中国汽车芯片标准检测认证联盟 **HSMT** 工作组 规范

S-HSMT-2001-2026

HSMT 音频测试规范

HSMT Audio Test Specification

（征求意见稿）

v1.4

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX－XX－XX 发布　　XXXX－XX－XX 实施

发　布

HSMT工作组 征求意见稿 标准制定仅限工作组内部使用 禁止转载

目　次

前　　言 VI
1 范围 7
2 规范性引用文件 7
3 术语和定义 7
4 缩略语 7
5 总则 7
6 试验环境 9
6.1 通则 9
6.2 试验环境1 9
6.3 试验环境2 9
6.4 试验环境3 9
7 电气指标 10
7.1 信号眼图 10
7.1.1 单节点信号眼图（单节点） 10
7.1.2 多节点信号眼图（一主十从） 11
7.2 功率谱密度 11
7.2.1 功率谱密度（单节点） 11
7.3 最大输出顶降 11
7.3.1 最大输出顶降（单节点） 11
7.4 时钟频偏 12
7.4.1 单节点时钟频偏（单节点） 12
7.4.2 多节点时钟频偏（一主一从） 13
7.4.3 多节点时钟频偏（一主十从） 13
7.5 时钟抖动 13
7.5.1 单节点时钟抖动（单节点） 13
7.5.2 多节点时钟抖动（一主一从） 14
7.5.3 多节点时钟抖动（一主十从） 15
8 基础功能 15
8.1 连通性 15
8.1.1 自动连通 – 初始化配置方式1（一主一从） 15
8.1.2 自动连通 – 初始化配置方式1（一主十从） 15
8.1.3 自动连通 – 初始化配置方式2（一主一从） 16
8.1.4 自动连通 – 初始化配置方式2（一主十从） 16
8.1.5 链路建立时间 – 初始化配置方式1（一主一从） 16
8.1.6 链路建立时间 – 初始化配置方式1（一主十从） 16
8.1.7 链路建立时间 – 初始化配置方式2（一主一从） 17
8.1.8 链路建立时间 – 初始化配置方式2（一主十从） 17
8.1.9 连通鲁棒性（一主一从） 17
8.1.10 连通鲁棒性（一主十从） 17
8.2 休眠和唤醒 19
8.2.1 休眠和唤醒（一主一从） 19

8.2.2 休眠和唤醒（一主十从） 19
8.3 节点发现 19
8.3.1 从节点收到无效帧节点 ID 的发现帧（一主一从） 19
8.3.2 从节点收到无效帧节点 ID 的发现帧（一主十从） 20
8.3.3 从节点收到相同节点 ID 的发现帧（一主一从） 20
8.3.4 从节点收到相同节点 ID 的发现帧（一主十从） 20
8.4 发起中断 20
8.4.1 上行帧发起从节点发起中断（一主十从） 21
8.4.2 上行帧响应从节点发起中断（一主十从） 21
8.4.3 中断发起从节点不是上行帧发起或响应从节点（一主十从） 21
8.5 线束故障诊断 21
8.5.1 完成对下一级节点供电前，注入故障位置为从节点 1（一主一从） 21
8.5.2 完成对下一级节点供电前，注入故障位置为从节点 1（一主十从） 22
8.5.3 完成对下一级节点供电前，注入故障位置为从节点 10（一主十从） 22
8.5.4 完成对下一级节点供电后，注入故障位置为从节点 1（一主一从） 22
8.5.5 完成对下一级节点供电后，注入故障位置为从节点 1（一主十从） 23
8.5.6 完成对下一级节点供电后，注入故障位置为从节点 10（一主十从） 23
9 音频业务 23
9.1 TDM 音频测试 23
9.1.1 TDM 下行音频测试（一主一从） 23
9.1.2 TDM 下行音频测试（一主十从） 24
9.1.3 TDM 上行音频测试（一主一从） 24
9.1.4 TDM 上行音频测试（一主十从） 25
9.1.5 TDM 下行&TDM 上行业务并发测试（一主一从） 25
9.1.6 TDM 下行&TDM 上行业务并发测试（一主十从） 25
9.2 PDM 音频测试 25
9.2.1 PDM 上行音频测试（一主一从） 25
9.2.2 PDM 上行音频测试（一主十从） 26
9.3 静音测试 26
9.3.1 链路异常时静音功能测试（一主一从） 26
9.3.2 链路异常时静音功能测试（一主十从） 26
9.3.3 休眠状态静音功能测试（一主一从） 26
9.3.4 休眠状态静音功能测试（一主十从） 27
9.4 TDM & PDM 音频测试 27
9.4.1 TDM 上行&PDM 上行业务并发测试（一主一从） 27
9.4.2 TDM 上行&PDM 上行业务并发测试（一主十从） 27
9.4.3 TDM 下行&PDM 上行业务并发测试（一主一从） 27
9.4.4 TDM 下行&PDM 上行业务并发测试（一主十从） 27
10 控制业务 28
10.1 I2C 控制业务 28
10.1.1 I2C 模式 0 写+读操作远端节点外设（一主一从） 28
10.1.2 I2C 模式 0 写+读操作远端节点外设（一主十从） 28
10.1.3 I2C 模式 1 写操作远端节点寄存器（一主一从） 28
10.1.4 I2C 模式 1 写操作远端节点寄存器（一主十从） 29
10.1.5 I2C 模式 1 写操作远端节点外设（一主一从） 29

10.1.6 I2C 模式 1 写操作远端节点外设（一主十从） 29
10.1.7 I2C 100kHz 速率写+读操作（一主一从） 29
10.1.8 I2C 400kHz 速率写+读操作（一主一从） 29
10.1.9 I2C 1MHz 速率写+读操作（一主一从） 30
10.1.10 I2C 100kHz 速率写+读操作（一主十从） 30
10.1.11 I2C 400kHz 速率写+读操作（一主十从） 30
10.1.12 I2C 1MHz 速率写+读操作（一主十从） 30
10.2 GPIO 控制业务 30
10.2.1 主节点下行帧发送，从节点接收，GPIO 主输入，2 从输出（一主十从） 30
10.2.2 主节点下行帧发送，从节点接收，GPIO 主输入，1 从输入，1 从输出（一主十从） 31
10.2.3 主节点上行帧接收，从节点发送，GPIO 主输出，2 从输入（一主十从） 31
10.2.4 主节点上行帧接收，从节点发送，GPIO 主输出，1 从输入，1 从输出（一主十从） 31
10.2.5 GPIO PLDB 超帧数量轮询、GPIO 取反（一主十从） 32
11 应用测试 32
11.1 总线供电 32
11.1.1 总线供电（单节点） 32
11.2 广播/组播配置 32
11.2.1 配置帧节点 ID 为广播 ID（一主十从） 32
11.2.2 配置帧节点 ID 为当前节点 ID 所在的组播 ID（一主十从） 33
11.2.3 配置帧节点 ID 为组播 ID，当前节点 ID 不属于该组播 ID（一主十从） 33
11.2.4 I2C 模式 0 广播写+读操作远端节点外设寄存器（一主一从） 33
11.2.5 I2C 模式 0 广播写+读操作远端节点外设寄存器（一主十从） 34
11.3 升降采样 34
11.3.1 TDM 下行升采样（一主一从） 34
11.3.2 TDM 下行升采样（一主十从） 34
11.3.3 TDM 下行降采样（一主一从） 34
11.3.4 TDM 下行降采样（一主十从） 35
11.3.5 TDM 上行降采样（一主一从） 35
11.3.6 TDM 上行降采样（一主十从） 35
11.3.7 PDM 上行降采样（一主一从） 35
11.3.8 PDM 上行降采样（一主十从） 36
11.4 环回 36
11.4.1 总线 A 口环回，输入音源（单节点） 36
11.4.2 总线 B 口环回，输入音源（单节点） 36
11.4.3 总线 A 口环回，输入 SYNC（单节点） 37
11.4.4 总线 B 口环回，输入 SYNC（单节点） 37
11.4.5 TDM 端口 RX-TX 环回，输入音源（单节点） 37
11.4.6 SoC 下行输入音源，末端节点 TX-RX 环回，上行回到 SoC（一主十从） 37
11.4.7 SoC 下行输入音源，非末端节点 TX-RX 环回，上行回到 SoC（一主十从） 38
11.5 音频接口 38
11.5.1 音频接口输出时钟抖动 BCLK TIE（一主一从） 38
11.5.2 音频接口输出时钟抖动 SYNC TIE（一主一从） 39
11.5.3 音频接口输出时钟抖动 BCLK TIE（一主十从） 39
11.5.4 音频接口输出时钟抖动 SYNC TIE（一主十从） 40
11.5.5 音频接口 SSC 开启后，输出时钟抖动 SYNC TIE（一主一从） 40

11.5.6 音频接口 SSC 开启后，输出时钟抖动 SYNC TIE（一主十从） 40
11.5.7 音频接口输出时钟抖动 BCLK Cycle to Cycle（一主一从） 40
11.5.8 音频接口输出时钟抖动 SYNC Cycle to Cycle（一主一从） 41
11.5.9 音频接口输出时钟抖动 BCLK Cycle to Cycle（一主十从） 41
11.5.10 音频接口输出时钟抖动 SYNC Cycle to Cycle（一主十从） 42
11.5.11 音频接口输出时钟抖动 BCLK（PDM） Cycle to Cycle（一主一从） 42
11.5.12 音频接口输出时钟抖动 BCLK（PDM） Cycle to Cycle（一主十从） 42
11.5.13 PDM 转 PCM 性能（一主一从） 42
11.6 电源接口 43
11.6.1 电源接口（一主一从） 43
12 性能测试 43
12.1 帧处理时延 44
12.1.1 主节点处理时延（一主一从） 44
12.1.2 非末端从节点处理时延（一主十从） 44
12.1.3 末端从节点处理时延（一主一从） 45
12.2 反复初始化 45
12.2.1 常温反复初始化（一主十从） 45
12.3 误码率 46
12.3.1 驱动能力配置为低，SSC 关闭（一主十从） 46
12.3.2 驱动能力配置为中，SSC 关闭（一主十从） 46
12.3.3 驱动能力配置为高，SSC 关闭（一主十从） 46
12.3.4 驱动能力配置为低，SSC 开启最高频率和幅度（一主十从） 46
12.3.5 驱动能力配置为中，SSC 开启最高频率和幅度（一主十从） 47
12.3.6 驱动能力配置为高，SSC 开启最高频率和幅度（一主十从） 47
12.4 线缆恶化误码率测试 47
12.4.1 线缆失绞误码率测试（一主一从） 47
12.4.2 线缆不等长误码率测试（一主一从） 48
12.4.3 线缆绞距增加误码率测试（一主一从） 48
12.5 温度恶化误码率测试 48
12.5.1 温度循环误码率测试（一主十从） 48
12.5.2 高温误码率测试（一主十从） 49
12.5.3 低温误码率测试（一主十从） 49
12.6 时钟扩频 49
12.6.1 节点时钟扩频（一主十从） 49
12.6.2 节点时钟扩频打开时，发送端口的输出数据和时钟中心频率的匹配度（一主十从） ... 50

图 1 试验环境 1 9
图 2 试验环境 2 9
图 3 试验环境 3 10
图 4 PDM 转 PCM 试验环境 43
图 5 主节点开启时钟扩频时，数据发送起始位置示意图 50
图 6 从节点开启时钟扩频时，数据发送起始位置示意图 51

表 1 正向速率与待测件形态、用例等级的对应关系 7
表 2 测试用例分类 8
表 3 组网拓扑说明 8

表 4 信号眼图示波器设置（不含外围电路） 10
表 5 信号眼图示波器设置（含外围电路） 10
表 6 功率谱密度示波器设置 11
表 7 最大输出顶降示波器设置 12
表 8 时钟频偏示波器设置 12
表 9 总线时钟抖动示波器设置（TIE） 14
表 10 总线时钟抖动示波器设置（Cycle to Cycle） 14
表 11 试验环境 2 上行帧响应时间初始值配置 17
表 12 试验环境 3 上行帧响应时间初始值配置（下行 32 个信息比特数为 24bit 的音频 PLDB） 18
表 13 试验环境 3 上行帧响应时间配置（上行 32 个信息比特数为 24bit 的音频 PLDB） 18
表 14 试验环境 3 上行帧响应时间配置（上、下行 16 个信息比特数为 24bit 的音频 PLDB） 18
表 15 节点发现无效 ID 20
表 16 中断配置寄存器 21
表 17 主节点 TDM 音频配置 24
表 18 从节点 TDM 音频配置 24
表 19 PDM 音频配置 26
表 20 GPIO 配置 31
表 21 TDM 升采样配置 34
表 22 TDM 降采样配置 35
表 23 PDM 降采样配置 36
表 24 数据环回测试模式配置 36
表 25 音频接口输出时钟抖动示波器设置（BCLK:TIE） 39
表 26 音频接口输出时钟抖动示波器设置（SYNC:TIE） 39
表 27 音频接口输出时钟抖动示波器设置（BCLK: Cycle to Cycle） 41
表 28 音频接口输出时钟抖动示波器设置（SYNC: Cycle to Cycle） 41
表 29 节点时钟扩频示波器设置 49
表 30 中心频率匹配度示波器设置 50

HSMT工作组 征求意见稿

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件所代替标准的历次版本发布情况为：首次发布。

HSMT工作组 征求意见稿

HSMT 音频测试规范

1 范围

本文件规定了车载有线高速媒体传输百兆时分双工系统的互操作性测试试验方法。

本文件规定的测试类别共三类，分别为电气指标一致性测试、协议一致性测试和互操作性测试。其中，第7章规定了电气指标一致性测试的试验方法，第8~13章规定了协议一致性测试和互操作性测试的试验方法。

本文件适用于由主节点、从节点以及连接主从节点的线束组成的车载有线高速媒体传输百兆时分双工系统。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

QCT XXXXX-XXXX 车载有线高速媒体传输 百兆时分双工系统 技术规范

QCT XXXXX-XXXX 汽车音频总线芯片技术规范

3 术语和定义

QC/T XXXXX-XXXX 界定的术语和定义适用于本文件。

4 缩略语

QC/T XXXXX-XXXX 界定的缩略语适用于本文件。

5 总则

遵循《车载有线高速媒体传输 百兆时分双工系统 技术规范》（以下简称为HSMT音频协议）和《汽车音频总线芯片技术规范》（以下简称为HSMT音频芯片协议）的FPGA、芯片、模组、部件，应采用本文件规定的测试用例和试验方法进行协议一致性和互联互通测试。

本文件规定的测试类别与测试试验方法、被测试件形态、对手件应满足如下的对应关系。

表 1　正向速率与待测件形态、用例等级的对应关系

测试类别	试验方法章节	被测试件形态	对手件
电气指标一致性测试	第 7 章	芯片/模组/部件	示波器
协议一致性测试	第 8~13 章	FPGA/芯片/模组/部件	协议激励源、协议分析仪
互操作性测试	第 8~13 章	FPGA/芯片/模组/部件	金标芯片

测试用例与待测件形态、用例等级要求的对应关系应与《HSMT-A IOT测试用例表》相符合。

测试用例适用的待测件形态包括芯片 Only、芯片/FPGA、FPGA Only。芯片 Only适用于待测件为芯片时的测试，FPGA Only适用于待测件为FPGA时的测试，芯片/FPGA既适用于待测件为芯片时的测试，同时也适用于待测件为FPGA时的测试。

测试用例等级包括必选用例和可选用例。必选用例是测试必须的测试用例，是测试通过的必要条件，即厂商必须要实现的能力。可选用例不是测试必须的测试用例，如果厂商宣称支持，用例应测试通过，否则可以不测试。

测试用例分为六大类，共110个必选用例与表2　相符合，厂商根据用例清单分别执行所有测试用例。

表 2　测试用例分类

用例类型	用例子类型	涉及的组网拓扑	测试用例数量
电气指标	信号眼图	1；6	2
电气指标	功率谱密度	1	1
电气指标	最大输出顶降	1	1
电气指标	时钟频偏	1；3；6	3
电气指标	时钟抖动	1；3；6	3
基础功能	连通性	2、3；4、5、6	10
基础功能	休眠与唤醒	2、3；4、5、6	2
基础功能	发起中断	4、5、6	3
基础功能	线束故障诊断	2、3；4、5、6	24
音频业务	TDM	2、3；5、6	6
音频业务	PDM	2、3；5、6	2
音频业务	静音	3；6	4
控制业务	I2C 控制业务	2、3；4、5、6	8
控制业务	GPIO 控制业务	5、6	2
应用测试	总线供电	4、5、6	1
应用测试	广播/组播配置	2、3；4、5、6	5
应用测试	升降采样	3；5、6	4
应用测试	环回	1；4、5、6	7
应用测试	音频接口	2、3；5、6	11
应用测试	电源接口	1	1
性能测试	帧处理时延	2；6	3
性能测试	反复初始化	5、6	1
性能测试	误码率测试	5、6	1
性能测试	时钟扩频	5、6	2
合计			107

测试环境对应的待测节点涉及的组网拓扑定义应与表 3　相符合，其中，试验环境 1~3 应符合本文件第 6 章中的试验环境定义，DUT 为被测节点，RDT 为测试金标节点。

表 3　组网拓扑说明

组网序号	组网方式	DUT 在拓扑中的位置	组网拓扑
组网 1	试验环境 1	-	DUT
组网 2	试验环境 2	DUT 主节点	DUT+RDT
组网 3	试验环境 2	DUT 末端从节点	RDT+DUT
组网 4	试验环境 3	DUT 主节点	DUT+RDT*10
组网 5	试验环境 3	DUT 中间从节点	RDT+DUT*4+RDT+DUT*4+RDT
组网 6	试验环境 3	DUT 末端从节点	DUT+RDT*4+DUT+RDT*4+DUT

6 试验环境

6.1 通则

第7章中的试验项应使用第6章中规定的试验环境1、试验环境2和试验环境3进行试验。其中，试验环境2和试验环境3应符合表3 中的组网拓扑。

为了简化描述，除测试用例中特殊说明外，测试过程中IOVDD为3.3V；完成对所有从节点的发现，然后再完成对所有从节点的初始化配置，以下称初始化配置方式1；完成对从节点k的发现后即对此从节点进行初始化配置，然后再对下一个从节点k+1进行发现和初始化配置，直到完成所有从节点的发现和初始化配置，以下称初始化配置方式2。

如无特殊说明，各试验在如下条件下进行：

——常温常压；

——节点不连接外设设备；

——主节点和从节点使用双绞线连接，线束信道电气指标参见HSMT音频协议中附录E。

测试外围电路应符合HSMT音频芯片协议中附录D的相关要求。

6.2 试验环境 1

试验环境1应与图1 相符合，用于单节点电气指标测试。上位机具有配置待测节点、读取待测节点状态的功能。通过示波器测量待测上/下行传输信号的电气指标。测试点为待测节点芯片发送连接器端。

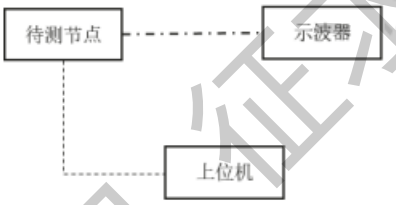


图 1 试验环境 1

6.3 试验环境 2

试验环境2应与图2 相符合，用于拓扑1测试。上位机具有配置主节点和从节点、读取测量量和统计量的功能。连接线束为双绞线长度应为15 m。

若进行电气指标测试，可通过示波器测量待测上/下行传输信号的电气指标。测试点为待测节点芯片的发送连接器端。



图 2 试验环境 2

6.4 试验环境 3

试验环境3应与图3 相符合，用于拓扑2测试。上位机具有配置主节点和从节点、读取测量量和统计量的功能。连接线束为双绞线时，主节点到从节点1、从节点1到从节点2、从节点2到从节点3、从节点3到从节点4、从节点4到从节点5的线缆长度应为15 m，其余从节点之间的线缆长度应为1 m。若进行电气指标测试，可通过示波器测量待测上/下行传输信号的电气指标。测试点为待测节点芯片的发送连接器端。

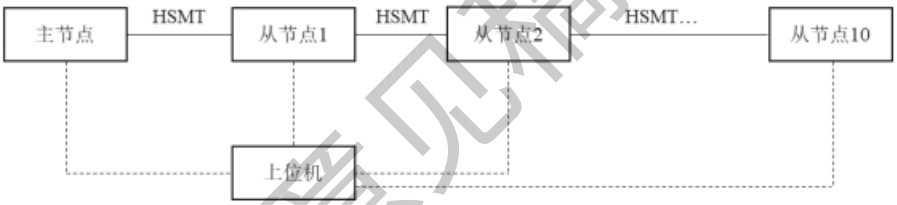


图 3　试验环境 3

7　电气指标

7.1　信号眼图

7.1.1　单节点信号眼图（单节点）

7.1.1.1　试验步骤

a）　按照试验环境 1 组网；
b）　待测节点上电；
c）　将待测节点配置为主节点模式；
d）　给待测节点提供 48kHz SYNC 信号；
e）　将待测芯片配置为测试模式 1，驱动能力配置为高，下游端口输出；
f）　通过示波器测量待测节点输出信号的眼图，连续测量的符号数不低于 100 万，示波器设置满足表 4　或表 5　中的要求；
g）　驱动能力依次配置为中和低，分别重复步骤 f）。

7.1.1.2　通过准则

所测得到的信号眼图均满足 HSMT 音频协议 5.11　章节中对信号眼图的要求。

表 4　信号眼图示波器设置（不含外围电路）

配置		设置
规格	带宽	大于等于 1.6GHZ
	采样率	大于等于 4GS/s
线缆和连接器	线缆	50 欧姆同轴线缆，带宽大于等于 1GHZ
时钟恢复	时钟恢复方法	二阶锁相环
	Nominal Data Rate	待测速率挡位
	PLL Specification	OJTF
	阻尼比	0.707
	测量符号数	10KUI
	存储深度	单次采集大于 100KUI

表 5　信号眼图示波器设置（含外围电路）

配置		设置
规格	带宽	500MHz
	采样率	大于等于 1GS/s
	去嵌带宽	200MHz
线缆和连接器	线缆	50 欧姆同轴线缆，带宽大于等于 1GHZ
时钟恢复	时钟恢复方法	二阶锁相环
	Nominal Data Rate	待测速率挡位
	PLL Specification	OJTF
	阻尼比	0.707
	测量符号数	1MUI
	存储深度	单次采集大于 100KUI

7.1.2 多节点信号眼图（一主十从）

7.1.2.1 试验步骤

a) 按照试验环境3组网；
b) 主节点和从节点上电；
c) 配置节点网络进行节点发现和节点配置，所有节点进入数据传输状态；
d) 给待测节点提供48kHz SYNC信号；
e) 将最远端待测节点配置为测试模式1，驱动能力配置为高，下游端口输出；
f) 通过示波器测量待测节点输出信号的眼图，连续测量的符号数不低于100万，示波器设置满足表4 或表5 中的要求；
g) 驱动能力依次配置为中和低，分别重复步骤f）。

7.1.2.2 通过准则

所测得到的信号眼图均满足HSMT音频协议5.11 章节中对信号眼图的要求。

7.2 功率谱密度

7.2.1 功率谱密度（单节点）

7.2.1.1 试验步骤

a) 按照试验环境1组网；
b) 待测节点上电；
c) 将待测节点配置为主节点模式；
d) 给待测节点提供48kHz SYNC信号；
e) 将待测芯片配置为测试模式1，驱动能力配置为高，下游端口输出；
f) 通过示波器测量待测节点输出信号的时域波形，示波器至少以8倍过采样采集10ms，示波器设置满足表6 中的要求；
g) 对信号时域波形进行傅里叶变换，得到信号PSD；
h) 驱动能力依次配置为中和低，分别重复步骤f）和g）。

表6 功率谱密度示波器设置

配置		设置
规格	带宽	大于等于1GHZ
	采样率	大于800MS/s
线缆和连接器	线缆	50欧姆同轴线缆,带宽大于等于1GHZ
时钟恢复	存储深度	满足采集时长10ms
分辨率	频率分辨率	2K
	分辨率带宽（RBW）	2K
处理算法	处理算法	Welch

7.2.1.2 通过准则

所测得到的功率谱密度均满足HSMT音频协议5.11章节中的功率谱密度的要求。

7.3 最大输出顶降

7.3.1 最大输出顶降（单节点）

7.3.1.1 通过准则

a) 按照试验环境1组网；
b) 待测节点上电；
c) 将待测节点配置为主节点模式；
d) 给待测节点提供48kHz SYNC信号；

e） 将待测节点配置为测试模式3，驱动能力配置为高，下游端口输出；
f） 通过示波器测量待测节点输出信号的最大输出顶降，示波器设置满足表7 中的要求；
g） 驱动能力依次配置为中和低，分别重复步骤f）。

7.3.1.2 通过准则

所测得到的最大输出顶降均满足HSMT音频协议5.11章节中的最大输出顶降要求。

表7 最大输出顶降示波器设置

配置		设置
规格	带宽	大于等于1.6GHZ
	采样率	大于等于4GS/s
线缆和连接器	线缆	50欧姆同轴线缆，带宽大于等于1GHZ
时钟恢复	时基	50ns/DIV
	幅基	波形占整屏80%~90%
	测量符号数	不涉及
	迹线平均	16次迹线平均，以消除噪声

7.4 时钟频偏

7.4.1 单节点时钟频偏（单节点）

7.4.1.1 试验步骤

a） 按照试验环境1组网；
b） 待测节点上电；
c） 将待测节点配置为主节点模式；
d） 给待测节点提供48kHz SYNC信号；
e） 将待测节点为测试模式4，驱动能力配置为高，下游端口输出；
f） 通过示波器测量待测节点输出信号的时钟频率，计算时钟频偏，示波器设置满足表8 的要求；
g） 驱动能力依次配置为中和低，分别重复步骤f）。

7.4.1.2 通过准则

所测得到的时钟频偏均满足HSMT音频协议5.11章节中的时钟频偏的要求。

表8 时钟频偏示波器设置

配置		设置
规格	带宽	大于等于1.6GHZ
	采样率	大于等于4GS/s
线缆和连接器	线缆	50欧姆同轴线缆，带宽大于等于1GHZ
测量类型	选择进行抖动或噪声的分解	不涉及
	选择抖动分解的RJ方法	不涉及
	选择噪声分解的RN方法	不涉及
测量设置	测量时钟抖动类型	时间间隔误差（TIE）
	信号跳变沿	双沿
	测量位置	50%
	测试信号类型	0101码型（49.152MHZ）
	长度	连续输出
时钟恢复	时钟恢复方法	恒频
	Nominal Data Rate	待测速率挡位
	PLL Specification	不涉及
	带宽与速率比	不涉及
	阻尼比	不涉及
	测量符号数	连续100万Count
	存储深度	大于1Mpts

7.4.2 多节点时钟频偏（一主一从）

7.4.2.1 试验步骤

a) 按照试验环境 2 组网；
b) 节点网络上电；
c) 配置节点网络进行节点发现和节点配置，所有节点进入数据传输状态；
d) 主节点采用测试模式 2，使用 32 个信息比特数为 32bit 的音频 PLDB 发送下行数据帧，下行数据帧依次经过各从节点到末端待测从节点，末端待测从节点将接收到的数据通过上行数据帧环回发送返回主节点；
e) 配置最远端待测节点为测试模式 4，驱动能力配置为高，下游端口输出；
f) 通过示波器测量待测节点输出信号的时钟频率，计算时钟频偏，测试时，示波器设置满足表 8 中的要求；
g) 驱动能力依次配置为中和低，分别重复步骤 f）。

7.4.2.2 通过准则

所测得到的时钟频偏均满足HSMT音频协议5.11章节中的时钟频偏的要求。

7.4.3 多节点时钟频偏（一主十从）

7.4.3.1 试验步骤

a) 按照试验环境 3 组网；
b) 节点网络上电；
c) 配置节点网络进行节点发现和节点配置，所有节点进入数据传输状态；
d) 主节点采用测试模式 2，使用 32 个信息比特数为 24bit 的音频 PLDB 发送下行数据帧，下行数据帧依次经过各从节点到末端待测从节点，末端待测从节点将接收到的数据通过上行数据帧环回发送返回主节点；
e) 配置最远端待测节点为测试模式 4，驱动能力配置为高，下游端口输出；
f) 通过示波器测量待测节点输出信号的时钟频率，计算时钟频偏，测试时，示波器设置满足表 8 中的要求；
g) 驱动能力依次配置为中和低，分别重复步骤 f）。

7.4.3.2 通过准则

所测得到的时钟频偏均满足HSMT音频协议5.11章节中的时钟频偏的要求。

7.5 时钟抖动

7.5.1 单节点时钟抖动（单节点）

7.5.1.1 试验步骤

a) 按照试验环境 1 组网；
b) 节点网络上电；
c) 将待测节点配置为主节点模式；
d) 给待测节点提供 48kHz SYNC 信号；
e) 将待测节点为测试模式 4，驱动能力配置为高，下游端口输出；
f) 通过示波器测量待测节点下游端口输出信号时钟总抖动，测试时，示波器设置满足表 9 或表 10 中的要求；
g) 驱动能力依次配置为中和低，分别重复步骤 f）。

7.5.1.2 通过准则

所测得到的时钟频偏均满足HSMT音频协议5.11章节中的时钟抖动的要求。

表 9　总线时钟抖动示波器设置（TIE）

配置		设置
规格	带宽	大于等于 1.6GHZ
	采样率	大于等于 4GS/s
线缆和连接器	线缆	50 欧姆同轴线缆，带宽大于等于 1GHZ
测量类型	选择进行抖动或噪声的分解	不涉及
	选择抖动分解的 RJ 方法	不涉及
	选择噪声分解的 RN 方法	不涉及
测量设置	测量时钟抖动类型	时间间隔误差（TIE）
	信号跳变沿	12kHz~100MHz 带通
	测量位置	双沿
	测试信号类型	50%
	长度	0101 码型（49.152MHZ）
	误码率	连续输出
时钟恢复	时钟恢复方法	恒频
	Nominal Data Rate	待测速率挡位
	PLL Specification	不涉及
	带宽与速率比	不涉及
	阻尼比	不涉及
	测量符号数	连续 100 万 Count
	存储深度	大于 1Mpts

表 10　总线时钟抖动示波器设置（Cycle to Cycle）

配置		设置
规格	带宽	大于等于 1.6GHZ
	采样率	大于等于 4GS/s
线缆和连接器	线缆	50 欧姆同轴线缆，带宽大于等于 1GHZ
测量类型	选择进行抖动或噪声的分解	不涉及
	选择抖动分解的 RJ 方法	不涉及
	选择噪声分解的 RN 方法	不涉及
测量设置	测量时钟抖动类型	Period-Period(N=1)
	测量位置	50%
	测试信号类型	0101 码型（49.152MHZ）
	长度	连续输出
时钟恢复	时钟恢复方法	恒频
	Nominal Data Rate	待测速率挡位
	PLL Specification	不涉及
	带宽与速率比	不涉及
	阻尼比	不涉及
	测量符号数	连续 100 万 Count
	存储深度	大于 1Mpts

7.5.2　多节点时钟抖动（一主一从）

7.5.2.1　试验步骤

a）　按照试验环境 2 组网；
b）　节点网络上电；
c）　配置节点网络进行节点发现和节点配置，所有节点进入数据传输状态；
d）　主节点采用测试模式 2，使用 32 个信息比特数为 32bit 的音频 PLDB 发送下行数据帧，下行数据帧依次经过各从节点到末端待测从节点，末端待测从节点将接收到的数据通过上行数据帧环回发送返回主节点；
e）　配置最远端待测节点为测试模式 4，驱动能力配置为高，下游端口输出；

f） 通过示波器测量待测节点下游端口输出信号时钟总抖动，测试时，示波器设置满足表9 或表10 中的要求；
g） 驱动能力依次配置为中和低，分别重复步骤f）。

7.5.2.2 通过准则

所测得到的时钟频偏均满足HSMT音频协议5.11章节中的时钟抖动的要求。

7.5.3 多节点时钟抖动（一主十从）

7.5.3.1 试验步骤

a） 按照试验环境3组网；
b） 节点网络上电；
c） 配置节点网络进行节点发现和节点配置，所有节点进入数据传输状态；
d） 主节点采用测试模式2，使用16个信息比特数为24bit的音频PLDB发送下行数据帧，下行数据帧依次经过各从节点到末端待测从节点，末端待测从节点将接收到的数据通过上行数据帧环回发送返回主节点；
e） 配置最远端待测节点为测试模式4，驱动能力配置为高，下游端口输出；
f） 通过示波器测量待测节点下游端口输出信号时钟总抖动，测试时，示波器设置满足表9 或表10 中的要求；
g） 驱动能力依次配置为中和低，分别重复步骤f）。

7.5.3.2 通过准则

所测得到的时钟频偏均满足HSMT音频协议5.11章节中的时钟抖动的要求。

8 基础功能

8.1 连通性

8.1.1 自动连通 – 初始化配置方式1（一主一从）

8.1.1.1 试验步骤

a） 按照试验环境2组网；
b） 主节点和所有从节点上电；
c） 上位机控制主节点完成本地初始化配置，主节点进入节点发现状态；
d） 主节点和所有从节点经过节点发现，所有从节点进入已被发现子状态；
e） 主节点依次完成对各个从节点进行初始化配置；
f） 所有从节点在状态跳转计时器递减为0的下一个下行帧起始位置时刻进入数据传输状态；
g） 主节点收到配置响应帧完成对从节点配置，上位机配置本地寄存器进入数据传输状态。

8.1.1.2 通过准则

——步骤c）主节点进入节点发现状态，或发送下行发现帧，节点ID和帧有效字段正确；
——步骤d）从节点进入节点发现-已被发现子状态，或发送上行发现响应帧，节点ID字段为k；
——步骤e）从节点进入初始化状态，或发送上行配置响应帧，节点ID字段为k；
——步骤f）从节点进入数据传输状态；
——步骤g）主节点进入数据传输状态。

8.1.2 自动连通 – 初始化配置方式1（一主十从）

8.1.2.1 试验步骤

与8.1.1 的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

8.1.2.2 通过准则

与8.1.1 的通过准则相同。

8.1.3 自动连通 – 初始化配置方式 2（一主一从）

8.1.3.1 试验步骤

a) 按照试验环境 2 组网；
b) 主节点和所有从节点上电；
c) 上位机控制主节点完成本地初始化配置，主节点进入节点发现状态；
d) 主节点完成对从节点 k（1~N）的节点发现；
e) 主节点完成对从节点 k（1~N）初始化配置；
f) 主节点依次和所有从节点经过节点发现和初始化配置；
g) 所有从节点在状态跳转计时器递减为 0 的下一个下行帧起始位置时刻进入数据传输状态；
h) 主节点收到配置响应帧完成对从节点配置，上位机配置本地寄存器进入数据传输状态。

8.1.3.2 通过准则

——步骤 c）主节点进入节点发现状态，或发送下行发现帧，节点 ID 和帧有效字段正确；
——步骤 d）从节点进入节点发现-已被发现子状态，或发送上行发现响应帧，节点 ID 字段为 k；
——步骤 e）从节点 k 进入初始化状态，或发送上行配置帧，节点 ID 字段为 k；
——步骤 g）所有从节点进入数据传输状态；
——步骤 h）主节点进入数据传输状态。

8.1.4 自动连通 – 初始化配置方式 2（一主十从）

8.1.4.1 试验步骤

与8.1.3 的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

8.1.4.2 通过准则

与8.1.3 的通过准则相同。

8.1.5 链路建立时间 – 初始化配置方式 1（一主一从）

8.1.5.1 试验步骤

a) 按照试验环境 2 组网；
b) 主节点和从节点上电；
c) 上位机通过 I2C 接口获取主节点发送第一条下行发现帧的时刻，或者通过记录触发主节点进入节点发现状态的时刻 t1；
d) 主节点完成对所有从节点的发现；
e) 主节点完成对所有节点的初始化；
f) 上位机通过 I2C 接口，获取到主节点发出第一条下行数据帧或者收到第一条上行数据帧的时刻 t2；
g) 计算链路建立时间 t = t2 – t1。

8.1.5.2 通过准则

试验环境2的链路建立时间应小于等于30 ms。

8.1.6 链路建立时间 – 初始化配置方式 1（一主十从）

8.1.6.1 试验步骤

与8.1.5 的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

8.1.6.2 通过准则

试验环境3的链路建立时间应小于等于300ms。

8.1.7 链路建立时间 – 初始化配置方式 2（一主一从）

8.1.7.1 试验步骤

a) 按照试验环境 2 组网；
b) 主节点和从节点上电；
c) 上位机通过 I2C 接口获取主节点发送第一条下行发现帧的时刻，或者通过记录触发主节点进入节点发现状态的时刻 t1；
d) 主节点完成对从节点 k 的发现后即对此从节点进行初始化配置；
e) 主节点完成对从节点 k+1 的发现后即对此从节点进行初始化配置；
f) 主节点完成所有从节点的发现和初始化配置；
g) 上位机通过 I2C 接口，获取到主节点发出第一条下行数据帧或者收到第一条上行数据帧的时刻 t2；
h) 计算链路建立时间 t = t2 - t1。

8.1.7.2 通过准则

试验环境2的链路建立时间应小于等于30ms。

8.1.8 链路建立时间 – 初始化配置方式 2（一主十从）

8.1.8.1 试验步骤

与8.1.7 的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

8.1.8.2 通过准则

试验环境3的链路建立时间应小于等于300ms。

8.1.9 连通鲁棒性（一主一从）

8.1.9.1 试验步骤

与8.1.1 的试验步骤相同，仅从节点的上行帧响应时间初始值依次配置为表11 中第3列和第4列的值，不赘述。

表 11 试验环境 2 上行帧响应时间初始值配置

试验环境 2	配置线缆长度为 15m(实际值)的上行帧响应时间初始值	配置线缆长度为 10m 的上行帧响应时间初始值	配置线缆长度为 20m 的上行帧响应时间初始值
情形 1：下行 32 个信息比特数为 32bit 的音频 PLDB	1819	1820	1817
情形 2：上行 32 个信息比特数为 32bit 的音频 PLDB	219	220	217
情形 3：上、下行 16 个信息比特数为 32bit 的音频 PLDB	1019	1020	1017

8.1.9.2 通过准则

与8.1.1 的通过准则相同。

8.1.10 连通鲁棒性（一主十从）

8.1.10.1 试验步骤

与8.1.2 的试验步骤相同，仅从节点的上行帧响应时间初始值依次配置为表12 ~表14 中第5列和第7列的值，不赘述。

表 12　试验环境 3 上行帧响应时间初始值配置（下行 32 个信息比特数为 24bit 的音频 PLDB）

	配置线缆长度为实际线缆长度		配置线缆长度比实际线缆长度小		配置线缆长度比实际线缆长度长	
从节点 ID	本节点与上一节点的线缆长度（m）	各从节点上行帧响应时间初始值（UI）	本节点与上一节点的线缆长度（m）	各从节点上行帧响应时间初始值（UI）	本节点与上一节点的线缆长度（m）	各从节点上行帧响应时间初始值(UI)
1	15	1840	12	1834	18	1845
2	15	1792	12	1789	18	1794
3	15	1744	12	1744	18	1743
4	15	1696	12	1699	18	1692
5	15	1648	12	1654	18	1641
6	1	1614	1	1620	1	1607
7	1	1580	1	1586	1	1573
8	1	1546	1	1552	1	1539
9	1	1512	1	1518	1	1505
10	1	1478	1	1484	1	1471

表 13　试验环境 3 上行帧响应时间配置（上行 32 个信息比特数为 24bit 的音频 PLDB）

	配置线缆长度为实际线缆长度		配置线缆长度比实际线缆长度小		配置线缆长度比实际线缆长度长	
从节点 ID	本节点与上一节点的线缆长度（m）	各从节点上行帧响应时间初始值（UI）	本节点与上一节点的线缆长度（m）	各从节点上行帧响应时间初始值（UI）	本节点与上一节点的线缆长度（m）	各从节点上行帧响应时间初始值(UI)
1	15	560	12	554	18	565
2	15	512	12	509	18	514
3	15	464	12	464	18	463
4	15	416	12	419	18	412
5	15	368	12	374	18	361
6	1	334	1	340	1	327
7	1	300	1	306	1	293
8	1	266	1	272	1	259
9	1	232	1	238	1	225
10	1	198	1	204	1	191

表 14　试验环境 3 上行帧响应时间配置（上、下行 16 个信息比特数为 24bit 的音频 PLDB）

	配置线缆长度为实际线缆长度		配置线缆长度比实际线缆长度小		配置线缆长度比实际线缆长度长	
从节点 ID	本节点与上一节点的线缆长度（m）	各从节点上行帧响应时间初始值（UI）	本节点与上一节点的线缆长度（m）	各从节点上行帧响应时间初始值（UI）	本节点与上一节点的线缆长度（m）	各从节点上行帧响应时间初始值(UI)
1	15	1200	12	1194	18	1205
2	15	1152	12	1149	18	1154
3	15	1104	12	1104	18	1103
4	15	1056	12	1059	18	1052
5	15	1008	12	1014	18	1001
6	1	974	1	980	1	967
7	1	940	1	946	1	933
8	1	906	1	912	1	899
9	1	872	1	878	1	865
10	1	838	1	844	1	831

8.1.10.2 通过准则

与8.1.2 的通过准则相同。

8.2 休眠和唤醒

8.2.1 休眠和唤醒（一主一从）

8.2.1.1 试验步骤

a) 按照试验环境2组网；
b) 主节点和从节点上电；
c) 主节点和从节点经过节点发现和初始化，进入数据传输状态；
d) 上位机控制主节点发机下行帧，状态跳转计时器为有效值；
e) 从节点在状态跳转计时器递减为0的下一个下行帧起始位置时刻进入休眠状态；
f) 主节点发送心跳帧；
g) 从节点接收休眠心跳帧，保持时钟同步但不发起上行帧；
h) 上位机控制主节点发送休眠心跳帧，状态跳转计时器为有效值；
i) 从节点在状态跳转计时器递减为0的下一个下行帧起始位置时刻进入数据传输状态。

8.2.1.2 通过准则

——步骤e）从节点状态为休眠状态；
——步骤f）主节点发送休眠心跳帧；
——步骤g）从节点收到休眠心跳帧，不发送上行帧；
——步骤i）从节点状态为数据传输状态。

8.2.2 休眠和唤醒（一主十从）

8.2.2.1 试验步骤

与8.2.1 的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

8.2.2.2 通过准则

与8.2.1 的通过准则相同。

8.3 节点发现

8.3.1 从节点收到无效帧节点ID的发现帧（一主一从）

8.3.1.1 试验步骤

a) 按照试验环境2组网；
b) 主节点和从节点上电；
c) 上位机控制主节点完成本地初始化配置，主节点进入节点发现状态；
d) 主节点发送下行发现帧，帧有效字段为“有效”，节点ID不在有效ID范围；
e) 从节点k收到下行发现帧，无动作；
f) 遍历表15 中节点发现无效ID。

8.3.1.2 通过准则

步骤e）从节点k状态为节点发现-未被发现子状态，不回复上行响应帧。

表 15　节点发现无效 ID

序号	配置项	配置值
1	状态跳转 ID	0
2	保留	33
3	保留	40
4	组播 ID	41
5	组播 ID	48
6	保留	49
7	保留	60
8	广播 ID	61
9	透传 ID	62
10	未被发现从节点 ID	63

8.3.2　从节点收到无效帧节点 ID 的发现帧（一主十从）

8.3.2.1　试验步骤

与8.3.1　的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

8.3.2.2　通过准则

与8.3.1　的通过准则相同。

8.3.3　从节点收到相同节点 ID 的发现帧（一主一从）

8.3.3.1　试验步骤

a）　按照试验环境 2 组网；
b）　主节点和从节点上电；
c）　上位机控制主节点完成本地初始化配置，主节点进入节点发现状态，主节点发送下行发现帧，帧有效字段为“有效”，节点 ID 字段为 k；
d）　从节点 k 收到下行发现帧，跳转到已被发现子状态，发送帧有效字段设置为“无效”的下行帧，发送节点 ID 为 k 的上行发现响应帧；
e）　从节点 k+1 收到下行发现帧，帧有效字段为"无效"，不进行处理；
f）　主节点收到节点 ID 为 k 的上行发现响应帧，完成对从节点 k 的发现，重传次数计数器置为 0；
g）　主节点发送下行发现帧，帧有效字段为“有效”，节点 ID 字段为 k；
h）　从节点 k 收到下行发现帧，跳转到已被发现子状态，发送帧有效字段设置为“无效”的下行帧，发送节点 ID 为 k 的上行发现响应帧。

8.3.3.2　通过准则

——步骤 d）从节点 k 进入节点发现-已被发现子状态，或发送上行发现响应帧，节点 ID 正确；
——步骤 h）从节点 k 发送帧有效字段设置为“无效”的下行帧。

8.3.4　从节点收到相同节点 ID 的发现帧（一主十从）

8.3.4.1　试验步骤

与8.3.3　的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

8.3.4.2　通过准则

与8.3.3　的通过准则相同。

8.4　发起中断

8.4.1 上行帧发起从节点发起中断（一主十从）

8.4.1.1 试验步骤

a) 按照试验环境3组网；
b) 主节点和从节点上电；
c) 上位机触发节点完成自动连通流程，确认节点处于数据传输状态；
d) 从节点是上行帧发起节点；
e) 构造并遍历表16 中断类型；
f) 上报中断类型正确。

8.4.1.2 通过准则

步骤f）在发起上行帧同时发起中断，中断类型正确。

表16 中断配置寄存器

地址	配置项	配置比特位							
0x2B	线缆故障中断	[0]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
0x2D	中断标志2	[0]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
0x2E	下游节点丢失错误	[0]							
0x2F	中断标志5				[3]			[6]	
0x30	GPIO输入中断	[0]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
0x31	信箱满/空中断	[0]	[1]	[2]	[3]				

8.4.2 上行帧响应从节点发起中断（一主十从）

8.4.2.1 试验步骤

a) 按照试验环境3组网；
b) 主节点和从节点上电；
c) 上位机触发节点完成自动连通流程，确认节点处于数据传输状态；
d) 从节点是上行帧响应节点；
e) 构造并遍历表16 中断类型。

8.4.2.2 通过准则

步骤d）在响应上行帧同时发起中断，中断类型正确。

8.4.3 中断发起从节点不是上行帧发起或响应从节点（一主十从）

8.4.3.1 试验步骤

a) 按照试验环境3组网；
b) 主节点和从节点上电；
c) 上位机触发节点完成自动连通流程，确认节点处于数据传输状态；
d) 从节点不是上行帧发起或响应节点；
e) 构造并遍历表16 中断类型。

8.4.3.2 通过准则

步骤 d）从节点接收到下游端口的上行帧后，替换上行帧中断信息部分。

8.5 线束故障诊断

8.5.1 完成对下一级节点供电前，注入故障位置为从节点1（一主一从）

8.5.1.1 试验步骤

a) 按照试验环境2组网；
b) 主节点和从节点上电；
c) 上位机触发节点完成自动连通流程，确认节点处于数据传输状态；
d) 按照用例故障完成对下一级节点供电前，在从节点1处进行线束故障注入；
e) 上位机控制节点开启线束诊断功能，读取节点的故障类型和故障定位信息。将上位机读取到的线束故障类型和定位信息与注入的故障类型和位置进行对比；
f) 上位机控制节点关闭线束诊断功能；
g) 正向节点和反向节点下电；
h) 遍历HSMT音频芯片协议5.3.4.3章节表1中的完成对下一级节点供电前的故障类型，包括：正/负极信号与地短路、正/负极信号与电源短路、信号线间短路、信号线开路或反接。

8.5.1.2 通过准则

试验环境2组网时，主节点能检测出故障，应按照HSMT音频芯片协议5.3.4.3中表1上报线缆故障码和执行是否对下一级节点供电。且故障持续时间满足HSMT音频芯片协议5.3.4.3中表1的要求。

8.5.2 完成对下一级节点供电前，注入故障位置为从节点1（一主十从）

8.5.2.1 试验步骤

a) 按照试验环境3组网；
b) 主节点和从节点上电；
c) 上位机触发节点完成自动连通流程，确认节点处于数据传输状态；
d) 按照用例故障完成对下一级节点供电前，在从节点1处进行线束故障注入；
e) 上位机控制节点开启线束诊断功能，读取节点的故障类型和故障定位信息。将上位机读取到的线束故障类型和定位信息与注入的故障类型和位置进行对比；
f) 上位机控制节点关闭线束诊断功能；
g) 正向节点和反向节点下电；
h) 遍历HSMT音频芯片协议5.3.4.3章节表1中的完成对下一级节点供电前故障类型，包括：正/负极信号与地短路、正/负极信号与电源短路、信号线间短路、信号线开路或反接。

8.5.2.2 通过准则

试验环境3组网时，主节点或故障点上游任意子节点能检测出故障，应按照HSMT音频芯片协议5.3.4.3中表1执行是否对下一级节点供电，宜按照表1上报线缆故障码。且故障持续时间满足HSMT音频芯片协议5.3.4.3中表1的要求。

8.5.3 完成对下一级节点供电前，注入故障位置为从节点10（一主十从）

8.5.3.1 试验步骤

与8.5.2 的试验步骤相同，仅步骤d）中的注入故障位置替换为“从节点10”，不赘述。

8.5.3.2 通过准则

与8.5.2 的通过准则相同。

8.5.4 完成对下一级节点供电后，注入故障位置为从节点1（一主一从）

8.5.4.1 试验步骤

a) 按照试验环境2组网；
b) 主节点和从节点上电；
c) 上位机触发节点完成自动连通流程，确认节点处于数据传输状态；
d) 按照用例故障完成对下一级节点供电后，在从节点1处进行线束故障注入；

e) 上位机控制节点开启线束诊断功能，读取节点的故障类型和故障定位信息。将上位机读取到的线束故障类型和定位信息与注入的故障类型和位置进行对比；
f) 上位机控制节点关闭线束诊断功能；
g) 正向节点和反向节点下电；
h) 遍历HSMT 音频芯片协议 5.3.4.3 章节表 1 中的完成对下一级节点供电后故障类型，包括：正极信号与地短路、正极信号与电源短路、负极信号与电源短路、信号间短路。

8.5.4.2 通过准则

试验环境2组网时，主节点能检测出故障，应按照HSMT音频芯片协议5.3.4.3中表1上报线缆故障码和执行是否对下一级节点供电。且故障持续时间满足HSMT音频芯片协议5.3.4.3中表1的要求。

8.5.5 完成对下一级节点供电后，注入故障位置为从节点 1（一主十从）

8.5.5.1 试验步骤

a) 按照试验环境 3 组网；
b) 主节点和从节点上电；
c) 上位机触发节点完成自动连通流程，确认节点处于数据传输状态；
d) 按照用例故障完成对下一级节点供电后，在从节点 1 处进行线束故障注入；
e) 上位机控制节点开启线束诊断功能，读取节点的故障类型和故障定位信息。将上位机读取到的线束故障类型和定位信息与注入的故障类型和位置进行对比；
f) 上位机控制节点关闭线束诊断功能；
g) 正向节点和反向节点下电；
h) 遍历HSMT 音频芯片协议 5.3.4.3 章节表 1 中的完成对下一级节点供电前故障类型，包括：正极信号与地短路、正极信号与电源短路、负极信号与电源短路、信号间短路。

8.5.5.2 通过准则

试验环境3组网时，主节点或故障点上游任意子节点能检测出故障，应按照HSMT音频芯片协议5.3.4.3中表1执行是否对下一级节点供电，宜按照表1上报线缆故障码。且故障持续时间满足HSMT音频芯片协议5.3.4.3中表1的要求。

8.5.6 完成对下一级节点供电后，注入故障位置为从节点 10（一主十从）

8.5.6.1 试验步骤

与8.5.5 的试验步骤相同，仅步骤d）中的注入故障位置替换为“从节点10”，不赘述。

8.5.6.2 通过准则

与8.5.5 的通过准则相同。

9 音频业务

9.1 TDM 音频测试

9.1.1 TDM 下行音频测试（一主一从）

9.1.1.1 试验步骤

a) 按照试验环境 2 组网；
b) 主节点和从节点上电；
c) 上位机触发节点完成自动连通流程，确认节点处于数据传输状态；
d) 上位机将标准设备生成的音频流通过音频接口发送给主节点；
e) 主节点将音频数据流传输给从节点；
f) 从节点接收数据流并输出音频给上位机/外设（音箱）；
g) 遍历表 17 中主节点 TDM 配置和表 18 中从节点 TDM 配置。

9.1.1.2 通过准则

步骤f）音频可以正确出声，或上位机接收到的音频流与步骤d）中一致（可选）。

表 17 主节点 TDM 音频配置

序号	配置项	配置值							
1	格式	2	4	8	12	16	20	24	32
2	采样位宽	16bit	32bit						
3	同步信号模式	TDM	I2S						
4	同步信号时序	同周期	提前 1 个 BCLK						
5	同步信号极性	高电平	低电平						
6	同步信号输出关闭	正常输出	关闭输出						
7	发送接口使能	使能 0	使能 1	同时使能					
8	发送接口交织	交织	不交织						
9	接收接口使能	使能 0	使能 1	同时使能					
10	接收接口交织	交织	不交织						
11	时钟反向	反向	不反向						

表 18 从节点 TDM 音频配置

序号	配置项	配置值					
1	格式	2	4	8	12	16	32
2	采样位宽	16bit	32bit				
3	同步信号模式	TDM	I2S				
4	同步信号时序	同周期	提前 1 个 BCLK				
5	同步信号极性	高电平	低电平				
6	同步信号输出关闭	正常输出	关闭输出				
7	发送接口使能	使能 0	使能 1	同时使能			
8	发送接口交织	交织	不交织				
9	接收接口使能	使能 0	使能 1	同时使能			
10	接收接口交织	交织	不交织				
11	时钟反向	反向	不反向				

9.1.2 TDM 下行音频测试（一主十从）

9.1.2.1 试验步骤

与9.1.1 的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

9.1.2.2 通过准则

与9.1.1 的通过准则相同。

9.1.3 TDM 上行音频测试（一主一从）

9.1.3.1 试验步骤

a） 按照试验环境 2 组网；

b) 主节点和从节点上电；
c) 上位机触发节点完成自动连通流程，确认节点处于数据传输状态；
d) 上位机将标准设备生成的音频流通过音频接口发送给主节点；
e) 主节点将音频数据流传输给从节点；
f) 从节点接收数据流并输出音频给上位机；
g) 遍历表 17 中主节点 TDM 配置和表 18 中从节点 TDM 配置。

9.1.3.2 通过准则

步骤f）音频可以正确出声，或上位机接收到的音频流与步骤d）中一致（可选）。

9.1.4 TDM 上行音频测试（一主十从）

9.1.4.1 试验步骤

与9.1.3 的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

9.1.4.2 通过准则

与9.1.3 的通过准则相同。

9.1.5 TDM 下行&TDM 上行业务并发测试（一主一从）

9.1.5.1 试验步骤

a) 按照试验环境 2 组网；
b) 主节点和从节点上电；
c) 上位机触发节点完成自动连通流程，确认节点处于数据传输状态；
d) 上位机将标准设备生成的音频流通过 TDM 音频接口分别发送给主节点和从节点；
e) 主节点将音频数据流传输给从节点，从节点将音频数据流传输给主节点；
f) 从节点接收数据流并输出音频给上位机。

9.1.5.2 通过准则

步骤f）音频可以正确出声，或上位机接收到的音频流与步骤d）中一致（可选）。

9.1.6 TDM 下行&TDM 上行业务并发测试（一主十从）

9.1.6.1 试验步骤

与9.1.5 的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

9.1.6.2 通过准则

与9.1.5 的通过准则相同。

9.2 PDM 音频测试

9.2.1 PDM 上行音频测试（一主一从）

9.2.1.1 试验步骤

a) 按照试验环境 2 组网；
b) 主节点和从节点上电；
c) 上位机触发节点完成自动连通流程，确认节点处于数据传输状态；
d) 上位机将标准设备生成的音频流通过音频接口发送给从节点；
e) 从节点将音频数据流传输给主节点；
f) 主节点接收数据流并输出音频给上位机；
g) 遍历表 19 中 PDM 配置。

9.2.1.2 通过准则

步骤f）音频可以正确出声，或上位机接收到的音频流与步骤d）中一致（可选）。

表 19　PDM 音频配置

序号	配置项	配置值			
1	采样方式	先采上升沿	先采下降沿	只采上升延	只采下降沿
2	PDM 时钟极性	正常	反相		

9.2.2　PDM 上行音频测试（一主十从）

9.2.2.1　试验步骤

与9.2.1　的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

9.2.2.2　通过准则

与9.2.1　的通过准则相同。

9.3　静音测试

9.3.1　链路异常时静音功能测试（一主一从）

9.3.1.1　试验步骤

a）　按照试验环境 2 组网；
b）　主节点和从节点上电；
c）　上位机触发节点完成自动连通流程，确认节点处于数据传输状态；
d）　上位机将标准设备生成的音频流通过音频接口发送给主节点；
e）　主节点将音频数据流传输给从节点；
f）　从节点接收数据流并输出音频给上位机；
g）　主节点断开连接；
h）　检查从节点输出音频。

9.3.1.2　通过准则

步骤h）音频输出数据为静音数据，且满足HSMT音频协议A.1.5章节中的要求。

9.3.2　链路异常时静音功能测试（一主十从）

9.3.2.1　试验步骤

与9.3.1　的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

9.3.2.2　通过准则

与9.3.1　的通过准则相同。

9.3.3　休眠状态静音功能测试（一主一从）

9.3.3.1　试验步骤

a）　按照试验环境 2 组网；
b）　主节点和从节点上电；
c）　上位机触发节点完成自动连通流程，确认节点处于数据传输状态；
d）　上位机将标准设备生成的音频流通过音频接口发送给主节点；
e）　主节点将音频数据流传输给从节点；
f）　从节点接收数据流并输出音频给上位机。
g）　上位机控制主节点发机下行帧，状态跳转计时器为有效值；
h）　从节点在状态跳转计时器递减为 0 的下一个下行帧起始位置时刻进入休眠状态；

i） 检查从节点输出音频。

9.3.3.2 通过准则

步骤i）音频输出数据为静音数据。

9.3.4 休眠状态静音功能测试（一主十从）

9.3.4.1 试验步骤

与9.3.3 的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

9.3.4.2 通过准则

与9.3.3 的通过准则相同。

9.4 TDM & PDM 音频测试

9.4.1 TDM 上行&PDM 上行业务并发测试（一主一从）

9.4.1.1 试验步骤

a） 按照试验环境 2 组网；
b） 主节点和从节点上电；
c） 上位机触发节点完成自动连通流程，确认节点处于数据传输状态；
d） 上位机将标准设备生成的音频流通过 TDM、PDM 音频接口发送给从节点；
e） 从节点将音频数据流传输给主节点；
f） 主节点接收数据流并输出音频给上位机。

9.4.1.2 通过准则

步骤f）音频可以正确出声，或上位机接收到的音频流与步骤d）中一致（可选）。

9.4.2 TDM 上行&PDM 上行业务并发测试（一主十从）

9.4.2.1 试验步骤

与9.4.1 的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

9.4.2.2 通过准则

与9.4.1 的通过准则相同。

9.4.3 TDM 下行&PDM 上行业务并发测试（一主一从）

9.4.3.1 试验步骤

a） 按照试验环境 2 组网；
b） 主节点和从节点上电；
c） 上位机触发节点完成自动连通流程，确认节点处于数据传输状态；
d） 上位机将标准设备生成的音频流通过 TDM、PDM 音频接口发送给从节点；
e） 主节点将音频数据流传输给从节点，从节点将音频数据流传输给主节点；
f） 主节点接收数据流并输出音频给上位机。

9.4.3.2 通过准则

步骤f）音频可以正确出声，或上位机接收到的音频流与步骤d）中一致（可选）。

9.4.4 TDM 下行&PDM 上行业务并发测试（一主十从）

9.4.4.1 试验步骤

与9.4.3 的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

9.4.4.2 通过准则

与 9.4.3 的通过准则相同。

10 控制业务

10.1 I2C 控制业务

10.1.1 I2C 模式 0 写+读操作远端节点外设（一主一从）

10.1.1.1 试验步骤

a) 按照试验环境 2 组网；
b) 主节点和从节点上电；
c) 上位机控制主节点完成本地初始化配置，主节点进入初始化或数据传输状态，主节点发送下行发现帧，帧有效字段为“有效”，节点 ID 字段不为 1；
d) 上位机作为 I2C master 发起 I2C 访问主节点（I2C slave），默认 I2C 速率为 400k，主节点接收对应的 I2C 地址，寄存器地址和数据；
e) 主节点生成下行配置帧控制域，操作对象=1，模式=0，填对应的寄存器地址和数据；
f) 从节点接收下行配置帧控制域，并生成上行配置响应帧，帧确认字段为“确认”；
g) 主节点接收上行配置响应帧，根据接收内容确认从节点寄存器写成功；
h) 主节点作为 I2C slave 回复 Host 写成功 ACK/NACK，并停止占用 I2C 通信总线。
i) 主节点生成下行配置帧控制域，操作对象=1，模式=0，填对应的寄存器地址；
j) 从节点接收下行配置帧控制域，并生成上行配置响应帧，帧确认字段为“确认”；
k) 主节点接收上行配置响应帧，根据接收内容确认从节点外设寄存器读取的数据；
l) 主节点作为 I2C slave 回复 Host 从节点外设寄存器读取的数据，接收 Host 停止操作并停止占用 I2C 通信总线。

10.1.1.2 通过准则

——步骤 e）和步骤 k）写入和读取的数据一致；
——步骤 e）主节点生成下行配置帧控制域，操作对象=1，模式=0，填对应的寄存器地址和数据；
——步骤 g）主节点接收上行配置响应帧，根据接收内容确认从节点寄存器写成功；
——步骤 h）主节点作为 I2C slave 回复 Host 写成功 ACK，并停止占用 I2C 通信总线；
——步骤 i）主节点生成下行配置帧控制域，操作对象=1，模式=0，填对应的寄存器地址；
——步骤 k）主节点接收上行配置响应帧，根据接收内容确认从节点外设寄存器读取数据；
——步骤 l）主节点作为 I2C slave 回复 Host 从节点外设寄存器读取的数据，接收 Host 停止操作并停止占用 I2C 通信总线。

10.1.2 I2C 模式 0 写+读操作远端节点外设（一主十从）

10.1.2.1 试验步骤

与10.1.1 的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

10.1.2.2 通过准则

与10.1.1 的通过准则相同。

10.1.3 I2C 模式 1 写操作远端节点寄存器（一主一从）

10.1.3.1 试验步骤

a) 按照试验环境 2 组网；
b) 主节点和从节点上电；
c) 上位机触发节点完成自动连通流程，确认节点处于数据传输状态；
d) 上位机控制主节点配置从节点 k 的寄存器，下行帧控制域操作对象=0，模式=1；

e） 写入一个选取的寄存器。

10.1.3.2 通过准则

步骤d）寄存器的值与实际一致。

10.1.4 I2C 模式 1 写操作远端节点寄存器（一主十从）

10.1.4.1 试验步骤

与10.1.3 的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

10.1.4.2 通过准则

与10.1.3 的通过准则相同。

10.1.5 I2C 模式 1 写操作远端节点外设（一主一从）

10.1.5.1 试验步骤

a） 按照试验环境 2 组网；
b） 主节点和从节点上电；
c） 上位机控制主节点完成本地初始化配置，主节点进入节点发现状态，主节点发送下行发现帧，帧有效字段为“有效”，节点 ID 字段不为 1；
d） 上位机作为 I2C master 发起 I2C 访问主节点（I2C slave），默认 I2C 速率为 400k，主节点接收对应的 I2C 地址，寄存器地址和数据；
e） 主节点生成下行配置帧控制域，操作对象=1，模式=1，填对应的寄存器地址和数据；
f） 从节点接收下行配置帧控制域，并生成上行配置响应帧，帧确认字段为“确认”；
g） 主节点接收上行配置响应帧，根据接收内容确认从节点寄存器写成功；
h） 主节点作为 I2C slave 回复 Host 写成功 ACK/NACK，并停止占用 I2C 通信总线。

10.1.5.2 通过准则

——步骤 e）主节点生成下行配置帧控制域，操作对象=1，模式=1，填对应的寄存器地址和数据；
——步骤 g）主节点接收上行配置响应帧，根据接收内容确认从节点寄存器写成功；
——步骤 h）主节点作为 I2C slave 回复 Host 写成功 ACK，并停止占用 I2C 通信总线。

10.1.6 I2C 模式 1 写操作远端节点外设（一主十从）

10.1.6.1 试验步骤

与10.1.5 的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

10.1.6.2 通过准则

与10.1.5 的通过准则相同。

10.1.7 I2C 100kHz 速率写+读操作（一主一从）

10.1.7.1 试验步骤

a） 按照试验环境 2 组网；
b） 主节点和从节点上电；
c） 上位机触发节点完成自动连通流程，从节点 I2C 速率配置为 100kHz，确认节点处于数据传输状态；
d） 上位机控制主节点读取从节点的设备商标识寄存器；
e） 上位机控制主节点配置写入从节点 k 的寄存器指定值，其中寄存器地址范围为 0x00~0x87；
f） 上位机控制主节点读取从节点在步骤 d）中写入的寄存器；

10.1.7.2 通过准则

——步骤 d）节点的设备商标识寄存器与已备案的厂商标识一致；

——步骤f）寄存器的值与写入值一致。

10.1.8 I2C 400kHz 速率写+读操作（一主一从）

10.1.8.1 试验步骤

与10.1.7 的试验步骤相同，仅I2C速率配置为400kHz，不赘述。

10.1.8.2 通过准则

与10.1.7 的通过准则相同。

10.1.9 I2C 1MHz 速率写+读操作（一主一从）

10.1.9.1 试验步骤

与10.1.7 的试验步骤相同，仅I2C速率配置为1MHz，不赘述。

10.1.9.2 通过准则

与10.1.7 的通过准则相同。

10.1.10 I2C 100kHz 速率写+读操作（一主十从）

10.1.10.1 试验步骤

与10.1.7 的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

10.1.10.2 通过准则

与10.1.7 的通过准则相同。

10.1.11 I2C 400kHz 速率写+读操作（一主十从）

10.1.11.1 试验步骤

与10.1.8 的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

10.1.11.2 通过准则

与10.1.8 的通过准则相同。

10.1.12 I2C 1MHz 速率写+读操作（一主十从）

10.1.12.1 试验步骤

与10.1.9 的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

10.1.12.2 通过准则

与10.1.9 的通过准则相同。

10.2 GPIO 控制业务

10.2.1 主节点下行帧发送，从节点接收，GPIO 主输入，2 从输出（一主十从）

10.2.1.1 试验步骤

a) 按照试验环境 3 组网；
b) 主节点和从节点上电；
c) 上位机触发节点完成自动连通流程，确认节点处于数据传输状态；
d) 主节点被配置了虚拟 GPIO 逻辑关系且 GPIO 为输入，至少 2 个从节点配置了虚拟 GPIO 逻辑关系且 GPIO 为输出；
e) 本地 GPIO 状态=1；
f) 主节点生成并发送下行帧；

g） 本地 GPIO 状态=0；
h） 主节点生成并发送下行帧；
i） 遍历表 20 中 GPIO 配置。

10.2.1.2 通过准则

——步骤 f）GPIO 逻辑状态=1；
——步骤 h）GPIO 逻辑状态=0。

表 20 GPIO 配置

序号	配置项	配置值				
1	GPIO PLDB 字节数	1	2	4	8	16
2	虚拟 GPIO 轮询周期	1	2	4		

10.2.2 主节点下行帧发送，从节点接收，GPIO 主输入，1 从输入，1 从输出（一主十从）

10.2.2.1 试验步骤

a） 按照试验环境 3 组网；
b） 主节点和从节点上电；
c） 上位机触发节点完成自动连通流程，确认节点处于数据传输状态；
d） 主节点配置了虚拟 GPIO 逻辑关系且 GPIO 为输入，至少 1 个从节点配置了虚拟 GPIO 逻辑关系且 GPIO 为输入，至少 1 个从节点配置了虚拟 GPIO 逻辑关系且 GPIO 为输出；
e） 本地 GPIO 状态=1；
f） 主节点生成并发送下行帧；
g） 本地 GPIO 状态=0；
h） 主节点生成并发送下行帧；
i） 遍历表 20 中 GPIO 配置。

10.2.2.2 通过准则

——步骤 f）GPIO 逻辑状态=1；
——步骤 h）GPIO 逻辑状态=0。

10.2.3 主节点上行帧接收，从节点发送，GPIO 主输出，2 从输入（一主十从）

10.2.3.1 试验步骤

a） 按照试验环境 3 组网；
b） 主节点和从节点上电；
c） 上位机触发节点完成自动连通流程，确认节点处于数据传输状态；
d） 主节点被配置了虚拟 GPIO 逻辑关系且 GPIO 为输出，至少 2 个从节点配置了虚拟 GPIO 逻辑关系且 GPIO 为输入；
e） 主节点接收的上行帧逻辑状态为 1；
f） 主节点更新对应 GPIO 端口状态；
g） 主节点接收的上行帧逻辑状态为 0；
h） 主节点更新对应 GPIO 端口状态；
i） 遍历表 20 中 GPIO 配置。

10.2.3.2 通过准则

——步骤 f）主节点更新对应的 GPIO 端口状态为 1；
——步骤 h）主节点更新对应的 GPIO 端口状态为 0。

10.2.4 主节点上行帧接收，从节点发送，GPIO 主输出，1 从输入，1 从输出（一主十从）

10.2.4.1 试验步骤

a) 按照试验环境3组网；
b) 主节点和从节点上电；
c) 上位机触发节点完成自动连通流程，确认节点处于数据传输状态；
d) 主节点配置了虚拟GPIO逻辑关系且GPIO为输出，至少1个从节点配置了虚拟GPIO逻辑关系且GPIO为输入，至少1个从节点配置了虚拟GPIO逻辑关系且GPIO为输出；
e) 主节点接收的上行帧逻辑状态为1；
f) 主节点更新对应GPIO端口状态；
g) 主节点接收的上行帧逻辑状态为0；
h) 主节点更新对应GPIO端口状态；
i) 遍历表20 中GPIO配置。

10.2.4.2 通过准则

——步骤f）主节点更新对应的GPIO端口状态为1；
——步骤h）主节点更新对应的GPIO端口状态为0。

10.2.5 GPIO PLDB超帧数量轮询、GPIO取反（一主十从）

10.2.5.1 试验步骤

a) 按照试验环境3组网；
b) 主节点和从节点上电；
c) 上位机发送配置信息，主节点完成本地初始化配置；
d) 上位机发送配置信息，依次完成对每个从节点的发现和初始化配置；
e) 上位机发送配置信息，按照HSMT音频协议A.2.1.4.4中图A.19和表A.7中的GPIO虚拟端口配置示例进行GPIO相关配置；
f) 上位机配置各节点GPIO端口输入取值，并遍历表20 中的GPIO超帧数量轮询和取反配置，发起总线GPIO PLDB传输；
g) 上位机读取各节点更新后的GPIO输出取值。

10.2.5.2 通过准则

步骤g）上位机读取的GPIO输出取值符合预期。

11 应用测试

11.1 总线供电

11.1.1 总线供电（单节点）

11.1.1.1 试验步骤

a) 按照试验环境1组网；
b) 待测节点上电；
c) 将待测节点配置成主节点模式；
d) 向主节点发送配置信息，主节点完成本地初始化配置，开启总线供电模式；
e) 地控制端口灌入最大过流指标Ivssn电流，测量地端口和VSS的压差得到地控制端口到地电阻。

11.1.1.2 通过准则

地控制端口到地电阻满足HSMT音频芯片协议5.3.6中的阻值要求。

11.2 广播/组播配置

11.2.1 配置帧节点ID为广播ID（一主十从）

11.2.1.1 试验步骤

a) 按照试验环境3组网；
b) 主节点和从节点上电；
c) 主节点完成从节点k的发现；
d) 主节点发送配置帧给从节点k，配置帧ID=广播ID；
e) 所有从节点收到下行配置帧，跳转到初始化状态，进行初始化配置，转发下行配置帧，发送上行配置响应帧。

11.2.1.2 通过准则

步骤e）从节点k进入初始化状态，发送下行配置帧和上行配置响应帧，节点ID字段为k。

11.2.2 配置帧节点ID为当前节点ID所在的组播ID（一主十从）

11.2.2.1 试验步骤

a) 按照试验环境3组网；
b) 主节点和从节点上电；
c) 主节点完成从节点k的发现；
d) 主节点发送配置帧给从节点k，配置帧ID=组播ID；
e) 所有在此组播分组中的从节点收到下行配置帧，跳转到初始化状态，进行初始化配置；
f) 所有在此组播分组中的从节点转发下行配置帧，发送上行配置响应帧。

11.2.2.2 通过准则

——步骤e）所有在此组播分组中的从节点收到下行配置帧，跳转到初始化状态，进行初始化配置；
——步骤f）所有在此组播分组中的从节点转发下行配置帧，发送上行配置响应帧。

11.2.3 配置帧节点ID为组播ID，当前节点ID不属于该组播ID（一主十从）

11.2.3.1 试验步骤

a) 按照试验环境3组网；
b) 主节点和从节点上电；
c) 主节点完成从节点k的发现；
d) 主节点发送配置帧给从节点k，配置帧ID=组播ID；
e) 所有不在此组播分组中的从节点收到下行配置帧，保持状态不变，不进行初始化配置；
f) 所有不在此组播分组中的从节点转发下行配置帧，转发上行配置响应帧。

11.2.3.2 通过准则

——步骤e）所有不在此组播分组中的从节点收到下行配置帧，保持状态不变，不进行初始化配置；
——步骤f）所有不在此组播分组中的从节点转发下行配置帧，转发上行配置响应帧。

11.2.4 I2C模式0广播写+读操作远端节点外设寄存器（一主一从）

11.2.4.1 试验步骤

a) 按照试验环境2组网；
b) 主节点和从节点上电；
c) 上位机触发节点完成自动连通流程，确认节点处于数据传输状态；
d) 上位机控制主节点使用广播ID读取全部从节点外设的寄存器，下行帧控制域操作对象=0，模式=0；
e) 广播读取一个选取的寄存器；
f) 上位机控制主节点配置使用广播ID写全部从节点外设的寄存器，下行帧控制域操作对象=1，模式=0；
g) 广播写入一个选取的寄存器。

11.2.4.2 通过准则

——步骤d）寄存器的值与实际一致；
——步骤f）寄存器的值与写入值一致。

11.2.5 I2C模式0广播写+读操作远端节点外设寄存器（一主十从）

11.2.5.1 试验步骤

与11.2.4 的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

11.2.5.2 通过准则

与11.2.4 的通过准则相同。

11.3 升降采样

11.3.1 TDM下行升采样（一主一从）

11.3.1.1 试验步骤

a) 按照试验环境2组网；
b) 主节点和从节点上电；
c) 上位机触发节点完成自动连通流程，确认节点处于数据传输状态；
d) 上位机将标准设备生成的音频流通过TDM音频接口发送给主节点；
e) 主节点将音频数据流传输给从节点；
f) 从节点接收数据流并输出音频给上位机；
g) 遍历表21 中TDM配置。

11.3.1.2 通过准则

步骤f）音频可以正确出声，或上位机接收到的音频流与步骤d）输入的音频数据满足HSMT音频协议A.2.1.4.3章节中的映射关系且从节点同步时钟升采样至配置频率（可选）。

表21 TDM升采样配置

用例序号	配置项	
	TDM速率	升采样映射模式
1	超帧频率*2	0
2	超帧频率*4	0

11.3.2 TDM下行升采样（一主十从）

11.3.2.1 试验步骤

与11.3.1 的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

11.3.2.2 通过准则

与11.3.1 的通过准则相同。

11.3.3 TDM下行降采样（一主一从）

11.3.3.1 试验步骤

a) 按照试验环境2组网；
b) 主节点和从节点上电；
c) 上位机触发节点完成自动连通流程，确认节点处于数据传输状态；
d) 上位机将标准设备生成的音频流通过TDM音频接口发送给主节点；
e) 主节点将音频数据流传输给从节点；
f) 从节点接收数据流并输出音频给上位机；

g） 遍历表 22 中 TDM 配置。

11.3.3.2 通过准则

步骤f）音频可以正确出声，或上位机接收到的音频流与步骤d）输入的音频数据满足HSMT音频协议A.2.1.4.3章节中的映射关系且从节点同步时钟降采样至配置频率（可选）。

表 22 TDM 降采样配置

用例序号	配置项	
	TDM速率	时隙复用
1	超帧频率/2	不使能
2	超帧频率/4	不使能

11.3.4 TDM 下行降采样（一主十从）

11.3.4.1 试验步骤

与11.3.3 的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

11.3.4.2 通过准则

与11.3.3 的通过准则相同。

11.3.5 TDM 上行降采样（一主一从）

11.3.5.1 试验步骤

a） 按照试验环境 2 组网；
b） 主节点和从节点上电；
c） 上位机触发节点完成自动连通流程，确认节点处于数据传输状态；
d） 上位机将标准设备生成的音频流通过 TDM 音频接口发送给从节点；
e） 从节点将音频数据流传输给主节点；
f） 主节点接收数据流并输出音频给上位机；
g） 遍历表 22 中 TDM 配置。

11.3.5.2 通过准则

步骤f）音频可以正确出声，或上位机接收到的音频流与步骤d）输入的音频数据满足HSMT音频协议A.2.1.4.3章节中的映射关系且从节点同步时钟降采样至配置频率（可选）。

11.3.6 TDM 上行降采样（一主十从）

11.3.6.1 试验步骤

与11.3.5 的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

11.3.6.2 通过准则

与11.3.5 的通过准则相同。

11.3.7 PDM 上行降采样（一主一从）

11.3.7.1 试验步骤

a） 按照试验环境 2 组网；
b） 主节点和从节点上电；
c） 上位机触发节点完成自动连通流程，确认节点处于数据传输状态；
d） 上位机将标准设备生成的音频流通过 PDM 音频接口发送给从节点；
e） 从节点将音频数据流传输给主节点；
f） 主节点接收数据流并输出音频给上位机；

g） 遍历表 23 中配置。

11.3.7.2 通过准则

步骤f）音频可以正确出声，或上位机接收到的音频流与步骤d）输入的音频数据满足HSMT音频协议A.2.1.4.3章节中的映射关系且从节点同步时钟降采样至配置频率（可选）。

表 23 PDM 降采样配置

用例序号	配置项	
	PDM速率	时隙复用
1	超帧频率/2	不使能
2	超帧频率/4	不使能

11.3.8 PDM 上行降采样（一主十从）

11.3.8.1 试验步骤

与11.3.7 的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

11.3.8.2 通过准则

与11.3.7 的通过准则相同。

11.4 环回

进行各数据环回测试时，环回测试模式控制寄存器配置应与表24 相同。

表 24 数据环回测试模式配置

寄存器配置	环回测试模式控制				
	总线环回测试模式使能	总线环回测试模式端口选择	TDM音频环回测试模式使能	TDM音频环回测试模式选择	节点输入控制
	Bit[0]	Bit[1]	Bit[2]	Bit[3]	Bit[4]
端口内部环回方式1	1	0/1	0	0	0
端口内部环回方式2	1	0/1	0	0	1
端口外部环回	0	0	1	1	0
音频接口环回	0	0	1	0	0

11.4.1 总线 A 口环回，输入音源（单节点）

11.4.1.1 试验步骤

a） 按照试验环境 1-单芯片总线 A 口环回组网；
b） 待测节点上电；
c） 上位机向待测节点提供 48kHz 的音频信号；
d） 上位机发送配置信息，待测节点完成本地初始化配置；
e） 上位机发送配置信息，将待测节点资源管理模式控制寄存器配置为下行输入，按需配置长度控制寄存器；
f） 上位机发送配置信息，按需配置待测节点 TDM 音频接口相关寄存器 TDM 模式和位宽，并使能 TDM 发送接口和接收接口；
g） 上位机发送配置信息，配置环回测试模式控制寄存器（0x6F），将待测节点配置为端口内部环回方式 1 测试模式；
h） 上位机接收音频，校验结果。

11.4.1.2 通过准则

接收音频与发送音频比对结果满足HSMT音频协议5.4.3中的误码率要求。

11.4.2 总线 B 口环回，输入音源（单节点）

11.4.2.1 试验步骤

与11.4.1 的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境1-单芯片总线B口环回”，不赘述。

11.4.2.2 通过准则

与11.4.1 的通过准则相同。

11.4.3 总线 A 口环回，输入 SYNC（单节点）

11.4.3.1 试验步骤

a) 按照试验环境 1-单芯片总线 A 口环回组网；
b) 待测节点上电；
c) 上位机向待测节点提供 48kHz 的同步信号；
d) 上位机发送配置信息，待测节点完成本地初始化配置；
e) 上位机发送配置信息，将待测节点资源管理模式控制寄存器配置为下行输入，按需配置长度控制寄存器；
f) 上位机发送配置信息，按需配置待测节点 TDM 音频接口相关寄存器 TDM 模式和位宽，并使能 TDM 发送接口和接收接口；
g) 上位机发送配置信息，配置环回测试模式控制寄存器（0x6F），将待测节点配置为端口内部环回方式 2 测试模式；
h) 上位机发送配置信息，通过错误计数选择寄存器将错误计数选择配置为环回数据错误；
i) 上位机根据配置的测试模式端口选择，统计对应的下行或上行接收错误计数寄存器。

11.4.3.2 通过准则

接收音频与发送音频比对结果满足HSMT音频协议5.4.3中的误码率要求。

11.4.4 总线 B 口环回，输入 SYNC（单节点）

11.4.4.1 试验步骤

与11.4.3 的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境1-单芯片总线B口环回”，不赘述。

11.4.4.2 通过准则

与11.4.3 的通过准则相同。

11.4.5 TDM 端口 RX-TX 环回，输入音源（单节点）

11.4.5.1 试验步骤

a) 按照试验环境 1-单芯片音频接口环回组网；
b) 待测节点上电；
c) 上位机向待测节点提供 48kHz 的音频信号；
d) 上位机发送配置信息，待测节点完成本地初始化配置；
e) 上位机发送配置信息，将待测节点资源管理模式控制寄存器配置为下行输入，按需配置长度控制寄存器；
f) 上位机发送配置信息，按需配置待测节点 TDM 音频接口相关寄存器 TDM 模式和位宽，并使能一组 TDM 发送接口和接收接口；
g) 上位机发送配置信息，配置环回测试模式控制寄存器（0x6F），将待测节点配置为音频接口环回测试模式；
h) 上位机向待测节点发送音频信号；
i) 上位机接收音频，校验结果。

11.4.5.2 通过准则

接收音频与发送音频比对结果满足HSMT音频协议5.4.3中的误码率要求。

11.4.6 SoC 下行输入音源，末端节点 TX-RX 环回，上行回到 SoC（一主十从）

11.4.6.1 试验步骤

a) 按照试验环境 3 组网；
b) 待测节点网络上电；
c) 上位机向待测节点提供 48kHz 的音频信号；
d) 上位机发送配置信息，待测节点完成本地初始化配置；
e) 上位机发送配置信息，依次完成对每个从节点的发现和初始化配置；
f) 上位机发送配置信息，将待测节点资源管理模式控制寄存器配置为下行输出和上行输入，按需配置长度控制寄存器；
g) 上位机发送配置信息，配置环回测试模式控制寄存器（0x6F），将待测节点-末端节点配置为端口外部环回测试模式；
h) 上位机发送配置信息，待测节点网络进入数据传输状态；
i) 上位机向待测节点发送音频信号，接收音频并校验结果。

11.4.6.2 通过准则

接收音频与发送音频比对结果满足HSMT音频协议中5.4.3的误码率要求。

11.4.7 SoC 下行输入音源，非末端节点 TX-RX 环回，上行回到 SoC（一主十从）

11.4.7.1 试验步骤

与11.4.6 的试验步骤相同，仅步骤g）中的待测节点替换为“待测节点-非末端节点”，不赘述。

11.4.7.2 通过准则

与11.4.6 的通过准则相同。

11.5 音频接口

11.5.1 音频接口输出时钟抖动 BCLK TIE（一主一从）

11.5.1.1 试验步骤

1、 按照试验环境 2 组网；
2、 待测节点上电；
3、 上位机给待测节点提供 48kHz 的同步信号，输入同步信号应满足抖动小于等于 100ps；
4、 上位机给待测节点发送配置信息，配置为 TDM8*32bit，采样率 48kHz，使得待测节点可输出 BCLK 频率为 12.288MHz；
5、 待测节点完成本地初始化配置；
6、 上位机配置待测节点音频端口输出，并发送 I2S/TDM 音频信号；
7、 通过示波器测量待测节点音频接口输出时钟抖动 BCLK TIE，示波器设置满足表 25 中的要求。

表 25　音频接口输出时钟抖动示波器设置（BCLK:TIE）

配置		设置
规格	带宽	大于等于 1.6GHZ
	采样率	大于等于 4GS/s
线缆和连接器	线缆	50 欧姆同轴线缆，带宽大于等于 1GHZ
测量类型	选择进行抖动或噪声的分解	不涉及
	选择抖动分解的RJ 方法	不涉及
	选择噪声分解的RN 方法	不涉及
测量设置	测量时钟抖动类型	Edge-Edge（主节点-从节点）
	TIE Filter	
	信号跳变沿	上升沿
	测量位置	50%
	测试信号类型	
	长度	连续输出
	采集时长	50ms
时钟恢复	时钟恢复方法	恒频
	Nominal Data Rate	待测速率挡位
	PLL Specification	不涉及
	带宽与速率比	不涉及
	阻尼比	不涉及
	存储深度	大于 1Mpts

11.5.1.2　通过准则

示波器测量结果 BCLK TIE 小于 2.6ns。

11.5.2　音频接口输出时钟抖动 SYNC TIE（一主一从）

11.5.2.1　试验步骤

与11.5.1　的试验步骤相同，通过示波器测量待测节点音频接口输出时钟抖动 SYNC TIE，示波器设置满足表26　中的要求。

11.5.2.2　通过准则

示波器测量结果 SYNC TIE 小于 2.6ns。

表 26　音频接口输出时钟抖动示波器设置（SYNC:TIE）

配置		设置
规格	带宽	大于等于 1.6GHZ
	采样率	大于等于 4GS/s
线缆和连接器	线缆	50 欧姆同轴线缆，带宽大于等于 1GHZ
测量类型	选择进行抖动或噪声的分解	不涉及
	选择抖动分解的RJ 方法	不涉及
	选择噪声分解的RN 方法	不涉及
时钟恢复	测量时钟抖动类型	Edge-Edge（主节点-从节点）
	信号跳变沿	上升沿
	测量位置	50%
	长度	连续输出
	采集时长	50ms

11.5.3　音频接口输出时钟抖动 BCLK TIE（一主十从）

11.5.3.1　试验步骤

与11.5.1 的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

11.5.3.2 通过准则

与11.5.1 的通过准则相同。

11.5.4 音频接口输出时钟抖动 SYNC TIE（一主十从）

11.5.4.1 试验步骤

与11.5.2 的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

11.5.4.2 通过准则

与11.5.2 的通过准则相同。

11.5.5 音频接口 SSC 开启后，输出时钟抖动 SYNC TIE（一主一从）

11.5.5.1 试验步骤

a) 按照试验环境 2 组网；
b) 待测节点上电；
c) 上位机给待测节点提供 48kHz 的同步信号，输入同步信号应满足抖动小于等于 100ps；
d) 上位机给待测节点发送配置信息，主节点和从节点的 SSC 频率配置为超帧频率×7，SSC 幅度配置为±1.5%，SSC 模式配置为总线和音频接口同时使能时钟扩频；
e) 上位机给待测节点发送配置信息，配置为 TDM8*32bit，采样率 48kHz，使得待测节点可输出 BCLK 频率为 12.288MHz，开启时钟扩频；
f) 待测节点完成本地初始化配置；
g) 上位机配置待测节点音频端口输出，并发送 I2S/TDM 音频信号；
h) 通过示波器测量待测节点音频接口输出时钟总抖动，示波器设置满足表 26 中的要求。

11.5.5.2 通过准则

——步骤 d）BCLK 正确加载 SSC 频率和幅度配置；
——步骤 h）示波器测量结果 SYNC TIE 小于 2.6ns。

11.5.6 音频接口 SSC 开启后，输出时钟抖动 SYNC TIE（一主十从）

11.5.6.1 试验步骤

与11.5.5 的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

11.5.6.2 通过准则

与11.5.5 的通过准则相同。

11.5.7 音频接口输出时钟抖动 BCLK Cycle to Cycle（一主一从）

11.5.7.1 试验步骤

1、 按照试验环境 2 组网；
2、 待测节点上电；
3、 上位机给待测节点提供 48kHz 的同步信号，输入同步信号应满足抖动小于等于 100ps；
4、 上位机给待测节点发送配置信息，配置为 TDM8*32bit，采样率 48kHz，使得待测节点可输出 BCLK 频率为 12.288MHz；
5、 待测节点完成本地初始化配置；
6、 上位机配置待测节点音频端口输出，并发送 I2S/TDM 音频信号；
7、 通过示波器测量待测节点音频接口输出时钟总抖动，示波器设置满足表 27 中的要求。

表 27　音频接口输出时钟抖动示波器设置（BCLK: Cycle to Cycle）

配置		设置
规格	带宽	大于等于 1.6GHZ
	采样率	大于等于 4GS/s
线缆和连接器	线缆	50 欧姆同轴线缆，带宽大于等于 1GHZ
测量类型	选择进行抖动或噪声的分解	不涉及
	选择抖动分解的RJ 方法	不涉及
	选择噪声分解的RN 方法	不涉及
测量设置	测量时钟抖动类型	Period-Period(N=1)
	测量位置	50%
	测试信号类型	Bit Clock
	长度	连续输出
	采集时长	10ms
时钟恢复	时钟恢复方法	不涉及
	Nominal Data Rate	不涉及
	PLL Specification	不涉及
	带宽与速率比	不涉及
	阻尼比	不涉及
	存储深度	不涉及

11.5.7.2　通过准则

示波器测量结果BCLK Cycle to Cycle小于100ps。

11.5.8　音频接口输出时钟抖动 SYNC Cycle to Cycle（一主一从）

11.5.8.1　试验步骤

与11.5.5　的试验步骤相同，通过示波器测量待测节点音频接口输出时钟抖动 SYNC TIE，示波器设置满足表28　中的要求。

表 28　音频接口输出时钟抖动示波器设置（SYNC: Cycle to Cycle）

配置		设置
规格	带宽	大于等于 1.6GHZ
	采样率	大于等于 4GS/s
线缆和连接器	线缆	50 欧姆同轴线缆，带宽大于等于 1GHZ
测量类型	选择进行抖动或噪声的分解	不涉及
	选择抖动分解的RJ 方法	不涉及
	选择噪声分解的RN 方法	不涉及
时钟恢复	测量时钟抖动类型	Period-Period(N=1)
	信号跳变沿	50%
	测量位置	SYNC
	长度	连续输出
	采集时长	10ms

11.5.8.2　通过准则

示波器测量结果 SYNC Cycle to Cycle 小于 2.2ns。

11.5.9　音频接口输出时钟抖动 BCLK Cycle to Cycle（一主十从）

11.5.9.1　试验步骤

与11.5.5　的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

11.5.9.2　通过准则

与11.5.5 的通过准则相同。

11.5.10 音频接口输出时钟抖动 SYNC Cycle to Cycle（一主十从）

11.5.10.1 试验步骤

与11.5.8 的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

11.5.10.2 通过准则

与11.5.8 的通过准则相同。

11.5.11 音频接口输出时钟抖动 BCLK（PDM） Cycle to Cycle（一主一从）

11.5.11.1 试验步骤

a) 按照试验环境2组网；
b) 待测节点上电；
c) 上位机给待测节点提供48 kHz的同步信号，输入同步信号应满足抖动小于等于100 ps；
d) 上位机给待测节点发送配置信息，配置为PDM，采样率48 kHz，使得待测节点可输出PDMCLK/BCLK 频率为3.072 MHz；
e) 待测节点完成本地初始化配置；
f) 上位机配置待测节点音频端口输出，并发送I2S/TDM音频信号；
g) 通过示波器测量待测节点音频接口输出时钟总抖动，测试时，示波器设置见表27 。

11.5.11.2 通过准则

与厂商提供的芯片数据手册一致。

11.5.12 音频接口输出时钟抖动 BCLK（PDM） Cycle to Cycle（一主十从）

11.5.12.1 试验步骤

与11.5.11 的试验步骤相同，仅组网替换为“试验环境3”，不赘述。

11.5.12.2 通过准则

与厂商提供的芯片数据手册一致。

11.5.13 PDM转PCM性能（一主一从）

11.5.13.1 试验步骤

a) 按照PDM转PCM性能试验环境组网，见图4 ；
b) 待测节点上电；
c) 向待测节点发送配置信息，待测节点完成本地初始化配置；
d) 向主节点发送配置信息，配置主节点TDM端口使能，TDM端口输出；
e) 向主节点发送配置信息，配置从节点PDM端口使能，PDM端口输入；
f) 配置音频分析仪为输出PDM信号，输入TDM信号并抓取对应通道的音频数据；
g) 配置音频分析仪，PDM信号生成器输出测试数据如下：
   1) 20 Hz~20 kHz扫频正弦波信号，幅度-60 dBFS；
   2) 1 kHz正弦波信号，幅度0 dBFS；
   3) 20 Hz~20 kHz扫频正弦波信号，幅度-26 dBFS。
h) 通过音频分析仪接收对应的TDM音频数据并读取下列性能指标：
   1) 当PDM输出为20 Hz~20 kHz扫频正弦波信号，幅度-60 dBFS，设置A-weighted时，读取动态范围；
   2) 当PDM输出为1 kHz正弦波信号，幅度为0 dBFS，设置A-weighted时，读取信噪比；
   3) 当PDM输出为20 Hz~20 kHz扫频正弦波信号，幅度-26 dBFS时，读取通带频率响应以及群延时，群时延计算需要将测量结果减去2个超帧周期；

4） 当PDM输出为20 Hz~20 kHz扫频正弦波信号，幅度-26 dBFS，设置A-weighted时，读取总谐波失真加噪声。

i） 配置音频分析仪的噪声测试项，设置A-weighted，读取噪声。

11.5.13.2 通过准则

测量得到的PDM性能指标满足HSMT芯片协议中5.2.3.2的要求。

PDM转PCM性能应满足如下指标要求。

——动态范围（A-Weighted）：应大于等于105 dB，宜大于等于120 dB：

- 条件：20 Hz~20 kHz，-60 dBFS输入。

——信噪比（A-Weighted）：应大于等于105 dB，宜大于等于120 dB：

- 条件：1 kHz，0 dBFS输入。

——噪声（A-Weighted）：应小于等于-105 dBFS；

——通带频率响应：应大于等于-0.2 dB且小于等于0.2 dB：

- 条件：20 Hz~20 kHz，-26 dBFS输入。

——群延时：应小于等于100 us：

- 条件：20 Hz~20 kHz，-26 dBFS输入。

——总谐波失真加噪声（A-Weighted）：应小于等于0.01%：

- 条件：20 Hz~20 kHz，-26 dBFS输入。

注：截止频率宜小于等于0.566×F_{SYNC}，其中F_{SYNC}为超帧频率。

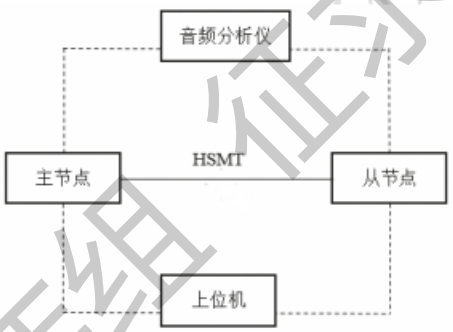


图4 PDM转PCM试验环境

11.6 电源接口

11.6.1 电源接口（一主一从）

11.6.1.1 试验步骤

a） 按照试验环境2进行组网；

b） 主节点和从节点上电；

c） 向主节点发送配置信息，主节点完成本地初始化配置；

d） 向主节点发送配置信息，依次完成对每个从节点的发现和初始化配置；

e） 向主节点发送配置信息，主节点和所有从节点进入数据传输状态，使用32个信息比特数为32bit的音频PLDB或者1个信息比特为1024bit的音频PLDB发送下行数据帧；

f） 配置外部供电电源输入电压为9V，分别测量VREG1和VREG2的输出电流。

11.6.1.2 通过准则

从节点能够正常工作，且输出电流满足HSMT音频芯片协议5.2.6中要求。

12 性能测试

12.1 帧处理时延

12.1.1 主节点处理时延（一主一从）

12.1.1.1 试验步骤

a) 按照试验环境2组网；
b) 待测节点网络上电；
c) 上位机发送配置信息，主节点完成本地初始化配置；
d) 上位机发送配置信息，完成对从节点的发现和初始化配置，上行帧响应时间初始值T_i^{init}满足：

$$T_i^{init} = T^{sync} - T_i^{UP} - T_{master_claim}^{UP} - T_{master_claim}^{DN} - 2 * C_i^d \quad (1)$$

式中：
T_i^{init} ——第i个从节点的上行帧响应时间初始值，单位为UI；
T^{sync} ——1个超帧周期的时间，单位为UI；
T_i^{UP} ——第i个从节点上行帧占用的时间，单位为UI；
$T_{master_claim}^{UP}$ ——芯片手册中声称的主节点上行帧处理时延，单位为UI；
$T_{master_claim}^{DN}$ ——芯片手册中声称的主节点下行帧处理时延，单位为UI；
C_i^d ——第i个从节点与第i-1个从节点之间线缆传输时延，单位为UI。
注：C_1^d表示第一个从节点与主节点之间的线缆传输时延。
e) 上位机发送配置信息，主节点和从节点进入数据传输状态；
f) 上位机发送音频数据配置信息，满足步骤d）中的时间要求；
g) 上位机发送音频数据，主节点和从节点进行数据传输；
h) 通过示波器两探头测量主节点的SYNC端口输入和下游端口的接收超帧波形：
- 测量待测节点端口B的上行帧接收时间，记为$T_{marker1}^{UP}$；
- 测量待测节点SYNC端口输入信号的接收时间，记为$T_{marker2}^{UP}$。

按照如下公式计算主节点上行帧处理时延T_{master}^{UP}：

$$T_{master}^{UP} = \left(T_{marker2}^{UP} - T_{marker1}^{UP}\right) \times S \quad (2)$$

式中：
T_{master}^{UP} ——主节点上行帧处理时延，单位为UI；
S ——HSMT音频协议5.4中关于速率档位1速率的规定，单位为bps。
i) 通过示波器两探头测量主节点的SYNC端口输入和下游端口的发送超帧波形：
- 测量待测节点SYNC端口输入信号的接收时间，记为$T_{marker1}^{DN}$；
- 测量待测节点端口B的下行帧发送时间，记为$T_{marker2}^{DN}$。

j) 按照如下公式计算主节点下行帧处理时延T_{master}^{DN}：

$$T_{master}^{DN} = \left(T_{marker2}^{DN} - T_{marker1}^{DN}\right) \times S \quad (3)$$

式中：
T_{master}^{DN} ——主节点下行帧处理时延，单位为UI；
S ——HSMT音频协议5.4中关于速率档位1速率的规定，单位为bps。

12.1.1.2 通过准则

主节点上行帧处理时延与下行帧处理时延之和应小于等于40个比特时间。

12.1.2 非末端从节点处理时延（一主十从）

12.1.2.1 试验步骤

a) 按照试验环境3组网；
b) 待测节点网络上电；
c) 上位机发送配置信息，主节点完成本地初始化配置；
d) 上位机发送配置信息，依次完成对每个从节点的发现和初始化配置；

e） 上位机发送配置信息，主节点和所有从节点进入数据传输状态；
f） 通过示波器两探头测量待测节点的上下游端口超帧波形：
——当测量下行帧处理时延时：
- 测量待测节点端口A的下行帧接收时间，记为$T_{marker1}$；
- 测量待测节点端口B的下行帧发送时间，记为$T_{marker2}$；

——当测量上行帧处理时延时：
- 测量待测节点端口B的上行帧接收时间，记为$T_{marker1}$；
- 测量待测节点端口A的上行帧发送时间，记为$T_{marker2}$；

g） 按照如下公式计算从节点处理时延T_p^{slave}。

$$T_p^{slave} = (T_{marker2} - T_{marker1}) \times S \quad \cdots\cdots (1)$$

式中：
T_p^{slave} ——从节点处理时延，单位为UI；
S ——HSMT 音频协议 5.4 中关于速率档位 1 速率的规定，单位为 bps；

12.1.2.2 通过准则

非末端从节点下行帧和上行帧处理时延均应为16个比特时间，允许偏差±1比特时间，该偏差来源于时延测量误差。

12.1.3 末端从节点处理时延（一主一从）

12.1.3.1 试验步骤

a） 按照试验环境 2 组网；
b） 待测节点网络上电；
c） 上位机发送配置信息，主节点完成本地初始化配置；
d） 上位机发送配置信息，依次完成对每个从节点的发现和初始化配置，上行帧响应时间初始值T_i^{init}满足：

$$T_i^{init} = T_i^{DN} + T_p^{last\ slave} \quad \cdots\cdots (1)$$

式中：
T_i^{init} ——第i个从节点的上行帧响应时间，单位为UI；
T_i^{DN} ——第 i 个从节点下行帧占用的时间，单位为 UI；
$T_p^{last\ slave}$——HSMT 音频芯片协议 5.4.3.1 定义的末端从节点处理时延，为 36 UI。
e） 上位机发送配置信息，主节点和所有从节点进入数据传输状态。

12.1.3.2 通过准则

末端从节点处理时延应小于等于 36 个比特时间。

12.2 反复初始化

12.2.1 常温反复初始化（一主十从）

12.2.1.1 试验步骤

a） 按照试验环境 3 组网；
b） 主节点和所有从节点上电；
c） 上位机控制主节点完成本地初始化配置，主节点进入节点发现状态；
d） 主节点和所有从节点经过节点发现，所有从节点进入已被发现子状态；
e） 主节点依次完成对各个从节点进行初始化配置；
f） 所有从节点在状态跳转计时器递减为 0 的下一个下行帧起始位置时刻进入数据传输状态；
g） 主节点收到配置响应帧完成对从节点配置，上位机配置本地寄存器进入数据传输状态；
h） 监测各个节点的上行或下行误码率情况；
i） 重复执行步骤 c)~步骤 h)，压测至少 24h。

12.2.1.2 通过准则

——步骤c）主节点进入节点发现状态，或发送下行发现帧，节点ID和帧有效字段正确；
——步骤d）从节点进入节点发现-已被发现子状态，或发送上行发现响应帧，节点ID字段为k；
——步骤e）从节点k进入初始化状态，或发送上行配置帧，节点ID字段为k；
——步骤g）主、从节点进入数据传输状态；
——步骤h）上行和下行传输过程中无误码。

12.3 误码率

12.3.1 驱动能力配置为低，SSC关闭（一主十从）

12.3.1.1 试验步骤

a) 按照试验环境3组网；
b) 主节点和从节点上电；
c) 上位机发送配置信息，主节点完成本地初始化配置，其中驱动能力配置为低；
d) 上位机发送配置信息，依次完成对每个从节点进行发现和初始化配置，其中驱动能力配置为低；
e) 上位机发送配置信息，主节点和所有从节点进入数据传输状态；
f) 同时进行下行/上行误码率测试，主节点采用测试模式2，使用16个信息比特数为24bit的音频PLDB发送下行数据帧，下行数据帧依次经过各从节点到末端从节点，末端从节点将接收到的数据通过上行数据帧环回发送返回主节点。
g) 进行连续试验，试验时间应不小于T_{test}，按照如下公式计算T_{test}；

$$T_{test} = \frac{1}{S \times BER} \times \frac{1}{60 \times 60} \quad \cdots\cdots (7)$$

式中：
T_{test} ——试验时间，单位为小时；
S ——HSMT音频协议表1中关于速率档位1速率的规定，单位为bps；
BER ——HSMT音频协议5.13章节中关于误码率的规定。
h) 试验完成后，上位机读取各节点上下行传输误码统计，计算上下行传输误码率。
可通过多个独立的试验环境进行误码率测试，以所有环境的累计时间作为误码率试验总时间满足步骤g）中的要求，其中每个独立环境的测试时间不低于48小时。

12.3.1.2 通过准则

上行传输误码率和下行传输误码率均应小于等于10^{-15}。

12.3.2 驱动能力配置为中，SSC关闭（一主十从）

12.3.2.1 试验步骤

与12.3.1 的试验步骤相同，仅步骤c）和步骤d）中替换为“驱动能力配置为中”，不赘述。

12.3.2.2 通过准则

与12.3.1 的通过准则相同。

12.3.3 驱动能力配置为高，SSC关闭（一主十从）

12.3.3.1 试验步骤

与12.3.1 的试验步骤相同，仅步骤c）和步骤d）中替换为“驱动能力配置为高”，不赘述。

12.3.3.2 通过准则

与12.3.1 的通过准则相同。

12.3.4 驱动能力配置为低，SSC开启最高频率和幅度（一主十从）

12.3.4.1 试验步骤

a) 按照试验环境3组网；
b) 待测节点网络上电；
c) 向主节点发送配置信息，主节点完成本地初始化配置，其中驱动能力配置为低、SSC频率配置为超帧频率×7，SSC幅度配置为±1.5%，SSC模式配置为总线时钟扩频；
d) 发送配置信息，依次完成对每个从节点的发现和初始化配置，驱动能力配置为低、SSC频率配置为超帧频率×7，SSC幅度配置为±1.5%，SSC模式配置为总线时钟扩频；
e) 发送配置信息，主节点和所有从节点进入数据传输状态；
f) 配置节点通过GPIO引脚输出时钟CLKOUT1或CLKOUT2，通过示波器测量待测节点上游从节点的输出时钟；
g) 将测量的上游从节点输出时钟与中心频率进行比对，计算得到SSC_AMP和SSC_Freq；
h) 对待测节点进行误码率测试，试验方法满足12.3.1 中的误码率试验方法。

12.3.4.2 通过准则

——步骤e）计算得到的时钟扩频满足12.6.1 的扩频要求；
——步骤f）误码率通过准则与12.3.1 的通过准则相同。

12.3.5 驱动能力配置为中，SSC开启最高频率和幅度（一主十从）

12.3.5.1 试验步骤

与12.3.4 的试验步骤相同，仅步骤c）和步骤d）中替换为“驱动能力配置为中、SSC频率配置为超帧频率×7，SSC幅度配置为±1.5%，SSC模式配置为总线时钟扩频”，不赘述。

12.3.5.2 通过准则

与12.3.4 的通过准则相同。

12.3.6 驱动能力配置为高，SSC开启最高频率和幅度（一主十从）

12.3.6.1 试验步骤

与12.3.4 的试验步骤相同，仅步骤b）和步骤c）节点中替换为“驱动能力配置为高、SSC频率配置为超帧频率×7，SSC幅度配置为±1.5%，SSC模式配置为总线时钟扩频”，不赘述。

12.3.6.2 通过准则

与12.3.4 的通过准则相同。

12.4 线缆恶化误码率测试

12.4.1 线缆失绞误码率测试（一主一从）

12.4.1.1 试验步骤

a) 按照试验环境2组网，其中主、从节点之间的线缆两端各失绞10cm；
b) 主节点和从节点上电；
c) 上位机发送配置信息，主节点完成本地初始化配置，其中驱动能力配置为高；
d) 上位机发送配置信息，依次完成对每个从节点进行发现和初始化配置，其中驱动能力配置为高；
e) 上位机发送配置信息，主节点和所有从节点进入数据传输状态；
f) 同时进行下行/上行误码率测试，主节点采用测试模式2，使用16个信息比特数为32bit的音频PLDB发送下行数据帧，下行数据帧依次经过各从节点到末端从节点，末端从节点将接收到的数据通过上行数据帧环回发送返回主节点。
g) 进行连续试验，试验时间应不小于T_{test}，按照如下公式计算T_{test}；

$$T_{test} = \frac{1}{S \times BER} \times \frac{1}{60 \times 60} \quad \cdots\cdots (7)$$

式中：

T_{test} ——试验时间，单位为小时；

S ——HSMT 音频协议表 1 中关于速率档位 1 速率的规定，单位为 bps；

BER ——HSMT 音频协议 5.13 章节中关于误码率的规定。

h） 试验完成后，上位机读取各节点上下行传输误码统计，计算上下行传输误码率。

可通过多个独立的试验环境进行误码率测试，以所有环境的累计时间作为误码率试验总时间满足步骤g）中的要求，其中每个独立环境的测试时间不低于48小时。

12.4.1.2 通过准则

上行传输误码率和下行传输误码率均应小于等于10^{-15}。

12.4.2 线缆不等长误码率测试（一主一从）

12.4.2.1 试验步骤

与12.4.1 的试验步骤相同，仅步骤a）中的主、从节点之间的线缆两端各10cm不等长的线缆，不赘述。

12.4.2.2 通过准则

与12.4.1 的通过准则相同。

12.4.3 线缆绞距增加误码率测试（一主一从）

12.4.3.1 试验步骤

与12.4.1 的试验步骤相同，仅步骤a）中的主、从节点之间的线缆绞距为20绞/m，不赘述。

12.4.3.2 通过准则

与12.4.1 的通过准则相同。

12.5 温度恶化误码率测试

12.5.1 温度循环误码率测试（一主十从）

12.5.1.1 试验步骤

a） 按照试验环境 3 组网，节点放置于温箱中；

b） 设置环境温度为低温-40 ℃，温度循环模型为低温-40 ℃（低温停留时间 90 min），高温 105 ℃（高温停留时间 110 min），升降温时间为 37 min（速度为 4℃/min）；

c） 主节点和从节点上电；

d） 上位机发送配置信息，主节点完成本地初始化配置，其中驱动能力配置为高；

e） 上位机发送配置信息，依次完成对每个从节点进行发现和初始化配置，其中驱动能力配置为高；

f） 上位机发送配置信息，主节点和所有从节点进入数据传输状态；

g） 同时进行下行/上行误码率测试，主节点采用测试模式2，使用16个信息比特数为24bit的音频PLDB发送下行数据帧，下行数据帧依次经过各从节点到末端从节点，末端从节点将接收到的数据通过上行数据帧环回发送返回主节点。

h） 进行连续试验，试验时间应不小于T_{test}，按照如下公式计算T_{test}；

$$T_{test} = \frac{1}{S \times BER} \times \frac{1}{60 \times 60} \quad \cdots\cdots (7)$$

式中：

T_{test} ——试验时间，单位为小时；

S ——HSMT 音频协议表 1 中关于速率档位 1 速率的规定，单位为 bps；

BER ——HSMT 音频协议 5.13 章节中关于误码率的规定。

i） 试验完成后，上位机读取各节点上下行传输误码统计，计算上下行传输误码率。

可通过多个独立的试验环境进行误码率测试，以所有环境的累计时间作为误码率试验总时间满足步骤h）中的要求，其中每个独立环境的测试时间不低于48小时。

12.5.1.2 通过准则

上行传输误码率和下行传输误码率均应小于等于 10^{-15}。

12.5.2 高温误码率测试（一主十从）

12.5.2.1 试验步骤

与12.5.1 的试验步骤相同，仅步骤b）设置环境温度为105 ℃，不赘述。

12.5.2.2 通过准则

与12.5.1 的通过准则相同。

12.5.3 低温误码率测试（一主十从）

12.5.3.1 试验步骤

与12.5.1 的试验步骤相同，仅步骤b）设置环境温度为-40 ℃，不赘述。

12.5.3.2 通过准则

与12.5.1 的通过准则相同。

12.6 时钟扩频

12.6.1 节点时钟扩频（一主十从）

12.6.1.1 试验步骤

a) 按照试验环境 3 组网；
b) 待测节点网络上电；
c) 上位机发送配置信息，主节点完成本地初始化配置；
d) 上位机发送配置信息，依次完成对每个从节点的发现和初始化配置；
e) 上位机发送配置信息，主节点和所有从节点进入数据传输状态；
f) 根据节点输出时钟引脚配置，通过示波器测量待测节点的输出时钟，示波器设置满足表 29 中的要求；
g) 将测量的输出时钟与中心频率进行比对，得到 SSC_AMP 和 SSC_Freq，计算得到的时钟扩频满足 HSMT 音频协议中的扩频要求。

表 29 节点时钟扩频示波器设置

配置		设置
规格	带宽	大于等于 1.6GHZ
	采样率	大于等于 4GS/s
线缆和连接器	线缆	50 欧姆同轴线缆，带宽大于等于 1GHZ
时钟恢复	时钟恢复方法	二阶锁相环
	Nominal Data Rate	待测速率挡位
	PLL Specification	OJTF
	阻尼比	0.707
	测量符号数	10KUI
	存储深度	大于 1Mpts

12.6.1.2 通过准则

时钟扩频采用三角波或正弦波调制，展频幅度SSC_AMP为基准频率的+/-0.5%、+/-0.75%、+/-1.0%、+/-1.5%。SSC_Freq可等于48kHz的4倍、5倍、6倍、7倍，即192kHz、240kHz、288kHz、336kHz。

预期时钟扩频$f(t)$应满足HSMT音频芯片协议5.4.4的扩频要求，所测得到的时钟扩频$f(t')$与预期时钟扩频$f(t)$应满足如下偏差范围：

——SSC 频率曲线上边界为 $f_u(t') = f(t) + 2000ppm$，下边界为 $f_d(t') = f(t) - 2000ppm$。

通过所测得到的SSC频率曲线积分得到SSC相位曲线，所得到的SSC相位曲线应满足与理想SSC相位曲线应满足如下偏差范围：

——一个超帧周期的 SSC 相位曲线的最大相位偏差小于等于 0.2 UI；

——一个 SSC 周期的 SSC 相位曲线的最大相位偏差小于等于 0.1 UI。

12.6.2 节点时钟扩频打开时，发送端口的输出数据和时钟中心频率的匹配度（一主十从）

12.6.2.1 试验步骤

a) 按照试验环境 3 组网；
b) 待测节点网络上电；
c) 上位机发送配置信息，主节点完成本地初始化配置；
d) 上位机发送配置信息，依次完成对每个从节点的发现和初始化配置；
e) 上位机发送配置信息，主节点和所有从节点进入数据传输状态；
f) 根据节点输出时钟引脚配置，通过示波器测量待测节点的输出时钟；
g) 通过示波器测量待测节点 B 端口的总线输出信号，示波器设置满足表 30 中的要求；
h) 比对待测节点 B 端口的总线输出信号起始位置与输出时钟，得到总线输出信号起始点对应的时钟频率。

表 30 中心频率匹配度示波器设置

配置		设置
规格	带宽	大于等于 1.6GHZ
	采样率	大于等于 4GS/s
线缆和连接器	线缆	50 欧姆同轴线缆，带宽大于等于 1GHZ
时钟恢复	时钟恢复方法	二阶锁相环
	Nominal Data Rate	待测速率挡位
	PLL Specification	OJTF
	阻尼比	0.707
	测量符号数	10KUI
	存储深度	大于 1Mpts

12.6.2.2 通过准则

当开启总线传输端口的时钟扩频使能时，主节点使用扩频后的时钟驱动数据传输。如图5 所示，时钟频率等于中心频率的位置，应与每帧数据的起始位置相同。

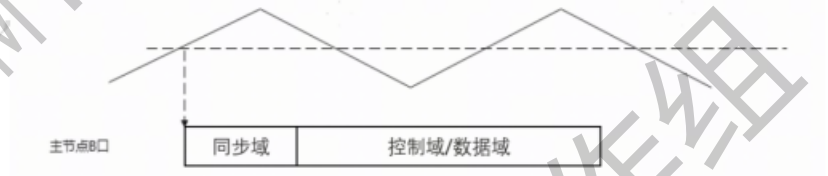


图 5 主节点开启时钟扩频时，数据发送起始位置示意图

从节点下游端口转发的数据，需要使用本节点的扩频时钟。如图6 所示，本节点的时钟扩频中心频率应与下游端口发送数据的起始时刻相同。

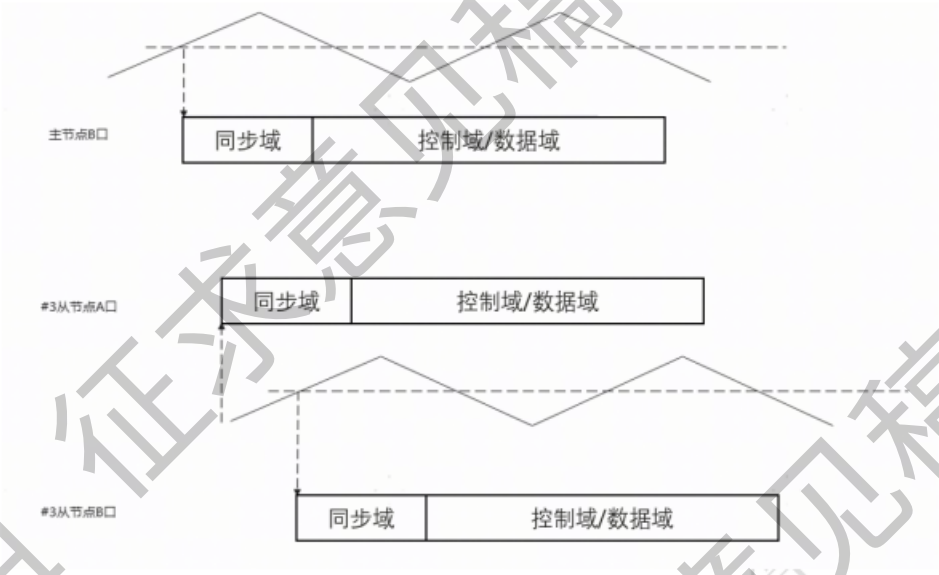


图 6　从节点开启时钟扩频时，数据发送起始位置示意图

HSMT工作组 征求意见稿