



Gowin 1G Serial Ethernet IP

用户指南

IPUG1021-1.4, 2025/05/23

版权所有 © 2025 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、翻译本文档内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。

免责声明

本文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。高云半导体对文档中包含的文字、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文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文档进行适时的更新。

版本信息

日期	版本	说明
2023/06/30	1.0	初始版本。
2024/09/05	1.1	● Management 功能增加复位信号； ● 修改复位方案； ● 支持 GW5AT-60 器件。
2024/10/25	1.2	增加 “AFE” 选项。
2024/12/31	1.3	修复 SerDes 的复位方案，用户可对 PMA 和 PCS 进行复位操作。
2025/05/23	1.4	● 支持 GW5AT-15 器件并新增相关描述； ● 新增 AFE 描述。

目录

目录	i
图目录	iii
表目录	v
1 关于本手册	1
1.1 手册内容	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 IP 复位	5
3.3 用户接口	6
3.3.1 配置接口	6
3.3.2 状态接口	8
3.3.3 PHY 层接口	9
3.3.4 MAC 层接口	13
3.4 AFE (Analog Front End)	22
3.4.1 发送	22
3.4.2 接收	23
3.5 参考时钟	23
3.5.1 GW5AT-15	24
3.5.2 GW5AT-60	24
3.5.3 其他器件	24
4 端口列表	26
5 参数配置	30

6 界面配置	32
7 参考设计	38
7.1 硬件平台	38
7.2 实现框图	39
7.3 板级测试	39
7.3.1 操作说明	39
7.3.2 操作步骤	40
8 文件交付	41
8.1 文档	41
8.2 设计源代码（加密）	41
8.3 参考设计	41

图目录

图 3-1 Gowin 1G Serial Ethernet IP 结构图	5
图 3-2 1000M 速率正常以太网接收	9
图 3-3 10M/100M 速率正常以太网帧接收	9
图 3-4 1000M 速率错误以太网帧接收	10
图 3-5 10M/100M 速率错误以太网帧接收	10
图 3-6 1000M 速率载波扩展接收.....	10
图 3-7 10M/100M 速率载波扩展接收.....	10
图 3-8 1000M 速率载波扩展错误接收	10
图 3-9 10M/100M 速率载波扩展错误接收	10
图 3-10 1000M 速率正常以太网帧发送	11
图 3-11 10M/100M 速率正常以太网帧发送.....	11
图 3-12 1000M 速率错误以太网帧发送	11
图 3-13 10M/100M 速率错误以太网帧发送	11
图 3-14 1000M 速率载波扩展发送.....	12
图 3-15 10M/100M 速率载波扩展发送	12
图 3-16 1000M 速率载波扩展错误发送	12
图 3-17 10M/100M 速率载波扩展错误发送	12
图 3-18 1000M 速率半双工模式发送	13
图 3-19 1000M 速率发送冲突.....	13
图 3-20 1000M 速率正常 MAC 帧接收	13
图 3-21 10M/100M 速率正常 MAC 帧接收	13
图 3-22 1000M 速率错误 MAC 帧接收	14
图 3-23 10M/100M 速率错误 MAC 帧接收	14
图 3-24 1000M 速率使能 FCS Forward 时正确 MAC 帧接收	14
图 3-25 1000M 速率使能 FCS Forward 时错误 MAC 帧接收	14
图 3-26 10M/100M 速率使能 FCS Forward 时正确 MAC 帧接收	14
图 3-27 10M/100M 速率使能 FCS Forward 时错误 MAC 帧接收	15
图 3-28 VLAN Tagged 帧接收	15
图 3-29 接收统计	15

图 3-30 1000M 速率正常 MAC 帧发送	16
图 3-31 10M/100M 速率正常 MAC 帧发送	17
图 3-32 1000M 速率错误 MAC 帧发送	17
图 3-33 10M/100M 速率错误 MAC 帧发送	17
图 3-34 1000M 速率使能 FCS Forward 时 MAC 帧发送	17
图 3-35 10M/100M 速率使能 FCS Forward 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	19
图 3-40 发送 Pause 帧	20
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 3-45 发送差分信号摆幅 Vdiffpp	23
图 3-46 FFE TX 电压定义	23
图 4-1 Gowin 1G Serial Ethernet IP IO 端口示意图	26
图 6-1 IP 核产生工具	32
图 6-2 SerDes IP 配置界面	33
图 6-3 PHY Configuration 选项页	34
图 6-4 MAC Configuration 选项页	35
图 6-5 AFE Configuration 选项页	36
图 6-6 Serdes IP 配置界面显示 1G Serial Ethernet IP	37
图 7-1 硬件平台	38
图 7-2 参考设计实现框图	39

表目录

表 1-1 术语、缩略语 1

表 2-1 Gowin 1G Serial Ethernet IP 概述 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 16

表 3-4 tx_statistics_vector_o 位定义 19

表 3-5 GW5AT-15 参考时钟对应关系 24

表 3-6 GW5AT-60 参考时钟对应关系 24

表 3-7 其他器件参考时钟对应关系 24

表 4-1 Gowin 1G Serial Ethernet IP IO 端口 27

表 5-1 Gowin 1G Serial Ethernet IP 静态参数 30

表 8-1 文档列表 41

表 8-2 Gowin 1G Serial Ethernet IP 设计源代码列表 41

表 8-3 Gowin 1G Serial Ethernet IP RefDesign 文件夹内容列表 41

1 关于本手册

1.1 手册内容

Gowin 1G 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 1G Serial Ethernet IP 的产品特性、特点及使用方法。本手册中的软件界面截图参考的是 V1.9.11.02 版本，因软件版本升级，部分信息可能会略有差异，具体以用户软件版本的信息为准。

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](#)
- [DS1103, GW5A 系列 FPGA 产品数据手册](#)
- [DS981, GW5AT 系列 FPGA 产品数据手册](#)
- [DS1105, GW5AS 系列 FPGA 产品数据手册](#)
- [DS1239, 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
AFE	Analog Front End	模拟前端
CRC	Cyclic Redundancy Check	循环冗余检验
FCS	Frame Check Sequence	帧校验序列
FFE	Feed-Forward Equalization	前馈均衡
IFG	Inter-Frame Gap	帧间距
IP	Intellectual Property	知识产权
LUT	Look-up Table	查找表

术语、缩略语	全称	含义
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 1G Serial Ethernet IP实现了IEEE802.3标准中1000BASE-X和SGMII功能描述，为用户提供了一个通用的访问接口，可以集成到需要1G串行以太网的设备中，这种连接通常用于通信应用。

表 2-1 Gowin 1G Serial Ethernet IP 概述

Gowin 1G 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-1 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 1000BASE-X 和 SGMII 标准
- 符合标准 IEEE 802.3
- 1000BASE-X 支持 1.25Gbps 速率
- SGMII 支持 10/100/1000M 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 1G Serial Ethernet IP 的工作频率为 125 MHz。

2.3 资源利用

Gowin 1G 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

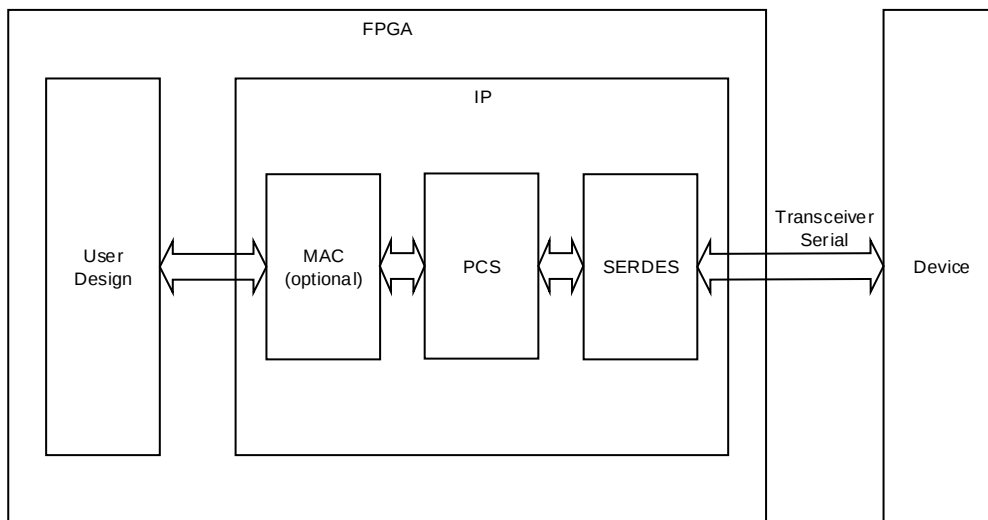
接口	LUTs	REGs	器件	速度
MAC 层	1669	1514	GW5AT-138	ES
PHY 层	570	445	GW5AT-138	ES
PHY 层(MIIM)	693	517	GW5AT-138	ES

3 功能描述

3.1 整体结构

Gowin 1G 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 1000BASE-X 标准或 SGMII 标准的以太网设备。

图 3-1 Gowin 1G 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 IP 复位

用户可通过 `rstn_i` 实现对 Gowin 1G Serial Ethernet IP 的整体复位操作, 当 `rstn_i` 为 0 时执行复位功能。

对 Gowin 1G Serial Ethernet IP 设置的复位时间需结合实际情况进行设

置，复位操作至少持续参考时钟输出的时钟稳定之后。

3.3 用户接口

3.3.1 配置接口

标准配置

IP 支持 1000BASE-X 和 SGMII 标准，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，其支持 10M、100M 和 1000M 三种速率，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。

● 1000BASE-X 标准配置

当用户设置 `basex_or_sgmii_i` 为 0 时，则 IP 为 1000BASE-X 标准；通过设置 `basex_link_timer_i` 可配置 1000BASE-X 标准的 link 时间，具体设置的 link 时间可按照如下公式计算：

$$\text{link 时间} = \text{basex_link_timer_i} * 32.769\mu\text{s}$$

注！

IEEE 802.3 标准规定 1000BASE-X 的 link 时间为 10ms~20ms。

● SGMII 标准配置

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

$$\text{link 时间} = \text{sgmii_link_timer_i} * 32.769\mu\text{s}$$

注！

SGMII 的 link 时间为 1.6ms。

当用户设置 `sgmii_mode_i` 为 0 时，则 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 SGMII 标准为 Media Mode，可通过 `configuration_vector_i[13:11]` 设置 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 SGMII 标准为全双工，`configuration_vector_i[13]` 为 0 时，表示 SGMII 标准为半双工；对于速率，`configuration_vector_i[12:11]` 为 1X 时，表示 SGMII 标准为 1000M 速率传输，`configuration_vector_i[12:11]` 为 01 时，表示 SGMII 标准为 100M 速率传输，`configuration_vector_i[12:11]` 为 00 时，表示 SGMII 标准为 10M 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	Sgmii Phy Link	SGMII标准Media Mode下PHY的Link状态： 1: Link up 0: Link down
13	Sgmii Phy Duplex	SGMII标准Media Mode下双工模式： 1: 全双工 0: 半双工
12:11	Sgmii Phy Speed	SGMII标准Media Mode下速率： 1X: 1000M速率 01: 100M速率 00: 10M速率
10	Hd	1000BASE-X标准下半双工模式： 1: 使能 0: 禁用
9	Fd	1000BASE-X标准下全双工模式： 1: 使能 0: 禁用
[8:7]	{Ps2,Ps1}	1000BASE-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：

位置	名称	描述
		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: 1: 复位 0: 解复位

3.3.2 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	SGMII标准下对方的PHY Link状态指示: 1: Link up 0: Link down
7	Duplex Status	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	SGMII标准下对方的速率指示: 1x: 1000M 01: 100M 00: 10M
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

位置	名称	描述
		0: 数据未同步

3.3.3 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。

正常以太网帧接收

图 3-2 展示在 1000M 速率下正常以太网帧接收过程，图 3-3 展示在 10M/100M 速率下正常以太网帧接收过程。

在任何速率下，gmii_rx_clk_o 都为 125MHz，10M 速率时每个字节数据重复接收 100 个周期；100M 速率每个字节数据重复接收 10 个周期，1000M 速率时每个字节数据仅接收 1 个周期。

1000M 速率下，以太网帧以 7 字节 Preamble 和 1 字节 SFD 标志着一帧数据的开始，而 10M 和 100M 速率下，每个字节数据分别会重复接收 100 个和 10 个周期。需要注意在任何速率下，由于转换过程中包起始定界符的存在，会导致接收的 Preamble 缺失 1~2 个周期

在整个以太网帧的接收过程中，gmii_rx_dv_o 一直保持为 1，直到这一帧结束时才会变为 0，同时 gmii_rx_er_o 也一直保持为 0，gmii_rxd_o 为接收的数据。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。当帧的第一个字节开始出现在用户接口后，数据会被连续接收，直到整个帧接收完毕。

图 3-2 1000M 速率正常以太网接收

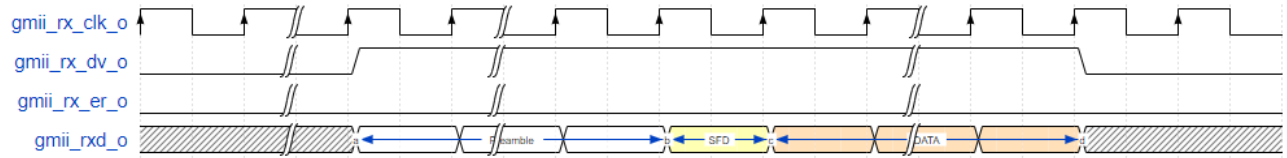
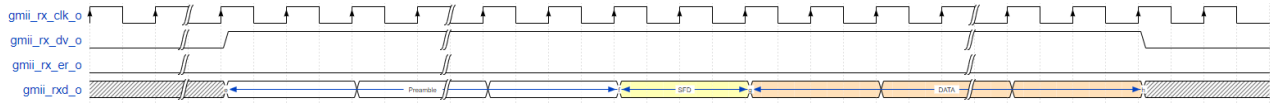


图 3-3 10M/100M 速率正常以太网帧接收



错误以太网帧接收

在 gmii_rx_dv_o 为 1 时，若 gmii_rx_er_o 为 1 时，表示当前帧有某些错误数据。图 3-4 和图 3-5 分别展示在 1000M 和 10M/100M 速率下一个错误帧的接收过程。

图 3-4 1000M 速率错误以太网帧接收

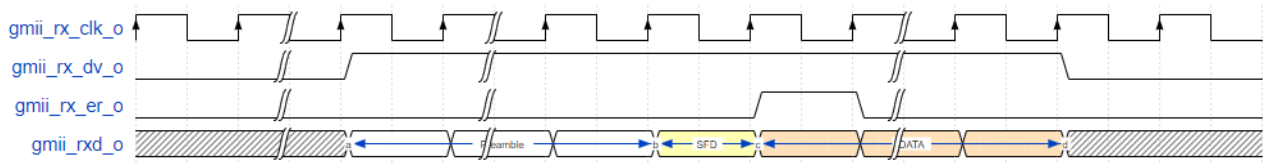
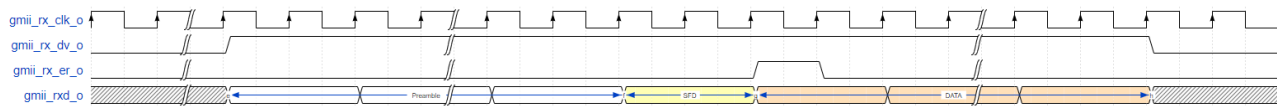


图 3-5 10M/100M 速率错误以太网帧接收



载波扩展接收

当 gmii_rx_dv_o 为 0, gmii_rx_er_o 为 1, gmii_rxd_o 为 8'h0F 时, 此过程为载波扩展接收, 需要注意载波扩展会紧跟在以太网帧接收后。图 3-6 展示在 1000M 速率下载波扩展的接收过程, 图 3-7 展示在 10M/100M 速率下载波扩展的接收过程。

图 3-6 1000M 速率载波扩展接收

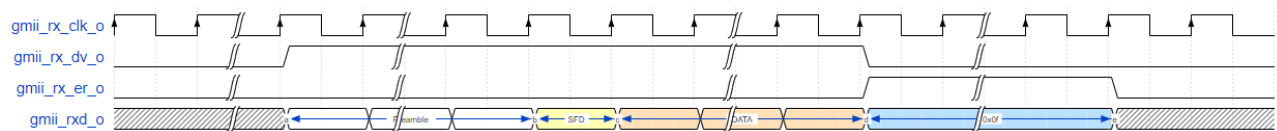
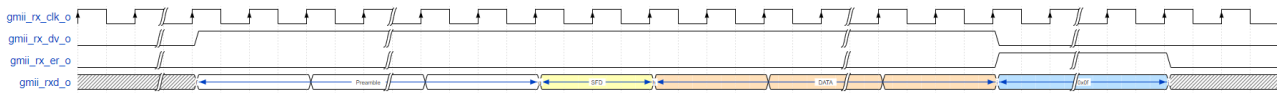


图 3-7 10M/100M 速率载波扩展接收



载波扩展错误接收

在载波扩展接收的基础上, 当 gmii_rx_dv_o 为 0, gmii_rx_er_o=1 时, 出现 gmii_rxd_o 为 8'h1F 的情况。图 3-8 展示在 1000M 速率下载波扩展错误的接收过程, 图 3-9 展示在 10M/100M 速率下载波扩展错误的接收过程。

图 3-8 1000M 速率载波扩展错误接收

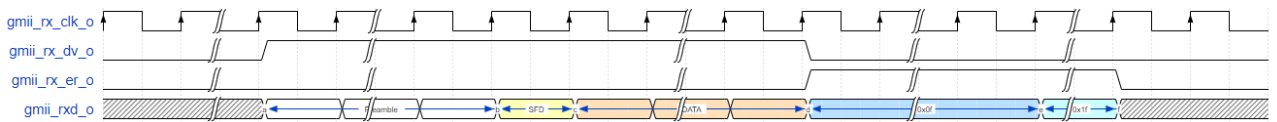
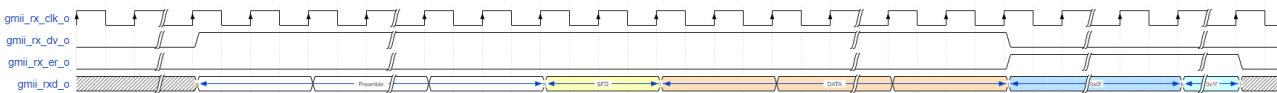


图 3-9 10M/100M 速率载波扩展错误接收



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 1000M 速率下正常以太网帧发送过程，图 3-11 展示在 10M/100M 速率下正常以太网帧发送过程。

在任何速率下，gmii_tx_clk_o 都为 125MHz，10M 速率时每个字节数据重复发送 100 个周期；100M 速率时每个字节数据重复发送 10 个周期，1000M 速率时每个字节数据仅发送 1 个周期。

1000M 速率时，以太网帧以 7 字节 Preamble 和 1 字节 SFD 作为开始，而 10M 和 100M 速率下，每个字节需要分别重复发送 100 个和 10 个周期。

在整个以太网帧的发送过程中，gmii_tx_en_i 须一直保持为 1，直到这一帧结束时才能变为 0，同时 gmii_tx_er_i 也需要一直保持为 0；gmii_tx_en_i 为 1 时，将需要传输的字节赋给 gmii_txd_i。需要注意 IP 中没有 buffer 用来缓存发送的以太网帧。因此当第一个字节开始发送后，用户需要准备好后续字节，在 gmii_tx_en_i 为 1 时，及时赋给 gmii_txd_i，直到整个帧发送完毕。

图 3-10 1000M 速率正常以太网帧发送

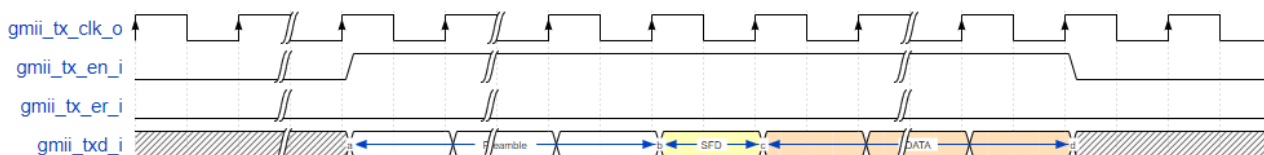
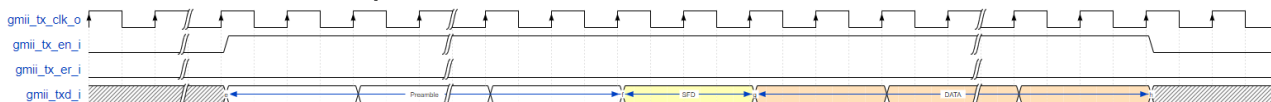


图 3-11 10M/100M 速率正常以太网帧发送



错误以太网帧发送

在发送过程中，当 gmii_tx_en_i 和 gmii_tx_er_i 同时为 1 时，表示当前帧内有错误。图 3-12 展示在 1000M 速率下一个错误帧的发送过程，图 3-13 展示在 10M/100M 速率下一个错误帧的发送过程。

图 3-12 1000M 速率错误以太网帧发送

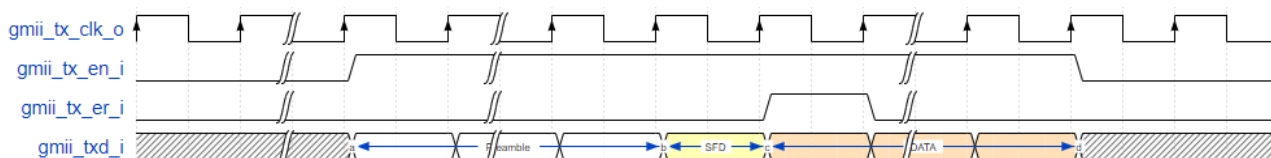
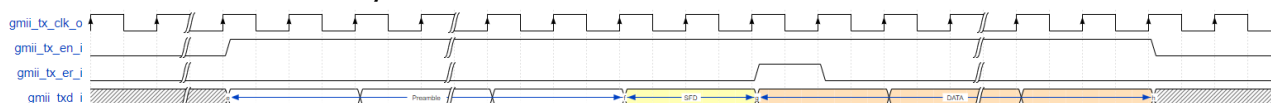


图 3-13 10M/100M 速率错误以太网帧发送



载波扩展发送

当 gmii_tx_en_i 为 0, gmii_tx_er_i=1, gmii_txd_i 为 8'h0F 时, 此过程为载波扩展发送, 需要注意载波扩展要紧跟在以太网帧发送后。图 3-14 展示在 1000M 速率下载波扩展的发送过程, 图 3-15 展示在 10M/100M 速率下载波扩展的发送过程。

图 3-14 1000M 速率载波扩展发送

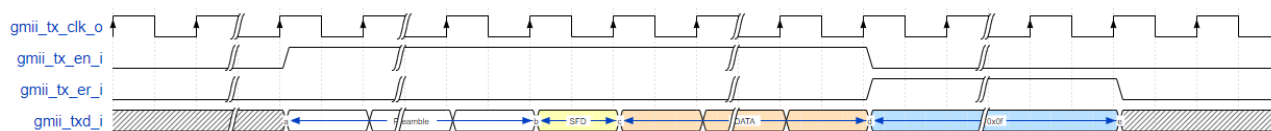


图 3-15 10M/100M 速率载波扩展发送



载波扩展错误发送

在载波扩展发送的基础上, 在当 gmii_tx_en_i 为 0, gmii_tx_er_i=1 时, gmii_txd_i 先输出连续的 8'h0f, 再输出连续的 8'h1f。图 3-16 展示在 1000M 速率下载波扩展错误的发送过程, 图 3-17 展示在 10M/100M 速率下载波扩展错误的发送过程。

图 3-16 1000M 速率载波扩展错误发送

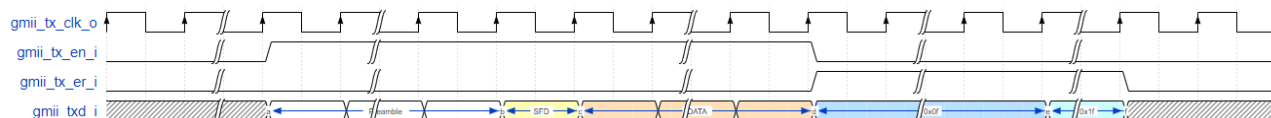
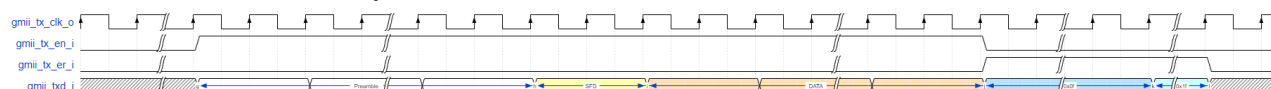


图 3-17 10M/100M 速率载波扩展错误发送



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_crs_o 为 1, 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 1000M 速率下半双工模式的发送过程, 图 3-19 展示在 1000M 速率下发送冲突的过程。

图 3-18 1000M 速率半双工模式发送

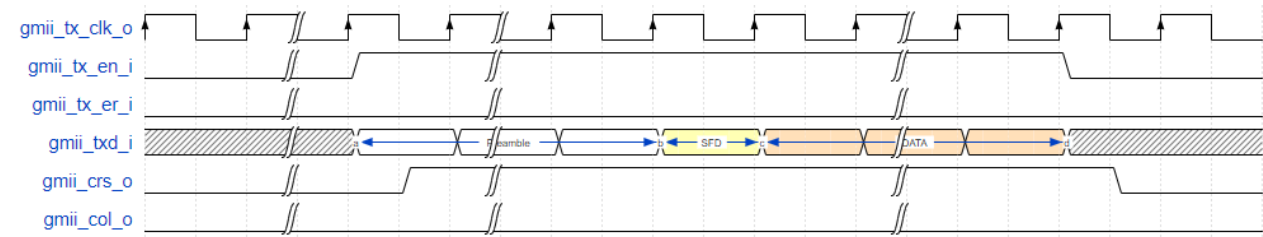
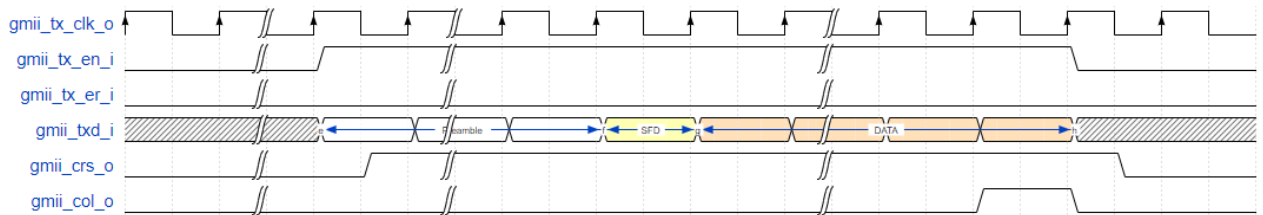


图 3-19 1000M 速率发送冲突



3.3.4 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 1000M 速率下正常 MAC 帧接收过程，图 3-21 展示在 10M/100M 速率下正常 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 帧的最后一个字节。需要注意 IP 中没有 buffer 用来缓存接收的 MAC 帧，因此用户必须准备接收 MAC 帧。当帧的第一个字节开始出现在用户接口后，数据会被连续接收，直到整个帧接收完毕。

图 3-20 1000M 速率正常 MAC 帧接收

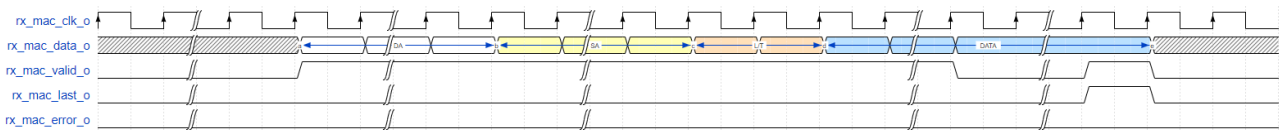
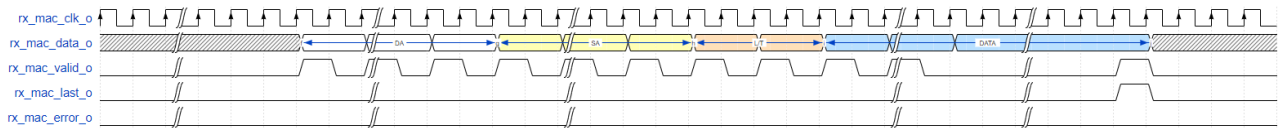


图 3-21 10M/100M 速率正常 MAC 帧接收



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 分别展示在 1000M 和 10M/100M 速率下一个错误 MAC 帧的接收过程。

图 3-22 1000M 速率错误 MAC 帧接收

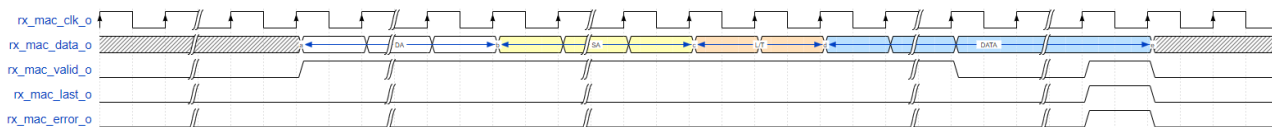
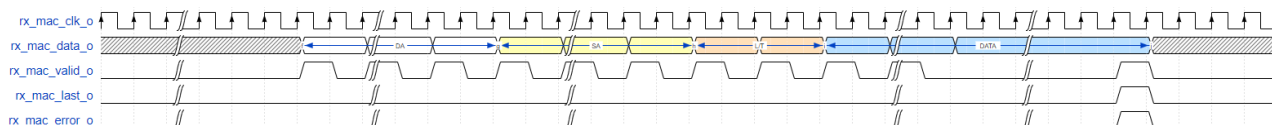


图 3-23 10M/100M 速率错误 MAC 帧接收



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 1000M 速率使能 FCS Forward 时正确 MAC 帧接收

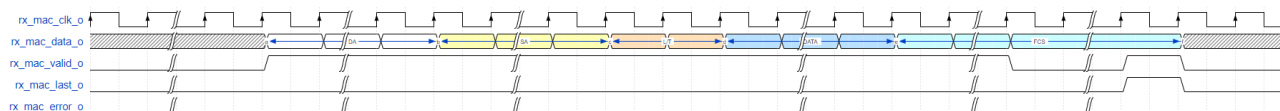


图 3-25 1000M 速率使能 FCS Forward 时错误 MAC 帧接收

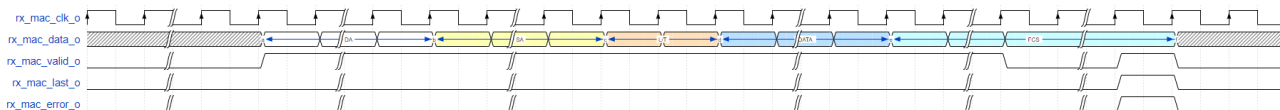


图 3-26 10M/100M 速率使能 FCS Forward 时正确 MAC 帧接收

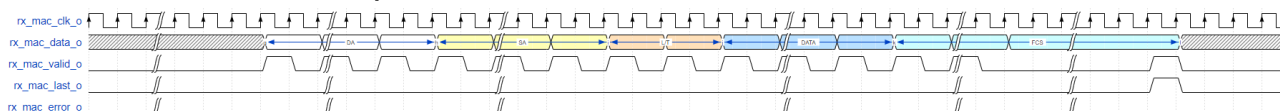
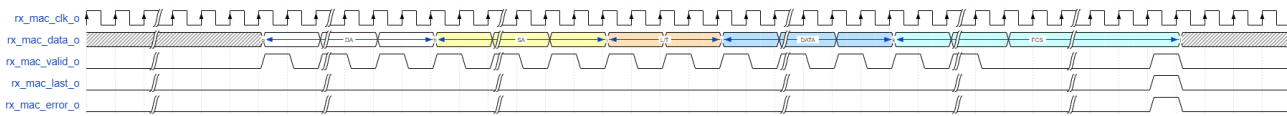


图 3-27 10M/100M 速率使能 FCS Forward 时错误 MAC 帧接收



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。在 IEEE802.3 中定义 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 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。在 IEEE802.3 中定义当 L/T 字段为 0x8808 时，此帧为 MAC Control 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 和 rx_mac_last_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

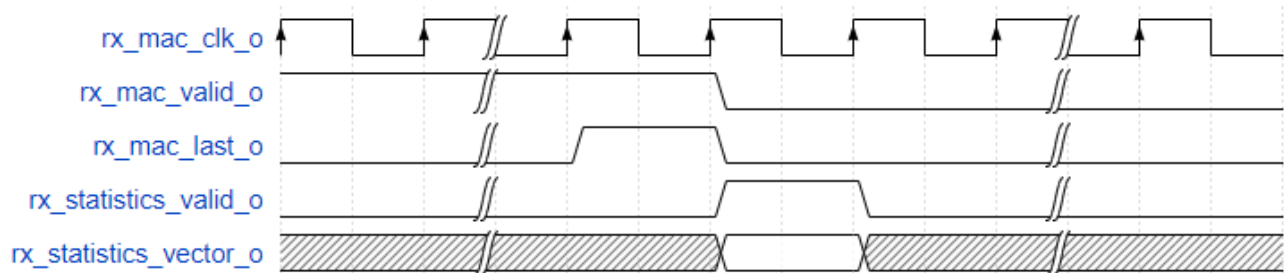


表 3-3 rx_statistics_vector_o 位定义

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
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。

正常 MAC 帧发送

图 3-30 展示在 1000M 速率下正常 MAC 帧发送过程，图 3-31 展示在 10M/100M 速率下正常 MAC 帧发送过程。

在任何速率下，tx_mac_clk_o 都为 125MHz；区别在于，10M 速率时 tx_mac_ready_o 每 100 个周期有效一次；100M 速率时 tx_mac_ready_o 每 10 个周期有效一次，1000M 速率时 tx_mac_ready_o 每个周期都有效。

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 帧的最后一个字节。需要注意 IP 中没有 buffer 用来缓存发送的 MAC 帧。因此当第一个字节开始发送后，用户需要准备好后续字节，在 tx_mac_ready_o 为 1 时，及时赋给 tx_mac_data_i。直到整个帧发送完毕。

图 3-30 1000M 速率正常 MAC 帧发送

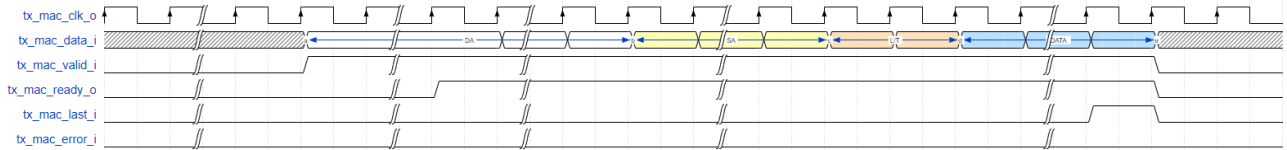
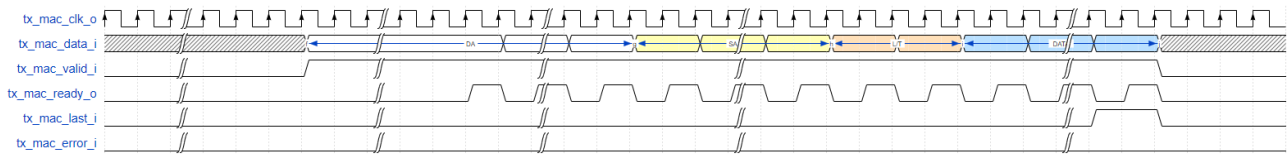


图 3-31 10M/100M 速率正常 MAC 帧发送



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，表示当前发送帧有错误。IP 会在 PHY 层接口发送 gmii_tx_er_i（发送数据错误指示）。图 3-32 展示在 1000M 速率下一个错误 MAC 帧的发送过程，图 3-33 展示在 10M/100M 速率下一个错误 MAC 帧的发送过程。

图 3-32 1000M 速率错误 MAC 帧发送

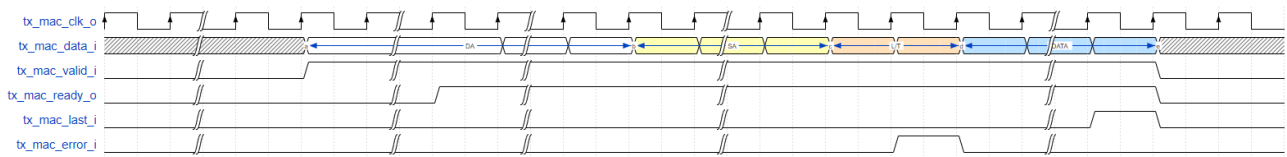
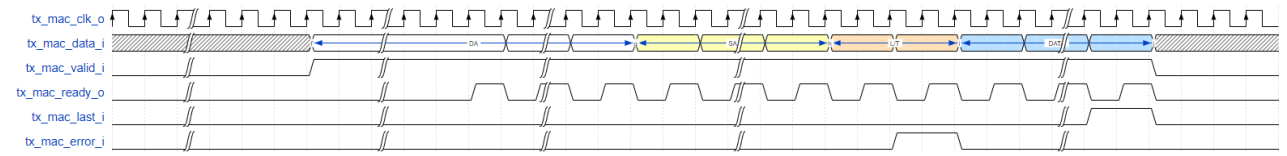


图 3-33 10M/100M 速率错误 MAC 帧发送



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 1000M 速率使能 FCS Forward 时 MAC 帧发送

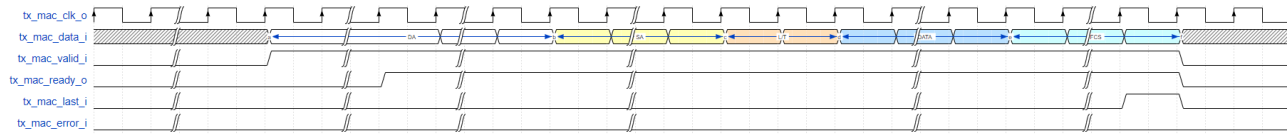
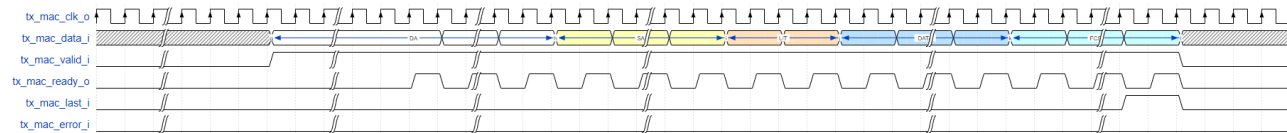


图 3-35 10M/100M 速率使能 FCS Forward 时 MAC 帧发送



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

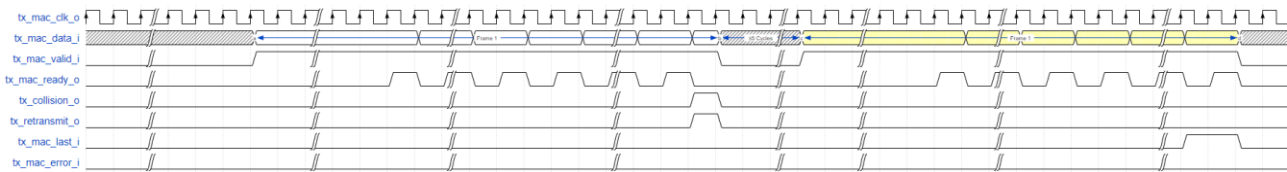


图 3-37 冲突时放弃重发（主动放弃）

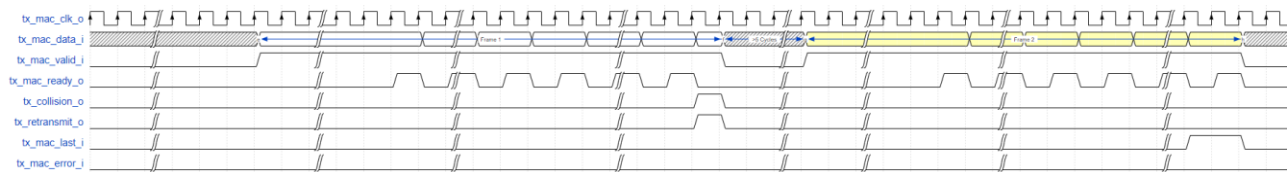
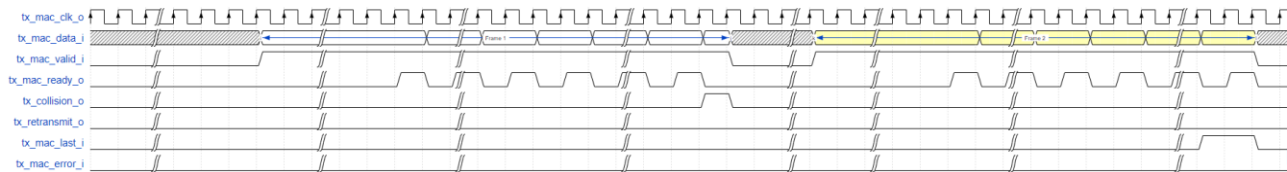


图 3-38 冲突时放弃重发（被动放弃）



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

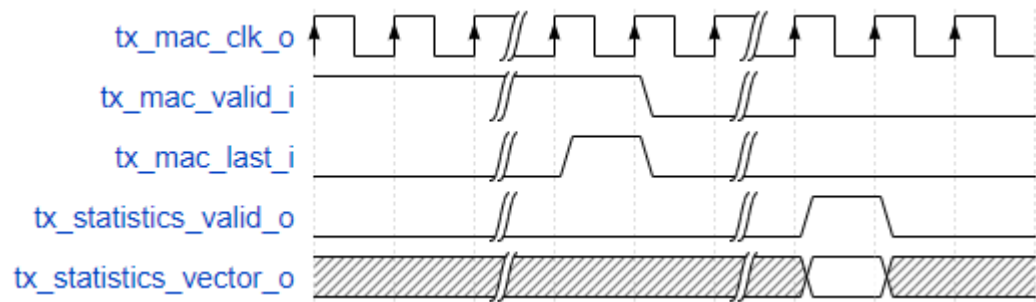


表 3-4 tx_statistics_vector_o 位定义

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

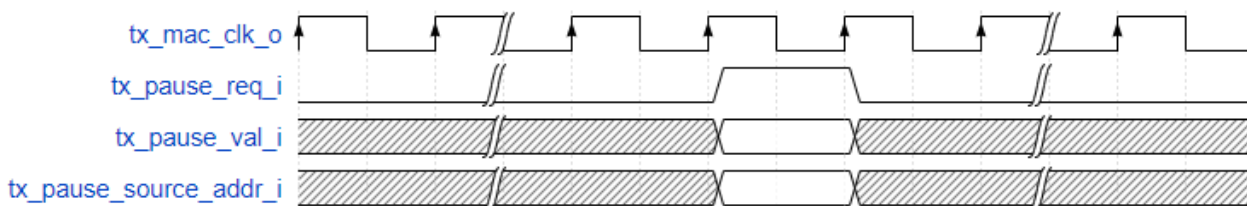
Flow Control 功能

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。

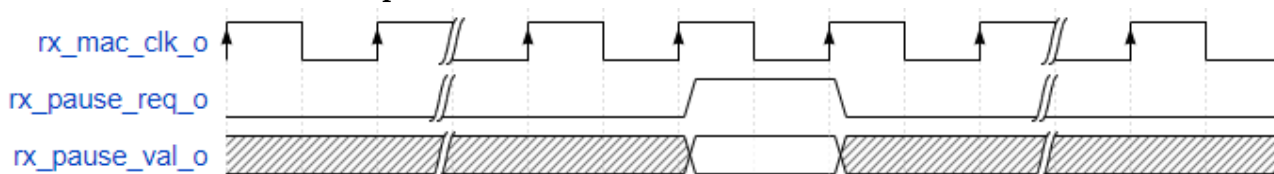
图 3-40 发送 Pause 帧



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

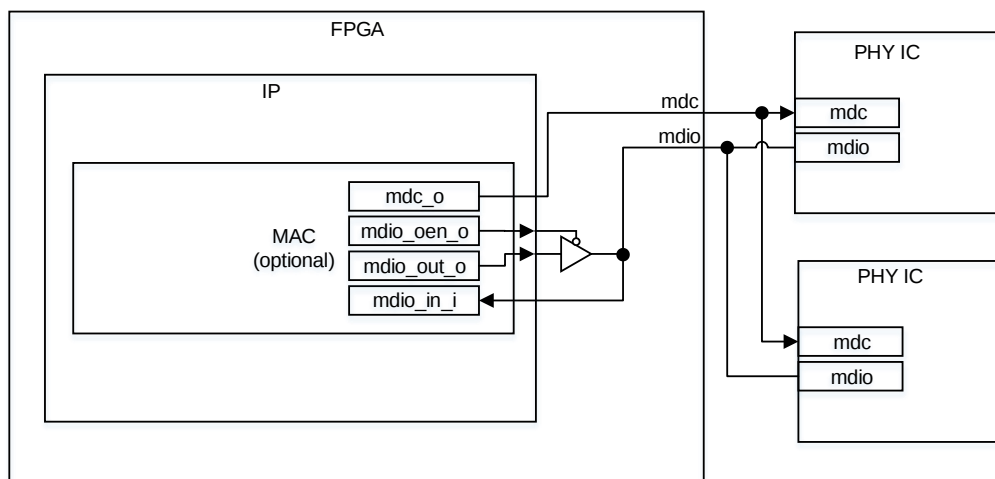
IP 支持 Jumbo 功能。当用户禁止 Jumbo 功能时, IP 判断正确以太网帧长度为 64 字节~1518 字节(非 VLAN 帧)或 64 字节~1522 字节(VLAN 帧)。当收到的以太网帧不在上述范围内时, rx_mac_error_o 会指示此帧有错误, 且 rx_statistics_vector_o 中 RX Length Error 为 1。当用户使能 Jumbo 功能时, 只有接收到的以太网帧小于 64 字节, IP 才会判断为错误。

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:

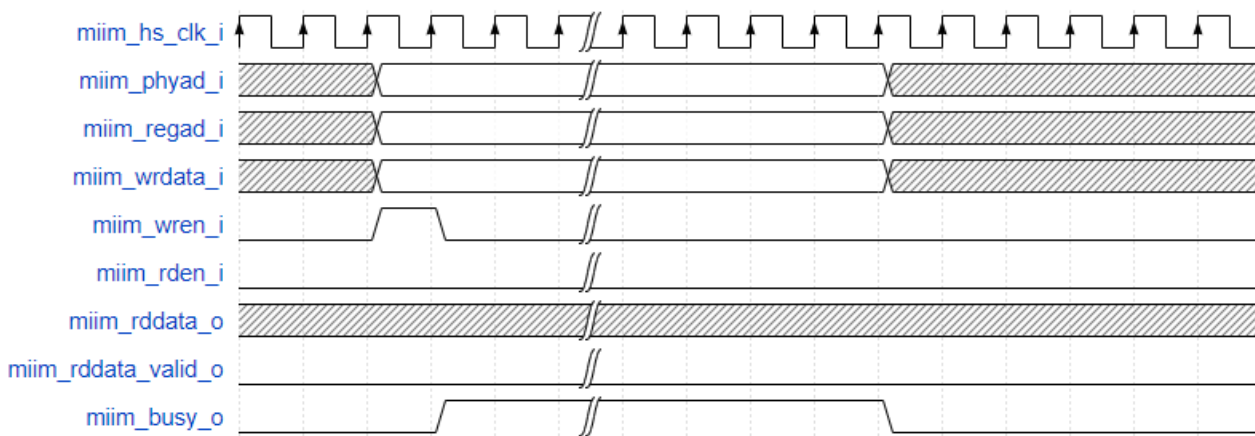
```
assign mdio_in_i = mdio;
```

```
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。

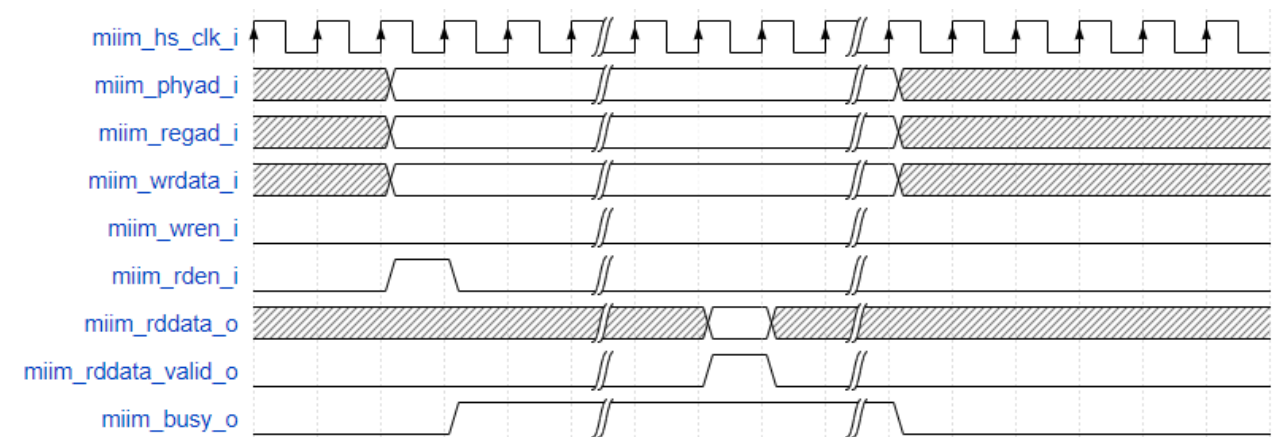
若进行写操作, 用户需把 miim_wren_i 置 1 一个周期。IP 会把 miim_busy_o 拉高, 说明 miim 总线正在进行此次写操作。当 miim_busy_o 再次为 0, 表示此次写操作结束, 用户可进行下一次读或写操作。miim_phyad_i、miim_regad_i 和 miim_wrdata_i 信号在 miim_wren_i 为 1 时需在总线上准备好, 且在 miim_busy_o 为 1 时保持不变。miim 写时序如图 3-43 所示。

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



3.4 AFE (Analog Front End)

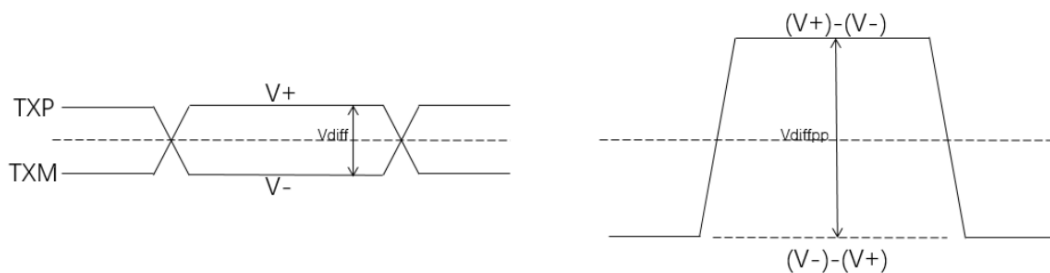
AFE 为模拟前端，Gowin 1G Serial Ethernet IP 工作速率为 1.25Gbps，用户可通过界面配置 IP 的模拟参数，以保证信号完整性。

3.4.1 发送

在发送侧用户可配置 IP 发送信号的差分摆幅和 FFE(Feed-Forward Equalization)参数。

发送差分摆幅

如图 3-45 所示，发送信号差分电压为 $V_{diff} = (V+) - (V-)$ ，发送差分信号摆幅为 $V_{diffpp} = 2 * V_{diff}$ 。用户可通过界面配置 V_{diffpp} ，范围为 180mV~900mV。

图 3-45 发送差分信号摆幅 V_{diffpp} 

TX FFE

FFE 为前馈均衡，IP 支持自动和手动调整 TX FFE 系数。当用户配置 FFE Mode 为 Auto 时，IP 根据硬件环境自动调整 FFE 系数，此时 Cm，C0 和 C1 配置无效。当用户配置 FFE Mode 为 Manual 时，用户可手动调整 3-tap 系数，配置发送信号的去加重状态。

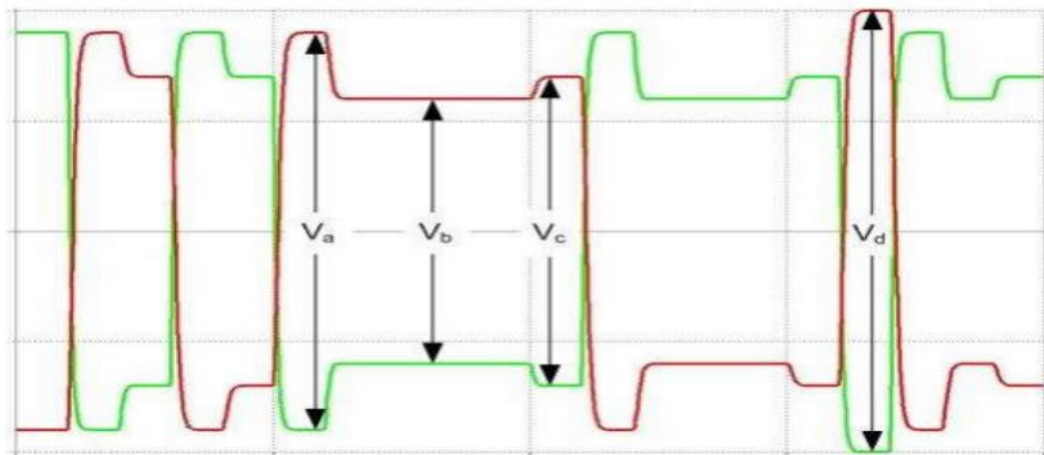
如图 3-46 所示，当用户配置 FFE Mode 为 Manual 时，可通过调整 Cm，C0 和 C1 的值，调整 Va，Vb 和 Vc 的电压幅度。计算公式如下：

$$V_a = V_{diffpp} * (-C_m + C_0 + C_1) / 40$$

$$V_b = V_{diffpp} * (-C_m + C_0 - C_1) / 40$$

$$V_c = V_{diffpp} * (C_m + C_0 - C_1) / 40$$

图 3-46 FFE TX 电压定义



3.4.2 接收

接收差分信号门限

在接收侧，用户可以通过配置 SD Threshold 选项，来调整接收信号有效电压门限。当接收差分信号大于 SD Threshold 时，SerDes 判断接收到有效数据；当接收差分信号小于 SD Threshold 时，SerDes 判断未接收到有效数据，进入 Electrical Idle 状态。

3.5 参考时钟

SerDes 正常工作需要稳定的参考时钟，用户需要确保在 SerDes 工作过程中，参考时钟频率的正确性和稳定性。

3.5.1 GW5AT-15

GW5AT-15 SerDes 共有 4 个参考时钟，其中 2 个来自于专用 SerDes 参考时钟输入，1 个来自于 GPIO，1 个来自于内部 OSC 时钟。表 3-5 列出原理图封装和 IP 界面参考时钟的对应关系。

若用户使用 GPIO 作为 SerDes 参考时钟，需要在例化 SerDes IP 时，把 IP 的 `gpio_refclk_i` 连接到 top 层 input，并在 `cst` 中约束相应 IO 位置。若不使用，IP 的 `gpio_refclk_i` 悬空即可。若客户使用 FPGA 内部晶振 OSC 作为参考时钟，需要在工程例化 OSCB 原语，并将 OSCB 原语的 `OSCREF` 接入 IP 的 `mclk_i`。若不使用，IP 的 `mclk_i` 悬空即可。

表 3-5 GW5AT-15 参考时钟对应关系

参考时钟	原理图封装	IP界面选项	IP管脚
Quad0 Refclk0	Q0_REFCLKP/M_0	Q0 REFCLK0	-
Quad0 Refclk1	Q0_REFCLKP/M_1	Q0 REFCLK1	-
GPIO	Q0REF_T/C_IN	Q0 REFIN	<code>gpio_refclk_i</code>
内部晶振OSC	-	MCLK	<code>mclk_i</code>

3.5.2 GW5AT-60

GW5AT-60 SerDes 共有 6 个参考时钟，其中 4 个来自于专用 SerDes 参考时钟输入，2 个来自于 GPIO。表 3-6 列出原理图封装和 IP 界面参考时钟的对应关系。

若用户使用 GPIO0 或 GPIO1 作为 SerDes 参考时钟，需要在例化 SerDes IP 时，把 IP 的 `gpio_refclk0_i` 或 `gpio_refclk1_i` 连接到 top 层 input，并在 `cst` 中约束相应 IO 位置。若不使用，IP 的 `gpio_refclk0_i` 或 `gpio_refclk1_i` 悬空即可。

表 3-6 GW5AT-60 参考时钟对应关系

参考时钟	原理图封装	IP界面选项	IP管脚
Quad0 Refclk0	Q0_REFCLKP/M_0	Q0 REFCLK0	-
Quad0 Refclk1	Q0_REFCLKP/M_1	Q0 REFCLK1	-
Quad0 Refclk2	Q0_REFCLKP/M_2	Q0 REFCLK2	-
Quad0 Refclk3	Q0_REFCLKP/M_3	Q0 REFCLK3	-
GPIO0	Q0REF_T/C_IN0	Q0 REFIN0	<code>gpio_refclk0_i</code>
GPIO1	Q0REF_T/C_IN1	Q0 REFIN1	<code>gpio_refclk1_i</code>

3.5.3 其他器件

其他器件 SerDes 共有 4 个参考时钟，都来自于专用 SerDes 参考时钟输入，其中 Quad0 和 Quad1 各包含 2 个参考时钟。参考时钟允许跨 Quad。同一配置中，只能有一条参考时钟允许跨 Quad 使用。表 3-7 列出原理图封装和 IP 界面参考时钟的对应关系。

表 3-7 其他器件参考时钟对应关系

参考时钟	原理图封装	IP界面选项	IP管脚
Quad0 Refclk0	Q0_REFCLKP/M_0	Q0 REFCLK0	-

参考时钟	原理图封装	IP界面选项	IP管脚
Quad0 Refclk1	Q0_REFCLKP/M_1	Q0 REFCLK1	-
Quad1 Refclk0	Q1_REFCLKP/M_0	Q1 REFCLK0	-
Quad1 Refclk1	Q1_REFCLKP/M_1	Q1 REFCLK1	-

4 端口列表

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

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

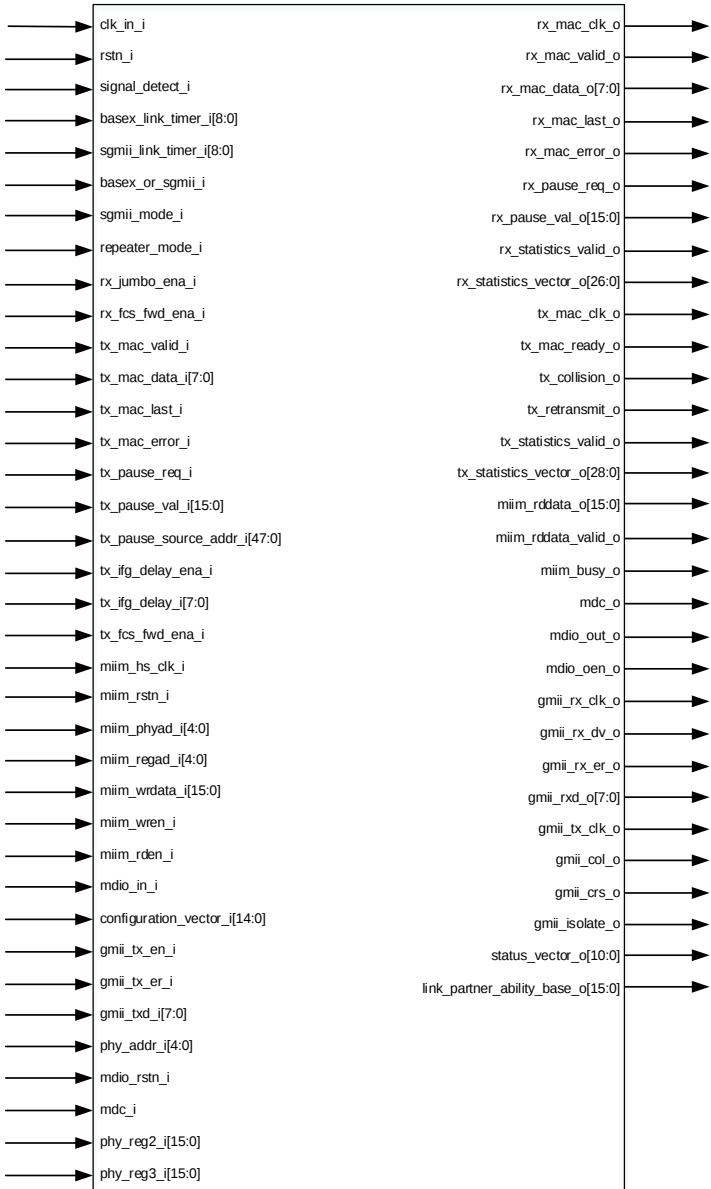


表 4-1 Gowin 1G Serial Ethernet IP IO 端口

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	1000BASE-X协议下Link时间
sgmii_link_timer_i	input	9	SGMII协议下Link时间
basex_or_sgmii_i	input	1	以太网协议选择信号： 1：SGMII标准 0：1000BASE-X标准
sgmii_mode_i	input	1	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	1	GMII接收使能
gmii_rxd_o	output	8	GMII接收数据
gmii_rx_er_o	output	1	GMII接收错误
gmii_tx_clk_o	output	1	GMII发送时钟
gmii_tx_en_i	input	1	GMII发送使能
gmii_txd_i	input	8	GMII发送数据
gmii_tx_er_i	input	1	GMII发送错误
gmii_col_o	output	1	GMII冲突信号，此信号仅在半双工有效
gmii_crs_o	output	1	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	8	接收数据
rx_mac_last_o	output	1	接收最后字节指示
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	8	发送数据
tx_mac_last_i	input	1	发送最后字节指示
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

信号	方向	位宽	描述
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，代表对方需要暂停时间
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_rstn_i	input	1	Management模块复位输入（MAC层）
miim_phyadr_i	input	5	PHY地址（MAC层）
miim_regadr_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 1G Serial Ethernet IP 的各个静态参数。请参考表 5-1 所示。

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

名称	描述	选项
PHY Configuration		
Channel Selection	Lane 选择	● GW5AT-15 器件: Q0 Lane0, Q0 Lane1, Q0 Lane2, Q0 Lane3 ● GW5AT-60 器件: Q0 Lane0, Q0 Lane1, Q0 Lane2, Q0 Lane3 ● 其他器件: 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	● GW5AT-15 器件: Q0 REFCLK0, Q0 REFCLK1, Q0 REFIN, MCLK ● GW5AT-60 器件: Q0 REFCLK0, Q0 REFCLK1, Q0 REFCLK2, Q0 REFCLK3, Q0 REFIN0, Q0 REFIN1 ● 其他器件: 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
MAC Configuration		
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	用户输入, 范围 0~255

名称	描述	选项
	输入值	
AFE Configuration		
Differential Swing	配置发送差分信号摆幅 V_{diffpp} , $V_{diffpp}=2*V_{diff}$	900mV,852mV,804mV,756mV,708mV,660mV,612mV,564mV,516mV,468mV,420mV,372mV,324mV,276mV,228mV,180mV
FFE Mode	配置发送 FFE 模式, 有 Auto(自动模式)和 Manual(手动模式)两种	Auto, Manual
Cm	发送 FFE pre-cursor	用户输入, 范围 0~19
C0	发送 FFE main-cursor	自动计算, 范围 21~40
C1	发送 FFE p-cursor	用户输入, 范围 0~19
SD Threshold	接收差分信号 SD 门限	25mV,50mV,75mV,100mV,125mV,150mV,175mV,200mV
Equalization Mode	接收均衡模式, 有 Auto(自动模式)和 Manual(手动模式)两种	Auto, Manual
ATT	调整接收中频衰减, 数值越小表示衰减越大	用户输入, 范围 0~10
BOOST	调整接收高频放大, 数值越大表示增益越大	用户输入, 范围 0~15
BIAS	配置 SerDes 对接收信号的放大参数, 配置越高, 对信号的放大作用越强	用户输入, 范围 0~15

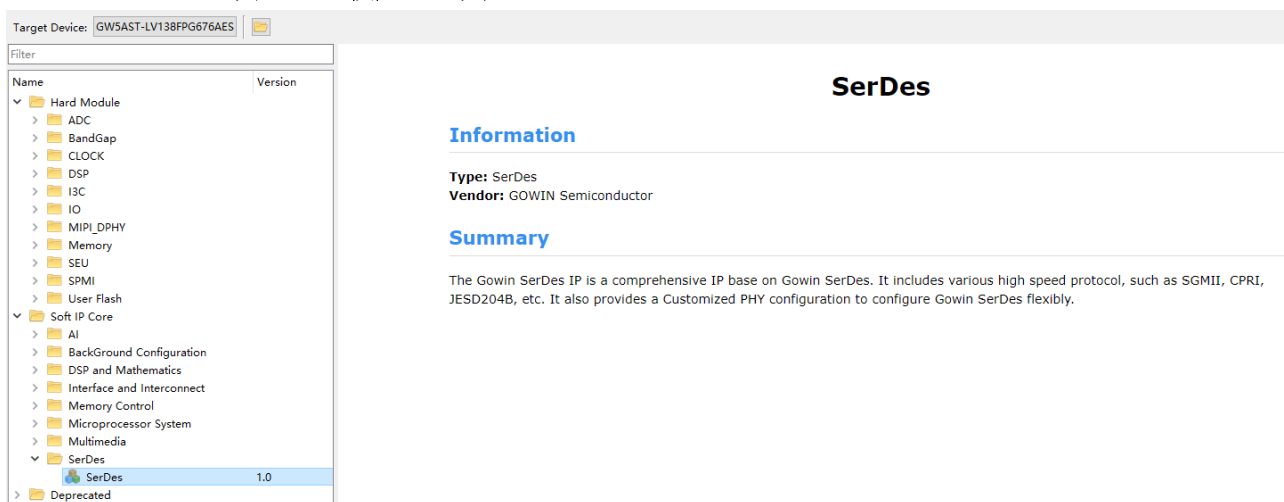
6 界面配置

用户可在 IDE 中通过 IP Core Generator 工具调用并配置 Gowin 1G 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。

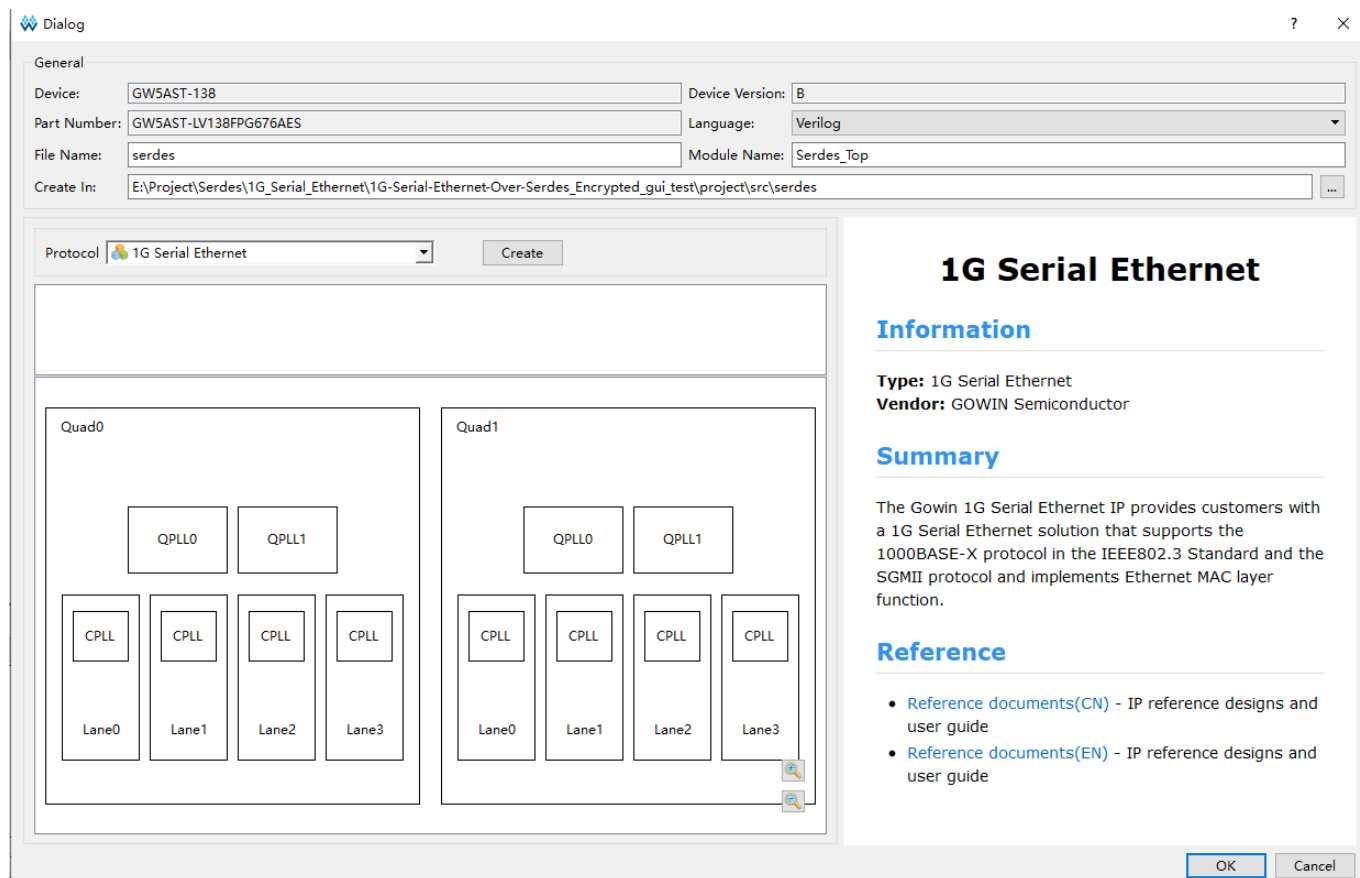
图 6-1 IP 核产生工具



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 1G Serial Ethernet IP 界面配置

在 SerDes IP 配置界面的“Protocol”选项中选择“1G Serial Ethernet”，点击右侧“Create”按钮打开 1G Serial Ethernet IP 配置界面。

配置界面左侧是 1G Serial Ethernet IP 的接口示意图，右侧是 1G Serial Ethernet IP 参数配置选项，其中包含 PHY Configuration 选项页、MAC Configuration 选项页和 AFE Configuration 选项页，分别如图 6-3、图 6-4、

图 6-5 所示，各个参数的含义如表 5-1 所示。

图 6-3 PHY Configuration 选项页

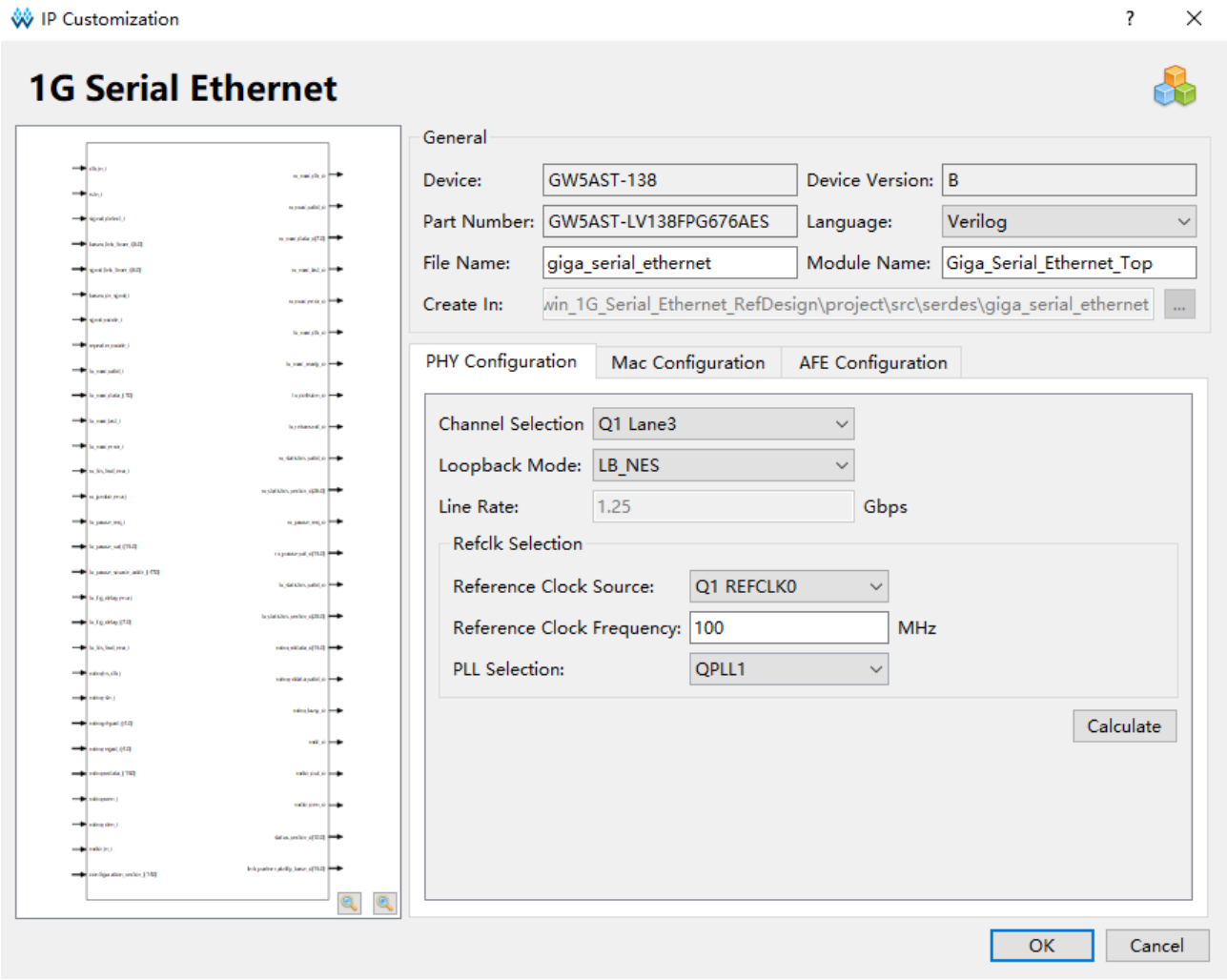
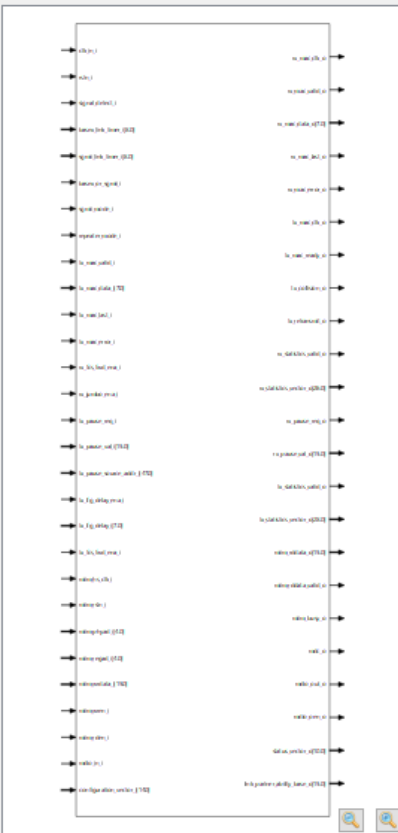


图 6-4 MAC Configuration 选项页

IP Customization

1G Serial Ethernet



General

Device: Device Version:

Part Number: Language:

File Name: Module Name:

Create In:

PHY Configuration **Mac Configuration** **AFE Configuration**

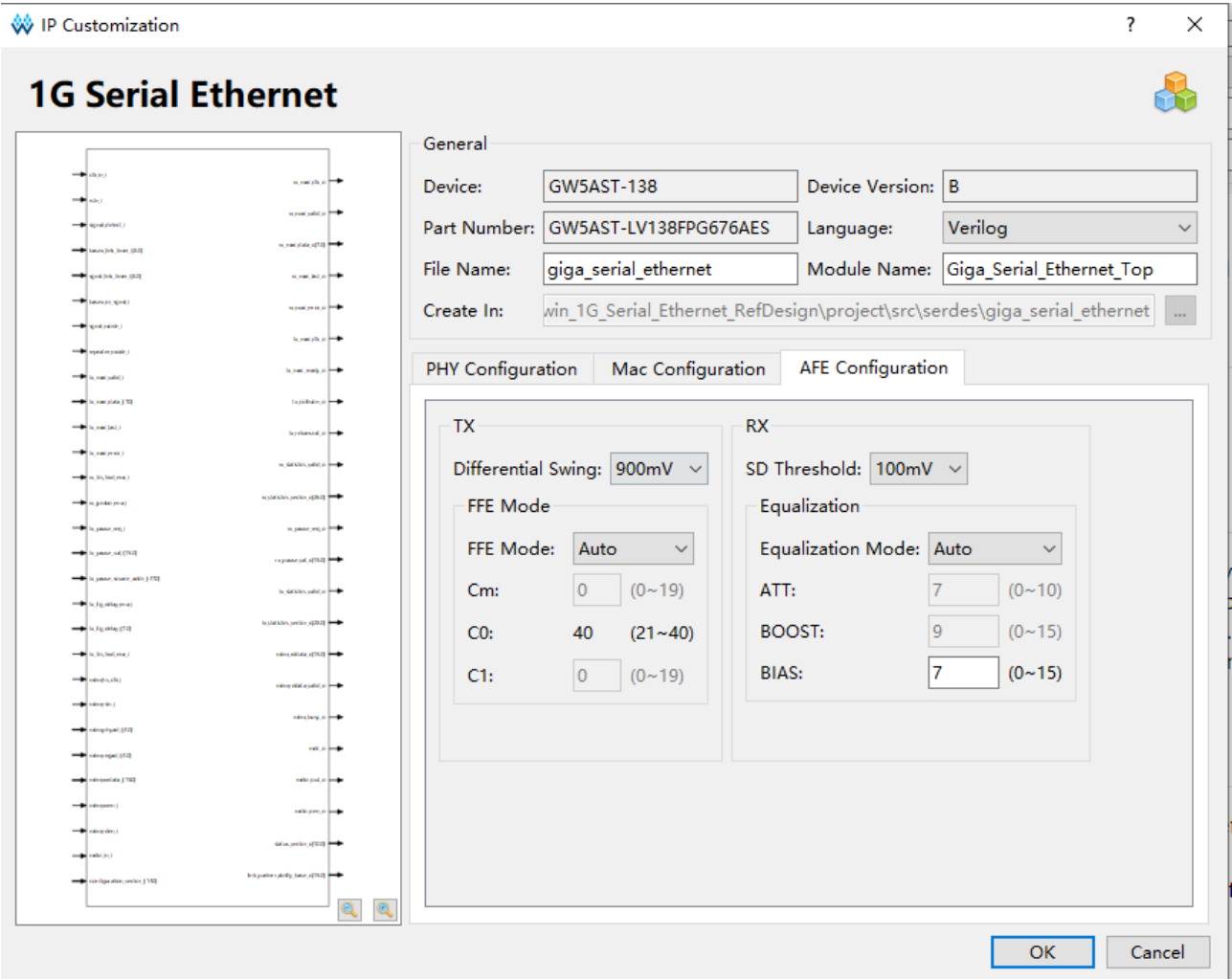
☒ Enable MAC

☐ Enable PHY MIIM

MIIM Clock Divider: (0~255)

OK Cancel

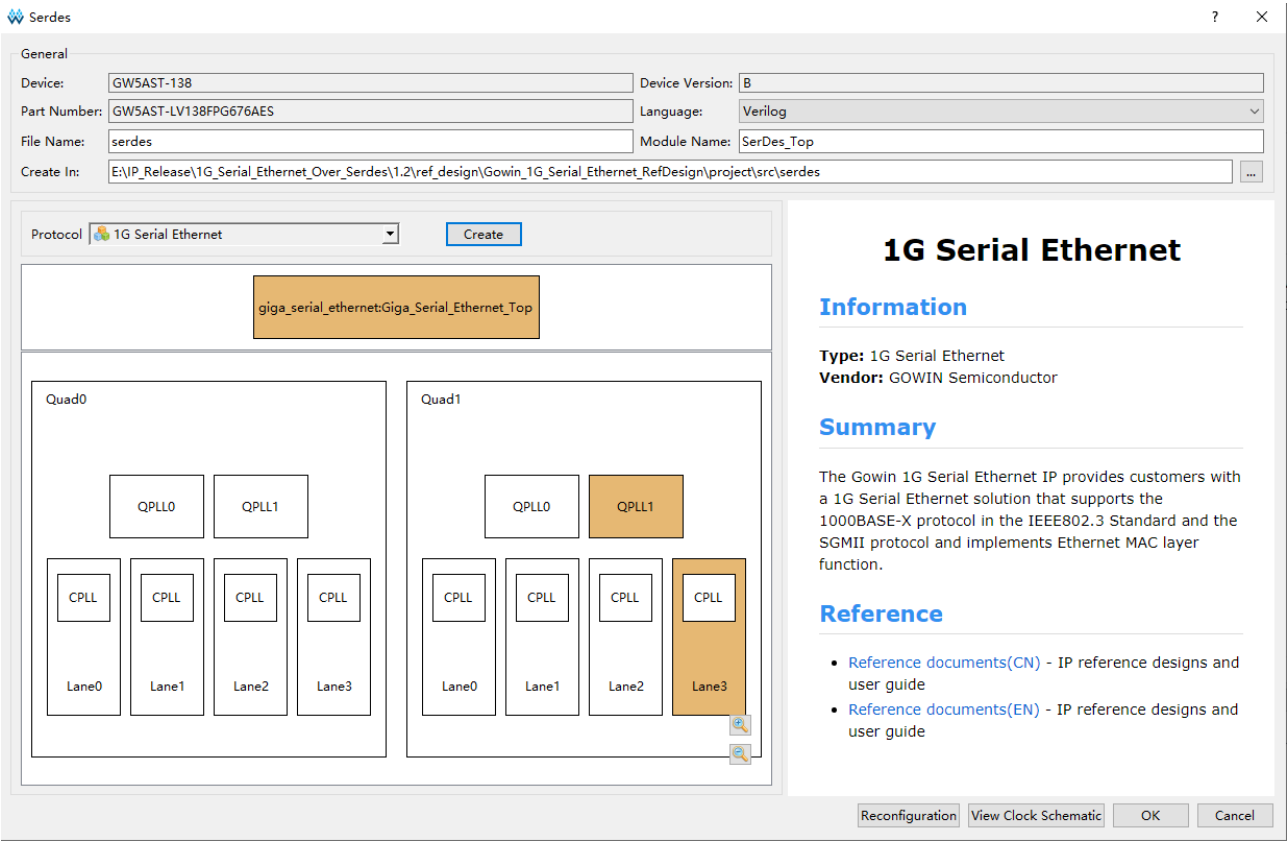
图 6-5 AFE Configuration 选项页



4. 生成 IP

完成 1G Serial Ethernet IP 界面配置后，点击界面右下角的“OK”按钮，可生成 1G 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 1G Serial Ethernet IP 及对应的 Quad、PLL 和 Lane 使用情况，如图 6-6 所示。

图 6-6 Serdes IP 配置界面显示 1G Serial Ethernet IP

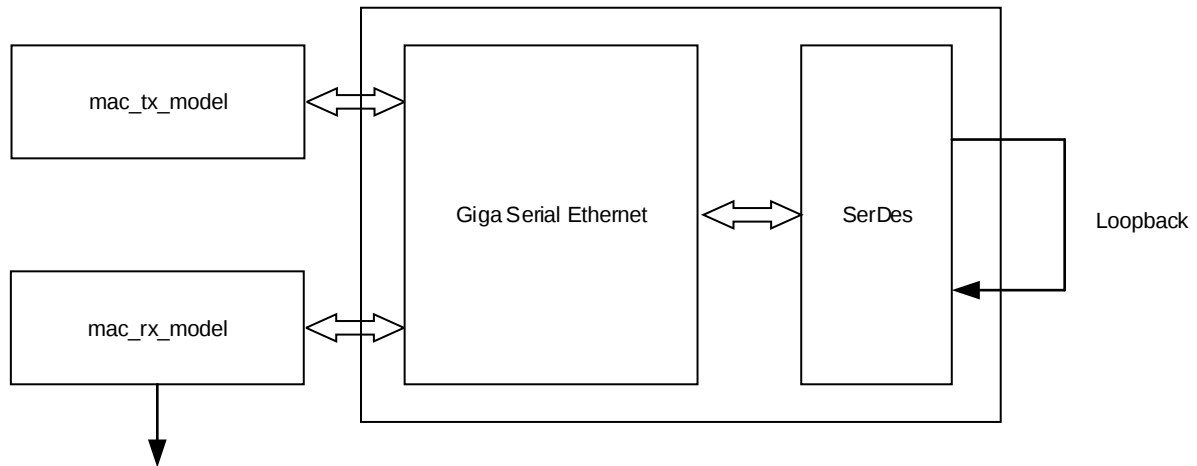


然后，点击界面右下角的“OK”按钮，可生成 SerDes IP 相关文件，完成整个 1G Serial Ethernet IP 的生成过程。

5. LED 灯 D1 作为信号 ip_complete 的状态显示，表示当前 1G Serial Ethernet IP 的自协商情况；
6. LED 灯 D2 作为信号 rx_error_all 的状态显示，表示当前 1G Serial Ethernet IP 的数据接收情况。

7.2 实现框图

图 7-2 参考设计实现框图



将 SerDes 的传输通道设置为环回模式，Giga Serial Ethernet 接收来自于 mac_tx_model 的传输数据，通过 SerDes 的 TX 接口环回到 SerDes 的 RX 接口，最终 Giga Serial Ethernet 再将环回的数据送给 mac_rx_model。主要模块如下：

- mac_tx_model 模块：交替传输非 VLAN 帧和 Pause 帧，帧内数据固定；
- mac_rx_model 模块：一直接收以太网数据，并分析接收的以太网数据是否正常，包数据大小、长度大小、CRC 校验等；
- Giga Serial Ethernet 模块：按照如图 6-3、图 6-4 和图 6-5 进行配置。

7.3 板级测试

7.3.1 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 1G Serial Ethernet IP 的 Channel Selection、Reference Clock Source、Reference Clock Frequency、PLL Selection 选项，并将复位信号、接收错误标识信号和 IP 自协商完成标识信号的引脚重新分配即可用于测试。

修改完成后，生成 Bit 文件，下载到 FPGA 中即可开始测试。

7.3.2 操作步骤

板级测试的操作步骤如下：

1. Bit 文件下载到 FPGA；
2. 查看 IP 自协商完成标识信号(ip_complete)对应的 LED 灯，若常亮则表示 1G Serial Ethernet IP 完成自协商过程，否则表示 1G Serial Ethernet IP 自协商失败，IP 运行异常；
3. 待确定自协商完成后，查看接收错误标识信号(rx_error_all) 对应的 LED 灯，若常亮则表示 1G Serial Ethernet IP 传输数据有误，否则表示 1G Serial Ethernet IP 传输一切正常。

8 文件交付

Gowin 1G 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
IPUG1021, Gowin 1G Serial Ethernet IP 用户指南	高云 1G 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 1G 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 1G Serial Ethernet IP 设计源代码列表

名称	描述
ge_pcs_wrap.v	IP 核顶层文件，给用户接口提供信息，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 1G Serial Ethernet IP RefDesign 文件夹主要包含 Gowin 1G 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 1G 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

名称	描述
fpga_project.cst	工程物理约束文件
fpga_project.sdc	工程时序约束文件
fpga_project.rao	工程GAO文件
giga_serial_ethernet.v	生成1G Serial Ethernet IP顶层文件，加密
serdes.v	SerDes原语以及1G Serial Ethernet IP顶层的例化
mac_rx_model.v	MAC层RX信号控制模块
mac_tx_model.v	MAC层TX信号控制模块

