

ITU-R BS.1873-1建议书

(05/2023)

BS系列：广播业务（声音）

用于演播室的串行多信道音频数字接口



前言

无线电通信部门的作用是确保所有无线电通信业务，包括卫星业务，合理、公平、有效和经济地使用无线电频谱，并开展没有频率范围限制的研究，在此基础上通过建议书。

无线电通信部门制定规章制度和政策的职能由世界和区域无线电通信大会以及无线电通信全会完成，并得到各研究组的支持。

知识产权政策（IPR）

国际电联无线电通信部门（ITU-R）的 IPR 政策述于 ITU-R 第 1 号决议所参引的《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC 的通用专利政策》。专利持有人用于提交专利声明和许可声明的表格可从 <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/zh> 获得，在此处也可获取《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC 的通用专利政策实施指南》和 ITU-R 专利信息数据库。

ITU-R 建议书系列

（可同时在以下网址获得：<http://www.itu.int/publ/R-REC/zh>）

| 系列 | 标题 |
|-----------|------------------------|
| BO | 卫星传输 |
| BR | 用于制作、存档和播放的记录；用于电视的胶片 |
| BS | 广播业务（声音） |
| BT | 广播业务（电视） |
| F | 固定业务 |
| M | 移动、无线电测定、业余无线电以及相关卫星业务 |
| P | 无线电波传播 |
| RA | 射电天文 |
| RS | 遥感系统 |
| S | 卫星固定业务 |
| SA | 空间应用和气象 |
| SF | 卫星固定和固定业务系统之间频率共用和协调 |
| SM | 频谱管理 |
| SNG | 卫星新闻采集 |
| TF | 时间信号和标准频率发射 |
| V | 词汇和相关课题 |

注：本ITU-R建议书英文版已按ITU-R第1号决议规定的程序批准。

电子出版物
2024年，日内瓦

© 国际电联 2024

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何手段翻印本出版物的任何部分。

ITU-R BS.1873-1建议书

用于演播室的串行多信道音频数字接口

(ITU-R第130-3/6号课题)

(2010-2023年)

范围

本建议书规定了用于演播室的一种串行多信道音频数字接口。本规范包括同轴线路或光纤线路上以某种共同的采样频率线性编码的数字数据的串行数字传输所用的数据安排和电气特性。

关键词

多声道音频数字接口、MADI、多声道立体声系统、高级音响系统

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 在演播室制作声音节目的过程中，一般都采用大量声道；
- b) 有必要将演播室内数字音响设备各部分之间的多路声音信号连接起来；
- c) 让所有设备采用相同的接口连接是很有利的，

认识到

- a) ITU-R BS.775建议书 – “附图和无附图的多声道立体声系统” 阐述了配有三个正面声道两个背面/侧面声道的全面多声道立体声音响系统，其中包含可选的低频效果（LFE）声道；
- b) ITU-R BS.2051建议书 – “用于节目制作的高级音响系统” 定义了可支持基于声道、基于对象或基于场景输入信号或此类输入信号与元数据组合的高级音响系统；
- c) ITU-R BS.2125建议书 – “音频定义模型的串行表示” 指定了音频定义模型（ADM）的串行形式，即与高级音响系统的音频相关的元数据；
- d) ITU-R BS.1738建议书 – “国际分摊线路上4轨声道和8轨声道的识别与排序” 规定在国际分摊线路上最多分配8个多音频信号；
- e) ITU-R BS.2102建议书 – “包含12、16和32声道音频格式的音频通道分配和排序” 规定在国际分摊线路上最多分配32个多路音频信号；
- f) ITU-R BS.647建议书 – “于演播室的一种数字音频接口” 规定了在制作声音和电视广播节目的过程中线性编码数字音频数据的双信道串行数据传输所用的数字接口；
- g) ITU-R BS.646建议书 – “演播室中数字声音信号的信源编码” 规定了在制作声音和电视广播节目的过程中采用的数字声音的格式；
- h) ITU-R BS.2143建议书 – “用于节目制作和交换的数字音频接口非脉冲编码调制音频信号与数据的传输方法” 规定了非PCM音频信号和数据的传输方法，包括音频定义模型的串行表示，

建议

- 1 应将附件1中所述的接口作为演播室内使用的串行多信道声音数字接口；
- 2 合乎本建议书的规定是自愿的。然而，本建议书可能包含一定的强制性条款（例如，为保证互操作性或适用性），满足了全部这些强制性条款时，也就达到了与本建议书的合规性。词语“须”（shall）或者像“务必”（must）等其他一些强制性语言及相应的否定用语等被用来表达各项要求。这类词语的使用绝不能理解为暗示要部分合乎或完全合乎本建议书。

附件1

串行多信道音频数字接口（MADI）

1 引言

本附件规定了一种用于演播室的多信道音频数字接口的数据安排与电气特性。它包括比特级描述、与ITU-R BS.647建议书的两信道格式有相同之处的特性及其使用所要求的数据速率。本规范规定在同轴或光纤线路的56或64个信道上以32 kHz-48 kHz范围内某种共同的采样频率线性编码的数字数据的串行数字传输，每信道分辨率最高为24比特。仅支持从一个发送机到一个接收机的单点对单点互连。

由于ITU-R BS.646建议书建议在演播室采用48 kHz的采样频率，所以此处所规定的接口主要针对的是48 kHz的采样频率。

2 术语

就本规范而言，下列术语的定义适用。

2.1 音频采样数据

经周期性采样、量化并以2的补码形式数字化表示的声音信号。

2.2 信道

在源采样频率的任何一个周期内传输的与某一信号相关的一组音频采样数据，并伴有其他数据比特。

2.3 两信道格式

ITU-R BS.647建议书中有关线性编码数字音频数据的串行传输格式中的比特（位）、码组和子帧结构（信息头少一些）。

2.4 帧

帧是由64或不到64（通常为56）子帧组成的一种序列，这些子帧是用0至63加以编号的，每一子帧携带在一个采样周期内传输的音频采样和相关数据，一帧是从0号子帧的第一比特开始的。

2.5 链路

单一的串行多信道数字音频发送机和单一的多信道数字音频接收机之间的连接。

2.6 同步符号

解码器的同步符号。

BS.1873-02

2.7 MADI

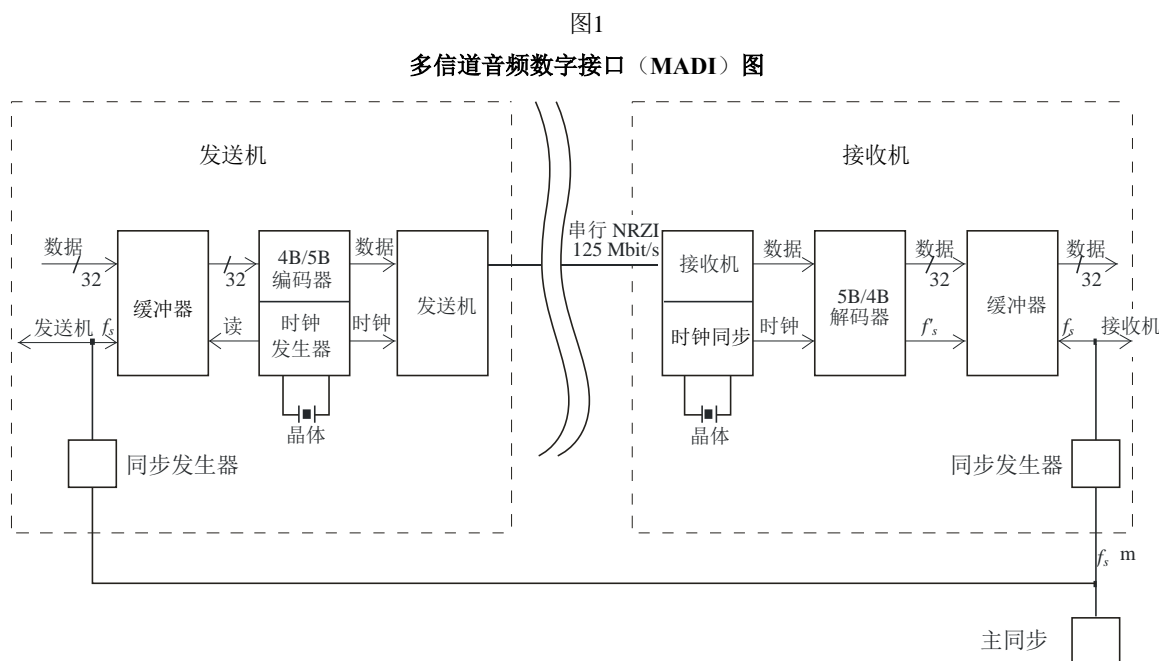
多信道音频数字接口。

2.8 NRZI（不归零倒置）

用极性转换表示逻辑“1”（一）的一种技术。不出现极性转换则表示逻辑“0”（零）。

3 格式

本规范规定在同轴或光纤线路的56或64个信道上以32 kHz-48 kHz范围内某种共同采样频率线性编码的数字数据的串行数字传输，每信道分辨率最高为24比特。见图1。



BS.1873-01

图1的注 – 采样频率改变时，NRZI数据率保持不变；发送机与接收机不同步。采样频率(f_s)为32 kHz至48 kHz。

3.1 帧格式

每帧由编号为0至 $n - 1$ 的 n 个信道组成。一帧内的信道是连续的，从信道0开始，如图2所示。

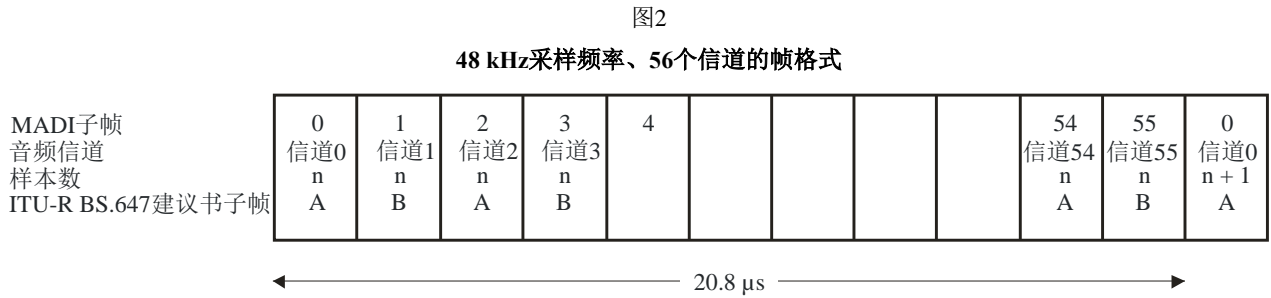
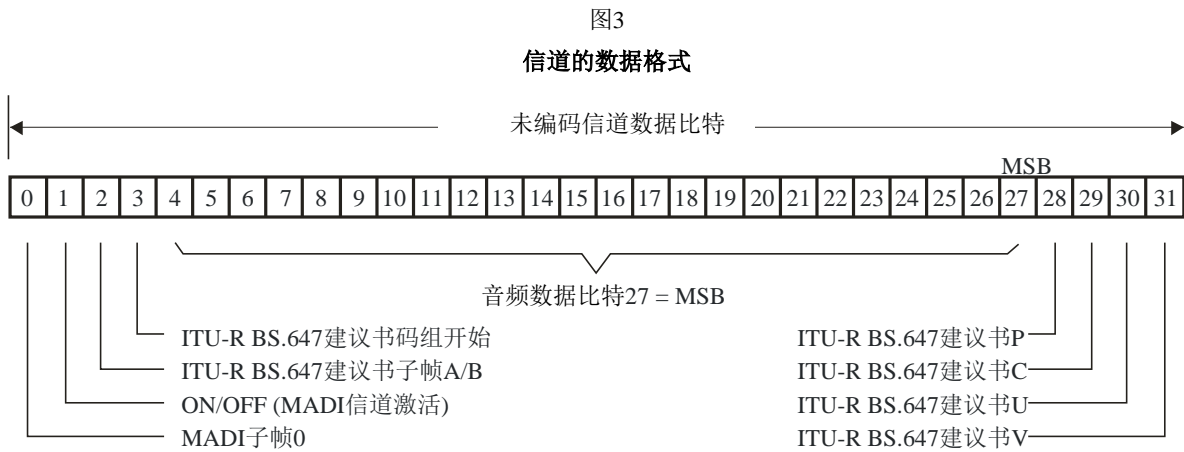


图2的注1 – 图中未示出同步符号。

图2的注2 – 图中所示每帧的周期是针对48 kHz采样频率的。对于较低的采样频率，该周期可能会长一些，而且还可能随不同的工作频率而变化。

3.2 信道格式

每一信道由32比特组成，其中的24比特分配给音频数据或分配音频/非音频状态标识符所规定的其他数据。另外4比特代表的是ITU-R BS.647建议书中规定的两信道格式接口采用的标识，即有效性(V)、使用者(U)、状态(C)和奇偶校验(P)，还有4比特是分配用做模式识别的。采用了这一方式才得以使ITU-R BS.647建议书规定的两信道格式保留下来。该信道格式示于图3。



3.2.1 模式比特

模式比特规定了帧同步、符合ITU-R BS.647建议书的码组起始、ITU-R BS.647建议书中存在的A子帧和B子帧的识别，以及每个信道的激活和失活状态。

3.2.2 音频数据的表示

在音频模式中，用2的补码形式线性表示24比特的格式，最后传输最高有效位（MSB）。按照ITU-R BS.647建议书的两信道格式的规定，一个信道内未被使用的全部音频比特都被置为0，而把V、U、C、P等比特均置为默认值。

3.2.3 激活信道

所有激活信道都是连续的，从信道0开始。每个激活信道内的信道激活比特都被置为1。

3.2.4 失活信道

所有失活信道的全部比特都被置为0，包括信道的激活比特。失活信道的信道编号始终比激活信道的最高编号高。

3.2.5 比特的描述

见表1和表2。

表1
比特的描述

| 比特 | 名称 | 描述 | 含义 |
|------|---------------|-----------------|-------------|
| 0 | MADI的0号子帧 | 帧同步比特 | 1 = 真值 |
| 1 | MADI信道激活 | 信道激活比特 | 1 = 真值 |
| 2 | “两信道格式”的子帧A/B | “两信道格式”的子帧标识符 | 1 = B |
| 3 | “两信道格式”的码组起始 | “两信道格式”码组的第一帧 | 1 = 真值 |
| 4至27 | “两信道格式”的数据比特 | （比特27是最高有效位） | |
| 28 | “两信道格式”的V | 有效比特 | 0 = 有效 |
| 29 | “两信道格式”的U | 使用者(数)比特 | 对“两信道格式”为真值 |
| 30 | “两信道格式”的C | 信道状态比特 | 对“两信道格式”为真值 |
| 31 | “两信道格式”的P | 奇偶校验比特（比特0至3除外） | 偶 |

表2

比特2至3与“两信道格式”的兼容性

| 比特2 | 比特3 | 两信道格式 | 描述 |
|-----|-----|--------------------|-----------|
| 0 | 0 | 格式2 | A子帧 |
| 0 | 1 | 格式1 | A子帧状态码组起始 |
| 1 | 0 | 格式3 | B子帧 |
| 1 | 1 | 格式4 ⁽¹⁾ | B子帧状态码组起始 |

⁽¹⁾ 不符合ITU-R BS.647建议书规定的两信道格式。

3.3 传输格式

3.3.1 4B5B编码

信道是串行传输的。通过将每4个为一组的信源比特用第3.3.1.1节规定的唯一5比特序列取代的方法，从100 Mbit/s至125 Mbit/s对二进制序列重新编码。这就是所谓的4B5B编码。

注 – 这种新编码的目的是它不包含1或0的连续序列。

3.3.1.1 编码方案

为进行编码，如表3所示，把32比特的信道数据分成为8个字，每个字长4比特。

表3

32比特的信道数据

| 字 | 信道数据比特 |
|---|--------|
| 0 | 0123 |
| 1 | 4567 |
| 2 | 89.. |
| 3 | |
| 4 | |
| 5 | |
| 6 | |
| 7 | ...31 |

利用表4的4B5B编码方案，将4比特长的每个字编码成为5比特字。

表4

5比特字的编码

| 4比特数据 | 已编码的5比特数据 |
|-------|-----------|
| 0000 | 11110 |
| 0001 | 01001 |
| 0010 | 10100 |

| | |
|------|-------|
| 0011 | 10101 |
| 0100 | 01010 |
| 0101 | 01011 |
| 0110 | 01110 |
| 0111 | 01111 |
| 1000 | 10010 |
| 1001 | 10011 |
| 1010 | 10110 |
| 1011 | 10111 |
| 1100 | 11010 |
| 1101 | 11011 |
| 1110 | 11100 |
| 1111 | 11101 |

已编码的每个5比特字是从左传输的，如表5所示。

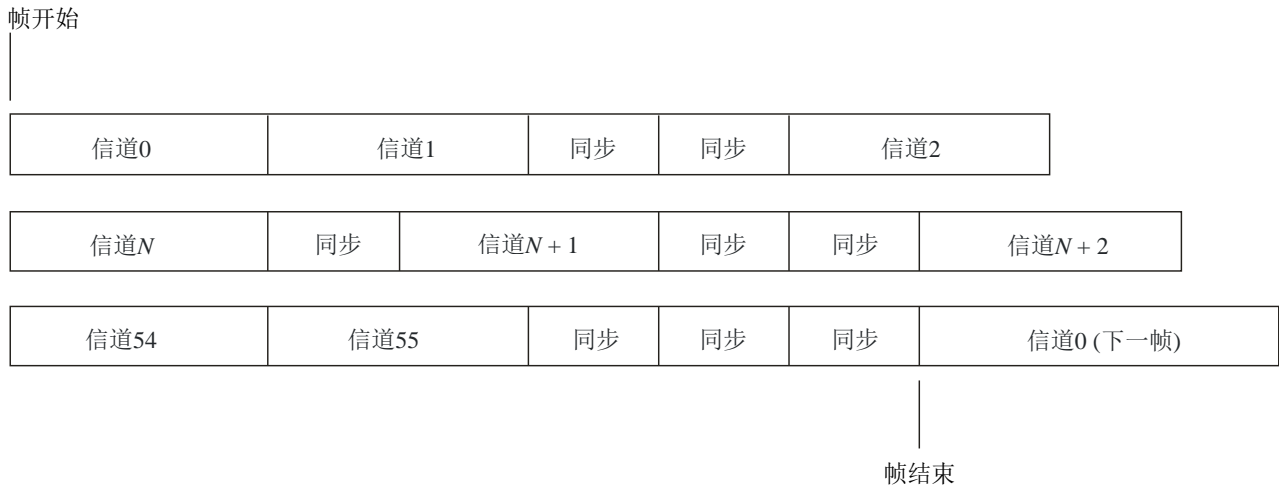
表5
5比特字的传输

| 字 | 信道数据比特 |
|---|--------|
| 0 | 01234 |
| 1 | 56789 |
| 2 | |
| 3 | |
| 4 | |
| 5 | |
| 6 | |
| 7 |39 |

3.3.2 4B5B的同步符号（sync符号）

为了因接收机内的5B/4B解码器的需要而必须保证发送机和接收机的同步，每一帧周期内至少在数据流中插入4B5B同步符号一次。通过与已编码数据字交织的方式插入足够的4B5B同步符号以填满全部链路容量。4B5B同步符号是从左边传输的。4B5B同步符号可能仅仅在40比特的信道边沿处插入，但是也可能在信道之间重复、或者在每帧容量中的最后一个信道传输之后的空闲周期内插入，或者是这二者。对4B5B同步符号的放置顺序未做规定。图4所示为可允许放置4B5B同步符号的一些位置的举例。

图4
一些可允许的4B5B同步符号的位置



BS.1873-04

默认的4B5B同步符号是11000 10001。FDDI中规定了32种同步符号。有可能使用其他的符号，例如为了携带与任何音频信道无关联的控制数据。附件1的后附资料1概述了这一功能。

3.3.3 传输序列

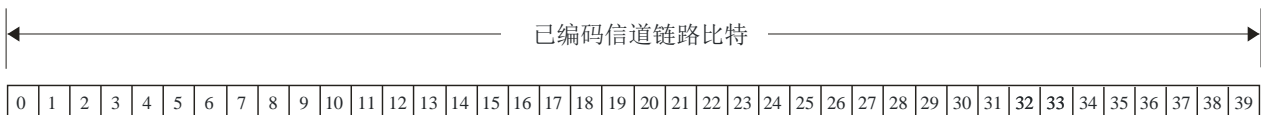
在任何比特（位）序列中，左手的符号始终代表时间上的第一个。

3.3.4 NRZI传输

合成后的125 Mbit/s的比特流，是利用所谓NRZI的极性无关技术传输的。

这一方案能使得在链路上保持低的直流（d.c.）偏压。虽然链路信号几乎不含直流，然而音频信号却可能包含直流。图5所示为一个信道的链路传输格式。附件1的后附资料1表示单个通道字的编码过程。

图5
信道的链路格式



BS.1873-05

3.3.5 控制数据的输送

本节概述了在独立于任何特定音频信道的传送载波内携带控制数据的一种方法。根据这样一种事实，即有许多形式的同步符号，而每一同步符号的默认值都是由MADI系统使用的，那么在音频数据字之间插入的传送同步符号字就能够携带这种控制数据。4比特的分段与16个同步符号形式相关联，从而允许在可用的空间内插入数据。第3.3.2节叙述的默认同步符号与二进制值0000相关联。

48 kHz \pm 12.5% 的采样频率和最大可允许变化速率的56个信道的数据流采用96.768 Mbit/s，而48 kHz的64信道数据流采用98.304 Mbit/s。这样，始终会有至少1 Mbit/s用于这一数据。为了保证维持比特流的同步，这一数值有可能需要减少。

3.3.5.1 数据插入

3.3.5.1.1 顺序

为了保证整个传送流正确的数据恢复，至少要按照需要的频次传输默认的同步符号字。要以音频数据的需要和上文的规定为条件，在有要求时插入已编码的同步符号。

3.3.5.1.2 数据编码

与高级数据链路控制协议有关的一种格式采用了查寻表。见以下表6的举例。

表6
数据编码查寻表

| 命令编号 | 命令符号 | 符号名称 | 功能 |
|------|-------------|------|-----------------------|
| 0 | 11000 10001 | JK | 同步 |
| 1 | 11111 11111 | II | 不用 |
| 2 | 01101 01101 | TT | 不用 |
| 3 | 01101 11001 | TS | 不用 |
| 4 | 11111 00100 | IH | SAL ⁽¹⁾ |
| 5 | 01101 00111 | TR | 不用 |
| 6 | 11001 00111 | SR | 不用 |
| 7 | 11001 11001 | SS | 不用 |
| 8 | 00100 00100 | HH | HDLC 0 ⁽²⁾ |
| 9 | 00100 11111 | HI | HDLC 1 |
| A | 00100 00000 | HQ | HDLC 2 |
| B | 00111 00111 | RR | HDLC 3 |
| C | 00111 11001 | RS | HDLC 4 |
| D | 00000 00100 | QH | HDLC 5 |
| E | 00000 11111 | QI | HDLC 6 |
| F | 00000 00000 | QQ | HDLC 7 |

⁽¹⁾ 样本地址加载。

⁽²⁾ 高级数据链路控制。

4 采样频率和数据速率

4.1 采样频率

链路运行的标称采样频率处于下列两个范围之一。

- a) 32 kHz至48 kHz \pm 12.5%，56个信道；
- b) 32 kHz至48 kHz标称值，64个信道。

注1 – 48 kHz \pm 12.5%的56个信道的方案导致使用最高96.768 Mbit/s的数据速率。48 kHz的64个信道的方案导致使用最高98.304 Mbit/s的数据速率。

注2 – 32 kHz \pm 12.5%的56个信道的方案导致使用最低50.176 Mbit/s数据速率。

4.2 链路传输速率

不管采样频率或激活信道的数目是多少，链路传输速率都是125 Mbit/s。这种125 Mbit/s链路传输速率的容限值应为 \pm 100 ppm。

4.3 数据转移速率

数据转移速率是100 Mbit/s。数据转移速率与链路传输速率之间的差别是由于采用编码方案引起的，见第3.3.1节。

5 同步

本节包含的内容是相对于主同步信号而言的发送机和接收机的采样同步问题。在只有主从连接的情况下不适用。

有关进一步信息，也见“参考资料”。

5.1 采样

为每个发送机和接收机提供一个独立的分布式主同步信号。

5.2 采样定时

链路的作用并非是携带采样定时信息。连接设备的准确定时是由独立的分布式主同步信号控制，而不是由MADI控制的。

5.3 发送帧的起始时间

为了保持恒定的取数时间，从发送机输出的帧的起始时间，应该在基准时间的 \pm 5%采样周期之内，而该基准时间是由外部提供的发送机主同步信号规定的。

5.4 接收帧的起始时间

接收机应能正确解释相对于外来主同步信号采样周期的任何阶段的信号。对于帧起始时间在基准时间的 \pm 25%采样周期之内的信号，应保持恒定的取数时间，而该基准时间是由外部提供的接收机主同步信号规定的。

6 电气特性

传输媒介是 $75\ \Omega$ 的同轴电缆（见第6.1节）或是光缆（见第6.2节）。就传输特性而言，编码器的数据输入用序列长度至少为 $2^{16} - 1$ 的伪随机数据发生器代替。

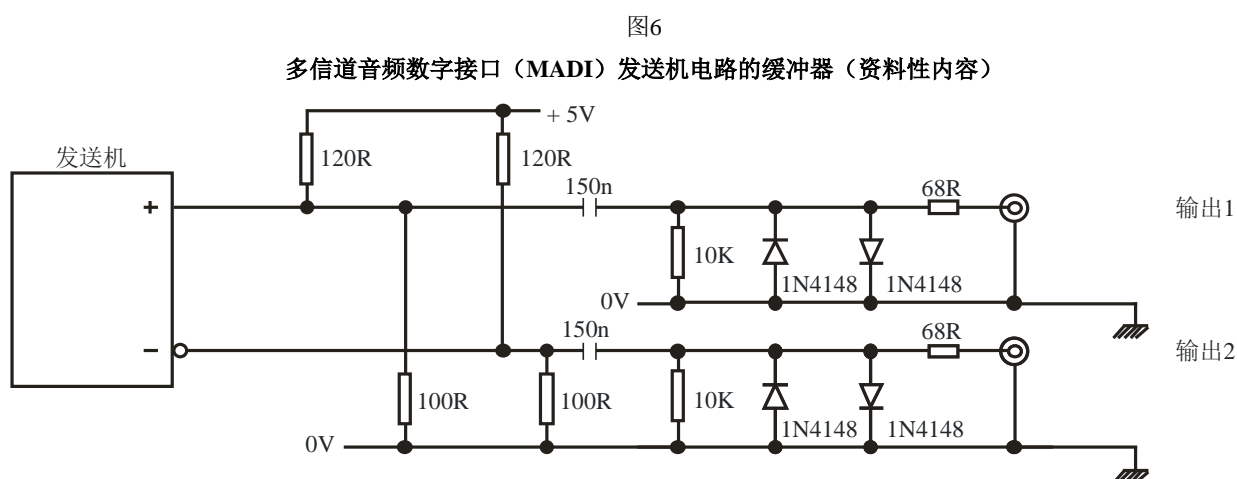
注1 – 为了更确切地表示正常传输中最有可能出现的信号，在4比特至5比特的编码器之前采用随机数据。

6.1 同轴电缆

6.1.1 发送机

6.1.1.1 线路的前置放大器

线路前置放大器具有一个输出阻抗为 $75\ \Omega \pm 2\ \Omega$ 的单端输出线。例如，射极耦合逻辑（ECL）的信号发送机与同轴电缆之间的连接，可采用图6所示的电路完成。



BS.1873-06

图6的注：为了用代码表示电阻值，在电气和电子领域常用的倍数和约数是毫欧姆、千欧姆和兆欧姆。

“R”表示小数点的位置。例如：

“470R” = $470\ \Omega$ ，“4K7” = $4.7\ \text{k}\Omega$ ，“47K” = $47\ \text{k}\Omega$ ，“4M7” = $4.7\ \text{M}\Omega$ 。

1N4148是数据处理中使用的一种标准硅晶体二极管。

6.1.1.3 峰值输出

当以 $75\ \Omega$ 的电阻器终接输出电路时，其输出的峰峰值电压应在 $0.3\ \text{V}$ 和 $0.6\ \text{V}$ 之间。

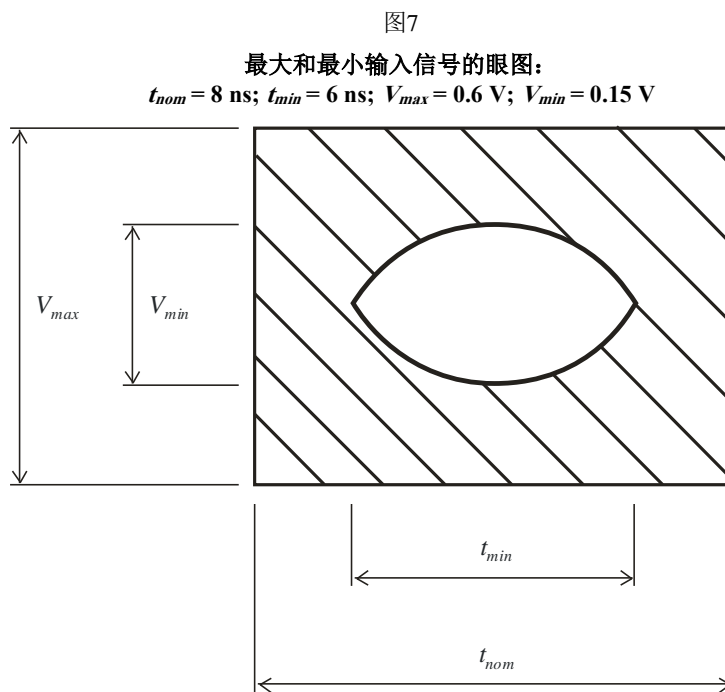
6.1.1.4 上升与下降时间

当以 $75\ \Omega$ 的电阻器终接输出电路时，在20%幅度点和80%幅度点之间测得的上升与下降时间，不应大于 $3\ \text{ns}$ 且不应小于 $1\ \text{ns}$ ，而相对于各幅度点平均值的定时差不应多于 $\pm 0.5\ \text{ns}$ 。

6.1.2 接收机

6.1.2.1 眼图

图7表征的眼图表示输入端信号的范围，而这些输入端信号应由符合标准的接收机进行解码。



BS.1873-07

6.1.3 电缆

同轴电缆应具有 $75 \Omega \pm 2 \Omega$ 的特性阻抗。

6.1.4 连接器

自始至终采用IEC 61169-8¹中规定的BNC连接器。

注1 – IEC 6.1169-8: 射频连接器 – 第8部分: 外导体内径为6.5 mm (0.256 in)卡口锁定的射频 (RF) 同轴连接器 – 特征阻抗50 Ω (BNC型)。

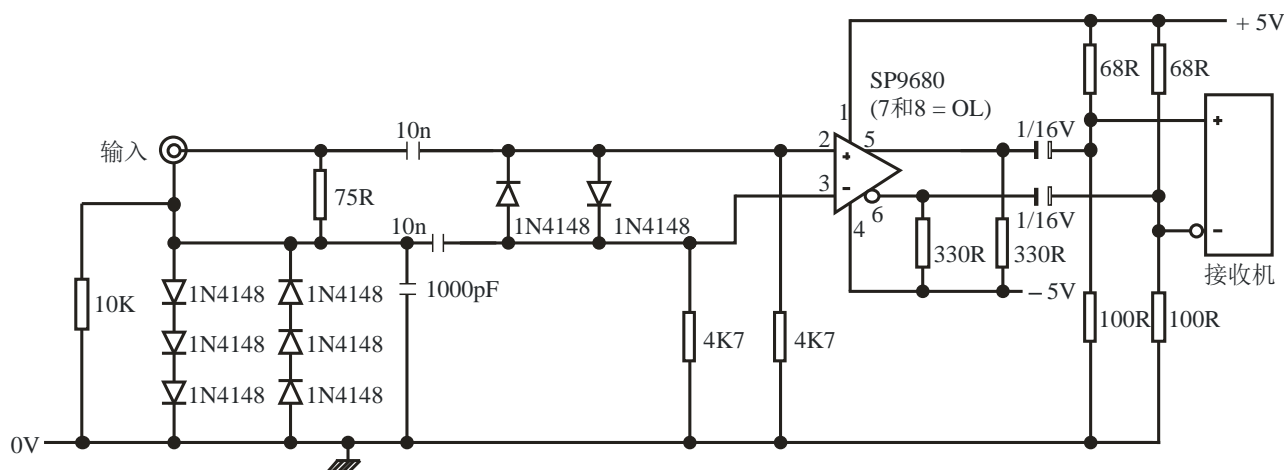
6.1.5 接口电路举例 (资料性内容)

通过图8所示的电路，便可获得同轴电缆介质与平衡ECL信号之间的连接。

¹ 请注意，该规范性参考文献可能会让人产生误解。本标准要求采用该参考文献规定的75 Ω 连接器。

图8

多信道音频数字接口 (MADI) 的缓冲电路 (资料性内容)



BS.1873-08

6.1.6 接地

在发送机处将同轴电缆的屏蔽接地。对于30 MHz以上的射频，同轴电缆通过接收机机壳接地。

为了使射频发射最小，建议通过将同轴电缆的外壳直接焊接到设备机箱的方法获得连接。在接收机端可通过（电）容性方式，将同轴电缆连接器的外壳焊接到接收机的机壳。电容器的合适电容量是1 000 pF。这种电容器应该是低电感类型的，在30 MHz至500 MHz的所有频率处具有足够低的阻抗。焊接引线的长度按照实际情况短一些。这种方法阻止了音频接地电流的可能性。

注1 – 设计师们应该注意到，为使接口满足有关电磁兼容（EMC）方面的国际规则，相应文献中的一些特别技术还是需要的。如果其他方面的考虑不成问题的话，有一种方法是可取的，这就是将接收机同轴电缆的外壳、以360°的连线焊接到直流电源的外壳上。

6.2 光纤接口

6.2.1 光纤类型

应采用符合ISO/IEC 9314-3规定的光纤接口。这应该是一种波长为1 300 nm的渐变折射率光纤，纤芯直径62.5 nm，标称包层直径125 nm，数值孔径 (NA) 0.275。该规范能够提供最长2 km的连接距离。

6.2.2 连接器

应采用ST1连接器。按照设计，该产品在光性能和机械性能两方面均与符合ISO/IEC 9314-3的媒质接口连接器（MIC）相兼容。

注1 – ISO/IEC 9314-3：信息处理系统 – 光纤分布数据接口（FDDI） – 第3部分：物理层依赖媒介（PMD）。

附件1的后附资料1

链路编码举例

假定信道数据如下：

| | | | | |
|-----|------|------|------|------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 |
| 比特： | 0123 | 4567 | 8901 | 2345 |
| 数据： | 1100 | 1010 | 0101 | 1111 |
| | 0000 | 1100 | 0011 | 0000 |

将这些数据字转换如下：

| 字 | 4比特数据 | 已编码的5比特数据 |
|---|-------|-----------|
| 0 | 1100 | 11010 |
| 1 | 1010 | 10110 |
| 2 | 0101 | 01011 |
| 3 | 1111 | 11101 |
| 4 | 0000 | 11110 |
| 5 | 1100 | 11010 |
| 6 | 0011 | 10101 |
| 7 | 0000 | 11110 |

以下是传输的比特流：

| | | | | |
|---------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 |
| 比特： | 01234 | 56789 | 01234 | 56789 |
| 4B5B编码： | 11010 | 10110 | 01011 | 11101 |
| 传输码： | 11010 | 11110 | 11010 | 10101 |
| | 11110 | 11010 | 10101 | 11110 |
| ← 传输方向 | 01001 | 10010 | 00110 | 10100 |
| | 10101 | 10110 | 01100 | 10101 |

参考文献

AES 11 AES Recommended practice for digital audio engineering – Synchronization of digital audio equipment in studio operations.