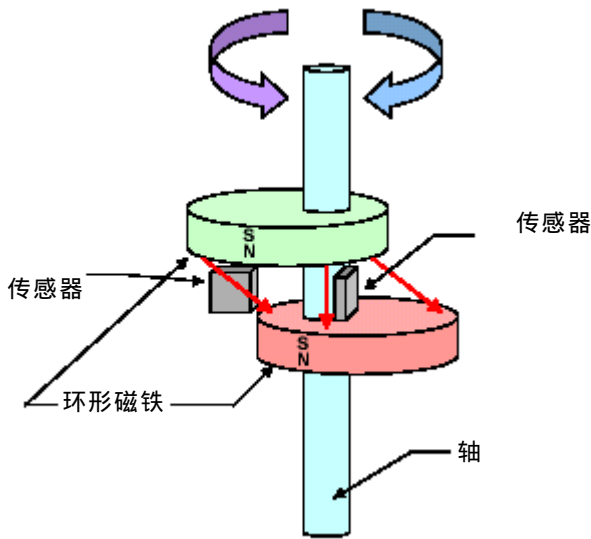


图 20  
偏心环形磁铁

如果低噪声性能是最重要准则，则降低电桥电阻有利于降低噪声电压。

电桥灵敏度是另一个用户应当检查的关键规格。HMC1501 和 HMC1512 在它们大多数的线性性能区域中都具有 1.8 至 2.1mV 每度的灵敏度。假定额定的输出电压为  $\pm 120\text{mV}$  和有亚微伏噪声，可以获得优于十分之一度角分辨率的灵敏度。通过选择正确的信号调置带宽和模拟-数字转换器分辨率的有效位数，用户可以提高这些 AMR 传感器的强度。

另一个关键规格是传感器桥路的带宽。尽管 HMC1501 和 HMC1512 可以保证高达 5 兆赫的带宽，但在高速轴上传感位置时必须格外注意磁场和电子设计。特别应当强调的是，电桥至信号调节电路结构要紧凑，以便将影响系统带宽精度的杂散电容降至最低程度，当在角旋转中使用多个磁铁时这一点将变得至关重要。

## 人体影响

当在进行位置传感的情况下工作时会与人的手动输入起交互作用，要注意有一个最小等待时间，供手眼协调时用。这一般在每秒采样 20 个位置时，或者每更新一次约用 50 毫秒时可以感觉到。因此，当为模拟-数字转换分配时间时，应确保额外预留一定的计算时间和显示稳定时间。当在冷却器环境中使用液晶显示器时这一点尤为实际。

## AMR 价值的见解

使用各向异性磁阻传感器可以提供非接触传感角度或线性位置的方法。与需要来自稀土磁铁的千高斯级磁场的霍尔效应器件不同，HMC1501 和 HMC1512 提供了一种磁场强度低得多且分辨率更高的传感器。有关分辨率的主导限制因素一般是电阻元件波耳兹曼噪声上的模拟-数字转换器的位数。

使用多个传感器可以很容易地扩大 HMC1501 和 HMC1512 的线性传感范围并可通过将传感器输出信号多路复用至一个或多个模拟-数字转换器集成电路上，从而将元件数降至最少。还可使用多路复用技术，降低能耗。

两种传感器均可以 SOIC-8 小型封装形式提供或根据特殊要求以原芯片形式提供。这些用塑料封装的硅传感器芯片对机械冲击和振动具有固有的不敏感性。

## 演示产品

若要进一步了解，可以查看霍尼韦尔公司的演示产品；HMR4001 和 HMR4007。HMR4001 采用了一个单 HMC1512 传感器，用于线性或角位置传感的应用。HMR4007 采用了七个 HMC1501 传感器。可以扩大线性位置传感范围。

