

霍尔速度传感器IC的温度对抗性分析

邹治骏

华东光电集成器件研究所 安徽 蚌埠 233030

摘要: 汽车行业的变速箱输出齿轮多数采用霍尔元件, 本文讨论的IC应用情形主要针对AEC-Q100标准下为实现IC工作温度范围的技术可行性, 并针对制造的样机制造的齿轮台在高低温环境下进行了实验结果进行分析。最后通过实验分析, 当前技术框架下霍尔IC的温度适应性能够满足汽车行业使用要求。

关键词: 霍尔IC工作温区; 带隙基准; 霍尔开关

引言

采用CMOS或BiCMOS工艺的磁敏感传感器是一种基于霍尔效应的磁电转换元件, 凭借其工艺简单、体积小、生产成本低、安装简便、工作电压范围宽、使用寿命长、测量精度高以及防尘、防油等优点, 已经广泛地应用到工业变频控制、交通运输、医疗系统、电子消费品和各类智能仪表等领域。汽车行业AEC-Q100标准下, 霍尔器件工作的温度范围要实现-40~150℃的宽温区, 如何实现此条件下的稳定工作显得尤为重要。

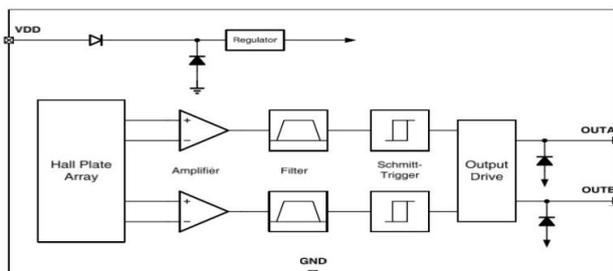
1 研发内容

速度传感器主要是在变速箱齿轮处约2mm安装, 输出的方波信号用于测量转速以及方向。按照AEC-Q100汽车电子标准, 一般在IC设计中应充分考量-40~150℃范围内工作的十年有效寿命。

2 IC 温度对抗性分析

2.1 芯片架构

速度传感器霍尔敏感器件的输出触发沿是根据磁场变化量(AC域)动态时序中交变量穿越象限才进行触发的, 广义上称之为自稳零技术, (设计架构中包含了滤波设计, AC域的穿越点发生后通过施密特触发器)本征上对霍尔片的热零点漂移有抗性, 也就是说, 热零点的漂移过程完全被电路的高通环节滤除如图所示:

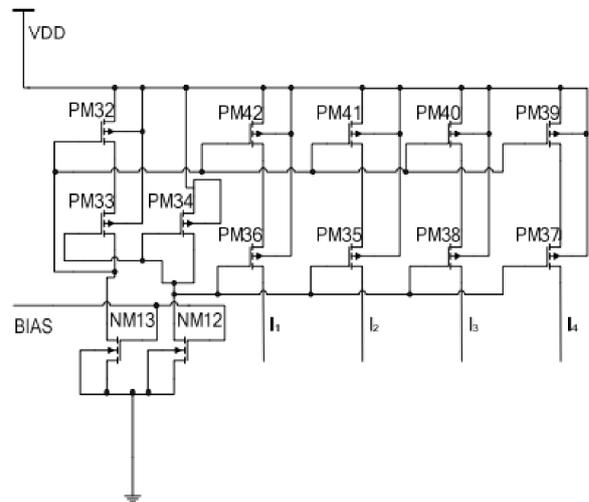


芯片架构

因此主要限定其温度性能的指标在于内置的基准源性能上。

2.2 带隙基准源设计

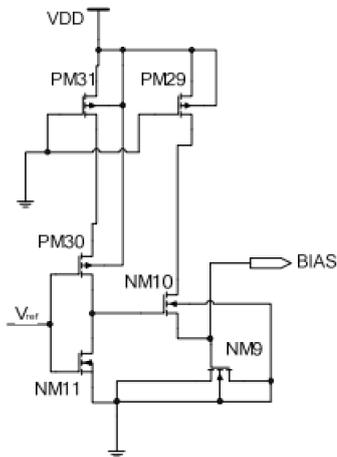
低温飘基准方案主流架构为带隙基准电压源, 此架构下电流镜是一个很重要的组成部分, 它能够为核心电路提供偏置电流或电压, 在给定的温度下, 其主要作用是产生一个与温度无差的偏置电流。通常衡量电流镜的好坏主要是看其输出的偏置电流对电源电压的灵敏度以及温度特性的影响。经分析比较, 自偏置结构的电流镜作为对 V_{BE} 和 V_{th} 的电流源的结构改进, 其性能特性也最好。自偏置结构电流镜的设计过程, 如图



自偏置结构电流镜

项目中所采用的是自偏置结构的电流镜, 从而使得本设计的带隙基准电压源电路存在两个平衡点, 即零点和正常工作点。当电路工作在零点时, 整个电路将没有电流流过所有的MOS管, 因此整个电压源电路不能正常工作。由此引出另一主要的目的是设计一种自启动电路, 它应该满足两个方面的要求: 首先必须实时确保总有电流流过带隙基准电压源中的所有MOS管, 进而使得零状态处的环路增益能够大于1, 以避免陷入零状态。其次当

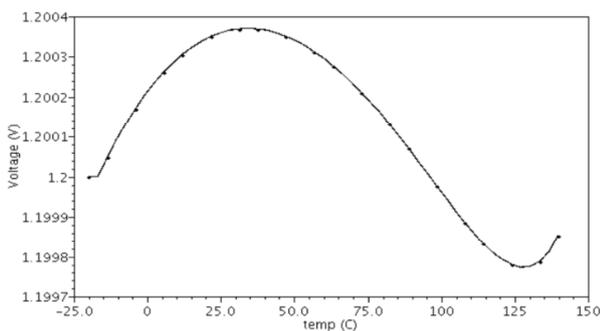
带隙基准电压源启动完成以后,启动电路应该立即切断与基准源的连接,否则会影响整个电路的工作性能。图为自启动电路。^{[1][2]}



自启动电路

整个电路的启动过程是:当电源电压刚刚上电时,由于MOS管PM31、MOS管PM29的栅极始终处于低电平,从而使得两个PMOS管都能导通,此时 V_{ref} 为低电平,再经过MOS管PM30和MOS管NM11组成的反向器,使得NM10管栅压变高,进而使得NM10管导通,BIAS端的电压被拉高,能够让后端的自偏置电流镜正常工作,随后 V_{ref} 跳变为高电平,再经过反向器的作用,使得NM10管栅压变低,进而关断NM10管,最终完成启动过程。

带隙基准电压源的基本原理是把两个相反温度系数的电压以合适的权重进行相加,最终得到零温度系数的基准电压。



带隙基准温度特性

2.3 封装封测

后道半导体封装选用塑封工艺,主要工艺流程包括:

封装工序:将单个的晶粒固定在塑料或陶瓷制的芯片基座上,并把晶粒上蚀刻出的一些引线端与基座底部伸出的插脚连接,以作为与外界电路板连接之用,最

后盖上盖板,用胶水封死。测试工序也称封测:芯片制造的最后一道工序为测试,其又可分为一般测试和特殊测试,前者是将封装后的芯片置于各种环境下测试其电气特性,如消耗功率、运行速度、电平转换时间、耐压度、温度特性等。经测试后的芯片,依其电气特性划分为不同等级,满足不同行业 and 客户需求。

我们围绕封装、封测等集成电路的后道工艺进行设计优化,通过提升封装、封测的能力和结果,提升芯片的质量稳定性和产品一致性。

在速度传感器整体的结构设计和封装工艺设计中,通过优化安装尺寸和磁路的同时也要考虑耐受的环境指标,实现了速度传感器的稳定性、环境适应性和可靠性。

在封装工序的工艺过程中,对如下工艺进行严格把控:

(1) 晶片切割 (die saw): 晶片切割之目的为将前制程加工完成之晶圆上一颗颗之晶粒 (die) 切割分离。

(2) 粘晶 (die mount / die bond): 粘晶之目的为将一颗颗晶粒置于导线架上并以银胶 (epoxy) 黏著固定。粘晶完成后之导线架则经由传输设备送至弹匣 (magazine) 内,以送至下一制程进行焊线。

(3) 焊线 (wire bond): 封装制程 (Packaging) 是利用塑料或陶瓷包装晶粒与配线以成集成电路,此制程的目的是为了制造出所生产的电路的保护层,避免电路受到机械性刮伤或是高温破坏。最后整个集成电路的周围会向外拉出脚架 (Pin),称之为打线,作为与外界电路板连接之用。

(4) 封胶 (mold): 封胶之主要目的为防止湿气由外部侵入、以机械方式支持导线、内部产生的热量之去除及提供能够手持之形体。其过程为将导线架置于框架上并预热,再将框架置于压模机上的构装模上,再以树脂充填并待硬化。

(5) 剪切/成形 (trim / form): 剪切之目的为将导线架上封装完成之晶粒独立封开,并把不需要的连接用材料及部份凸出之树脂切除 (dejunk)。成形的目的则是将外引脚压成各种预先设计好之形状,以便于装置于电路板上使用。

(6) 印字 (mark): 印字的目的在于注明商品之规格及制造者等信息。

(7) 检验 (inspection): 主要是外观检查。

同时,充分完善封测方式和方法,通过对封装材料和工艺参数严格把控,最终实现了速度传感器稳定性、环境适应性和可靠性的协调统一。

对整个芯片制造过程中主要包含的测试内容严格按

照如下封测框架（标准封装封测工序）：

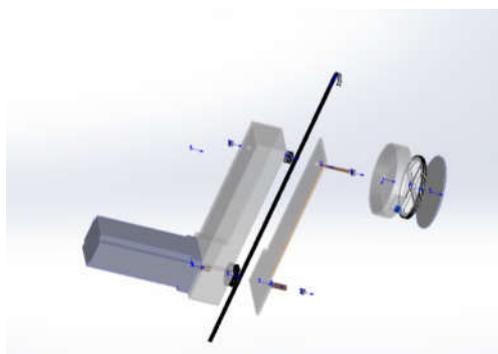
- (1) 芯片测试 (wafer sort) ；
- (2) 芯片目检 (die visual) ；
- (3) 芯片粘贴测试 (die attach) ；
- (4) 压焊强度测试 (lead bond strength) ；
- (5) 稳定性烘焙 (stabilization bake) ；
- (6) 温度循环测试 (temperature cycle) ；
- (7) 离心测试 (constant acceleration) ；
- (8) 渗漏测试 (leak test) ；
- (9) 高低温电测试 (temperature cycling testing) ；

- (10) 高温老化 (burn-in) ；
- (11) 老化后测 (post-burn-in electrical test) ；
- (12) 性能总测 (final test) 。

霍尔敏感器件的性能与设计有关，在设计中就避免各项因素对电气性能的影响；在敏感器件制备执行有关措施：制备过程精确控制了霍尔元件的几何形状、掺杂工艺；封测过程中严格控制芯片封装工艺流程和封测封测流程。

3 测试结果

2022年1月制造了如图所示的变速齿轮测试台实物：



机械转动所能实现的上限转速有限，但是多数霍尔开关的极限性能测试，以霍尼韦尔SNDH-T4P 族谱为例，开关频率范围已经达到15kHz（1万5千次/秒）。旋转磁场的平台需要配套的电控和模拟器非常难以操作。以CN110632509A《霍尔开关的测试工装和测试方法》湖北航天技术研究院计量测试技术研究所为对比，其测试工装是针对霍尔开关IC的测试工装，其集成了条形磁铁用于模拟齿轮背磁，较为接近“理想化模型”。^[3]

高温实验中考虑电机耐受性问题，施加石棉隔热并外加一层纸箱阻挡气流逸出，根据-40~150℃实际测试结果来看制造的成品机可以满足-40~150℃的使用环境要求。



序号	环境	输出波形	频率范围
1	-40℃测试	方波	0~18kHz
2	150℃测试	方波	0~18kHz

4 结论

通过上述对测试系统的软件、硬件方面的各项分析以及使用情况分析和验证结果，IC的温度特性可以满足-40~150℃的使用需求，项目产品各方面满足使用条件和下阶段工作的可连续性。

参考文献

[1] 吴金山《片上磁敏式霍尔传感器失调和噪声消除技术的研究》南京邮电大学 硕士毕业论文

[2] 王峰 闰卫平，一种CMOS带隙基准电压源设计[J] 现代电子技术2008,31(4)：4-5

[3]CN110632509A《霍尔开关的测试工装和测试方法》湖北航天技术研究院计量测试技术研究所 袁云华 等