

将 Microchip 桥接控制器与外部以太网 PHY 搭配使用

作者: Andrew Rogers
Microchip Technology Inc.

1.0 简介

Microchip 提供了多款可连接外部以太网 PHY 的 USB 转以太网桥接控制器和 PCIe® 转以太网桥接控制器，以便能够灵活使用不同的以太网标准，例如 BASE-T1（用于单路双绞线）或 BASE-X（用于光纤）。Microchip 有多款以太网 PHY 可供选择，另外还支持其他供应商的 PHY 产品，但前提是这些产品支持标准 MDIO 和 MII/RGMII 接口。

表 1: 支持外部 PHY 的 Microchip 以太网桥接控制器

产品	主机连接	最大以太网速度	MII	RMI	GMI	RGMII	推荐选择的 Microchip PHY	PHY 注释
LAN9500A	USB2.0	100 Mbps	X	—	—	—	KSZ8081MNX	10/100BASE-T 铜 PHY
			X	—	—	—	LAN8740A	10/100BASE-T 铜 PHY
			X	—	—	—	LAN8670/LAN8672	10BASE-T1S 铜 PHY
			X	—	—	—	LAN8770	100BASE-T1 铜 PHY
LAN89530 (汽车级)	USB2.0	100 Mbps	X	—	—	—	KSZ8081MNL	10/100BASE-T 铜 PHY
			X	—	—	—	LAN8770	100BASE-T1 铜 PHY
LAN9730	HSIC	100 Mbps	X	—	—	—	KSZ8081MNX	10/100BASE-T 铜 PHY
			X	—	—	—	LAN8740A	10/100BASE-T 铜 PHY
			X	—	—	—	LAN8670/LAN8672	10BASE-T1S 铜 PHY
			X	—	—	—	LAN8770	100BASE-T1 铜 PHY
LAN89730 (汽车级)	HSIC	100 Mbps	X	—	—	—	KSZ8081MNL	10/100BASE-T 铜 PHY
			X	—	—	—	LAN8770	100BASE-T1 铜 PHY
LAN7801	USB3.0	1000 Mbps	—	—	—	X	KSZ9131	10/100/1000BASE-T 铜 PHY
			—	—	—	X	VSC8541	10/100/1000BASE-T 铜 PHY
			—	—	—	X	LAN8770R	100BASE-T1 铜 PHY
LAN7431	PCIe 3.1	1000 Mbps	—	—	—	X	KSZ9131	10/100/1000BASE-T 铜 PHY
			—	—	—	X	VSC8541	10/100/1000BASE-T 铜 PHY
			—	—	—	X	LAN8770R	100BASE-T1 铜 PHY

AN4754

1.1 章节

本文档包含以下主题：

[第2.0章“执行摘要”](#)

[第3.0章“MII/RMII和GMII/RGMII”](#)

[第4.0章“MDIO”](#)

[第5.0章“PHY驱动程序”](#)

[第6.0章“硬件注意事项”](#)

[第7.0章“调试和开发工具”](#)

1.2 参考资料

使用本应用笔记时，应参考以下文档。请咨询您的Microchip代表以获取这些文档。

- *LAN9500A Data Sheet* (www.microchip.com/DS00001875)
- *LAN89530 Data Sheet* (www.microchip.com/DS60001347)
- *LAN9730 Data Sheet* (www.microchip.com/DS00001946)
- *LAN89730 Data Sheet* (www.microchip.com/DS60001348)
- 《LAN7801数据手册》 (www.microchip.com/DS00002123)
- 《LAN7431数据手册》 (www.microchip.com/DS00002631)
- IEEE 802.3以太网标准（一系列标准）

1.3 术语和缩写

- **10/100**: 支持10 Mbps和100 Mbps信号速率的以太网接口的简写
- **10/100/1000**: 支持10 Mbps、100 Mbps和1000 Mbps信号速率的以太网接口的简写
- **10BASE-T**: IEEE 802.3i-1990（CL14）中定义的10 Mbps标准，需使用双路Cat3双绞线
- **10BASE-T1**: IEEE 802.3cg-2019中定义的10 Mbps标准，需使用单路Cat5双绞线
- **100BASE-TX**: IEEE 802.3u-1995中定义的100 Mbps标准，需使用双路Cat5双绞线
- **100BASE-T1**: IEEE 802.3bw-2015（CL96）中定义的100 Mbps标准，需使用单路Cat5e双绞线
- **100BASE-X**: 该术语用于描述一系列使用光纤的100 Mbps标准
- **1000BASE-T**: IEEE 802.3ab-1999（CL40）中定义的1000 Mbps标准，需使用四路Cat5双绞线
- **1000BASE-T1**: IEEE 802.3bp-2016中定义的1000 Mbps标准，需使用单路Cat6A双绞线
- **1000BASE-X**: 该术语用于描述一系列使用光纤的1000 Mbps标准
- **GigE**: 支持1000 Mbps信号速率的千兆位以太网的简写
- **GMII**: 千兆位介质无关接口
- **HSIC**: 高速芯片间互连（USB）
- **MAC**: 介质访问控制
- **MDIO**: 管理数据输入/输出
- **MII**: 介质无关接口
- **PCIE 3.1**: 外设组件互连Express v3.1
- **PHY**: 以太网收发器的简写术语；既可以是独立的分立器件，也可以直接集成到以太网控制器中
- **RMII**: 精简的介质无关接口
- **RGMII**: 精简的千兆位介质无关接口
- **SFP**: 小尺寸可插拔
- **USB2.0**: 通用串行总线版本2.0
- **USB3.0**: 通用串行总线版本3.0

2.0 执行摘要

将Microchip桥接控制器产品与外部PHY搭配使用时，以下几点至关重要：

- 选择符合最终产品速度和必要功能集要求的PHY。
- 如果使用PHY的特殊功能（PTP和MACsec等），应确保PHY供应商提供并支持目标操作系统所需的驱动程序。如果未提供驱动程序，通常可使用Linux®或Windows®操作系统中包含的通用PHY驱动程序来控制PHY，但无法通过这些驱动程序设置特殊功能和配置。
- 确保PHY MII接口与Microchip桥接控制器上提供的MII/RGMII接口相匹配。例如，支持MII的MAC无法连接到只支持RMII的PHY。
- 尽可能在原理图中连接MDIO接口——使用该接口可以轻松对PHY进行控制和配置，并且在使用特殊PHY功能时通常也需要该接口。

注 1： 如果实在无法使用MDIO也无妨，只是会有诸多不便之处，通常不推荐。

- 根据针对特定Microchip桥接控制器或PHY提供的设计/布线/放置检查清单，验证原理图设计和布局设计。请参见第6.2节“其他产品特定资源”。
- 以太网桥接控制器必须由终端系统集成商配置。关于产品特定的配置工具，请访问所选以太网桥接控制器的产品网页。特别注意以下几个方面：
 - **MAC地址：** 对于连接到互联网的系统，必须为每个桥接控制器设定唯一的MAC地址。MAC地址应从IEEE获取。
 - **MII/RGMII TX和RX时钟延时：** 确保在PCB设计、MAC配置和/或PHY配置中考虑到TX和RX时钟延时。
- 所选PHY也可能需要自定义配置。为此，不同的PHY通过不同的方式来实现。有些PHY可能仅通过由通用PHY驱动程序控制的MDIO进行配置。其他PHY可能有许多硬件配置脚选项。
- 以太网桥接控制器的OTP或EEPROM必须在最终产品生产线上进行编程。对于Linux，这可以使用ethtool来实现。对于Windows，Microchip提供了产品特定的编程工具。
- 了解以太网MAC和PHY实际功能的基础知识。表2用最简单的术语列出了这些知识点：

表2: 以太网MAC和PHY功能

以太网MAC功能	以太网PHY功能
<p>发送：封装数据：</p> <ul style="list-style-type: none">• 添加报头数据（包括地址）• 添加CRC• 添加前导码（包括帧起始定界符）• 确保帧间隔 <p>接收：检测无效帧：</p> <ul style="list-style-type: none">• CRC错误• 帧过短• 巨型帧（如果不支持巨型帧）• 帧未对齐• 地址不匹配	<p>物理编码子层（Physical Coding Sublayer, PCS）：</p> <ul style="list-style-type: none">• 发送：<ul style="list-style-type: none">- 编码- 加扰- 将数据串化• 接收：<ul style="list-style-type: none">- 将数据解串化- 解扰- 解码- 载波侦听- 冲突检测 <p>物理介质附件（Physical Media Attachment, PMA）子层：</p> <ul style="list-style-type: none">• 发送：<ul style="list-style-type: none">- 数据位到数据符号的转换• 接收：<ul style="list-style-type: none">- 时钟恢复- 数据符号到数据位的转换- 链路监视 <p>物理介质相关（Physical Medium Dependent, PMD）子层：</p> <ul style="list-style-type: none">• 取决于PHY支持的标准• 线路驱动器/线路接收器

3.0 MII/RMII和GMII/RGMII

将以太网MAC连接到PHY时，有多种介质无关接口（Media-Independent Interface, MII）可供选择。Microchip的桥接控制器支持用于10/100以太网连接的MII或用于10/100/1000以太网连接的精简的千兆位介质无关接口（Reduced Gigabit Media-Independent Interface, RGMII）。此外，Microchip还提供支持所有精简的介质无关接口（Reduced Media-Independent Interface, RMII）和千兆位介质无关接口（Gigabit Media-Independent Interface, GMII）的PHY和以太网交换芯片。

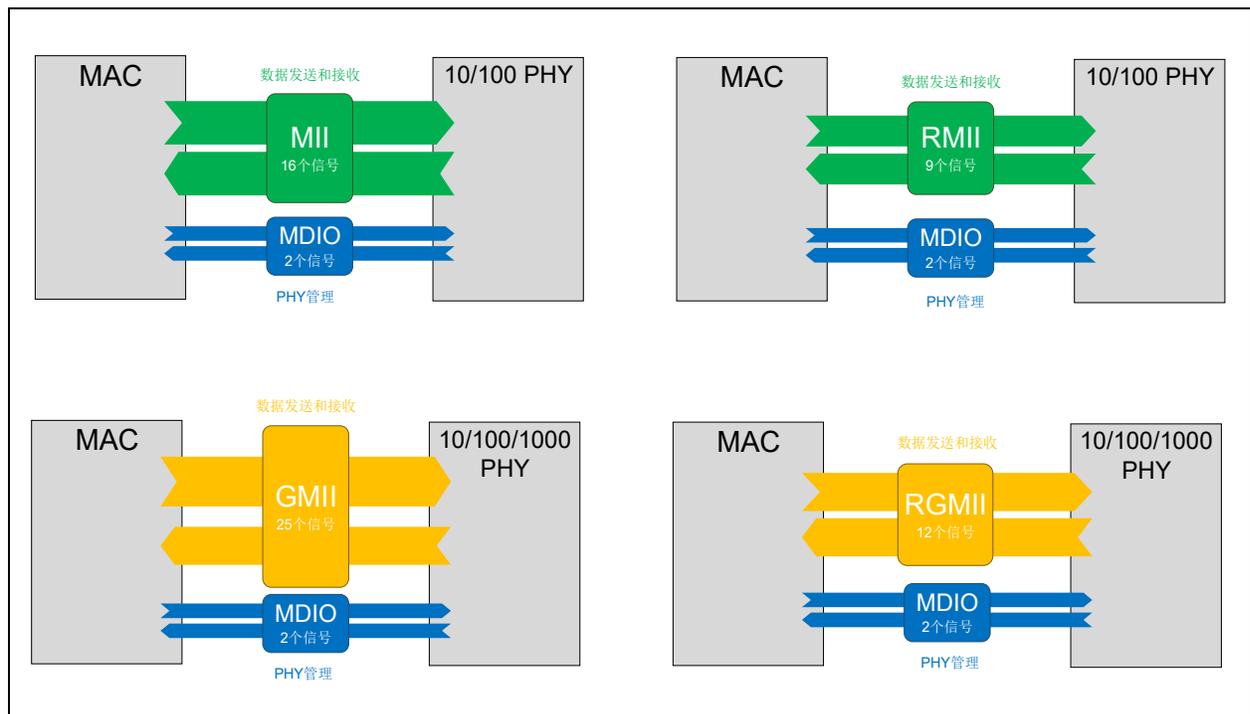
MII/RMII/GMII/RGMII接口可用于控制在各种双绞线或光纤规范下工作的PHY。主要区别如下：

- MII和RMII最高支持100 Mbps
- RMII是MII的低引脚数版本
- GMII和RGMII最高支持1000 Mbps
- RGMII是GMII的低引脚数版本

管理数据输入/输出（MDIO）是一种双线总线，允许控制器根据需要对PHY进行配置。该通道允许主机查询和设置重要的PHY参数（例如，使能/禁止自动协商和自动MDIX等）。从技术上讲，MDIO属于可选项，只要MAC与PHY都能通过其他方式完成所需配置来配合工作，设计系统时就可以不使用MDIO。

注： SFP模块没有MDIO接口，因此从技术上讲，无需MDIO也能正常工作。但是，SFP模块遵循基于I²C通道的独立管理标准。

图1： MII和RMII接口



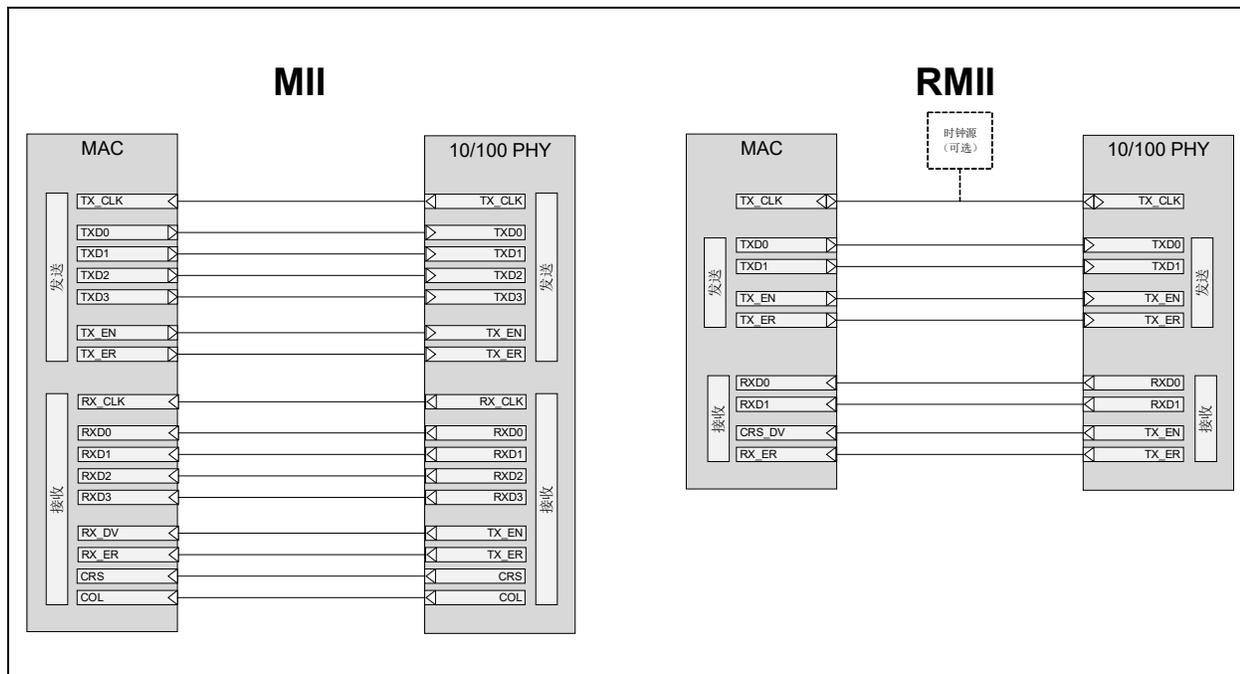
AN4754

3.1 MII/RMII

II是专为媒体访问控制（Media Access Control，MAC）与PHY之间的100 Mbps以太网而设计的标准连接。RMII是后来推出的，在保留II接口全部功能的前提下减少了引脚数。

注： Microchip 不提供任何支持RMII的桥接控制器。出于完整性考虑，本文档展示了RMII的详细信息。

图2： MII和RMII接口



3.1.1 MII信号详细信息

II具有以下基本属性：

- TX_CLK和RX_CLK是对应各自方向（发送和接收）的独立时钟。两者均由PHY驱动。
- 在100 Mbps模式下，时钟频率为25 MHz；在10 Mbps模式下，时钟频率为2.5 MHz。
- 发送和接收方向都有四个数据信号（即，宽度为4位）。
- 在时钟上升沿对数据线进行采样。

表3对II信号进行了说明。

表3： MII信号

方向	信号名称	说明
PHY → MAC	TX_CLK	发送时钟 自由运行的2.5 MHz（在10 Mbps模式下）或25 MHz（在100 Mbps模式下）时钟。
MAC → PHY	TXD[0:3]	发送数据位信号 （四个独立的并行信号）
MAC → PHY	TX_EN	发送使能 该信号在帧发送期间置为有效。

表3: MII信号 (续)

方向	信号名称	说明
MAC → PHY	TX_ER	发送错误 该信号可在帧发送期间置为有效，以通知PHY 故意破坏帧。这样做是为了使帧的接收方能够检测到该数据包已损坏。在帧发送过程中检测到问题的情况下，该信号在某种程度上可用作“帧中止”功能。 根据规范，该信号为可选项。
PHY → MAC	RX_CLK	接收时钟 自由运行的2.5 MHz（在10 Mbps 模式下）或25 MHz（在100 Mbps 模式下）时钟
PHY → MAC	RXD[0:3]	发送数据位信号 （四个独立的并行信号）
PHY → MAC	RX_DV	接收数据有效 在接收到的数据有效时置为有效。由于将信号置为有效存在些许延时，因此一些前导码位可能会丢失，但置为有效的速度必须足够快才能确保MAC 接收到帧起始定界符字节。
PHY → MAC	RX_ER	接收错误 置为有效表明接收到的数据未正确解码。
PHY → MAC	CRS	载波侦听 当PHY 处于以下状态时，该信号置为有效： • 发送 • 接收 • 其他被视为“正在使用”的状态 该信号与RX_CLK 异步。
PHY → MAC	COL	冲突检测 当检测到冲突时，该信号置为有效。 该信号与RX_CLK 异步。

3.1.2 RMII 信号详细信息

与MII相比，RMII的总引脚数有所减少，功能保持不变。具体变化包括：

- TX_CLK与RX_CLK合并为单个时钟信号REF_CLK。时钟源非常灵活，既可以由MAC提供给PHY、也可以由PHY提供给MAC，还可以使用外部源。这样，便可向多端口系统中的多个PHY提供单个时钟源。
- 在100 Mbps 模式下，时钟频率加倍至50 MHz。
- 数据信号TXD和RXD从四个减少到两个。
- 接收数据有效（RX_DV）与载波侦听（CRS）信号合并为一个信号RX_DV。
- 冲突检测（COL）信号被删除。

注： Microchip 不提供任何支持RMII的桥接控制器。出于完整性考虑，本文档展示了RMII的详细信息。

表4对RMII信号进行了说明。

表4: RMII信号

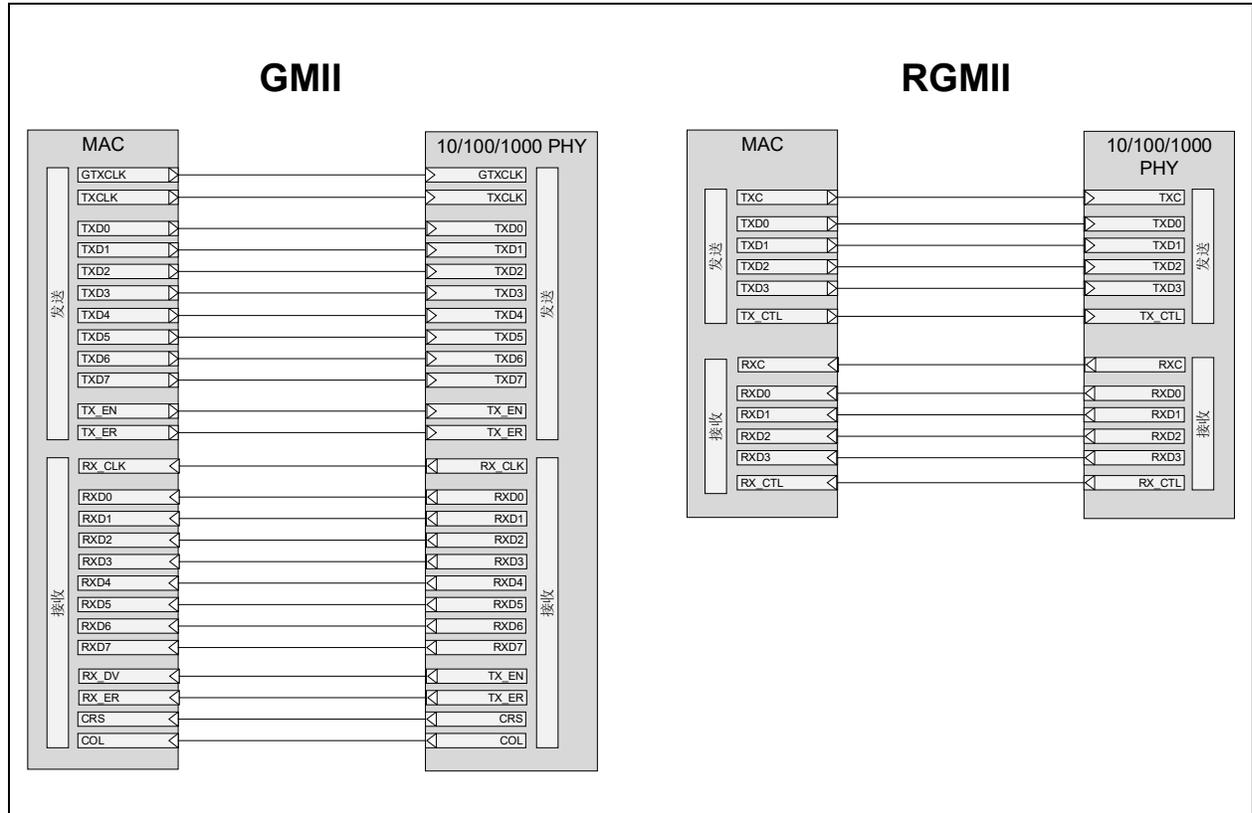
方向	信号名称	说明
MAC → PHY、 PHY → MAC或 从外部提供	TX_CLK	发送和接收时钟 自由运行的5 MHz（在10 Mbps模式下）或50 MHz（在100 Mbps模式下）时钟
MAC → PHY	TXD[0:1]	发送数据位信号 （两个独立的并行信号）
MAC → PHY	TX_EN	发送使能 该信号在帧发送期间置为有效。
MAC → PHY	TX_ER	发送错误 该信号可在帧发送期间置为有效，以通知PHY故意破坏帧。这样做是为了使帧的接收方能够检测到该数据包已损坏。在帧发送过程中检测到问题的情况下，该信号在某种程度上可用作“帧中止”功能。根据规范，该信号为可选项。
PHY → MAC	RXD[0:1]	接收数据位信号 （两个独立的并行信号）
PHY → MAC	CRS_DV	载波侦听和接收数据有效 100 Mbps模式：载波侦听（CRS）信号与接收数据有效（RX_DV）信号每隔一个时钟周期交替使用。 10 Mbps模式：载波侦听（CRS）信号与接收数据有效（RX_DV）信号每隔10个时钟周期交替使用。 当PHY处于以下状态时，载波侦听信号置为有效： <ul style="list-style-type: none"> • 发送 • 接收 • 其他被视为“正在使用”的状态 接收数据有效信号在接收到的数据有效时置为有效。由于将信号置为有效存在些许延时，因此一些前导码位可能会丢失，但置为有效的速度必须足够快才能确保MAC接收到帧起始定界符字节。
PHY → MAC	RX_ER	接收错误 置为有效表明接收到的数据未正确解码。

3.2 GMII/RGMII

GMII的推出旨在提高速度以支持1000 Mbps以太网。RGMII是后来推出的，在保留GMII接口全部功能的前提下减少了引脚数。

注： Microchip不提供任何支持GMII的桥接控制器。出于完整性考虑，本文档展示了GMII的详细信息。

图3: GMII和RGMII接口



3.2.1 GMII信号详细信息

GMII最高可实现1000 Mbps以太网。相较于MII/RMII的变化包括：

- 添加了千兆位发送专用时钟GTX_CLK。
- 在1000 Mbps模式下，时钟频率为125 MHz；在100 Mbps模式下，时钟频率为25 MHz；在10 Mbps模式下，时钟频率为2.5 MHz。
- 发送和接收方向都有八个数据信号（即，宽度为8位）。

表5对GMII信号进行了说明。

注： Microchip不提供任何支持GMII的桥接控制器。出于完整性考虑，本文档展示了GMII的详细信息。

表5: GMII信号

方向	信号名称	说明
MAC → PHY	GTX_CLK	用于 1000 Mbps 连接的时钟信号 始终为125 MHz
MAC → PHY	TX_CLK	用于 10/100 Mbps 连接的时钟信号
MAC → PHY	TXD[7:0]	发送数据位信号 (八个独立的并行信号)
MAC → PHY	TX_EN	发送使能 该信号在帧发送期间置为有效。
MAC → PHY	TX_ER	发送错误 该信号可在帧发送期间置为有效，以通知PHY故意破坏帧。这样做是为了使帧的接收方能够检测到该数据包已损坏。在帧发送过程中检测到问题的情况下，该信号在某种程度上可用作“帧中止”功能。 根据规范，该信号为可选项。
PHY → MAC	RX_CLK	接收信号时钟
PHY → MAC	RXD[7:0]	接收数据位信号（8个独立的并行信号）。
PHY → MAC	RX_DV	接收数据有效 在接收到的数据有效时置为有效。由于将信号置为有效存在些许延时，因此一些前导码位可能会丢失，但置为有效的速度必须足够快才能确保MAC接收到帧起始定界符字节。
PHY → MAC	RX_ER	接收错误 置为有效表明接收到的数据未正确解码。
PHY → MAC	COL	(仅限半双工连接) 冲突检测 当检测到冲突时，该信号置为有效。
PHY → MAC	CRS	(仅限半双工连接) 载波侦听 当PHY处于以下状态时，该信号置为有效： <ul style="list-style-type: none"> • 发送 • 接收 • 其他被视为“正在使用”的状态

3.2.2 RGMII信号详细信息

与GMII相比，RGMII的总引脚数有所减少，功能保持不变。具体变化包括：

- GTX_CLK被移除。
- 时钟频率与GMII中的相同，但数据在时钟的上升沿和下降沿均进行采样。
- 数据信号TXD和RXD从八个减少到四个。
- 接收数据有效（RX_DV）与接收错误（RX_ER）信号合并为一个信号RX_CTL。
- 冲突检测（COL）信号和载波侦听（CRS）信号被删除。

表6对RGMII信号进行了说明。

表6: RGMII信号

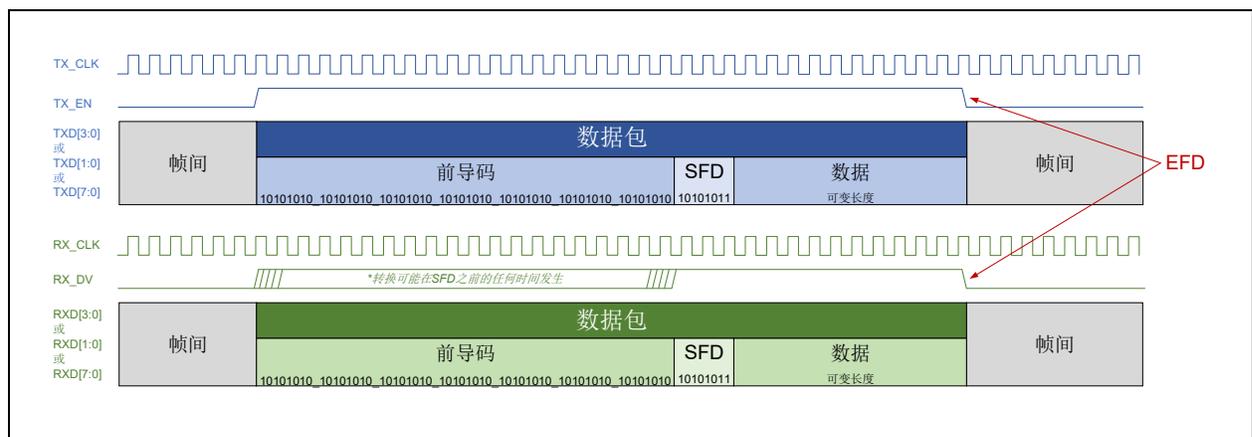
方向	信号名称	说明
MAC → PHY	TXC	发送信号时钟
MAC → PHY	TXD[3:0]	发送数据位信号 (四个独立的并行信号)
MAC → PHY	TX_CTL	发送使能与发送错误复用 发送使能 该信号在帧发送期间置为有效。 发送错误 该信号可在帧发送期间置为有效，以通知PHY故意破坏帧。这样做是为了使帧的接收方能够检测到该数据包已损坏。在帧发送过程中检测到问题的情况下，该信号在某种程度上可用作“帧中止”功能。 根据规范，该信号为可选项。
PHY → MAC	RXC	接收信号时钟
PHY → MAC	RXD[3:0]	接收数据位信号 (四个独立的并行信号)
PHY → MAC	RX_CTL	接收数据有效与接收错误复用 接收数据有效 在接收到的数据有效时置为有效。由于将信号置为有效存在些许延时，因此一些前导码位可能会丢失，但置为有效的速度必须足够快才能确保MAC接收到帧起始定界符字节。 接收错误 置为有效表明接收到的数据未正确解码。

3.3 MII/RMII/GMII/RGMII数据包格式

MI/RMII/GMII/RGMII在发送频率和引脚数上有所不同，但通常都遵循相同的数据包发送结构。图4给出了MI/RMII数据包基本组成部分的简要示例。

注： 时钟波形未按比例显示，数据包发送期间发生的时钟振荡次数比图中所示的要多得多。

图4: MII数据包格式（简化）



AN4754

3.3.1 前导码

每一帧都以7个八位字节（交替出现的1和0）构成的前导码开始。前导码中不包含可用数据。

3.3.2 帧起始定界符

帧起始定界符（**Start of Frame Delimiter, SFD**）位于前导码之后。其长度为一个八位字节，其中前六位为交替出现的1和0，最后两位均为1。

3.3.3 数据

帧中的数据由N个八位字节数据组成。N的大小取决于传输的底层协议。请注意，MII没有明确包含任何上下文或错误校验部分。这部分由控制器/MAC处理。

3.3.4 帧结束定界符

帧结束定界符不是八位字节模式，而是通过将TX_EN（对于发送情况）或RX_DV（对于接收情况）置为无效来进行指示。

3.3.5 帧间——发送

在正常帧间期间，TX_CLK继续运行，但TX_EN和TX_ER均置为无效。数据信号变为“无关”，可以是全0、全1或者1和0的任何其他组合。

3.3.6 帧间——接收

在正常帧间期间，RX_CLK继续运行，但RX_DV和RX_ER均置为无效。数据信号变为“无关”，可以是全0、全1或者1和0的任何其他组合。

如果RX_ER = 1且RX_DV = 0，则可以在数据线上对“将LPI置为有效”或“假载波指示”进行编码。

4.0 MDIO

MDIO是一种双线串行总线，其电气特性与I²C/SMBus非常相似。使用MDIO，可以通过一条完全独立于MII/RMII/GMII/RGMII异步运行的边带通道来管理PHY。通过读取或写入一组标准寄存器来实现对PHY的管理。MDIO用作MII、RMII、GMII和RGMII的边带通道。

4.1 电气接口

MDIO总线有两个信号：

- 管理数据时钟（Management Data Clock, MDC）
- 管理数据输入/输出（Management Data Input/Output, MDIO）

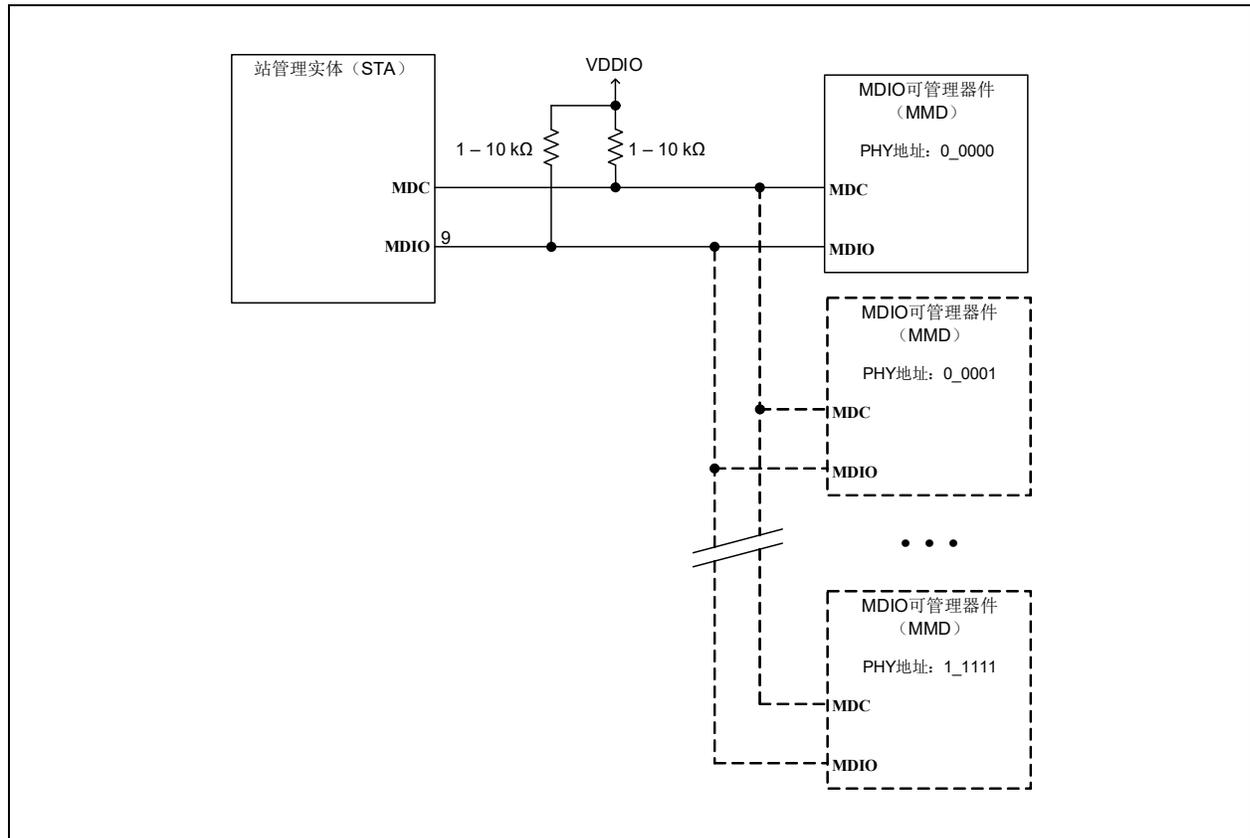
MDIO总线的控制器称为站管理实体（Station Management Entity, STA）。一条总线上只能有一个STA。STA负责发起所有通信并控制时钟（MDC信号）。

目标称为MDIO可管理器件（MDIO Manageable Device, MMD），其中每条总线上最多可以有32个器件。每个MMD必须具有自己唯一的5位地址。

MDIO是一个漏极开路电气接口（类似于I²C/SMBus），需要通过外接上拉电阻连接到支持的I/O电压。选择上拉电阻的值时必须保证信号时序，同时考虑总线上的器件总数、器件固有的引脚泄漏电流，以及PCB布线（走线长度和阻抗）。

MDC频率最高为2.5 MHz（或最小周期为400 ns），但最新的STA和MMD可支持更高的速度。

图5： MDIO 电气/原理图



4.2 Clause 22 协议

MDIO 最初在 IEEE802.3 规范的 Clause 22 中定义。MDIO 接口最多可在一条总线访问 32 个 PHY 器件。每个 PHY 器件可以有 32 个寄存器用于控制和配置，例如：

- 链路连接状态
- 支持的速度（10/100/1000 和全双工/半双工）
- 速度选择
- 自动协商使能/禁止和通告配置
- 低功耗支持
- 全双工/半双工模式
- 故障指示
- PHY 软复位
- 环回/冲突测试等测试模式
- PHY 标识（组织唯一标识符（Organizationally Unique Identifier, OUI）、型号和版本号）

Clause 22 协议遵循严格的数据包格式，即长度始终为 64 位（32 位前导码 + 32 位数据包内容）。有关 Clause 22 数据包的信息，请参见表 7。

表 7: Clause 22 帧格式

符号	名称	宽度 (位)	注
PRE_32	前导码	32	MDIO 在整个持续时间内保持 “1b”。MDC 在整个持续时间内持续振荡。
ST	帧起始	2	根据 Clause 22 中的规定，始终为 “01b”
OP	操作码	2	“01b” 为写操作 “10b” 为读操作
PHYADR5	PHY 地址	5	目标 PHY 地址值 支持 0_0000b 至 1_1111b 范围内的所有可能值。
REGADR5	SMI 寄存器地址	5	请参见第 4.5 节 “标准 SMI 寄存器”
TA	周转	2	读操作期间总线所有权从 STA 更改为 MMD 的周转时间
DATA	数据有效负载	16	写操作： • MDIO 由 STA 驱动 • MDC 由 STA 驱动 读操作： • MDIO 由 MMD 驱动 • MDC 由 STA 驱动

信号电压可以是 5V 或 3.3V。

MDIO 由 STA 驱动时的建立时间/保持时间：

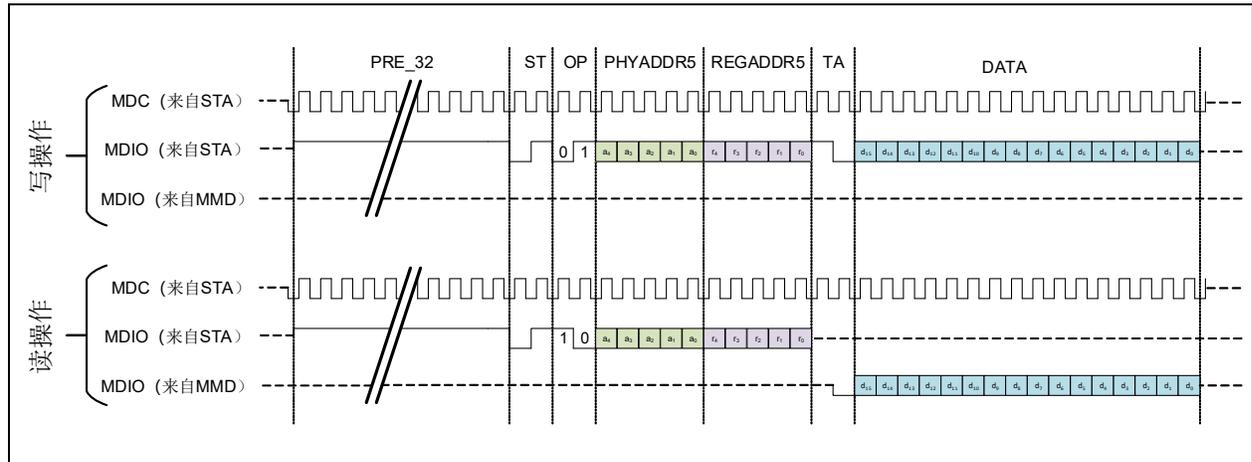
- 建立时间：10 ns
- 保持时间：10 ns

MDIO 由 MMD 驱动时的建立时间/保持时间：

- 建立时间：0 ns
- 保持时间：300 ns

PHY地址、SMI寄存器地址和数据有效负载始终先发送最高有效位（Most Significant Bit, MSb）。

图6: MDIO Clause 22数据包（写操作和读操作）



4.3 Clause 45协议

IEEE 802.3ae 规范引入了 Clause 45 寄存器访问，以实现 10 Mbps 及更高速度的千兆位 PHY 所需的寄存器大幅扩展。Clause 45 的主要特性包括：

- 最多 32 个器件（与 Clause 22 相同）
- 最多 32 个不同的器件 ID（允许 MDIO 访问 PHY 之外的其他器件）
- 每个 PHY/器件上最多 65,536 个寄存器（32 位寄存器地址）
- MDIO 上支持 1.2V I/O
- 故障指示
- 额外的环回功能

Clause 45 增加了两个新的操作码并更改了寄存器寻址的方法。寄存器读/写访问现在至少需要分两步完成。这样，Clause 45 还能保持向后兼容 Clause 22。

新增的“地址”操作码用于设置 32 位地址指针，后续需要一条针对所设置的地址指针的读命令或写命令。

新增的“读取-递增-地址”操作码用于自动将地址指针递增 1，以便后续读命令可以从下一个地址检索数据。

Clause 22 的地址字段替换为器件类型字段，以允许 MDIO 访问和控制以太网 PHY 之外的多种器件。

Clause 45 协议遵循与 Clause 22 相同的固定长度帧格式，即长度始终为 64 位（32 位前导码加上 32 位数据包内容）。有关 Clause 45 数据包的详细信息，请参见表 8。

表8: Clause 45 帧格式

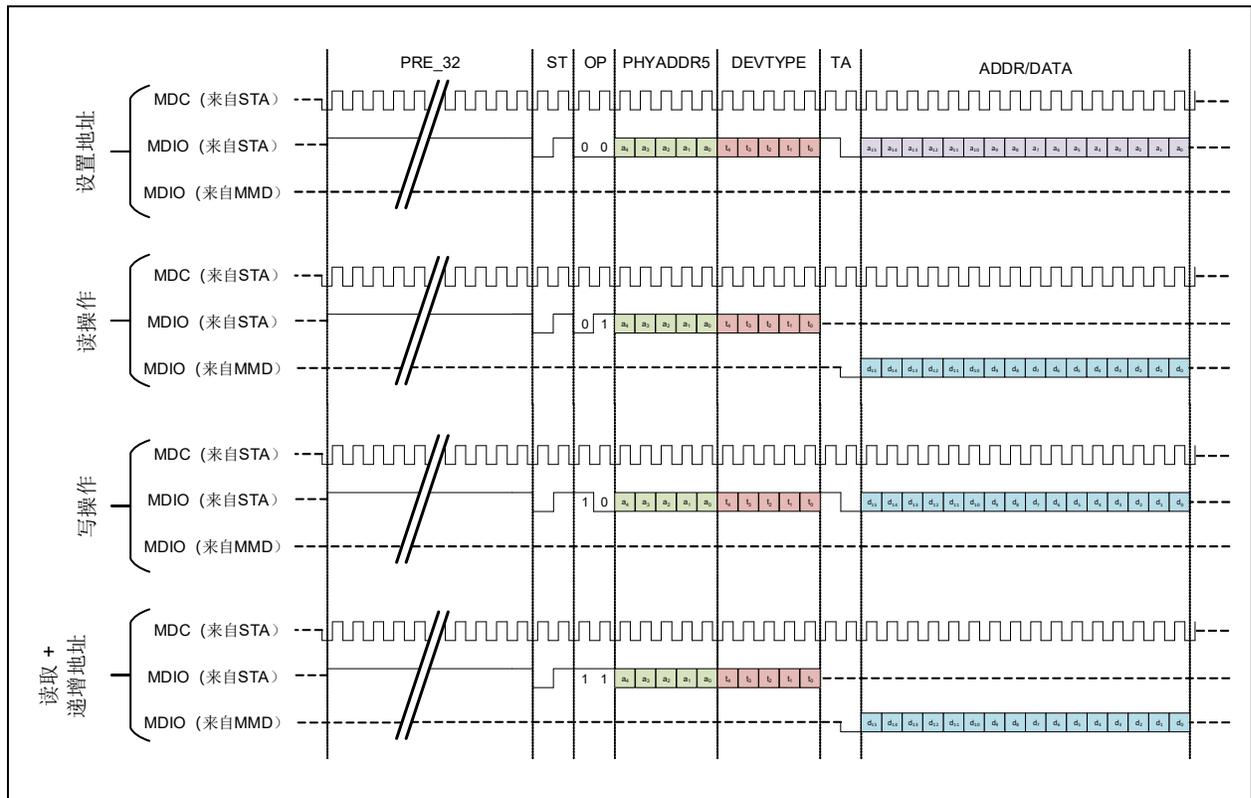
符号	名称	宽度 (位)	注
PRE_32	前导码	32	MDIO 在整个持续时间内保持“1b”。 MDC 在整个持续时间内持续振荡。
ST	帧起始	2	根据 Clause 22 中的规定，始终为“01b”
OP	操作码	2	“00b”为地址 “01b”为写操作 “10b”为读操作 “11b”为“读取-递增-地址”
PHYADR5	PHY 地址	5	目标 PHY 地址值。支持 0_0000b 至 1_1111b 范围内的所有可能值。

AN4754

表8: Clause 45 帧格式 (续)

符号	名称	宽度 (位)	注
DEVTYPE	器件类型	5	器件类型/器件地址 允许在MDIO总线上访问PHY之外的其他器件。最多可支持32个不同的器件地址。
TA	周转	2	读操作期间总线所有权从STA更改为MMD的周转时间
DATA	数据有效负载	16	请参见第4.5节“标准SMI寄存器” 当操作码 = “00b” 时, 该字段包含目标寄存器地址。 当操作码 = “10b” - “11b” 时, 该字段包含数据有效负载。 地址: • MDIO由STA驱动 • MDC由STA驱动 写操作: • MDIO由STA驱动 • MDC由STA驱动 读操作: • MDIO由MMD驱动 • MDC由STA驱动 读取-递增-地址: • MDIO由MMD驱动 • MDC由STA驱动

图7: MDIO Clause 45数据包 (写操作和读操作)



4.4 通过 Clause 22 寄存器访问 Clause 45 寄存器

如果 MAC 并不直接支持 Clause 45 协议，但 PHY 支持 Clause 45 寄存器，则标准 Clause 22 SMI 寄存器 13 和 14 可以访问扩展的 Clause 45 寄存器空间。这些寄存器包括：

- MMD 访问控制
- MMD 访问地址数据

4.4.1 通过 Clause 22 寄存器写入 Clause 45 寄存器

按照以下步骤允许 Clause 22 寄存器对 Clause 45 寄存器进行写访问：

1. 寄存器 13: 将“功能”设置为 00b (地址) 并将“DEVAD”位域设置为所选器件地址。
2. 寄存器 14: 将“地址数据”设置为目标 Clause 45 寄存器地址。
3. 寄存器 13: 将“功能”设置为 01b (数据, 不后递增) 并将“DEVAD”位域设置为所选器件地址 (与步骤 1 相同)。
4. 寄存器 14: 将“地址数据”设置为需要写入目标 Clause 45 寄存器的值。

4.4.2 通过 Clause 22 寄存器读取 Clause 45 寄存器

按照以下步骤允许第 22 寄存器对 Clause 45 寄存器进行读访问：

1. 寄存器 13: 将“功能”设置为 00b (地址) 并将“DEVAD”位域设置为所选器件地址。
2. 寄存器 14: 将“地址数据”设置为目标 Clause 45 寄存器地址。
3. 寄存器 13: 将“功能”设置为 01b (数据, 不后递增) 并将“DEVAD”位域设置为所选器件地址 (与步骤 1 相同)。
4. 寄存器 14: 读取 MMD 所选的 Clause 45 寄存器的内容。

4.5 标准SMI寄存器

注： 本节只介绍了一些最基本或常用的SMI寄存器，以帮助说明MDIO配置示例——LAN7801和KSZ9131中的MDIO协议跟踪示例背后的机制。有关完整的寄存器详细信息，请参见IEEE 802.3规范。有关供应商定义的寄存器使用方法，请参见PHY特定的数据手册。

MDIO通信通常仅限于访问几个重要寄存器。此外，还有许多其他扩展寄存器和供应商定义的寄存器可用于开发、测试和调试。本节提供最基本的寄存器，旨在介绍其使用环境。有关完整定义，请参见相关规范和供应商提供的数据手册。

- **基本：** 用于所有MII/RMII/GMII/RGMII PHY
- **扩展：** 用于所有GMII/RGMII PHY
- **供应商特定：** 允许使用供应商定义的专用特性/功能/测试模式

表9： 支持外部PHY的Microchip以太网桥接控制器

索引	寄存器名称	类型	链接
00h	基本模式控制	基本	基本控制寄存器
01h	基本模式状态	基本	基本状态寄存器
02h	PHY标识符1	扩展	PHY标识符1
03h	PHY标识符2	扩展	PHY标识符2
04h	自动协商通告	扩展	自动协商通告
05h	自动协商链路伙伴基本页功能	扩展	自动协商链路伙伴功能
06h	自动协商扩展	扩展	请参见IEEE802.3和/或产品特定PHY的数据手册
07h	自动协商下一页TX	扩展	请参见IEEE802.3和/或产品特定PHY的数据手册
08h	自动协商链路伙伴接收的下一页	扩展	请参见IEEE802.3和/或产品特定PHY的数据手册
09h	控制器-目标控制	扩展	请参见IEEE802.3和/或产品特定PHY的数据手册
0Ah	控制器-目标状态	扩展	请参见IEEE802.3和/或产品特定PHY的数据手册
0Bh	PSE控制	扩展	请参见IEEE802.3和/或产品特定PHY的数据手册
0Ch	PSE状态	扩展	请参见IEEE802.3和/或产品特定PHY的数据手册
0Dh	MMD访问控制	扩展	MMD访问控制
0Eh	MMD地址数据	扩展	MMD访问地址数据
0Fh	扩展状态	扩展	未使用/为MII/RMII PHY保留 扩展状态
10h-1Fh	供应商特定	扩展	请参见产品特定PHY的数据手册
001Fh-FFFFh	Clause 45 MMD寄存器空间	Clause 45	请参见IEEE802.3和/或产品特定PHY的数据手册

表 10: 基本控制寄存器

SMI基本模式控制寄存器 地址: 00h		说明
Bit	名称	
15	PHY软复位	置1时, 将PHY和所有寄存器复位为默认状态(自清零)。
14	环回	0b = 禁止环回模式 1b = 使能环回模式
13	速度选择[0]	与速度选择[1]一起用于选择速度。如果使能自动协商, 则忽略。 00b = 10 Mbps 01b = 100 Mbps 10b = 1000 Mbps 11b = 保留
12	自动协商使能	0b = 禁止自动协商 1b = 使能自动协商
11	掉电	0b = 正常工作模式 1b = 常规掉电模式
10	隔离	0b = 正常工作模式 1b = PHY与MII接口隔离
9	重新启动自动协商	置1时, 重新启动自动协商(自清零)。
8	双工模式	0b = 半双工 1b = 全双工
7	冲突测试模式	0b = 禁止冲突测试模式 1b = 使能冲突测试模式
6	速度选择[1]	与速度选择[0]一起用于选择速度。如果使能自动协商, 则忽略。
5:0	保留	保留

表 11: 基本状态寄存器

SMI基本模式状态寄存器 地址: 01h		说明
Bit	名称	
15	100BASE-T4	0b = PHY不支持100BASE-T4功能 1b = PHY支持100BASE-T4功能
14	100BASE-X全双工	0b = PHY不支持100BASE-X全双工 1b = PHY支持100BASE-X全双工
13	100BASE-X半双工	0b = PHY不支持100BASE-X半双工 1b = PHY支持100BASE-X半双工
12	10BASE-T全双工	0b = PHY不支持10BASE-T全双工 1b = PHY支持10BASE-T全双工
11	10BASE-T半双工	0b = PHY不支持10BASE-T半双工 1b = PHY支持10BASE-T半双工
10	100BASE-T2全双工	0b = PHY不支持100BASE-T2全双工 1b = PHY支持100BASE-T2全双工
9	100BASE-T2半双工	0b = PHY不支持100BASE-T2半双工 1b = PHY支持100BASE-T2半双工
8	扩展状态	0b = 无扩展状态信息 1b = 寄存器15中有扩展状态信息

AN4754

表11: 基本状态寄存器 (续)

SMI基本模式状态寄存器 地址: 01h		说明
Bit	名称	
7	单向能力	0b = 仅在有效链路接通时才能进行发送 1b = 即使没有有效链路也可以进行发送
6	MF前导码抑制	0b = 不接受前导码被抑制的帧 1b = 接受前导码被抑制的帧
5	自动协商完成	0b = 自动协商未完成 1b = 自动协商完成
4	远程故障	0b = 未检测到远程故障 1b = 检测到远程故障
3	自动协商功能	0b = PHY不支持自动协商 1b = PHY支持自动协商
2	链路状态	0b = 链路断开 1b = 链路接通
1	Jabber检测	0b = 未检测到Jabber 1b = 检测到Jabber
0	扩展功能	0b = 仅基本寄存器功能 (寄存器00h和01h) 1b = 支持扩展寄存器组功能

表12: PHY标识符1

SMI PHY标识符寄存器1 地址: 02h		说明
Bit	名称	
15:0	PHY ID编号 [3:18]	组织唯一标识符 (OUI) 的 bit 3-18

表13: PHY标识符2

SMI PHY标识符寄存器2 地址: 03h		说明
Bit	名称	
15:10	PHY ID编号 [19:24]	组织唯一标识符 (OUI) 的 bit 19-24
9:4	型号编号	由PHY制造商分配的型号
3:0	版本号	由PHY制造商分配的版本号

表14: 自动协商通告

SMI自动协商通告寄存器 地址: 04h		说明
Bit	名称	
15	下一页	0 = 不支持下一页 1 = 支持下一页
14	保留	保留
13	远程故障	0 = 不通告远程故障指示 1 = 通告远程故障指示
12	扩展的下一页	0 = 不支持扩展的下一页 1 = 支持扩展的下一页

表 14: 自动协商通告 (续)

SMI 自动协商通告寄存器 地址: 04h		说明
Bit	名称	
11	非对称暂停	0 = 不向链路伙伴通告非对称暂停 1 = 向链路伙伴通告非对称暂停
10	对称暂停	0 = 不向链路伙伴通告对称暂停 1 = 向链路伙伴通告对称暂停
9	100BASE-T4	0 = 不支持/不通告 1 = 支持/通告
8	100BASE-X 全双工	0 = 不支持/不通告 1 = 支持/通告
7	100BASE-X 半双工	0 = 不支持/不通告 1 = 支持/通告
6	10BASE-T 全双工	0 = 不支持/不通告 1 = 支持/通告
5	10BASE-T 半双工	0 = 不支持/不通告 1 = 支持/通告
4:0	选择器位域	标识正在发送的消息类型 00001b = IEEE 802.3

表 15: 自动协商链路伙伴功能

SMI 自动协商链路伙伴功能寄存器 地址: 05h		说明
Bit	名称	
15	下一页	0 = 链路伙伴不通告下一页功能 1 = 链路伙伴支持下一页功能
14	保留	保留
13	远程故障	0 = 链路伙伴不通告远程故障指示功能 1 = 链路伙伴支持远程故障指示功能
12	扩展的下一页	0 = 链路伙伴不通告扩展的下一页功能 1 = 链路伙伴支持扩展的下一页功能
11	非对称暂停	0 = 链路伙伴不通告非对称暂停功能 1 = 链路伙伴支持非对称暂停功能
10	对称暂停	0 = 链路伙伴不通告对称暂停功能 1 = 链路伙伴支持对称暂停功能
9	100BASE-T4	0 = 链接伙伴不通告该功能 1 = 链路伙伴支持该功能
8	100BASE-X 全双工	0 = 链接伙伴不通告该功能 1 = 链路伙伴支持该功能
7	100BASE-X 半双工	0 = 链接伙伴不通告该功能 1 = 链路伙伴支持该功能
6	10BASE-T 全双工	0 = 链接伙伴不通告该功能 1 = 链路伙伴支持该功能
5	10BASE-T 半双工	0 = 链接伙伴不通告该功能 1 = 链路伙伴支持该功能
4:0	选择器位域	标识正在发送的消息类型 00001b = IEEE 802.3

AN4754

表 16: MMD 访问控制

SMI MMD 访问地址数据寄存器 地址: 0Dh		说明
Bit	名称	
15:14	功能	00b = 地址 01b = 数据, 不后递增 10b = 数据, 读写操作后递增 11b = 数据, 仅写操作后递增
13:5	保留	始终为0
4:0	DEVAD	器件地址

表 17: MMD 访问地址数据

SMI MMD 访问地址数据寄存器 地址: 0Eh		说明
Bit	名称	
15:0	地址数据	包含寄存器地址值或数据值, 具体取决于 SMI MMD 访问地址数据控制寄存器中的功能值。

表 18: 扩展状态

SMI 扩展状态寄存器 地址: 0Fh		说明
Bit	名称	
15	1000BASE-X 全双工	0b = PHY 不支持 1000BASE-X 全双工 1b = PHY 支持 1000BASE-X 全双工
14	100BASE-X 半双工	0b = PHY 不支持 100BASE-X 半双工 1b = PHY 支持 100BASE-X 半双工
13	1000BASE-T 全双工	0b = PHY 不支持 1000BASE-T 全双工 1b = PHY 支持 1000BASE-T 全双工
12	1000BASE-T 半双工	0b = PHY 不支持 1000BASE-T 半双工 1b = PHY 支持 1000BASE-T 半双工
11:0	保留	保留

5.0 PHY 驱动程序

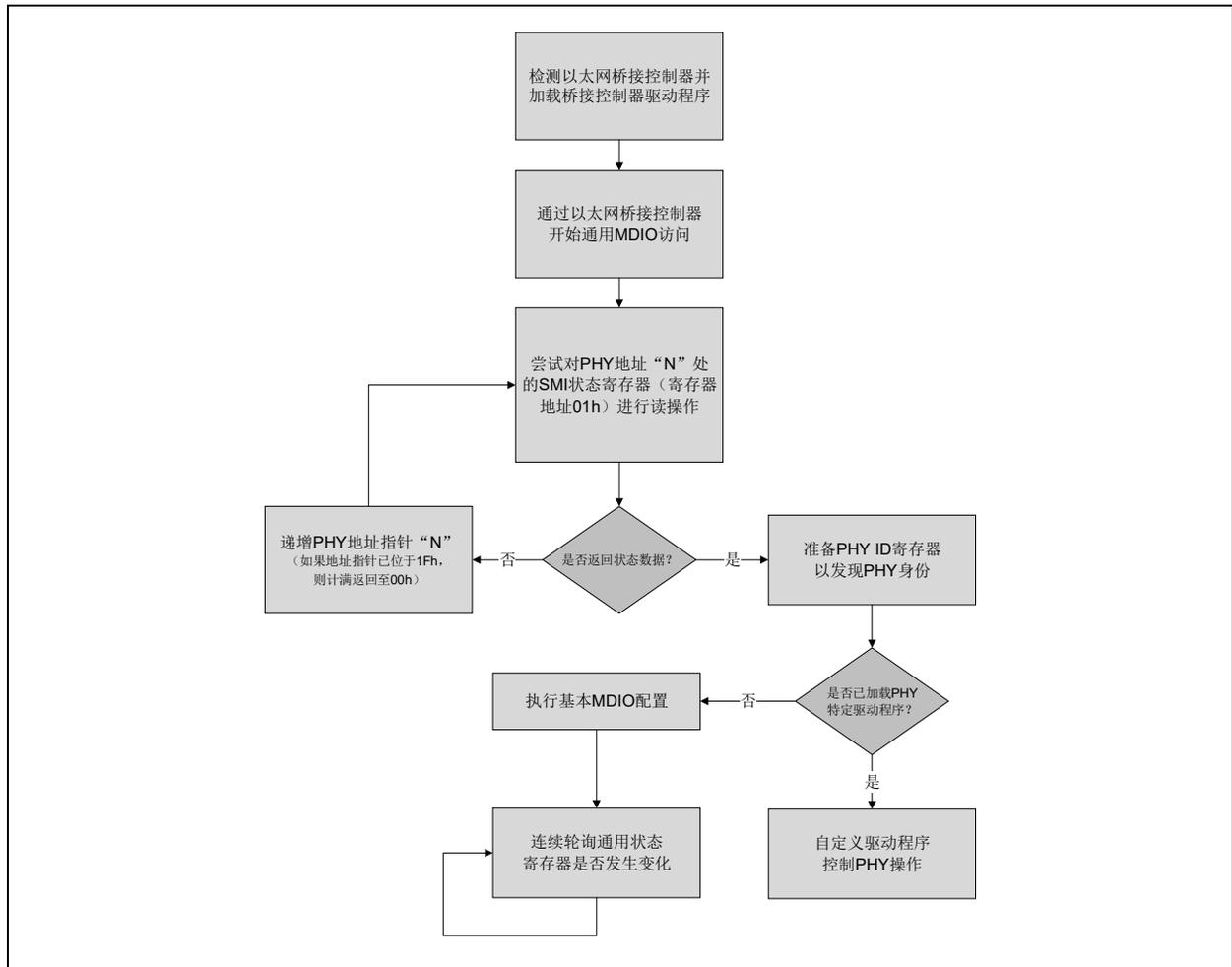
操作系统中包含通用PHY驱动程序，可用于访问通用MDIO寄存器进行配置。通用PHY驱动程序通常执行以下任务：

1. 获取PHY驱动程序ID。

注： 如果ID与已安装的PHY特定/自定义驱动程序匹配，则可以加载该驱动程序并用于控制PHY。如果使用通用PHY驱动程序，则1588和MACsec等特殊功能可能无法使用。

2. 检查PHY的基本功能（支持的速度、是否支持全双工/半双工和自动协商通告等）。
3. 根据PHY功能配置自动协商通告。
4. 使能并重新启动自动协商。
5. 定期轮询链路状态以监视链路接通/链路断开状态以及自动协商结果。

图8： MDIO PHY检测和配置通用流程



5.1 MDIO 配置示例——LAN7801和KSZ9131

下面给出了PC通过MDIO查询和配置以太网PHY的真实示例。

- 操作系统：Windows
- PHY驱动程序：通用Windows PHY驱动程序
- 以太网桥接控制器：LAN7801
- 以太网PHY：KSZ913
- 以太网PHY地址：03h

表 19: Clause 22

N	操作	PHY 地址	寄存器地址	数据	说明
1	R	1Fh	01h	FFFFh	无响应, 地址 1Fh 处无 PHY
2	R	1Fh	01h	FFFFh	第二次尝试查询地址 1Fh 处的 PHY
3	R	1Eh	01h	FFFFh	无响应, 地址 1Eh 处无 PHY
4	R	1Eh	01h	FFFFh	第二次尝试查询地址 1Eh 处的 PHY
...					
53	R	05h	01h	FFFFh	无响应, 地址 05h 处无 PHY
54	R	05h	01h	FFFFh	第二次尝试查询地址 05h 处的 PHY
55	R	04h	01h	FFFFh	无响应, 地址 04h 处无 PHY
56	R	04h	01h	FFFFh	第二次尝试查询地址 04h 处的 PHY
57	R	03h	01h	7949h	<p>读操作: 基本状态寄存器 原始二进制值: 0111_1001_0100_1001b 该响应指示以下状态:</p> <ul style="list-style-type: none"> 链路状态为断开 自动协商未完成 未检测到故障或 Jabber <p>该响应还表明 PHY 的基本功能如下:</p> <ul style="list-style-type: none"> 100BASE-X 全双工和半双工 10BASE-X 全双工和半双工 扩展状态寄存器为寄存器 15 PHY 接受前导码被抑制的管理帧 PHY 支持自动协商 扩展寄存器组
58	R	03h	01h	7949h	<p>读操作: 基本状态寄存器 (第二次) 该寄存器自第一次回读之后没有发生任何变化。</p>
59	R	03h	02h	0022h	<p>读操作: 自动协商通告 原始二进制值: 0001h_0110h_0100_0010b 组织唯一标识符 (bit 3-18): 0000_0000_0010_0010b</p>
60	R	03h	03h	1642h	<p>读操作: PHY 标识符 1 原始二进制值: 0001h_0110h_0100_0010b 组织唯一标识符 (bit 19-24): 000101b 型号: 100100b 版本号: 0010b</p>
61	R	03h	04h	05E1h	<p>读操作: 自动协商通告 原始二进制值: 0000_0101_1110_0001b 该响应表明自动协商期间正在通告以下功能:</p> <ul style="list-style-type: none"> 100BASE-X 全双工和半双工 10BASE-X 全双工和半双工 对称暂停 自动协商类型: IEEE 802.3
62	W	03h	04h	05E1h	<p>写操作: 自动协商通告 该命令将上一次回读的值写入 PHY。该操作非必要。</p>

表19: Clause 22 (续)

N	操作	PHY 地址	寄存器地址	数据	说明
63	R	03h	09h	0200h	读操作: 控制器-目标控制寄存器 原始二进制值: 0000_0010_0000_0000b 该响应还表明PHY支持1000BASE-T全双工操作, 不支持1000BASE-T半双工操作。 注: 该寄存器还可用于使能发送器测试模式。
64	W	03h	09h	0200h	写操作: 控制器-目标控制寄存器 该命令将上一次回读的值写入PHY。该操作非必要。
65	W	03h	0Dh	0007h	写操作: MMD访问控制 原始二进制值: 0000_0000_0000_0111b 注: 该命令通过专用的Clause 22寄存器来访问Clause 45寄存器空间。更多信息, 请参见第4.4节“通过Clause 22寄存器访问Clause 45寄存器”。 该命令用于选择: • MMD功能——寄存器地址 • MMD器件地址(DEVAD)——7h
66	W	03h	0Eh	003Ch	写操作: MMD访问地址数据 原始二进制值: 0000_0000_0011_1100b 注: 该命令通过专用的Clause 22寄存器来访问Clause 45寄存器空间。更多信息, 请参见第4.4节“通过Clause 22寄存器访问Clause 45寄存器”。 该命令用于选择: • MMD寄存器数据——003C 由于上一条MMD功能命令为“寄存器地址”, 因此下一条命令将读取或写入的寄存器地址为DEVAD 07h。
67	W	03h	0Dh	4007h	写操作: MMD访问控制 原始二进制值: 0100_0000_0000_0111b 注: 该命令通过专用的Clause 22寄存器来访问Clause 45寄存器空间。更多信息, 请参见第4.4节“通过Clause 22寄存器访问Clause 45寄存器”。 该命令用于选择: • MMD功能——数据, 不后递增 • MMD器件地址(DEVAD)——7h
68	W	03h	0Eh	0006h	写操作: MMD访问地址数据 原始二进制值: 0000_0000_0000_0110b 注: 该命令通过专用的Clause 22寄存器来访问Clause 45寄存器空间。更多信息, 请参见第4.4节“通过Clause 22寄存器访问Clause 45寄存器”。 该命令用于选择: • MMD寄存器数据——0006h 由于上一条MMD功能命令为“数据, 不后递增”, 因此该命令将0006h写入DEVAD 07h的寄存器003Ch。 该特定寄存器为节能以太网寄存器。该寄存器写操作将使能100BASE-TX EEE和1000BASE-TX EEE通告。

AN4754

表 19: Clause 22 (续)

N	操作	PHY 地址	寄存器地址	数据	说明
69	W	03h	00h	1200h	写操作: 基本控制寄存器 原始二进制值: 0001_0010_0000_0000b 使能自动协商 (将 bit 12 置 1) 重新启动自动协商 (将 bit 9 置 1)
70	R	03h	01h	7949h	读操作: PHY 状态寄存器 该响应表明 PHY 状态没有发生变化。
71	R	03h	01h	7949h	读操作: PHY 状态寄存器 该响应表明 PHY 状态没有发生变化。
72	R	03h	01h	7949h	读操作: PHY 状态寄存器 该响应表明 PHY 状态没有发生变化。
...					
90	R	03h	01h	7969h	读操作: PHY 状态寄存器 原始二进制值: 0111_1001_0110_1001b bit 5 发生变化: 0b → 1b 这意味着自动协商已完成。
91	R	03h	01h	796Dh	读操作: PHY 状态寄存器 原始二进制值: 0111_1001_0110_1101b bit 2 发生变化: 0b → 1b 这意味着链路现已接通。

6.0 硬件注意事项

务必确保Microchip桥接控制器与外部PHY之间的MDIO和MII/RGMII互连遵循一般设计规则。

注： 本章不包含GMII和RMII信息，因为Microchip桥接控制器不支持这两种互连方式。

6.1 MII/RGMII走线属性

表20： 支持外部PHY的Microchip以太网桥接控制器

参数	设计建议
走线阻抗	50Ω至68Ω
走线间距	将多个发送信号（TX0:3）和接收信号各自连接在一起 将RX CLK和TX CLK与其他RGMII信号隔离
走线长度匹配	±10 mm（±400 mil）
走线总长度	如果使用FR4等效材料且无跨层连接或连接器，建议的最大值为150 mm（6英寸）。如果设计可以遵循这些准则，通常无需在实验室中仿真或验证信号质量。要实现走线长度超过150 mm的系统也并非难事，但必须非常仔细地进行PCB设计。强烈建议进行上升/下降测量，以确保符合RGMII信号合规要求。此外，还可借助PCB仿真来确保设计在制造之前已满足信号要求（但仍需要在实验室中进行测量）。请牢记以下因素： <ul style="list-style-type: none"> PCB材料：高速PCB材料可延长可能的最大信号长度。 通过过孔进行跨层连接：每次进行电路板跨层连接都会降低信号完整性并减小最大信号长度。 板对板连接器：板对板连接器应针对高速信号而设计。每次使用板对板连接器都会降低信号完整性并减小可能的最大信号长度。
时钟延时	请参见第6.1.1节“RGMII TXC和RXC延时”
其他	应尽可能减少在RGMII接口上使用过孔，并且不推荐在PCB上切换层。重要的RGMII信号应在连续数字地平面附近的顶层布线。较慢的RGMII信号可以在PCB的底层布线。

6.1.1 RGMII TXC和RXC延时

由于RGMII接口具备高速特性，建议向TXC和RXC信号中引入时钟延时。这样可确保对时钟边沿进行有意的偏移，以便始终准确地在线上采样。该延时通常可选择以下三种方法进行管理：

- 选项A：** 通过使用较长的PCB“蛇形”走线对TX和RX CLK信号进行布线，以便在两个信号中添加1.5 ns至2 ns的延时。
- 选项B：** 可以在Microchip以太网桥接控制器的MAC设置中使能TX和RX CLK发送器侧的延时。在某些产品中，该选项可能称为RGMII-ID（ID = 内部延时）。
- 选项C：** 可以在PHY的PHY设置中使能TX和RX CLK接收器侧的延时。通过查看所选PHY的PHY文档确认是否提供该选项。使用示波器探测系统时无法观察到这种延时。在某些产品中，该选项可能称为RGMII-ID（ID = 内部延时）。

注： 如果需要，还可以将各种时钟延时方法结合起来（即，仅使能MAC的内部TXC延时和PHY的内部RXC延时，或者仅使能MAC的内部RXC延时和PHY的内部TXC延时）。

图9: RGMII时钟延时选项A: PCB走线延时

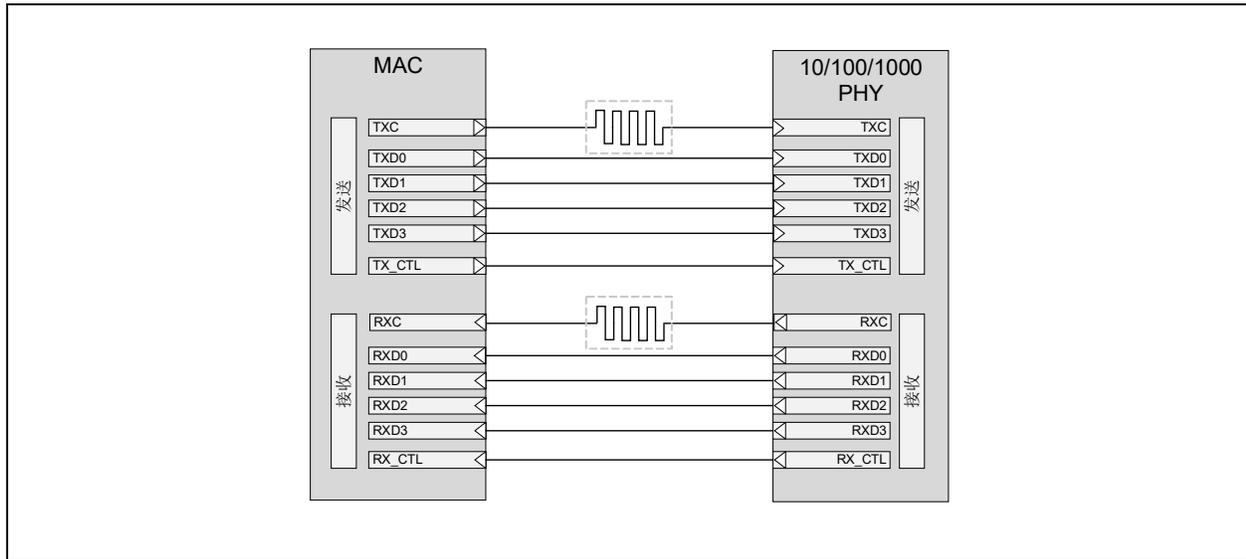


图10: RGMII时钟延时选项B: MAC侧延时设置

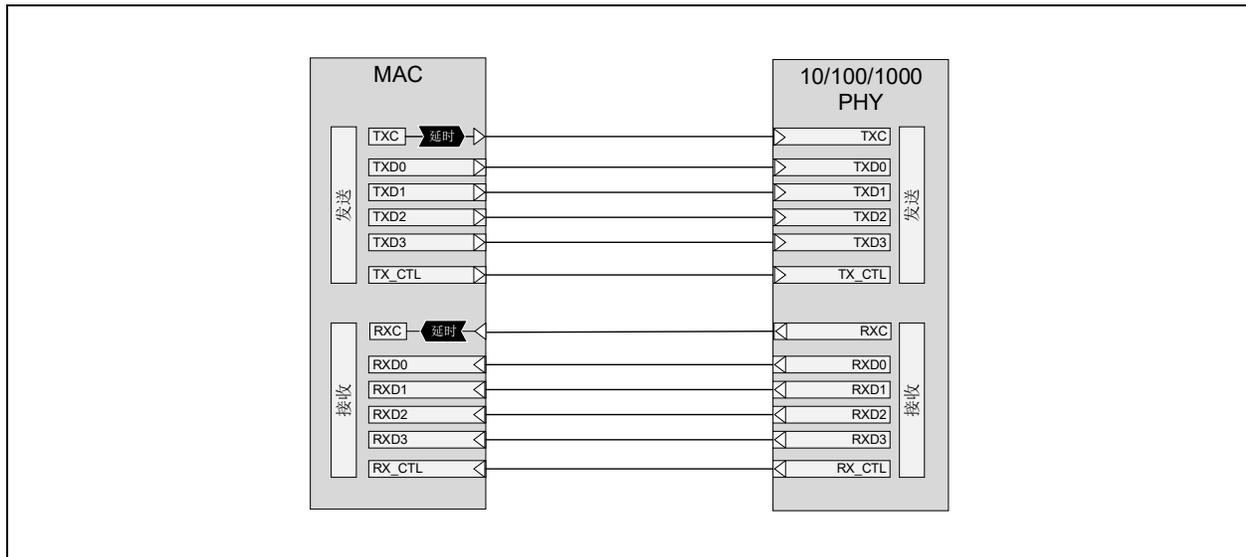
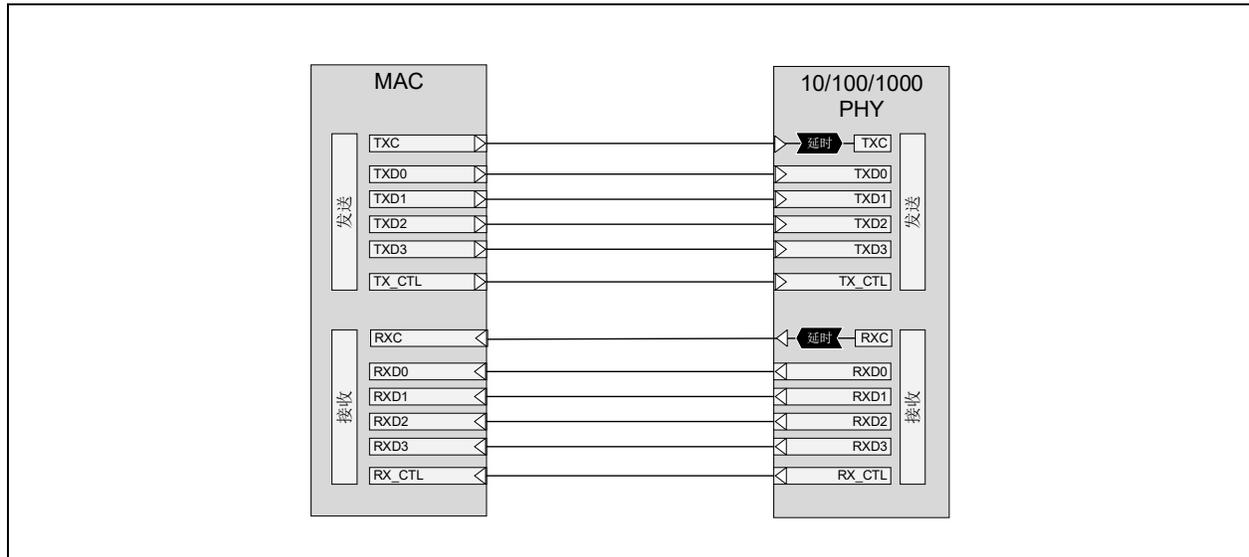


图 11: RGMII时钟延时选项C: PHY侧延时设置



6.2 其他产品特定资源

有关Microchip以太网桥接控制器的一般硬件设计指南，请访问以下链接：

表 21: 支持外部PHY的Microchip以太网桥接控制器

产品	资源	链接
LAN9500A	AN18.0——LAN9500/LAN9500i/LAN9500A/ LAN9500Ai Layout Guidelines	https://www.microchip.com/en-us/product/ LAN9500A
	LAN9500Ai QFN Rev B Schematic Checklist	
	LAN9500A 56-pin QFN Package Routing Checklist	
LAN89530	LAN89530 56-pin QFN Package Routing Checklist	https://www.microchip.com/en-us/product/ LAN89530
	LAN89530 QFN Rev B Schematic Checklist	
	LAN89530 56-pin QFN Package Component Placement Checklist	
LAN9730	LAN9730 56-pin QFN Package Component Placement Checklist	https://www.microchip.com/en-us/product/ LAN9730
	LAN9730 56-pin QFN Package Routing Checklist	
	LAN9730 QFN Rev B Schematic Checklist	
LAN89730	LAN89730 56-pin QFN Package Component Placement Checklist	https://www.microchip.com/en-us/product/ LAN89730
	LAN89730 56-pin QFN Package Routing Checklist	
	LAN89730 QFN Rev A Schematic Checklist	
LAN7801	LAN7801 Placement Checklist	https://www.microchip.com/en-us/product/ LAN7801
	LAN7801 Routing Checklist	
	LAN7801 Schematic Checklist	
LAN7431	《LAN7431 硬件设计检查清单》	https://www.microchip.com/en-us/product/ LAN7431

AN4754

7.0 调试和开发工具

7.1 Microchip 配置和编程工具

表22: 支持外部PHY的Microchip以太网桥接控制器

产品	操作系统	类型	工具	注
LAN9500A、 LAN89530、 LAN9730和 LAN89730 (汽车级)	DOS	编程和测试	LAN95XXDosUtility	LAN95XX DOS实用程序套件支持在生产环境中编程EEPROM和测试LAN9500/LAN9500A/LAN9512/LAN9513/LAN9514的基本功能。
	Windows	编程和测试	LAN95xxUtility GUI	LAN95xx实用程序提供了一个图形用户界面,用于编程LAN95xx USB转以太网桥接控制器和集成以太网的USB集线器的EEPROM,以及对器件执行测试。
		编程	9500eepApp	LAN9500命令行实用程序在Windows命令提示符中运行,支持编程EEPROM和测试LAN95xx的基本功能。
	Linux	编程	ethtool	包含在大多数Linux发行版中
LAN7801和 LAN7431	Windows	配置	MPLAB® Connect GUI	简化的菜单式工具,用于选择配置选项
		编程	MPLAB Connect GUI	使用该编程选项卡,可以在原型设计和开发期间轻松进行编程
		编程	MPLAB Connect CLI	具有量产编程选项的命令行界面
	Linux	编程	ethtool	包含在大多数Linux发行版中

7.2 MDIO 训练器/分析器

MDIO 分析器有以下几种不同的形式：

- **专用硬件：**需要专用设备，但通常能够进行长时间尺度的存储，具有良好的触发功能，并支持能够完全解码流量甚至检测协议错误的软件。
- **逻辑分析器插件：**通过逻辑分析器插件，可使用通用逻辑分析器硬件来解码 MDIO 流量，是一个不错的选择。
- **示波器插件：**允许用户使用示波器进行基本分析。检查 MDIO 时序和波形的异常情况时，有时可能需要使用示波器，因为专用硬件工具和逻辑分析器可能检测不到。但是，示波器对存储器的需求量很高，通常只能存储非常短的一段时间。

表23: MDIO 练习器/分析器

类型	产品	注
专用分析器硬件	Total Phase Beagle 分析器	优质软件加持，是一个不错的低成本选项。该工具还支持 I ² C 和 SPI 分析。 https://www.totalphase.com/products/beagle-i2cspi/
	Prodigy Technovations PGY-MDIO-EX-PD	具备 MDIO 流量生成功能和其他高级功能，属于高端选项。 https://prodigytechno.com/device/mdio-protocol-exerciser-and-analyzer/
逻辑分析器插件	Saleae Logic	为 Saleae Logic 品牌的逻辑分析器增加 MDIO 分析功能。 https://github.com/saleae/mdio-analyzer
示波器插件	Teledyne LeCroy MDIO 解码	对波形进行解码并将其转换为交互式解码表。支持 Clause 22 和 Clause 45。提供比特率测量。适用于多款 Teledyne LeCroy 示波器旗舰产品。 https://teledynelecroy.com/options/productseries.aspx?mseries=544&groupid=88

7.3 MDIO 寄存器访问工具

可使用 Linux 的 phytool 对 MDIO 寄存器进行读/写访问。更多信息，请访问：<https://github.com/wkz/phytool>。

7.4 MII/RMII/GMII/RGMII 分析器

一些主流测试设备供应商提供 MII/RMII/GMII/RGMII 分析器。这些设备具有专门的用途且成本高昂，供货有限且/或交货期较长。建议直接联系您首选的设备销售代表以商讨供货情况和可选产品。

AN4754

附录 A: 应用笔记版本历史

版本与日期	节/图/条目	更正
DS00004754A (2022年9月29日)		初始版本

注:

MICROCHIP 网站

Microchip 网站 (www.microchip.com) 为客户提供在线支持。客户可通过该网站方便地获取文件和信息。我们的网站提供以下内容：

- **产品支持**——数据手册和勘误表、应用笔记和示例程序、设计资源、用户指南以及硬件支持文档、最新的软件版本以及归档软件
- **一般技术支持**——常见问题解答 (FAQ)、技术支持请求、在线讨论组以及 Microchip 设计伙伴计划成员名单
- **Microchip 业务**——产品选型和订购指南、最新 Microchip 新闻稿、研讨会和活动安排表、Microchip 销售办事处、代理商以及工厂代表列表

变更通知客户服务

Microchip 的变更通知客户服务有助于客户了解 Microchip 产品的最新信息。注册客户可在他们感兴趣的某个产品系列或开发工具发生变更、更新、发布新版本或勘误表时，收到电子邮件通知。

欲注册，请访问 www.microchip.com/pcn，然后按照注册说明进行操作。

客户支持

Microchip 产品的用户可通过以下渠道获得帮助：

- 代理商或代表
- 当地销售办事处
- 应用工程师 (ESE)
- 技术支持

客户应联系其代理商、代表或 ESE 寻求支持。当地销售办事处也可为客户提供帮助。本文档后附有销售办事处的联系方式。

也可通过 <http://microchip.com/support> 获得网上技术支持。

请注意以下有关 Microchip 产品代码保护功能的要点:

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术规范。
- Microchip 确信: 在正常使用且符合工作规范的情况下, Microchip 系列产品非常安全。
- Microchip 注重并积极保护其知识产权。严禁任何试图破坏 Microchip 产品代码保护功能的行为, 这种行为可能会违反《数字千年版权法案》(Digital Millennium Copyright Act)。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。代码保护功能处于持续发展之中。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。

提供本档的中文版本仅为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分, 因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc. 及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc. 的英文原版文档。

本出版物及其提供的信息仅适用于 Microchip 产品, 包括设计、测试以及将 Microchip 产品集成到您的应用中。以其他任何方式使用这些信息都将被视为违反条款。本出版物中的器件应用信息仅为您提供便利, 将来可能会发生更新。如需额外的支持, 请联系当地的 Microchip 销售办事处, 或访问 <https://www.microchip.com/en-us/support/design-help/client-supportservices>。

Microchip “按原样”提供这些信息。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保, 包括但不限于针对非侵权性、适销性和特定用途的适用性的暗示担保, 或针对其使用情况、质量或性能的担保。

在任何情况下, 对于因这些信息或使用这些信息而产生的任何间接的、特殊的、惩罚性的、偶然的或间接的损失、损害或任何类型的开销, **Microchip 概不承担任何责任, 即使 Microchip 已被告知可能发生损害或损害可以预见。在法律允许的最大范围内, 对于因这些信息或使用这些信息而产生的所有索赔, Microchip 在任何情况下所承担的全部责任均不超出您为获得这些信息向 Microchip 直接支付的金额 (如有)。**如果将 Microchip 器件用于生命维持和 / 或生命安全应用, 一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切损害、索赔、诉讼或费用时, 会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任。除非另外声明, 在 Microchip 知识产权保护下, 不得暗或以其他方式转让任何许可证。

有关 Microchip 质量管理体系的更多信息, 请访问 www.microchip.com/quality。

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、Adaptec、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi 徽标、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的注册商标。

AgileSwitch、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Flashtec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、Liberio、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus 徽标、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider 和 ZL 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、Augmented Switching、BlueSky、BodyCom、Clockstudio、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、Espresso T1S、EtherGREEN、EyeOpen、GridTime、IdealBridge、IGaT、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、IntelliMOS、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、Knob-on-Display、MarginLink、maxCrypto、maxView、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、mSIC、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、Power MOS IV、Power MOS 7、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、RTAX、RTG4、SAM-ICE、Serial Quad I/O、simpleMAP、SimpliPHY、SmartBuffer、SmartHLS、SMART-I.S.、storClad、SQL、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Switchtec、SynchroPHY、Total Endurance、Trusted Time、TSHARC、Turing、USBCheck、VariSense、VectorBlox、VeriPHY、ViewSpan、WiperLock、XpressConnect 和 ZENA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 为 Microchip Technology Incorporated 在美国的服务标记。

Adaptec 徽标、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology 和 Symmcom 均为 Microchip Technology Inc. 在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 为 Microchip Technology Inc. 的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. KG 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2024, Microchip Technology Incorporated 及其子公司版权所有。

ISBN: 978-1-6683-3968-8

全球销售及服务中心

美洲

公司总部 **Corporate Office**
2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 1-480-792-7200
Fax: 1-480-792-7277

技术支持:
<http://www.microchip.com/support>

网址: www.microchip.com

亚特兰大 **Atlanta** Duluth, GA

Tel: 1-678-957-9614
Fax: 1-678-957-1455

奥斯汀 **Austin, TX** Tel: 1-512-257-3370

波士顿 Boston
Westborough, MA
Tel: 1-774-760-0087
Fax: 1-774-760-0088

芝加哥 Chicago
Itasca, IL
Tel: 1-630-285-0071
Fax: 1-630-285-0075

达拉斯 Dallas
Addison, TX
Tel: 1-972-818-7423
Fax: 1-972-818-2924

底特律 Detroit
Novi, MI
Tel: 1-248-848-4000

休斯敦 Houston, TX
Tel: 1-281-894-5983

印第安纳波利斯 Indianapolis
Noblesville, IN
Tel: 1-317-773-8323
Fax: 1-317-773-5453
Tel: 1-317-536-2380

洛杉矶 Los Angeles
Mission Viejo, CA
Tel: 1-949-462-9523
Fax: 1-949-462-9608
Tel: 1-951-273-7800

罗利 Raleigh, NC
Tel: 1-919-844-7510

纽约 New York, NY
Tel: 1-631-435-6000

圣何塞 San Jose, CA
Tel: 1-408-735-9110
Tel: 1-408-436-4270

加拿大多伦多 Toronto
Tel: 1-905-695-1980
Fax: 1-905-695-2078

亚太地区

中国 - 北京
Tel: 86-10-8569-7000

中国 - 成都
Tel: 86-28-8665-5511

中国 - 重庆
Tel: 86-23-8980-9588

中国 - 东莞
Tel: 86-769-8702-9880

中国 - 广州
Tel: 86-20-8755-8029

中国 - 杭州
Tel: 86-571-8792-8115

中国 - 南京
Tel: 86-25-8473-2460

中国 - 青岛
Tel: 86-532-8502-7355

中国 - 上海
Tel: 86-21-3326-8000

中国 - 沈阳
Tel: 86-24-2334-2829

中国 - 深圳
Tel: 86-755-8864-2200

中国 - 苏州
Tel: 86-186-6233-1526

中国 - 武汉
Tel: 86-27-5980-5300

中国 - 西安
Tel: 86-29-8833-7252

中国 - 厦门
Tel: 86-592-238-8138

中国 - 香港特别行政区
Tel: 852-2943-5100

中国 - 珠海
Tel: 86-756-321-0040

台湾地区 - 高雄
Tel: 886-7-213-7830

台湾地区 - 台北
Tel: 886-2-2508-8600

台湾地区 - 新竹
Tel: 886-3-577-8366

亚太地区

澳大利亚 **Australia - Sydney**
Tel: 61-2-9868-6733

印度 **India - Bangalore**
Tel: 91-80-3090-4444

印度 **India - New Delhi**
Tel: 91-11-4160-8631

印度 **India - Pune**
Tel: 91-20-4121-0141

日本 **Japan - Osaka**
Tel: 81-6-6152-7160

日本 **Japan - Tokyo**
Tel: 81-3-6880-3770

韩国 **Korea - Daegu**
Tel: 82-53-744-4301

韩国 **Korea - Seoul**
Tel: 82-2-554-7200

马来西亚
Malaysia - Kuala Lumpur
Tel: 60-3-7651-7906

马来西亚 **Malaysia - Penang**
Tel: 60-4-227-8870

菲律宾 **Philippines - Manila**
Tel: 63-2-634-9065

新加坡 **Singapore**
Tel: 65-6334-8870

泰国 **Thailand - Bangkok**
Tel: 66-2-694-1351

越南 **Vietnam - Ho Chi Minh**
Tel: 84-28-5448-2100

欧洲

奥地利 **Austria - Wels**
Tel: 43-7242-2244-39
Fax: 43-7242-2244-393

丹麦
Denmark - Copenhagen
Tel: 45-4485-5910
Fax: 45-4485-2829

芬兰 **Finland - Espoo**
Tel: 358-9-4520-820

法国 **France - Paris**
Tel: 33-1-69-53-63-20
Fax: 33-1-69-30-90-79

德国 **Germany - Garching**
Tel: 49-8931-9700

德国 **Germany - Haan**
Tel: 49-2129-3766400

德国 **Germany - Heilbronn**
Tel: 49-7131-72400

德国 **Germany - Karlsruhe**
Tel: 49-721-625370

德国 **Germany - Munich**
Tel: 49-89-627-144-0
Fax: 49-89-627-144-44

德国 **Germany - Rosenheim**
Tel: 49-8031-354-560

以色列 **Israel - Ra'anana**
Tel: 972-9-744-7705

意大利 **Italy - Milan**
Tel: 39-0331-742611
Fax: 39-0331-466781

意大利 **Italy - Padova**
Tel: 39-049-7625286

荷兰 **Netherlands - Drunen**
Tel: 31-416-690399
Fax: 31-416-690340

挪威 **Norway - Trondheim**
Tel: 47-7288-4388

波兰 **Poland - Warsaw**
Tel: 48-22-3325737

罗马尼亚
Romania - Bucharest
Tel: 40-21-407-87-50

西班牙 **Spain - Madrid**
Tel: 34-91-708-08-90
Fax: 34-91-708-08-91

瑞典 **Sweden - Gothenberg**
Tel: 46-31-704-60-40

瑞典 **Sweden - Stockholm**
Tel: 46-8-5090-4654

英国 **UK - Wokingham**
Tel: 44-118-921-5800
Fax: 44-118-921-5820