




Gowin 2.5G Serial Ethernet IP

用户指南

IPUG1172-1.0, 2023/10/20

版权所有 © 2023 广东高云半导体科技股份有限公司

GOWIN高云, , Gowin以及高云均为广东高云半导体科技股份有限公司注册商标, 本手册中提到的其他任何商标, 其所有权利属其拥有者所有。未经本公司书面许可, 任何单位和个人都不得擅自摘抄、复制、翻译本档内容的部分或全部, 并不得以任何形式传播。

免责声明

本档并未授予任何知识产权的许可, 并未以明示或暗示, 或以禁止反言或其它方式授予任何知识产权许可。除高云半导体在其产品的销售条款和条件中声明的责任之外, 高云半导体概不承担任何法律或非法律责任。高云半导体对高云半导体产品的销售和 / 或使用不作任何明示或暗示的担保, 包括对产品的特定用途适用性、适销性或对任何专利权、版权或其它知识产权的侵权责任等, 均不作担保。高云半导体对档中包含的文字、图片及其它内容的准确性和完整性不承担任何法律或非法律责任, 高云半导体保留修改档中任何内容的权利, 恕不另行通知。高云半导体不承诺对这些档进行适时的更新。

版本信息

| 日期 | 版本 | 说明 |
|------------|-----|-------|
| 2023/10/20 | 1.0 | 初始版本。 |

目录

| | |
|----------------------|------------|
| 目录 | i |
| 图目录 | iii |
| 表目录 | v |
| 1 关于本手册 | 1 |
| 1.1 目的 | 1 |
| 1.2 相关文档 | 1 |
| 1.3 术语、缩略语 | 1 |
| 1.4 技术支持与反馈 | 2 |
| 2 概述 | 3 |
| 2.1 主要特征 | 3 |
| 2.2 工作频率 | 4 |
| 2.3 资源利用 | 4 |
| 3 功能描述 | 5 |
| 3.1 整体结构 | 5 |
| 3.2 用户接口 | 6 |
| 3.2.1 配置接口 | 6 |
| 3.2.2 状态接口 | 8 |
| 3.2.3 PHY 层接口 | 9 |
| 3.2.4 MAC 层接口 | 13 |
| 4 端口列表 | 23 |
| 5 参数配置 | 27 |
| 6 界面配置 | 28 |
| 7 参考设计 | 33 |
| 7.1 硬件平台 | 33 |
| 7.2 实现框图 | 34 |
| 7.3 总线协议与地址规划 | 35 |
| 7.4 板级测试 | 37 |
| 7.4.1 操作说明 | 37 |

| | |
|---------------------|-----------|
| 7.4.2 操作步骤..... | 37 |
| 8 文件交付 | 39 |
| 8.1 文档..... | 39 |
| 8.2 设计源代码（加密）..... | 39 |
| 8.3 参考设计..... | 40 |

图目录

| | |
|---|----|
| 图 3-1 Gowin 2.5G Serial Ethernet IP 结构图 | 5 |
| 图 3-2 2500M 速率下负载为偶数时正常以太网帧接收 | 9 |
| 图 3-3 2500M 速率下负载为奇数时正常以太网帧接收 | 9 |
| 图 3-4 2500M 速率下负载为偶数时错误以太网帧接收 | 9 |
| 图 3-5 2500M 速率下负载为奇数时错误以太网帧接收 | 9 |
| 图 3-6 2500M 速率下负载为偶数时载波扩展接收 | 10 |
| 图 3-7 2500M 速率下负载为奇数时载波扩展接收 | 10 |
| 图 3-8 2500M 速率下负载为偶数时载波扩展错误接收 | 10 |
| 图 3-9 2500M 速率下负载为奇数时载波扩展错误接收 | 10 |
| 图 3-10 2500M 速率下负载为偶数时正常以太网帧发送 | 11 |
| 图 3-11 2500M 速率下负载为奇数时正常以太网帧发送 | 11 |
| 图 3-12 2500M 速率下负载为偶数时错误以太网帧发送 | 11 |
| 图 3-13 2500M 速率下负载为奇数时错误以太网帧发送 | 11 |
| 图 3-14 2500M 速率下负载为偶数时载波扩展发送 | 11 |
| 图 3-15 2500M 速率下负载为奇数时载波扩展发送 | 11 |
| 图 3-16 2500M 速率下负载为偶数时载波扩展错误发送 | 12 |
| 图 3-17 2500M 速率下负载为奇数时载波扩展错误发送 | 12 |
| 图 3-18 2500M 速率半双工模式发送 | 12 |
| 图 3-19 2500M 速率发送冲突 | 12 |
| 图 3-20 2500M 速率下负载为偶数时正常 MAC 帧接收 | 13 |
| 图 3-21 2500M 速率下负载为奇数时正常 MAC 帧接收 | 13 |
| 图 3-22 2500M 速率下负载为偶数时错误 MAC 帧接收 | 13 |
| 图 3-23 2500M 速率下负载为奇数时错误 MAC 帧接收 | 13 |
| 图 3-24 2500M 速率使能 FCS Forward 且负载为偶数时正确 MAC 帧接收 | 14 |
| 图 3-25 2500M 速率使能 FCS Forward 且负载为偶数时错误 MAC 帧接收 | 14 |
| 图 3-26 2500M 速率使能 FCS Forward 且负载为奇数时正确 MAC 帧接收 | 14 |
| 图 3-27 2500M 速率使能 FCS Forward 且负载为奇数时错误 MAC 帧接收 | 14 |
| 图 3-28 负载为偶数时 VLAN Tagged 帧接收 | 15 |
| 图 3-29 接收统计 | 15 |

| | |
|--|----|
| 图 3-30 2500M 速率下负载为偶数时正常 MAC 帧发送 | 16 |
| 图 3-31 2500M 速率下负载为奇数时正常 MAC 帧发送 | 16 |
| 图 3-32 2500M 速率下负载为偶数时错误 MAC 帧发送 | 17 |
| 图 3-33 2500M 速率下负载为奇数时错误 MAC 帧发送 | 17 |
| 图 3-34 2500M 速率下使能 FCS Forward 且负载为偶数时 MAC 帧发送 | 17 |
| 图 3-35 2500M 速率下使能 FCS Forward 且负载为奇数时 MAC 帧发送 | 17 |
| 图 3-36 冲突时重发 | 18 |
| 图 3-37 冲突时放弃重发（主动放弃） | 18 |
| 图 3-38 冲突时放弃重发（被动放弃） | 18 |
| 图 3-39 发送统计 | 18 |
| 图 3-40 发送 Pause 帧 | 19 |
| 图 3-41 接收 pause 帧 | 20 |
| 图 3-42 MDC、MDIO 连接示意图 | 21 |
| 图 3-43 miim 写时序 | 22 |
| 图 3-44 miim 读时序 | 22 |
| 图 4-1 Gowin 2.5G Serial Ethernet IP IO 端口示意图 | 23 |
| 图 6-1 IP 核产生工具 | 28 |
| 图 6-2 SerDes IP 配置界面 | 29 |
| 图 6-3 PHY Configuration 选项页 | 30 |
| 图 6-4 MAC Configuration 选项页 | 31 |
| 图 6-5 SerDes IP 配置界面显示 2.5G Serial Ethernet IP | 32 |
| 图 7-1 硬件平台 | 33 |
| 图 7-2 参考设计实现框图 | 34 |
| 图 7-3 UART to Bus IP 参数设置 1 | 35 |
| 图 7-4 UART to Bus IP 参数设置 2 | 35 |

表目录

| | |
|---|----|
| 表 1-1 术语、缩略语 | 1 |
| 表 2-1 Gowin 2.5G Serial Ethernet IP | 3 |
| 表 2-2 资源利用 | 4 |
| 表 3-1 configuration_vector_i 位定义 | 7 |
| 表 3-2 status_vector_o 位定义 | 8 |
| 表 3-3 rx_statistics_vector_o 位定义 | 15 |
| 表 3-4 tx_statistics_vector_o 位定义 | 19 |
| 表 4-1 Gowin 2.5G Serial Ethernet IP IO 端口 | 24 |
| 表 5-1 Gowin 2.5G Serial Ethernet IP 静态参数 | 27 |
| 表 7-1 寄存器地址定义 | 36 |
| 表 8-1 文档列表 | 39 |
| 表 8-2 Gowin 2.5G Serial Ethernet IP 设计源代码列表 | 39 |
| 表 8-3 Gowin 2.5G Serial Ethernet IP RefDesign 文件夹内容列表 | 40 |

1 关于本手册

1.1 目的

Gowin 2.5G Serial Ethernet IP 用户指南主要包括功能简介、功能描述、GUI 调用、参考设计等，旨在帮助用户快速了解 Gowin 2.5G Serial Ethernet IP 的产品特性、特点及使用方法。

1.2 相关文档

通过登录高云半导体网站 www.gowinsemi.com.cn 可以下载、查看以下相关文档：

- [SUG100, Gowin 云源软件用户指南](#)
- [DS981, GW5AT 系列 FPGA 产品数据手册](#)
- [DS1104, GW5AST 系列 FPGA 产品数据手册](#)

1.3 术语、缩略语

表 1-1 中列出了本手册中出现的相关术语、缩略语及相关释义。

表 1-1 术语、缩略语

| 术语、缩略语 | 全称 | 含义 |
|--------|--------------------------|---------|
| CRC | Cyclic Redundancy Check | 循环冗余检验 |
| FCS | Frame Check Sequence | 帧校验序列 |
| IFG | Inter-Frame Gap | 帧间距 |
| IP | Intellectual Property | 知识产权 |
| LUT | Look-up Table | 查找表 |
| MAC | Media Access Control | 介质访问控制层 |
| PCS | Physical Coding Sublayer | 物理编码子层 |
| SFD | Start of Frame Delimiter | 帧开始界定符 |

1.4 技术支持与反馈

高云半导体提供全方位技术支持，在使用过程中如有任何疑问或建议，可直接与公司联系：

网站: www.gowinsemi.com.cn

E-mail: support@gowinsemi.com

Tel: +86 755 8262 0391

2 概述

Gowin 2.5G Serial Ethernet IP实现了2500BASE-X和2.5G SGMII功能，为用户提供了一个通用的访问接口，可以集成到需要2.5G串行以太网设备中，这种连接通常用于通信应用。

表 2-1 Gowin 2.5G Serial Ethernet IP

| Gowin 2.5G Serial Ethernet IP | |
|-------------------------------|------------------------------------|
| 逻辑资源 | 见表 2-2 |
| 交付文件 | |
| 设计文件 | Verilog (加密) |
| 参考设计 | Verilog |
| 测试平台 | Verilog |
| 测试设计流程 | |
| 综合软件 | GowinSynthesis® |
| 应用软件 | Gowin Software (V1.9.9.Beta-3 及以上) |

注！

可登录[高云半导体网站](#)查看芯片支持信息。

2.1 主要特征

- 支持 2500BASE-X 和 2.5G SGMII 标准
- 2500BASE-X 支持 3.125Gbps 速率
- 2.5G SGMII 支持 2500M 速率
- 支持用户可选是否包含以太网 MAC 功能
- 支持全双工和半双工模式，半双工模式下支持冲突检测
- 支持用户可选是否自动添加和校验 CRC
- 支持自动添加 pad 功能
- 支持以太网帧分类统计
- 支持以太网帧错误统计
- 支持 IFG 可配置功能

- 支持 Jumbo 模式
- 支持全双工模式下的 Flow Control
- 支持 Management 接口 mdc、mdio

2.2 工作频率

Gowin 2.5G Serial Ethernet IP 的工作频率为 156.25 MHZ。

2.3 资源利用

Gowin 2.5G Serial Ethernet IP 采用 Verilog 语言，因使用器件的密度、速度和等级不同，其性能和资源利用情况可能不同。以高云 GW5AT 系列 FPGA 为例，资源利用情况如表 2-2 所示。关于其它器件的资源利用请参阅相关的后期发布信息。

表 2-2 资源利用

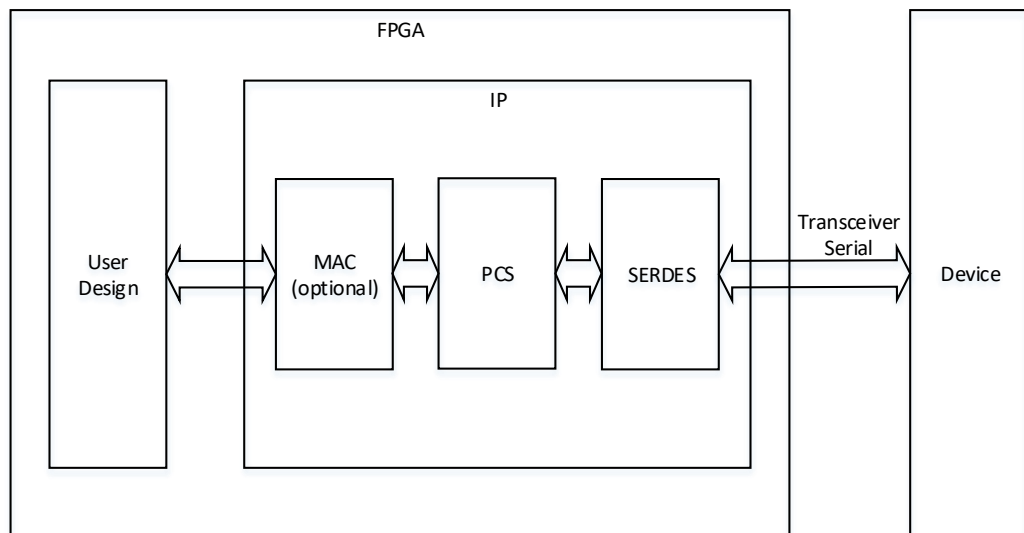
| 接口 | LUTs | REGs | 器件 | 速度 |
|--------------|------|------|-----------|----|
| MAC 层 | 2437 | 2247 | GW5AT-138 | ES |
| PHY 层 | 872 | 762 | GW5AT-138 | ES |
| PHY 层 (MIIM) | 953 | 799 | GW5AT-138 | ES |

3 功能描述

3.1 整体结构

Gowin 2.5G Serial Ethernet IP 基本结构如图 3-1 所示，主要包含 MAC (optional)、PCS、SerDes 模块。图 3-1 中的 User Design 是 FPGA 中的用户设计，Device 是外部连接的支持 2500BASE-X 标准或 2.5G SGMII 标准的以太网设备。

图 3-1 Gowin 2.5G Serial Ethernet IP 结构图



- **MAC:** 实现用户数据格式与以太网帧数据格式之间的转换，可实现 CRC、PAD、Flow Control、IFG 配置、帧统计、错误指示等功能。
- **PCS:** 实现 GMII、自协商等功能。
- **SerDes:** 实现以太网数据的编解码、串并转换等处理。

3.2 用户接口

3.2.1 配置接口

标准配置

IP 支持 2500BASE-X 和 2.5G SGMII 标准，2.5G SGMII 标准又可分为 System Mode 和 Media Mode。System Mode 时，IP 当前的速率和双工模式由其外部连接的以太网设备决定，其只支持 2500M 一种速率，支持全双工和半双工两种双工模式；Media Mode 时，IP 当前的速率和双工模式可自行设置，其支持的速率和双工模式与 System Mode 时相同。

- 2500BASE-X 标准配置

当用户设置 `basex_or_sgmi_i` 为 0 时，则 IP 为 2500BASE-X 标准；通过设置 `basex_link_timer_i` 可配置 2500BASE-X 标准的 link 时间，具体设置的 link 时间可按照如下公式计算：

$$\text{link 时间} = \text{basex_link_timer_i} * 26.2144\text{us}$$

注！

2500BASE-X 的 link 时间为 10ms~20ms。

- 2.5G SGMII 标准配置

当用户设置 `basex_or_sgmi_i` 为 1 时，则 IP 为 2.5G SGMII 标准；通过设置 `sgmii_link_timer_i` 可配置 2.5G SGMII 标准的 link 时间，具体设置的 link 时间可按照如下公式计算：

$$\text{link 时间} = \text{sgmii_link_timer_i} * 26.2144\text{us}$$

注！

2.5G SGMII 的 link 时间为 1.6ms。

当用户设置 `sgmii_mode_i` 为 0 时，则 2.5G SGMII 标准为 System Mode，此时不需要进行速率和双工模式的设置；当用户设置 `sgmii_mode_i` 为 1 时，则 2.5G SGMII 标准为 Media Mode，可通过 `configuration_vector_i[13:11]` 设置 2.5G SGMII 标准的速率和双工模式。对于双工模式，`configuration_vector_i[13]` 为 1 时，表示 2.5G SGMII 标准为全双工，`configuration_vector_i[13]` 为 0 时，表示 2.5G SGMII 标准为半双工；对于速率，`configuration_vector_i[12:11]` 为 1X 时，表示 2.5G SGMII 标准为 2500M 速率传输。

功能配置

用户配置 `repeater_mode_i` 为 1 时，可设置 IP 为中继器模式；可配置 `configuration_vector_i` 来控制 IP 内部自协商功能使能/禁用、重新自协商、双工模式、速率模式、掉电等功能。应当注意，`configuration_vector_i` 仅在 IP 包含 MAC 功能或仅有 PHY 功能且不支持 PHY MIIM 接口时存在；用户还可通过配置 `signal_detect_i` 为 1，设置 IP 支持信号检测功能，同时 `signal_detect_i` 和 `configuration_vector_i[1]` 可一起控制 IP 的数据同步功能。`configuration_vector_i` 位定义如表 3-1 所示。

表 3-1 configuration_vector_i 位定义

| 位置 | 名称 | 描述 |
|-------|-----------------------|---|
| 14 | 2.5G Sgmii Phy Link | 2.5G SGMII标准Media Mode下PHY的Link状态: 1: Link up 0: Link down |
| 13 | 2.5G Sgmii Phy Duplex | 2.5G SGMII标准Media Mode下双工模式: 1: 全双工 0: 半双工 |
| 12:11 | 2.5G Sgmii Phy Speed | 2.5G SGMII标准Media Mode下速率: 1X: 2500M速率 |
| 10 | Hd | 2500BASE-X标准下半双工模式: 1: 使能 0: 禁用 |
| 9 | Fd | 2500BASE-X标准下全双工模式: 1: 使能 0: 禁用 |
| [8:7] | {Ps2,Ps1} | 2500BASE-X标准下Pause模式: 00: No Pause 01: Symmetric Pause 10: Asymmetric Pause towards link partner 11: Both Symmetric Pause and Asymmetric Pause towards link partner |
| 6 | Power Down | 掉电功能: 1: 掉电 0: 上电 |
| 5 | Unidir En | 单向传输功能: 1: 使能 0: 禁用 |
| 4 | Mr Restart An | 重新自协商功能: 1->0: 重新自协商 |
| 3 | Isolate | 传输隔离功能, 可隔离用户与PHY层之间的数据传输: 1: 使能 0: 禁用 |
| 2 | Mr An Enable | 自协商功能: 1: 使能 0: 禁用 |
| 1 | Mr Loopback | 数据同步功能: 1: IP执行数据同步, signal_detect_i无效 0: 若signal_detect_i=1, IP执行数据同步; 若signal_detect_i=0, IP不执行数据同步 |
| 0 | Mr Main Reset | 复位功能: |

| 位置 | 名称 | 描述 |
|----|----|-----------------|
| | | 1: 复位 0: 解复位 |

3.2.2 状态接口

`status_vector_o` 反馈了 IP 功能的当前状态, `link_partner_ability_base_o` 反馈了本次自协商时对方配置寄存器信息。`status_vector_o` 位定义如表 3-2 所示。

表 3-2 `status_vector_o` 位定义

| 位置 | 名称 | 描述 |
|-----|----------------------|---|
| 10 | Decode Disparity Err | 解码时不一致性异常指示: 1: 不一致性异常 0: 不一致性正常 |
| 9 | Decode Coding Err | 解码时数据异常指示: 1: 数据异常 0: 数据正常 |
| 8 | Phy Link Status | 2.5G SGMII标准下对方的PHY Link状态指示: 1: Link up 0: Link down |
| 7 | Duplex Status | 2.5G SGMII标准下对方的双工模式指示: 1: 全双工 0: 半双工 |
| 6:5 | Speed Status | 2.5G SGMII标准下对方的速率指示: 1x: 2500M |
| 4 | Page Received | 接收到对方配置寄存器信息指示 |
| 3 | Power Down | 掉电状态指示: 1: 掉电 0: 上电 |
| 2 | An Complete | 自协商完成状态指示: 1: 协商成功 0: 协商未成功 |
| 1 | Link Status | Link状态指示: 1: Link up 0: Link down |
| 0 | Sync Status | 数据同步状态指示: 1: 数据同步 0: 数据未同步 |

3.2.3 PHY 层接口

以太网帧接收

接收以太网帧是把串行数据转换为以太网帧数据的过程。所有接收信号同步于 gmii_rx_clk_o，频率为 156.25MHZ。

正常以太网帧接收

图 3-2 展示在 2500M 速率下负载为偶数时正常以太网帧接收过程，图 3-3 展示在 2500M 速率下负载为奇数时正常以太网帧接收过程。

以太网帧以 7 字节 Preamble 和 1 字节 SFD 标志着一帧数据的开始。

开始接收以太网帧时，gmii_rx_dv_o 为 2'b11，一直持续到接收完最后两字节数据后变为 2'b00，结束以太网帧的接收，在此期间，gmii_rx_er_o 一直保持为 0，gmii_rxd_o 为接收的数据；若本帧的负载长度为奇数，则接收最后一字节数据时，gmii_rx_dv_o 为 2'b01，gmii_rxd_o 的低字节数据为有效数据。需要注意 IP 中没有 buffer 用来缓存接收的以太网帧，因此用户必须时刻准备接收以太网帧，以太网帧的数据会连续输出，直到整帧数据接收完毕，帧与帧之间有帧间距。

图 3-2 2500M 速率下负载为偶数时正常以太网帧接收

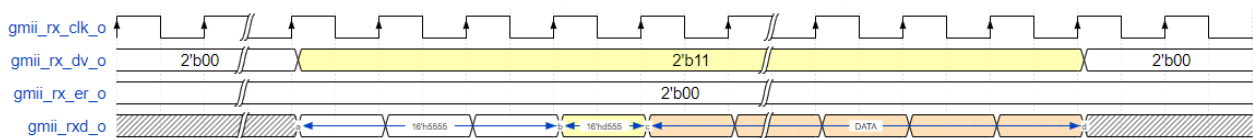
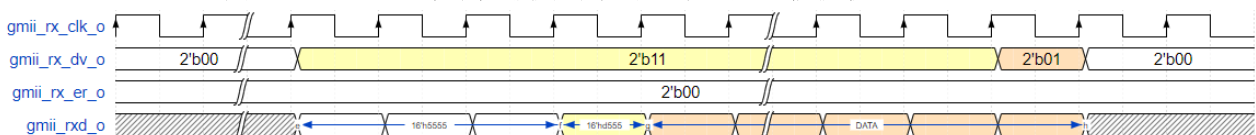


图 3-3 2500M 速率下负载为奇数时正常以太网帧接收



错误以太网帧接收

在接受过程中，当 gmii_rx_dv_o 有效时，若其对应的 gmii_rx_er_o 也有效，则表示当前接收的对应字节数据为错误数据。图 3-4 和图 3-5 分别展示在 2500M 速率下负载为偶数时和负载为奇数时错误帧的接收过程。

图 3-4 2500M 速率下负载为偶数时错误以太网帧接收

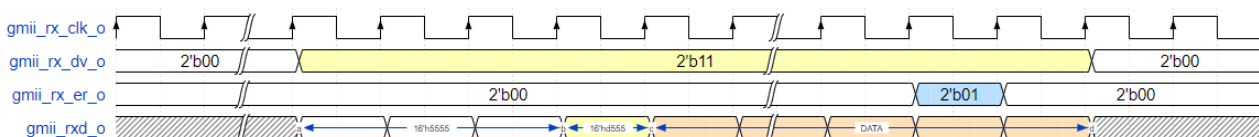
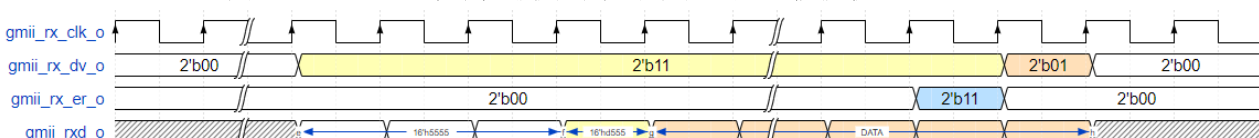


图 3-5 2500M 速率下负载为奇数时错误以太网帧接收



载波扩展接收

当 gmii_rx_dv_o 信号无效时，若 gmii_rx_er_o 信号有效，且其对应的字节数据为 8'h0F，则此过程为载波扩展接收，直到 gmii_rx_er_o 变为 2'b00，结束载波扩展接收过程；需要注意的是，载波扩展是紧跟在以太网帧接收过程结束后的。图 3-6 展示在 2500M 速率下负载为偶数时载波扩展的接收过程，图 3-7 展示在 2500M 速率下负载为奇数时载波扩展的接收过程。

图 3-6 2500M 速率下负载为偶数时载波扩展接收

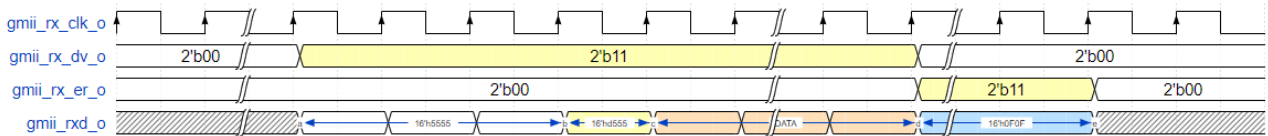
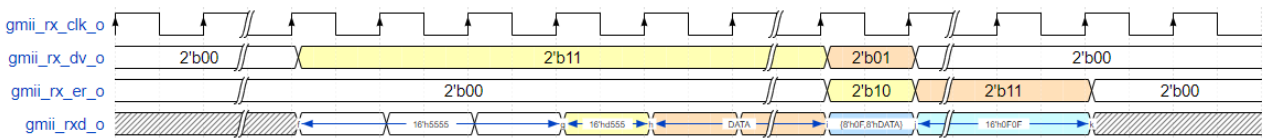


图 3-7 2500M 速率下负载为奇数时载波扩展接收



载波扩展错误接收

在载波扩展接收的基础上，gmii_rxd_o 持续接收 8'h0F，一段时间后变为接收 8'h1F。图 3-8 展示在 2500M 速率下负载为偶数时载波扩展错误的接收过程，图 3-9 展示在 2500M 速率下负载为奇数时载波扩展错误的接收过程。

图 3-8 2500M 速率下负载为偶数时载波扩展错误接收

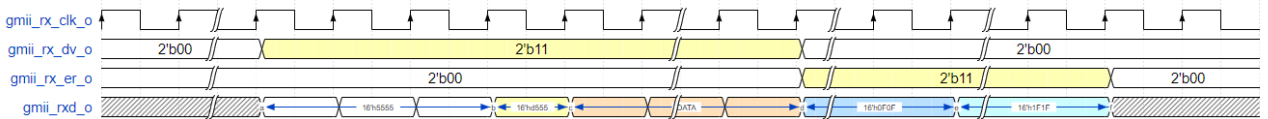
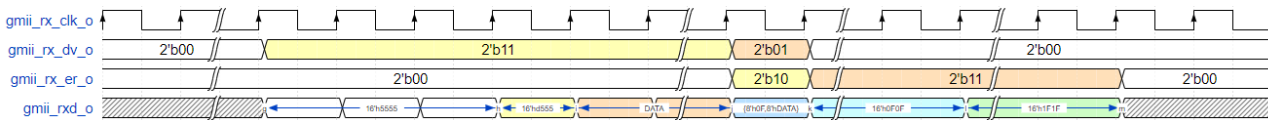


图 3-9 2500M 速率下负载为奇数时载波扩展错误接收



以太网帧发送

发送以太网帧是把以太网帧数据转换为串行数据的过程。所有发送信号同步于 gmii_tx_clk_o。

正常以太网帧发送

图 3-10 展示在 2500M 速率下负载为偶数时正常以太网帧发送过程，图 3-11 展示在 2500M 速率下负载为奇数时正常以太网帧发送过程。

以太网帧以 7 字节 Preamble 和 1 字节 SFD 作为开始。

开始发送以太网帧时，gmii_tx_en_i 为 2'b11，一直持续到发送完最后两字节数据后变为 2'b00，结束以太网帧的发送；在此期间，gmii_tx_er_i 一直保持为 0，gmii_txd_i 为发送的数据；若本帧的负载长度为奇数，则发送最后一字节数据时，gmii_tx_en_i 为 2'b01，gmii_txd_i 的低字节数据为发送的字节数据。需要注意 IP 中没有 buffer 用来缓存发送的以太网帧，因此用户需要

连续发送以太网帧数据，直到整帧数据发送完毕，帧与帧之间有帧间距。

图 3-10 2500M 速率下负载为偶数时正常以太网帧发送

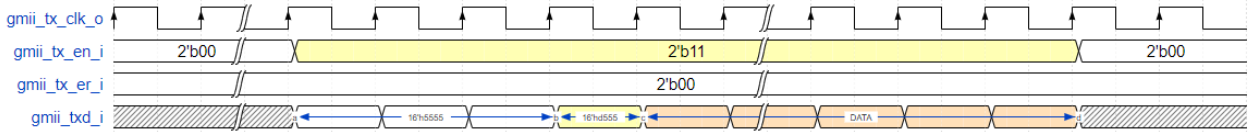
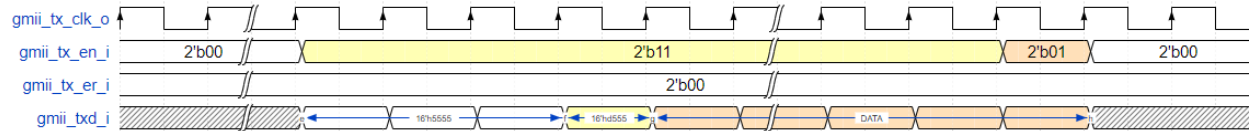


图 3-11 2500M 速率下负载为奇数时正常以太网帧发送



错误以太网帧发送

在发送过程中，当 gmii_tx_en_i 有效时，若其对应的 gmii_tx_er_i 也有效，则表示当前发送的对应字节数据为错误数据。图 3-12 展示在 2500M 速率下负载为偶数时错误帧的发送过程，图 3-13 展示在 2500M 速率下负载为奇数时错误帧的发送过程。

图 3-12 2500M 速率下负载为偶数时错误以太网帧发送

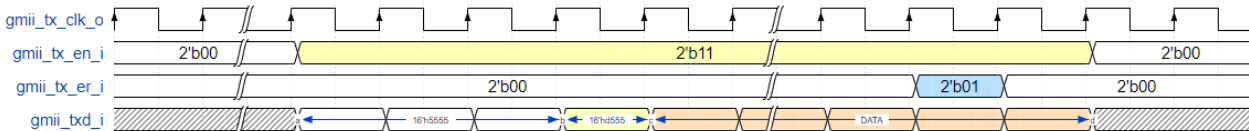
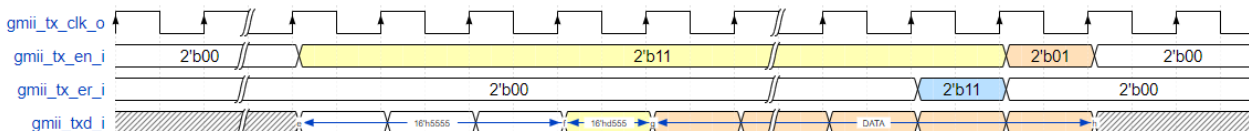


图 3-13 2500M 速率下负载为奇数时错误以太网帧发送



载波扩展发送

当 gmii_tx_en_i 信号无效时，若 gmii_tx_er_i 信号有效，且其对应的字节数据为 8'h0F，则此过程为载波扩展发送，直到 gmii_tx_er_i 变为 2'b00，结束载波扩展发送过程；需要注意的是，载波扩展是紧跟在以太网帧发送过程结束后的。图 3-14 展示在 2500M 速率下负载为偶数时载波扩展的发送过程，图 3-15 展示在 2500M 速率下负载为奇数时载波扩展的发送过程。

图 3-14 2500M 速率下负载为偶数时载波扩展发送

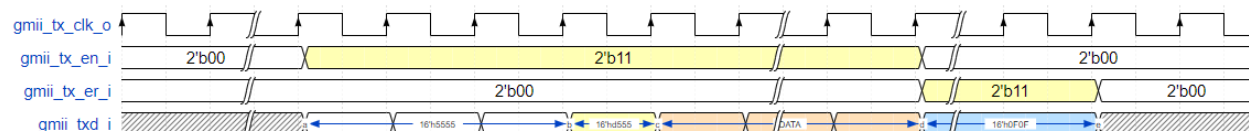
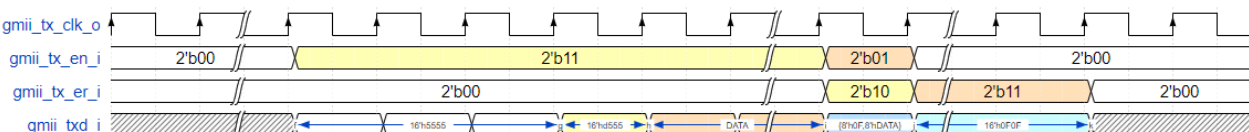


图 3-15 2500M 速率下负载为奇数时载波扩展发送



载波扩展错误发送

在载波扩展发送的基础上，gmii_txd_i 持续发送 8'h0F，一段时间后变为发送 8'h1F。图 3-16 展示在 2500M 速率下负载为偶数时载波扩展错误的发送过程，图 3-17 展示在 2500M 速率下负载为奇数时载波扩展错误的发送过程。

图 3-16 2500M 速率下负载为偶数时载波扩展错误发送

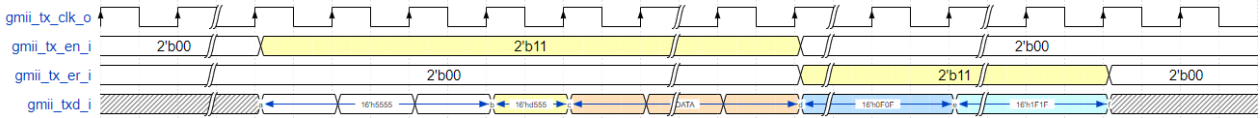
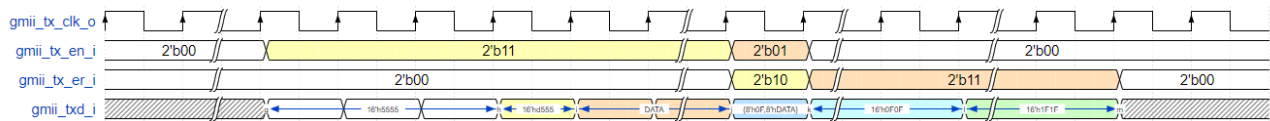


图 3-17 2500M 速率下负载为奇数时载波扩展错误发送



半双工模式发送

在半双工模式下，发送前先检测 gmii_crs_o 和 gmii_col_o 信号，若都为 0，可按照以上全双工发送过程发送以太网帧，否则继续等待；如果发送过程中，用户检测到 gmii_col_o 有效，需马上把 gmii_tx_en_i 和 gmii_tx_er_i 置 0，用来结束此次以太网帧的发送，待 gmii_crs_o 和 gmii_col_o 都为 0 后，用户可以自行决定是否重发此帧。图 3-18 展示在 2500M 速率下半双工模式的发送过程，图 3-19 展示在 2500M 速率下发送冲突的过程。

图 3-18 2500M 速率半双工模式发送

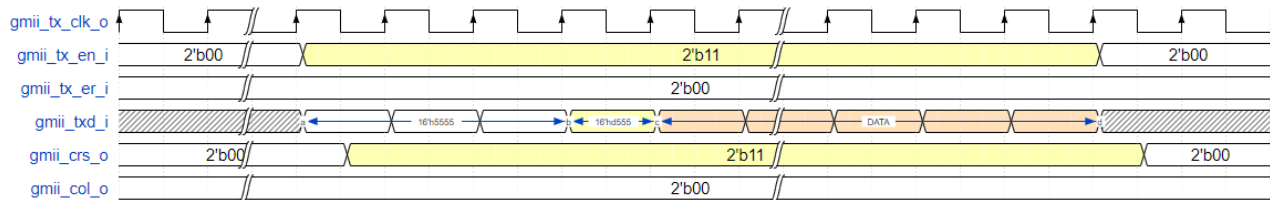
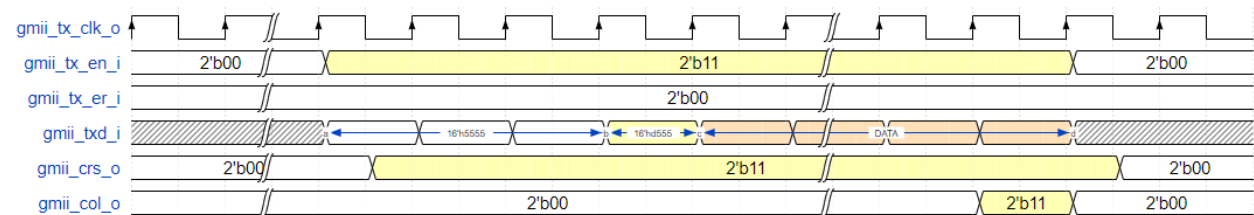


图 3-19 2500M 速率发送冲突



3.2.4 MAC 层接口

MAC 帧接收

接收 MAC 帧是把串行数据转换为用户数据的过程。所有接收信号同步于 rx_mac_clk_o。

正常 MAC 帧接收

图 3-20 展示在 2500M 速率下负载为偶数时正常 MAC 帧接收过程，图 3-20 展示在 2500M 速率下负载为奇数时正常 MAC 帧接收过程。

当 rx_mac_valid_o 为 1 时，表明此周期 rx_mac_data_o 有效；当 rx_mac_valid_o 和 rx_mac_last_o 同时为 1 时，表明此周期 rx_mac_data_o 有效且为这一帧 MAC 帧的最后数据，若此时 rx_mac_ub_invalid_o=0，表示两字节的数据都有效，若此时 rx_mac_ub_invalid_o=1，表示低位的字节数据有效。需要注意 IP 中没有 buffer 用来缓存接收的以太网帧，因此用户必须时刻准备接收以太网帧，MAC 帧的数据会连续输出，直到整帧数据接收完毕，帧与帧之间有帧间距。

图 3-20 2500M 速率下负载为偶数时正常 MAC 帧接收

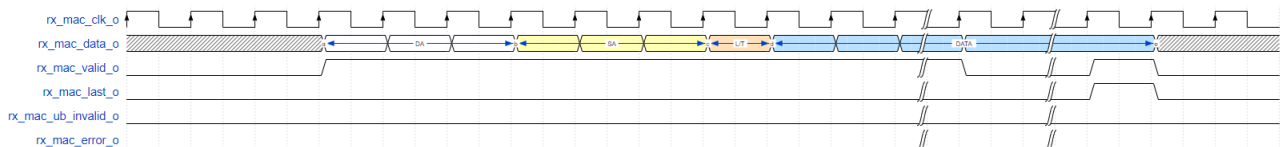
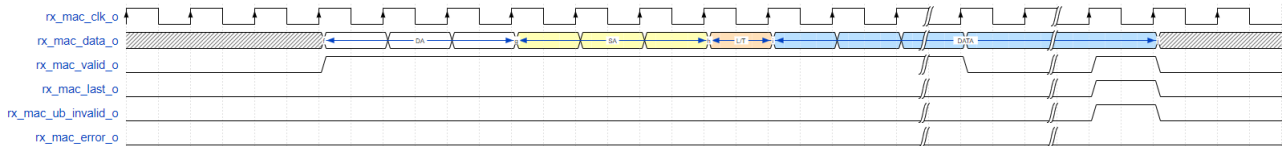


图 3-21 2500M 速率下负载为奇数时正常 MAC 帧接收



错误 MAC 帧接收

当 rx_mac_error_o 为 1 时，表示当前帧有某些错误，具体错误类型可通过 rx_statistics_valid_o 和 rx_statistics_vector_o 信号查看。

rx_mac_error_o 仅会在 rx_mac_last_o 为 1 时指示当前帧的错误状态。图 3-22 和图 3-23 分别展示 2500M 下负载为偶数和奇数时一个错误 MAC 帧的接收过程。

图 3-22 2500M 速率下负载为偶数时错误 MAC 帧接收

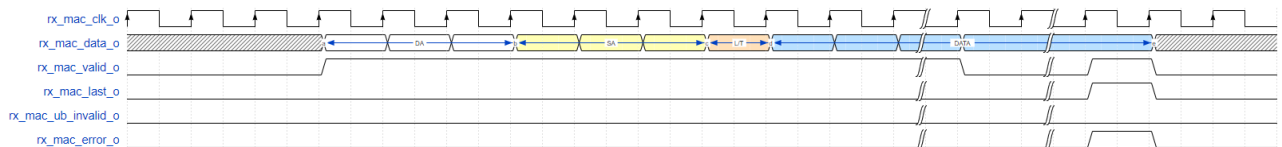
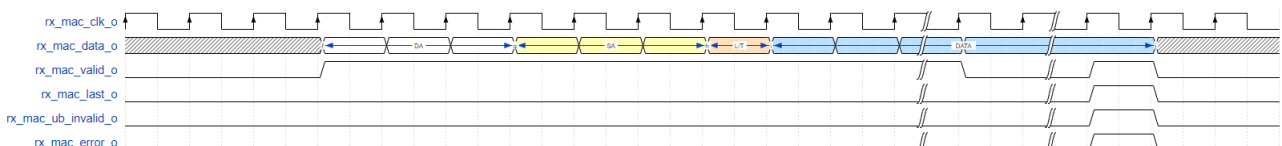


图 3-23 2500M 速率下负载为奇数时错误 MAC 帧接收



当出现如下错误时，rx_mac_error_o 会指示：

1. 接收到 FCS 错误帧
2. 接收到 align 帧
3. 在接收过程中，收到 PHY 层接口 gmii_rx_er_o 信号有效
4. 半双工时，出现冲突
5. 帧长度错误。不使能 Jumbo 功能时，接收非 VLAN 帧小于 64 字节或大于 1518 字节，VLAN 帧小于 64 字节或大于 1522 字节；使能 Jumbo 功能时，接收帧小于 64 字节。

接收 MAC 帧 FCS Forward

当用户设置 IP 为接收 FCS Forward 模式时，IP 会把接收到的 FCS 字段传给用户侧，如图 3-24 到图 3-27 所示。此时，IP 仍然自动校验 FCS 字段，并通过 rx_mac_error_o 和 rx_statistics_vector_o 指示。

图 3-24 2500M 速率使能 FCS Forward 且负载为偶数时正确 MAC 帧接收

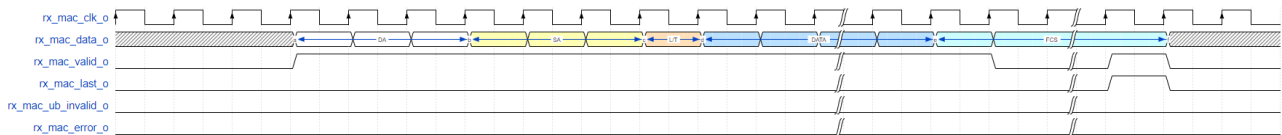


图 3-25 2500M 速率使能 FCS Forward 且负载为偶数时错误 MAC 帧接收

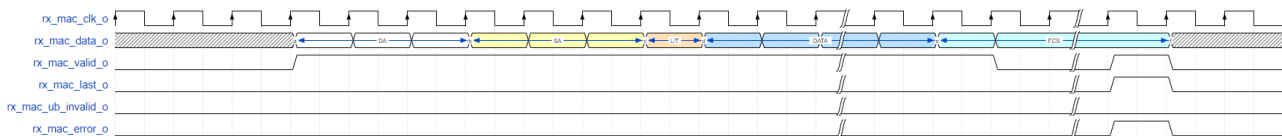


图 3-26 2500M 速率使能 FCS Forward 且负载为奇数时正确 MAC 帧接收

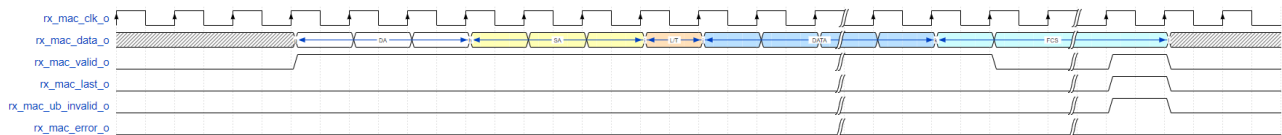
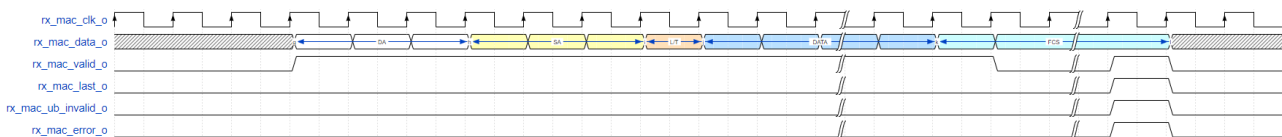


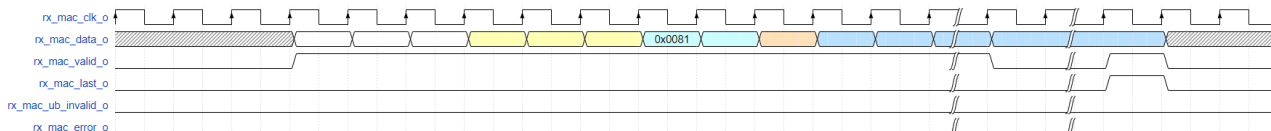
图 3-27 2500M 速率使能 FCS Forward 且负载为奇数时错误 MAC 帧接收



接收 VLAN Tagged 帧

当 IP 接收到 VLAN Tagged 帧时，会在 `rx_statistics_vector_o` 指示此帧为 VLAN Tagged 帧。VLAN Tagged 帧为源 MAC 地址之后两字节为 0x8100 的帧。VLAN 字段为 4 个字节，其中前两字节为 0x8100，后两字节为 VLAN 标签，如图 3-28 所示。

图 3-28 负载为偶数时 VLAN Tagged 帧接收



接收 MAC Control 帧

当 IP 接收到 MAC Control 帧时，会在 `rx_statistics_vector_o` 指示此帧为 MAC Control 帧。MAC Control 帧为 L/T 字段为 0x8808 的帧。

以太网线路异常时接收

在以太网线路出现异常或半双工发生冲突时，线路上有可能会出现单字节帧的情况。此时，用户侧接口第一个 `rx_mac_valid_o`、`rx_mac_last_o` 和 `rx_mac_ub_invalid_o` 会同时为 1，即接收一个字节后，此帧结束。用户应用程序需处理此种异常情况的发生。

接收统计

接收帧的统计信息在 `rx_statistics_vector_o` 信号输出。当 `rx_statistics_valid_o` 为 1 时，表示 `rx_statistics_vector_o` 有效，此时 `rx_statistics_vector_o` 指示了刚接收帧的统计信息。时序如图 3-29 所示，`rx_statistics_vector_o` 位定义如表 3-3 所示。

图 3-29 接收统计

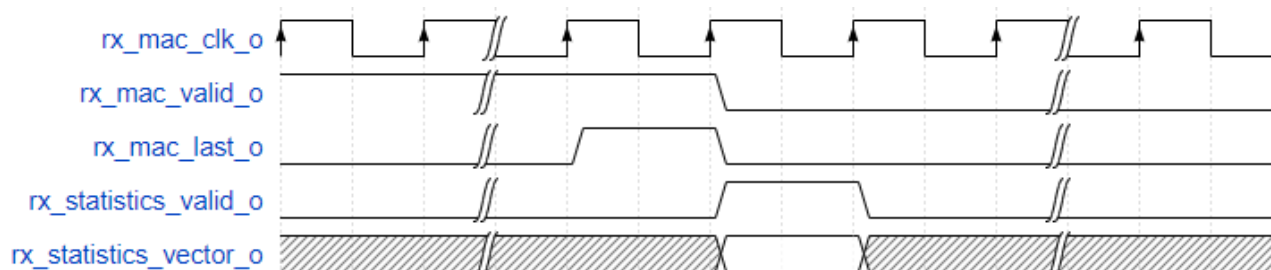


表 3-3 `rx_statistics_vector_o` 位定义

| 位置 | 名称 | 描述 |
|----|--------------------|------------------------------------|
| 26 | RX Alignment Error | 如果接收帧不是字节的整数倍，置1 |
| 25 | RX Length Error | 如果接收帧长度不符合标准，置1 |
| 24 | RX FCS Error | 如果接收帧有FCS错误，置1 |
| 23 | RX_ER Error | 如果接收过程中收到PHY层接口gmii_rx_er_o信号有效，置1 |
| 22 | RX Collision Error | 在半双工模式下，如果接收帧过程中出现冲突，置1 |

| 位置 | 名称 | 描述 |
|------|-----------------------|-----------------------|
| 21:6 | RX Frame Length | 接收帧长度，包括FCS字段 |
| 5 | RX Flow Control Frame | 在全双工模式下，如果接收帧为流控帧，置1 |
| 4 | RX MAC Control Frame | 如果接收帧为MAC Control帧，置1 |
| 3 | RX VLAN Frame | 如果接收帧为VLAN帧，置1 |
| 2 | RX Multicast Frame | 如果接收帧为组播帧，置1 |
| 1 | RX Broadcast Frame | 如果接收帧为广播帧，置1 |
| 0 | RX Unicast Frame | 如果接收帧为单播帧，置1 |

MAC 帧发送

发送 MAC 帧是把用户数据转换为串行数据的过程。所有发送信号同步于 tx_mac_clk_o，频率为 156.25MHZ。

正常 MAC 帧发送

图 3-30 展示在 2500M 速率下负载为偶数时正常 MAC 帧发送过程，图 3-31 展示在 2500M 速率下负载为奇数时正常 MAC 帧发送过程。

在整个帧的发送过程中，tx_mac_valid_i 须一直保持为 1，直到这一帧结束时才能变为 0。当 tx_mac_ready_o 和 tx_mac_last_i 同时为 1 时，表明此周期 tx_mac_data_i 被发送且为这一帧 MAC 帧的最后数据，若此时 tx_mac_ub_invalid_i=0，表示发送最后两字节数据，若此时 tx_mac_ub_invalid_i=1，表示发送最后一字节数据（低位字节数据）。需要注意 IP 中没有 buffer 用来缓存发送的以太网帧，因此用户需要连续发送以太网帧数据，在 tx_mac_ready_o 为 1 时，及时发送数据，直到整帧数据发送完毕，帧与帧之间有帧间距。

图 3-30 2500M 速率下负载为偶数时正常 MAC 帧发送

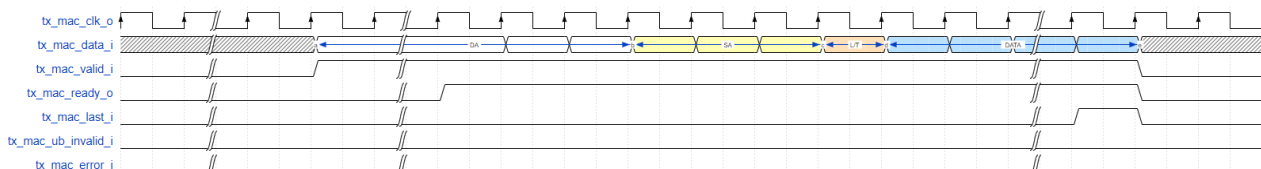
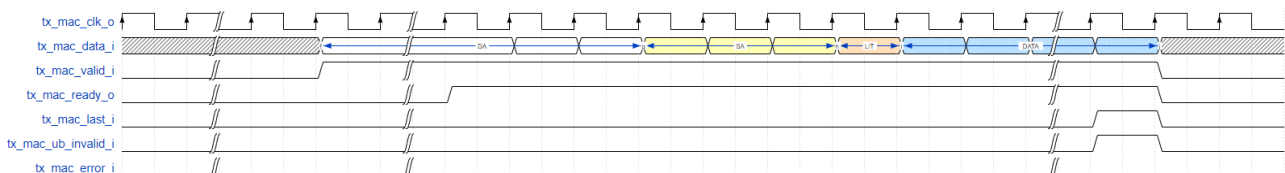


图 3-31 2500M 速率下负载为奇数时正常 MAC 帧发送



错误 MAC 帧发送

在发送过程中，当 tx_mac_error_i 和 tx_mac_ready_o 同时为 1 时，表示当前字节数据为错误数据。图 3-32 展示在 2500M 速率下负载为偶数时错误 MAC 帧的发送过程，图 3-33 展示在 2500M 速率下负载为奇数时错误 MAC 帧的发送过程。

图 3-32 2500M 速率下负载为偶数时错误 MAC 帧发送

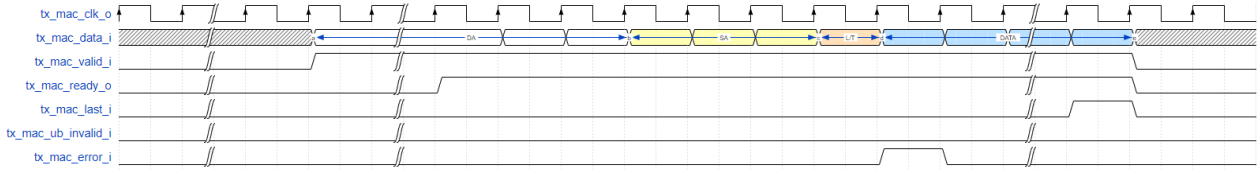
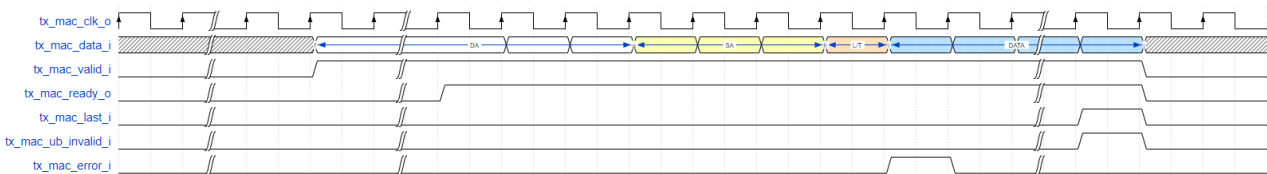


图 3-33 2500M 速率下负载为奇数时错误 MAC 帧发送



发送 MAC 帧 FCS Forward

当用户设置 IP 为发送 FCS Forward 模式时，IP 不会自动添加 FCS 字段，用户在发送完 DATA 字段后，需要计算并手动添加 FCS 字段，如图 3-34 和

图 3-35 所示。

图 3-34 2500M 速率下使能 FCS Forward 且负载为偶数时 MAC 帧发送

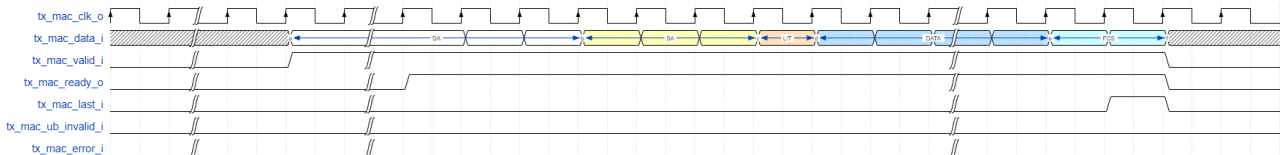
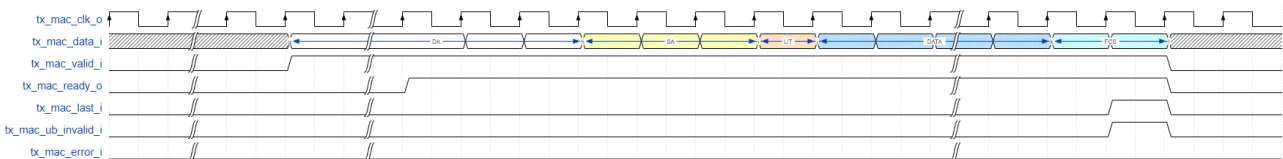


图 3-35 2500M 速率下使能 FCS Forward 且负载为奇数时 MAC 帧发送



半双工模式发送

在半双工模式下，IP 通过 tx_collision_o 和 tx_retransmit_o 信号指示发送状态。如果发送过程中，用户未检测到冲突产生，可按照以上全双工发送过程发送 MAC 帧。如果发送过程中，用户检测到冲突产生，需做下述处理，以保证数据的正确传输。当用户检测到 tx_collision_o 为 1 时，说明此时线路上有冲突。用户必须在检测到 tx_collision_o 为 1 时，马上把 tx_mac_valid_i 置 0，用来结束此次 MAC 帧的发送。在检测到 tx_collision_o 为 1 的同时，如果 tx_retransmit_o 为 1，说明此次冲突在合理范围内，用户可以自行决定是否重发此帧。如果用户准备重发此帧，请在 5 个周期内把 tx_mac_valid_i

置 1，准备此帧的重新发送；如果用户准备放弃重发此帧，请在 5 个周期之后再 把 tx_mac_valid_i 置 1，准备下一帧的发送。在检测到 tx_collision_o 为 1 的同时，如果 tx_retransmit_o 为 0，说明此次冲突不在合理范围内（某一帧冲突超过 16 次或冲突发生在已发送 64 字节之后），此时用户需放弃此帧的发送。图 3-36 展示产生冲突时重发的过程，图 3-37 和图 3-38 分别展示产生冲突时不重发的过程。

图 3-36 冲突时重发

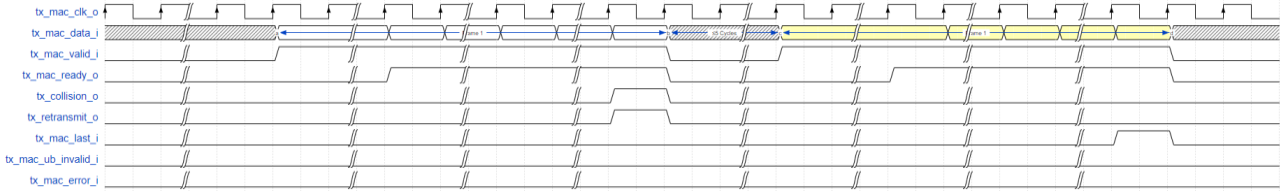


图 3-37 冲突时放弃重发（主动放弃）

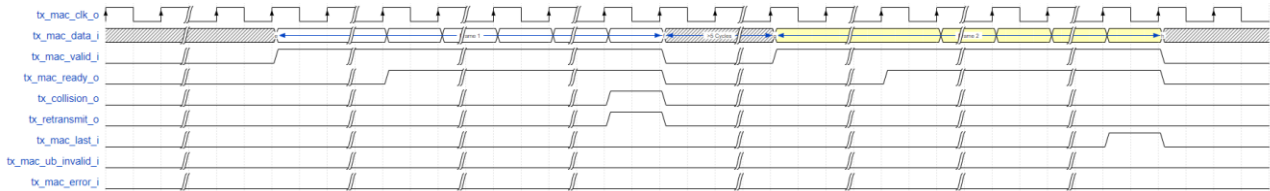
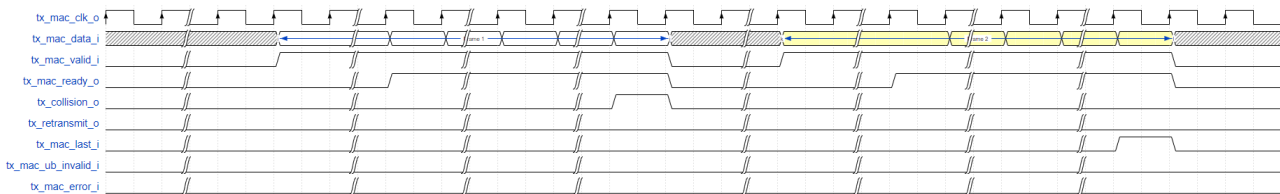


图 3-38 冲突时放弃重发（被动放弃）



发送统计

发送帧的统计信息在 tx_statistics_vector_o 信号输出。当 tx_statistics_valid_o 为 1 时，表示 tx_statistics_vector_o 有效，此时 tx_statistics_vector_o 指示了刚发送帧的统计信息。时序如图 3-39 所示，tx_statistics_vector_o 位定义如表 3-4 所示。

图 3-39 发送统计

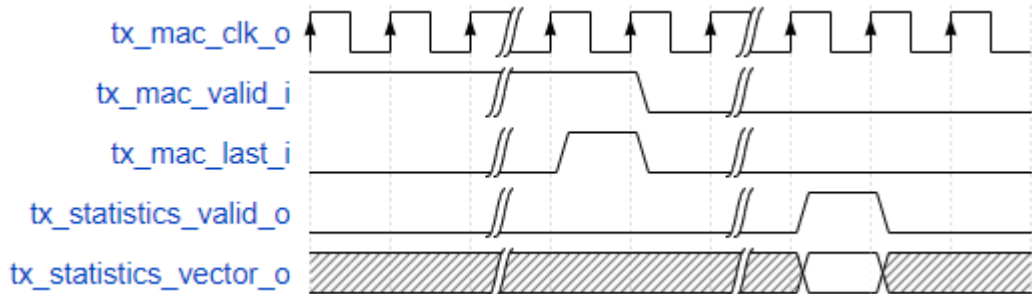


表 3-4 tx_statistics_vector_o 位定义

| 位置 | 名称 | 描述 |
|-------|-----------------------|---|
| 28 | TX Collision | 半双工模式下，如果此帧发送时产生冲突，置 1 |
| 27:24 | TX Attempts | 半双工模式下，此帧尝试发送的次数。0 代表第 1 次发送；1 代表第 2 次发送；15 代表第 16 次发送。 |
| 23 | Excessive Collision | 在半双工模式下，如果此帧在第 16 次尝试发送时产生冲突，置 1 |
| 22 | Late Collision | 如果冲突发生在已发送 64 字节之后，置 1 |
| 21:6 | TX Frame Length | 发送帧长度，包括 FCS 字段 |
| 5 | TX Flow Control Frame | 在全双工模式下，如果通过配置 IP 发送流控帧，置 1 |
| 4 | TX MAC Control Frame | 如果发送帧为 MAC Control 帧，置 1 |
| 3 | TX VLAN Frame | 如果发送帧为 VLAN 帧，置 1 |
| 2 | TX Multicast Frame | 如果发送帧为组播帧，置 1 |
| 1 | TX Broadcast Frame | 如果发送帧为广播帧，置 1 |
| 0 | TX Unicast Frame | 如果发送帧为单播帧，置 1 |

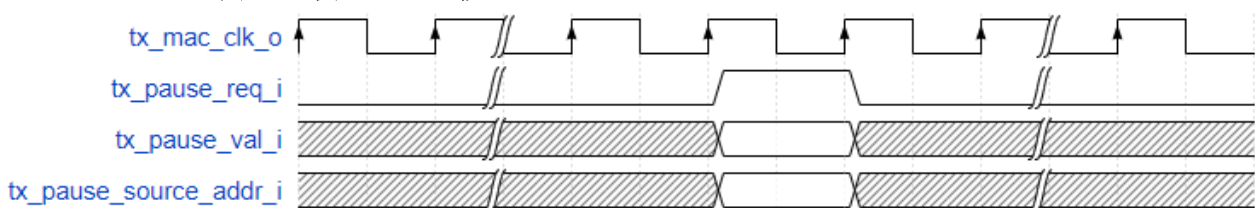
Flow Control 功能

IP 支持全双工模式下的 Flow Control 功能。在全双工模式下，用户可以通过配置 IP 发送或者接收 Pause 帧，实现流控功能。

发送 Pause 帧

用户可以通过把 tx_pause_req_i 信号置 1，来发送一个 pause 帧。tx_pause_val_i 的值插入到 pause 帧的 parameter 字段，用来计算 pause 时间。tx_pause_source_addr_i 作为 pause 帧的源 MAC 地址发送，发送顺序为从低字节到高字节。

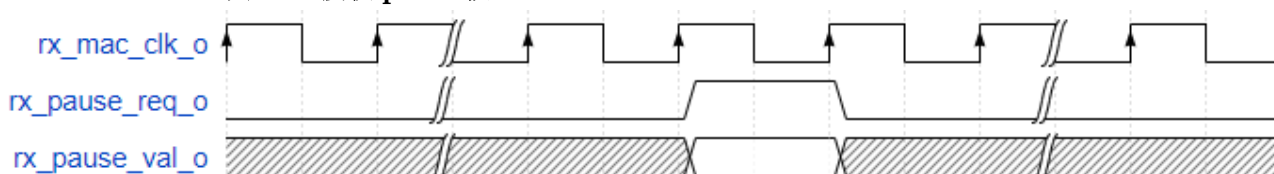
图 3-40 发送 Pause 帧



接收 pause 帧

当 IP 接收到一个 pause 后，会把 rx_pause_req_o 信号置 1。rx_pause_val_o 的值为接收到 pause 帧的 parameter 字段，用来计算 pause 时间。

图 3-41 接收 pause 帧



FCS Forward 功能

IP 支持发送和接收分别配置 FCS Forward 功能。

接收 FCS Forward 功能

当用户禁止接收 FCS Forward 功能时，FCS 字段不会被输出到用户侧。IP 会自动校验 FCS 字段，并把校验结果输出到 rx_statistics_vector_o 相应字段。当用户使能接收 FCS Forward 功能时，FCS 字段会被输出到用户侧。IP 仍会自动校验 FCS 字段，并把校验结果输出到 rx_statistics_vector_o 相应字段。

发送 FCS Forward 功能

当用户禁止发送 FCS Forward 功能时，用户无需计算并发送 FCS 字段。IP 会自动计算 FCS 字段，并自动添加到以太网帧。当用户使能发送 FCS Forward 功能时，用户需计算 FCS 字段，并在用户侧发送给 IP。

PAD 功能

当用户禁止发送 FCS Forward 功能时，若用户发送到 IP 的帧小于 60 字节（不包括 FCS），IP 会自动补 0 到 60 字节，再添加 FCS 字段，以保证发送以太网帧符合最小 64 字节要求。当用户使能发送 FCS Forward 功能时，IP 不会自动补齐 64 字节，实际发送数据和长度完全由用户决定。

发送 IFG 设置功能

当 IP 工作在全双工模式时，用户可以设置以太网发送最小 IFG。当 IP 工作在半双工模式时，用户设置的发送最小 IFG 被忽略，最小 IFG 仍然为 12 字节。

当用户禁止 IFG 功能时，IP 发送最小 IFG 为 12 字节，即 96bit。当用户使能 IFG 功能时，IP 根据用户设置决定最小 IFG。若用户设置最小 IFG 小于 8 字节，IP 实际最小 IFG 为 8 字节；若用户设置最小 IFG 大于等于 8 字节，IP 实际最小 IFG 为用户设置的值。最小 IFG 最大可设置为 255 字节。

Jumbo 设置功能

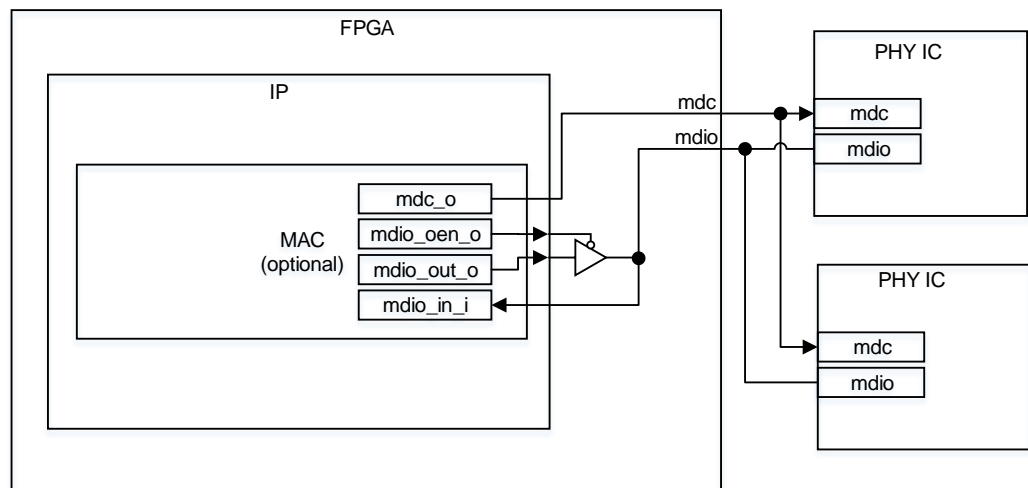
IP 支持 Jumbo 功能。当用户禁止 Jumbo 功能时，IP 判断正确以太网帧长度为 64 字节~1518 字节(非 VLAN 帧)或 64 字节~1522 字节(VLAN 帧)。当收到的以太网帧不在上述范围内时，`rx_mac_error_o` 会指示此帧有错误，且 `rx_statistics_vector_o` 中 RX Length Error 为 1。当用户使能 Jumbo 功能时，只有接收到的以太网帧小于 64 字节，IP 才会判断为错误。

Management 功能

IP 提供为用户提供 MIIM 接口，方便用户通过 MDC 和 MDIO 配置 PHY 芯片寄存器。

MDC 时钟由 `miim_hs_clk_i` 输入时钟分频而来，用户需根据 `miim_hs_clk_i` 输入时钟来配置分频器，使 MDC 时钟频率符合 PHY 芯片要求，配置方法请参考表 5-1 所示，MDC、MDIO 连接如图 3-42 所示。

图 3-42 MDC、MDIO 连接示意图



MDIO 连接参考 verilog 如下：

```
assign mdio_in_i = mdio;
```

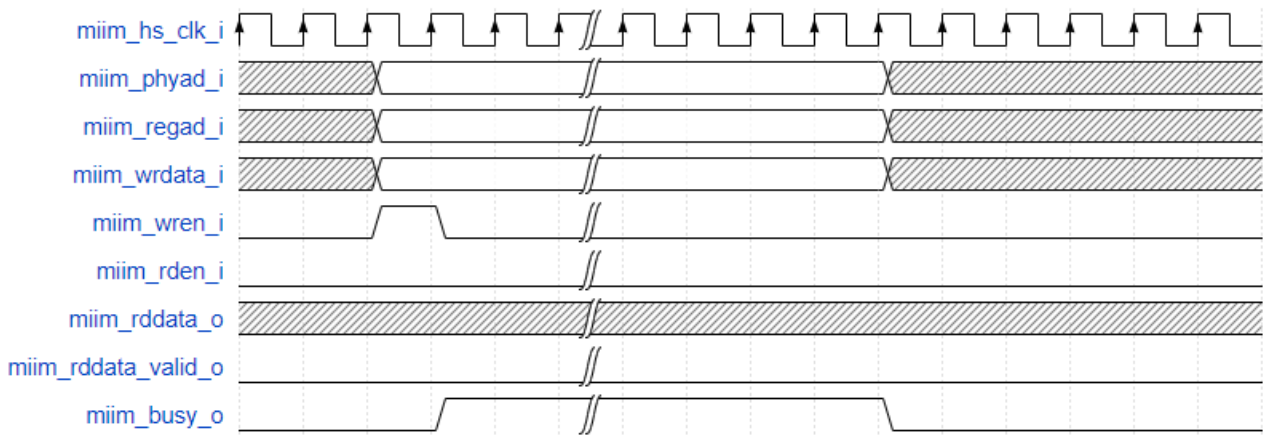
```
assign mdio = (!mdio_oen_o) ? mdio_out_o : 1'bz;
```

所有 `miim` 接口信号同步于 `miim_hs_clk_i` 时钟。

若进行写操作，用户需把 `miim_wren_i` 置 1 一个周期。IP 会把 `miim_busy_o` 拉高，说明 `miim` 总线正在进行此次写操作。当 `miim_busy_o` 再次为 0，表示此次写操作结束，用户可进行下一次读或写操作。

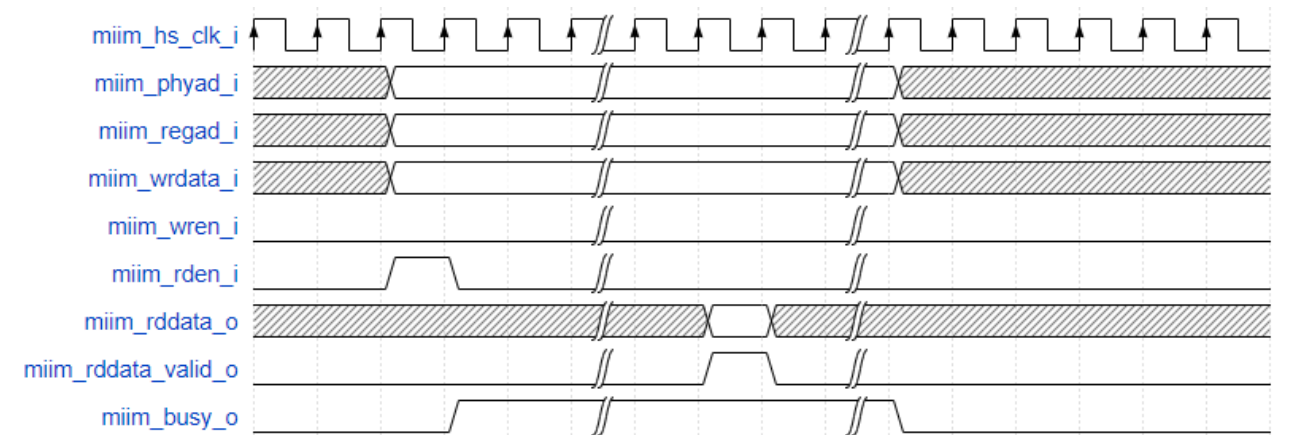
`miim_phyad_i`、`miim_regad_i` 和 `miim_wrd_data_i` 信号在 `miim_wren_i` 为 1 时需在总线上准备好，且在 `miim_busy_o` 为 1 时保持不变。`miim` 写时序如图 3-43 所示。

图 3-43 miim 写时序



若进行读操作，用户需把 **miim_rden_i** 置 1 一个周期。IP 会把 **miim_busy_o** 拉高，说明 **miim** 总线正在进行此次读操作。当 **miim_busy_o** 再次为 0，表示此次读操作结束，用户可进行下一次读或写操作。**miim_phyad_i** 和 **miim_regad_i** 信号在 **miim_rden_i** 为 1 时需在总线上准备好，且在 **miim_busy_o** 为 1 时保持不变。在读过程中，用户监测 **miim_rddata_valid_o** 信号。当 **miim_rddata_valid_o** 为 1 时，用户可以在 **miim_rddata_o** 信号采样此次读操作的值。**miim** 读时序如图 3-44 所示。

图 3-44 miim 读时序



4 端口列表

Gowin 2.5G Serial Ethernet IP 的 IO 端口如图 4-1 所示。

图 4-1 Gowin 2.5G Serial Ethernet IP IO 端口示意图

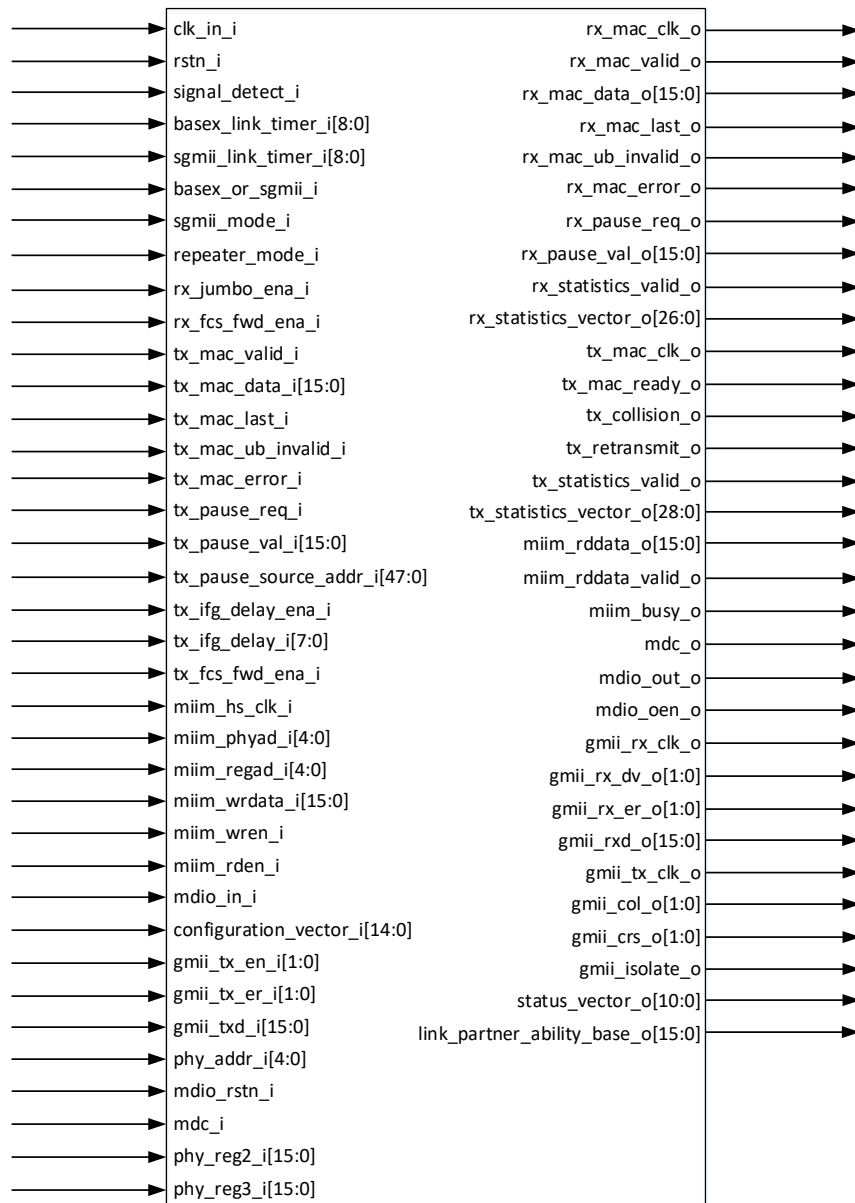


表 4-1 Gowin 2.5G Serial Ethernet IP IO 端口

| 信号 | 方向 | 位宽 | 描述 |
|-----------------------------|--------|----|--|
| Clock Input | | | |
| clk_in_i | input | 1 | 连续的时钟信号，频率不高于50MHZ |
| Reset | | | |
| rstn_i | input | 1 | 复位信号，低有效 |
| IP Configuration | | | |
| signal_detect_i | input | 1 | 信号检测功能配置，和configuration_vector_i[1]组合控制数据同步功能： 1: 使能信号检测功能 0: 禁用信号检测功能 |
| basex_link_timer_i | input | 9 | 2500BASE-X协议下Link时间 |
| sgmii_link_timer_i | input | 9 | 2.5G SGMII协议下Link时间 |
| basex_or_sgmii_i | input | 1 | 以太网协议选择信号： 1: 2.5G SGMII标准 0: 2500BASE-X标准 |
| sgmii_mode_i | input | 1 | 2.5G SGMII模式选择信号： 1: Media Mode 0: System Mode |
| repeater_mode_i | input | 1 | 中继器模式选择信号： 1: 使能中继器模式 0: 禁用中继器模式 |
| configuration_vector_i | input | 15 | 功能配置信号 |
| IP Status | | | |
| status_vector_o | output | 11 | 功能状态信息指示 |
| link_partner_ability_base_o | output | 16 | 对方配置寄存器信息指示 |
| GMII Interface | | | |
| gmii_rx_clk_o | output | 1 | GMII接收时钟 |
| gmii_rx_dv_o | output | 2 | GMII接收使能 |
| gmii_rxd_o | output | 16 | GMII接收数据 |
| gmii_rx_er_o | output | 2 | GMII接收错误 |
| gmii_tx_clk_o | output | 1 | GMII发送时钟 |
| gmii_tx_en_i | input | 2 | GMII发送使能 |
| gmii_txd_i | input | 16 | GMII发送数据 |
| gmii_tx_er_i | input | 2 | GMII发送错误 |
| gmii_col_o | output | 2 | GMII冲突信号，此信号仅在半双工有效 |
| gmii_crs_o | output | 2 | GMII载波信号，此信号仅在半双工有效 |
| gmii_isolate_o | output | 1 | GMII传输隔离 |
| MAC Layer Interface | | | |

| 信号 | 方向 | 位宽 | 描述 |
|--------------------------------|--------|----|--|
| rx_mac_clk_o | output | 1 | 接收时钟 |
| rx_mac_valid_o | output | 1 | 接收使能 |
| rx_mac_data_o | output | 16 | 接收数据 |
| rx_mac_last_o | output | 1 | 接收最后两字节指示 |
| rx_mac_ub_invalid_o | output | 1 | 接收最后两字节的高位字节数据无效指示 |
| rx_mac_error_o | output | 1 | 接收错误帧指示 |
| rx_statistics_valid_o | output | 1 | 接收统计有效指示 |
| rx_statistics_vector_o | output | 27 | 接收统计信息 |
| tx_mac_clk_o | output | 1 | 发送时钟 |
| tx_mac_valid_i | input | 1 | 发送使能 |
| tx_mac_data_i | input | 16 | 发送数据 |
| tx_mac_last_i | input | 1 | 发送最后两字节指示 |
| tx_mac_ub_invalid_i | input | 1 | 发送最后两字节的高位字节数据无效指示 |
| tx_mac_error_i | input | 1 | 发送错误帧指示 |
| tx_mac_ready_o | output | 1 | 发送握手信号，为1表示tx_mac_data_i被接收 |
| tx_collision_o | output | 1 | 发送线路冲突指示信号，为1表示此次发送出现线路冲突，用户需立刻结束此次发送。此信号仅在半双工时有效 |
| tx_retransmit_o | output | 1 | 发送重发指示信号，此信号与tx_collision_o同时出现，为1表示需要重发此帧。此信号仅在半双工时有效 |
| tx_statistics_valid_o | output | 1 | 发送统计有效指示 |
| tx_statistics_vector_o | output | 29 | 发送统计信息 |
| MAC Layer Configuration | | | |
| rx_fcs_fwd_ena_i | input | 1 | 接收FCS Forward功能： 1：使能接收FCS Forward功能 0：禁止接收FCS Forward功能 |
| rx_jumbo_ena_i | input | 1 | 接收Jumbo功能： 1：使能接收Jumbo功能 0：禁止接收Jumbo功能 |
| rx_pause_req_o | output | 1 | 接收pause帧指示信号 |
| rx_pause_val_o | output | 16 | 接收pause帧parameter字段，代表本方需要暂停时间 |
| tx_fcs_fwd_ena_i | input | 1 | 发送FCS Forward功能： 1：使能发送FCS Forward功能 0：禁止发送FCS Forward功能 |
| tx_ifg_delay_ena_i | input | 1 | 发送最小IFG配置使能： 1：使能最小IFG配置 0：禁止最小IFG配置，默认最小IFG为12字节 |
| tx_ifg_delay_i | input | 8 | 发送最小IFG： 当tx_ifg_delay_ena_i为1时，IP发送最小IFG由tx_ifg_delay_i决定。当tx_ifg_delay_i小于8时，最小IFG为 |

| 信号 | 方向 | 位宽 | 描述 |
|-----------------------------|--------|----|---|
| | | | 8: 当tx_ifg_delay_i大于等于8时, 最小IFG为用户设置值。 当tx_ifg_delay_ena_i为0时, 此设置无效 |
| tx_pause_req_i | input | 1 | 发送pause帧使能信号 |
| tx_pause_val_i | input | 16 | 发送pause帧parameter字段, 代表要求对方暂停时间 |
| tx_pause_source_addr_i | input | 48 | 发送pause帧源地址 |
| Management Interface | | | |
| miim_hs_clk_i | input | 1 | Management模块时钟输入 (MAC层) |
| miim_phyad_i | input | 5 | PHY地址 (MAC层) |
| miim_regad_i | input | 5 | 寄存器地址 (MAC层) |
| miim_wrdata_i | input | 16 | 写数据 (MAC层) |
| miim_wren_i | input | 1 | 写使能 (MAC层) |
| miim_rden_i | input | 1 | 读使能 (MAC层) |
| miim_rddata_o | output | 16 | 读数据 (MAC层) |
| miim_rddata_valid_o | output | 1 | 读数据有效, MAC层 |
| miim_busy_o | output | 1 | MIIM接口状态指示 (MAC层): 1: 正在读/写 0: 空闲 |
| mdc_o | output | 1 | MDC时钟输出 (MAC层) |
| mdio_in_i | input | 1 | MDIO输入 (MAC层、PHY层) |
| mdio_out_o | output | 1 | MDIO输出 (MAC层、PHY层) |
| mdio_oen_o | output | 1 | MDIO输出使能 (MAC层、PHY层) |
| phy_addr_i | input | 5 | PHY地址 (PHY层) |
| mdio_rstn_i | input | 1 | MIIM复位 (PHY层) |
| mdc_i | input | 1 | MDC时钟输入 (PHY层) |
| phy_reg2_i | input | 16 | 地址0x2的寄存器数据 (PHY层) |
| phy_reg3_i | input | 16 | 地址0x3的寄存器数据 (PHY层) |

5 参数配置

用户需根据设计要求配置 Gowin 2.5G Serial Ethernet IP 的各个静态参数。请参考表 5-1 所示。

表 5-1 Gowin 2.5G Serial Ethernet IP 静态参数

| 名称 | 描述 | 选项 |
|---------------------------|---|--|
| Channel Selection | Lane 选择 | Q0 Lane0, Q0 Lane1, Q0 Lane2, Q0 Lane3, Q1 Lane0, Q1 Lane1, Q1 Lane2, Q1 Lane3 |
| Loopback Mode | Lane 回环模式选择 | OFF, LB_NES, LB_FES, LB_ENC |
| Reference Clock Source | 参考时钟源选择 | Q0 REFCLK0, Q0 REFCLK1, Q1 REFCLK0, Q1 REFCLK1 |
| Reference Clock Frequency | 参考时钟频率设置 | 用户输入 |
| PLL Selection | PLL 选择 | QPLL0, QPLL1, CPLL |
| Enable MAC | 以太网 MAC 层功能使能 | 勾选, 不勾选 |
| Enable PHY MIIM | 以太网 PHY 层 MIIM 接口使能, 用于配置 PHY 层的寄存器 | 勾选, 不勾选 |
| MIIM Clock Divider | miim_hs_clk_i 输入时钟分频值, 分频后的时钟输出到 mdc_o, 作为管理接口时钟输出, 只用于使能以太网 MAC 层功能时。若此选项小于 2, 则实际分频值为 2; 若此选项大于等于 2, 则实际分频值为输入值 | 用户输入, 范围 0~255 |

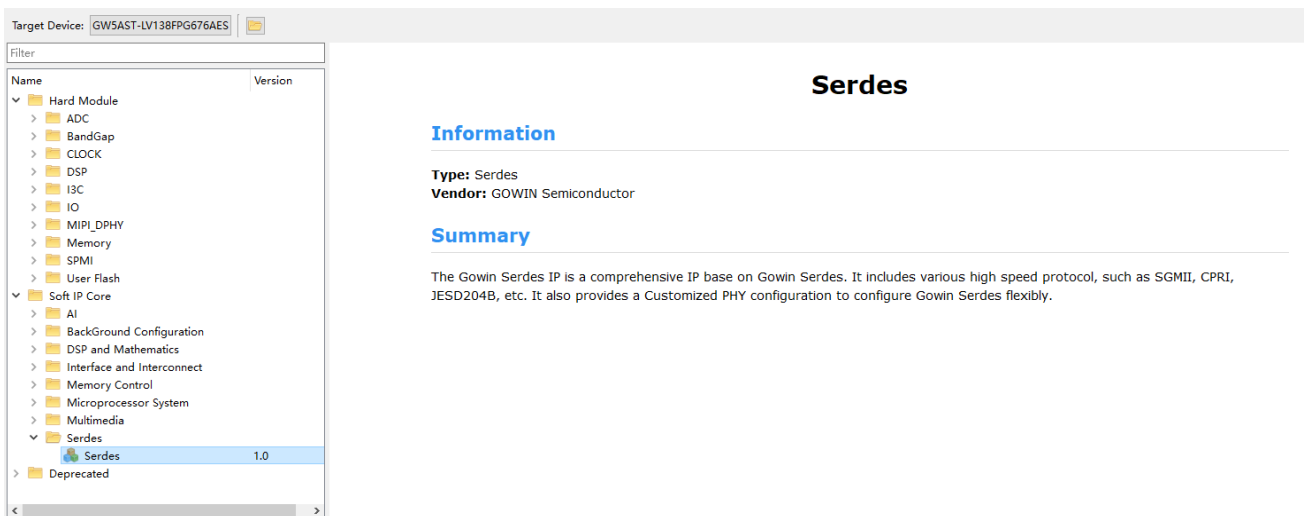
6 界面配置

用户可在 IDE 中通过 IP Core Generator 工具调用并配置 Gowin 2.5G Serial Ethernet IP。本章节以选择使用 MAC 层接口为例，介绍了主要配置界面、配置流程以及各配置选项含义。

1. 打开 IP Core Generator

用户建立工程后，单击左上角 Tools 选项卡，下拉单击 IP Core Generator 选项，就可打开 Gowin 的 IP 核产生工具，如图 6-1 所示。

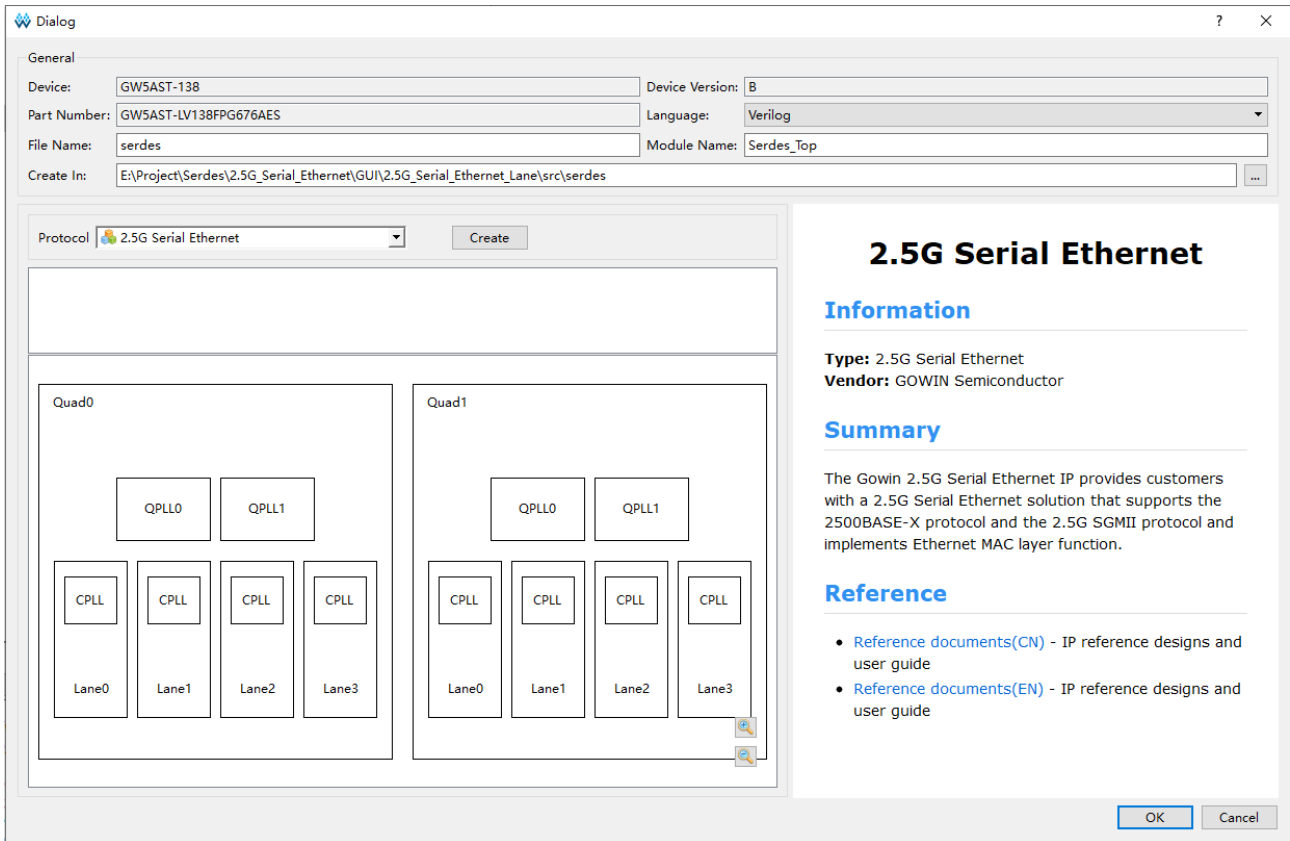
图 6-1 IP 核产生工具



2. 打开 SerDes IP 配置界面

在 IP Core Generator 中选择“SerDes”，打开 SerDes IP 配置界面，如图 6-2 所示：

图 6-2 SerDes IP 配置界面



在 SerDes IP 界面中首先配置“General”选项组：

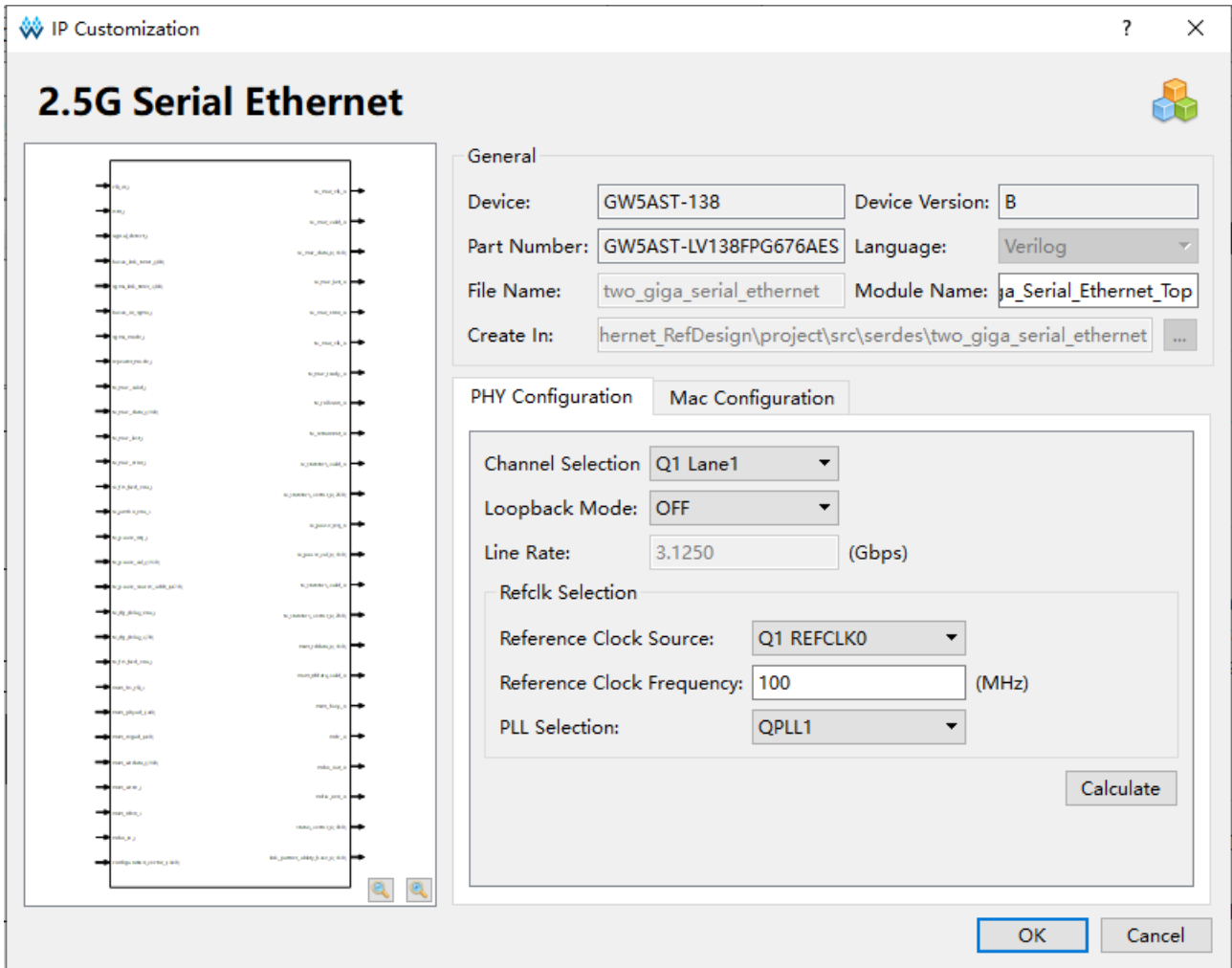
- **Device、Device Version、Part Number** 选项：芯片型号设置，由当前工程选择的芯片型号决定，用户无法设置；
- **Language** 选项：支持 Verilog 和 VHDL 两种选择，根据自身需要选择对应的语言类型，默认选择 Verilog；
- **File Name、Module Name、Create In** 选项：SerDes 的文件名、模块名和文件生成路径设置。

然后根据自身需要选择协议，其中“Protocol”选项可以选择需要的协议，点击右侧“Create”按钮可打开协议的配置界面；在“Protocol”选项下方显示当前 SerDes IP 已经支持的协议和对应的 Quad、PLL、Lane 使用情况，右侧显示当前 Protocol 选项选择协议的相关信息，包含“Information”、“Summary”和“Reference”三部分信息。

3. 打开 2.5G Serial Ethernet IP 界面配置

在 SerDes IP 配置界面的“Protocol”选项中选择“2.5G Serial Ethernet”，点击右侧“Create”按钮打开 2.5G Serial Ethernet IP 配置界面，如图 6-3 所示。

图 6-3 PHY Configuration 选项页



配置界面左侧是 2.5G Serial Ethernet IP 的接口示意图，右侧是 2.5G Serial Ethernet IP 参数配置选项，其中包含 PHY Configuration 选项页和 MAC Configuration 选项页。

配置 PHY Configuration 选项页：

- Channel Selection 选项：在下拉框内选择需要的通道，包含 Q0 Lane0、Q0 Lane1、Q0 Lane2、Q0 Lane3、Q1 Lane0、Q1 Lane1、Q1 Lane2 和 Q1 Lane3 这 8 种通道，若某一通道已被使用，则不会显示；
- Loopback Mode 选项：环回模式，可选择 OFF、LB_NES、LB_FES 和 LB_ENC 这 4 种模式；
- Line Rate 选项：通道速率默认 3.125Gbps，无法配置；
- Reference Clock Source 选项：参考时钟源，可选择 Quad0 的 REFCLK0 和 REFCLK1，也可以选择 Quad1 的 REFCLK0 和 REFCLK1，用户根据实际情况进行选择；
- Reference Clock Frequency 选项：参考时钟频率，若选择参考时钟源已被使用，则此处显示被使用时的频率值；

- PLL Selection 选项：PLL 源，可选 QPLL0、QPLL1 和 CPLL。

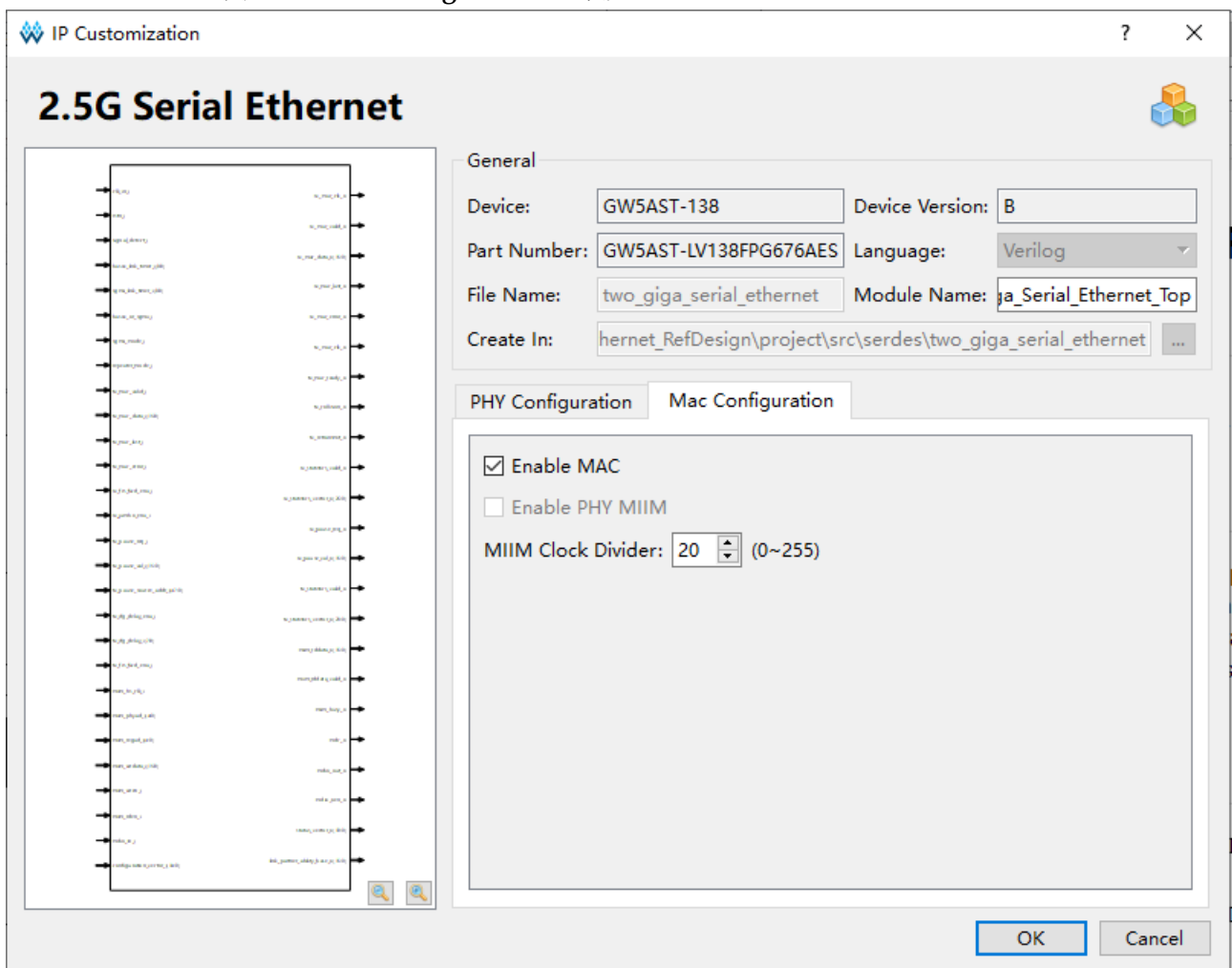
注!

线速率和参考时钟之间有限制关系，务必要确定该参考时钟能够生成上述线速率，也可通过“Calculate”按钮进行检测。

配置 Mac Configuration 选项页，如图 6-4 所示：

- Enable MAC 选项：使能 MAC 层功能；
- Enable PHY MIIM 选项：使能 PHY MIIM 功能，只有在禁用 MAC 层功能时才可以配置；
- MIIM Clock Divider 选项：配置 MIIM Clock 的分频系数，范围为 0~255，当分频系数小于 2 时，实际分频值为 2。

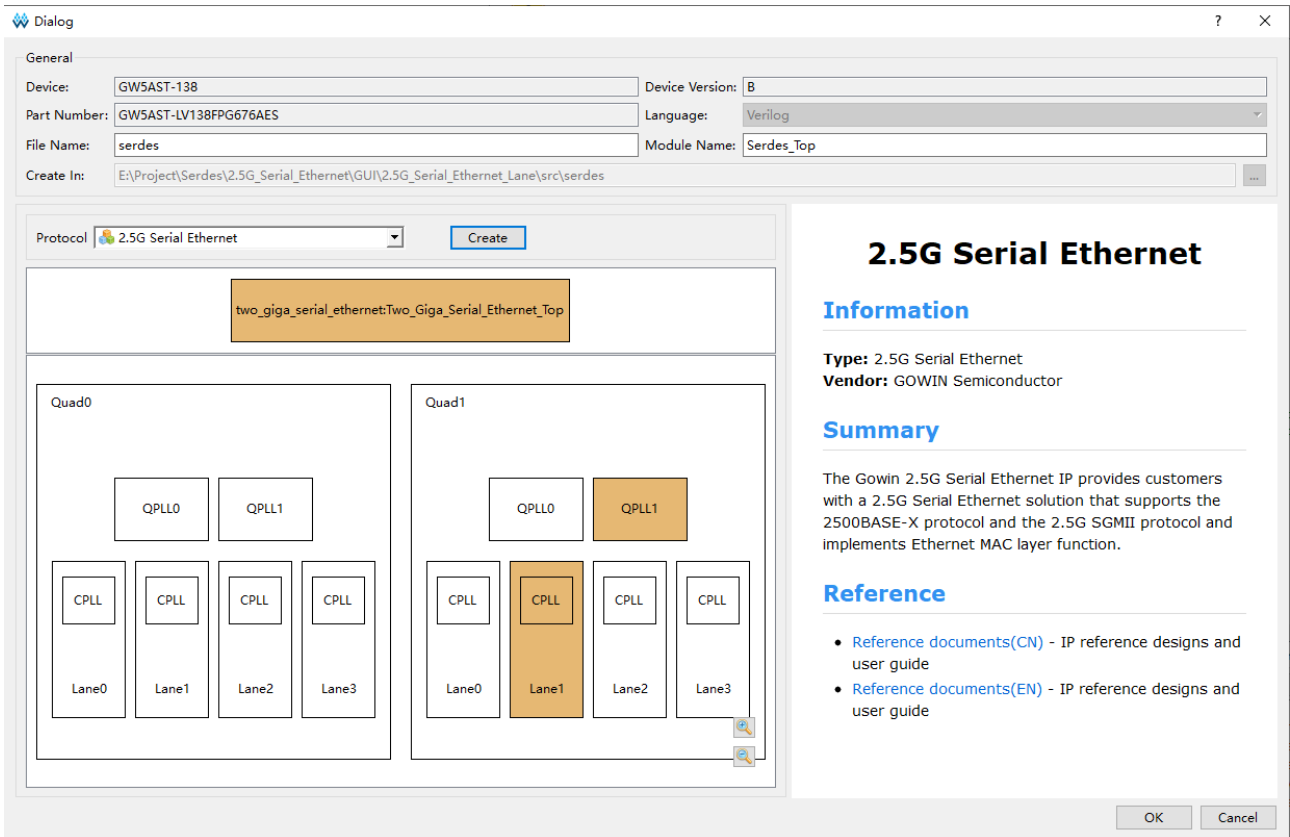
图 6-4 MAC Configuration 选项页



4. 生成 IP

完成 2.5G Serial Ethernet IP 界面配置后，点击界面右下角的“OK”按钮，可生成 2.5G Serial Ethernet IP 相关文件，并返回到 SerDes IP 配置界面，此时 SerDes IP 配置界面中显示当前已经生成的 2.5G Serial Ethernet IP 及对应的 Quad、PLL 和 Lane 使用情况，如图 6-5 所示。

图 6-5 SerDes IP 配置界面显示 2.5G Serial Ethernet IP



然后，点击界面右下角的“OK”按钮，可生成 SerDes IP 相关文件，完成整个 2.5G Serial Ethernet IP 的生成过程。

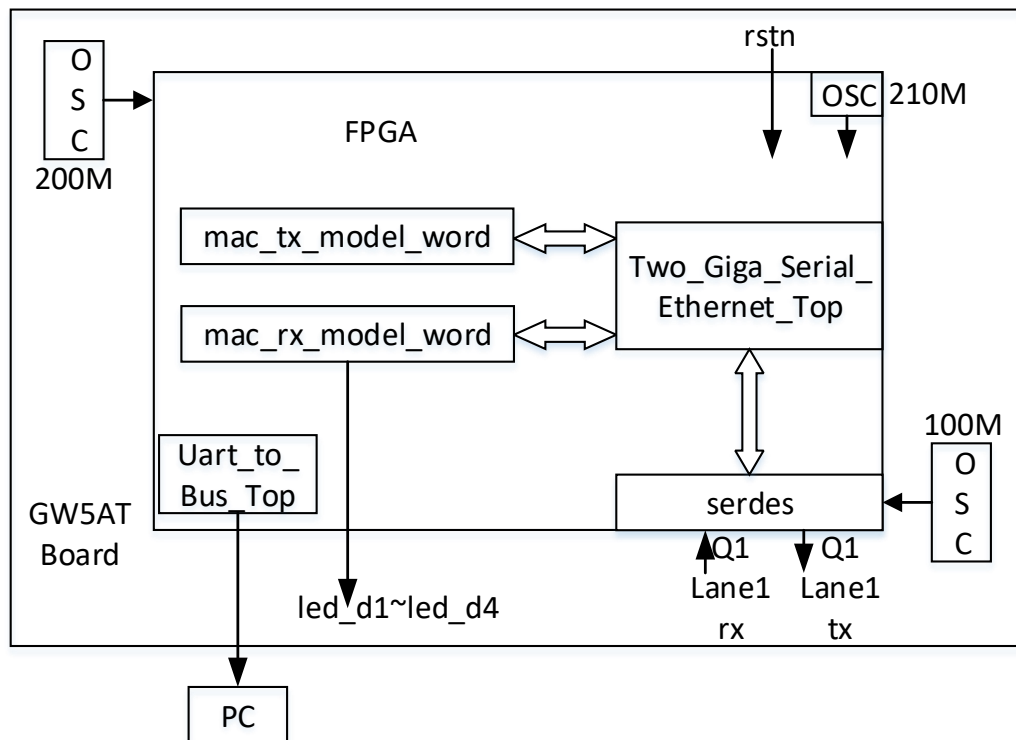
7 参考设计

详细信息请参见高云半导体官网 [Gowin 2.5G Serial Ethernet IP 参考设计](#)。

7.1 硬件平台

硬件平台如图 7-1 所示。

图 7-1 硬件平台



在 GW5AT 板卡上实现一个参考实例，其硬件条件如下：

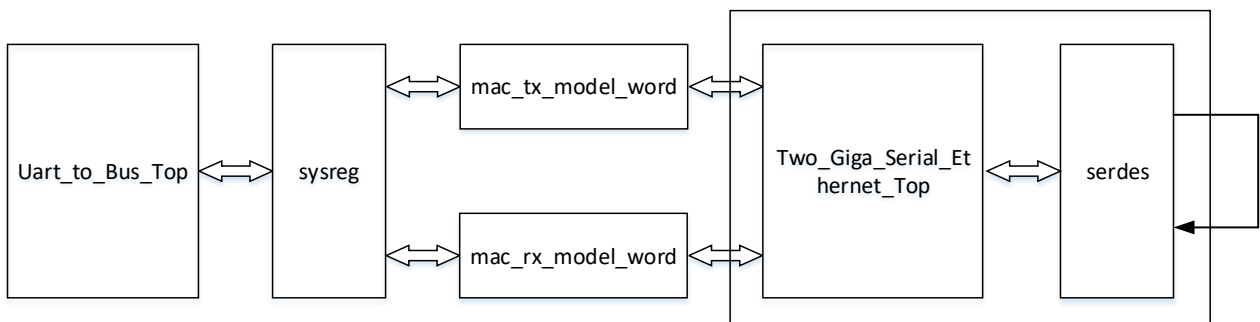
1. SerDes 模块参考时钟由板载晶振产生，时钟为 100MHz，位于 Quad1 的 Refclk0；
2. SerDes 使用 Quad1 的 Lane1 进行数据的传输；
3. 采用可编程的片内晶振，时钟为 210MHz，进行 4 分频后作为 2.5G Serial

Ethernet IP 的输入时钟；

4. 按键 SW1 作为复位信号 rstn 使用，对内部模块进行复位操作，低电平复位；
5. LED 灯 D1 作为 IP 的 Link Up 状态显示 (led_d1)，常亮为 IP Link Up，可进行数据传输；
6. LED 灯 D2 作为 IP 的数据传输状态显示 (led_d2)，常亮为 IP 正在持续收发数据；
7. LED 灯 D3 作为 IP 接收以太网帧状态显示 (led_d3)，常亮为 IP 接收的以太网帧是异常的；
8. LED 灯 D4 作为 IP 接收 Pause 帧状态显示 (led_d4)，常亮为 IP 接收的 Pause 帧是异常的；
9. 板载 200MHZ 时钟经 PLL 生成 10MHZ 时钟，用于 PC 端串口助手与 FPGA 的通信，波特率为 115200。

7.2 实现框图

图 7-2 参考设计实现框图



通过 Uart_to_Bus_Top 模块对自定义的总线协议进行解析，再通过 sysreg 模块转化成本地系统配置寄存器，实现对 IP 功能的设置和结果反馈。

SerDes 模块的传输通道为环回模式，Two_Giga_Serial_Ethernet_Top 模块接收来自于 mac_tx_model_word 的传输数据，通过 SerDes 模块的 TX 接口环回到 SerDes 模块的 RX 接口，最终 Two_Giga_Serial_Ethernet_Top 模块再将环回的数据送给 mac_rx_model_word。主要模块如下：

- Uart_to_Bus_Top 模块：串口转总线模块，将串口助手或上位机发送的串口指令转换为总线控制时序；
- sysreg 模块：用于产生本地系统配置寄存器；
- mac_tx_model_word 模块：产生 IP 的发送时序，传输以太网帧和 Pause 帧；
- mac_rx_model 模块：对 IP 接收的以太网帧和 Pause 帧进行分析，反馈异常检测结果；
- Two_Giga_Serial_Ethernet_Top 模块：按照如图 6-3 和图 6-4 进行配置。

7.3 总线协议与地址规划

Gowin UART to Bus IP 核心是一个简单的命令解析器，可用于通过 UART 接口访问内部总线。读写总线协议规定如下：

写总线“W AAAA BBBBBBBB”

读总线“R AAAA”

读总线将会返回如下指令“G AAAA BBBBBBBB”

W 表示写的意思，R 表示读的意思，G 表示读结果返回的意思。中间由空格分开，结尾需输入回车换行。其中 AAAA 表示地址，16 位；BBBBBBBB 表示数据，32 位。详情可以参考 [IPUG1022, Gowin UART to Bus IP 用户手册](#)。

本参考设计中，UART to Bus IP 参数设置如下：

图 7-3 UART to Bus IP 参数设置 1

The screenshot shows the configuration window for the UART to Bus IP. It has two tabs: 'Basic' and 'Slave Address'. The 'Basic' tab is active. Under 'Bus Config', 'Bus Mode' is set to 'Local' (radio button selected), 'Address Width' is 16 bits, 'Data Width' is 32 bits, and 'Timeout Value' is 16 clocks. Under 'Uart Config', 'Clock Frequency' is 10 MHz and 'Baudrate Value' is 115200. Under 'Generation Config', the 'Disable I/O Insertion' checkbox is checked.

图 7-4 UART to Bus IP 参数设置 2

The screenshot shows the 'Slave Address' sub-tab of the configuration window. It features a 'Slave Config' section with a table of slave addresses. The table has three columns: 'Slave', 'Base Address', and 'High Address'. 'slave0' is selected with a checked checkbox. The other slaves (slave1 to slave9) have unchecked checkboxes. The Base Address for slave0 is 0x0000 and the High Address is 0x00FF. The other slaves have Base Addresses from 0x0100 to 0x0900 and High Addresses from 0x01FF to 0x09FF.

| Slave | Base Address | High Address |
|--|--------------|--------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> slave0 | 0x0000 | 0x00FF |
| <input type="checkbox"/> slave1 | 0x0100 | 0x01FF |
| <input type="checkbox"/> slave2 | 0x0200 | 0x02FF |
| <input type="checkbox"/> slave3 | 0x0300 | 0x03FF |
| <input type="checkbox"/> slave4 | 0x0400 | 0x04FF |
| <input type="checkbox"/> slave5 | 0x0500 | 0x05FF |
| <input type="checkbox"/> slave6 | 0x0600 | 0x06FF |
| <input type="checkbox"/> slave7 | 0x0700 | 0x07FF |
| <input type="checkbox"/> slave8 | 0x0800 | 0x08FF |
| <input type="checkbox"/> slave9 | 0x0900 | 0x09FF |

本参考设计中详细的寄存器地址定义如下：

表 7-1 寄存器地址定义

| 地址(32bit) | 默认值 | W/R | 描述 |
|-----------|------------|-----|--|
| 0x0000 | 0x00000000 | WR | [0]: 控制数据字段长度变化方式 1: 每帧数据字段长度保持为 DATA_LENGTH_MAX 0: 每帧数据字段长度在 0~ DATA_LENGTH_MAX 之间变化, 且相邻两帧之间相差 DATA_LENGTH_INCREASE |
| 0x0001 | 0x00000000 | WR | [0]: 控制是否传输一帧 Pause 帧 1: 不传输 Pause 帧 0: 传输 Pause 帧 |
| 0x0002 | 0x00000000 | WR | [0]: 清除检测结果 1: 清除异常结果或传输帧数 0: 开始重新检测 |
| 0x0010 | 0x00000000 | WR | [0]: IP 复位功能 (main_reset) 1: 复位 0: 释放复位 |
| 0x0011 | 0x00000002 | WR | [1]: 自协商功能使能 (an_enable) 1: 使能自协商功能 0: 禁用自协商功能 [0]: 重新自协商 1->0: 重新进行自协商 |
| 0x0020 | 0x00000060 | WR | [6]: 2.5G SGMII 的双工模式 1: 全双工模式 0: 半双工模式 [5:4]: 2.5G SGMII 的速率 1x: 2500M [1:0]: 协议选择 x0: 2500BASE-X 协议 01: 2.5G SGMII 协议 System Mode 11: 2.5G SGMII 协议 Media Mode |
| 0x0021 | 0x0000017D | WR | [8:0]: 2500BASE-X 协议的 link 时间设置 |
| 0x0022 | 0x0000003D | WR | [8:0]: 2.5G SGMII 协议的 link 时间设置 |
| 0x0030 | 0x00000001 | WR | [5]: 数据传输持续模式, 相当于多次突发 1: 执行数据传输 0: 停止数据传输 [4]: 数据传输突发模式, 一次突发发送 FRM_NUM_MAX 帧以太网帧和一帧 Pause 帧 (由 0x0001 控制是否发送 Pause 帧) 1->0: 执行一次突发 [0]: 除 Uart_to_Bus_Top 和 sysreg 模块外的复位 1: 释放复位 0: 复位 |
| 0x0080 | - | R | [31]: 自协商完成标志 |

| 地址(32bit) | 默认值 | W/R | 描述 |
|-----------|-----|-----|---|
| | | | [30:3]: 预留 [2]: 接收的 Pause 帧异常 [1]: 接收的以太网帧异常 [0]: 接收的数据异常 |
| 0x0081 | - | R | [2]: 对方在 2.5G SGMII 协议下的双工模式 1: 全双工模式 0: 半双工模式 [1:0]: 对方在 2.5G SGMII 协议下的速率 10: 2500M。 |
| 0x0090 | - | R | [11:9]: 默认为 0 [8]: IP Link Up 状态 [7]: mac_rx_model_word 模块的复位状态 [6]: mac_tx_model_word 模块的复位状态 [5]: IP 的复位状态 [4]: Uart_to_Bus_Top 和 sysreg 模块的复位状态 [3:1]: 3'b111 [0]: pll_uart 的 Locked 状态 |
| 0x0091 | - | R | [1]: 接收以太网数据的帧数溢出标志, 即超出表示范围 [0]: 发送以太网数据的帧数溢出标志, 即超出表示范围 |
| 0x0092 | - | R | [31:0]: 发送以太网数据的帧数 |
| 0x0093 | - | R | [31:0]: 接收以太网数据的帧数 |

7.4 板级测试

7.4.1 操作说明

该示例工程是在 DK_START_GW5AT-LV138FPG676A_V2.0 开发板上实测通过。如果手上没有此开发板, 又想运行此参考设计工程, 需要根据板卡的实际情况修改 2.5G Serial Ethernet IP 的 Channel Selection、Reference Clock Source、Reference Clock Frequency、PLL Selection 选项, 并将串口管脚、时钟输入管脚、复位管脚和 LED 管脚根据您的板卡实际情况进行修改即可用于测试。

修改完成后, 生成 Bit 文件, 下载到 FPGA 中即可开始测试。

7.4.2 操作步骤

板级测试的操作步骤如下:

1. 用射频线将 TX 和 RX 端进行外部环回连接。
2. Bit 文件下载到 FPGA 之后, 您首先需要检查串口指令是否起作用;
输入: W 0003 F5A1490D
输入: R 0003
返回: G 0003 F5A1490D
则表示 PC 与 FPGA 之间的通信是没有问题的, 否则, 首先需要排查不

能通信的原因，才能进行下一步。

3. 查看 LED 灯 D1 状态为常亮，说明 2.5G Serial Ethernet IP 在 2500BASE-X 协议下完成自协商，可进行数据传输，否则需要排查 IP 未协商的原因，才能进行下一步。
4. 获取当前 FPGA 内部的检测结果；
输入：R 0080
返回：G 0080 80000000
表示 IP 已自协商成功，且未检测到收发数据异常。
5. 设置以太网数据传输过程，每帧的负载保持最大，不传输 Pause 帧；
输入：W 0000 00000001
输入：W 0001 00000001
6. 执行数据传输（持续模式），观察 LED 灯 D2 常亮；
输入：W 0030 00000021
7. 一段时间后停止数据传输，观察 LED 灯 D2 常灭；
输入：W 0030 00000001
8. 观察 LED 灯 D3 和 D4 为常灭，表示 IP 数据传输过程无异常；
9. 设置 IP 为 2.5G SGMII 协议的 Media Mode；
输入：W 0020 00000063
10. 设置 IP 重新进行自协商过程；
输入：W 0011 00000003
输入：W 0011 00000002
11. 重复步骤 2~7。
通过板测过程中观察指示灯的情况，可以说明数据的传输是正常的。

8 文件交付

Gowin 2.5G Serial Ethernet IP 交付文件主要包含三个部分，分别为：文档、设计源代码和参考设计。

8.1 文档

文件夹主要包含用户指南 PDF 文档。

表 8-1 文档列表

| 名称 | 描述 |
|--|---|
| IPUG1172, Gowin 2.5G Serial Ethernet IP 用户指南 | Gowin 2.5G Serial Ethernet IP 用户手册，即本手册 |

8.2 设计源代码（加密）

加密代码文件夹包含 Gowin 2.5G Serial Ethernet IP 的 RTL 加密代码，供 GUI 使用，以配合高云半导体云源®软件产生用户所需的 IP 核。

表 8-2 Gowin 2.5G Serial Ethernet IP 设计源代码列表

| 名称 | 描述 |
|-----------------------|---------------------|
| ge_pcs_wrap.v | IP 核顶层文件，给用户接口信息，加密 |
| ge_pcs.v | IP 核 RTL 设计文件，加密 |
| ge_constants.v | 本地静态参数配置文件，加密 |
| static_macro_define.v | 本地静态参数配置文件，不加密 |
| define.vh | IP 配置文件，需要 GUI 生成 |
| parameter.vh | IP 配置文件，需要 GUI 生成 |

8.3 参考设计

Gowin 2.5G Serial Ethernet IP RefDesign 文件夹主要包含 Gowin 2.5G Serial Ethernet IP 的网表文件，用户参考设计，约束文件、顶层文件及工程文件夹等。

表 8-3 Gowin 2.5G Serial Ethernet IP RefDesign 文件夹内容列表

| 名称 | 描述 |
|----------------------------|--|
| top.v | 参考设计的顶层module |
| fpga_project.cst | 工程物理约束文件 |
| fpga_project.sdc | 工程时序约束文件 |
| two_giga_serial_ethernet.v | 生成2.5G Serial Ethernet IP顶层文件，加密 |
| SerDes.v | SerDes原语以及2.5G Serial Ethernet IP顶层的例化 |
| mac_rx_model_word.v | MAC层RX信号控制模块 |
| mac_tx_model_word.v | MAC层TX信号控制模块 |
| Uart_to_Bus_Top.v | 串口转总线IP，加密 |
| sysreg.v | 本地系统配置寄存器模块 |
| button.v | 按键消抖模块 |
| pll_uart.v | 锁相环IP |

