

MTM 总线模块间通信体系的研究与应用

卢上丁, 雷 加, 黄 新, 李延平

(桂林电子科技大学电子工程学院, 桂林 541004)

摘 要: 分析 IEEE1149.5 标准定义的 MTM 总线协议, 对 MTM 总线模块间的数据通信体系进行功能需求分析, 提出 MTM 总线模块间通信体系的设计方案。通过采用不同的驱动电路, 构建和实现 MTM 总线模块间的短距离通信体系和长距离通信体系。应用结果表明该设计是正确可行的。

关键词: 边界扫描; MTM 总线; 模块; 通信体系

Research and Application of Communication System Between Modules in MTM-Bus

LU Shang-ding, LEI Jia, HUANG Xin, LI Yan-ping

(School of Electronic Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004)

【Abstract】 This paper analyzes the MTM-Bus protocol defined by IEEE standard 1149.5, and the functional requirement of data communication architecture among MTM bus modules according to the request of protocol and the practical application, presenting a design project on the communication system among the MTM-Bus modules. The communication among the MTM-Bus modules uses the different driving circuit and realizes the communication system among MTM-Bus modules with short distance communication system and the long distance communication system. Application results show that the design is feasible.

【Key words】 boundary scan; MTM-Bus; module; communication system

电路设计复杂度的提高增加了电路测试的困难性^[1]。1995 年制定的 IEEE1149.5 MTM 总线 (MTM-Bus), 保证了底板测试总线数据的可靠传输, 为系统级测试提供一个无错的数据通路^[2], 同时也为系统级边界扫描测试^[3]提供了重要参考依据和有力工具。本文在实际需求条件下, 构建了相应的 MTM 总线模块间的通信体系。

1 MTM 总线模块间通信协议分析

1.1 MTM 总线结构分析

MTM-Bus 是一种同步、串行、多站点拓扑结构的背板总线, 它规定只能有一个总线控者。然而, 在具有容错配制的总线中, 总线控制权可由当前总线控者转移到备用控者^[4]。MTM-Bus 控者使用消息交换方式与从模块进行通信, 消息是由一系列包所组成。其中有 1 个头包, 1 个可选应答包/数目包和一系列数据包, 包的长度为 17 位, 高 16 位数据信息, 最低位用于奇校验, 消息包的传输必须由主模块控制。MTM-Bus 包括 4 条必选信号线和一条可选信号线, 即控制信号线 (MCTL)、主模块数据信号线 (MMD)、从模块数据信号线 (MSD)、时钟信号线 (MCLK) 和请求暂停信号线 (MPR)。MTM 总线基本结构如图 1 所示。

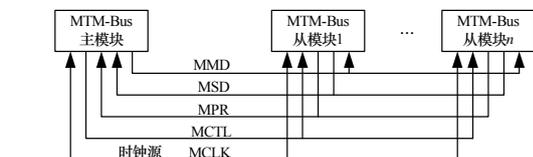


图 1 MTM 总线基本结构

1.2 MTM 总线对模块间数据通信的要求

MTM 总线是包传输协议, 其数据是以 PAUSE 状态分隔的多个 17 bit 数据包。协议并没有规定各个模块间的连接方式, 并且 MTM 总线物理层用的总线收发器允许用户用任一系列的逻辑门, 如: TTL, BTL, ECL 等。MTM 总线协议标准不为模块提供详细的电气和时序参数, 时序图用逻辑电平而不是用电压电平来进行描述。模块接口的 MCTL, MMD, MSD 和 MPR 信号用负逻辑进行实现以支持逻辑或操作。MCLK 逻辑电平的选择必须有足够的噪声裕度以避免干扰。此外, MTM 总线协议标准并没有对模块间数据传输的有效距离进行规定, 而是由设计者根据实际需要来设计传输电缆的驱动电路。

1.3 MTM 总线模块间通信体系的设计

MTM 总线的目的是建立一个分层次的串行测试与维护总线, 该总线可以用于对总线上各模块和器件的可测试性设计^[5]进行访问控制, 可对多达 250 个从模块进行寻址, 可以实现一对一、一对多或广播式通信。MTM 总线不仅实现了单板测试性设计的标准化, 同时也实现了子系统、系统测试性设计的标准化, 不同的模块、子系统按此标准设计都可以很容易地接入整个系统。

MTM 总线模块间的通信体系结构如图 2 所示。

作者简介: 卢上丁 (1983—), 男, 硕士研究生, 主研方向: 集成电路测试; 雷 加, 教授; 黄 新, 讲师; 李延平, 硕士研究生
收稿日期: 2009-07-25 **E-mail:** lushangding999@163.com

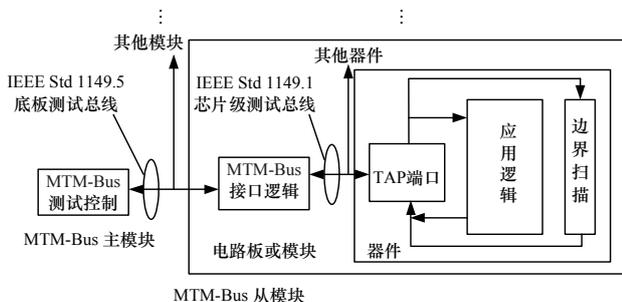


图2 MTM总线模块间的通信体系结构

MTM 总线的目的是建立一个分层次的串行测试与维护总线，该总线可以用于对总线上各模块和器件的可测试性设计^[5]进行访问控制，可对多达 250 个从模块进行寻址，可以实现一对一、一对多或广播式通信。MTM 总线不仅实现了单板测试性设计的标准化，同时也实现了子系统、系统测试性设计的标准化，不同的模块、子系统按此标准设计都可以很容易地接入整个系统。

2 MTM总线模块间通信体系的构建

2.1 MTM总线短距离通信体系的构建

2.1.1 多个模块在 MTM 总线上的互联方式

MTM-Bus 在实际的应用中，系统一般都是由一个主模块和多个从模块组成，在本文设计的电路中，MCTL, MMD, MSD, MCLK 和 MPR 的输出均为 TTL 电平，TTL 门输出端并不能直接并接使用，否则这些门的输出管之间由于低阻抗形成很大的短路电流(灌电流)而烧坏器件。在硬件上，各个模块的信号线可以通过 OC 门挂到 MTM 总线上。OC 门可实现线与功能，符合 MTM 总线的包传输协议。

针对具体应用对象，模块间短距离通信可分为底板式和非底板式。对于非底板式短距离通信，由于模块间的距离增长，信号在传送过程中都会出现大幅衰减。OC 门可以提高总线的驱动能力，去除一些长距离的平行数据线间的相互串扰，增长数据传输的有效距离，提高模块间数据通信的可靠性。本文设计采用的是 OC 门芯片 SN74LS07，其正常工作电压都是 5 V，SN74LS07 最大可以提供 40 mA 的驱动电流。

2.1.2 MTM 总线通信体系的影响因素

MTM 总线通信体系受以下 3 个因素影响：

(1)传输电缆。普通的排线适于低频信号的短距离传输，平行排线间会发生相互串扰，从而使信号衰减大且抗干扰能力弱，而同轴电缆由于有外导体的屏蔽作用，由辐射引起的能量损耗一般很小，其损耗主要是由导线的电阻和介质的损耗产生的，其传输效果比排线好。

(2)传输信号频率。从理论上分析，同轴电缆的衰减主要由内导体“趋肤效应”损耗引起。频率越高趋肤效应越强，串联电感的感抗(ωL)增加，同时并联电容的容抗(ωc)减小，内导体上信号对外导体的旁路泄漏增加，所以频率越高，电缆传输距离越长，其衰减也越大。

(3)门电路扇出系数。从 IEEE1149.5 标准协议可知，MTM 总线上可以挂载 250 个从模块，这就涉及到门电路扇出系数的问题。扇出系数 N_o 是指门电路输出端连接同类门的最多个数，它反映了门电路的带负载能力。扇出系数 N_o 可以通过下列的公式确定：当门电路工作于关态时，扇出系数为： $N_{OH}=I_{OHMAX}/nI_{IH}$ ，其中 I_{OHMAX} 为最大拉电流； n 为负载门输入端的个数； I_{IH} 输入漏电流；当门电路工作于开态时，扇出系数： $N_{OL}=I_{OLMAX}/I_{IS}$ ，其中， I_{OLMAX} 最大灌电流， I_{IS}

输入短路电流。门电路的扇出系数 $N_o=\min\{N_{OH}, N_{OL}\}$ 。设计者可以根据 MTM 总线挂载从模块的个数要求，选用不同的门电路芯片，以满足设计的要求。

2.1.3 MTM 总线短距离通信体系的设计

根据 MTM 总线协议，可给出 MTM 总线底板上模块间互联方案的设计，其方案框图如图 3 所示。可知，在主模块的输出端，MCLK, MCTL 和 MMD 须经过 OC 门再输出至从模块；在从模块的输出端，MSD 和 MPR 须经过 OC 门再输出至主模块。其中， AB 为主从模块间的距离； CD 为相邻的从模块间的距离。对于非底板式的短距离通信体系，MTM 总线上的各个模块不是在一个背板上，须通过电缆线连接起来。模块间连接线一般有 2 种：5 根并在一起的排线，5 根独立的同轴电缆。

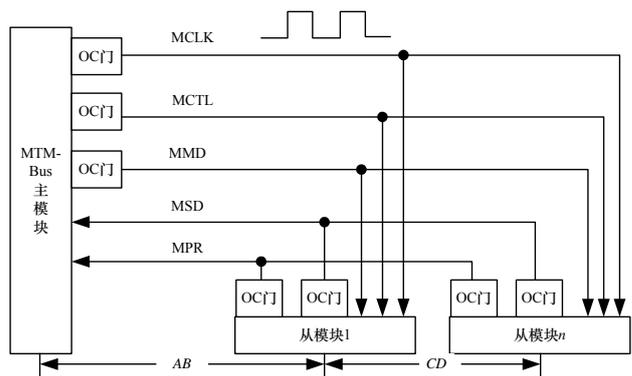


图3 MTM总线底板式模块互联设计方案

当系统需要挂载多个从模块时，可在 OC 门电路驱动有效范围内再加上一级 OC 门驱动电路，以便驱动后续的从模块。

2.2 MTM总线长距离通信体系的构建

在实际的应用中，模块间的互联并不一定是在底板上的，根据实际的需要，模块与模块可能相距上百米的距离，这时 MTM 总线短距离通信体系便不能满足实际的要求，因此需构建 MTM 总线长距离通信体系。

2.2.1 MTM 总线长距离通信理论分析

根据边界扫描测试的需要，测试的速率越快越好，一般的测试都要求上兆的测试时钟。同轴电缆和双绞线是应用很广泛的信号传输载体，同时也是有损耗的传输线。对信号的传输损耗与信号频率的平方根成正比，会使信号产生失真和畸变，引起数字码元间的串扰。因此，长距离传输系统需提供高速数据传输、抑制共模噪声及降低功耗的能力，而低电压差分信号(Low Voltage Differential Signaling, LVDS)是个很好的解决方案。在理论上，LVDS 的最高传输速率可达 1.923 Gb/s，完全满足 MTM 总线的数据通信速率要求。

LVDS 的出现虽然满足了短距离传输条件下数据高速传输的要求，但传统的 LVDS 不能支持长距离传输。一般距离短至只有几英寸，最长则不超过 10 m。对于系统设计来说，电缆加长之后，便要解决多个长距离传送的设计问题。美国国家半导体公司建议的办法是，采用高速串行数字接口自适应电缆均衡器及电缆驱动器芯片。

2.2.2 自适应电缆均衡器在通信体系中的作用

经电缆长距离传送的信号都会出现衰减现象，如采用串行数字接口电缆驱动器/接收器芯片组，可避免信号衰减。自适应电缆均衡器芯片 CLC014 原理如图 4 所示。

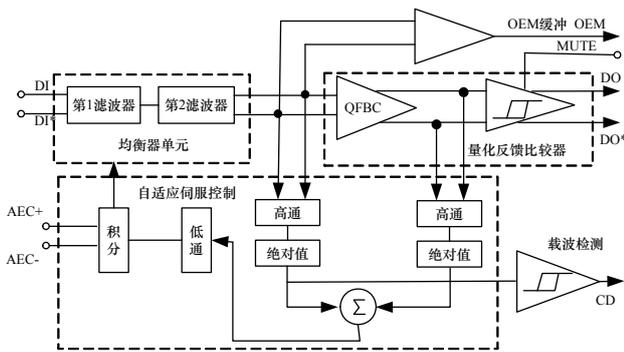


图4 自适应电缆均衡器芯片 CLC014 原理

在 CLC014 内有自适应伺服控制单元，能产生用于控制滤波单元的控制信号。该信号是与电缆长度成正比的电压信号，这一单元接收来自滤波单元的输出信号和量化反馈比较器的差分信号，用它们来构成这一控制信号。伺服环路响应由接在 AEC 正端和 AEC 负端的外接电容控制，伺服控制电压即 AEC 正端和 AEC 负端的差分电压与传输线长度近似成正比。

CLC014 的任务是从表面上无价值波形中回收信号，并将它恢复到适当电压电平。即使所用的电缆较长，例如长达 300 m 的优质同轴电缆(Belden8281)或长达 120 m 的 5 类无屏蔽式双绞线电缆，均衡器芯片都可自动为信号损耗提供补偿。均衡器可为电缆损耗提供补偿，使电缆传来的串行数字信号可以重新恢复其原有强度。

2.2.3 MTM 总线长距离通信体系结构设计

若采用没有信号调节功能的 LVDS 芯片，电缆的长度一般不能超过几米，采用设有驱动器预加重功能和接收器均衡功能的 LVDS 集成电路，电缆的长度可最多到数百米。图 5 所示的通信通道采用 1 位的 LVDS 串行/解串器，以及串行数字接口电缆驱动器/均衡器芯片组，驱动经同轴电缆传送的信号。LV019 的作用是将来自 OC 门输出的串行 TTL 电平信号转换为差分信号。

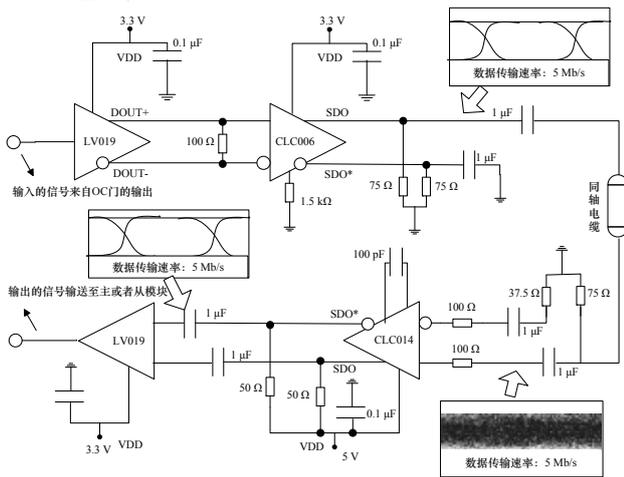


图5 MTM 总线长距离通信体系结构

图 5 中的电缆接收器 CLC006 为高速驱动器，可驱动同轴电缆和双绞线，它采用差分输入和差分输出，经交流耦合驱动同轴电缆。传输的信号再经交流耦合送到自适应均衡器 CLC014。同轴电缆的特性阻抗为 75 Ω。输入端接人 37.5 Ω 的电阻是为了平衡每一端的输入阻抗，输出端接 75 Ω 的电阻是为了阻抗匹配以及为输出建立合适的 ECL 电平，然后将

CLC014 输出的 ECL 电平输送至 LVDS 差分接收器 LV019。图 4 中的 LVDS 差分接收器 LV019 是一款高阻抗芯片，可以检测小至 20 mV 的差分信号，然后将这些信号放大，达到标准 TTL 逻辑电平。

3 测试验证

3.1 系统测试方案设计

MTM 总线驱动电路的测试是在本研究所设计的系统级边界扫描测试系统的平台上进行的，系统测试方案如图 6 所示。测试的数据由 PC 机发送到下位机，下位机接收后将数据按照 IEEE1149.5 的标准要求打包，然后送给主从模块(由 FPGA 实现)，时钟信号线、控制信号线和主模块信号线经过 OC 门驱动电路接至从模块(由 FPGA 实现)，测试响应数据经过从模块信号线和请求暂停信号线发至主模块，测试的响应数据最终发至 PC 机，由上位机来判断响应数据是否符合测试要求。

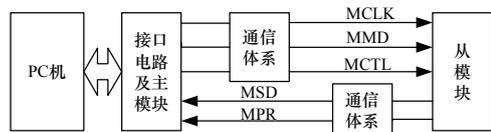


图6 系统测试方案

3.2 测试结果

实验采用一个主模块和 2 个从模块组成一个系统，时钟信号 MCLK 频率为 5 MHz。

3.2.1 MTM 总线底板式通信体系测试结果

主模块和 2 个从模块均在同一背板上，采用 OC 门芯片 SN74LS07 能满足体系通信的要求，测试结果表明，主从模块能稳定、可靠的通信。

3.2.2 MTM 总线非底板式短距离通信体系测试结果

采用排线作为传输线，当主从模块间的距离较短时(此时 AB 取 4 m，CD 取 4 m)，系统均能正常稳定的工作。当取主从模块间的距离 AB 为 10 m 时(此时 AB 取 5 m，CD 取 5 m)，系统不能正常工作，主模块无法对其他的 2 个从模块进行寻址，用示波器观察时钟信号线 MCLK 在 A 端时在 D 端时的波形如图 7 所示。其中，m 表示 MCLK 在主模块 A 端时波形状态；n 表示 MCLK 到达在从模块 D 端时波形状态。从图 7 可以看到，MCLK 的波形已经有所失真。

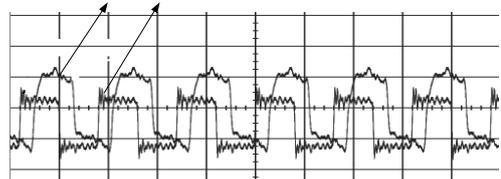


图7 用 SN74LS07 做 OC 门电路时的 MCLK 波形

当采用 5 根独立的同轴电缆线(75 Ω)作为模块间的信号传输线时，数据的传输效果比排线好(同轴电缆线有屏蔽干扰功能)，系统工作也更为稳定，但有效传输距离不超过 10 m。

3.2.3 MTM 总线长距离通信体系测试结果

MTM 总线底板式通信体系的成功构建是 MTM 总线长距离通信体系构建的基础和前提。测试使用的是 SYV-75-2 优质同轴电缆，主从模块间的距离为 200 m，用逻辑分析仪来观测数据传输线 MCTL, MMD, MSD, MCLK 和 MPR 的信号，结果都正确，无误码出现。

(下转第 259 页)