

### 磁传感器垂直轴效应

磁传感器一般对轴向外加磁场比较敏感。这类传感器还会根据横向或垂直轴方向的外加磁场而改变灵敏度。本应用说明将描述霍尼韦尔 HMC1001 和 HMC1002 磁阻传感器微电路的垂直轴磁场效应。

磁传感器电桥的输出电压可用公式表示：

$$V = \frac{a \cdot H}{H_S + H_{CA}} \quad (1)$$



式中， V：输出电压（除去零点偏移）

a：与各向异性磁阻  $\Delta \rho / \rho$  恒成正比

$H_S$ ：磁场比例常数——变送器的组成带中的各向异性和退磁磁场的和。

$H_{CA}$ ：垂直轴方向上的外加磁场强度

H：敏感方向上的外加磁场强度。

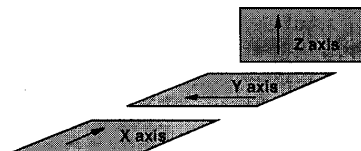
这个公式已在 HMC1002 微电路上通过实验对下面的值进行了验证：

$$a \approx 22\text{mV/V}, H_S \approx 8 \text{ Oe}$$

如果将三个传感器彼此垂直地安装，使 x 传感器安装在 x-y 平面中，y 传感器装在 y-x 平面中，z 传感器装在 z-y 平面中，则三个传感器的输出将彼此耦合。x 传感器的输出取决于 y 磁场，假定它与 z 磁场无关，因为其方向与极不敏感的薄膜平面垂直。同样，y 传感器的输出取决于 x 磁场，z 传感器的输出取决于 y 磁场。

假定表示三个传感器特性的性能参数是  $(a_x, H_{SX})$ 、 $(a_y, H_{SY})$  和  $(a_z, H_{SZ})$ 。则三个传感器的输出电压可用下面公式求出：

$$\begin{aligned} V_X &= \frac{a_X \cdot H_X}{H_{SX} + H_Y} \\ V_Y &= \frac{a_Y \cdot H_Y}{H_{SY} + H_X} \\ V_Z &= \frac{a_Z \cdot H_Z}{H_{SZ} + H_Y} \end{aligned} \quad (2)$$



式中，  $H_x$ ，  $H_y$  和  $H_z$  是需感测的外加磁场的三个分量。

如果已知这三个电压，则可用下面的迭代法计算三个磁场值。零阶迭代可由下面的公式求出：

$$\begin{aligned} H_X^{(0)} &= \frac{V_X \cdot H_{SX}}{a_X} \\ H_Y^{(0)} &= \frac{V_Y \cdot H_{SY}}{a_Y} \\ H_Z^{(0)} &= \frac{V_Z \cdot H_{SZ}}{a_Z} \end{aligned} \quad (3)$$

(n+1) 阶迭代可根据下面的第 n 阶迭代求出：

$$\begin{aligned} H_X^{(n+1)} &= \frac{V_X(H_{SX} + H_Y^{(n)})}{a_X} \\ H_Y^{(n+1)} &= \frac{V_Y(H_{SY} + H_X^{(n)})}{a_Y} \\ H_Z^{(n+1)} &= \frac{V_Z(H_{SZ} + H_Y^{(n)})}{a_Z} \end{aligned} \quad (4)$$

## 数字实验

进行数字实验是为了测试这种迭代法的收敛速度。本例进行估算时所用的参数包括： $a_x = 25.0\text{mV/V}$ ， $H_{Sx} = 9.0\text{ Oe}$ ， $a_y = 26.0\text{mV/V}$ ， $H_{Sy} = 8.5\text{ Oe}$ ，以及  $a_z = 27.0\text{ mV/V}$ ， $H_{Sz} = 10.0\text{ Oe}$ ，这样可求出零点偏置磁场的灵敏度（ $a/H_s$ ） $S_x = 2.78\text{mV/VOe}$ ， $S_y = 3.01\text{mV/VOe}$ ，和  $S_z = 2.7\text{mV/VOe}$ （磁传感器微电路的典型值）。创建简单的分布表以接受外加磁场的三个值（ $H_x, H_y, H_z$ ）并用方程 2 在内部计算三个输出电压。用方程 4 进行了若干次迭代，将磁场每个分量的计算值与外加输入值之间的差值表示为每次迭代时的满量程（4 高斯）的百分值。下表表示这百分值误差是两组不同输入磁场值的迭代函数。

$H_x=1.0\text{Oe}$ ， $H_y=0.5\text{Oe}$ ， $H_z=0.8\text{Oe}$

（无置位/复位）

迭代	<b>Hx</b>	<b>Hy</b>	<b>Hz</b>	<b><math>\Delta H_x</math> (%)</b>	<b><math>\Delta H_y</math> (%)</b>	<b><math>\Delta H_z</math> (%)</b>
0	0.947	0.447	0.762	-1.32	-1.32	-0.95
1	0.994	0.497	0.796	-0.14	-0.07	-0.10
2	1.000	0.500	0.800	-0.01	-0.01	-0.01
3	1.000	0.500	0.800	0.00	0.00	0.00

$H_x=0.5\text{Oe}$ ， $H_y=0.5\text{Oe}$ ， $H_z=-0.5\text{Oe}$

迭代	<b>Hx</b>	<b>Hy</b>	<b>Hz</b>	<b><math>\Delta H_x</math> (%)</b>	<b><math>\Delta H_y</math> (%)</b>	<b><math>\Delta H_z</math> (%)</b>
0	0.474	0.472	-0.476	-0.66	-0.69	0.60
1	0.499	0.499	-0.499	-0.04	-0.04	0.03
2	0.500	0.500	-0.500	0.00	0.00	0.00
3	0.500	0.500	-0.500	0.00	0.00	0.00

在两种情况下第二次迭代后的误差均小于 0.10%。

如果在磁传感过程中使用置位/复位电路，则可极大地降低垂直轴误差的影响。也就是说，将置位脉冲施加到传感器上后，其读数将存储为  $V_{\text{置位}}$ 。在复位脉冲后，读数将存储为  $V_{\text{复位}}$ 。最终读数将为：

$$\begin{aligned}
 V_{\text{out}} &= \frac{V_{\text{set}} - V_{\text{reset}}}{2} \\
 &= \frac{a \cdot H}{2} \left( \frac{1}{H_S + H_B} - \frac{1}{-H_S + H_B} \right) \\
 &= \frac{a \cdot H}{2} \left( \frac{2H_S}{H_S^2 - H_B^2} \right) \\
 &= \frac{a \cdot H \cdot H_S}{H_S^2 - H_B^2}
 \end{aligned} \tag{5}$$

用这个输出电压的公式求出下面 X, Y, Z 轴的输出电压值。

$$\begin{aligned}
 V_{\text{out}_X} &= a_X \cdot H_{SX} \left( \frac{H_X}{H_{SX}^2 - H_Y^2} \right) \\
 V_{\text{out}_Y} &= a_Y \cdot H_{SY} \left( \frac{H_Y}{H_{SY}^2 - H_X^2} \right) \\
 V_{\text{out}_Z} &= a_Z \cdot H_{SZ} \left( \frac{H_Z}{H_{SZ}^2 - H_Y^2} \right)
 \end{aligned} \tag{6}$$

则，迭代方程将为：

$$\begin{aligned}
 H_X^{(n+1)} &= V_{\text{out}_X} \frac{H_{SX}^2 - H_Y^{2(n)}}{a_X H_{SX}} \\
 H_Y^{(n+1)} &= V_{\text{out}_Y} \frac{H_{SY}^2 - H_X^{2(n)}}{a_Y H_{SY}} \\
 H_Z^{(n+1)} &= V_{\text{out}_Z} \frac{H_{SZ}^2 - H_Y^{2(n)}}{a_Z H_{SZ}}
 \end{aligned} \tag{7}$$

且，

$$\begin{aligned}
 H_X^{(0)} &= \frac{V_{\text{out}_X} \cdot H_{SX}}{a_X} \\
 H_Y^{(0)} &= \frac{V_{\text{out}_Y} \cdot H_{SY}}{a_Y} \\
 H_Z^{(0)} &= \frac{V_{\text{out}_Z} \cdot H_{SZ}}{a_Z}
 \end{aligned} \tag{8}$$

按上述进行相同的分析（但不是用置位/复位传感器的迭代运算方程），可得到一个更小的初始误差和更快的零误差收敛速度。

$H_x=1.00e$ ,  $H_y=0.50e$ ,  $H_z=0.80e$

（用置位/复位）

迭代	$H_x$	$H_y$	$H_z$	$\Delta H_x$ (%)	$\Delta H_y$ (%)	$\Delta H_z$ (%)
0	1.003	0.507	0.802	0.08	0.18	0.05
1	1.000	0.500	0.800	0.00	0.00	0.00
2	1.000	0.500	0.800	0.00	0.00	0.00
3	1.000	0.500	0.800	0.00	0.00	0.00

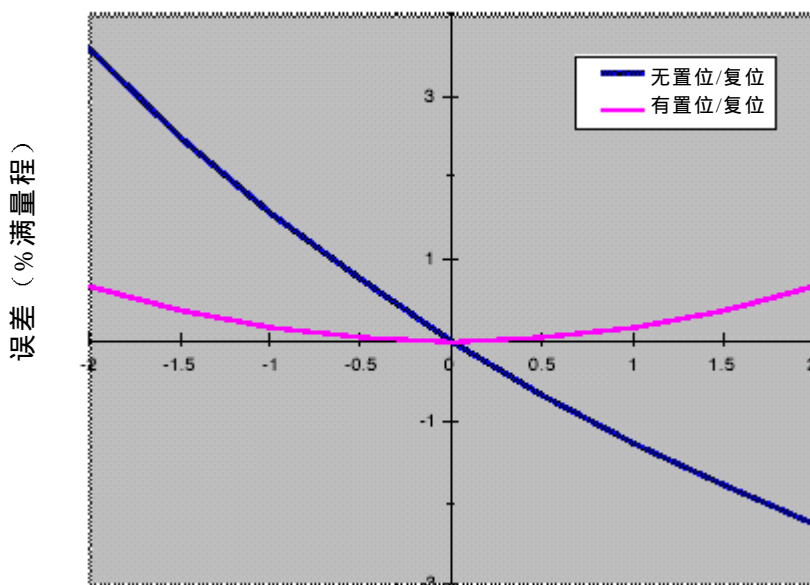
$H_x=0.50e$ ,  $H_y=0.50e$ ,  $H_z=-0.50e$

迭代	$H_x$	$H_y$	$H_z$	$\Delta H_x$ (%)	$\Delta H_y$ (%)	$\Delta H_z$ (%)
0	0.502	0.502	-0.501	0.04	0.04	-0.03
1	0.500	0.500	-0.500	0.00	0.00	0.00
2	0.500	0.500	-0.500	0.00	0.00	0.00
3	0.500	0.500	-0.500	0.00	0.00	0.00

在两种情况下第一次迭代后的误差均小于 0.01%。

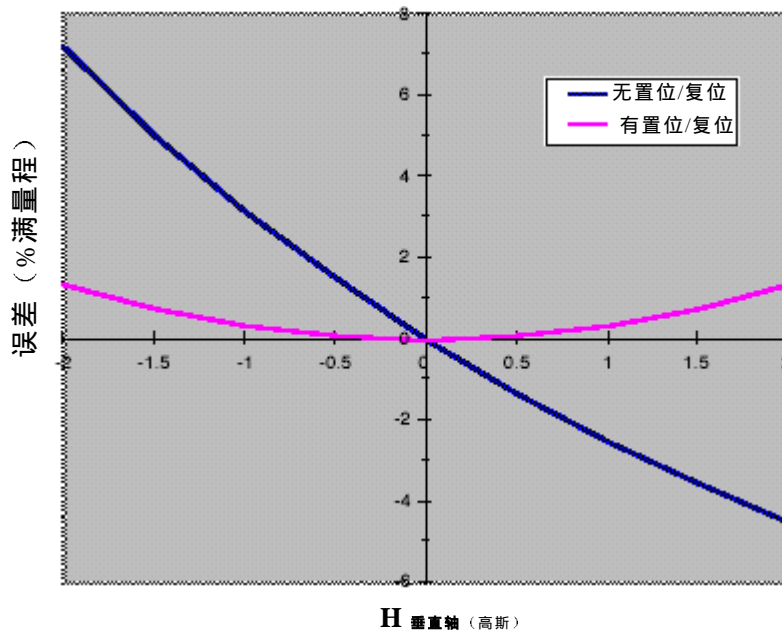
下面的曲线图示了用满量程百分比值表示的敏感轴 0.5, 1.0 和 1.5 高斯磁场相对于变化范围为+2 至-2 高斯的垂直轴磁场的读数误差。具有最大误差的曲线，表示不用置位/复位电路-误差范围从-2.3 至+3.6%满量程。误差较小的曲线表示使用了置位/复位切换电路-误差范围从 0 至 0.7%满量程。从这些曲线看，使用置位/复位电路的好处是明显的。所用的满量程是 4 高斯（ $\pm 2$  高斯）。

垂直轴磁场效应 ( $H_{\text{敏感}}=0.5$  高斯)

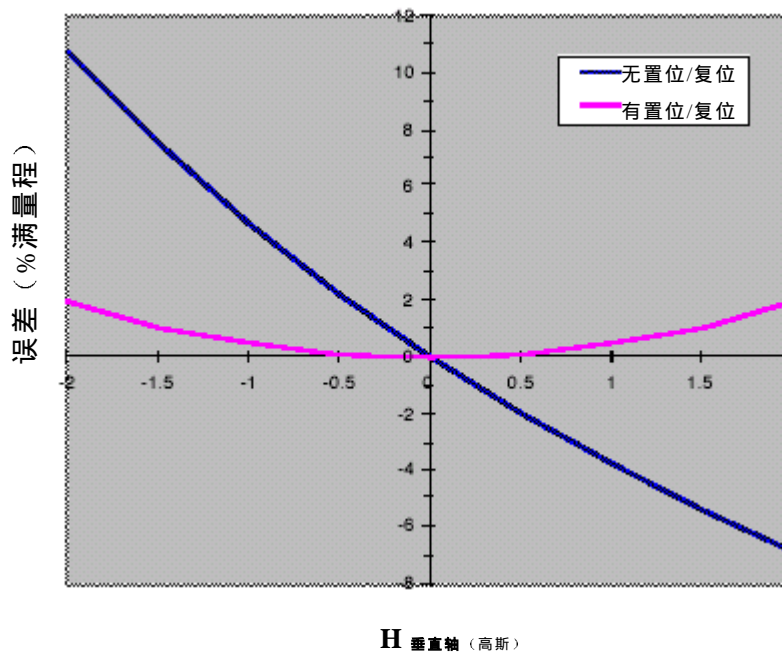


$H_{\text{垂直轴}}$  (高斯)

### 垂直轴磁场效应 ( $H_{\text{敏感}}=1.0$ 高斯)



### 垂直轴磁场效应 ( $H_{\text{敏感}}=1.5$ 高斯)



下图示出的垂直轴磁场相对于误差（%满量程）曲线是地球磁场内读数的特性。这条曲线显示了最差情况，其中一条轴的度量范围是 0.6 高斯（典型的最大磁场），垂直轴磁场的变化范围是 -0.6 至+0.6 高斯。对于不用置位/复位的传感器而言，其误差变化范围为-1 至+1%满量程。对于采用置位/复位电路的传感器而言，其误差变化范围约在-0.07 至+0.07%满量程之间。

