

磁传感器的测量电流的应用

概述

此应用描述了用磁传感器来测量电流的基本原理，并提供了一些方法，以及每种方法的优缺点。

导论

测量电流，有很多种方法，最通用的方法是使用阻性分流器，变压器，或磁性传感器。阻性分流器应用欧姆定律：通过分流器的电流与分流器两端的电压值成正比，分流器相当于与负载串联。这种方法的优点是：精度高，低偏差，缺点是无法提供电绝缘和高的温飘。因而短暂的峰值可能烧伤分流器，并有可能导致电子元件的过载。电流变压器由一个初级线圈和一个次极线圈，包围着一个磁芯组成，初级线圈产生电流，使磁芯感应出磁场，从而使次极线圈产生感应电流，与初级电流成正比，比例大小由匝数决定。电流变压器提供了电气绝缘，但只能工作于交流电，并且体积大。

磁传感器集中了上述两种方法的优点，Honeywell的磁阻传感器提供了高灵敏度，小体积，固态结构，并可用于非接触传感，提供了电气绝缘，保护了传感器和周围的电子元件，传感器的“置位”和“复位”电路，提供了超低的偏差和超低的漂移，其测量的电流波段可以从直流到2~5MHZ，可适用于大量程电流测量，且动态范围可超过100dB。

大多数情况下，磁场可由安培定律得出：磁场强度沿着电流流过的路径的积分，就等于电流，即

$$\int H \cdot dL = I \quad (1)$$

其中，H为磁场强度，I为电流，DL为电流流经的路线的微分。

对于一个圆形导体，选定固定距离r，则H和dL始终指向同一方向，如右图，对于同一个圆，H值大小一致，既然dL=r*dθ，则 $\int H \Sigma dL = H \int r d\theta (\theta=0 \sim 2\pi)$

磁通量B=uH (u为常量)，我们可得到

$$B = \frac{(2 * 10^{-7}) I a}{r} \quad (3)$$

例如：I=1amp, r=1cm, 则B=20μT 或 0.2G。

下图显示了一个无限长的导线内，通过不同大小电流，产生的磁场情况。如1安培时，在离导线中心2cm时产生的磁场为0.1高斯。图的右边还列出了Honeywell公司的磁传感器的量程。

刚才讨论的是一根无限细的导线，如果使用的是一根一定长度的导线，且无圆形截面，或较长的导线，很难预测固定的磁力线分布。图4绘出了一个无限长的，非圆形截面的导线的磁场图，它的磁场分布的计算类似于一个宽的导体，导体由5根无限小的导线组成，每两根相邻导线间距1.0mm，每根导线上带有总电流1/5的电流，此导体的磁场分布由这5个导线各自产生的磁场叠加起来。图中每一个纵格代表1.0mm的宽度。安培法则的前提是一个无限小的导线，适用于远距离磁场计算，因此，以上的类似不很精确，因为磁场太接近于导体。请注意：测量磁场与导体越远，磁场分配越成圆形，且越易预测，因而，电流可以看作是无限小的一个点。如果要对有限尺寸（或不规则尺寸）的导体、近距离的磁场计算非常精确，最好是用萨瓦特法则：

$$H = \frac{IdLx_a}{4\pi R^2} = \int_s \frac{Kx_a dS}{4\pi R^2} = \int_{vol} \frac{Jx_a dv}{4\pi R^2} \quad (4)$$

其中，dL是一段无限小的导线带的电流，K是表面电流密度(A/m)，J是电流密度(A/m²)

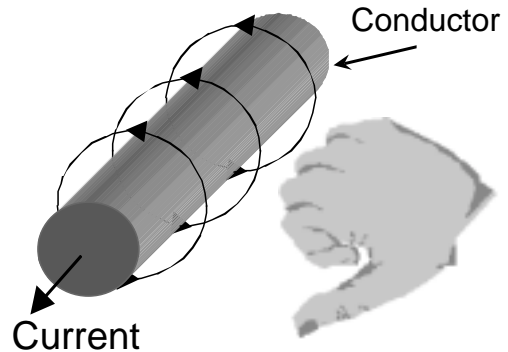


Figure 1.—Direction of magnetic field vs. current

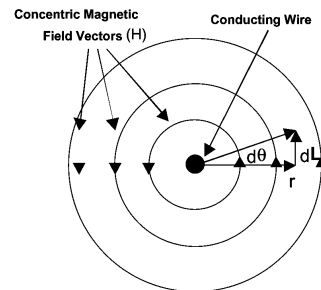


Figure 2.—Magnetic fields around a current carrying conductor

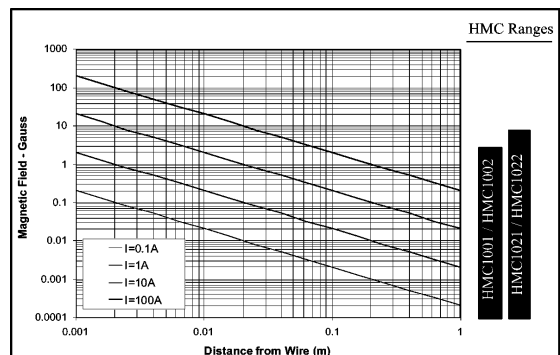


Figure 3—Total field with different currents

磁传感器的测量电流的应用

磁阻传感器测电流的方法

这一节包含了一些简单的用Honeywell的磁阻传感器测电流的方法，所有磁场的的数据都是以一根导线产生的磁场为出发点来近似计算的，所以，首先是根据经验或更先进的磁场分析方法，对这种近似来校正。

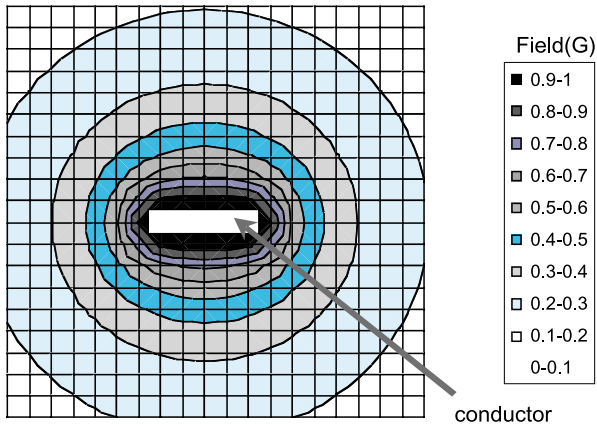


Figure 4—Infinite non-circular cross-section

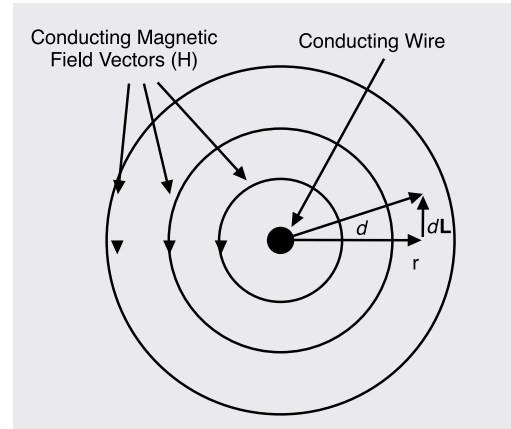


Figure 5—Sensing angle of a magnetic field

传感器的旋转调节

图3显示了对于大电流，传感器要求离导线远些，才可以测量导线产生的全部磁场。这里描述的方法是在磁场内旋转传感器。图3显示的是给定距离的磁场分布，但是，磁场是一个矢量，磁传感器测量的是沿敏感轴的磁场分量。因此，在测量大电流时，传感器通过旋转、调节敏感面的位置，来测量整个磁场的一个分量。这样，传感器可以与导线近一些，图5显示了用此方法测量的一个磁传感器，测量结果（ B_m ）如下：

假设传感器附近的磁场分布大致均匀，则 θ 角越接近 90° ，传感器对于角度的误差越敏感。例如：传感器安装在 10° 倾斜角度时，输出为满输出的98.4%，若安装角度误差 $\pm 0.5^\circ$ ，导致输出变化幅度为0.3%，安装的倾斜角为 80° 。传感器的输出为满输出的17%，误差达10%，如图6所示。这种方法可以测量大电流导线近处，但误差较大。

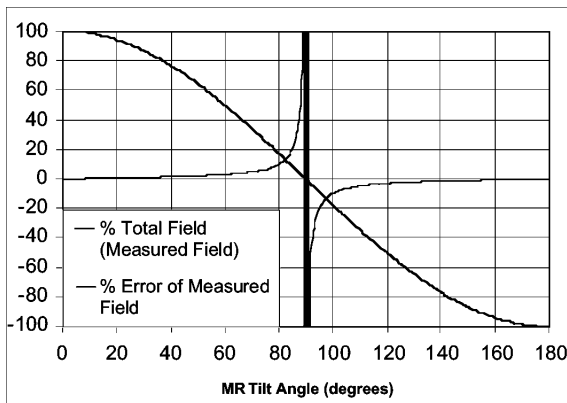


图6 - 满量程输出，与传感器的倾斜角

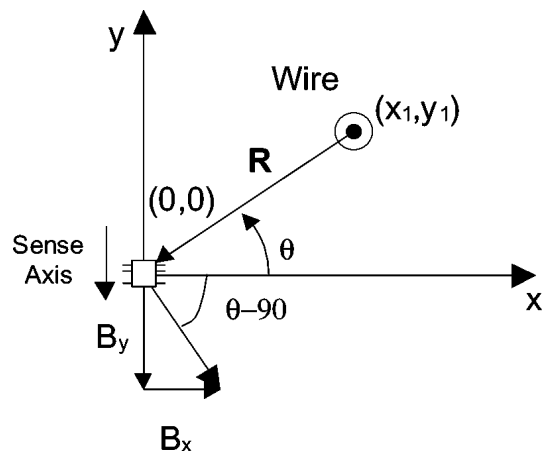


Figure 7—Sensing the position of a wire

磁传感器的测量电流的应用

导线位置调整

另一个类似的方法是移动导体。如图7所示，传感器位于(0,0)导线位于(X₁, Y₁)，由于传感器只测量Y轴分量，公式3可以分解为：

$$B_y = \frac{2 * 10^{-3} I}{R} \sin(\theta-90) = \frac{-2 * 10^{-3} I x_1}{x_1^2 + y_1^2} \quad (5)$$

公式5说明，导线沿X轴靠近，B_y会升高。而沿Y轴靠近，B_y也会升高，但变化量相对大得多，近似于平方变化。

图8显示了1A电流的导线，在不同的X₁轴和Y₁值下，传感器测量到磁场分量，如果额定电流不是1A，则磁场分量可以比例变化。例如，X₁=4mm, Y₁=10mm, 导线为10A，则磁场分量为0.7G (0.07X10)

当导线移动传感器时，传感器也不能再作为一个点来考虑，需要更先进的计算方法。

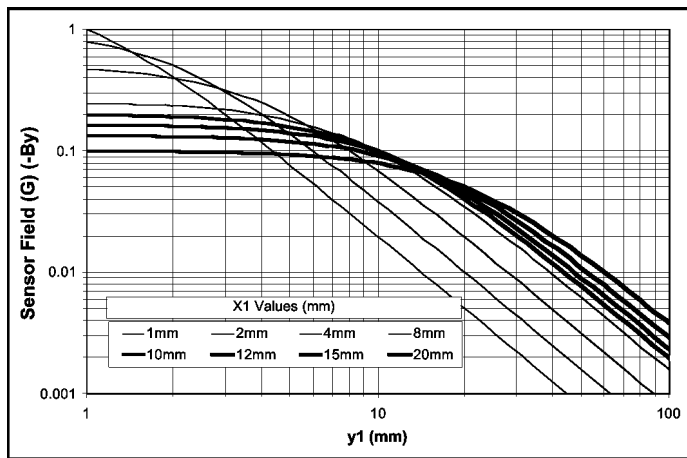


Figure 8—Measured field component for 1A current

图9显示当X₁=15 mm，不同导线电流时，传感器测量的磁场分量。图10显示如何用HMC1021Z来测量10~500A电流。如果用HMC1001，由于其灵敏度是HMC1021Z的3倍，则电流测量范围为3.3-160A。

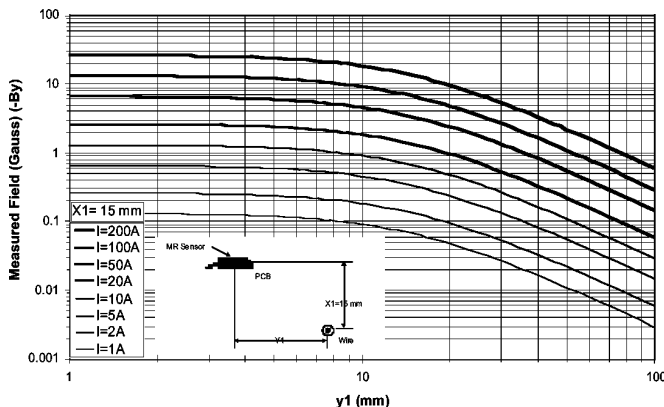


Figure 9—Measured field component for a displaced sensor

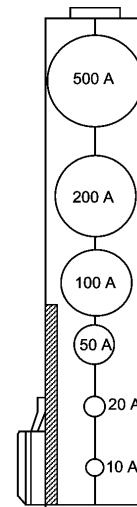


Figure 10—Values of current using HMC1021Z

磁传感器的测量电流的应用

Y轴向位置更敏感,因为 B_y 与 y 近似反比。表1预测了要保持全量程的 $\pm 5\%$ 误差范围内,导线位置的误差值。例如, $X_1=3.5\text{ mm}$, 20A 导线电流,Y轴位置误差为 $\pm 8\text{mils}$,增大 X_1 ,可以增大Y轴位置的允许误差,因为对于大的 X_1 值,磁场分布越标准。如表1的最下一行, $X_1=15\text{ mm}$, 200A 电流,Y轴位置误差为 $\pm 35\text{mils}$,而且,传感器自身有大小,感应磁场时不能作为一个点,而是整个一个敏感面,这样,远距离也有利于位置误差的允许范围。

类似的方法,如:使用PCB板,电流流过PCB板一侧,磁传感器放在另一侧,由于导线与传感器都不能只作为一个点考虑,这种方法的可行性需要认证。

匝片和铁芯的使用

电流检测,可以用匝片或铁芯来聚磁场。图11显示了一些聚磁的典型方法,上面是一个固态铁芯,下面是一捆匝片。由于薄的材料允许通过高频磁场,匝片可以被使用,匝片和铁芯都是由强导磁材料组成。铁的导磁能力是空气的2000倍,通过铁物质,磁场易集中起来。典型的铁芯材料的导磁系数是2000到100000。磁传感器位于铁芯或匝片的空隙中,导线通过铁芯或匝片的穿孔中,电流产生的磁场聚集在铁芯中,并通过空隙内的传感器。

满量程电流 (Amp)	X1 (mm)	Y1 (mm)	满量程磁电系数 (G/A)	保持 $\pm 5\%$ 满量程误差范围时 Y轴位置允许误差	
				(mm)	(mils)
10	3.5	0	0.57	± 0.2	± 8
20	3.5	3.3	0.4	± 0.2	± 8
50	3.5	6.8	0.3	± 0.2	± 9
100	3.5	10.2	0.12	± 0.3	± 11
200	3.5	14.9	0.06	± 0.4	± 17
500	3.5	21.3	0.015	± 0.5	± 21
200	15	27.9	0.06	± 0.9	± 35

铁芯对于外界磁场干扰的屏蔽功能也很好(如:地球磁场或其它电流产生的杂散磁场),因为,杂散磁场主要集中在作用到匝片或铁芯中,而不是传感器所在的空隙中,空隙有很强的阻磁功能。图12是一个匝片上杂散磁场的分布模型。

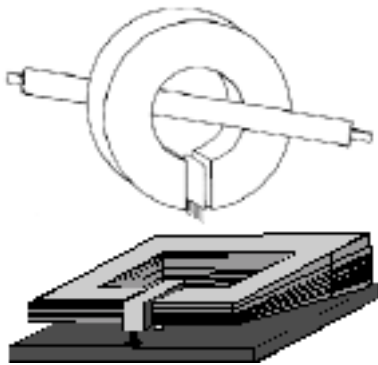


Figure 11—Use of lamination or core

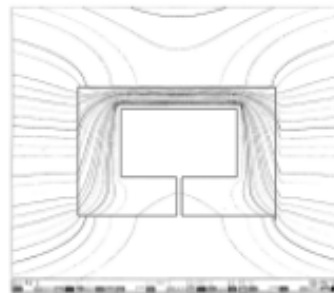


Figure 12—Stray magnetic field

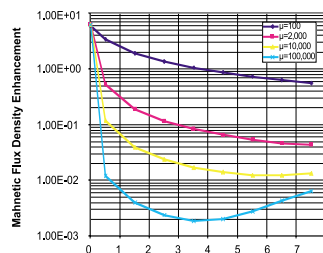


Figure 13—Two dimensional model of lamination shielding gap from stray magnetic fields.

磁传感器的测量电流的应用

匝片可以看作是有一条空隙的矩形圈，空隙中放着传感器，杂散磁场集中在匝片上，图 13 是匝片使空隙屏蔽零散磁场的模型，空隙越大，空隙上的杂散磁场越小。使用铁芯也是很好的，但尺寸大，且生产复杂。使用铁芯或匝片，对导线位置要求不高，导线直径也没有影响，因为铁芯的导磁性很好。导线也可以绕几匝，以增大磁通，例如：10A 的导线绕 5 匝，可以驱动 50A 传感器。

它们也可以测两根导线电流之间的差值，因为每根导线的磁通会被高导磁物质完全传导。这种方法，很适合于测量两个大电流导线的电流差值和导线位置误差大的情况。

但是，铁芯或是匝片易产生磁滞，带来了零电流的输出偏置和产品易受热的问题，且磁通过大时易饱和，饱和时导磁性能会急骤下降。

闭环电流检测

磁传感器也可以工作在闭环系统中，测量范围可进一步扩大，闭环系统中，传感器控制补偿磁场大小，使传感器所在位置的磁场为 0。补偿磁场由一设定匝数的线圈产生，因此，此线圈的电流与一次电流产生的磁场成正比，典型情况下，会有一个负载电阻，与线圈串联，产生输出电压。图 14 是原理图。

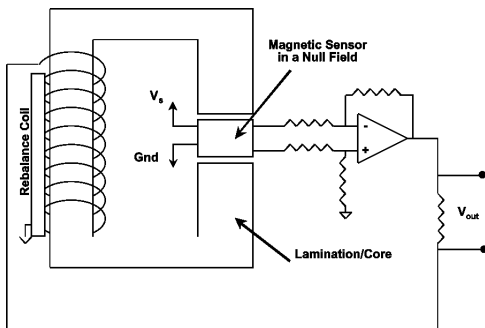


Figure 14—Measuring current in a closed loop

闭环电流检测有一些优点：

- 允许大的一次电流，但不会使传感器饱和
- 输出线性度高，且精度高，带宽高
- 高回路增益，使得器件误差对产品性能影响小
- 动态范围大

总之，闭环电流传感是一种精确且有效的测量电流的方法

电流测量的缺点的解决方案

电流测量也有一些问题，包括杂散磁场的处理，减小偏移量和温飘。

杂散磁场的处理

不可控的杂散磁场会严重影响电流传感器的性能，例如：地球磁场有大约 1/2G，占 HMC1021 的满量程的 4%，占 HMC1001 的满量程的线性段的 12.5%。因此，设计传感器时，杂散磁场的作用一定要考虑进去。

一个最简单的去除杂散磁场影响的方法，是使用滤波器，交流耦合可以消除直流影响，地球磁场或附近的直流电，低通滤波可以消除高频部分。杂散磁场的大小千万不能导致磁传感器工作在线性段，否则会降低电流传感器的性能。如果大的杂散磁场饱和了磁传感器，或杂散磁场的频率和被测的一次电流频率一致时，滤波方法就无效了。高频杂散磁场，可以被抗流器或电感环消除，因为高频会产生抵消磁场变化量的感应电流，这就是磁场的低通滤波器。

磁传感器的测量电流的应用

另一个方法，是将电流传感器屏蔽于杂散磁场之外，即外加一个高导磁材料做的盒子，且此材料要足够厚，不会被杂散磁场饱和，要特别注意的是：从一次电流产生的磁力线，要在屏蔽材料中，而不是磁传感器附近，这样，传感器要在所有的面都屏蔽，包括被测量的那一面，若设计不当，想要磁场屏蔽的地方，可能会出现磁通聚集的情况。

一个好的方法是利用匝片或铁芯；一来屏蔽杂散磁场，二来电流感应的磁通的集中，有利于位置误差，此方法很有效。但是，与杂散磁场的产生物相比较起来，此方法的耗材尺寸大且昂贵。

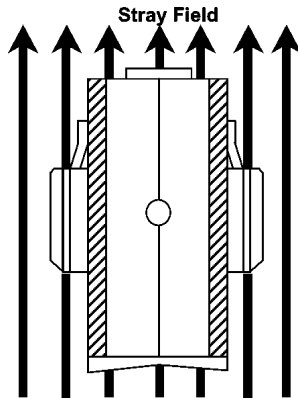


Figure 15—Using 2 MR sensors to remove the effects of a uniform stray field

另一种方法，是用两个传感器，使杂散磁场成为共膜信号而被抵消，见图 15，这种杂散磁场要求在两个传感器上产生相同的影响，且不能使它们工作在非线性区。这种方法非常依赖于杂散磁场的对称性和两个传感器的对称性。

有时，也可根据特殊应用，来采取特别方法来消除杂散磁场。例如：有些情况下，在起动阶段、休眠阶段、或周期发生时的杂散磁场的值是已知的，我们可以在这些时间采样，采样结果减掉已知的磁场值的影响。这种方法，比较适合消除直流磁场影响。

传感器偏差的处理

在电流传感中，传感器偏差和温飘是很重要的，磁传感器的结构是4个磁阻构成惠斯通桥，当每个桥路的阻值变化不同时，就会出现偏差，并导致零点有输出，温飘是由桥路中电阻值随温度的变化率不同所致，漂移对于电流传感器的输出影响很大，这里介绍一些解决的方法。

最有效的方法置位/复位操作，这是磁传感器的独特的优点。置位与复位，使传感器产生两个极性相反的输出，置位时，磁阻的磁物质都统一排列成置位状态，复位时，都统一排成相反方向。在一次置位/复位中，电阻的偏差是一样的，但输出信号极性正好相反，这两个偏差可以在计算中抵消。用置位/复位方法，HMC1001和HMC1021的温飘仅为 $\pm 10\text{ppm}/^\circ\text{C}$ ，这个数据，远远优于其它竞争技术，其它的磁阻传感器需要外部线圈来执行位置/复位操作，但Honeywell的传感器的晶片上有可直接操作的“带”（属Honeywell专利）

结论

有许多测电流的方法，但磁阻传感器有别具一格的优点，Honeywell在磁阻传感器方面有全球领先的优势：尺寸小、低功耗、表面贴装、绝缘、非接触、超低偏差、高灵敏度、大动态反应，宽波长，测量电流，可从直流到5 MHz交流，这些优点，非常适合于所有电流传感器的设计。