

输出级模块验证计划

1. 概述

本验证计划针对输出级模块 (output_stage)，验证其将 128 位格雷码数据分发到 8 个通道的功能正确性。测试平台通过实时比对 DUT 与参考模型输出确保功能一致性，特别关注通道有效性控制、数据分发和 CRC 校验逻辑。

2. 验证目标

- 验证复位后初始状态
- 验证通道有效性信号 (data_vld_chX) 生成逻辑
- 验证数据分发 (data_out_chX) 正确性
- 验证 CRC 校验信号 (crc_valid) 生成
- 验证模块对边界条件和随机输入的鲁棒性
- 验证时钟域同步功能

3. 测试用例

测试用例	描述	输入配置	检查点	预期结果
复位测试	复位信号有效性验证	rst_n=0 → rst_n=1	所有输出信号	复位后所有输出应为初始状态
全零输入测试	全零数据输入	data_gray=128' h0	通道输出数据	所有通道输出 0
全一输入测试	全 1 数据输入	data_gray=128' hFFFF	通道输出数据	所有通道输出 1
交替模式测试 (AA)	0xAA 交替模式	data_gray=128' hAAAA	通道输出数据	通道输出 0/1 交替
交替模式测试 (55)	0x55 交替模式	data_gray=128' h5555	通道输出数据	通道输出 1/0 交替

测试用例	描述	输入配置	检查点	预期结果
随机数据测试	随机数据输入	data_gray={\$random, .	所有输出信号	DUT 与参考模型一致
通道有效性测试	通道使能信号组合	vld_ch 遍历 0-255	通道有效信号	有效信号与 vld_ch 匹配
数据计数边界测试	数据计数边界值	data_count=0,127,65535	CRC 校验信号	边界值处理正确
混合场景测试	随机数据 + 随机 vld_ch	随机组合所有输入	所有输出信号	功能一致性

4. 信号说明

输入信号

信号	位宽	描述
rst_n	1 位	异步低有效复位
clk_out16x	1 位	100MHz 时钟 (周期 10ns)
data_gray	128 位	格雷码格式输入数据
vld_ch	8 位	通道有效控制 (每比特对应一个通道)
data_count	16 位	数据计数

输出信号

信号	位宽	描述
data_out_chX	1 位 × 8	通道 X 输出数据
data_vld_chX	1 位 × 8	通道 X 有效信号
crc_valid	1 位	CRC 校验有效信号

5. 检查机制

实时比对

在 clk_out16x 下降沿检查：1. **通道有效信号**：比较所有 8 个 data_vld_chX 2. **通道数据信号**：当通道有效时比较 data_out_chX 3. **CRC 校验信号**：比较 crc_valid

错误处理

- 检测到差异立即报告：
 - 错误类型和通道号
 - 当前仿真时间
 - DUT 输出值
 - 参考模型输出值
- 错误计数器累计错误数量
- 超过 10 个错误时终止仿真

信号分组

// 通道有效信号分组

```
reg [7:0] dut_data_vld = {ch8, ch7, ch6, ch5, ch4, ch3, ch2, ch1};
```

```
reg [7:0] ref_data_vld = {ref_ch8, ..., ref_ch1};
```

// 通道数据信号分组

```
reg [7:0] dut_data_out = {ch8, ch7, ch6, ch5, ch4, ch3, ch2, ch1};
```

```
reg [7:0] ref_data_out = {ref_ch8, ..., ref_ch1};
```

6. 测试激励生成

激励类型	生成方式	测试重点
复位信号	初始复位 100ns	复位功能
时钟信号	100MHz(always #5)	时序逻辑
通道使能	vld_ch = \$urandom_range(0,255)	通道组合
数据计数	0,127,65535 及随机值	边界处理
格雷码数据	全 0/全 1/AA/55/随机	数据分发

7. 通过标准

1. 完成 1000 次随机测试迭代
2. 错误计数器 error_count=0
3. 显示” Test Complete. Errors found: 0” 消息
4. 波形文件完整记录关键测试场景

8. 风险分析

风险点	严重性	缓解措施
通道间串扰	高	增加交替模式测试
CRC 校验逻辑错误	高	边界数据计数测试
复位状态残留	中	延长复位时间 (100ns)
时钟域问题	高	随机时钟间隔测试 (1-10 周期)
通道映射错误	高	通道遍历测试

9. 测试指标

- **功能覆盖率**: 通道组合、数据模式、计数边界
- **错误检测率**: 实时检测并报告差异
- **测试效率**: 1000 次迭代覆盖典型场景
- **终止条件**: 错误 >10 时自动终止

10. 交付物

1. 验证报告（包含通过率统计）
2. 覆盖率报告