

霍尔传感元器件及 A44E 介绍

1 引言

霍尔器件是一种磁传感器。用它们可以检测磁场及其变化，可在各种与磁场有关的场合中使用。霍尔器件以霍尔效应为其工作基础。霍尔器件具有许多优点，它们的结构牢固，体积小，重量轻，寿命长，安装方便，功耗小，频率高（可达 1MHz），耐震动，不怕灰尘、油污、水汽及盐雾等的污染或腐蚀。霍尔线性器件的精度高、线性度好；霍尔开关器件无触点、无磨损、输出波形清晰、无抖动、无回跳、位置重复精度高（可达 μm 级）。取用了各种补偿和保护措施的霍尔器件的工作温度范围宽，可达 $-55 \sim 150$ 。

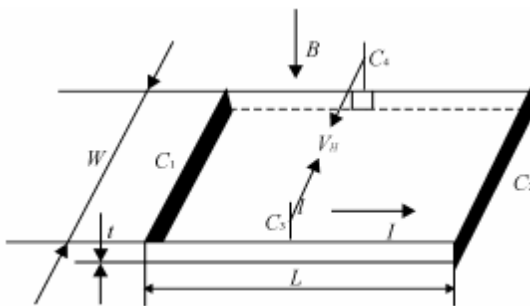
按照霍尔器件的功能可将它们分为：霍尔线性器件和霍尔开关器件。前者输出模拟量，后者输出数字量。

按被检测的对象的性质可将它们的应用分为：直接应用和间接应用。前者是直接检测出受检测对象本身的磁场或磁特性，后者是检测受检对象上人为设置的磁场，用这个磁场来作被检测的信息的载体，通过它，将许多非电、非磁的物理量例如力、力矩、压力、应力、位置、位移、速度、加速度、角度、角速度、转数、转速以及工作状态发生变化的时间等，转变成电量来进行检测和控制。

2 霍尔效应和霍尔器件

2.1 霍尔效应

如图 1 所示，在一块通电的半导体薄片上，加上和片子表面垂直的磁场 B ，在薄片的横向两侧会出现一个电压，如图 1 中的 V_H ，这种现象就是霍尔效应，是由科学家爱德文·霍尔在 1879 年发现的。 V_H 称为霍尔电压。



这种现象的产生，是因为通电半导体片中的载流子在磁场产生的洛仑兹力的作用下，分别向片子横向两侧偏转和积聚，因而形成一个电场，称作霍尔电场。霍尔电场产生的电场力和洛仑兹力相反，它阻碍载流子继续堆积，直到霍尔电场力和洛仑兹力相等。这时，片子两侧建立起一个稳定的电压，这就是霍尔电压。

在片子上作四个电极，其中 C_1 、 C_2 间通以工作电流 I ， C_1 、 C_2 称为电流电极， C_3 、 C_4 间取出霍尔电压 V_H ， C_3 、 C_4 称为敏感电极。将各个电极焊上引线，并将片子用塑料封装起来，就形成了一个完整的霍尔元件（又称霍尔片）。

$$V_H = -\frac{1}{t}IB\left(\frac{1}{W}\right) = R_H IB\left(\frac{1}{W}\right) \quad (1) \quad V_H = -\frac{W}{I}BV\left(\frac{1}{W}\right) \quad (2) \quad V_H = \rho_{H1}\left(\frac{IW}{L}\right)^{1/2}B\left(\frac{1}{W}\right) \quad \text{或} \quad (3)$$

在上述 (1) (2) (3) 式中 V_H 是霍尔电压， ρ_{H1} 是用来制作霍尔元件的材料的电阻率， μ_n 是材料的电子迁移率， R_H 是霍尔系数， l 、 W 、 t 分别是霍尔元件的长、宽和厚度， $f(I/W)$ 是几何修正因子，是由元件的几何形状和尺寸决定的，

I 是工作电流, V 是两电流电极间的电压, P 是元件耗散的功率。由(1)~(3)式可见, 在霍尔元件中, R_H 、 i_n 决定于元件所用的材料, I 、 W 、 t 和 $f(I/W)$ 决定于元件的设计和工艺, 霍尔元件一旦制成, 这些参数均为常数。因此, 式(1)~(3)就代表了霍尔元件的三种工作方式所得的结果。(1)式表示电流驱动, (2)式表示电压驱动, (3)式可用来评估霍尔片能承受的最大功率。

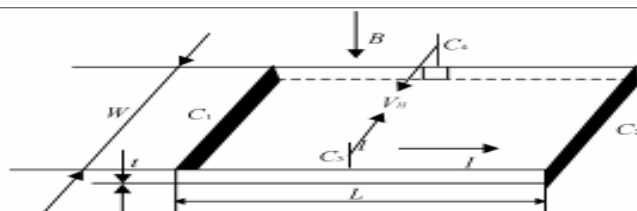
为了精确地测量磁场, 常用恒流源供电, 令工作电流恒定, 因而, 被测磁场的磁感应强度 B 可用霍尔电压来量度。 在一些精密的测量仪表中, 还采用恒温箱, 将霍尔元件置于其中, 令 R_H 保持恒定。 若使用环境的温度变化, 常采用恒压驱动, 因和 R_H 比较起来, i_n 随温度的变化比较平缓, 因而 V_H 受温度变化的影响较小。 为获得尽可能高的输出霍尔电压 V_H , 可加大工作电流, 同时元件的功耗也将增加。(3)式表达了 V_H 能达到的极限——元件能承受的最大功耗。

2.2 霍尔器件

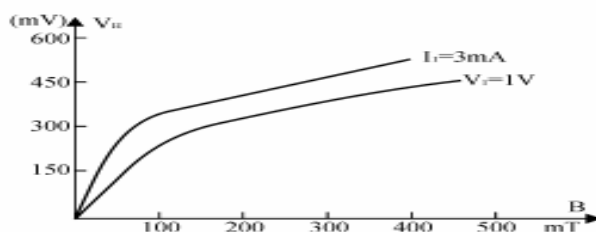
霍尔器件分为: 霍尔元件和霍尔集成电路两大类, 前者是一个简单的霍尔片, 使用时常常需要将获得的霍尔电压进行放大。 后者将霍尔片和它的信号处理电路集成在同一个芯片上。

2.2.1 霍尔元件

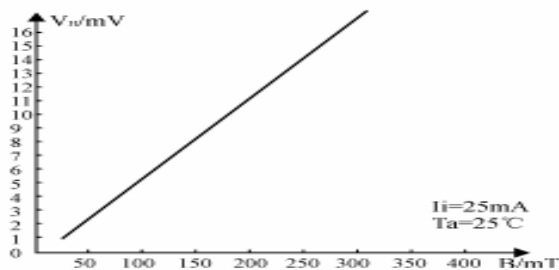
霍尔元件可用多种半导体材料制作, 如 Ge、Si、InSb、GaAs、InAs、InAsP 以及多层半导体异质结构量子阱材料等等。 InSb 和 GaAs 霍尔元件输出特



(a) 霍尔效应和霍尔元件



(b) InSb霍尔元件的输出特性



(c) GaAs霍尔元件的输出特性

性见图 1(a)、图 1(b)。

这些霍尔元件大量用于直流无刷电机和测磁仪表。

2.2.2 霍尔电路

2.2.2.1 霍尔线性电路

它由霍尔元件、差分放大器和射极跟随器组成。其输出电压和加在霍尔元件上的磁感强度 B 成比例，它的功能框图和输出特性示于图 2 和图 3。这类电路有很高的灵敏度和优良的线性度，适用于各种磁场检测。霍尔线性电路的性能参数见表 3。

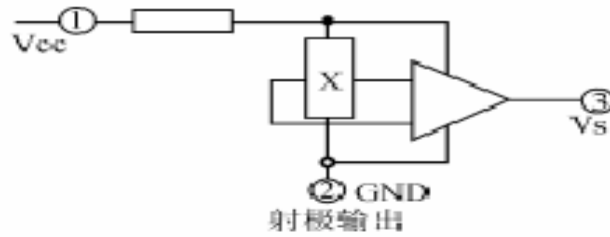


图2 霍尔线性电路的功能框图

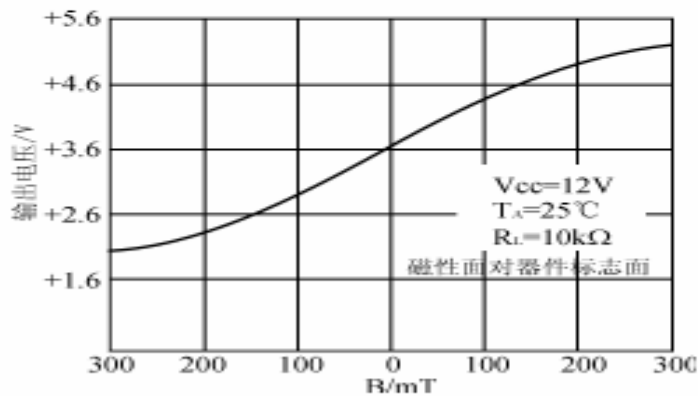


图3 霍尔线性电路 UGN3501 的磁电转换特性曲线

型号	Vcc/V	线性范围/mT	工作温度/°C	灵敏度 S/mV/mT			静态输出电压 Vo/V		
				min	typ	max	min	typ	max
UGN3501	8~12	±100	-20~+85	3.5	7.0	-	2.5	3.6	5.0
UGN3503	4.5~6	±90	-20~+85	7.5	13.5	30.0	2.25	2.5	2.75

Icc/mA	Ro/kΩ	Icc/mA	乘积灵敏度 V/A = 0.1I	输出形式	引脚排列				外形结构
					1	2	3	4	
0.1	10	20	-	射极输出	VCC	地	输出	-	CLIP
25	9.0	14	-	射极输出	VCC	地	输出	-	CLIP

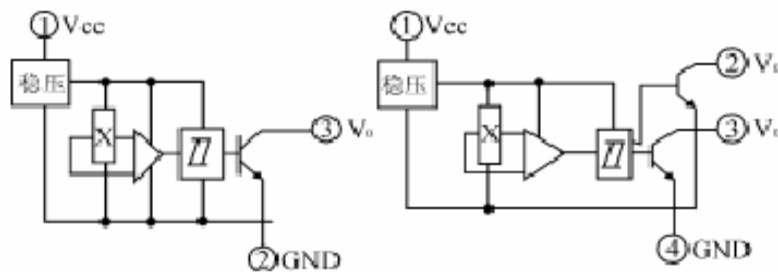
型号	TOPT
UGN3501	4.0
UGN3503	0.6

表3 线性霍尔电路的特性参数

2.2.2.2 霍尔开关电路

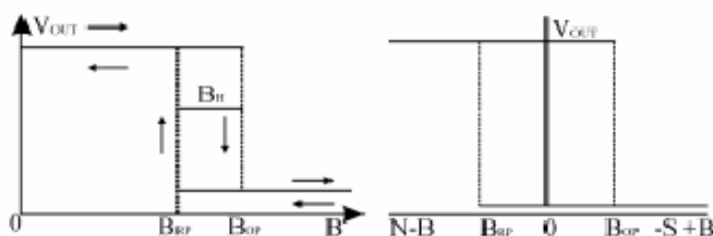
霍尔开关电路又称霍尔数字电路，由稳压器、霍尔片、差分放大器，斯密特触发器和输出级组成。在外磁场的作用下，当磁感应强度超过导通阈值 BOP 时，霍尔电路输出管导通，输出低电平。之后， B 再增加，仍保持导通态。若外加磁场的 B 值降低到 BRP 时，输出管截止，输出高电平。我们称 BOP 为工作点， BRP 为释放点， $BOP - BRP = BH$ 称为回差。回差的存在使开关电路的抗干扰能力增强。霍尔开关电路的功能框见图 4。图 4(a) 表示集电极开路(OC)输出，(b) 表示双输出。

它们的输出特性见图 5，图 5(a)表示普通霍尔开关，(b)表示锁定型霍尔开关的输出特性。



(a) 单OC输出 (b)双OC输出

图4 霍尔开关电路的功能框图



(a) 开关型输出特性 (b) 锁定型输出特性

图5 霍尔开关电路的输出特性

一般规定，当外加磁场的南极(S 极)接近霍尔电路外壳上打有标志的一面时，作用到霍尔电路上的磁场方向为正，北极接近标志面时为负。

锁定型霍尔开关电路的特点是：当外加场 B 正向增加，达到 BOP 时，电路导通，之后无论 B 增加或减小，甚至将 B 除去，电路都保持导通态，只有达到负向的 BRP 时，才改变为截止态，因而称为锁定型。霍尔开关电路的性能参数见表 4。

表4 霍尔开关电路的特性参数

型号	VCC/V	Bop/mT	BRP/mT	BI/mT	Icc/mA	Iol/mA	Vol/sat	IofE/μA	备注
CS100	4.5~18	-14~20	-20~14	≥6	≤12	5	≤0.4	≤10	
CS1028	4.5~24	-28~30	-30~28	≥2	≤9	25	≤0.4	≤10	
CS2018	10~20	-20~-10	≥6	≤30	300	≤0.6	≤10	互补输出	
CS302	0~6	-6~0	≥6	≤9	5	≤0.4	≤10		
UGR3119	6.5~50	12.5~45	≥5	≤9	25	≤0.4	≤10		
A3144	5~33	≥2	≤9	25	≤0.4	≤10			
UGR3140	5~18	≥2	≤9	25	≤0.4	≤10			
A3121	8~30	≥5	≤9	20	≤0.4	≤10			
UGR3175	~10	≥2	≤8	50	≤0.4	≤10	锁定		

双霍尔电路(双霍尔电路)

2.2.2.3 差动

3. A44E 集成开关型霍尔传感器

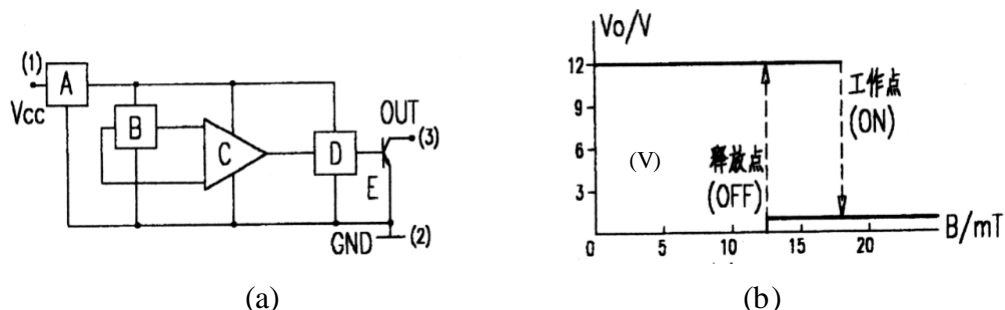


图 5-8-1 集成开关型霍尔传感器原理图

A44E 集成霍尔开关由稳压器 A、霍尔电势发生器(即硅霍尔片)^(mT)、差分放大器 C、施密特触发器 D 和 OC 门输出 E 五个基本部分组成,如图 5-8-1(a)所示。(1)、(2)、(3)代表集成霍尔开关的三个引出端点。

在输入端输入电压 V_{CC} , 经稳压器稳压后加在霍尔电势发生器的两端, 根据霍尔效应原理, 当霍尔片处在磁场中时, 在垂直于磁场的方向通以电流, 则与这二者相垂直的方向上将会产生霍尔电势差 V_H 输出, 该 V_H 信号经放大器放大后送至施密特触发器整形, 使其成为方波输送到 OC 门输出。当施加的磁场达到 工作点 (即 B_{OP}) 时, 触发器输出高电压(相对于地电位), 使三极管导通, 此时 OC 门输出端输出低电压, 通常称这种状态为 开。当施加的磁场达到 释放点 (即 B_{rp}) 时, 触发器输出低电压, 三极管截止, 使 OC 门输出高电压, 这种状态为 关。这样两次电压变换, 使霍尔开关完成了一次开关动作。

B_{OP} 与 B_{rp} 的差值一定, 此差值 $B_H = B_{OP} - B_{rp}$ 称为磁滞, 在此差值内, V_o 保持不变, 因而使开关输出稳定可靠, 这也就是集成霍尔开关传感器优良特性之一。集成霍尔开关传感器输出特性如图 5-8-1(b)。

图 5-8-2(a)为霍尔开关的外形图。霍尔开关的磁钢为直径 $D = 6.004 \text{ mm}$ 、厚度 $L = 3.032 \text{ mm}$ 的钕铁硼磁钢, 电源用直流, 霍尔开关输出由四位半直流数字电压表指示, 磁感应强度 B 由 95A 型集成线性霍尔元件测量。测量时 1、2 两端加 +12V 直流电压, 在输出端 3 与 1 之间接一个 $2 \text{ k}\Omega$ 的负载电阻, 如图 5-8-2(b)所示。

(1)输出特性

传感器主要特性是它的输出特性, 即输入磁感应强度 B 与输出电压 V_o 之间的关系。测量所得数据见下表。

参数名称及符号	测量数据(mT)		
	最小	典型	最大
工作点 B_{op}	15.2	16.9	18.5

释放点 B_{rp}	11.7	13.2	13.5
磁滞 B_H	3.5	3.7	5.0

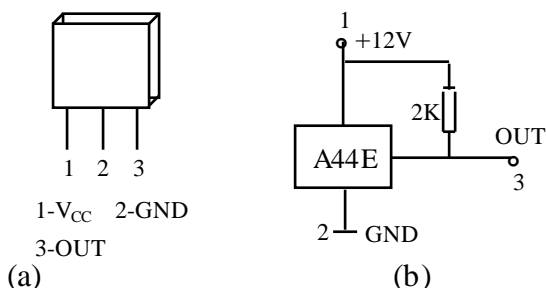


图 5-8-2 集成霍耳开关外形及接线

从表中数据可见，A44E 集成霍耳开关是单稳态型。由测量数据作出的特性曲线如图 5-8-1(b)所示。

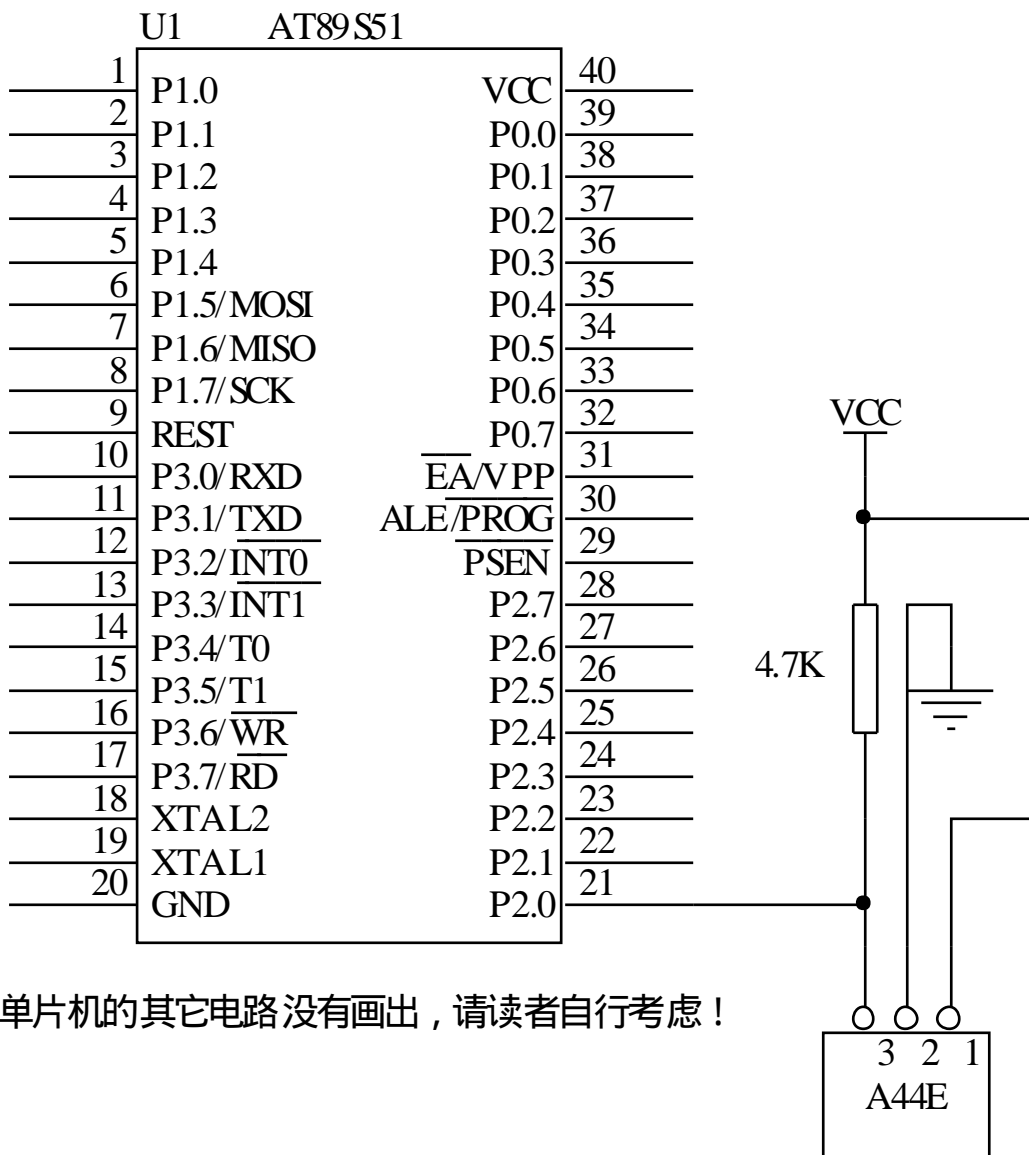
(2)磁输入特性

传感器的磁输入基本有三种情况：单极磁场、双极磁场和交变磁场。A44E 集成霍耳开关的磁输入为单极磁场，即施加磁场的方式是改变磁铁和集成霍耳开关之间的距离。

测量时，将磁铁固定，移动集成霍耳开关，并且使移动方向在磁铁与霍耳开关的轴心线方向上。实验显示，当磁铁和霍耳开关移近到一定位置，霍耳开关接通。二者移开一定距离后，霍耳开关断开。若以两者之间的距离为 r ，则测得 $r = 4\text{mm}$ 时，霍耳开关导通，此时 $B = 16.9\text{mT}$ 。而 $r = 5\text{mm}$ 时，霍耳开关断开，测得 $B = 13.2\text{mT}$ 。可见导通点与释放点间的距离为 1mm ，这是用直径只有 $D = 4.0\text{mm}$ 钕铁硼强磁材料做成磁铁测量的结果。其它形状和大小磁铁的测量结果略有不同。

	大号 A44E	小号 A44E	备注
大号磁铁	8mm	0 ~ 12 吸合距离 0 ~ 17 释放距离	测试条件：5v 电源电压，5.1K 上拉电阻。 小号的 A44E 出现吸合距离和释放距离的现象，是因为它们的磁滞特性曲线不同的缘故。
中号磁铁	3mm	0 ~ 6mm 吸合距离 0 ~ 9mm 释放距离	
小号磁铁	3mm	0 ~ 4mm 吸合距离 0 ~ 6mm 释放距离	
现象	吸合	吸合	

Songfei002 测试数据



图中单片机的其它电路没有画出，请读者自行考虑！

测试电路原理图

联系 songfei002:hongyun3867416@126.com