

JOIN-MU 光纤光栅解调仪测试方案

一、核心测试仪器清单

仪器名称 技术参数/功能要求 参考依据

ASE 光源 波长范围 1527-1565nm, 输出功率 $\geq 13\text{dBm}$, 光谱平坦度 $\leq \pm 1\text{dB}$, 稳定度 $\pm 0.5\text{dB}$ (8 小时)

可调谐激光光源 波长可调范围 1510-1590nm, 线宽 $\leq 0.1\text{nm}$, 功率 $\geq 20\text{dBm}$, 用于动态波长校准

光功率计 测量范围 $70\text{dBm} \sim +3\text{dBm}$, 波长适配 1310/1550nm, 精度 $\pm 0.5\text{dB}$, 支持 FC/APC 接口

光谱分析仪 分辨率 $\leq 0.02\text{nm}$, 动态范围 $\geq 70\text{dB}$, 用于验证解调仪输出光谱与理论值的匹配性

光纤耦合器 1×2 或 $1 \times N$ 型, 耦合比 90/10, 插入损耗 $\leq 3\text{dB}$, 用于分光测试传感与校准支路

温控箱 温度范围 $20 \sim +70^\circ\text{C}$, 精度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$, 用于环境适应性测试

二、关键测试项目与实施步骤

1. 光源性能验证

- 输出功率稳定性: 连接 ASE 光源至光功率计, 连续记录 8 小时功率值, 计算标准差 (目标 $\leq \pm 0.2\text{dB}$)。
- 光谱平坦度: 通过光谱分析仪检测光源输出, 确保 1527-1565nm 范围内波动 $\leq \pm 1\text{dB}$ 。

2. 光功率计校准与链路损耗测试

- 校准: 使用可调谐激光光源 (已知波长与功率) 对光功率计进行标定, 误差需 $< \pm 0.5\text{dB}$ 。
- 链路损耗: 连接解调仪输入端与标准光纤 (长度已知), 测量入射光功率 (P_{in}) 与接收光功率 (P_{out}), 计算总损耗:
要求单通道损耗 $\leq 12\text{dB}$ (参考工程标准)。

3. 波长解调精度测试

- 静态解调: 将已知中心波长 (如 1545nm) 的 FBG 传感器接入解调仪, 对比解调值与光谱仪测量值, 计算偏差 (目标 $\leq \pm 1\text{pm}$)。
- 动态响应: 通过振动台施加 1Hz 正弦应变 (幅值 $500 \mu\epsilon$), 记录解调仪输出信号的信噪比 ($\text{SNR} \geq 30\text{dB}$) 及频率响应特性。

4. 多通道同步性测试

- 同时接入 4 个 FBG 传感器 (波长间隔 $\geq 5\text{nm}$), 监测各通道数据的时间延迟 (目标 $< 1\text{ms}$) 及串扰 (插入损耗 $> -30\text{dB}$)。

5. 环境适应性验证

- 温度漂移: 在 $-20^\circ\text{C} \sim +60^\circ\text{C}$ 范围内, 每 5°C 记录一次解调波长偏移量, 要求温漂系数 $\leq 0.05\text{nm}/^\circ\text{C}$ 。

- 抗干扰测试：在 50Hz 工频电磁场中（强度 $\leq 100V/m$ ），验证解调数据稳定性（波动 $< \pm 2dB$ ）。

三、测试流程图解

plaintext

1. 系统初始化

- └─ 校准光源与光功率计（参考）
- └─ 连接 FBG 传感器阵列（确保耦合效率 $> 90\%$ ）

2. 静态测试

- └─ 波长解调精度验证（对比光谱仪）
- └─ 光功率链路损耗计算（公式： $\alpha = 10\log(P_{in}/P_{out})$ ）
- └─ 多通道同步性检测（时间戳对齐）

3. 动态测试

- └─ 施加机械应变/温度扰动
- └─ 记录时域信号与频谱特征（FFT 分析）

4. 环境测试

- └─ 温控箱循环测试（ $-20^{\circ}C \rightarrow +60^{\circ}C$ ）
- └─ 电磁兼容性（EMC）验证

四、测试报告要点

- 数据表格：包含光源输出功率稳定性、波长解调误差、通道串扰等实测值与标准对比。
- 问题记录：如发现 ASE 光源短期漂移 $> 0.5dB$ ，需建议更换稳压电路元件。
- 优化建议：若光功率计在 1550nm 波段精度不足，可升级为 InGaAs 探测器模块。

五、注意事项

- 安全操作：ASE 光源输出功率高（13dBm），需避免直视光纤端面，防止激光灼伤。
- 光路隔离：测试时启用光隔离器（如结果所述），防止反射光干扰光源稳定性。
- 数据备份：原始数据需同步存储至本地与云端，防止意外丢失。

通过上述方案，可系统性评估光纤光栅解调仪的核心性能，确保其满足工程应用需求。