MEMS陀螺应用方向及指标要求调研报告

1. MEMS陀螺简介及技术分类
2. 市场需求及相应指标
3. 自有陀螺指标及与竞品对比

MEME陀螺简介、分类、主要指标

MEMS陀螺仪的基本组成是由加速度计和抖动装置组成，抖动装置又可分为角振动装置和线振动装置。因此，可以将MEMS陀螺仪看作是一种振动式角速度传感器，其原理是利用科里奥利力进行能量的传递，将谐振器的一种振动模式激励到另一种振动模式，后一种振动模式的振幅与输入角速度的大小成正比，通过测量振幅实现对角速度的测量。

随着MEMS陀螺仪精度的不断提高，其应用领域也越来越广泛。在消费类电子方面，低精度MEMS陀螺仪应用领域不断拓展，主要用在手机、游戏机、音乐播放器等手持设备上，使得人机互动达到一个新的高度；中级MEMS 陀螺仪主要用于汽车电子稳定系统、GPS 辅助导航系统，精密农业、工业自动化、大型医疗设备等；在军工领域，高精度的MEMS 陀螺仪有替代低精度光纤陀螺仪的趋势，能够满足飞机、导弹的控制应用、战术导弹惯性制导、惯性GPS导航等要求。

从美国惯导陀螺仪的发展情况来看，未来各类陀螺仪将凭借自身优势重点应用于不同领域。在战略级市场，由于光纤陀螺仪受温度、磁场变化导致难以保持高精度，因此环形激光陀螺仪将依然占据市场主要地位；在导航级领域，激光和光纤陀螺仪将共享市场空间；在战术级领域，尤其是在高端应用场景，光纤陀螺仪将依然扮演重要角色；而在商业级领域，MEMS陀螺仪将持续保持统治地位。

MEMS陀螺分类：

**MEMS陀螺关键指标**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **参数 单位** | | **典型值 最大值** | | **说明** |
| **测量范围** | | | | |
| 输入范围\* | °/s | ±300 | ±838 |  |
| 温度范围 \* | °C | -40 to +85 | |  |
| **分辨率** | | | | |
| 分辨率 °/s/LSB 在规定的输入角速率下能感知的最小输入角速率的增量 | | | | |
| **偏置** | | | | |
| 偏移不稳定性 | °/h | 0.8 | 3\*\* | 室温下艾伦方差曲线最低点 |
| 运行偏移稳定性(短期) | °/h | 10 | 30\*\* | 室温下，稳定30分钟后，1小时内每秒过滤输出的标准偏差 |
| 温度偏置变化(1σ), 校准后 \* | °/s | 0.02 | 0.05 | 偏差超过规定温度的标准偏差 |
| 偏置重复性 | °/h | 10 | | 在30℃发生7次偏差测量的标准偏差，在7次运行期间，每次运行后关机30分钟 |
| 振动校准系数 | °/h/g² | 0.5 | | 在振动条件下进行校准，总体水平7.3grms。实验条件B，方法2026, MIL-STD-883F |
| **标度因子** | | | | |
| 标度因子\* | LSB/°/s | 10 000 | | 名义标度因子 |
| 标度因子随温度变化 (1σ),  校准后 \* | | 0.04 | 0.15 | 标度因子在指定温度范围内的标准偏差 |
| 标度因子重复性 | ppm | 25 | 100\*\* | 在30℃运行7次测量标度因子的标准偏差，每次运行之间断电30分钟 |
| 标度因子非线性度\* | ppm | 100 | 500 | 在室温下使用最佳拟合直线的输出与预期值的最大偏差 |
| **噪声** | | | | |
| RMS 噪声 [1-100Hz] \* | °/s | 0.04 | 0.05 | 传感器输出在频带[1-100Hz]的RMS噪声电平, 通过在零速率和室温下将传感器输出功率谱密度在1和100Hz之间进行积分而获得 |
| 角速度随机游走 | °/√Hz | 0.15 | 0.3\*\* | 室温下艾伦方差曲线斜率为-1/2的值 |

MEME陀螺市场需求及相应指标

精度：战略级、惯导级、战术级、速率级

指标要求：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 性能级别 | 速率级 | 战术级 | 惯导级 |
| 量程（°/s） | 50-1000 | >500 | >400 |
| 标度因子稳定性（%FS） | 0.1-1 | 0.01-0.1 | <0.001 |
| 偏移稳定性（°/s） | 10-1000 | 0.1-10 | <0.01 |
| 随机游走（°/√h） | >0.5 | 0.5-0.05 | <0.001 |
| 带宽（Hz） | >70 | ~100 | ~100 |

应用领域：就应用领域而言，MEMS陀螺仪以可以分为消费类陀螺仪、汽车级陀螺仪、工业级陀螺仪和军工级陀螺仪。

下面将对不同应用领域的加速度计进行分析介绍：

**消费级MEMS陀螺仪**

如今，MEMS陀螺仪被广泛用于各种消费类设备，如数码相机的图像防抖、笔记本电脑的硬盘保护和数字罗盘。用于电池供电型可穿戴应用的加速度计的关键指标是超低功耗（通常为μA级），以确保尽量延长电池寿命。其他关键指标是尺寸和集成特性，比如备用ADC通道和深度FIFO，其作用是增进终端应用的电源管理和功能性。

对数家MEMS传感器公司的消费级MEMS陀螺传感器进行了指标统计：

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 公司 | 型号 | 量程（°/s） | 偏移稳定性（°/h） | 灵敏度 | 功耗@50Hz  (uA) | 测量轴 | 价格@数量1000+  （$） |
| ADI | **ADXRS290** | **±100** | **0.8** |  | **80** | **XY** | 9.90 |
| ST | **L3GD20H** | **±245~±2000** |  |  | **11** | **XYZ** | 2.005 |
| NXP | **FXAS21002C** | **±250 ~ ±2000** |  |  | **15** | **XYZ** | **1.71** |

通过整理可以发现消费级MEMS陀螺通常对功耗和成本有要求，对其他参数要求不高。

**汽车级MEMS陀螺**

汽车电子产业被认为是MEMS传感器的第一波应用高潮的推动者，MEMS传感器在汽车上应用的快速发展主要是受益于各国政府全面推出汽车安全规定（比如要求所有汽车采用TPMS系统）和汽车智慧化的发展趋势。全球平均每辆汽车包含10個传感器，在高档汽车中，大约采用25至40只MEMS传感器，车越好，所用的MEMS就越多，BMW740i汽车上就有70多只MEMS。MEMS传感器可满足汽车环境苛刻、可靠性高、精度准确、成本低的要求。其应用方向和市场需求包括车辆的防抱死系统（ABS）、电子车身稳定程序（ESP）、电控悬挂（ECS）、电动手刹（EPB）、斜坡起动辅助（HAS）、胎压监控（EPMS）、引擎防抖、车辆倾角计量和车内心跳检测等等。

MEMS陀螺主要用于汽车导航的GPS信号补偿和汽车底盘控制系统，例如：汽车在转弯时，系统通过陀螺仪测量角速度来指示方向盘的转动是否到位，主动在内侧或者外侧车轮上加上适当的制动以防止汽车脱离车道，通常它与低加速度计一起构成主动控制系统。

对数家MEMS传感器公司的汽车用MEMS陀螺进行了指标统计：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 公司 | 型号 | 量程  （°/s） | 零偏稳定性（°/h） | 零偏温漂（°/h/℃） | 角度随机游走 （°/ √h） | 功耗@50Hz  (uA) | 测量轴 | 价格@数量1000+  （$） |
| ADI | **ADXRS624** | **75** |  |  |  |  | **Z** | **27.24** |
| ST | **A3G4250D** | **245** |  | **±0.03** | **0.15** |  | **XYZ** | **2.005** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**工业级MEMS陀螺**

工业市场的生命周期比较长，对零部件的精确度、耐用性要求又更高，且环境通常较为复杂和恶劣。这就要求MEMS陀螺能够在强烈冲击和振动，以及高低温等恶劣环境下精确地工作。

对数家MEMS传感器公司的工业MEMS陀螺进行了指标统计：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 公司 | 型号 | 量程  （°/s） | 零偏稳定性（°/h） | 零偏温漂（°/h/℃） | 角度随机游走 （°/ √h） | 工作温度（℃） | 抗冲击 | 测量轴 | 价格@数量1000+  （$） |
| ADI | **ADXRS645** | **2000** |  | **±947.36** |  | **-40~175** | **10000g** | **Z** | **975** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Sensonor | **STIM210** | **400** | **0.3** | **0.08** | **0.15** | **-40~85** | **1500g** | **XYZ** |  |

通过整理可以发现，工业级MEMS陀螺对抗冲击、工作温度范围指标要求较高，这是为了适应复杂的工业生产环境。

平台稳定控制

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 公司 | 型号 | 量程  （°/s） | 零偏稳定性（°/h） | 零偏温漂（°/h/℃） | 角度随机游走 （°/ √h） | 工作温度（℃） | 抗冲击 | 测量轴 | 价格@数量1000+  （$） |
| ADI | **ADIS16135** | **350** | **6.12** | **0.088** | **0.75** | **-40~105** |  | **Z** | **499** |
| Sensonor | **STIM202** | **400** | **0.3** |  | **0.2** | **-40~85** | **1500** | **XYZ** |  |
| Silicon Sensing | **CRG20-02** | **300** | **5** | **72** | **1** | **-40~105** |  | **Z** |  |

**战术和导航级MEMS陀螺**

在战术和导航级的应用中，加速度传感器往往是协同陀螺仪、磁力计等共同组成惯性测量单元（IMU）来使用。

SINS是一种不依赖外部信息，也不向外辐射信息的自主式导航系统，目前已被广泛应用到航空、航天、制导导弹等多个领域，其发展在一定程度上象征着一个国家武器装备的先进程度。SINS由IMU构成，IMU由加速度计、陀螺仪和磁力计组成。传统 IMU 由于体积大、质量重、价格昂贵等缺点不能大量应用到实际生活中。随着MEMS 技术的兴起，MEMS传感器以其低成本、小尺寸、低功耗等优势开始逐渐被人们应用到 IMU领域，并进入了全面的发展阶段。

惯性系统分为惯性导航系统和惯性制导系统两种：

导航是对有人驾驶和控制的运载体，如舰船、飞机、车辆等提供运载体的即时速度、位置及航向等信息的技术，以便引导运载体按预期轨迹驶向目的地。

制导是对无人驾驶、自动控制的运载体，如导弹、火箭、鱼类、无人机等进行自动控制和引导，使之按预期轨迹运动到达目标的技术。在实际应用中往往将IMU与卫星定位系统组合或者应用有磁场强度传感器的IMU进行导航，在完成制导过程中应用的主要是后者。

对数家MEMS传感器公司的战术和导航级MEMS陀螺进行了指标统计：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 公司 | 型号 | 量程  （°/s） | 零偏稳定性（°/h） | 零偏温漂（°/h/℃） | 角度随机游走 （°/ √h） | 工作温度（℃） | 抗冲击 | 测量轴 | 价格@数量1000+  （$） |
| ADI | **ADIS16137** | **1000** | **2.8** | **13.5** | **0.15** | **-40~85** | **2000g** | **Z** | **1 365** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |