

# 某型开关霍尔效应传感器设计

## Design of a Type of Switch Hall Effect Sensor

陈飞

Fei Chen

贵州航天控制技术有限公司 中国·贵州 贵阳 550009

Guizhou Aerospace Control Technology Co., Ltd., Guiyang, Guizhou, 550009, China

**摘要:** 开关霍尔传感器是磁场传感器, 可为电机控制器提供转子位置反馈, 确保对电机的精确控制。论文针对一款可连续工作于 125°C 的高温条件下, 在温度和供电电压变化时, 输出保持良好的稳定性单片集成锁存型霍尔效应传感器的原理、组成、仿真进行了详细说明, 对设计的霍尔传感器进行了充分验证, 性能达到了国外主流霍尔传感器的指标。

**Abstract:** Switched Hall sensors are magnetic field sensors that provide rotor position feedback to the motor controller to ensure accurate control of the motor. In this paper, the principle, composition and simulation of a monolithic integrated latch type Hall effect sensor that can continuously work at 125°C and maintain good output stability when the temperature and power supply voltage change are described in detail. The designed Hall sensor is fully verified, and its performance has reached the index of the mainstream hall sensors abroad.

**关键词:** 霍尔传感器; 霍尔补偿; 磁感强度

**Keywords:** Hall sensor; Hall compensation; magnetic intensity

**DOI:** 10.12346/etr.v5i11.8751

## 1 引言

随着现代电子技术的快速发展, 传感器不但在工业自动化领域的应用越来越广泛, 汽车工业、消费电子工业、国土安全、医疗保健和国防工业等领域也不例外。开关霍尔传感器是根据霍尔效应制作的一种磁场传感器。从极性控制上划分, 霍尔传感器分为单极、双极、全极三类。双极开关型霍尔传感器, 需要两个磁极分别控制高低电平, 利用磁场 N、S 极交替来输出信号。可以设定 S 极靠近时输出低电平, N 极靠近时输出高电平。双极霍尔的优点在于稳定性好、灵敏度高、电压宽、一致性好、寿命长。双极开关型霍尔传感器是一种广泛使用的传感器, 可为电机控制器提供转子位置反馈, 确保对电机的精确控制。

## 2 霍尔传感器设计

### 2.1 霍尔传感器组成

霍尔效应传感器内部集成电压调节器、霍尔电压产生器、放大器、施密特触发器和集电极开路输出电路等, 通过适配不同的上拉电阻, 可用于 TTL 或 CMOS 逻辑电路。功能组

成如图 1 所示, 电压调节器为带隙基准供电模块, 对于宽 VDD 电源供电范围, 能为内部电路提供稳定的 3.2V 内部供电电压; 霍尔单元为集成霍尔板, 采用四霍尔补偿结构, 具有极小的失调电压; AMP 由放大器和施密特触发器组成, 当磁场高于 BOP 时, 输出低电平, 当磁场低于 BRP 时, 输出高电平; 输出模块采用简单的 BJT NPN 集电极开路输出结构, 对外部电路具有很强的驱动能力<sup>[1]</sup>。

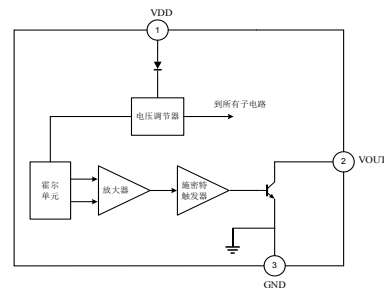


图 1 霍尔传感器组成功能框图

### 2.2 电压调节器

电压调节器电路如图 2 所示。左侧微电流源模块为

【作者简介】陈飞 (1981-), 男, 布依族, 中国贵州平塘人, 本科, 高级工程师, 从事软件、芯片研究。

Q8 提供稳定的小电流，节省功耗的同时为 Q8 提供与电源电压无关的集电极电流，以生成电源无关的  $V_{BE8}$ ，为带隙基准模块提供一个 CTAT (Complementary to Absolute Temperature) 的电压。

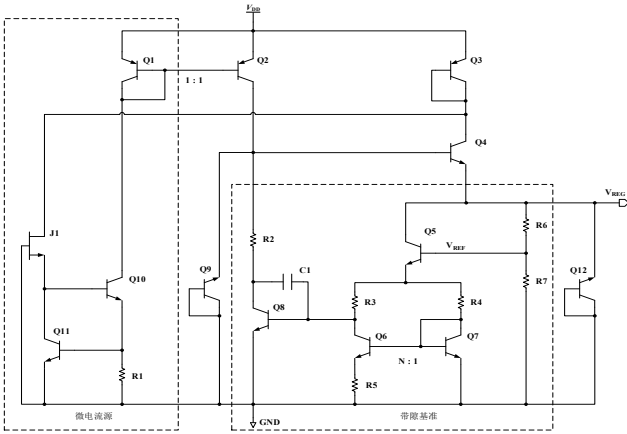


图 2 电压调节器电路

### 2.3 四霍尔补偿技术

由于工艺因素、机械应力、温度梯度等原因的影响，霍尔板的静态（无磁场）输出电压不为零，而是表现出一个失调电压，假设工艺制造、机械应力和温度梯度的固有失调会带来电阻桥模型  $\Delta R$  的失调电阻，由于横向位置差异引入的额外失调等效电阻为  $\Delta R_x$ ，纵向位置差异引入的额外失调等效电阻为  $\Delta R_y$ 。那么四霍尔的等效模型如图 3 所示，其中箭头代表供电电压的方向，四个器件的供电电压相同。

如果采用 P 型材料制作霍尔板，霍尔灵敏度会很低。在室温下，轻掺杂硅材料的电子迁移率为  $1350\text{cm}^2/\text{Vs}$ ，而空穴迁移率仅为  $480\text{cm}^2/\text{Vs}$ 。因为空穴迁移率远低于电子迁移率，所以恒压供电模式下，霍尔灵敏度会低很多，因而不选用 P 型材料。值得注意的是，恒压供电模式下，霍尔灵敏度与电子迁移率  $\mu_n$  成正比，而它与温度负相关，因而霍尔板会表现出负温度系数的灵敏度，这一特性需要通过后级电路进行补偿<sup>[2]</sup>。

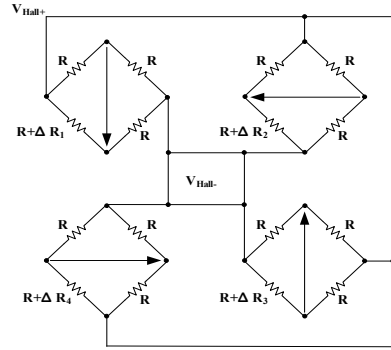


图 3 四霍尔补偿技术原理图

### 2.4 霍尔传感器主电路设计

霍尔电压信号处理原理图如图 4 所示，其中 Hall Plate 为四霍尔接法的霍尔板，电路共分为四个部分，分别为霍尔模块、施密特运放模块、输出级模块和迟滞模块。

霍尔模块检测磁场信号，并输出一个只有几毫伏大小的霍尔电压；这个信号经过施密特运放模块放大后，若磁场高于  $B_{op}$ ，则输出高电平，若磁场反向并且高于  $B_{RP}$ ，则重新输出低电平；输出级模块则反向输出放大器的信号，并增强输出驱动能力至 50mA 级别；迟滞模块的作用是为放大器的尾管提供具有迟滞特性的偏置电流。

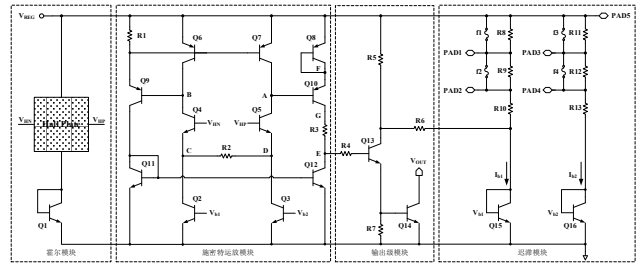


图 4 霍尔电路原理图

### 2.5 电路仿真

仿真主要聚焦在不同工艺、不同温度条件下，霍尔传感器的开关点 ( $B_{op}$  和  $B_{RP}$ ) 的一致性和输出电流的驱动能力<sup>[3]</sup>。

如图 5 为 Typical 工艺角下的仿真结果，仿真条件为： $V_{cc}=5\text{V}$ ，温度在  $-25^\circ\text{C}$  至  $125^\circ\text{C}$  之间每  $15^\circ\text{C}$  一条曲线。

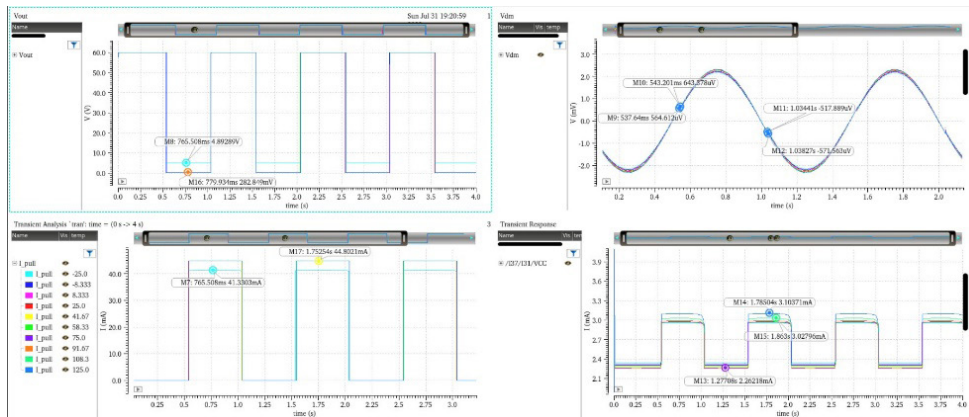


图 5 Typical 工艺角仿真结果

在  $-25^{\circ}\text{C}$  时, 输出的驱动电流能力  $I_{\text{pull}}$  为  $41.3\text{mA}$ , 因而输出低电平过高; 在其余温度下, 输出低电平正常, 且输出驱动电流有  $44.8\text{mA}$ ; 同时也可以发现, 在刚上电时, 传感器输出为高电平, 这时输出上拉电流为  $0$ , 节约了外部电路的功耗。观察右上图, 在  $-25^{\circ}\text{C}$  至  $125^{\circ}\text{C}$  范围内, 输出管开启霍尔电压为  $V_{\text{op}} \approx 590\mu\text{V} \pm 50\mu\text{V}$ , 输出管关断霍尔电压为  $V_{\text{rp}} \approx 545\mu\text{V} \pm 30\mu\text{V}$  (根据时钟馈通和电荷注入的毛刺判断开关点位置), 对称性满足设计要求。此外, 传感器整体的最大耗电在输出低电平时体现, 为  $3.10\text{mA}$ , 最小耗电在输

出高电平时体现, 为  $2.26\text{mA}$ , 满足低功耗的要求。

综合以上, 在 Typical 工艺角下, 本电路能在输出所需驱动电流小于  $41.3\text{mA}$  时正常工作, 且开关点具备低温漂和高对称性的特性, 耐压高, 功耗小, 符合设计要求。

### 3 结语

采用 AMIDA 3001XP 混合信号测试系统对样品进行机台测试, 测试数据见表 1。

表 1 机台测试数据对照表 (抽取 3 支样品)

1 符号	参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位	温度	样品 1 测试值	样品 2 测试值	样品 3 测试值
$V_{\text{DD}}$	供电电压范围	$V_{\text{DD}}=3.6\text{V} \sim 50\text{V}$	3.6	12	50	V	$25^{\circ}\text{C}$	正常	正常	正常
							$-55^{\circ}\text{C}$	正常	正常	正常
							$125^{\circ}\text{C}$	正常	正常	正常
$I_{\text{DD}}$	供电电流	$V_{\text{DD}}=28\text{V} \sim 30\text{V}$ 、无负载、 $B > B_{\text{OP}}$	—	3.0	4.5	mA	$25^{\circ}\text{C}$	3.47076	3.49068	3.37112
							$-55^{\circ}\text{C}$	3.55711	3.42426	3.53386
							$125^{\circ}\text{C}$	3.37444	3.37444	3.45747
$V_{\text{OUT(SAT)}}$	输出饱和电压	$I_{\text{OUT}} \leq 50\text{mA}$ 、 $B > B_{\text{OP}}$	250	—	600	mV	$25^{\circ}\text{C}$	549.67815	511.65283	463.24486
							$-55^{\circ}\text{C}$	398.21127	499.70108	495.89521
							$125^{\circ}\text{C}$	466.11595	469.5546	466.71689
$I_{\text{OFF}}$	输出漏电流	$V_{\text{OUT}}=50\text{V}$ 、 $B < B_{\text{RP}}$ 、输出端关闭	—	—	0.6	$\mu\text{A}$	$25^{\circ}\text{C}$	0.12521	0.12521	0.12521
							$-55^{\circ}\text{C}$	0.12521	0.12521	0.12521
							$125^{\circ}\text{C}$	0.12521	0.12521	0.12521
$t_{\text{r}}$	输出上升时间	$R_{\text{L}}=820\Omega$ 、 $C_{\text{L}}=20\text{pF}$	—	0.79	—	$\mu\text{s}$	$25^{\circ}\text{C}$	0.56	0.57	0.55
							$-55^{\circ}\text{C}$	0.58	0.58	0.58
							$125^{\circ}\text{C}$	0.55	0.55	0.55
$t_{\text{f}}$	输出下降时间	$R_{\text{L}}=820\Omega$ 、 $C_{\text{L}}=20\text{pF}$	—	0.76	—	$\mu\text{s}$	$25^{\circ}\text{C}$	0.26	0.24	0.26
							$-55^{\circ}\text{C}$	0.24	0.24	0.26
							$125^{\circ}\text{C}$	0.24	0.26	0.24
$B_{\text{OP}}$	动作点磁感强度	$T_{\text{A}}=-55^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$ 、 $V_{\text{DD}}=3.6\text{V} \sim 50\text{V}$	40	—	160	Gauss	$25^{\circ}\text{C}$	64	79	71
							$-55^{\circ}\text{C}$	98	99	87
							$125^{\circ}\text{C}$	78	80	87
$B_{\text{RP}}$	复位点磁感强度	$T_{\text{A}}=-55^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$ 、 $V_{\text{DD}}=3.6\text{V} \sim 50\text{V}$	-160	—	-40	Gauss	$25^{\circ}\text{C}$	-84	-67	-87
							$-55^{\circ}\text{C}$	-47	-64	-66
							$125^{\circ}\text{C}$	-83	-83	-62
$B_{\text{HY}}$	回差	$B_{\text{HY}}=B_{\text{OP}}-B_{\text{RP}}$	100	—	200	Gauss	$25^{\circ}\text{C}$	148	146	158
							$-55^{\circ}\text{C}$	145	163	153
							$125^{\circ}\text{C}$	161	163	149

对某型霍尔效应传感器开展了电路原理设计、仿真验证和版图设计工作, 满足预期设计指标要求。

### 参考文献

[1] 黄海云. CMOS 单片集成 3D 霍尔磁传感器研究与设计[D]. 大连:

大连理工大学, 2016.

[2] 彭业辉. CMOS 高精度霍尔开关电路设计[D]. 上海: 上海交通大学, 2014.

[3] 伍凤娟. 开关型霍尔电路芯片的设计[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2019.