

以太网控制器在片上系统集成和测试

王志军¹, 卢慧慧², 郑 哲²

(1 清华大学 微电子所, 北京 100084; 2 全球能源互联网研究院信息与通信研究所, 北京 102211)

摘 要: 在片上系统(SOC)中集成了以太网介质访问控制器(MAC), 介绍了 MAC 的组成和结构, 片上系统的组成和结构, 以及二者的集成方法. 通过开发的驱动软件对 MAC 进行了详细的测试验证, 测试结果表明, 实现了 10 Mbps 和 100 Mbps 两种传输速率, 半双工和全双工两种工作模式, 并实现了通过介质无关接口(MII)与以太网物理(PHY)芯片相连接.

关键词: 以太网控制器; 片上系统; 嵌入式系统集成

中图分类号: TN47

文献标识码: A

文章编号: 1000—7180(2017)05—0045—04

Integrated Implementation and Test of Ethernet MAC on SOC

WANG Zhi-jun¹, LU Hui-hui², ZHENG Zhe²

(1 Institute of Microelectronic, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2 Information and Communication Department, Global Energy Interconnection Research Institute, Beijing 1002211, China)

Abstract: This paper introduces the method of integrating a MAC on SOC, which first introduce the MAC architecture and components then gives the SOC architecture and components. Testing and verification steps of the MAC by the MAC driver is given. The test results show that the system supports two transmission rate of 10Mbps and 100Mbps, two working modes of half duplex and full duplex, and successfully connected with the Ethernet physical (PHY) chip through a media independent interface (MII) .

Key words: ethernet MAC; SOC; embedded system integration

1 引言

近几年,在嵌入式系统的研究开发方面,越来越重视网络功能. 嵌入式系统已经不再局限于一个个孤立的控制、处理等单元,而是走向网络化、集成化,进而实现多个系统的集中控制与信息共享功能. 以太网技术在嵌入式系统上的开发与应用,已经成为嵌入式领域研究的技术热点之一. 第一,与传统的 RS-485、CAN 总线等相比较,以太网运行速度更快与通用性更高,支持直接与互联网相连接,从而提供了在更大范围上的访问;此外,利用适当裁剪和优化的 TCP/IP 协议,也可以满足工业用途上的需求. 第二,相对于 USB、IEEE1394 等新兴的传输模式,基于以太网的技术,在传输数据的距离、布线的成本

及相关软件通用性等方面都有非常明显的优势. 基于以太网设计的嵌入式系统,在工业智能控制、网络仪器仪表和远程分布数据采集、信息化家电、智能化家庭和网关等应用方面都有良好的前景^[1-2].

本文在片上系统中集成了 4 路 10/100 Mbps Ethernet 控制器(MAC),使得系统可以广泛应用于智能变电站及配电网自动化通信控制、电能计量、电能质量分析等.

2 系统集成

2.1 以太网控制器

2.1.1 以太网控制器结构

系统中集成的以太网控制器^[3-4]支持内部环回以方便调试,支持 DMA 状态作为状态标志位,支持

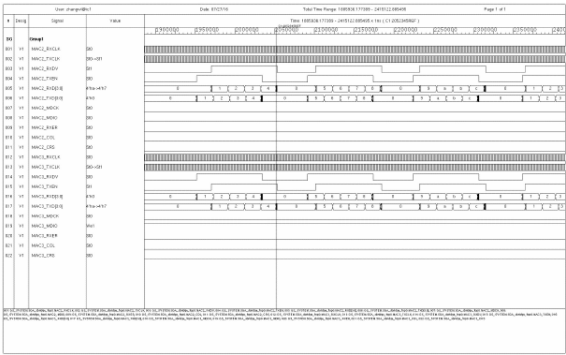


图 3 整体仿真结果

3 软件编程方法

该片上系统芯片流片后,为方便 MAC 的测试和使用,专门开发了上位机驱动软件对 MAC 进行编程调试,软件开发基于以下步骤完成.

3.1 DMA 初始化

DMA 初始化流程如图 4 所示,其中第三步对 DMA reg0 的相应位进行编程主要包括对混合突发访问和地址对齐节拍([26]、[25])、定长突发传输长度使能([16])、可编程突发传输长度和模式([13:8])、描述符长度(只有当环形格式时有效)、发送和接收仲裁调度想对应的位进行编程;第 8 步对 DMA reg6(DMA 工作模式)中的位进行编程配置主要包括接收/发送存储转发([25]/[21],接收/发送的阈值因子([16:14],启用流控制([8]),错误帧和未识别的正确帧略过([7]),处理第二个以太网帧模式([2]).

3.2 MAC 初始化

MAC 初始化流程如图 5 所示,其中第 6 步配置帧过滤寄存器时主要进行接收所有、混杂模式、哈希或完美过滤(hash or perfect filter)、组播、多播过滤设置,第 7 步配置流控寄存器时主要进行暂停时间和其他暂停控制位、接收和发送流控制位、流控制忙/后压力启用的配置.

3.3 发送和接收的一般过程

首先检测到发送或接收中断后,查寻相应描述符来判断其是否属于主机,并读取描述符中的数据.接着完成对描述符中数据的读取后,将描述符各位清 0 并设置其 OWN 位,使其继续发送/接收数据.最后如果当前发送或接收描述符不属于 DMA (OWN=0),则 DMA 模块会进入挂起状态.当有数据需要被发送或接收时,向 DMA Tx/Rx POLL 寄

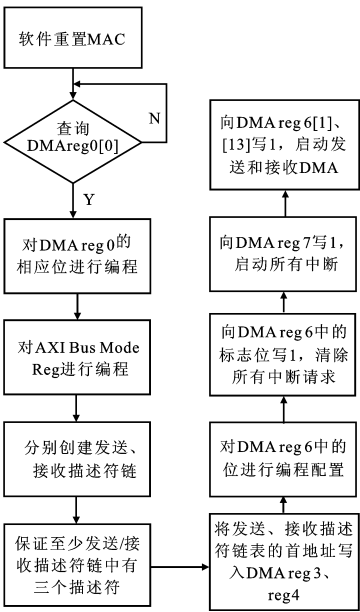


图 4 DMA 初始化流程

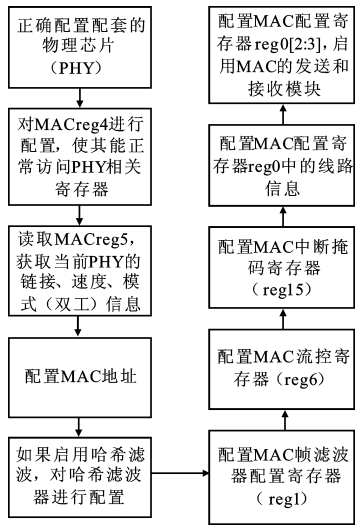


图 5 MAC 初始化流程

存器写 1 重新使能 DMA 模块.需要注意的是接收描述符在空闲时应该总是属于 DMA (OWN=1).发送和接收描述符及对应 buffer 地址的实时信息可以通过查寻 DMA reg18、19、20、21 获得.

4 测试验证

对 MAC 进行配置测试时按照循序渐进的方式进行,主要测试流程如图 6、图 7 所示.测试一、二、三完成 MAC 基本功能测试后,测试四完成中断测试,测试五为完整的以太网联网测试.实际的联网测试结果如图 8 所示,通过测试可以看出,数据发送、数据接收的执行都是正确的,反馈时间约为 0.5 ms.

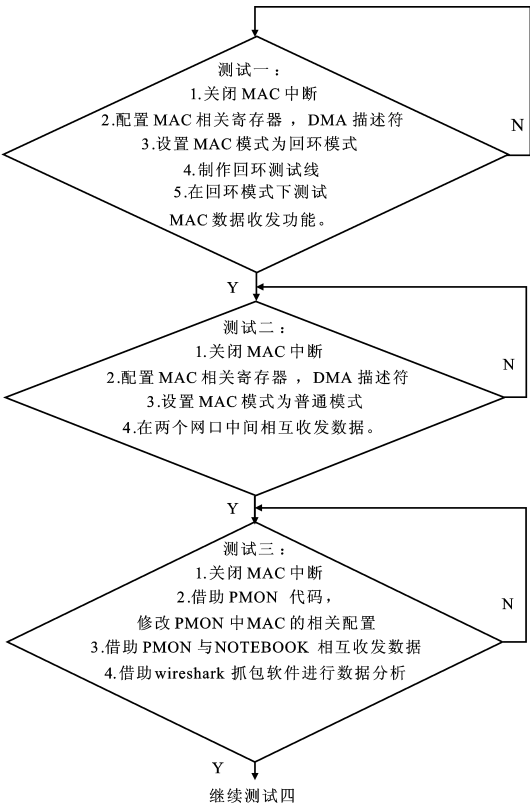


图 6 测试流程

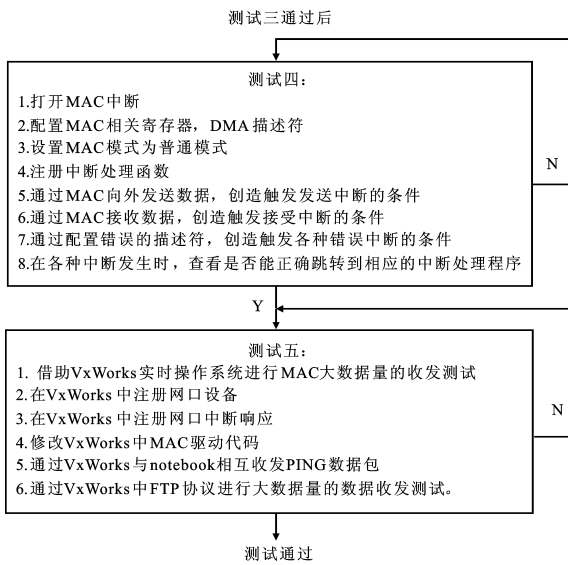


图 7 MAC 测试流程续

```
PMON> ping 192.168.184.94
PING 192.168.184.94 (192.168.184.94): 56 data bytes
64 bytes from 192.168.184.94: icmp_seq=0 ttl=64 time=0.919 ms
64 bytes from 192.168.184.94: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.556 ms
64 bytes from 192.168.184.94: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.524 ms
64 bytes from 192.168.184.94: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.525 ms
64 bytes from 192.168.184.94: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.543 ms
64 bytes from 192.168.184.94: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.570 ms
64 bytes from 192.168.184.94: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.514 ms
```

```
ping 192.168.184.94
```

图 8 ping 命令测试结果

5 结束语

本文成功的将以太网控制器集成在片上系统中,实现了 10 Mb/s 和 100 Mb/s 两种传输速率,半双工和全双工两种工作模式,并实现了通过介质无关接口(MII)与以太网物理(PHY)芯片相连接.

参考文献：

[1] 孟开元. 以太网的历史、现状及未来发展[J]. 中国科技信息, 2006, 17(11): 135-136.

[2] Seifert R. 千兆以太网技术与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.

[3] Igor Mohor. Ethernet IP core design document [EB/OL]. (2002-10-29). [2016-08-20]. <http://opencores.org/>. October 29, 2002.

[4] SYNOPSYS. Design ware ethernet MAC 10/100/1000 universal datasheet [EB/OL]. [2016-08-20]. <https://www.synopsys.com>.

[5] 龙芯中科技术技术有限公司. 龙芯芯片产品技术白皮书 V2. 3. [EB/OL]. (2015-08-15). <http://ls. loong-demo.com>.

作者简介：

王志军 男, (1982-), 硕士, 工程师. 研究方向为集成电路设计和测试研究. E-mail: wangzj@foxmail. com.

卢慧慧 女, (1990-), 硕士, 工程师. 研究方向为嵌入式软件开发.

郑 哲 男, (1986-), 硕士, 工程师. 研究方向为数字集成电路设计、嵌入式系统设计、电力通信.